



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**



**“ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ
ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ”**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΡΑΜΑΝΤΑΝΗΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΒΕΝΤΙΚΟΣ**

Αθήνα, ΜΑΡΤΙΟΣ 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή καθηγητή κ. Βεντίκο Νικόλαο που πραγματικά με βοήθησε στην αποπεράτωση της διπλωματικής. Η βοήθεια που μου παρείχε ήταν πολύτιμη και χωρίς αυτήν δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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 οξειδία του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), επηρεάζουν αρνητικά τόσο περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου. 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 ορισμένες τεχνολογίες και μέθοδοι που συντελούν σε αυτό. Από την άλλη μεριά η κλιματική αλλαγή επηρεάζει άλλοτε αρνητικά και άλλοτε θετικά την ναυτιλία. Οι νέες θαλάσσιες οδοί, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση της θερμοκρασίας, η ένταση των ανέμων είναι μερικές από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής που έχουν αντίκτυπο στη ναυτιλία. Βλέπουμε λοιπόν ότι υπάρχει μια αλληλεπίδραση της ναυτιλίας και της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

The climatic change constitutes an important problem of world scale that its negative consequences appear in our days. The gases of greenhouse, as dioxide of coal (CO₂) and the ozone (O₃) that they are emitted by the ships, contribute negatively to the phenomenon of greenhouse. Moreover, the atmospheric pollutants like the (SO₂), oxides (NO_x), particulate matters (PM), and volatile organic compounds (VOCS), have a negative impact on the environment, as well as on people's health. Regulations, that are continuously modified, have been established for the reduction of ships' emissions, in the Annex VI of MARPOL 73/78, as well as various directives and regulations by the European Union. However, apart from the regulations, there are also certain technologies and methods that contribute in the reduction of emissions from the ships. On the other hand, the climatic change influences either negatively or positively the sector of shipping. New vessels' transport roads, the increase of temperature and sea level and wind's intensity are some of the consequences of climatic change that have impact on shipping. Therefore, we can assume the interaction of shipping and climatic change.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ...7	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.....	8
1.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	11
1.3.1 Γενικά.....	11
1.3.2 Τα αέρια του θερμοκηπίου.....	13
1.3.3 Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου.....	26
1.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι.....	33
1.4.1 Γενικά.....	33
1.4.2 Τύποι ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	33
1.4.3 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων.....	34
1.4.4 Αέρια Θερμοκηπίου, ατμοσφαιρικοί ρύποι και Ναυτιλία.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	39
2.1 Εισαγωγή.....	39
2.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	39
2.2.1 Γενικά.....	39
2.2.2 Το CO ₂ ως αέριο του θερμοκηπίου.....	40
2.2.3 Ναυτιλία και CO ₂	44
2.2.4 Παραδείγματα.....	50
2.3 Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	57
2.3.1 Γενικά.....	57
2.3.2 SO ₂ και ναυτιλία.....	57
2.3.3 Εκπομπές SO ₂ σε παγκόσμιο επίπεδο.....	59
2.3.4 Επιπτώσεις του SO ₂	64
2.4 Οξείδια του αζώτου (NO _x).....	66
2.4.1 Γενικά.....	66
2.4.2 Εκπομπές NO _x και Ευρωπαϊκή Ένωση.....	68
2.4.3 Εκπομπές NO _x σε παγκόσμιο επίπεδο.....	70
2.4.4 Επιπτώσεις των NO _x	76
2.5 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs).....	77
2.5.1 Γενικά.....	77
2.5.2 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις και ναυτιλία.....	78
2.5.3 Επιπτώσεις VOCs.....	81
2.6 Όζον (O ₃).....	82
2.6.1 Όζον και ναυτιλία.....	82
2.6.2 Επιπτώσεις του όζοντος.....	84
2.7 Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matters, PM).....	85
2.7.1 Γενικές έννοιες και ορισμοί.....	85
2.7.2 Κατάταξη σωματιδίων.....	87
2.7.3 Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων.....	88
2.7.4 Τρόποι εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων.....	89
2.7.5 Μελέτη για τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από τα πλοία.....	91
2.7.6 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΑΙ ΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	97
3.1 Αρκτική και Βορειοδυτικό Πέρασμα.....	97

3.1.1	Εισαγωγή.....	97
3.1.2	Τήξη των πάγων στην περιοχή της Αρκτικής.....	99
3.1.3	Νέες θαλάσσιες οδοί.....	103
3.1.4	Μελέτη του Αρκτικού Συμβουλίου.....	110
3.2	Καιρικές αλλαγές και ναυσιπλοΐα.....	113
3.2.1	Στάθμη της θάλασσας.....	113
3.2.2	Άνεμοι.....	116
3.2.3	Δράση των κυμάτων και freak waves.....	120
3.2.4	«Φυσική» παγκόσμια κλιματική διαδικασία ή κλιματική αλλαγή;.....	125
3.3	Κλιματική αλλαγή και εξοπλισμός του πλοίου.....	126
3.3.1	Σύστημα πυρόσβεσης πλοίου.....	126
3.3.2	Ψυκτικά μέσα.....	127
3.4	Έρμα και ανεπιθύμητοι θαλάσσιοι οργανισμοί.....	129
3.4.1	Γενικά.....	129
3.4.2	Ανεπιθύμητοι θαλάσσιοι οργανισμοί.....	129
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ.....		133
4.1	Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78.....	133
4.2	Τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78.....	137
4.2.1	Οι κανονισμοί NOx για τις νέες μηχανές.....	138
4.2.2	Όρια NOx για τις υπάρχουσες μηχανές.....	139
4.3	Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία για τους ρύπους και τα αέρια του θερμοκηπίου.....	140
4.3.1	Θεσμοθετημένα πρότυπα εκπομπής για τα μέσα μεταφοράς.....	140
4.3.2	Οδηγίες και στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές πλοίων.....	141
4.3.3	Οδηγία 2005/33/EC.....	142
4.3.4	Ελληνική νομοθεσία για τις εκπομπές πλοίων.....	143
4.4	Τεχνολογίες που μειώνουν τις εκπομπές πλοίων.....	144
4.4.1	Καταλυτικό μοριακό φίλτρο (katalyzed particular filter).....	144
4.4.2	Τεχνολογίες μείωσης NOx.....	149
4.4.2.1	Επανακυκλοφορία αερίου εξάτμισης (Exhaust Gas Recirculation).....	149
4.4.2.2	Καταλύτες απορρόφησης NOx.....	150
4.4.2.3	Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction, SCR).....	152
4.4.3	Μέθοδος σύλληψης και αποθήκευσης CO2 (CO2 capture and storage, CCS).153	
4.4.4	Δείκτης CO2.....	155
4.5	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	156
4.5.1	Εισαγωγή.....	156
4.5.2	Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς.....	158
4.5.3	Μειονεκτήματα βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς.....	161
4.5.4	Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς και τρίτης γενιάς.....	163
4.5.5	Βιοκαύσιμα και ναυτιλία.....	164
4.6	Κυψέλες καυσίμων (fuel cells).....	165
4.7	Πυρηνική ενέργεια.....	168
4.8	Ηλεκτροδότηση πλοίων από τη ξηρά (Shore-side electricity).....	171
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		174
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....		180
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		183

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει αρχικά το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλονται από τα αέρια του θερμοκηπίου και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται μία προσπάθεια ανάλυσης του μεγέθους των ποσοτήτων των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τα πλοία και τι επιπτώσεις έχουν στη κλιματική αλλαγή λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. 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). Επίσης σκοπός της εργασίας είναι να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο επιδρά η κλιματική αλλαγή στο πλοίο και στη ναυτιλία γενικότερα. Δηλαδή το αντίστροφο από την επίδραση του πλοίου και της ναυτιλίας γενικότερα στην κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα αναλύονται οι νέες θαλάσσιες οδοί που ανοίγονται καθώς και οι καιρικές αλλαγές που εντείνονται λόγω των κλιματικών αλλαγών. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση της έντασης των ανέμων, η δράση των κυμάτων, η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζουν είτε αρνητικά είτε θετικά τη ναυτιλία. Τέλος σκοπός της εργασίας είναι να αναλύσει τεχνολογίες και μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί ή πρόκειται να εφαρμοστούν και σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία καθώς και να καταγράψει κανονισμούς και οδηγίες που έχουν να κάνουν με τις εκπομπές πλοίων.

Δομή της εργασίας

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

- Ανάλυση της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συντελείται στον πλανήτη. Αναφέρονται και αναλύονται όλα τα αέρια του θερμοκηπίου καθώς και οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον αναλύονται και οι βασικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην υγεία.
- Παρουσίαση και ανάλυση των αερίων του θερμοκηπίου: διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και όζον (O₃) που εκπέμπονται από τα πλοία. Επίσης γίνεται ανάλυση και των ατμοσφαιρικών ρύπων: διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), αιωρούμενα σωματίδια (PM), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS) που εκπέμπονται από τα πλοία. Μέσα από μελέτες και παραδείγματα γίνεται προσπάθεια να φανεί το μέγεθος των αερίων του θερμοκηπίου και των

ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία. Παρουσιάζονται επίσης και οι επιπτώσεις των ρύπων στο περιβάλλον γενικά και στην υγεία του ανθρώπου.

- Ανάλυση σκέψεων και γεγονότων που σχετίζονται με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη ναυτιλία. Μέσα από υποθέσεις και παραδείγματα γίνεται προσπάθεια να αναλυθούν και να κατανοηθούν κάποια γεγονότα που έχουν συμβεί ή θα συμβούν στο μέλλον. Συγκεκριμένα αναλύονται οι νέες θαλάσσιες οδοί, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση της έντασης των ανέμων, η δράση των κυμάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας.
- Παρουσίαση αρχικά των κανονισμών του Παραρτήματος VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 και των τροποποιήσεων που έχουν λάβει χώρα καθώς και των οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Στη συνέχεια αναλύονται τεχνολογίες και μέθοδοι που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία.
- Αναγωγή συμπερασμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 Εισαγωγή

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 **(1)**. Βασική μορφή εμφάνισης της κλιματικής αλλαγής αποτελεί η «Θέρμανση της Γης» (Global Warming). 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» (Greenhouse Effect). 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 (Greenhouse Gases, GHG), 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.

Εκτός από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπεύθυνοι για την αλλαγή του κλίματος είναι τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες. Όσον αφορά τους φυσικούς παράγοντες, μερικοί από αυτούς που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή επιδρούν σε χρονική κλίμακα εκατοντάδων εκατομμυρίων χρόνων, ενώ άλλοι κυμαίνονται για μια χρονική περίοδο μόνο μερικών χρόνων (2). Στον Πίνακα 1 αναφέρονται οι σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες.

Πίνακας 1: Οι πιο σημαντικοί φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα

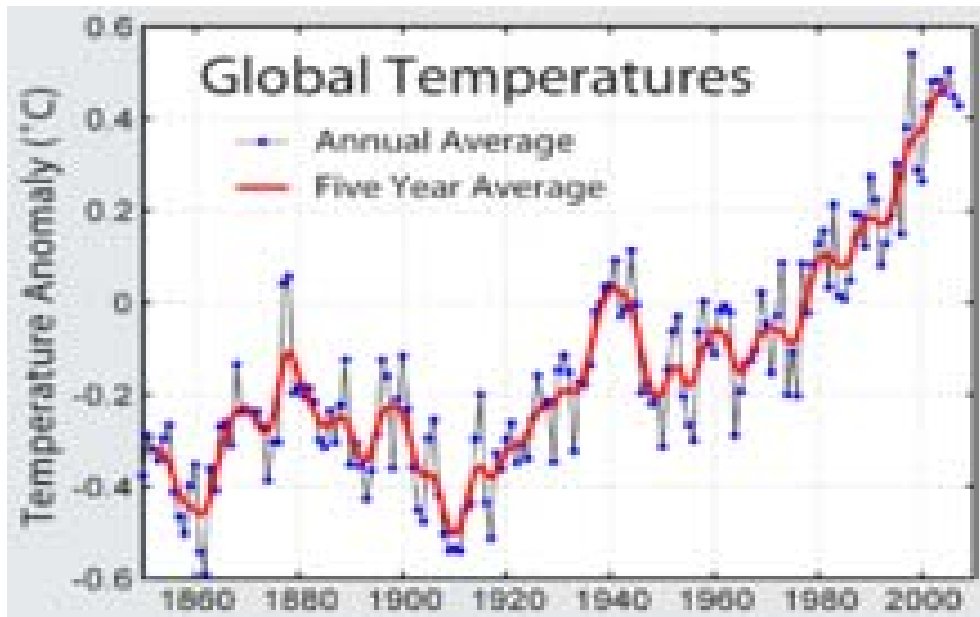
<i>Παράγοντας</i>	<i>Χρονική κλίμακα (έτη)</i>	<i>Μέση παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας Κατώτερα και ανώτερα όρια</i>
Ηφαιστειακή δραστηριότητα	1-4	0,4°C
Αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας-ωκεανών	10 ¹ -10 ³	0,2-0,4°C
Αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία	10 ¹ -10 ⁹	0,1°C
Αλλαγές στη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου	10 ² -10 ⁹	2-3°C
Αλλαγές στην τροχιά της Γης	10 ⁴ -10 ⁵	4-6°C
Αλλαγές στην γεωγραφία Ξηράς-θάλασσας	10 ⁷ -10 ⁸	μέχρι 5°C

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 του θερμοκηπίου 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.

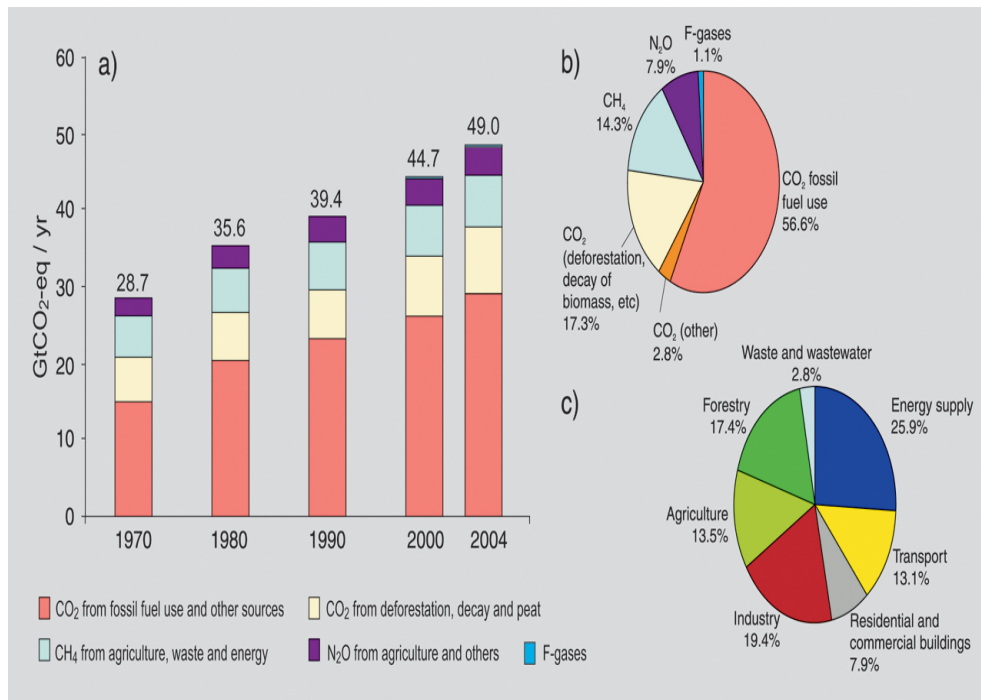
1.2 Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη

Λέγοντας αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη εννοούμε την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης κοντά στην επιφάνεια του αέρα και των ωκεανών κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Στο σχημα 3 απεικονίζεται η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας από το 1856 έως το 2005.



Σχημα 1
Μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2005

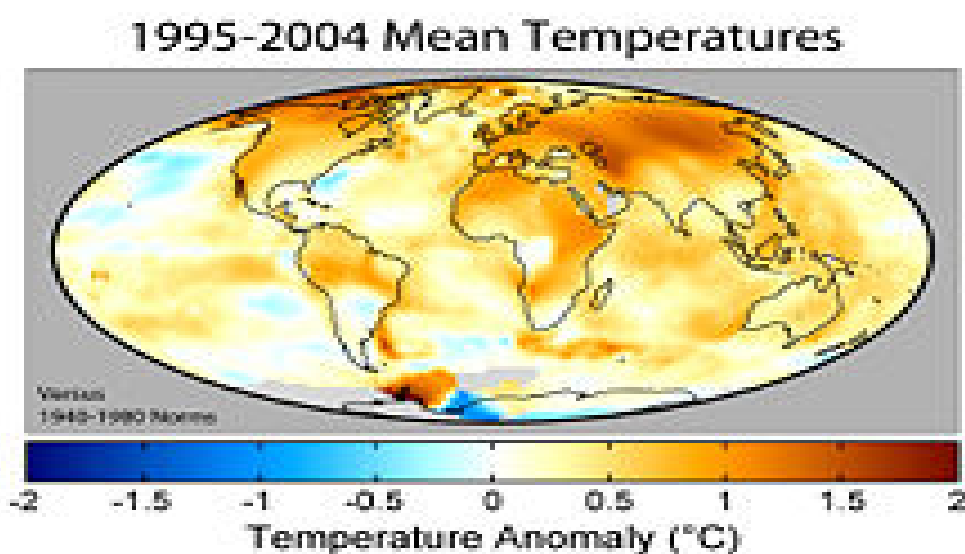
Ο όρος είναι εν γένει ουδέτερος ως προς τα αίτια πρόκλησης της θέρμανσης του πλανήτη, ωστόσο έχει επικρατήσει να υπονοεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Ταυτίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο αποτελεί έναν μηχανισμό παγκόσμιας θέρμανσης. Η επίσημη επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, όπως αυτή εκφράζεται από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) του ΟΗΕ είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.6 ± 0.2 °C από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών. **(3)** Η υπερθέρμανση λοιπόν του πλανήτη που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη συμπεριφορά: μέσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες απελευθερώνονται κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα κυρίως και όχι μόνο και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να θερμαίνεται ο πλανήτης. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι ανθρώπινες δραστηριότητες που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και άρα στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.



Σχημα 2
Ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου παγκοσμίως

Από το παραπάνω Σχήμα παρατηρούμε ότι οι τα ενεργειακά αποθέματα συμβάλλουν κατά 25.9% στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου και ακολουθούν η βιομηχανία, η δασοκομία και οι μεταφορές με 19.4%, 17.4%, 13.1% αντίστοιχα. Η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1.4 - 5.8 °C εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100 σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες (4). Οι συνέπειες μίας τέτοιας ενδεχόμενης αύξησης, επεκτείνονται και σε άλλου είδους μεταβολές, όπως αύξηση της στάθμης των θαλασσών ή δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, τυφώνες ή εξαφάνιση βιολογικών ειδών. Το κλίμα της Γης ωστόσο παρέμεινε σχετικά σταθερό από την τελευταία εποχή παγετώνων. Συγκεκριμένα, τα τελευταία 10.000 χρόνια δεν παρατηρήθηκαν θερμοκρασιακές αλλαγές άνω του 1 βαθμού Κελσίου μέσα σε ένα αιώνα. Από την εποχή όμως της βιομηχανικής επανάστασης, οι άνθρωποι ξεκίνησαν να καίνε ορυκτά καύσιμα σε μαζικές ποσότητες για να κινήσουν οχήματα, να θερμάνουν τις κατοικίες τους, να εκτελέσουν τις επαγγελματικές τους δραστηριότητες, να τροφοδοτήσουν τα εργοστάσια με ενέργεια. Τα τελευταία 200 χρόνια έχουμε καταναλώσει ένα μεγάλο μέρος των αποθεμάτων αυτών των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα, μέσα από την συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών απελευθερώνεται το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που είναι αποθηκευμένο στα δέντρα και το έδαφος. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οδηγεί στον εγκλωβισμό υπερβολικής ποσότητας θερμότητας με συνέπεια την αύξηση του πάχους της 'κουβέρτας του θερμοκηπίου'. Αυτό προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της

ατμόσφαιρας της γης, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην αλλαγή του κλίματος. Τον 20ο αιώνα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας που καταμετρήθηκε και είναι όπως αναφέρθηκε παραπάνω 0,4-0,8 βαθμούς °C, τον κατατάσσει ως τον θερμότερο τα τελευταία χίλια χρόνια. Για το βόρειο ημισφαίριο, είναι πιθανό ότι η δεκαετία 1990-2000 ήταν η θερμότερη έως τώρα και το έτος 1998 το θερμότερο των τελευταίων 1000 χρόνων. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται χάρτης που απεικονίζει διαφορές στις θερμοκρασίες όπως αυτές μετρήθηκαν από τον Ιανουάριο του 1995 μέχρι το 2004, σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες της περιόδου 1940-1980. Η μέση αύξηση είναι 0.42 °C.



Σχημα 3

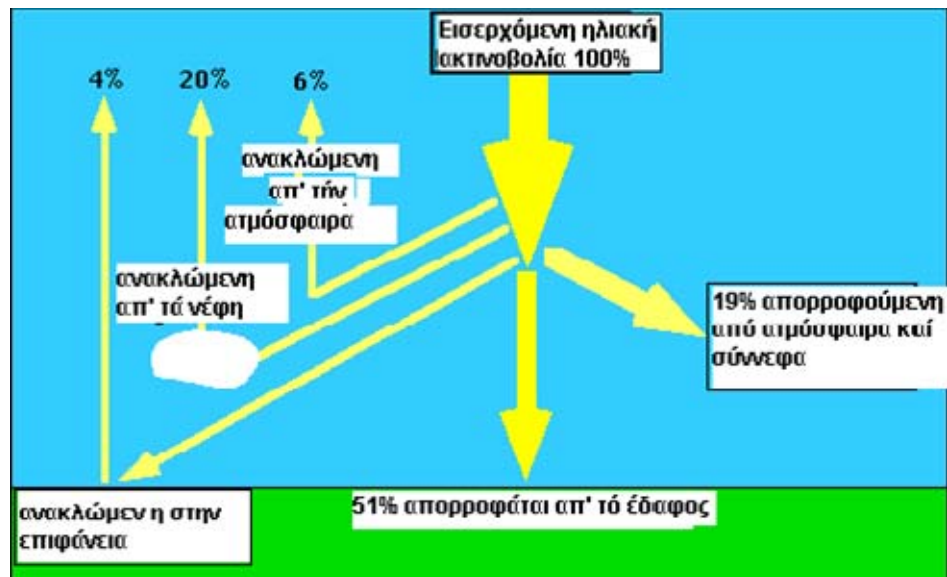
Χάρτης απεικόνισης διαφορών στην θερμοκρασία την περίοδο 1995-2004 σε σύγκριση με την περίοδο 1940-1980

1.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

1.3.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε η κλιματική αλλαγή οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέρμανση της Γης (Global Warming) που προκαλείται από το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Τι είναι όμως το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου;

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία. Το χρειαζόμαστε για να διατηρούμε τη Γη ζεστή, ώστε να υπάρχει ζωή και ανάπτυξη. Δίχως αυτό, η Γη θα ήταν κρύα περίπου -20 °C, και δεν θα μπορούσε να υπάρχει ζωή. Αντιθέτως, η μέση θερμοκρασία της Γης διατηρείται στο επίπεδο των 15 °C, χάρις στο φαινόμενο αυτό (5). Τα αέρια του θερμοκηπίου σχηματίζουν ένα 'στρώμα' πάνω από το έδαφος της Γης σε ένα ορισμένο ύψος, ώστε αφού επιτρέψουν να εισέλθει η υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου, αυτή απορροφάται κατά ένα μέρος από τη Γη και την ατμόσφαιρα.



Σχήμα 4
Διέλευση ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 μόνο το 51% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της επιφάνειας και της χαμηλότερης ατμόσφαιρας, για την τήξη των πάγων ή του χιονιού, την εξάτμιση των υδάτων και την πρόκληση της φωτοσυνθέσεως στα φυτά. Από το υπόλοιπο 49%, το 4% ανακλάται από την επιφάνεια και επιστρέφει προς το διάστημα, το 26 % ανακλάται πίσω από τα νέφη και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και το 19 % απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά αέρια, σωματίδια και νέφη. Το στρώμα των αερίων λοιπόν, επιτρέπει τη διέλευση της ακτινοβολίας αλλά ταυτόχρονα την εγκλωβίζει, μοιάζει δηλαδή με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου και ο Γάλλος μαθηματικός Fourier το ονόμασε το 1822 φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα τελευταία χρόνια λέγοντας φαινόμενο θερμοκηπίου δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί ανησυχητικά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω των εντεινόμενων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων παγκοσμίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα θερμότητα, οπότε ενισχύεται το "φαινόμενο του θερμοκηπίου" ή αλλιώς υπερθέρμανση του πλανήτη. Κάνοντας μια σύντομη αναδρομή βλέπουμε ότι από τα τέλη της δεκαετίας του '50 ήταν γνωστό ότι παγιδεύονται αέρια στην ατμόσφαιρα της γης. Το 1957 για πρώτη φορά ο επιστήμονας Τσαρλς Ντέιβιντ Κίλινγκ μετράει την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, από ένα παρατηρητήριο στη Χαβάη και σε περίοδο έξι ετών, φαίνεται καθαρά η αύξηση της συγκέντρωσης του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Χρειάστηκαν να περάσουν περίπου 20 χρόνια και

συγκεκριμένα το 1980 ο Σουηδός Μπερτ Μπολίν διαπιστώνει πως η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται εδώ και ένα αιώνα. Έτσι φτάνουμε στο 1988 που ο ΟΗΕ και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας συστήνουν την Διακυβερνητική Ομάδα Ειδικών για την εξέλιξη του Κλίματος (IPCC).

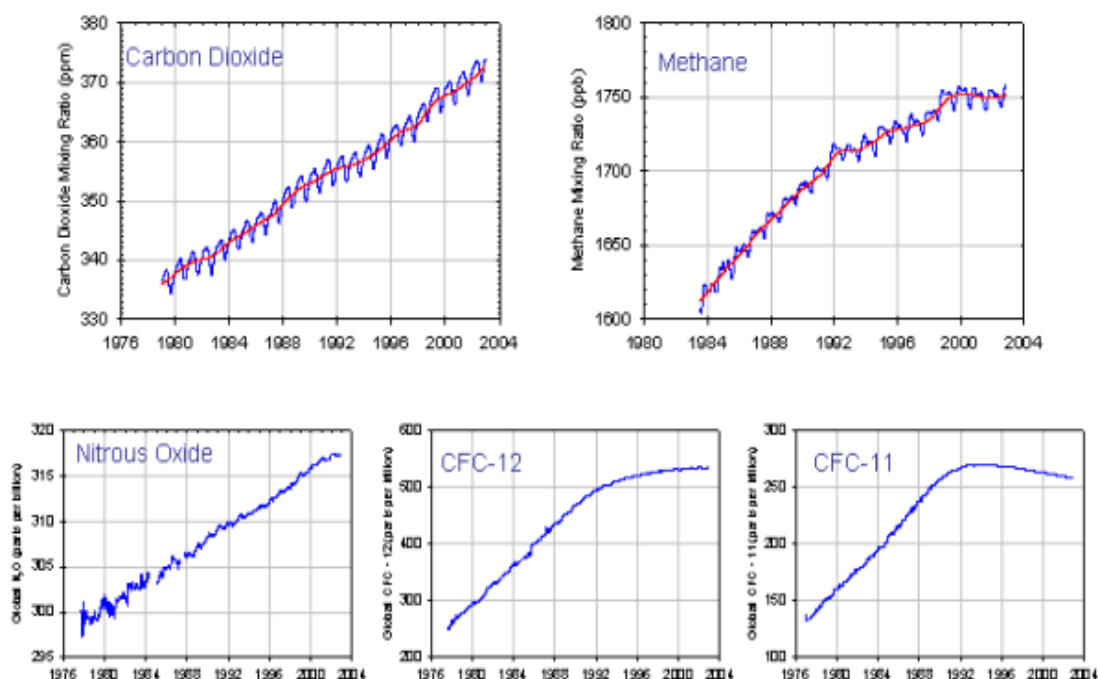
1.3.2 Τα αέρια του θερμοκηπίου

Λέγοντας αέρια του θερμοκηπίου εννοούμε εκείνα τα αεριώδη συστατικά της ατμόσφαιρας, τα οποία απορροφούν και εκπέμπουν την ακτινοβολία στα συγκεκριμένα μήκη κύματος μέσα στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα.. Τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία παράγονται με φυσικές και βιομηχανικές διαδικασίες είναι τα αέρια εκείνα που παρόντα στην ατμόσφαιρα μειώνουν την απώλεια θερμότητας στο διάστημα και επομένως συμβάλλουν στις σφαιρικές θερμοκρασίες μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ο υδρατμός (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το νιτρώδες οξείδιο (N_2O), το μεθάνιο (CH_4), και το όζον (O_3) είναι τα αρχικά αέρια θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα. Επιπλέον υπάρχουν διάφορα εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από τον άνθρωπο αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όπως αλογόνα (βρώμιο, χλώριο) μαζί με άνθρακα (halocarbons) εξαφθοριούχο θείο - sulphur hexafluoride - (SF_6), φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες – hydrofluorocarbons - (HFCs) και οι υπερφθοράνθρακες – perfluorocarbons - (PFCs).

Λέγοντας λοιπόν αέρια του θερμοκηπίου εννοούμε τα παρακάτω:

- Υδρατμοί (H_2O)
- διοξείδιο του άνθρακα CO_2 (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο),
- μεθάνιο CH_4 ,
- όζον O_3 ,
- υποξείδιο του αζώτου N_2O ,
- υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons) HFC,
- πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες (Perfluorocarbons) PFC
- εξαφθοριούχο θείο SF_6 .

Global Trends in Major Greenhouse Gases to 1/2003



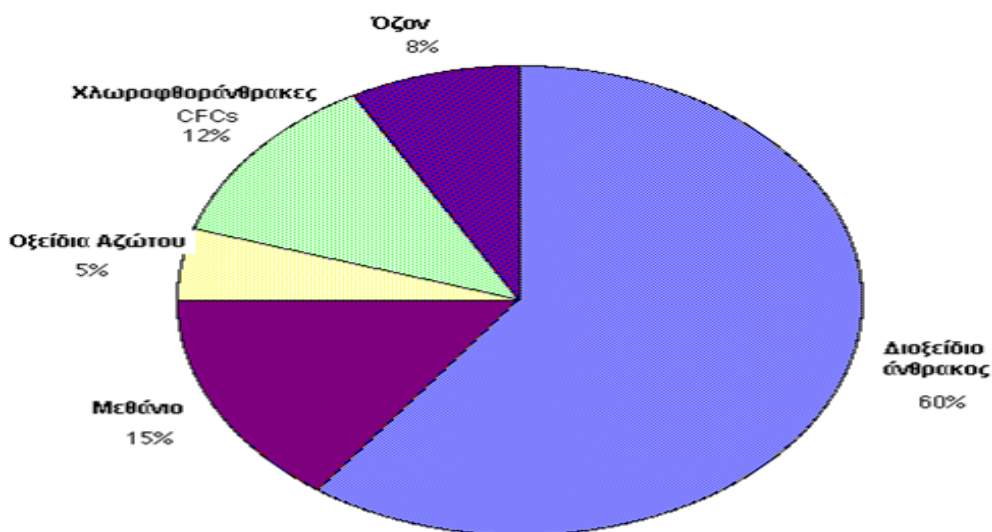
Global trends in major long-lived greenhouse gases through the year 2002. These five gases account for about 97% of the direct climate forcing by long-lived greenhouse gas increases since 1750. The remaining 3% is contributed by an assortment of 10 minor halogen gases, mainly HCFC-22, CFC-113 and CCl_4 .

Σχημα 5

Μεταβολή της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2003

Στα Σχήματα 5 και 6 φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου συναρτήσει του χρόνου καθώς και η συμμετοχή των αερίων του θερμοκηπίου που έχουν ανθρώπινη προέλευση που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρατηρούμε ότι το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς από το 1980 και ύστερα φτάνοντας το 2003 σε 370 ppm (parts per million) συγκέντρωση ανησυχητικά υψηλή αν αναλογιστούμε ότι το διοξείδιο του άνθρακα τα προηγούμενα 800.000 χρόνια ήταν 180-300 ppm. Σε ανάλογη αύξηση συγκέντρωσης παρατηρείται και στο μεθάνιο CH_4 αλλά και στο υποξείδιο του αζώτου N_2O με 1750 ppm και 320 ppm αντίστοιχα.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

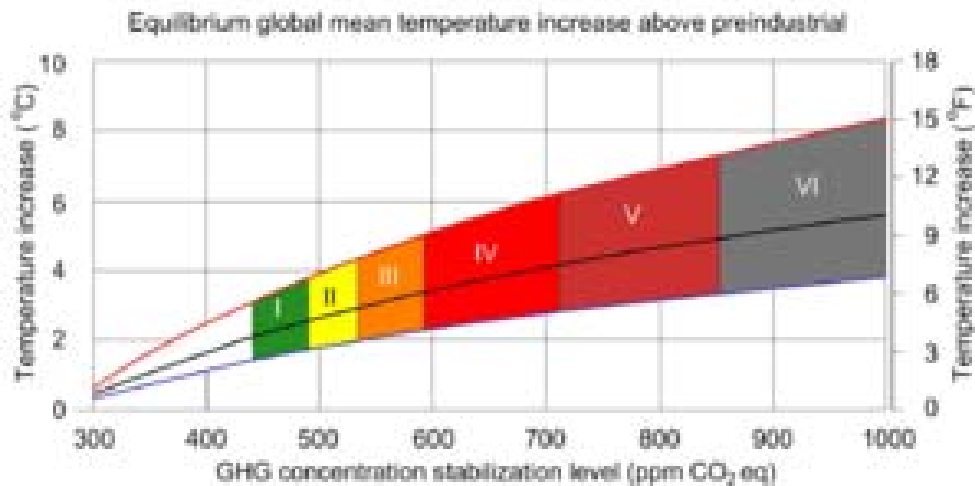


Σχήμα 6

Διάγραμμα που φαίνεται η συμμετοχή των αερίων του θερμοκηπίου με ανθρωπογενή προέλευση στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Στο ακριβώς παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι από τα αέρια του θερμοκηπίου με ανθρωπογενή προέλευση το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο στην υπερθέρμανση του πλανήτη με ποσοστό 60% και ακολουθούν το μεθάνιο (CH_4) και οι χλωροφθοράνθρακες CFC με 15% και 12% αντίστοιχα. Ο εμπλουτισμός λοιπόν της ατμόσφαιρας με αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ή το μεθάνιο (CH_4), έχουν ως αποτέλεσμα την θέρμανση του πλανήτη, εφόσον δεν συνοδεύονται από άλλες μεταβολές στην ατμόσφαιρα. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας (διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμοί, χλωροφθοράνθρακες, όζον κλπ.), συνεισφέροντας με 450 εκατομμύρια τόνους μεθανίου κάθε χρόνο (6). Οι συγκεντρώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο έχουν αυξηθεί από το 1750 κατά 31% και 149% αντίστοιχα, ενώ βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα των τελευταίων 650.000 ετών. Εκτιμάται ότι τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποδάσωσης.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας για διαφορετικές εκτιμήσεις των μελλοντικών επιπέδων συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου (έγχρωμες ζώνες). Η καμπύλη μαύρου χρώματος αντιστοιχεί στην μέση εκτίμηση.



Σχήμα 7

Διάγραμμα της προβλεπόμενης αύξησης της θερμοκρασίας για διαφορετικά μελλοντικά επίπεδα συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου (greenhouse gas)

Προβλέψεις για μελλοντικές κλιματικές συνθήκες βασίζονται σε υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα προσομοίωσης και την υιοθέτηση διαφορετικών εκτιμήσεων για το μέλλον, σε ότι αφορά τα επίπεδα εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Προβλέπεται θέρμανση του πλανήτη κατά 0.2°C ανά δεκαετία, για ένα ευρύ φάσμα των διαφορετικών σεναρίων, ενώ υποθέτοντας πως τα επίπεδα συγκέντρωσης αέρια του θερμοκηπίου παραμένουν σε εκείνα του 2000, αναμένεται επίσης αύξηση, κατά 0.1°C ανά δεκαετία σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) (7). Η εμπιστοσύνη σε τέτοιου τύπου προβλέψεις είναι αυξημένη με βάση τη συμφωνία παλαιότερων προβλέψεων με τις παρατηρούμενες τελικά συνθήκες. Προβλέπεται τέλος ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα είναι σύμφωνα με την πλέον συντηρητική εκτίμηση 18-38 cm ή 26-59 cm σύμφωνα με το πλέον απαισιόδοξο σενάριο για τα μελλοντικά επίπεδα εκπομπής.

Υδρατμοί (H₂O)

Το κυριότερο αέριο της φυσικής διαδικασίας του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H₂O), οι οποίοι ευθύνονται για περίπου τα δύο τρίτα του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην ατμόσφαιρα, τα μόρια του νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και έπειτα την εκπέμπουν εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της γης πριν επιστρέψουν τελικά στο διάστημα. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας αποτελούν τμήμα του υδρολογικού κύκλου, ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας του νερού –το οποίο είναι διαθέσιμο σε πεπερασμένες ποσότητες στη γη- από τους ωκεανούς και το έδαφος στην ατμόσφαιρα

και από εκεί πίσω στο έδαφος μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής, της συμπύκνωσης και της κατακρήμνισης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

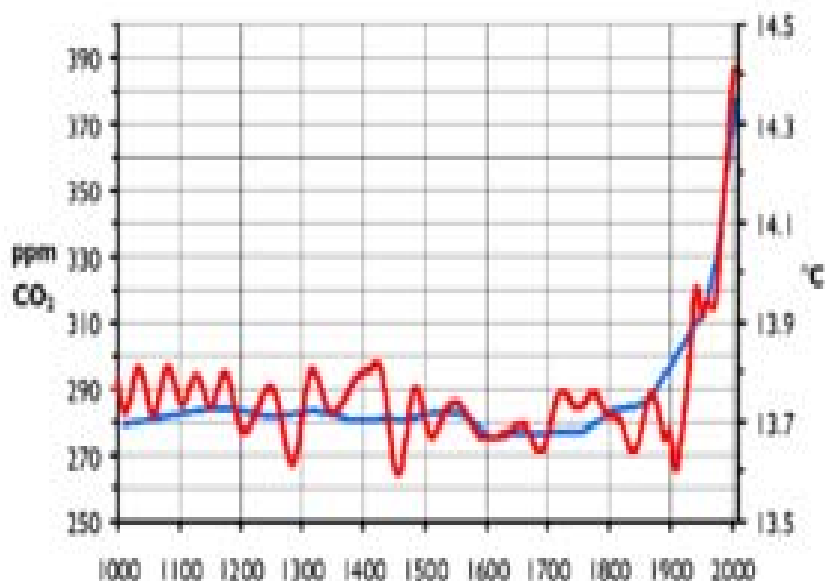
Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν ζεστή την ατμόσφαιρά μας. Τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια πριν, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ήταν πολύ υψηλότερη σε σχέση με σήμερα (80% σε σχέση με τη συγκέντρωση του 0,03 % που παρατηρείται σήμερα). Όμως, μέσω της φωτοσύνθεσης το ποσοστό της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του χρόνου ελαττώθηκε κατά πολύ. Όλη αυτή η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα εγκλωβίστηκε μέσα σε οργανισμούς, που στη συνέχεια σχημάτισαν ορυκτά, όπως οι γαϊάνθρακες και το πετρέλαιο, στο στερεό φλοιό της γης.

Κατά τη διάρκεια του φυσικού κύκλου του διοξειδίου του άνθρακα, η ποσότητα CO₂ στην ατμόσφαιρά διατηρείται σε ισορροπία. Μέσω της αναπνοής και της αποσύνθεσης των φυτών αλλά και των ηφαιστειακών εκρήξεων, απελευθερώνεται φυσικό CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπου παραμένει για 100 περίπου χρόνια. Απομακρύνεται πάλι από την ατμόσφαιρα, μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών και μέσω της διάλυσης του στο νερό (για παράδειγμα, στους ωκεανούς). Η ποσότητα του φυσικά παραγόμενου CO₂ εξισορροπείται σχεδόν απόλυτα από την ποσότητα που αφαιρείται με φυσικό τρόπο. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όμως, έχουν επίδραση σε αυτό το ισοζύγιο, και είναι αυτές που σε μεγάλο βαθμό ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Δεδομένα δείχνουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προσθέσει στην ατμόσφαιρα 2.3 τρισεκατομμύρια τόνους CO₂ τα τελευταία 200 χρόνια. Η μεγαλύτερη απόλυτη αύξηση στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάστηκε το 2004, όταν μόνο από την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων προστέθηκαν στην ατμόσφαιρα πάνω από 28 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα **(8)**. Ευθύνεται παγκοσμίως για τουλάχιστον 69% του ενισχυμένου φαινόμενο των αερίων του θερμοκηπίου. 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) **(9)**.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂ τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε σύγκριση με τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά). Παρατηρούμε ότι από το 1900 και ύστερα έχουμε μια σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ και από εκεί που είχαμε το 1990 μια συγκέντρωση γύρω στα 300 ppm έχουμε φτάσει

το 2000 να μιλάμε για μία συγκέντρωση της τάξης των 380 ppm με συνεχή αυξητική τάση για το μέλλον. Εξίσου ανάλογη όπως φαίνεται είναι και η διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας το οποίο έχει αναφερθεί και παραπάνω.



Σχήμα 8

Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂ σε σύγκριση με την διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας

Η ευθύνη βέβαια για τις τόσες μεγάλες συγκεντρώσεις CO₂ βαρύνει τα ανεπτυγμένα κράτη αφού το 1999, 7 έθνη (Καναδάς, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ιαπωνία, ΗΠΑ και Ρωσία) ευθύνονταν για σχεδόν το 50% των παγκοσμίων εκπομπών CO₂. Ειδικότερα οι ΗΠΑ ευθύνονται για το 24.7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, η Γαλλία για το 1.8%, η Ιταλία για το 2.0%, η Γερμανία για το 3.7%, η Μ. Βρετανία για το 2% **(10)**. Τέλος όσον αφορά την Ελλάδα το 0,4 των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ αντιστοιχεί σε αυτήν. Κάθε κάτοικος της Ελλάδας, όμως, παράγει περίπου 9 τόνους CO₂ κάθε χρόνο, σχεδόν 10% πιο πάνω από τον μέσο ευρωπαϊκό όρο **(11)**.

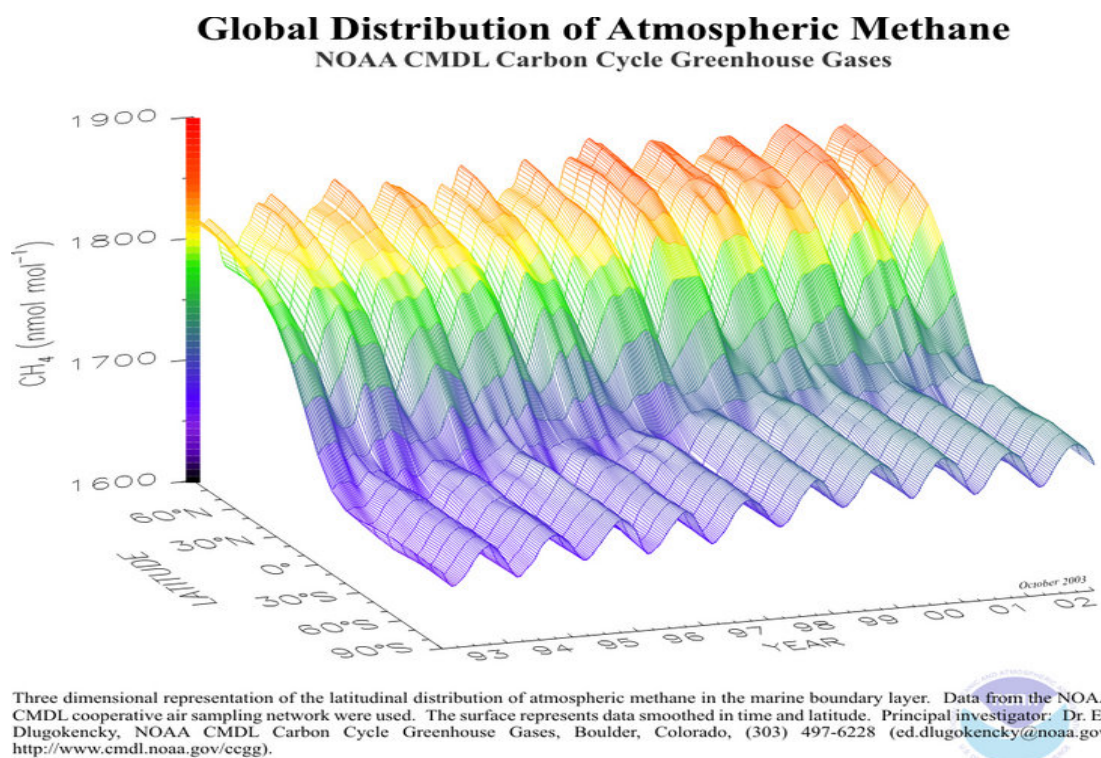
Μεθάνιο (CH₄)

Το δεύτερο σημαντικότερο αέριο μετά το CO₂ για το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο (CH₄). Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης οι συγκεντρώσεις του μεθανίου έχουν διπλασιαστεί και συμβάλλουν κατά περίπου 20% στην ενίσχυση των αερίων του θερμοκηπίου.

Στις βιομηχανικές χώρες το μεθάνιο αποτελεί το 15% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το ποσοστό του μεθανίου στην ατμόσφαιρα το 2005 ήταν (1774 ppb) υπερβαίνει κατά πολύ το φυσικό όριο των τελευταίων 650.000 ετών (320 - 790 ppb)

(12). Το μεθάνιο συντίθεται κατά κύριο λόγο, από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες ελλείψει οξυγόνου. Συνεπώς, εκπέμπεται από διάφορες φυσικές πηγές και από πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, με κυριότερες τις ανθρωπογενείς εκπομπές. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν υγρότοπους και ωκεανούς. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν την εξόρυξη και την καύση ορυκτών καυσίμων, την κτηνοτροφία (τα βοοειδή καταναλώνουν φυτά, τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα και τα οποία εκπέμπουν μεθάνιο μέσω της εκπνοής και των περιττωμάτων τους), τις ρυζοκαλλιέργειες (οι ορυζώνες παράγουν μεθάνιο καθώς οι οργανικές ύλες του εδάφους αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο) και τους χώρους ταφής (κι εδώ τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο). Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυριότερη πηγή αύξησης του μεθανίου είναι πιθανότατα ο συνδυασμός των ανθρώπινων γεωργικών δραστηριοτήτων με τη χρήση ορυκτών καυσίμων σύμφωνα με την τέταρτη Έκθεση (Fourth Assessment Report) αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Ομάδας Ειδικών για την εξέλιξη του Κλίματος (IPCC) που ολοκληρώθηκε το 2007 (13).

Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του μεθανίου σε σχέση με τον χρόνο και το γεωγραφικό πλάτος μέχρι και το έτος 2003. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση είναι υψηλότερη στο βόρειο ημισφαίριο δεδομένου ότι οι περισσότερες πηγές (φυσικές και ανθρώπινες) είναι μεγαλύτερες.

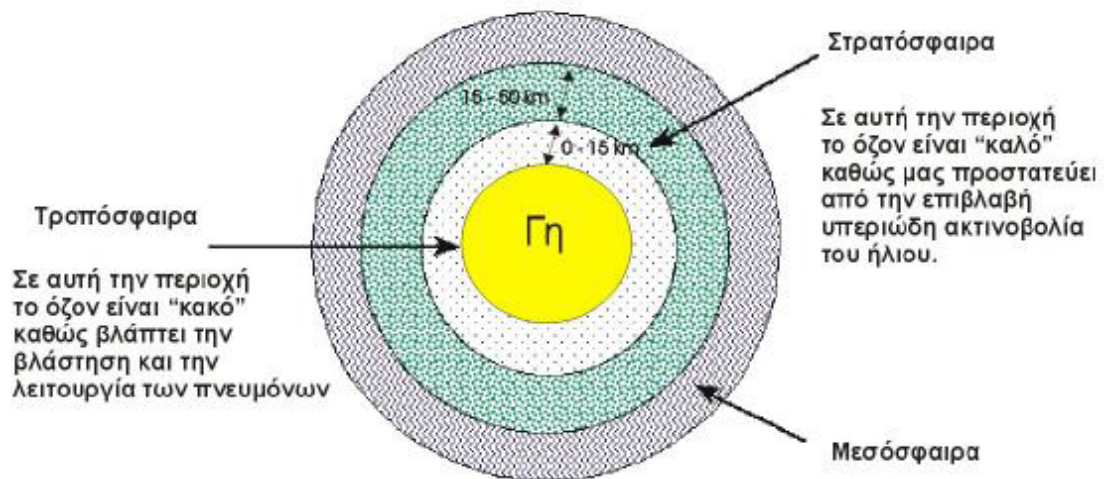


Σχήμα 9

Διάγραμμα συγκέντρωσης CH₄ συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους (latitude) και του χρόνου

Όζον και φωτοχημικό νέφος (O₃)

Το φωτοχημικό νέφος σχηματίζεται όταν συνυπάρχουν στην ατμόσφαιρα υδρογονάνθρακες ή γενικότερα πτητικές οργανικές χημικές ενώσεις, οξειδία του αζώτου, άπλετο ηλιακό φως, υψηλές θερμοκρασίες και μικρή σχετική υγρασία (14). Αυτό συμβαίνει κυρίως στην ατμόσφαιρα των αστικών περιοχών, αφού ένα μεγάλο ποσοστό των υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου έχει τις ίδιες πηγές, τα αυτοκίνητα. Η έκθεση μείγματος αέρα που περιέχει υδρογονάνθρακες και οξειδία του αζώτου σε έντονη ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί αρχικά στην οξείδωση των υδρογονανθράκων, στη συνέχεια στην οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου (NO) σε διοξείδιο (NO₂) και τελικά στο σχηματισμό του όζοντος (O₃).



Όζον στην Ατμόσφαιρα της Γης

Σχήμα 10

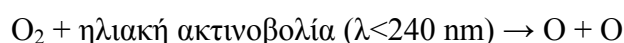
Όζον στην ατμόσφαιρα της Γης

Το όζον δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα σχηματίζεται από τους φωτοχημικούς μετασχηματισμούς των πτητικών οργανικών χημικών ενώσεων και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) παρουσία άπλετου ηλιακού φωτός (το τροποσφαιρικό όζον), ενώ στη στρατόσφαιρα από τη φωτόλυση του μοριακού οξυγόνου (O₂), μέσω της έντονης και δραστηκής υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) (15). Το κατώτερο στρώμα της στρατόσφαιρας βρίσκεται σε ύψος 8 ως 17 χλμ. και το ανώτερο σε ύψος 50 ως 55 χλμ. Μέχρι το ύψος των 35Km η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και κατόπι αρχίζει και αυξάνεται σημαντικά μέχρι το ύψος των 50km όπου φτάνει στους 0°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα

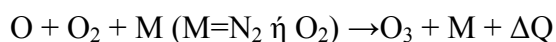
οφείλεται στο όζον. Είναι πολύ φτωχή σε υδρατμούς, γι αυτό και δεν παρατηρούνται σ' αυτήν σχηματισμοί νεφών, ούτε άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα (16). Στο Σχήμα 10 φαίνεται το όζον σε διάφορα ύψη πάνω από την επιφάνεια της Γης.

Στρατοσφαιρικό Όζον

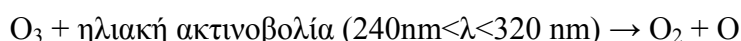
Το στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος δημιουργήθηκε πριν από περίπου 3 δισεκατομμύρια χρόνια, μέσω διαδικασίας φωτοσύνθεσης, με βάση το οξυγόνο της ατμόσφαιρας το οποίο φωτολύεται από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda < 240$ nm (το O_2 απορροφά την ακτινοβολία με $\lambda < 240$ nm). Τούτο οδηγεί στη δημιουργία ατόμων οξυγόνου σύμφωνα με την αντίδραση :



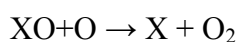
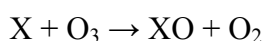
Η διαδικασία αυτή θα κατέστρεφε μακροχρόνια το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, αλλά έχουμε διατήρηση του ισοζυγίου του οξυγόνου, διότι τούτο παραγόμενο στην επιφάνεια της γης από την βιόσφαιρα (χλωρίδα και πανίδα) διαχέεται, εντός δεκαετίας, κατακόρυφα προς τα επάνω. Ακολούθως, τα άτομα του οξυγόνου επανασυνδέονται με μόρια οξυγόνου και παράγουν μόρια όζοντος μέσω της εξώθερμης αντίδρασης:



Τα μόρια του όζοντος ακολούθως απορροφούν την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία με $\lambda < 320$ nm, και καταστρέφονται, οπότε έχουμε :



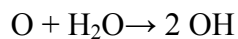
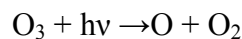
Επομένως, έχουμε διατήρηση (ισοζύγιο) στην παρουσία ατομικού οξυγόνου και όζοντος στην περιοχή από 20-80 χλμ. ύψος. Η εκπομπή ποσοτήτων θερμότητας ΔQ λοιπόν είναι υπεύθυνη για την θέρμανση της στρατόσφαιρας, όπως προαναφέρθηκε. Επιπλέον υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί που ευθύνονται για την καταλυτική καταστροφή του όζοντος στη στρατόσφαιρα. Τα αέρια που παίζουν το ρόλο καταλύτη, είναι σε ατομική μορφή: χλώριο (Cl), βρώμιο (Br), φθόριο (F), και το ιώδιο (I), προερχόμενα από την φωτοδιάσπαση των αντιστοιχών οξειδίων BrO, ClO, FO, και IO, τα οποία με τη σειρά τους προέρχονται από τη φωτοδιάσπαση στη στρατόσφαιρα των αερίων CFC-11 (CCl_3F), CFC-12 (CCl_2F_2), HCl, ClONO₂, Halons (Halon-1211, δηλ. CBrClF₂), βρωμιούχο μεθύλιο (CH_3Br), τετραχλωράνθρακας (CCl_4), κλπ. Η αντίστοιχη αντίδραση με $X = Cl, Br, F, \text{ ή } I$ είναι :



Η μείωση λοιπόν του στρατοσφαιρικού όζοντος (γνωστή και σαν ‘τρύπα του όζοντος’) οφείλεται, όπως προείπαμε, στις παραπάνω αντιδράσεις κατά τις οποίες φωτοδιασπώνται χλωριούχες, βρωμιούχες και φθοριούχες ενώσεις σε συνθήκες πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (-80°C έως -90°C) και με την παρουσία πολικών στρατοσφαιρικών νεφών (Polar Stratospheric Clouds: PSCs), οδηγούν στην απότομη καταλυτική καταστροφή του όζοντος. Αξίζει, να σημειωθεί ότι ο χρόνος ζωής των αερίων που καταστρέφουν καταλυτικά το O₃ κυμαίνεται από μερικά χρόνια (HCFCs) σε 100 χρόνια (CFC-12), επομένως, το πρόβλημα της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος (εμφάνιση λοιπόν της «τρύπας του όζοντος») θα ταλανίζει την ανθρωπότητα για τουλάχιστον μερικές δεκάδες χρόνια ακόμα (17).

Τροποσφαιρικό Όζον

Το όζον της τροπόσφαιρας έχει δύο πηγές προέλευσης: την φωτοχημική παραγωγή στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα. Το όζον επίσης παίζει σημαντικότερο ρόλο στη φωτοχημεία της τροπόσφαιρας, καθ’όσον είναι η βασική πηγή των OH[•] στην ατμόσφαιρα :

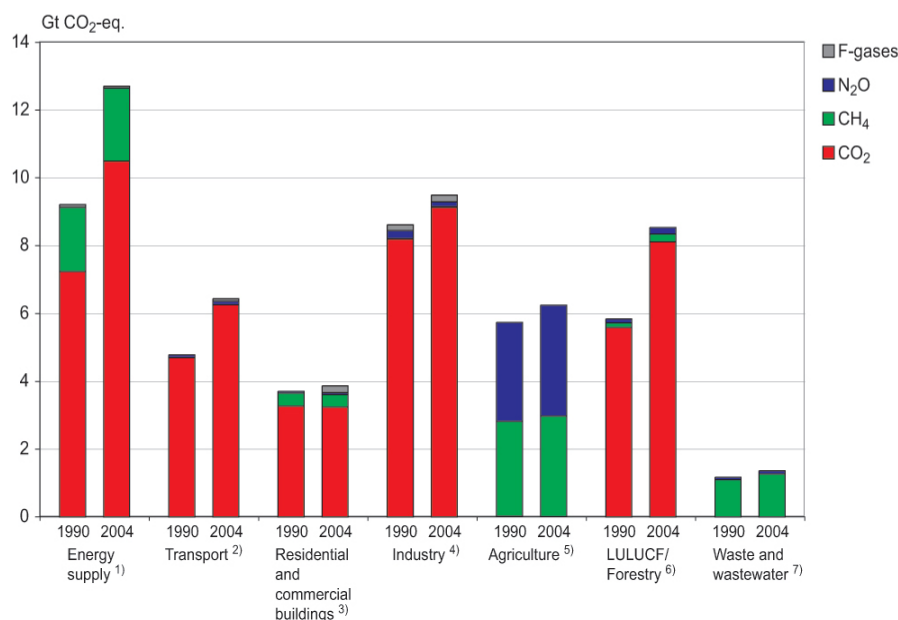


Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μέχρι περίπου και τα τέλη της δεκαετίας του ‘70 η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι το όζον στην τροπόσφαιρα είναι ένα αδρανές αέριο που δεν αντιδρά με άλλα στοιχεία και ότι προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από την κατώτερη στρατόσφαιρα (από διεισδύσεις στρατοσφαιρικού όζοντος στην τροπόσφαιρα) και καταστρέφεται στο έδαφος. Ήταν στα τέλη της δεκαετίας του ‘70 και ‘80 που τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της φωτοχημικής παραγωγής του τροποσφαιρικού όζοντος. Το έναυσμα δόθηκε από την προσπάθεια για την εξήγηση του φωτοχημικού νέφους του Λος Άντζελες στην δεκαετία του ‘60 από όπου διαπιστώθηκε ότι το φωτοχημικό νέφος (ή ρύπανση του όζοντος) δημιουργείται από μία πολύπλοκη σειρά χημικών αντιδράσεων που περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου από βιομηχανικές πηγές και αυτοκίνητα υπό την δράση του ηλιακού φωτός. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει κατά την διάρκεια της ημέρας, η ηλιακή ενέργεια επιταχύνει αυτές τις χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας όζοντος που παράγεται. Αντίστροφα, όταν η θερμοκρασία μειώνεται οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνουν και το φωτοχημικό νέφος σπάνια δημιουργείται (18). Η παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος είναι λοιπόν ένα φαινόμενο που ευνοείται κατά την διάρκεια της ημέρας και των θερμών μηνών του έτους (τέλη ανοιξέως και καλοκαίρι).

Υποξείδιο του αζώτου ή Νιτρώδες οξείδιο (N₂O)

Το υποξείδιο του αζώτου απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα δάση, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν τα αζωτούχα λιπάσματα, την καύση των ορυκτών καυσίμων και τη βιομηχανική χημική παραγωγή με χρήση αζώτου όπως είναι η επεξεργασία λυμάτων. Η γεωργία βέβαια είναι η κύρια πηγή του ανθρώπινου παραχθέντος νιτρώδους οξειδίου: καλλιεργώντας το χώμα, η χρήση των λιπασμάτων αζώτου, και ο χειρισμός ζωικών αποβλήτων μπορούν όλα να υποκινήσουν τα φυσικά βακτηρίδια για να παραγάγουν περισσότερο νιτρώδες οξείδιο. Ο τομέας του ζωικού κεφαλαίου (πρώτιστα αγελάδες, κοτόπουλα, και χοίροι) παράγει το 65% του ανθρώπινου νιτρώδους οξειδίου (**19**). Το νιτρώδες οξείδιο λοιπόν, σε αντίθεση από τα άλλα οξείδια (εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα), είναι ένα σημαντικό αέριο θερμοκηπίου. Οι βιομηχανικές πηγές αποτελούν μόνο το 20% όλων των ανθρωπογενών πηγών, και περιλαμβάνουν την παραγωγή του νάυλον και νιτρικού οξέος, και το κάψιμο του ορυκτού καυσίμου στις εσωτερικές μηχανές.

1.3A



Σχήμα 11

Διάγραμμα ποσοστού συγκέντρωσης ανθρωπογενών αερίων θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες

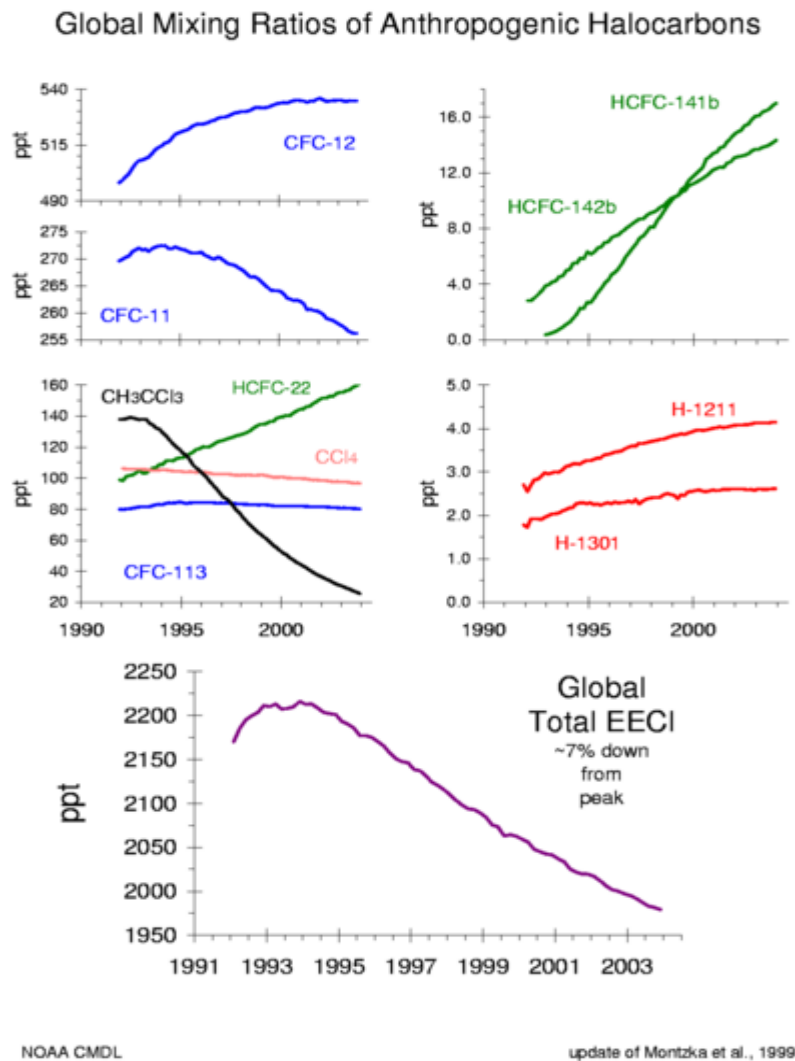
Στο Σχήμα 11 φαίνεται το ποσοστό της συγκέντρωσης του ανθρωπογενούς νιτρώδους οξειδίου (N_2O) που συμβάλλει στην κλιμάκωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παρατηρούμε όπως και ειπώθηκε παραπάνω ότι η γεωργία συντελεί κατά κύριο λόγο στην εκπομπή N_2O . Μάλιστα είχαμε και μια μικρή αύξηση στο ποσοστό του N_2O από το 1990 μέχρι το 2004. Η βιομηχανία και η δασοκομία συμβάλλουν σε πολύ μικρότερο βαθμό στην εκπομπή νιτρώδους οξειδίου όπως φαίνεται και από το Σχήμα.

Ενώ η επίδραση της θέρμανσης της ακτινοβολίας του είναι ουσιαστικά λιγότερη από εκείνη του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), η εμμονή του νιτρώδους οξειδίου στην ατμόσφαιρα, όταν εξετάζεται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 100 ετών, ανά μονάδα βάρους του, ασκεί 296 φορές περισσότερη επίδραση στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου από αυτή ανά μαζική μονάδα του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) **(20)**. Παρά τη σχετικά μικρή συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα, το νιτρώδες οξείδιο είναι το τέταρτο μεγαλύτερο αέριο θερμοκηπίου για την συνεισφορά του στη γενική παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, πίσω από το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και τους υδρατμούς. Εκτιμάται ότι από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης οι συγκεντρώσεις του υποξειδίου του αζώτου έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16% και συμβάλλουν κατά 5% με 8% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο απολογισμός της ανθρώπινης δραστηριότητας που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή του οξειδίου του αζώτου είναι λίγο μικρότερη από 2 teragrams το χρόνο, σε αντίθεση με τη φύση που είναι πάνω από 15 teragrams **(21)**.

Φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου

Λέγοντας φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου εννοούμε τους υδροφθοράνθρακες HFC, τους πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC και το εξαφθοριούχο θείο SF_6 . Είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, αλλά έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Το μερίδιό τους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις βιομηχανικές χώρες είναι περίπου 1,5%. Όμως είναι εξαιρετικά ισχυρά και μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για αρκετές χιλιάδες χρόνια. Οι υδροφθοράνθρακες (HFC) δεν περιέχουν κανένα χλώριο. Αποτελούνται εξ ολοκλήρου από τον άνθρακα, το υδρογόνο, και το φθόριο και εξαιτίας της απουσίας χλωρίου ή βρωμίου δεν έχουν κανένα γνωστό αποτέλεσμα στο στρώμα του όζοντος. Χρησιμοποιούνται συνήθως για τη ψύξη και την κατάψυξη συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων κλιματισμού. Μόνο οι ενώσεις που περιέχουν το χλώριο και το βρώμιο θεωρούνται ικανές για να βλάψουν το στρώμα όζοντος **(22)**. Εντούτοις, οι υδροφθοράνθρακες (HFC) και οι πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες (Perfluorocarbons) PFC που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου και χρησιμοποιούνται στην

ηλεκτρονική βιομηχανία, αναπτύσσουν δραστηριότητα από μια διαφορετική σφαίρα των αερίων θερμοκηπίων, που δεν καταστρέφουν το όζον, αλλά προκαλούν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ο Allan Thornton, President of Environmental Investigation Agency, και περιβαλλοντολόγος λέει ότι οι υδροφθοράνθρακες (HFC) είναι μέχρι 12.500 φορές τόσο ισχυρές από όσο το διοξείδιο του άνθρακα στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Σχήμα 12

Διαγράμματα συγκέντρωσης διαφόρων ανθρωπογεννητικών αλογονανθράκων συναρτήσει του χρόνου

Αδιαμφισβήτητα, τα γνωστότερα από αυτά τα αέρια είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) τα οποία δεν είναι μόνο φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου αλλά καταστρέφουν συνάμα και το στρώμα του όζοντος. Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 η χρήση των CFC έχει ρυθμιστεί λόγω των καταστρεπτικών

αποτελεσμάτων τους στο στρώμα όζοντος. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και διάφορες ευρωπαϊκές χώρες απαγόρευσαν τη χρήση των CFC στα δοχεία ψεκασμού αερολύματος το 1978, αλλά συνέχισαν να τους χρησιμοποιούν στην ψύξη, ως διαλύτη για τον καθαρισμό ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Η διεθνής προσοχή στα CFC οδήγησε σε μια συνεδρίαση των παγκόσμιων διπλωματών στο Μόντρεαλ το 1987. Δημιούργησαν μια συνθήκη, το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το οποίο απαίτησε τις δραστικές μειώσεις της παραγωγής των CFC.

Στις 2 Μαρτίου 1989, τα 12 έθνη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας συμφώνησαν να απαγορεύσουν την παραγωγή όλων των CFC μέχρι το τέλος του αιώνα. Το 1990, οι διπλωμάτες συναντήθηκαν στο Λονδίνο και ψήφισαν να ενισχύσουν σημαντικά το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ με την απαίτηση μιας πλήρους αποβολής των CFC μέχρι το έτος 2000. Μέχρι το έτος 2010 τα CFC πρέπει να αποβληθούν πλήρως από τις αναπτυσσόμενες χώρες επίσης. Στο Σχήμα 12 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις διαφόρων κατασκευασμένων από τον άνθρωπο αλογονανθράκων συναρτήσει του χρόνου. Παρατηρούμε ότι στο τελευταίο διάγραμμα η συνολική συγκέντρωση των αλογονανθράκων έχει μειωθεί 7% από το 1992 έως το 2003.

1.3.3 Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου

Τα συγκλονιστικά πορίσματα της επιστημονικής συνόδου στο Παρίσι για τις κλιματικές αλλαγές που δημοσιεύτηκαν τον Φεβρουάριο του 2007 επιβεβαιώνουν το πρόβλημα: Οι κλιματικές αλλαγές θα έχουν καταστροφικές επιπτώσεις για τον πλανήτη και την ανθρωπότητα αν δεν αναλάβουμε δράση τώρα. Η τελευταία έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), η οποία δημοσιεύτηκε στις 2 Φεβρουαρίου στο Παρίσι, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι αν δε μειωθούν δραματικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η μέση πλανητική θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά 1,1°C – 6,4°C έως το 2095 σε σχέση με τα επίπεδα της περιόδου 1980-1999. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας αναμένεται να προκαλέσει περισσότερους καύσωνες, ξηρασίες και πλημμύρες, όπως επίσης ισχυρότερους τυφώνες, λιώσιμο των πάγων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

Τα κυριότερα ευρήματα της έκθεσης είναι τα εξής: **(23)**

- Οι κλιματικές αλλαγές αποδίδονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες με ποσοστό βεβαιότητας 90%, πολύ υψηλότερο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά της προηγούμενης έκθεσης.

- Αυξάνεται η λεγόμενη ‘κλιματική ευαισθησία’, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο το κλίμα θα αντιδράσει στον διπλασιασμό της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η προηγούμενη εκτίμηση για αύξηση της θερμοκρασίας σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα έκανε λόγο για 2,5°C, ενώ η τελευταία κάνει λόγο για 3°C.

- Επιβεβαιώνεται ότι η μέση πλανητική θερμοκρασία θα αυξηθεί από 1,1°C – 6,4°C έως το 2095, αν δε μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

- Η ένταση των τροπικών καταιγίδων είναι πιθανόν να αυξηθεί. Το εύρημα αυτό δεν υπήρχε στην προηγούμενη Έκθεση της IPCC.

- Ενδεχόμενη αύξηση της τάξης του 1,9 – 4,6°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα θα προκαλέσει την εξαφάνιση των ανώτερων στρωμάτων πάγων της Γροιλανδίας, αν αυτή η υπερθέρμανση διατηρηθεί για τα επόμενα χίλια χρόνια. Αυτό θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας από 6 έως 7 μέτρα.

Αναφορικά με αυτήν την έκθεση αξίζει να σημειωθεί ότι είναι η τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (*Fourth Assessment Report, AR4*, ή *Climate Change 2007*) και είναι η τελευταία αξιολόγηση της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή και η οποία ολοκληρώθηκε το 2007. Αποτελείται από τρεις τόμους που περιλαμβάνουν τα πορίσματα ισάριθμων ομάδων εργασίας, καθώς και από μία αναφορά που συνθέτει τα συμπεράσματα των αξιολογητικών εκθέσεων. Οι ομάδες εργασίας είναι οι εξής:

- 1η Ομάδα εργασίας (WGI): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Περιέχει τα επιστημονικά δεδομένα της κλιματικής αλλαγής και σύνδεση της με ανθρώπινες δραστηριότητες.
- 2η Ομάδα Εργασίας (WGII): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Περιγράφει τις επιπτώσεις που αναμένεται ότι θα σημειωθούν στο φυσικό περιβάλλον και τις ανθρώπινες κοινωνίες, εκτιμώντας επίσης σε ποιο βαθμό τα μέτρα πρόληψης και προσαρμογής θα καταφέρουν να τις μειώσουν.
- 3η Ομάδα Εργασίας (WGIII): *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Εξετάζεται η δυνατότητα πρόληψης καταστροφών και μετριασμού του φαινομένου της υπερθέρμανσης, με εκτίμηση του σχετικού οικονομικού κόστους τους.

Κάθε τμήμα της έκθεσης περιλαμβάνει επίσης μία συνοπτική έκδοση (*Summary for Policymakers*). Η τέταρτη αξιολόγηση της IPCC επιβεβαίωσε τις κυριότερες διαπιστώσεις της τρίτης έκθεσης (TAR) του 2001, στις οποίες προστέθηκαν νέες γνώσεις που προήλθαν από νέες παρατηρήσεις και βελτιωμένα κλιματικά μοντέλα. Η τέταρτη έκθεση της ομάδας επισήμανε αρκετές παρατηρούμενες αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες της Γης, μεταξύ των οποίων αλλαγές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας, στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία και στις συνθήκες των ωκεανών.

Όσον αφορά την ατμοσφαιρική σύνθεση οι κυριότερες διαπιστώσεις της εκ των οποίων κάποιες έχουν αναφερθεί, είναι:

- 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) **(24)**.
- Το ποσοστό του μεθανίου στην ατμόσφαιρα το 2005 (1774 ppb) υπερβαίνει κατά πολύ το φυσικό όριο των τελευταίων 650.000 ετών (320 - 790 ppb) **(25)**.
- Η κυριότερη πηγή αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων **(26)**.
- Η κυριότερη πηγή αύξησης του μεθανίου είναι πιθανότατα ο συνδυασμός των ανθρώπινων γεωργικών δραστηριοτήτων με τη χρήση ορυκτών καυσίμων **(27)**.
- Η συγκέντρωση του οξειδίου του αζώτου αυξήθηκε από την τιμή των 270 ppb κατά την προ της βιομηχανικής εποχή στην τιμή των 319 ppb του 2005. Ποσοστό μεγαλύτερο του ενός τρίτου της αύξησης οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και κυρίως στη γεωργία **(28)**.

Όσον αφορά την θέρμανση του πλανήτη τα τελευταία πενήντα χρόνια έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες αλλαγές στις ακραίες θερμοκρασίες, με πιο συχνές θερμές νύχτες και ημέρες ή φαινόμενα καύσωνα και σπανιότερα κύματα ψύχους. Συγκεκριμένα:

- Κατά την περίοδο 1995-2006 καταγράφηκαν έντεκα από τα δώδεκα θερμότερα έτη από το 1850. Στο διάστημα 1906-2005, υπολογίζεται μία αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 0.74 °C **(29)**.
- Παρατηρήσεις από το 1961 υποδεικνύουν ότι οι ωκεανοί απορροφούν ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της θερμότητας που προστίθεται στο κλιματικό σύστημα και πως οι θερμοκρασίες τους έχουν αυξηθεί σε βάθος τουλάχιστον 3000 μέτρων, παράγοντες που συνεισφέρουν στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας **(30)**.
- Οι μέσες θερμοκρασίες της Αρκτικής έχουν αυξηθεί περίπου δύο φορές περισσότερο σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο ρυθμό αύξησης των τελευταίων 100 ετών **(31)**.
- Κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, οι μέσες θερμοκρασίες στο βόρειο ημισφαίριο ήταν πιθανότατα μεγαλύτερες από οποιαδήποτε άλλη πενηνταετία των τελευταίων 500 χρόνων και πιθανώς οι μεγαλύτερες σε σύγκριση με εκείνες των τελευταίων 1300 ετών **(32)**.
- Την περίοδο 1961-2003, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 1.8mm/έτος (1.3-2.3 mm). Η αντίστοιχη αύξηση για το διάστημα 1993-2003 ήταν 3.1mm/έτος, χωρίς να είναι σαφές αν πρόκειται για μακροχρόνια ροπή ή φυσική διακύμανση **(33)**.

Η 2η Ομάδα Εργασίας περιγράφει τις επιπτώσεις που αναμένεται ότι θα σημειωθούν στο φυσικό περιβάλλον και τις ανθρώπινες κοινωνίες εξαιτίας της

κλιματικής αλλαγής, εκτιμώντας ότι σύμφωνα με ενδείξεις από όλες τις ηπείρους και τους περισσότερους ωκεανούς της Γης, πολλά οικοσυστήματα επηρεάζονται από τοπικές κλιματικές μεταβολές και ειδικότερα από την αύξηση της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τα πορίσματα της, η πρόσφατη αλλαγή του κλίματος έχει ήδη ισχυρές επιδράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, στα οικοσυστήματα, στους υδάτινους πόρους και στις παράκτιες περιοχές. Με βάση παρατηρησιακά δεδομένα από το 1970, θεωρείται πιθανό (>66%) πως η ανθρωπογενής θέρμανση έχει μέχρι σήμερα αισθητή επίδραση σε πολλά φυσικά και βιολογικά συστήματα (34). Εκτιμάται με υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης (>80%) ότι μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα νερού θα αυξηθεί κατά 10-40% στα υψηλότερα υψόμετρα και σε ορισμένες τροπικές περιοχές, ενώ θα μειωθεί κατά 10-30% σε ξηρές περιοχές σε μέσο υψόμετρο. Ο αριθμός των άνδρων περιοχών αναμένεται να αυξηθεί, όπως και ο κίνδυνος πλημμύρων. Η δυνατότητα προσαρμογής πολλών οικοσυστημάτων ενδέχεται να ξεπεραστεί στη διάρκεια του 21ου αιώνα, εξαιτίας του συνδυασμού της κλιματικής αλλαγής και άλλων σχετικών φαινομένων (πλημμύρες, ξηρασίες, κ.λ.π). Περίπου 20-30% της γνωστής χλωρίδας και πανίδας είναι πιθανό να γνωρίσει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης, εφόσον η μέση παγκόσμια θερμοκρασία ξεπεράσει τους 15-25°C. Οι παράκτιες περιοχές αναμένεται να αντιμετωπίσουν αυξημένο κίνδυνο εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ενώ αρκετά εκατομμύρια ανθρώπων εκτιμάται πως θα έρθουν αντιμέτωποι με πλημμύρες μέχρι το 2080 (35).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η κλιματική αλλαγή συμβαίνει και επηρεάζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό τόσο τον άνθρωπο όσο την πανίδα και τα οικοσυστήματα. Στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στις κυριότερες επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου.

ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) όπως αναφέρεται και παραπάνω προβλέπει άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης από 1,4°C έως 5,8°C έως το τέλος του αιώνα. Μια τέτοια αύξηση είναι πιθανό να εντείνει ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, οι τυφώνες, οι καύσωνες. Παρόλο που νέα ακραία καιρικά φαινόμενα συνέβαιναν κάθε χρόνο σε κάποια περιοχή της γης, ο αριθμός αυτών βαίνει με αυξανόμενο ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Η παγκόσμια θέρμανση λόγω ανθρωπογενών αιτιών ήταν ένας βασικός παράγοντας της ξηρασίας στην Αυστραλία το 2002, η οποία θεωρείται ως η χειρότερη που έχει παρατηρηθεί ποτέ. Πόλεις, όπως η Αθήνα, το Σικάγο, το Μιλάνο, το Νέο Δελχί και το Παρίσι έχουν βιώσει τις ολέθριες επιπτώσεις της υπερβολικής ζέστης παρελθόντων καυσώνων. Ο καύσωνας του καλοκαιριού του 2003, που προκάλεσε το θάνατο χιλιάδων ανθρώπων, ήταν ο χειρότερος στην Ευρώπη κατά τα τελευταία 500 τουλάχιστον χρόνια. Υπερ-τυφώνες

του τύπου Mitch και Floyd μπορεί να γίνουν συνηθισμένο φαινόμενο. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, οι πλημμύρες και η ξηρασία εκτιμάται ότι θα απειλήσουν τους πόρους τροφής και νερού σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Κατά συνέπεια, η έλλειψη ζωτικών φυσικών πόρων, αλλά και η εξάπλωση ασθενειών όπως η ελονοσία, αναμένεται να προκαλέσουν περιφερειακές συγκρούσεις, καθώς μεγάλος αριθμός περιβαλλοντικών προσφύγων θα αναγκαστεί να εγκαταλείψει τις εστίες του.

ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει άνοδο του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας μέχρι και κατά 5 χιλιοστά κάθε χρόνο, για τα επόμενα 100 χρόνια. Μετρήσεις αποδεικνύουν ότι η μέση στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει ανέβει περίπου 0,1–0,2 μέτρα κατά τον 20^ο αιώνα. Αν συνεχιστούν οι ίδιοι ρυθμοί, η στάθμη της θάλασσας θα ανέβει σχεδόν 1 μέτρο έως το 2100 (36). Η άνοδος αυτή που είναι αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας της γης απειλεί ολόκληρα νησιωτικά έθνη που βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας στον Ειρηνικό και τον Ινδικό Ωκεανό. Καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες, οι θάλασσες απορροφούν περισσότερη θερμότητα από την ατμόσφαιρα προκαλώντας την επέκταση και άνοδο της στάθμης των νερών τους. Ταυτόχρονα, οι πάγοι της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, καθώς και οι χερσαίοι παγετώνες θα συνεχίσουν να λιώνουν λόγω του θερμότερου κλίματος, και να συνεισφέρουν ακόμα περισσότερο στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

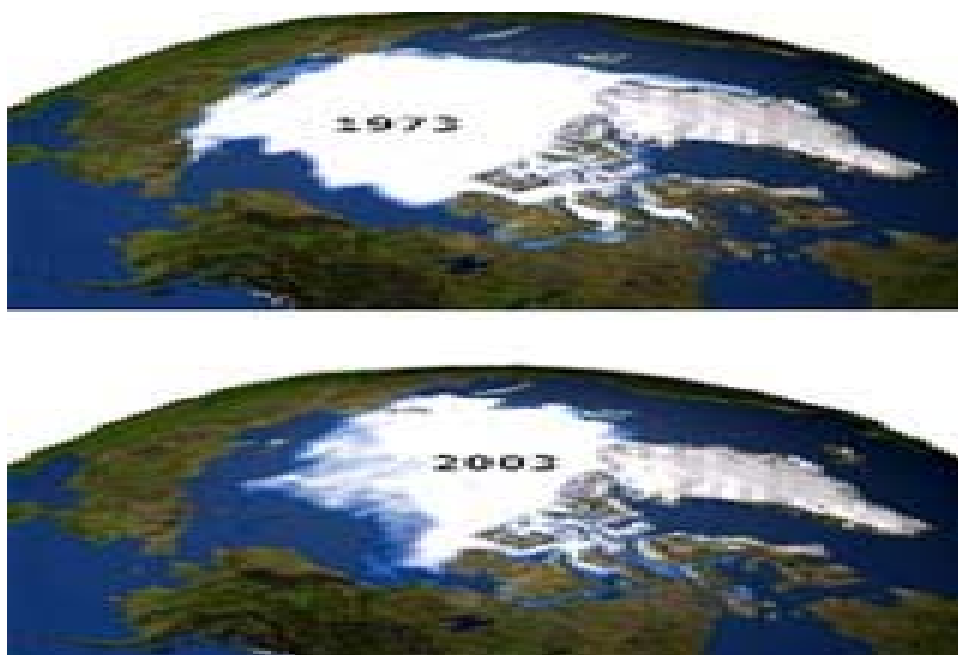
Έως το 2080 το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας μπορεί να αυξηθεί από 9 έως 48 εκ. σύμφωνα με ένα "σενάριο όπου οι εκπομπές διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα" και από 16 έως 69 εκ. σύμφωνα με ένα "σενάριο όπου οι εκπομπές φθάνουν σε υψηλά επίπεδα". Αρκετά λοιπόν νησιωτικά κράτη στον Ειρηνικό Ωκεανό απειλούνται με καθολική εξαφάνιση ενώ αγροτικές και αστικές περιοχές κοντά σε ακτές σε ολόκληρο τον κόσμο θα απειληθούν λόγω της ανόδου της στάθμης των θαλασσών.

Μεσόγειος και Ελλάδα

Σύμφωνα με τις προβλέψεις που παρατίθενται στη μελέτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον Ελλαδικό χώρο (37), ο ρυθμός αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας στη Μεσόγειο εκτιμάται σε 5 εκ./δεκαετία μέχρι το 2100. Αν αυτό το σενάριο επαληθευτεί, τότε μερικές παραθαλάσσιες περιοχές μπορεί να εξαφανιστούν λόγω εισχώρησης της θάλασσας στην ξηρά ή λόγω διάβρωσης του εδάφους. Οι περιοχές της Μεσογείου που αναμένεται να εμφανίσουν το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι το Δέλτα του Νείλου, η Βενετία και η Θεσσαλονίκη.

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ

Οι παγετώνες είναι αρχαίοι ποταμοί συμπιεσμένου χιονιού, οι οποίοι έρπουν στο ανάγλυφο του εδάφους, διαμορφώνοντας την επιφάνεια του πλανήτη. Αποτελούν το μεγαλύτερο απόθεμα γλυκού νερού του πλανήτη, καλύπτοντας συνολικά περιοχή ίση σε έκταση με αυτήν της Νότιας Αμερικής. Η υποχώρηση των παγετώνων άρχισε κατά τη μικρή παγετώδη περίοδο (γύρω στο 1850) και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, οι παγετώνες λιώνουν με ρυθμούς που δεν είναι δυνατό να εξηγηθούν με βάση ιστορικές τάσεις. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι ένα γεγονός που συμβάλει στο λιώσιμο των πάγων.



Σχήμα 13

Τήξη των πάγων στην Αρκτική (φωτογραφία από δορυφόρο)

Σύμφωνα με υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα προσομοίωσης και την υιοθέτηση διαφορετικών εκτιμήσεων για το μέλλον προβλέπεται ότι μια άνοδος της θερμοκρασίας της τάξης των 4°C θα εξαλείψει σχεδόν όλους τους παγετώνες που υπάρχουν στον πλανήτη (38). Για τη Γροιλανδία τα σενάρια είναι ακόμα πιο απαισιόδοξα, καθώς το λιώσιμο των παγετώνων μπορεί να προκληθεί από μια αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 2 έως 3°C. Σύμφωνα ακόμα και με το πιο αισιόδοξο σενάριο (best case scenario) μια άνοδος της τάξης του 1°C μαζί με μια αύξηση των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων θα έχει ως αποτέλεσμα οι παγετώνες να συνεχίσουν να χάνουν όγκο ακόμα και κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα. Παρόλο που μόνο ένα μικρό ποσοστό των μόνιμων παγετώνων βρίσκονται εκτός της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, αυτοί οι παγετώνες είναι εξαιρετικά

σημαντικοί, γιατί είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην κλιματική αλλαγή και η συρρίκνωσή τους επηρεάζει άμεσα τους ανθρώπινους πληθυσμούς και τα οικοσυστήματα. Το συνεχές και γενικευμένο λιώσιμο των παγετώνων κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα θα οδηγήσει σε πλημμύρες, σε ελλείψεις νερού για εκατομμύρια ανθρώπους και, λόγω της ανόδου της στάθμης των θαλασσών, σε καταστροφή πολλών παράκτιων κοινοτήτων και ενδιαιτημάτων (39). Στο σχήμα 13 φαίνεται από δορυφόρο το λιώσιμο των πάγων στο βόρειο ημισφαίριο.

ΥΓΕΙΑ

Η αποσταθεροποίηση του κλίματος μπορεί να επηρεάσει την υγεία με πολλούς τρόπους. Σε ένα θερμότερο κλίμα με έντονα καιρικά φαινόμενα (π.χ. συχνότερα κύματα καύσωνα), αναμένεται να αυξηθούν π.χ. οι καρδιαγγειακές παθήσεις και τα κρούσματα θερμοπληξίας. Ακόμη, η αυξημένη θερμοκρασία ευνοεί την ανάπτυξη και διάδοση μεταδοτικών νόσων όπως η ελονοσία, ο κίτρινος πυρετός και η δυσεντερία. Μια έμμεση επίπτωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η διαθεσιμότητα του νερού, η οποία αναμένεται να ελαττωθεί. Στις φτωχές χώρες, όπου οι συνθήκες υγιεινής δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες, η ελάττωση του διαθέσιμου νερού αναμένεται να εντείνει τα ήδη υπαρκτά προβλήματα, αυξάνοντας τα κρούσματα θανάτων από μολυσμένα νερά.

ΦΥΣΗ ΚΑΙ ΑΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ

Η αλλαγή του κλίματος που οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες μετρά ήδη τα πρώτα της θύματα. Ο χρυσός φρύνος (*Bufo periglenes*) και ο βάτραχος-αρλεκίνος (*Atelopus varius*) στην Κόστα Ρίκα εξαφανίστηκαν λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της γης ενώ περισσότερα από ένα εκατομμύριο φυτικά και ζωικά είδη, πρόκειται να εξαφανιστούν έως το 2050 (40). Τα ζώα και τα φυτά λοιπόν βρίσκονται κάτω από ολοένα και αυξανόμενο κίνδυνο λόγω της αλλαγής του κλίματος. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη φύση και την άγρια πανίδα εμφανίζονται με διάφορους τρόπους όπως είναι η ολοκληρωτική εξαφάνιση του ενδιαιτημάτων συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων οικοσυστημάτων (κοραλλιογενή ύφαλη). Ακόμα και τα οικοσυστήματα που δε θα εξαφανιστούν ολοκληρωτικά, μπορεί να υποστούν σοβαρές και ανεπανόρθωτες αλλαγές. Η θέρμανση επηρεάζει τις κρύες θάλασσες καθώς και τις βιοκοινότητες στους πόλους. Επίσης θα υπάρξει μετακίνηση των βέλτιστων ενδιαιτημάτων σε μεγαλύτερα ύψη ή σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Στις περιοχές όπου δεν υπάρχουν μεγαλύτερα ύψη ή όπου οι αλλαγές γίνονται με ταχύ ρυθμό, ώστε να μην είναι δυνατή η προσαρμογή των οικοσυστημάτων και των ειδών, θα παρουσιαστούν απώλειες σε τοπικό επίπεδο ή εξαφανίσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Άλλες αλλαγές στα οικοσυστήματα μπορεί να είναι προσωρινές, παρόλο που ο διαχωρισμός μεταξύ προσωρινών και μόνιμων αλλαγών είναι δύσκολος. Η ξηρασία είναι ένα καλό παράδειγμα προσωρινών αλλαγών, καθώς η

αύξηση της συχνότητας των περιόδων ξηρασίας έχει μετρήσιμες επιπτώσεις σε πολλά είδη. Ορισμένες από τις πιο έντονες αλλαγές των ενδιδαιτημάτων που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος είναι αυτές που επηρεάζουν τους παγετώνες και τα στρώματα πάγου. Η απώλεια των παγετώνων αλλάζει τη συνολική οικολογία των ενδιδαιτημάτων των ορεινών περιοχών.

1.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

1.4.1 Γενικά

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια, που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής, της σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι :

- Το Διοξείδιο του Θείου (SO_2)
- Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
- Τα Οξειδία του Αζώτου (NO_x)
- Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)
- Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS)
- Το Βενζόλιο (C_6H_6)
- Ο Μόλυβδος (Pb)

1.4.2 Τύποι ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο πρώτος τύπος ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίστηκε είναι αυτός που χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις των χημικών ενώσεων του θείου (κυρίως διοξείδιο του θείου SO_2) και των σωματιδίων που σχηματίζονται από την καύση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, όπως το κάρβουνο. Σε αυτήν την περίπτωση η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν διάφορες θειούχες ενώσεις. Εμφανίζεται σε πόλεις που βρίσκονται σε ψυχρά κλίματα (Λονδίνο, Νέα Υόρκη, Σικάγο) με κυριότερες πηγές την παραγωγή της ηλεκτρικής αλλά και της θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την θέρμανση των κτιρίων (41). Το κλασικό ή συμβατικό νέφος έγινε αντιληπτό στην Αθήνα από μετρήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών το 1969. Στη φάση εκείνη επικρατέστεροι ρύποι ήταν το διοξείδιο του θείου (SO_2) και ο καπνός προερχόμενοι κυρίως από τις κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα.

Μετά την ευρεία χρήση της βενζίνης ως καύσιμο υλικό των μηχανών των αυτοκινήτων εμφανίστηκε από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα ένας νέος τύπος ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα προϊόντα λοιπόν του πετρελαίου θεωρήθηκαν υπεύθυνα για ένα νέο τύπο ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το λεγόμενο φωτοχημικό νέφος που εμφανίζεται κυρίως τη θερινή περίοδο του έτους σε όλες τις μεγαλουπόλεις του κόσμου στις οποίες γίνεται μεγάλη χρήση των αυτοκινήτων. Το φωτοχημικό νέφος διαφέρει από τη μέχρι τότε γνωστή ατμοσφαιρική ρύπανση, που προκαλείται από της χημικές ενώσεις του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια τους χειμερινούς μήνες. Αποτελείται από χημικές ενώσεις που παράγονται από μια σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων όταν άπλετο ηλιακό φως, σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία, ακτινοβολεί μια ατμόσφαιρα που περιέχει πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS) και οξειδία του αζώτου (NO_x) (42). Τα οξειδία του αζώτου (NO_x) ανήκουν στους πρωτεύοντες (πρωτογενείς) αέριους ρύπους γιατί παράγονται άμεσα. Κύρια πηγή παραγωγής τους είναι όλα τα μέσα μεταφοράς άρα και τα πλοία (43). Οι πρωτογενείς ρύποι και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS) μετατρέπονται γρήγορα σε δευτερογενείς (δευτερεύοντες) (οργανικές ενώσεις του αζώτου, οξυγονούχους υδρογονάνθρακες, φωτοχημικά αεροζόλ), που προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία ανθρώπων, φυτών και ζώων, ίσως και σοβαρότερες ακόμη από αυτές των πρωτογενών ρύπων (44). Η ονομασία τους δευτερογενείς (δευτερεύοντες) οφείλεται στο ότι είναι προϊόντα της φωτοχημικής αντίδρασης των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην ατμόσφαιρα (45).

Μεξεξέλιξη του «φωτοχημικού νέφους» είναι η τρίτη γενιά του, το «υδρογονοσωματιδιακό νέφος» που άρχισε να κάνει έντονη την παρουσία του στα τέλη της δεκαετίας του 1990, αν και μετρήσεις στα μέσα της ίδιας δεκαετίας είχαν διαπιστώσει την ύπαρξή του. Το νέφος αυτό περιέχει κυρίως αεροσωματίδια και διάφορες επικίνδυνες ενώσεις υδρογονανθράκων. Η πηγή προέλευσης των πρώτων είναι οι βιομηχανίες ως επί το πλείστον. Τα αεροσωματίδια παρουσιάζουν μεγάλη γκάμα μεγεθών, αλλά τα πιο επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία είναι εκείνα με διαστάσεις έως 10 μικρόμετρα και συμπεριλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, σκόνη, καπνιά, βαρέα μέταλλα και υδροσταγονίδια. Οι ενώσεις υδρογονανθράκων έλκουν την καταγωγή τους από τα τροχοφόρα (ανεξάρτητα καταλυτικών ή συμβατικών κινητήρων) και τη χημική βιομηχανία. Μεταξύ τους συγκαταλέγονται οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (γνωστοί ως ΠΑΥ) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (ΠΟΕ), που έχουν πολλαπλάκις ενοχοποιηθεί για καρκινογένεση (46).

1.4.3 Επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρουσιαστεί μια αύξηση του ενδιαφέροντος για τα φαινόμενα μεταφοράς μεγάλης κλίμακας και για τις παγκόσμιες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Πρώτα στην Βόρεια Ευρώπη και έπειτα στη

Νοτιοανατολική Αμερική ανακαλύφθηκε ότι οι μεγάλες εκπομπές των πρωτογενών ρύπων υπόκεινται σε χημικές μεταβολές στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι μεταβολές οδηγούν σε αποστάσεις εκατοντάδων ή και χιλιάδων χιλιομέτρων από την πηγή (πάντα προς την κατεύθυνση του ανέμου) στο σχηματισμό χημικών ενώσεων, τους δευτερογενείς ρύπους, που είναι υπεύθυνοι για ορισμένα σοβαρά αποτελέσματα όπως η όξινη εναπόθεση ή πιο γνωστή ως όξινη βροχή (47). 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, καθώς και σε κτίρια και μνημεία. Ο όρος 'όξινη βροχή', χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για να περιγράψει τη ρυπασμένη βροχή στο Μάντσεστερ της Βρετανίας στη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης τον 19ο αιώνα και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται παρά το ότι θεωρείται σωστότερος ο όρος 'όξινη κατακρήμνιση'. 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 οξειδία του αζώτου (NO_x), που περιέχονται κυρίως στα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Περαιτέρω ανάλυση του φαινομένου της όξινης βροχής γίνεται στο Κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα στο 2.3.4 Επιπτώσεις του SO₂

Τέλος στην υγεία του ανθρώπου οι ρύποι προκαλούν μεγάλα προβλήματα. Ενδεικτικά να αναφέρουμε αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα, αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, προβλήματα στο αίμα και το συκώτι. Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι η υπερβολική έκθεση στα οξειδία του αζώτου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο αίμα, το συκώτι, τους πνεύμονες και τη σπλήνα. Όταν το διοξείδιο του θείου είναι επίσης παρόν, μπορεί να συνδράμει για να αυξήσει τη ζημιά ακόμη περισσότερο σε σχέση με τα μεμονωμένα αποτελέσματα που επιφέρουν τα οξειδία του αζώτου και του θείου ξεχωριστά (48). Περισσότερες λεπτομέρειες στις επιπτώσεις στη ανθρώπινη υγεία κάθε ρύπου ξεχωριστά υπάρχουν στο Κεφάλαιο 2

1.4.4 Αέρια Θερμοκηπίου, Ατμοσφαιρικοί ρύποι και Ναυτιλία

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η αλλαγή του κλίματος είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Ένα φαινόμενο στο οποίο οι θαλάσσιες μεταφορές και η ναυτιλία γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαιώνισή του. Λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό ποσοστό αύξησης της θαλάσσιας κίνησης, είναι ουσιαστικό να αντιμετωπιστούν οι εκπομπές αερίων από τη ναυτιλία. Έντεκα χρόνια μετά την υιοθέτησή τους, το Παράρτημα VI της MARPOL αναθεωρείται. Σχέδιο τροποποιήσεων του Παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 εγκρίθηκε από την Υποεπιτροπή Χύδην Υγρών και Αερίων (BLG Sub-Committee) του IMO κατά τη διάρκεια της πρόσφατης 12ης συνόδου στις 4 με 8 Φεβρουαρίου 2008 (49).

Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που συντελεί στην αλλαγή του κλίματος είναι οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίων (GHG), και ιδιαίτερα διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από τα πλοία. Γενικά, τα θερμαίνοντας αέρια με μεγάλη ζωή, πρώτιστα το CO₂, εξουσιάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων που άρχισαν στο τελευταίο μισό του δέκατου όγδοου αιώνα με την εκβιομηχάνιση έχει οδηγήσει σε υψηλές συγκεντρώσεις του CO₂ και στην ατμόσφαιρα. Η μακροπρόθεσμη άνοδος στο ατμοσφαιρικό CO₂ ακολουθεί στενά την αύξηση στις ανθρωπογενείς εκπομπές του CO₂. Αυτές οι εκπομπές είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της καύσης ορυκτού καυσίμου, του οποίου η διεθνής ναυτιλία αποτελεί περίπου 1.8% **(50)**. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία είναι διπλάσιες από εκείνες της αεροπορίας και έχουν φτάσει σε ένα ανησυχητικό ποσοστό που θα ασκήσει σοβαρή επίδραση στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι θαλάσσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι όχι μόνο υψηλές για τα τωρινά δεδομένα, αλλά θα μπορούσαν να αυξηθούν κατά τουλάχιστον 75% στα επόμενα 15 έως 20 έτη εάν το παγκόσμιο εμπόριο συνεχίζει να αυξάνεται **(51)**.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ναυτιλία είναι αρμόδια για τη μεταφορά 90% του παγκόσμιου εμπορίου που έχει διπλασιαστεί σε 25 έτη. Τα πλοία λοιπόν είναι μια σημαντική πηγή θερμαίνοντων ρύπων (greenhouse gas) κάτι που φαίνεται και από τα ακόλουθα παραδείγματα **(52)** :

- Μόνο έξι χώρες στον κόσμο απελευθερώνουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από το παγκόσμιο στόλο των θαλασσίων σκαφών.
- Αυτός ο στόλος απελευθερώνει μεταξύ 600 και 900 εκατομμυρίων μετρικών τόνων του διοξειδίου του άνθρακα κάθε έτος, ένα ποσό το οποίο είναι ισοδύναμο με τις εκπομπές ρύπων από τουλάχιστον 130 εκατομμύρια αυτοκίνητα (περίπου τόσος είναι ο αριθμός αυτοκινήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες.)
- Ένα containership συντελεί περισσότερο στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming pollution) από 2.000 πετρελαιοκίνητα φορτηγά.
- Μέχρι το 2020, αυτές οι εκπομπές μπορεί να διπλασιαστούν καθώς και να τριπλασιαστούν μέχρι το 2030.

Σε στενή συνάρτηση με το CO₂ υπάρχουν και άλλα μολυσματικά αέρια που επηρεάζουν την αλλαγή κλίματος. Συγκεκριμένα ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα νιτρώδη οξείδια (NO_x) ή τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter) ασκούν μακροχρόνιες επιδράσεις στο περιβάλλον λόγω της εκτεταμένης διάρκειας ζωής τους στην ατμόσφαιρα. Οι ρύποι αυτοί έχουν επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και ειδικότερα στην ποιότητα του νερού και σε ευαίσθητα είδη βλάστησης καθώς έχουμε απελευθέρωση των τοξικών ενώσεων.

Το θείο που εκπέμπεται από τα πλοία εκτιμάται ότι αποτελεί τη σχεδόν μισή συνολική μετάβαση στην ατμόσφαιρα σε μερικά μέρη των ωκεανών, σύμφωνα με τους αμερικανικούς ερευνητές οι οποίοι τονίζουν ότι αυτή η μορφή εκπομπής έχει μια σημαντική επίδραση στην αλλαγή κλίματος, με την προώθηση του σχηματισμού σύννεφων. Όταν μεταφέρονται κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων στο έδαφος μπορούν να επιδράσουν τα ευαίσθητα οικοσυστήματα. Οι εκπομπές από τη ναυτιλία έχουν μια χαρακτηρισμένη επίδραση στο έδαφος, ιδιαίτερα υπό μορφή όξινης βροχής. Συγκεκριμένα η αλλαγή στη παγκόσμια ατμοσφαιρική ισορροπία θερμότητας που προκαλείται από τα σύννεφα που προκύπτουν από τις εκπομπές ναυτιλίας είναι αξιόλογη και την τοποθετούν σε ποσοστό 14% της κατ' εκτίμηση αλλαγής που προκαλείται από όλο το θειικό άλας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες το 1990. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εκπομπές θείου από τα πλοία παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό αερολυμάτων ή μικροσκοπικών άλλων ενώσεων με τα οποία το νερό συμπυκνώνεται για να σχηματοποιήσει το σύννεφο **(53)**. Η συγκέντρωση σε θείο των θαλασσιών καυσίμων, σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78, δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 4.5% (ανώτατο όριο διεθνώς) και 1.5% για τη θάλασσα της Βαλτικής τη Βόρεια Θάλασσα και το Στενό της Μάγχης. Βέβαια από τον Απρίλιο του 2008 που αναθεωρήθηκε το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 το παγκόσμιο όριο του θείου μειώνεται αρχικά σε 3.5% (από το τρέχον 4.50%), από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σταδιακά σε 0.50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020. Για την πρόσφατη αναθεώρηση που έγινε τον Οκτώβριο 2008 γίνεται αναφορά στο Κεφάλαιο 4.

Εκτός από το CO₂ και το θείο το όζον θεωρείται σημαντικό αέριο θερμοκηπίων. Τα σκάφη δεν παράγουν άμεσα το όζον κατά τη διάρκεια της καύσης μηχανών, αλλά εκπέμπουν τους προδρόμους όζοντος, NO_x και VOCs. Η παγκόσμια δυνατότητα θέρμανσης από το όζον εμφανίζεται επειδή απορροφά και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην υπεριώδη ακτίνα και την επίγεια εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία σε ορισμένα μήκη κύματος. Το στρατοσφαιρικό όζον απορροφά περισσότερη ενέργεια από επανακτινοβολεί, ενεργώντας ως καθαρή πηγή θέρμανσης. Το όζον ως αποτέλεσμα των εκπομπών των σκαφών, ως NO_x από τα σκάφη αντιδρά με ωκεάνιο/παράκτιο VOCs, ή το μίγμα με τις χερσαίες εκπομπές και συμβάλλει άμεσα στη θέρμανση στο σύστημα επιφάνεια-τροπόσφαιρας **(54)**.

Ένας άλλος σημαντικός ατμοσφαιρικός ρύπος που εκπέμπεται από τα πλοία είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter). Όταν αναφερόμαστε γι' αυτά τα σωματίδια στην ναυτιλία εννοούμε συνήθως τα PM10 και PM2.5, αφού αυτά είναι κυρίων που εκπέπονται από τα πλοία. Τα σωματίδια αυτά έχουν διάμετρο 10μm και 2.5μm αντίστοιχα. Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ των πλοίων είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες, με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα πάνω από λιμάνια και ωκεανούς **(55)**.

Για όλα τα παραπάνω, δηλαδή για τα αέρια θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τα πλοία καθώς και για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους γίνεται εκτενή αναφορά στο κεφάλαιο 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΑΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

2.1 Εισαγωγή

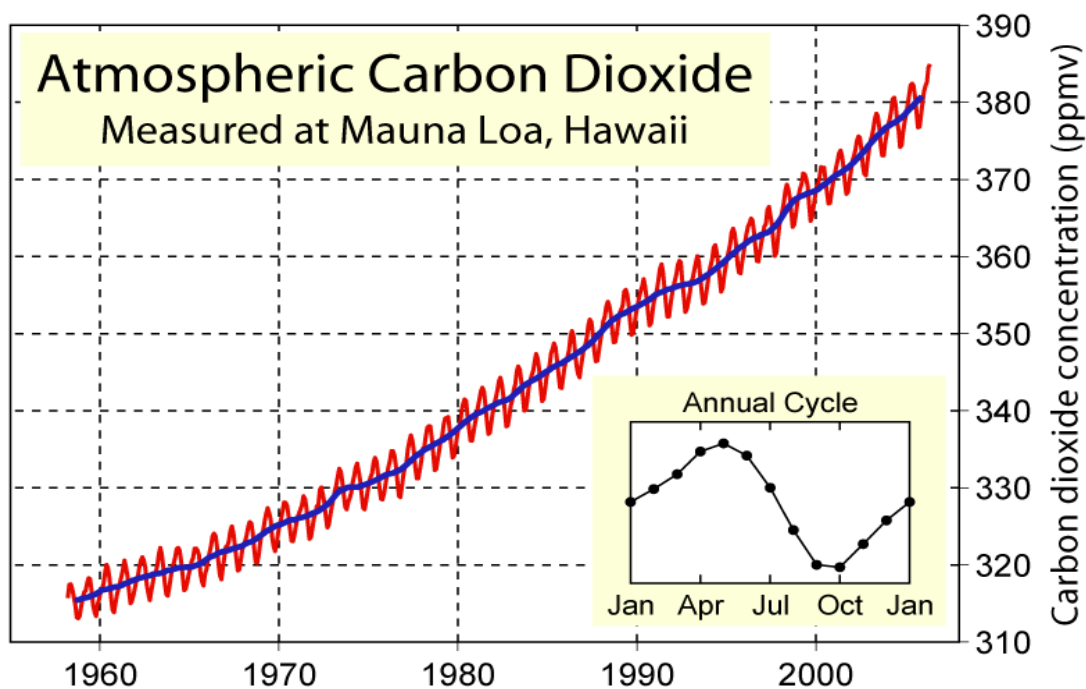
Η θάλασσα εκτός από κοιτίδα ζωής στον πλανήτη μας αποτελεί και ένα σημαντικότατο παράγοντα του παγκόσμιου περιβάλλοντος. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όμως πολλές φορές οδηγούν το θαλάσσιο περιβάλλον στην υποβάθμιση και την καταστροφή. Το πρόβλημα παρουσιάζεται περισσότερο έντονο σε κλειστές θάλασσες των οποίων τα νερά ανανεώνονται με πολύ αργούς ρυθμούς. Είναι πλέον γνωστό στην εποχή μας ότι εκτός από τη φυσική ρύπανση της ατμόσφαιρας που οφείλεται σε ηφαιστειακή δραστηριότητα, σήψη φυτών και ζώων κ.ά, έχουμε και τη ρύπανση που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

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. Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην καύση των καυσίμων και ιδιαίτερα του άνθρακα. Έχει γίνει διάκριση στο προηγούμενο κεφάλαιο μεταξύ των ρύπων και των αερίων του θερμοκηπίου και έχει αναφερθεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) 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 (SO₂), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), οι πτητικές οργανικές ενώσεις τα λεγόμενα (VOCs), το όζον (O₃) καθώς και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM particular matter). Στη συνέχεια γίνεται μια λεπτομερής αναφορά των αερίων και των ρύπων που εκπέμπονται από τη ναυτιλία και επηρεάζουν το περιβάλλον.

2.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

2.2.1 Γενικά

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 5.14×10^{18} kg, ενώ η συνολική μάζα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα είναι 3.0×10^{15} kg (3.000 gigatonnes) (1). Η συγκέντρωσή του ποικίλλει ανάλογα με την εποχή του χρόνου και φυσικά είναι μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η συγκέντρωση του CO₂ όπως αυτή μετρήθηκε από το εργαστήριο Mauna Loa Observatory (MLO) το οποίο βρίσκεται στην Χαβάη.



Σχήμα 1

Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂ συναρτήσει του χρόνου

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).

2.2.2 Το CO₂ ως αέριο του θερμοκηπίου

Το CO₂ όπως έχει σημειωθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο 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% (3). 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) (4).

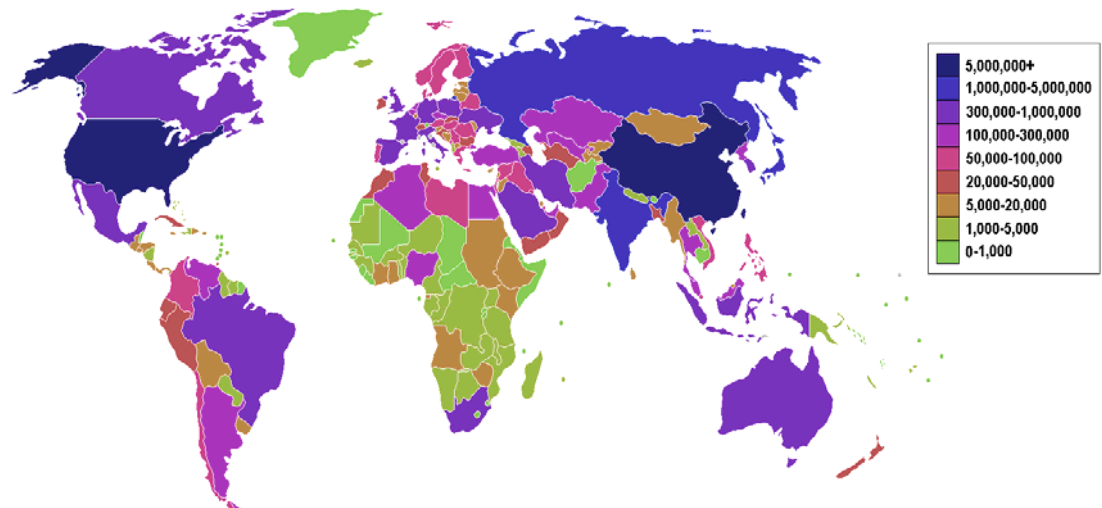
Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο Πίνακας 1 στον οποίο φαίνονται οι 10 πρώτες χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ενδεικτικά να

αναφέρουμε ότι από την έρευνα που έκανε ο Οργανισμός Ανάλυσης CO₂ των Ηνωμένων Εθνών (Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC) και δημοσιεύτηκε το 2004 διαπιστώθηκε ότι οι ετήσιες εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων ανέρχονται στους 27,245,758 χιλιάδες μετρικούς τόνους (thousands of metric tons) (5).

Πίνακας 1: Οι 10 πρώτες χώρες παγκοσμίως με τις μεγαλύτερες εκπομπές CO₂

Rank	Country	Annual CO ₂ emissions (in thousands of metric tons)	Percentage of total emissions
-	<u>World</u>	27,245,758	100%
1	<u>United States</u>	6,049,435	22.2%
2	<u>China</u> and <u>Taiwan</u>	5,010,170	18.4%
-	<u>European Union</u>	4,001,222	14.7 %
3	<u>Russia</u>	1,524,993	5.6 %
4	<u>India</u>	1,342,962	4.9 %
5	<u>Japan</u>	1,257,963	4.6 %
6	<u>Germany</u>	860,522	3.1 %
7	<u>Canada</u>	639,403	2.3 %
8	<u>United Kingdom</u>	587,261	2.2 %
9	<u>South Korea</u>	465,643	1.7 %
10	<u>Italy</u>	449,948	1.7 %

Σε ότι αφορά την Ελλάδα να σημειώσουμε ότι βρίσκεται στην 39^η 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 και ιδρύθηκε το 1982 (Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC) οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι αρκετά μεγάλες στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες. Στο Σχήμα 2 φαίνεται ένας παγκόσμιος χάρτης με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με τις εκπομπές CO₂ από κάθε χώρα που υπάρχει στον πλανήτη. Να αναφέρουμε ότι οι μονάδες των εκπομπών CO₂ είναι σε χιλιάδες μετρικούς τόνους, όπως ακριβώς και στον Πίνακα 1.



Σχήμα 2

Παγκόσμιος χάρτης με τις εκπομπές CO₂ που προέρχονται από κάθε χώρα

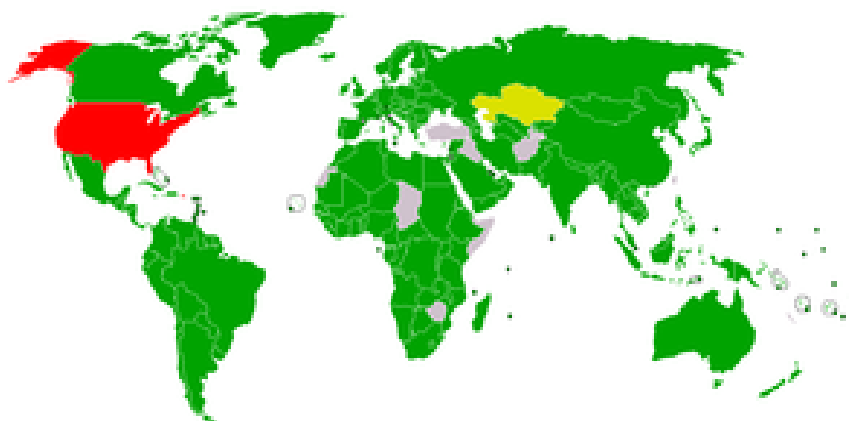
Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος, καθώς και στο πρωτόκολλο του Κιότο που ακολούθησε, καθώς αποτελούν το μόνο διεθνές πλαίσιο για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών. Η Σύμβαση – Πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές υπεγράφη από 154 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά την διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Τέθηκε σε ισχύ στις 21 Μαρτίου του 1994 και μέχρι το 1998 είχε επικυρωθεί από περισσότερα από 170 κράτη. Μεταξύ άλλων προέβλεπε τα εξής :

- την ανάπτυξη, τακτικής ενημέρωσης και δημοσιοποίησης των ανθρωπογενών εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών.
- τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών.

Επισημαίνεται ότι η σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος ξεχωριστά η από κοινού με τα άλλα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με δήλωσή της που κατατέθηκε ταυτόχρονα με το έγγραφο επικύρωσης της Σύμβασης, έθεσε σαν συνολικό στόχο της (για όλα τα κράτη – μέλη από κοινού) τη σταθεροποίηση των εκπομπών της μέχρι το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990 (6).

Ως συνέχεια της Σύμβασης – Πλαίσιο που υπογράφηκε στο Ρίο το 1992, αποτελεί το Πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο υιοθετήθηκε στη διεθνή διάσκεψη του Κιότο στις 11 Δεκεμβρίου 1997. Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο, οι βιομηχανικές χώρες συνολικά υποχρεούνται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 5,2% κατά μέσο όρο σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, κατά τη διάρκεια της πρώτης «περιόδου δέσμευσης», η οποία

καλύπτει τα έτη 2008 έως 2012. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες δεν καθορίζονται στόχοι ως προς τις εκπομπές. Αναφέρεται ότι προτιμήθηκε ο καθορισμός πενταετούς περιόδου δέσμευσης αντί ενός έτους στόχου για να εξομαλυνθούν οι ετήσιες διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων που οφείλονται σε ανεξέλεγκτους παράγοντες, όπως ο καιρός. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συμμετοχή των χωρών στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Συγκεκριμένα με πράσινο χρώμα δηλώνονται οι χώρες που υπέγραψαν και επικύρωσαν το πρωτόκολλο, με κίτρινο όσες το υπέγραψαν και αναμένεται η επικύρωσή του, με κόκκινο οι χώρες που το υπέγραψαν αλλά δεν το επικύρωσαν και με γκρι χρώμα οι χώρες που δεν έχουν πάρει θέση.



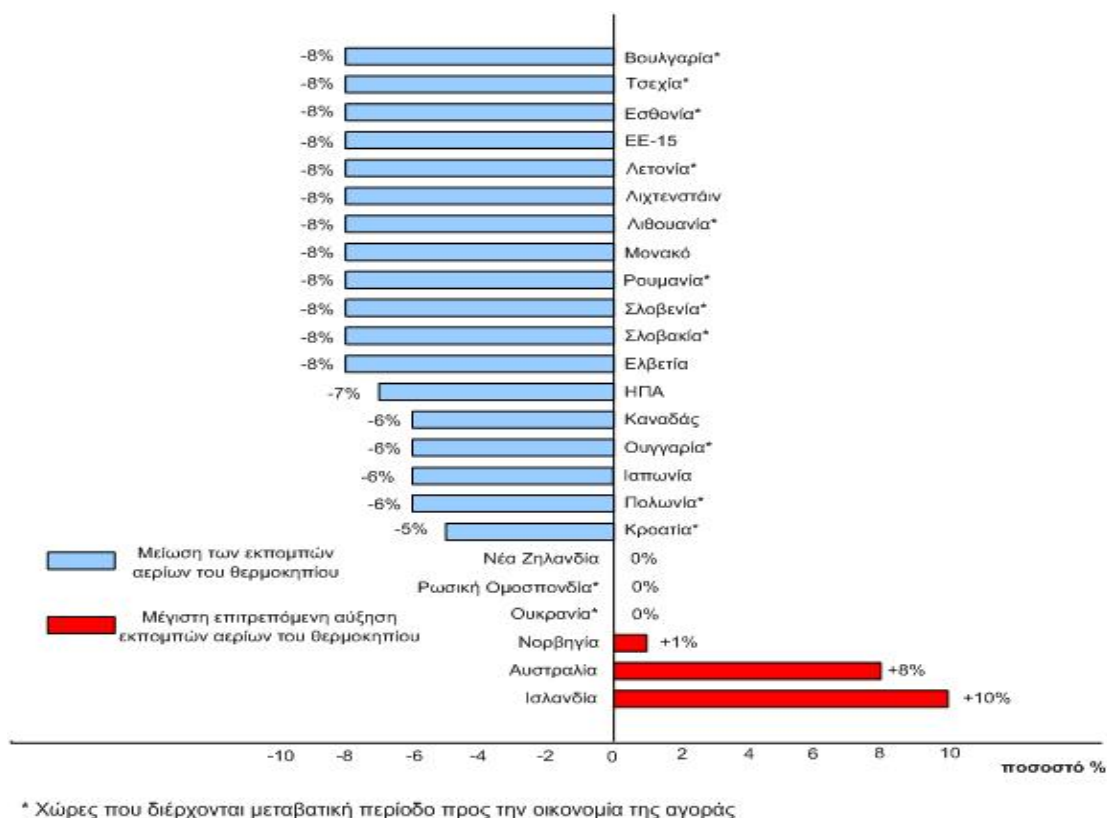
Σχήμα 3

Παγκόσμιος χάρτης με τις χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κιότο.

Τα αέρια που πραγματεύεται το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι έξι :

- διοξείδιο του άνθρακα CO₂ (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο),
- μεθάνιο CH₄,
- υποξείδιο του αζώτου N₂O,
- υδροφθοράνθρακες HFC,
- πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC και
- εξαφθοριούχο θείο SF₆.

Οι στόχοι των συμβαλλόμενων μερών, όπως αυτοί προβλέπονται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Σημειώνεται ότι τα 15 κράτη μέλη που αποτελούσαν την Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι τη διεύρυνσή της σε 25 από την πρώτη Μαΐου 2004 έχουν δεσμευτεί να μειώσουν το σύνολο των οικείων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% ως προς τα επίπεδα των εκπομπών του 1990 έως τα τέλη της πρώτης περιόδου δέσμευσης του Πρωτοκόλλου μεταξύ 2008-2012. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Κιότο στην κοινοτική νομοθεσία μέσα από τις Οδηγίες 2003/87/EU και 2004/101/EU (7).



Σχήμα 4

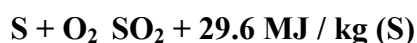
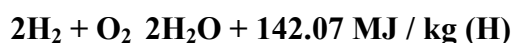
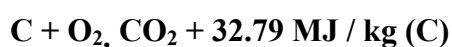
Σχηματική παράσταση του στόχου περιορισμού (κόκκινο χρώμα) ή μείωσης (γαλάζιο χρώμα) των εκπομπών όπως προβλέπεται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

2.2.3 Ναυτιλία και CO₂

Η ενέργεια αποτελεί ένα αναντικατάστατο αγαθό που καλύπτει τόσο πρωταρχικές ανάγκες της κοινωνίας (θέρμανση, κίνηση, φωτισμός κλπ) όσο και τις ανάγκες της παραγωγής. Μέχρι πρόσφατα, το επίπεδο ενεργειακής κατανάλωσης μίας χώρας εθεωρείτο ενδεικτικό της οικονομικής της μεγέθυνσης και του βιοτικού επιπέδου των πολιτών. Η στενή σύνδεση του ενεργειακού τομέα με το περιβάλλον γίνεται ευρύτερα αντιληπτή σε παγκόσμιο επίπεδο στη δεκαετία του 1970 όταν συνειδητοποιείται το πεπερασμένο των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων καθώς και το μεγάλο μερίδιο ευθύνης του ενεργειακού τομέα στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

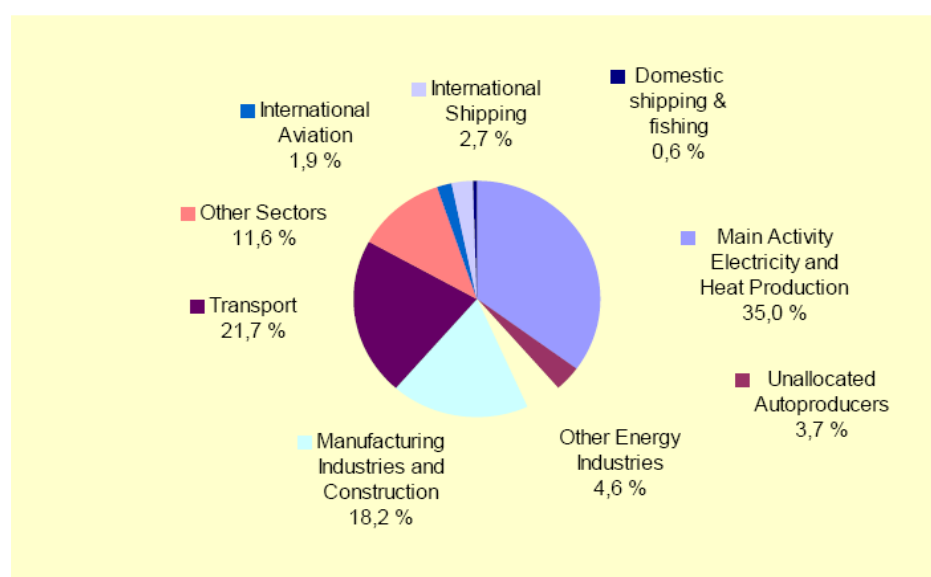
Η κύρια εκπομπή ρύπων από τα πλοία προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Η καύση γενικά ορίζεται ως μια εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο, η οποία συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη υπό μορφή θερμότητας ενέργεια, να είναι

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. Για τα παραπάνω στοιχεία, οι «βασικές» χημικές αντιδράσεις οξείδωσης για την πλήρη καύση τους έχουν ως εξής:



IMO και CO₂ (8)

Τον Απρίλιο του 2008 η ομάδα εργασίας του IMO που ασχολείται με την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία συναντήθηκε για να προσδιορίσει τα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα για το CO₂. Συμφωνήθηκε ότι διάφορα μέτρα μπορούν να οδηγήσουν στην άμεση μείωση των εκπομπών του CO₂ και ότι πρέπει να εφαρμοστούν το συντομότερο δυνατόν. Σαν επόμενο βήμα η επόμενη συνάντηση έγινε στο Όσλο τον Ιούνιο 2008 και η υποβολή της έκθεσης έγινε τον Οκτώβριο του 2008.

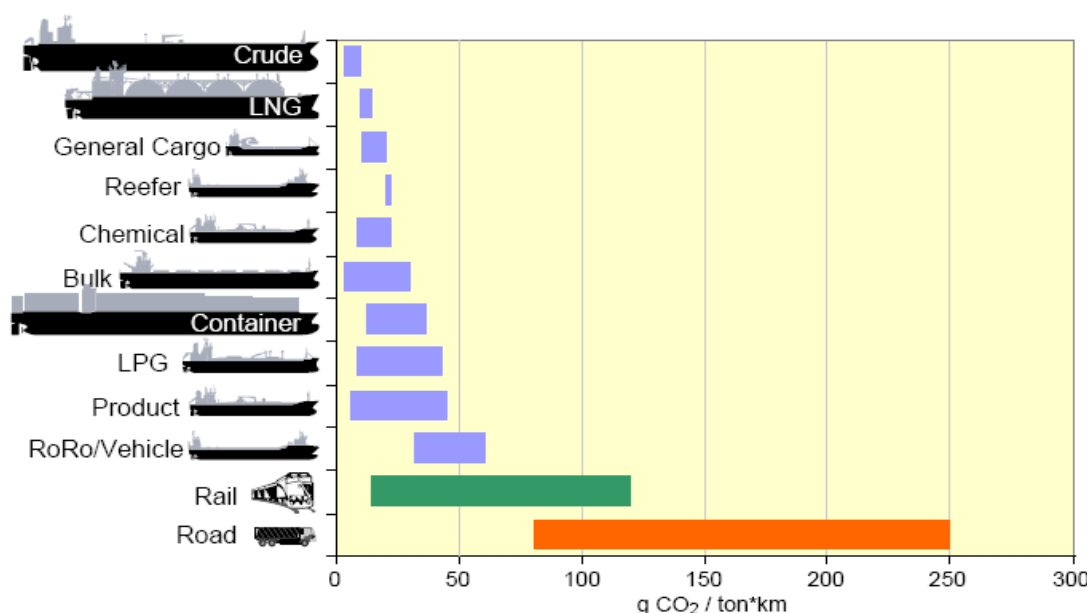


Σχήμα 5

Ποσοστό (%) CO₂ που αναλογεί σε διάφορες πηγές εκπομπής του

Η ομάδα αυτή των επιστημόνων στην έκθεση αυτή συμπέρανε ότι με βάση την πραγματική λειτουργία των εμπορικών πλοίων που δραστηριοποιήθηκαν σε διεθνή ταξίδια κατά το έτος 2007, περίπου 843 εκατομύρια τόνοι CO₂ εκπέμφθηκαν στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο 2,7% των παγκοσμίων εκπομπών από όλες τις πηγές. Αν επιπρόσθετα λαμβάνοταν υπόψη η λειτουργία των πλοίων που εκτελούν εσωτερικά ταξίδια και των αλιευτικών σκαφών, το ποσοστό δεν θα ξεπερνούσε το 3,3% του συνόλου των εκπομπών (1.019 εκατομύρια τόνοι/έτος). Στο παραπάνω Σχήμα φαίνεται σχηματικά το ποσοστό CO₂ που αναλογεί στη ναυτιλία.

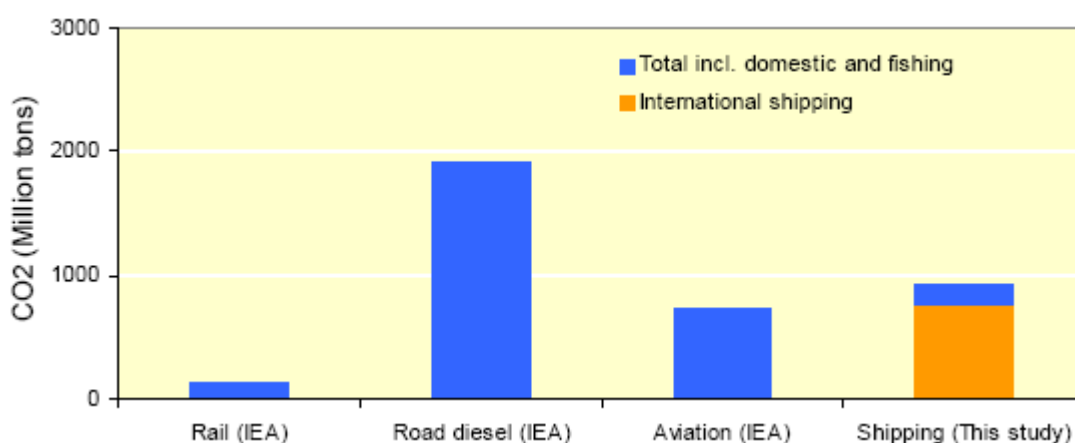
Η ποσότητα του CO₂ που παράγεται από τα πλοία είναι ανάλογη της κατανάλωσης καυσίμου και της περιεκτικότητας άνθρακα στα καύσιμα. Ενώ η τελευταία μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, η κατανάλωση καυσίμου δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής σε εκτιμήσεις μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, ένας τόνος Marine Diesel Oil παράγει με την καύση του 3,09 kg CO₂, ενώ ένας τόνος Heavy Fuel Oil 3,02 kg CO₂. Στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων υγροποιημένου φυσικού αερίου, θεωρήθηκε ότι το 45% της συνολικής ενέργειας για το έμφορτο και υπό έρμα ταξίδι, προέρχεται από την καύση του boil off αερίου. Δηλαδή η παραγωγή CO₂ από την καύση του LNG αντιστοιχεί στο 76% της παραγωγής CO₂ από τη χρήση Heavy Fuel Oil. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου έγινε σε διαφορετικές τύπους και μεγέθη πλοίων λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των πλοίων, τη μέση εγκατεστημένη ισχύ κύριων και βοηθητικών μηχανών, τις μέρες λειτουργίας, την ειδική κατανάλωση καυσίμου και τη φόρτιση των μηχανών.



Σχήμα 6

Σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του μεταφορικού έργου για διάφορα μέσα μεταφοράς

Στο παραπάνω Σχήμα παρουσιάζεται πόσα γραμμάρια CO₂ εκπέμπονται ανά τόνο x χιλιόμετρο από διάφορους τύπους πλοίων καθώς και από τις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές. Παρατηρούμε ότι η ναυτιλία σε σχέση με τα άλλα μέσα μεταφοράς παράγει σημαντικά λιγότερο CO₂ για το έργο που πραγματοποιεί. Σε ποσότητα εκπομπών και με έτος αναφοράς το 2005, οι μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ προήλθαν από τα ντιζελοκίνητα οχήματα (4,7 δισεκατομμύρια τόνοι), ακολουθούν τα πλοία διεθνών πλόων (774 εκατομ. τόνοι), τα αεροσκάφη (735 εκατομ. τόνοι) και τα τρένα (133 εκατομ.τόνοι). Στο Σχήμα 7 φαίνονται αυτές οι εκπομπές CO₂. Να σημειώσουμε ότι τα στοιχεία για τις σιδηροδρομικές, οδικές και αεροπορικές μεταφορές πάρθηκαν από τη Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας (IEA).

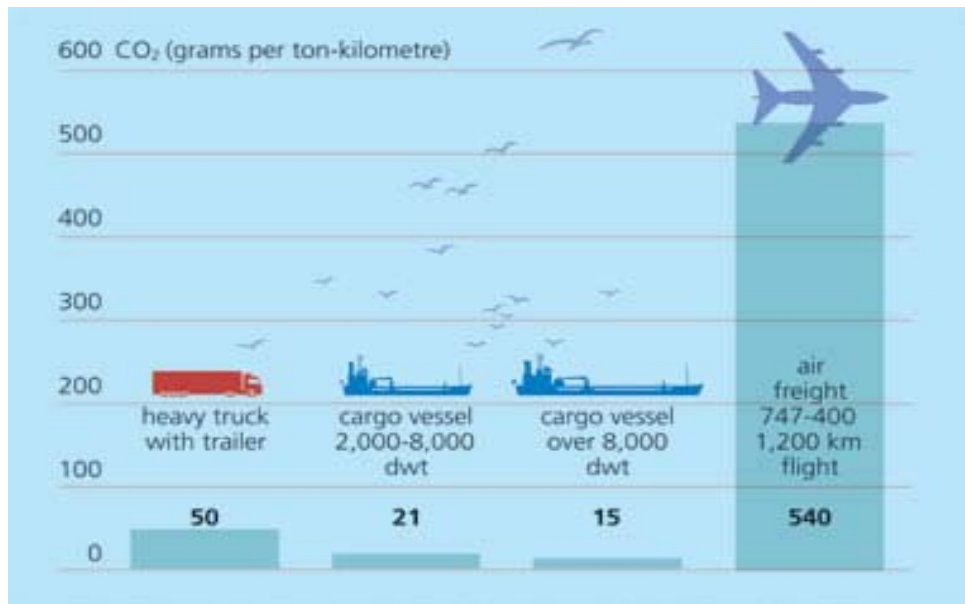


Σχήμα 7

Εκπομπές CO₂ από διάφορα μέσα μεταφοράς κατά το έτος 2005

Μια σημαντική καινοτομία της μελέτης είναι η αξιοποίηση πληροφοριών από δέκτες AIS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του δικτύου δεκτών AIS Live που είναι εγκατεστημένοι σε περισσότερες από 2.000 θέσεις σε 100 χώρες μέσω των οποίων ανιχνεύεται η παρουσία πλοίων μέχρι περίπου 100 χιλιόμετρα γύρω από αυτούς. Η εξαφάνιση του στίγματος ενός πλοίου σε ένα δέκτη και η εμφάνισή του σε ένα άλλο έδωσε πληροφορίες για την εκτίμηση της μέσης ταχύτητας των πλοίου και του χρόνου ταξιδιού στη θάλασσα..

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά σε έκθεση του IMO (International Maritime Organization) που δημοσιεύτηκε το 2007 στην οποία γίνεται σύγκριση των εκπομπών CO₂ φορτηγών πλοίων, αεροπλάνων και φορτηγών (9). Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι τα φορτηγά πλοία παράγουν τρεις έως πέντε φορές λιγότερο CO₂ από τις οδικές και τις σιδηροδρομικές μεταφορές και μεταξύ είκοσι με τριάντα φορές λιγότερο από τις αεροπορικές μεταφορές κατά την μεταφορά ενός τόνου φορτίου ανά ένα χιλιόμετρο.



Σχήμα 8

Σχηματική παράσταση σύγκρισης των εκπομπών CO₂ για διάφορους τρόπους μεταφοράς

Στο Σχήμα 5 φαίνεται η εκπομπή CO₂ που οφείλεται σε διάφορους τρόπους μεταφοράς. Παρατηρούμε ότι ένα φορτηγό πλοίο 2,000-8,000 DWT (ωφέλιμο φορτίο-μεταφορική ικανότητα) εκπέμπει 21 γραμμάρια CO₂ για έναν τονοχιλιόμετρο (gr per ton-kilometre) ενώ όταν το πλοίο είναι μεγαλύτερο, έχει δηλαδή μεγαλύτερο DWT (ωφέλιμο φορτίο-μεταφορική ικανότητα) η εκπομπή CO₂ είναι ακόμα μικρότερη και φτάνει στα 15 gr. Αυτά τα μεγέθη είναι όπως σημειώθηκε παραπάνω μικρότερα σε σχέση με τις οδικές και αεροπορικές μεταφορές. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5 έχουμε 50 gr CO₂ per ton-kilometre και 540 gr CO₂ per ton-kilometre κατά τη μεταφορά φορτίου από ένα φορτηγό και από ένα αεροπλάνο του οποίου τα χιλιόμετρα της πτήσης είναι 1,200.

Παράλληλα ο IMO είχε ζητήσει από την Intertanko (The International Association of Independent Tanker Owners) να του υποβληθεί μία έκθεση που να περιέχει την παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου για διάφορους τύπους πλοίων. Η Intertanko τέλος του 2007 παρέδωσε στον IMO μία έκθεση με τίτλο “Shipping, CO₂ and other emissions” που την σύνταξε ο T.J. Gunner. Η σύνταξη της αναφοράς αυτής έχει γίνει με στοιχεία που έχουν παρθεί από Νηογνώμονες, ιδιοκτήτες πλοίων και ναυπηγεία. Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται οι κατηγορίες πλοίων, η ισχύς των μηχανών τους και η κατανάλωση Fuel Oil και Diesel Oil.

Πίνακας 2: Κατηγορίες πλοίων, η ισχύς των μηχανών τους και η κατανάλωση Fuel Oil και Diesel Oil

Type	Average Main Engine (HP)	Assessed Total HFO Cons. Tonnes	Assessed Total MDO Cons. Tonnes
Bulk	10,367	51,936,915	3,871,826
Chem oil	7,433	9,156,778	911,831
Chemical tankers	4,120	4,806,625	596,544
Combination Carriers	9,395	747,965	60,826
Container	28,234	102,551,791	1,532,544
Crude tanker	19,415	42,700,898	1,075,507
Dry cargo	3,186	20,490,663	6,758,506
Gas Tankers - LNG	36,175	15,675,000	69,120
Gas Tankers - LPG	6,152	6,065,143	586,691
Miscellaneous	3,199	6,453,645	11,362,792
Offshore	5,788	12,437,179	11,606,587
Passenger/Ferry	11,526	27,219,205	12,407,722
Product tanker	5,455	23,103,134	1,617,961
Reefers	5,790	10,497,832	1,768,366
RoRo	9,994	16,453,818	2,510,122
Tanker unspecified	3,071	2,177,679	2,012,271
Average	7,608	352,474,269	58,749,216

Η έκθεση αυτή αποτελεί τον προπομπό της έκθεσης που παρουσιάστηκε τον Ιούνιο 2008 στο Όσλο από την ομάδα εργασίας του IMO που ασχολείται με την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Είναι η πιο πρόσφατη και ολοκληρωμένη αναφορά που έχει ο IMO περί των εκπομπών του CO₂ από τα πλοία. Περιλαμβάνει όλους τους τύπους πλοίων, την ισχύ των κυρίων μηχανών τους, την κατανάλωση σε fuel oil, την ηλεκτρική κατανάλωση, και φυσικά την κατανάλωση σε διοξείδιο του άνθρακα για κάθε πλοίο ξεχωριστά. Από τα στοιχεία που προκύπτουν φαίνεται ότι τα Containerships έχουν την μεγαλύτερη κατανάλωση σε CO₂ που είναι 314.4693 tonnes (x10⁶) ανά έτος και ακολουθούν τα Crude tankers με 132.2893 tonnes (x10⁶). Τα Containerships λοιπόν έχουν το 25.24 % των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα όλων των πλοίων και ακολουθούν τα Crude tankers με ένα ποσοστό της τάξης του 10.62 %. Την πιο μικρή κατανάλωση την έχουν τα Combination Carriers που εκπέμπουν μόλις το 0.20 % των συνολικών εκπομπών CO₂ που προέρχεται από τα πλοία. Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πίνακας 3: Κατηγορίες πλοίων, η ισχύς των μηχανών τους και η κατανάλωση Fuel Oil και Diesel Oil

Type	CO ₂ from Bunker cons. Tonnes (x10 ⁶)	% CO ₂ emission per ship type
Bulk	168.8124	13.55
Chem oil	30.4697	2.45
Chemical tankers	16.3581	1.31
Comb. Carriers	2.4468	0.20
Container	314.4693	25.24
Crude tanker	132.2893	10.62
Dry cargo	82.7400	6.64
Gas Tankers - LNG	47.5570	3.82
Gas Tankers - LPG	20.1288	1.62
Miscellaneous	54.5486	4.38
Offshore	73.3730	5.89
Passenger/Ferry	120.4914	9.67
Product tanker	74.7710	6.00
Reefers	37.1627	2.98
RoRo	57.4403	4.61
Tanker unspecified	12.7856	1.03
Grand Total	1245.8441	100

Εντούτοις αναγνωρίζεται πλήρως η ανάγκη για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι, εξ ορισμού, ένα παγκόσμιο πρόβλημα και η ναυτιλία είναι η μεγαλύτερη παγκόσμια βιομηχανία. Η απαίτηση για θαλάσσιες μεταφορές καθορίζει τον όγκο της ναυτιλίας και είναι επομένως ο παράγοντας κλειδί που επηρεάζει τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas) από τη ναυτιλία. Αρκετές λοιπόν μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για να αξιολογήσουν τις συνολικές εκπομπές του CO₂ από τη ναυτιλία. Η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (International Energy Agency) υπολογίζει ότι το μερίδιο της εκπομπής του CO₂ από τις δεξαμενές καυσίμου πλοίων θα παραμείνει περίπου 2% τουλάχιστον έως το 2030 **(10)**.

2.2.4 Παραδείγματα

Στην συνέχεια παρατίθενται κάποια παραδείγματα που φαίνεται η μειωμένη εκπομπή του CO₂ από τα πλοία. Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι τα παρακάτω Σχήματα είναι αποτελέσματα μελετών από τα εξής ινστιτούτα :

- Danish Shipowners Association

- Institut für Energie und Umwelt (IFEU), Heidelberg
- TRT - Trasporti e Territorio Consulting, Italy
- University of Karlsruhe, Infras consulting group

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι τα τρία επόμενα Παραδείγματα βρίσκονται στην έρευνα που είχε κάνει η European Community Shipowners' Associations (ECSA) σε συνεργασία με την International Chamber of Shipping και η οποία δημοσιεύτηκε τον Ιανουάριο 2008 (11).

Παράδειγμα 1

Πίνακας 4: Σύγκριση εκπομπών CO₂ για τρία διαφορετικά είδη πλοίων

Ship type	Loading capacity	Service speed	CO ₂ emission
Panamax Bulk Carrier	80000 tdw	15 knots	3 g per t-km
Container Ship	6600 TEU	25 knots	8 g per t-km
Cargo vessel	3000 tdw	13 knots	20 g per t-km

Είναι πολύ σημαντικά τα στοιχεία που εξάγουμε από τον παραπάνω πίνακα. Βλέπουμε για τρεις μεγάλες κατηγορίες πλοίων που είναι Bulk Carrier, Container Ship και Cargo vessel τις εκπομπές CO₂. Γίνεται μια σύγκριση δηλαδή και παρατηρούμε ότι το Panamax Bulk Carrier έχει τις μικρότερες εκπομπές οι οποίες αγγίζουν τα 3 gr per t-km. Ακολουθεί το Container Ship και ύστερα το Cargo vessel με 8 g per t-km και 20 g per t-km αντίστοιχα. Το Cargo vessel δηλαδή εκπέμπει περισσότερο CO₂ σε σχέση με τα άλλα δύο πλοία. Βέβαια η εκπομπή αυτή είναι αρκετά χαμηλή αν αναλογιστούμε τις εκπομπές από αεροπλάνα και φορτηγά. Κάτι που επιβεβαιώνεται και με τα ακολούθα δύο παραδείγματα.

Παράδειγμα 2

Πίνακας 5: Σύγκριση εκπομπών CO₂ για διάφορους τρόπους μεταφοράς

Modes of transport	CO ₂ emissions (kg/TEU/km)
Containership (4800 TEU)	0,119
Barge/Feeder (400 TEU)	0,477
Rail (80 TEU)	0,673
Truck (2 TEU)	2,295

Παρατηρούμε ότι οι εκπομπές CO₂ για ένα τραίνο το οποίο μεταφέρει 80 TEU είναι πολύ μεγαλύτερες από ένα Containership (4800 TEU) και λίγο μεγαλύτερες από ένα Barge/Feeder (400 TEU). Για τις εκπομπές βέβαια ενός φορτηγού του οποίου η μεταφορική ικανότητα είναι μόλις 2 TEU αυτό που μπορούμε να πούμε είναι σχεδόν είκοσι φορές πιο πάνω από Containership, 5 φορές πιο πάνω από ένα Barge/Feeder και τέλος 3,5 φορές πιο πάνω από ένα τραίνο.

Παράδειγμα 3

Παρουσίαση των εκπομπών CO₂ για διάφορους τρόπους μεταφοράς

Σε αυτό το παράδειγμα γίνεται μια προσπάθεια ακόμα πιο αναλυτικής παρουσίασης των εκπομπών CO₂ για διάφορους τρόπους μεταφοράς. Γίνεται αναφορά για τρένα μεταφοράς φορτίου που κινούνται με ηλεκτρισμό ή με diesel, γίνεται αναφορά για πλοία φορτηγίδες καθώς και για πλοία όπως: Tanker (Oil, Chemicals, LG), Bulk Carrier, General and specialized cargo, Container and Reefer. Τέλος περιλαμβάνονται τα αεροπλάνα που μεταφέρουν φορτίο καθώς και τα φορτηγά. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα προέκυψαν από την συνεργασία του TRT (Trasporti e Territorio Consulting) Italy με του University of Karlsruhe, Infras consulting group.

Πίνακας 6: Σύγκριση εκπομπών CO₂ για διάφορους τρόπους μεταφοράς

Mode of transport		CO₂ (g/t-km)	Year
ROAD	Road light Duty Vehicle	410	2004
ROAD	Road Heavy Duty Vehicle	91	2004
RAIL	Freight Train (diesel)	38	2004
RAIL	Freight Train (electric)	19	2004
INLAND WATERWAY	Barge	31	2004
AVIATION	Cargo Aircraft	673	2004
MARITIME	Tanker (Oil, Chemicals, LG)	11	2007
MARITIME	Bulk Carrier	10	2007
MARITIME	General and specialized cargo	42	2007
MARITIME	Container and Reefer	18	2007

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω Πίνακα οι μετρήσεις για τους διάφορους τύπους πλοίων έχουν γίνει το 2007 σε σχέση με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Αυτό σημαίνει ότι μόλις τα τελευταία δύο χρόνια έχουν αρχίσει να γίνονται συστηματικές μετρήσεις εκπομπής CO₂ για Tanker, Bulk Carrier, General and

specialized cargo και Container and Reefer. Έχοντας λοιπόν έναν πιο συγκεντρωτικό πίνακα όσον αφορά τους τρόπους μεταφοράς καθώς έχουν περιληφθεί όλοι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το αεροπλάνο εκπέμπει περισσότερο CO₂ με 673 g/t-km και ακολουθεί το φορτηγό χαμηλού δασμού (light duty) με 410 g/t-km. Όσον αφορά τα πλοία βλέπουμε ότι οι εκπομπές είναι αρκετά χαμηλές αν εξαιρέσουμε το General and specialized cargo ship του οποίου οι εκπομπές είναι 42 g/t-km και είναι σχεδόν ίδιες με το τραίνο που κινείται με diesel (38 g/t-km) . Χρειάζεται όμως εδώ να τονιστεί ότι η μεταφορική ικανότητα του General and specialized cargo ship είναι πολύ πιο μεγάλη από εκείνη του τραίνου.

Επιπλέον μία άλλη έκθεση (έκθεση Stern) που δημοσιεύτηκε το 2006 για την κλιματική αλλαγή αναφέρει ότι όλοι οι τρόποι μεταφοράς το 2000 αποτέλεσαν το 14% των παγκοσμίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου **(12)**. Σύμφωνα με αυτήν την έκθεση λοιπόν το ποσοστό αυτό αναμένεται να παραμείνει σταθερό τουλάχιστον έως το 2050. Η πλειοψηφία, ή 76% των εκπομπών, είναι από τις οδικές μεταφορές, 12% είναι από την αεροπορία, και 10% από τη ναυτιλία. Παρατηρούμε λοιπόν και από αυτή την μελέτη ότι η ναυτιλία ευθύνεται λιγότερο στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα CO₂ συγκριτικά με τους άλλους τρόπους μεταφοράς.

Παράδειγμα 4

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη που συντάχθηκε από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (Det Norske Veritas) και δημοσιεύθηκε το 2003 **(13)**.

Πίνακας 7: Κατανομή του παγκόσμιου εμπορικού και πολεμικού στόλου

Mode	Number of Vessels	Dwt, Millions	GT, Millions	Reference Year
Ocean-going merchant fleet ^a > 100 GT				
All vessels	87,546/84,264		558/508	1996/2000
Cargo fleet	46,205/45,097	792/740	529/482	1996/2000
Noncargo	41,341/39,167		29/26	1996/2000
Inland cargo fleet ^b (waterways)	79,844			1992
Navy fleet ^c				
All vessels ^d	19,646			1995
All vessel > 100 t standard displacement ^e	1338			1998

^aLR [1996, 2000].

^bOECD [1997] (push-towed vessels included).

^cAdcock and Stitt [1995] and Calhoun [1999].

^dIncludes 759 submarines.

^eIncludes 523 submarines.

Ο Νορβηγικός Νηογνώμονας έκανε μια παγκόσμια καταγραφή τόσο του εμπορικού όσο και του πολεμικού στόλου. Όσον αφορά τα εμπορικά πλοία, καταγράφηκαν εκείνα που υπήρχαν το έτος 1996 και το έτος 2000 ενώ για τα πολεμικά πλοία

καταγράφηκαν εκείνα που υπήρχαν το έτος 1995 και το έτος 1998. Ο αριθμός όλων αυτών των πλοίων καθώς και μερικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 5. Να σημειώσουμε ότι στον παγκόσμιο εμπορικό στόλο έχουν συμπεριληφθεί τα πλοία εκείνα που έχουν ολική χωρητικότητα GT > 100 ton. Στην συνέχεια παρουσιάζονται η ειδική κατανάλωση καυσίμου για διάφορους τύπους μηχανών (αργόστροφη, μεσόστροφη, ταχύστροφη) καθώς και οι ώρες που βρίσκεται εν πλω ένα πλοίο σε σχέση με τη μεταφορική του ικανότητα.

Πίνακας 8: Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για διάφορους τύπους μηχανών

Engine Type	Specific Fuel Consumption, kg/kW h
Slow speed	0.195
Medium speed	0.215
High speed	0.230
Turbine machinery	0.290

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνονται οι στροφές της μηχανής τόσο αυξάνεται και η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Γνωρίζουμε ότι για αργόστροφη, μεσόστροφη, ταχύστροφη μηχανή οι στροφές είναι 54-250 RPM, 400-750 (1000) RPM, 100-2500 (3000) RPM αντίστοιχα. Επίσης είναι γνωστό ότι η ειδική κατανάλωση εξαρτάται από την ισχύ της πρόωσης η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τις στροφές της έλικας. Άρα όπως συμπεραίνουμε και από τον Πίνακα 6 αύξηση των στροφών συνεπάγεται μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 9: Λειτουργικές ώρες του πλοίου ανά χρόνο σε σχέση με την μεταφορική του ικανότητα

Ship Size, Dwt	Number of Hours at Sea Per Year
<5000	4000
5000 – 100,000	5000
>100,000	6000

Για διάφορους τύπους πλοίων στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ καθώς και άλλων ρύπων για το έτος 1996 και το έτος 2000. Για τα αποτελέσματα του παρακάτω Πίνακα ελήφθησαν υπόψιν και οι ώρες που ήταν οι διάφοροι τύποι πλοίων εν πλω ετησίως όπως φαίνεται στον Πίνακα 9. Από την μελέτη αυτή συμπεραίνεται ότι πλοία μεταφορικής ικανότητας (DWT) κάτω των 5000 ton οι λειτουργικές τους ώρες το έτος είναι 4000 hrs, για πλοία μεταφορικής ικανότητας (DWT) μεταξύ 5000 ton με 100.000 ton οι λειτουργικές τους ώρες είναι 5000 hrs και για πλοία μεταφορικής ικανότητας (DWT) άνω των 100.000 ton οι λειτουργικές τους ώρες είναι 6000 hrs. Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με την πάροδο του χρόνου αυξήθηκαν σχεδόν σε όλους τους τύπους πλοίων. Στο σύνολό

τους να αναφέρουμε ότι οι εκπομπές CO₂ που προέρχονται από την κύρια μηχανή ενώ το έτος 1996 ήταν 419 Mt, το έτος 2000 αυξήθηκαν σε 455 Mt. Σημαντικό αν όχι τον κυριότερο ρόλο στην αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα παίζει η απουσία μέτρων ρύθμισης των. Η ανάγκη ρυθμιστικών μέτρων για τις εκπομπές CO₂ οδήγησε τον IMO να εξετάσει την κατάσταση που έχει δημιουργηθεί. Στην συνέχεια αλλά και στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά για τις κινήσεις που έχει κάνει ο IMO περί των εκπομπών CO₂.

Πίνακας 10: Εκπομπές CO₂ και άλλων ρύπων από διάφορους τύπους πλοίων

Ship Type	N ₂ O, kt		NO _x , Mt		CO, kt		NMVOC, kt		PM, kt		SO ₂ , Mt		CO ₂ , Mt	
	96	00	96	00	96	00	96	00	96	00	96	00	96	00
Liquefied gas tanker	0.3	0.4	0.3	0.3	27	31	9	10	24	29	0.2	0.2	13	16
Chemical tanker	0.4	0.5	0.3	0.4	30	39	10	13	25	34	0.2	0.3	14	19
Oil tanker	2.4	2.4	2.0	2.1	178	185	57	60	172	180	1.4	1.5	93	97
Bulk ships ^b	2.4	2.4	2.6	2.6	224	226	73	73	222	223	1.6	1.6	96	97
General cargo ^c	2.1	1.9	1.8	1.7	190	174	62	57	95	113	0.7	0.8	82	75
Container	1.6	2.3	1.6	2.3	150	214	49	69	124	166	0.9	1.2	64	91
Ro-Ro ships ^d	0.8	0.8	0.7	0.8	72	76	23	25	33	48	0.2	0.3	31	33
Passenger vessels	0.3	0.4	0.3	0.4	31	38	10	12	15	21	0.1	0.2	13	16
Refrigerated cargo	0.3	0.3	0.3	0.3	29	28	9	9	15	15	0.1	0.1	12	12
Total ME	10.6	11.5	9.8	10.8	931	1010	302	327	726	829	5.5	6.2	419	455
Total (ME + AUX)	11.7	12.7	10.8	11.9	1024	1111	332	360	799	912	6.1	6.8	461	501

^aValues are in Mt (10⁶ t) or kt (10³ t). ME, main engine(s); AUX, auxiliary engines.

^bBulk dry and bulk dry/oil vessels.

^cIncluding passenger/general cargo vessels.

^dIncluding passenger/RO-RO vessels.

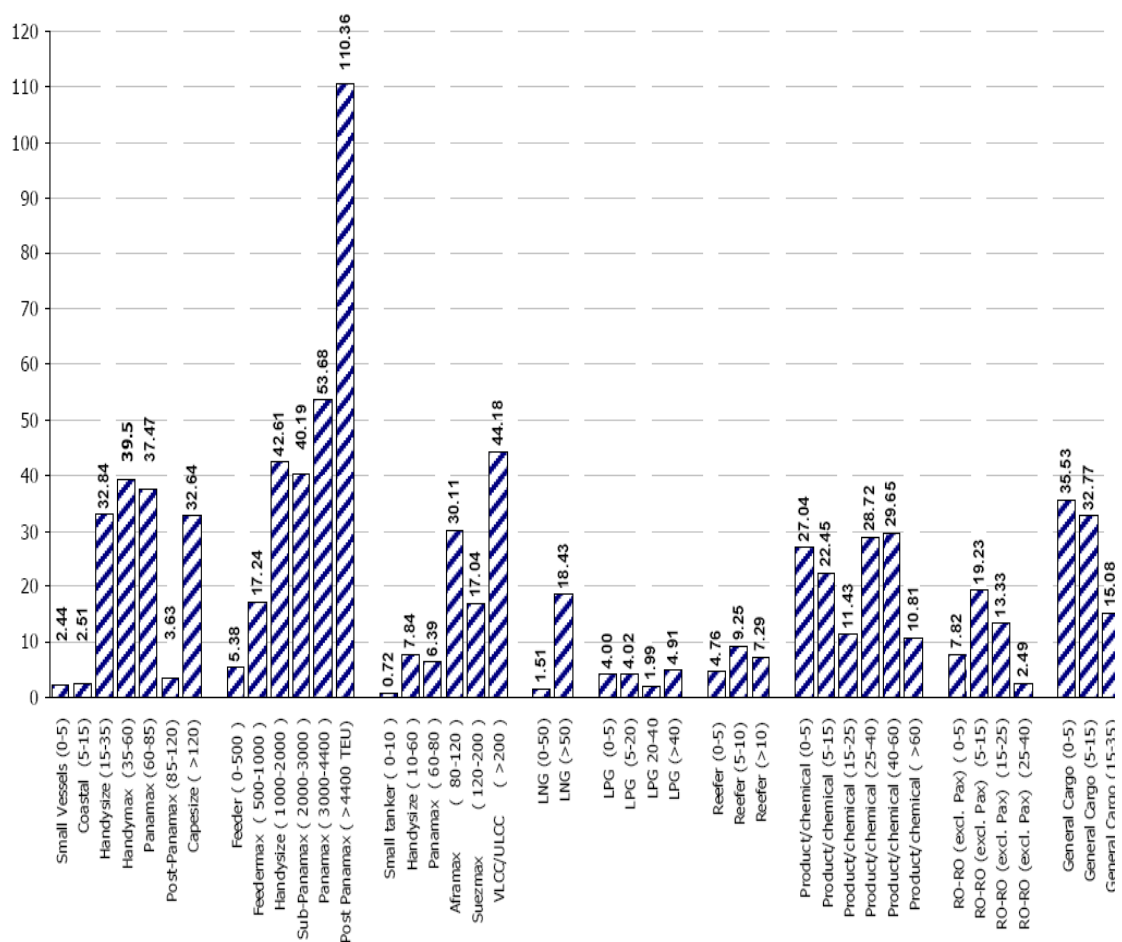
Παράδειγμα 5

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη που συντάχθηκε από το Ε.Μ.Π. και το Εργαστήριο των Θαλασσιών Μεταφορών (Laboratory for Maritime Transport) τον Μάιο 2008 (14). Τα πιο βασικά αποτελέσματα όσον αφορά στο πώς οι εκπομπές υπολογίστηκαν μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- οι εκπομπές του CO₂ δεν εξαρτώνται από τον τύπο καυσίμων που χρησιμοποιείται ή τον τύπο μηχανών. Χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί η συνολική κατανάλωση καυσίμων των δεξαμενών (σε τόνους ανά ημέρα) με έναν παράγοντα 3.17 για να υπολογιστούν οι εκπομπές του CO₂ (σε τόνους ανά ημέρα).

- οι εκπομπές SO₂ εξαρτώνται από τον τύπο καυσίμων. Χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί η συνολική κατανάλωση καυσίμων των δεξαμενών (σε τόνους ανά ημέρα) με το ποσοστό του θείου που είναι στα καύσιμα (για παράδειγμα, 4%, 1.5%, 0.5%) και στη συνέχεια με έναν παράγοντα 0.02 για να υπολογιστούν οι εκπομπές SO₂ (σε τόνους ανά ημέρα).
- οι εκπομπές NO_x εξαρτώνται από τον τύπο μηχανών. Η αναλογία των εκπομπών NO_x στα καύσιμα που καταναλώνονται (τόνοι ανά ημέρα στους τόνους ανά ημέρα) διακυμαίνεται από 0.087 για τις μηχανές αργής ταχύτητας σε 0.057 για τις μέσες μηχανές ταχύτητας.

CO2 emissions per vessel category (million tonnes per year)



Σχήμα 9

Σχηματική παράσταση εκπομπών CO₂ για διάφορες κατηγορίες πλοίων

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ ανά κατηγορία πλοίου όπως προέκυψαν από τη μελέτη του Εργαστηρίου των Θαλασσιών Μεταφορών (Laboratory for Maritime Transport), στο οποίο είναι υπεύθυνος ο καθηγητής στη

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Ψαραύτης. Όπως φαίνεται από το παραπάνω Σχήμα και ήταν αναμενόμενο, τα γρηγορότερα σκάφη όπως είναι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Panamax, Post Panamax) εκπέμπουν περισσότερο CO₂ σε σχέση με τα πιο αργά σκάφη. Μία άλλη παρατήρηση που μπορούμε να κάνουμε από το Σχήμα 9 είναι ότι τα φορτηγά πλοία (Bulk Carriers) στα οποία περιλαμβάνονται τα Small Vessels (0-5000 DWT) αλλά και τα Capesize (>120.000 DWT) έχουν παρόμοια εκπομπή CO₂ με τα δεξαμενόπλοια όπως είναι τα Small Tankers (0-5000 DWT) αλλά και τα VLCC/ULCC (>120.000 DWT).

2.3 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

2.3.1 Γενικά

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.

2.3.2 SO₂ και ναυτιλία

Στις αρχές Οκτώβριου 2008 σε συνεδρίαση που έλαβε χώρα στο Λονδίνο, ο διεθνής θαλάσσιος οργανισμός (IMO) των Ηνωμένων Εθνών ο οποίος απαριθμεί 168 μέλη-κράτη έλαβε την απόφαση για την περαιτέρω μείωση των επιβλαβών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα σκάφη μέσω ενός χρονοδιαγράμματος τουλάχιστον έως το 2015 (MEPC 58). Τα κράτη-μέλη συμφώνησαν να μειώσουν τα όρια του θείου (S) στις αποκαλούμενες ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου (emission control areas SECA) σε 0,1% μέχρι το 2015 από το 1,5% που ισχύει σήμερα. Να αναφέρουμε ότι παγκοσμίως χωρίς να λάβουμε υπόψιν μας τις ειδικές αυτές περιοχές (SECA) το όριο περιεκτικότητας σε θείο είναι 4,5%. Σήμερα λέγοντας ειδικές περιοχές (SECA) εννοούμε τη Βόρεια θάλασσα και τη Βαλτική. Βέβαια μέχρι το 2015 αναμένεται να προστεθούν στις περιοχές SECA και άλλες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι

Ηνωμένες Πολιτείες, η Ιαπωνία, η Σιγκαπούρη και η Αυστραλία. Επίσης συμφωνήθηκε μέχρι το 2025 οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από τα πλοία κατά την πλεύση τους στον ωκεανό να μειωθούν στο 0,5 % από 4,5% που ισχύει σήμερα **(15)**.

Οι εκπομπές οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα συνδέονται άμεσα με την περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα ναυτιλίας που χρησιμοποιούνται στις κύριες και βοηθητικές μηχανές των πλοίων. Σύμφωνα με το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78 το περιεχόμενο σε θείο οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4.5 % κατά βάρος. Η περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα στις Ειδικές Περιοχές Ελέγχου (SOx Control Areas) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.5% κατά βάρος, ενώ εναλλακτικά τα πλοία που διέρχονται μέσα από αυτές τις περιοχές, μπορούν να έχουν εγκαταστήσει ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers), εγκεκριμένο από την Αρχή της σημαίας του πλοίου, ικανό να μειώσει τις ολικές εκπομπές οξειδίων του θείου από τα πλοία συμπεριλαμβανομένων των κύριων και βοηθητικών μηχανών πρόωσης σε 6.0 gr/Kwh ή λιγότερο. Τα πλοία εκείνα που χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους καυσίμου για να πληρούν τις απαιτήσεις περιεκτικότητας εντός των Ειδικών Περιοχών Ελέγχου, θα επιτρέπουν να διέλθει ικανοποιητικός χρόνος από το σύστημα διανομής καυσίμου ώστε να ξεπλένεται πλήρως από όλα τα καύσιμα που υπερβαίνουν σε περιεκτικότητα σε θείο το 1.5% κ.β. Βέβαια όπως έχει τονιστεί πιο πάνω έγιναν τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78 τον Οκτώβριο 2008 οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.

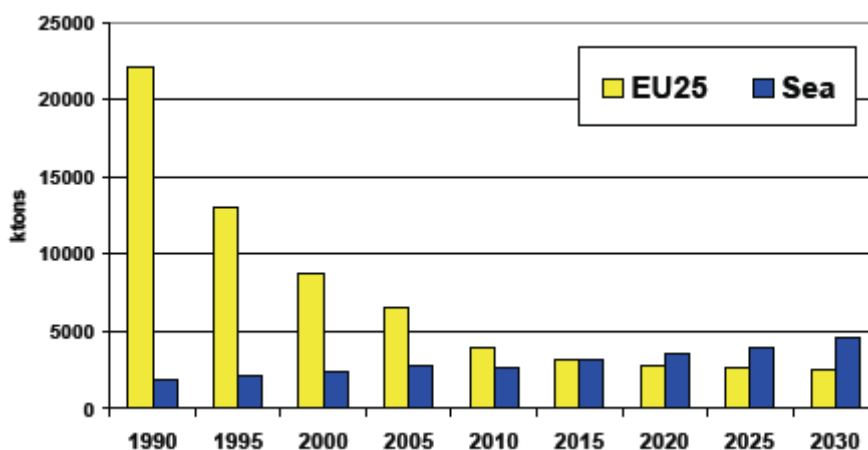
Πίνακας 11: Επιλεγμένες προδιαγραφές καυσίμων κατά ISO 8217

Επιλεγμένες προδιαγραφές καυσίμων κατά ISO 8217 (Μέγιστες τιμές)						
Παράμετροι	Καύσιμα σειράς Distillates				Καύσιμα σειράς IFO	
	DMX	DMA	DMB	DMC	IFO 180	IFO 360
Πυκνότητα (15°C, kg/m ³)	0.89	0.89	0.90	0.92	0.991	0.991
Κιν. Ιξώδες (40°C, mm ² /s)	5.5	6	11	14	25	35
Θείο (% κ.β.)	1	1.5	2	2	5	5

Αξίζει να σημειωθεί ότι το κυρίαρχο πρότυπο ποιότητας ναυτιλιακών καυσίμων είναι το ISO 8217, το οποίο παρέχει προδιαγραφές τόσο για τη σειρά των ενδιάμεσων, υπολειμματικών καυσίμων (IFO series) όσο και για τα καύσιμα προϊόντα διύλισης αργού πετρελαίου (distillate marine fuels) **(16)**. Το πρότυπο αυτό εκδόθηκε τον Νοέμβριο 2005 και έχει ως στόχο να περιορίσει μερικά από τα προβλήματα που προκύπτουν από την ποιότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα πλοία.

Εναρμονίζεται με το μέγιστο όριο θείου στο πετρέλαιο βαρέων καυσίμων με το Παράρτημα VI της MARPOL. Στον Πίνακα 11 φαίνονται οι προδιαγραφές καυσίμων κατά ISO 8217.

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 (S) το 2000 από τη διεθνή ναυτιλία έφτασαν σε 2,6 εκατομμύρια τόνους, ενώ το 2010 θα ανέρχονται σε 2,85 εκατομμύρια τόνους (17). Στο Σχήμα 10 φαίνονται τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής καθώς και οι εκπομπές μέχρι το 2030. Όπως παρατηρούμε για τις εκπομπές των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου θα έχουν μειωθεί αρκετά το 2010 αρχικά και το 2030 τελικά σε σύγκριση με το 1990. Τα μέτρα που έχουν θεσπιστεί για τις εκπομπές για τις οδικές μεταφορές (Euro) παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση αυτή. Εκτενέστερη αναφορά των μέτρων αυτών γίνεται στο Κεφάλαιο 4. Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται και για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου από τα πλοία αφού παρατηρείται μικρή αύξηση κάθε χρόνο φτάνοντας το 2030 να είναι περισσότερες από τις οδικές μεταφορές.



Σχήμα 10

Εκπομπές διοξειδίου του θείου της Ευρωπαϊκής Ένωσης

2.3.3 Εκπομπές SO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο

Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των εκπομπών διοξειδίου του θείου από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο.

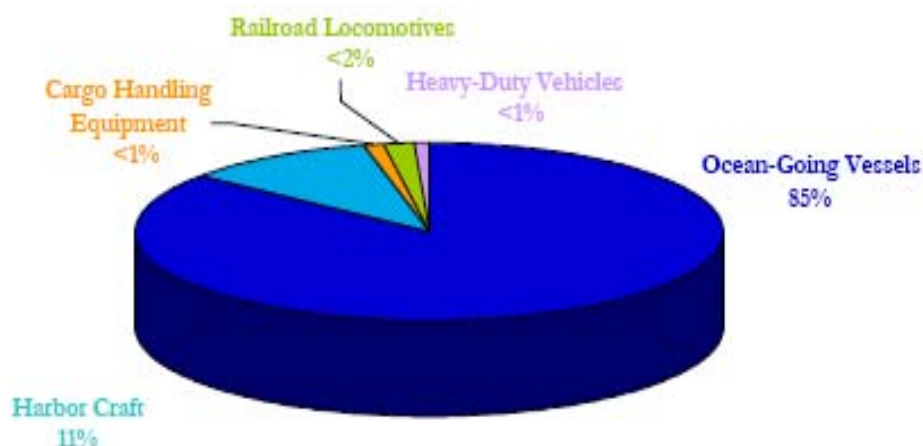
ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ: ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΛΟΣ ΑΝΤΖΕΛΕΣ

Μεταξύ των αμερικάνικων λιμένων, το λιμάνι του Λος Άντζελες είναι εκείνο που συντελεί σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η περιοχή του Los Angeles

κυρίως είναι εκείνη που έχει το μεγαλύτερο πρόβλημα με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στην περιοχή αυτή τα ωκεανοπόρα σκάφη (ocean-going vessels) συμβάλλουν κατά 85% στις εκπομπές διοξειδίου του θείου (18). Για τον λόγο αυτό οι αρχές της Καλιφόρνιας σε συνεργασία με την Προστασία του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) πρότεινε στον IMO να λάβει πιο αυστηρά μέτρα για το λιμάνι αυτό. Εκδόθηκαν δύο κανονισμοί σε σχέση με την κίνηση των πλοίων μέσα και έξω από την Καλιφόρνια (19). Αυτοί οι κανονισμοί είναι οι ακόλουθοι:

1. Τα ωκεανοπόρα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν σύστημα καθαρισμού για το απόσταγμα του καυσίμου ή να κάνουν ελέγχους εκπομπής στις βοηθητικές μηχανές diesel καθώς και στις ηλεκτρικές μηχανές των πλοίων που κινούνται μέσα στα ύδατα της Καλιφόρνιας. Όσον αφορά τα καύσιμα των πλοίων οι απαιτήσεις του ορίου του θείου να είναι 0,1% μέχρι τον Ιούλιο του 2010.
2. Ο κινητός εξοπλισμός χειρισμού όπως είναι τα φορτηγά των ναυπηγείων καθώς και τα ανυψωτικά μηχανήματα που υπάρχουν στους λιμένες να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες μηχανές με καινούργιες ή να τοποθετήσουν στο πίσω μέρος τους τις μηχανές diesel.

Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η συνεισφορά των ποντοπόρων πλοίων στις εκπομπές διοξειδίου του θείου στο λιμάνι του Λος Άντζελες.



Σχήμα 11

Σχηματική παράσταση της ποσοστιαίας εκπομπής SO₂ από κάθε πηγή ρύπανσης στο λιμάνι του Λος Άντζελες

ΕΥΡΩΠΗ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

Στην Ευρώπη τα όρια του θείου προσδιορίζονται από τον κανονισμό της MARPOL. Τον Ιούλιο 2005 η επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέδωσε μια νέα οδηγία (directive 2005/33/EC) που σχεδιάστηκε για να μειωθούν περαιτέρω οι εκπομπές θείου στους λιμένες και τα ύδατα της Ευρωπαϊκής Ένωσης **(20)**. Η νέα οδηγία αναφέρει ότι όλα τα επιβατηγά σκάφη (passenger vessels/ferries) που λειτουργούν σε συνθήκες υπηρεσίας (ταχύτητα υπηρεσίας) πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα που να έχουν περιεκτικότητα σε θείο (S) λιγότερο από 1,5% σε όλη την Ε.Ε. Επιπλέον όλα τα πλοία που εισέρχονται σε όλα τα ευρωπαϊκά λιμάνια πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο (S) λιγότερο από 0,2%, περιεκτικότητα που το 2010 θα μειωθεί στο 0,1%. Η ολική επίπτωση από αυτήν την οδηγία είναι να μειωθούν οι εκπομπές θείου περισσότερο από 500.000 τόνους ετησίως αρχίζοντας από το έτος 2006. Να αναφέρουμε ότι η οδηγία 2005/33/EC παρουσιάζεται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 4.

Παρόλα αυτά, τα ωκεανοπόρα σκάφη (ocean-going vessels) συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές του οξειδίου του θείου. Υπολογίζεται όπως ειπώθηκε παραπάνω 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 φαίνεται η συνεισφορά που έχουν ορισμένα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του θείου αλλά και οξειδίων του αζώτου από τα πλοία **(21)**.

Πίνακας 12: Η συνεισφορά κρατών της Ευρώπης στην εκπομπή SO₂ και NO_x από την ναυτιλία

Sulphur		NO _x -nitrogen	
Netherlands	16%	Portugal	23%
Sweden	15%	Greece	22%
Norway	14%	Ireland	22%
UK	12%	Spain	18%
Portugal	11%	Italy	17%
Italy	11%	UK	16%
France	11%	Sweden	16%
Denmark	11%	Norway	16%
Belgium	11%	France	14%
Ireland	10%	Netherlands	13%
Finland	9%	Denmark	13%

ΒΑΛΤΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ

Συγκεκριμένα η θάλασσα της Βαλτικής και η Βόρεια θάλασσα έχουν χαρακτηριστεί ως ειδικές περιοχές εκπομπής θείου (SECA). Αυτό σημαίνει ότι όλα τα πλοία που διέρχονται από αυτές τις περιοχές θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα που έχουν περιεκτικότητα σε θείο λιγότερο από 1,5%. Αυτός ο κανονισμός τέθηκε σε ισχύ το Μάιο 2006 για τη θάλασσα της Βαλτικής και τον Νοέμβριο 2007 για τη Βόρεια θάλασσα.

ΑΣΙΑ

ΙΑΠΩΝΙΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στη μεγαλύτερη περιοχή του Τόκιο είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στο οποίο η ναυπηγική βιομηχανία έχει μια ουσιαστική συμβολή. Τα σκάφη που δένουν στο λιμένα του Τόκιο εκπέμπουν περίπου οκτώ φορές περισσότερα οξείδια του θείου (SO₂) ετησίως σε σχέση με το συνολικό ποσό που εκπέμπουν τα αυτοκίνητα κατά μήκος του κόλπου του Τόκιο **(22)**. Η κυβέρνηση του Τόκιο απαιτεί τα σκάφη που εισέρχονται στους λιμένες του Τόκιο να χρησιμοποιούν καλύτερης ποιότητας καύσιμα diesel (υψηλότερα πρότυπα, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο). Τέλος με την επικύρωση του παραρτήματος της MARPOL αναμένεται να μειωθούν κατά 10% οι εκπομπές SO₂ τα επόμενα χρόνια **(23)**.

ΚΟΡΕΑ

Οι λιμενικές αρχές της Κορέας όσον αφορά τους λιμένες Busan και Inchon είναι ενήμεροι για τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τις εκπομπές θείου από τα πλοία. Σε σύσκεψη που έγινε στο Χονγκ Κονγκ τον Σεπτέμβριο 2005 βεβαιώθηκε ότι οι κορεάτικοι λιμένες θα γίνουν ειδικές περιοχές (SECAS) το 2010 **(23)**.

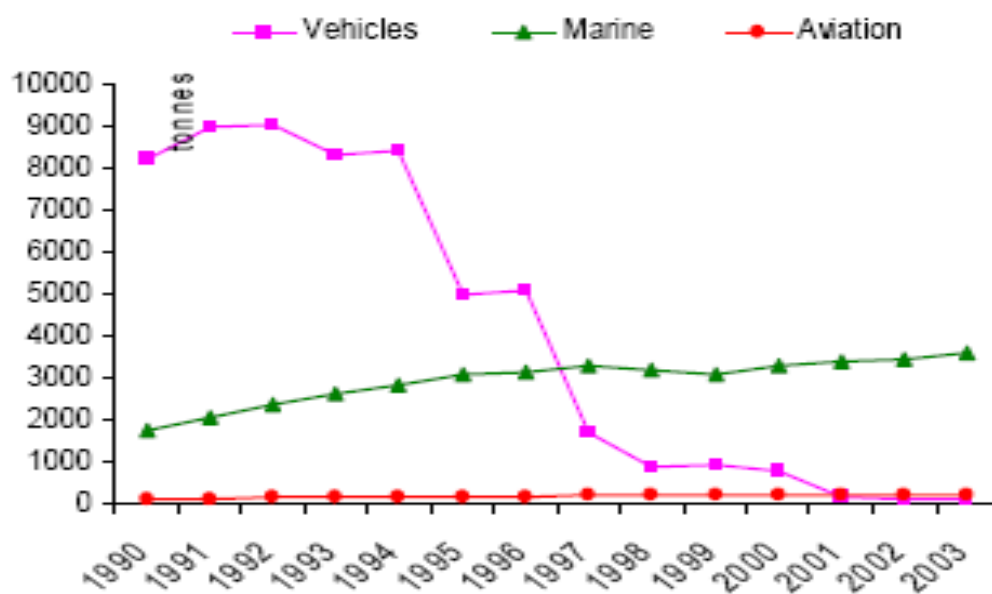
ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ

Όπως η Ιαπωνία έτσι και η Σιγκαπούρη έχει ενσωματώσει πλήρως όλα τα Παραρτήματα της Συνθήκης της Marpol συμπεριλαμβανομένου και του Παραρτήματος VI. Επίσης παρόμοια με την Κορέα ενδέχεται ο λιμένας της Σιγκαπούρης να γίνει ειδική περιοχή (SECA) το 2010 **(25)**.

ΧΟΝΓΚ ΚΟΝΓΚ

Τα φορτηγά πλοία (cargo vessels) είναι νόμιμα να χρησιμοποιούν υψηλά σε περιεκτικότητα σε θείο καύσιμα (έως και 4,5% περιεκτικότητα σε θείο) το οποίο

έρχεται σε αντίθεση με τα καύσιμα οδικών οχημάτων στο Χονγκ Κονγκ που είναι 0,005 τοις εκατό περιεκτικότητα σε θείο. Τα καύσιμα αυτά καλούνται βαριά καύσιμα (Heavy Oil) λόγω αυτής της υψηλής περιεκτικότητας. Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες έδειξαν ότι γύρω από τον λιμένα Kwai Chung η συγκέντρωση σε διοξείδιο του θείου που προέρχεται από τα πλοία ανέρχεται στο 36%, την ίδια στιγμή που οι τοπικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας συνέβαλαν 7% στη συγκέντρωση διοξειδίου του θείου (26). Στο παρακάτω Σχήμα φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα πλοία, τα οχήματα και από τα αεροπλάνα στο Χονγκ Κονγκ. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση της εκπομπής διοξειδίου του θείου που προέρχεται από τα πλοία από το 2000 και ύστερα σε σχέση με τις εκπομπές διοξειδίου του θείου που προέρχεται από τα οχήματα, όπου η μείωσή τους είναι αρκετά σημαντική από το 2003 σε σχέση με το 1990.



Σχήμα 12
Σχηματική παράσταση της εκπομπής SO₂ σε tones από πλοία, οχήματα, αεροπλάνα στο Χονγκ Κονγκ

Πρόσφατη μελέτη (2007) παρουσιάζει ότι θα μπορούσαν να δοθούν κίνητρα στους πλοιοκτήτες ώστε να χρησιμοποιούν χαμηλής περιεκτικότητα σε θείο καύσιμα και να μειώσουν την ταχύτητα των πλοίων σε 12 κόμβους (12 knots) όταν πλέουν στο Χονγκ Κονγκ ώστε να μειωθεί η ρύπανση από τα πλοία. Στο πλαίσιο της πρότασης, οι διαχειριστές λιμένων θα πλήρωναν στις ναυτιλιακές εταιρίες τη διαφορά μεταξύ της τιμής των καυσίμων των δεξαμενών και των χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καυσίμων για τα σκάφη που κάνουν την μετατροπή των καυσίμων από υψηλή περιεκτικότητα σε θείο σε χαμηλή, σε τουλάχιστον 32 χλμ από τους λιμένες (27).

2.3.4 Επιπτώσεις του 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 **(28)**.

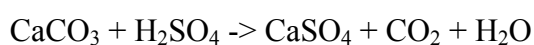
Όσον αφορά την όξινη βροχή χρειάζεται να αναφερθούν κάποια συμπεράσματα που έχουν προκύψει γι' αυτό το φαινόμενο. Η όξινη βροχή λοιπόν είναι ένα φαινόμενο που οφείλεται στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και κατά το οποίο ποσότητες κυρίως θειικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες 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) **(29)**. 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 **(30)**.

Επιπλέον η όξινη βροχή καταστρέφει κτίρια, μνημεία και αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), όπως ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ.λπ. Το θειικό οξύ που περιέχεται στην όξινη βροχή ενώνεται με το ασβέστιο και δίνει γύψο (CaSO₄), 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. Στο Σχήμα 13 φαίνεται η φθορά που έχουν υποστεί μάρμαρα της Ακρόπολης. Τα μάρμαρα αυτά έχουν υποστεί «Ζαχαροειδής» 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 (31).



Σχήμα 13

Φωτογραφία που απεικονίζει φθορά των μαρμάρων της Ακρόπολης από την όξινη βροχή

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, πνεμονικό οίδημα, βρογχική ανάφλεξη, ερεθισμούς στα μάτια και αυξημένη αντίσταση στις εναέριες οδούς των ενηλίκων που είναι υγιείς (32).

2.4 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

2.4.1 Γενικά

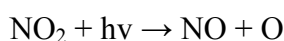
Οι εκπομπές των NO_x προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως από αυτήν της καύσης, όπου το NO σχηματίζεται από

αντίδραση μεταξύ του αζώτου (N) και του οξυγόνου (O₂) στο περιβάλλον της καύσης. Οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες εκπομπής NO_x 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 **(33)** :

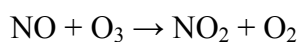
- αμμωνία (NH₃),
- αμμώνιο (NH₄),
- υποξείδιο του αζώτου (N₂O),
- μονοξείδιο του αζώτου (NO),
- διοξείδιο του αζώτου (NO₂),
- νιτρώδες οξύ (HNO₂),
- νιτρικό οξύ (HNO₃),
- ελεύθερες ρίζες (NO₃).

Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας η μόνη σημαντική παραγωγή ατόμων οξυγόνου είναι από τη φωτολύση του NO₂:

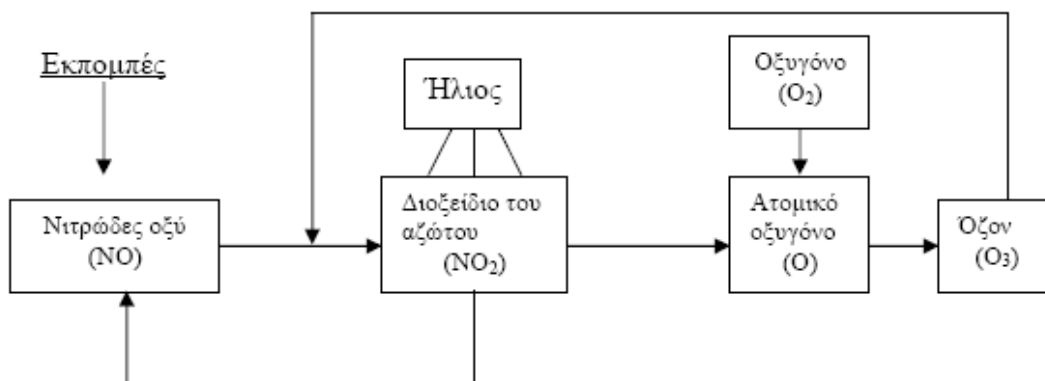


όπου το φωτόνιο $h\nu$ έχει μήκος κύματος μεταξύ 280-430 nm.

Το NO που δημιουργείται, αντιδρά γρήγορα με το O₃ και αναπαράγει NO₂:



Το σύνολο αυτών των αντιδράσεων δημιουργεί ένα κύκλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.



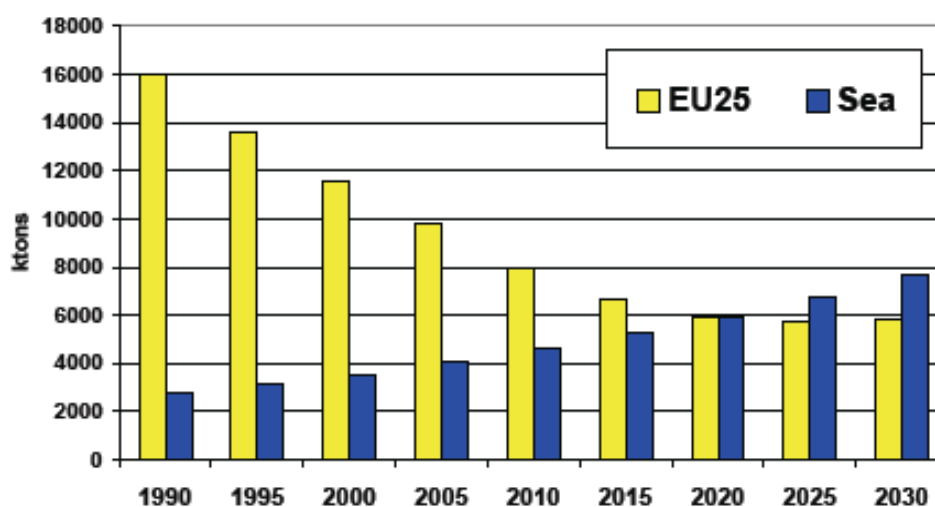
Σχημα 14
Απλουστευμένος κύκλος των οξειδίων του αζώτου

2.4.2 Εκπομπές NO_x και Ευρωπαϊκή Ένωση

Όπως έχει τονιστεί και πιο πάνω 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 υπάρχουσων 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. Περισσότερες λεπτομέρειες παρατίθενται στο Κεφάλαιο 4.

Ένα μεγάλο μέρος των ρύπων συμπεριλαμβανομένων και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) 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 2000 (34). Στον Πίνακα 13 φαίνονται οι εκπομπές NO_x τόσο για το 1990 όσο και για το 2000. Ακόμη με βάση την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Euro 3 (2000) for any vehicle - 98/69/EC) παρατίθενται και στοιχεία για τις εκπομπές NO_x που οφείλονται στις επίγειες μεταφορές.

Πίνακας 13: Εκπομπές NOx από τη ναυτιλία και από τα επίγεια μέσα μεταφοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση



Στον παραπάνω Πίνακα βλέπουμε ότι ενώ οι εκπομπές τόσο του NOx που οφείλονται στα επίγεια μέσα μεταφοράς (οδικές μεταφορές) το έτος 2000 μειώθηκαν σε σχέση με το έτος 1990, κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε για τις εκπομπές αυτές από τα πλοία. Η μείωση των εκπομπών από τα επίγεια μέσα μεταφοράς οφείλεται στις οδηγίες (directives) που έχει εκδώσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τα πρότυπα εκπομπής που πρέπει να έχουν τα επίγεια μέσα μεταφοράς. Όπως έχει αναφερθεί οι εκπομπές των επίγειων μέσων μεταφοράς σε αυτήν την έρευνα στηρίχτηκαν στην οδηγία (directive) Euro 3 (2000) for any vehicle- 98/69/EC. 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. Βλέπουμε δηλαδή ότι υπάρχει η τάση από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης να λάβει μέτρα όλο και πιο αυστηρά μέτρα για τις εκπομπές από τα επίγεια μέσα μεταφοράς. Αυτό φαίνεται διεξοδικότερα και στο Κεφάλαιο 4. Βέβαια όσον αφορά τη ναυτιλία παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση όσον αφορά τις εκπομπές NOx σε σύγκριση με το 1990 ενώ η πρόβλεψη για το 2010 είναι ότι οι εκπομπές θα αυξηθούν περισσότερο, καταλήγοντας να είναι περισσότερες από το 2020 και ύστερα. Η τάση όμως της Ευρωπαϊκής Ένωσης να περιορίσει τις εκπομπές των ρύπων θα οδηγήσει στο άμεσο μέλλον την έκδοση οδηγιών (directives) που θα αφορούν και τα θαλάσσια μέσα μεταφοράς.

Σε στενή συνάρτηση με τα παραπάνω μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι η έκδοση οδηγιών από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχει παίξει καταλυτικό ρόλο στην μείωση εκπομπών από τα επίγεια μέσα μεταφοράς. Σύμφωνα λοιπόν με μια παρόμοια έρευνα (35) που διεξήχθη από την NTM (The Network for Transport and Environment) οργανισμό που ασχολείται με τις μεταφορές και το περιβάλλον βλέπουμε ότι οι εκπομπές NOx από τα επίγεια μέσα μεταφοράς έχουν μειωθεί με την έκδοση των οδηγιών Euro 0, Euro 1, Euro 2, Euro 3. Κάτι τέτοιο φαίνεται και στον

ακόλουθο Πίνακα. Να αναφέρουμε ότι τα ποσά που φαίνονται στον Πίνακα 14 έχουν μονάδες gr per ton-km και τα φορτηγά έχουν ολικό βάρος 40 tones εκ των οποίων το 70% είναι το ωφέλιμο φορτίο τους.

Πίνακας 14: Εκπομπές από φορτηγά με διαφορετικά πρότυπα εκπομπής καθώς και από φορτηγά πλοία

	CO ₂	PM	SO ₂	NO _x	VOCs
Heavy truck with trailer:					
Before 1990	50	0.058	0.0093	1.00	0.120
Euro 0 (1990)	50	0.019	0.0093	0.85	0.040
Euro 1 (1993)	50	0.010	0.0093	0.52	0.035
Euro 2 (1996)	50	0.007	0.0093	0.44	0.025
Euro 3 (2000)	50	0.005	0.0093	0.31	0.025
Cargo vessel:					
large (>8000 dwt)	15	0.02	0.26	0.43	0.017
medium size (2000-8000 dwt)	21	0.02	0.36	0.54	0.015
small (<2000 dwt)	30	0.02	0.51	0.72	0.016

Η έρευνα αυτή παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον καθώς παραθέτει στοιχεία για τις εκπομπές ρύπων από τα πλοία. Βλέπουμε ότι οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου είναι πτωτικές για τα φορτηγά με την έκδοση των οδηγιών και θα μειωθούν και άλλο αφού όπως ειπώθηκε από το 2008 εφαρμόζεται η οδηγία Euro 5. Για τα πλοία παρατηρούμε ότι οι εκπομπές NO_x είναι σχεδόν διπλάσιες από τα φορτηγά. Ενδεικτικά να πούμε ότι για ένα φορτηγό πλοίο 2000-8000 dwt οι εκπομπές NO_x είναι 0,54 gr per ton-km ενώ για ένα φορτηγό 0,31 gr per ton-km.

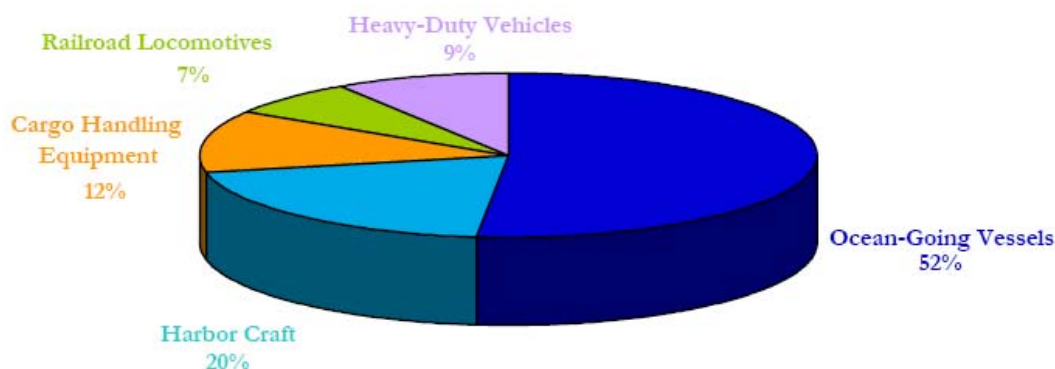
2.4.3 Εκπομπές NO_x σε παγκόσμιο επίπεδο

Στη συνέχεια όπως και στη περίπτωση των εκπομπών SO₂ θα γίνει μια προσπάθεια καταγραφής των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο

ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ: ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΛΟΣ ΑΝΤΖΕΛΕΣ

Το λιμάνι του Λος Άντζελες όπως έχει σημειωθεί και παραπάνω (εκπομπές SO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο) έχει σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Συγκεκριμένα οι εκπομπές NO_x από τα ωκεανοπόρα σκάφη (ocean-going vessels) συμβάλλουν κατά 52% στις συνολικές εκπομπές στον λιμένα. Το ποσοστό αυτό είναι το μεγαλύτερο σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές εκπομπής NO_x που υπάρχουν στον λιμένα. Ειδικότερα οι εκπομπές φορτηγών που κινούνται στον λιμένα συμβάλλουν κατά 23%, οι εργασίες που γίνονται στον λιμένα όπως συντήρηση και επισκευή 18%

και τέλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον χειρισμό του φορτίου που διακινείται κατά 10% (36). Στο Σχήμα 15 φαίνονται γραφικά οι εκπομπές NOx από όλες τις πηγές στο λιμάνι του Λος Άντζελες.



Σχήμα 15

Σχηματική παράσταση της ποσοστιαίας εκπομπής NOx από κάθε πηγή ρύπανσης στο λιμάνι του Λος Άντζελες

Τον Δεκέμβριο 2005 η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) εξέδωσε κανονισμούς σε σχέση με την κίνηση των πλοίων μέσα και έξω από την Καλιφόρνια (37). Οι κανονισμοί αυτοί οι οποίοι έχουν αναφερθεί στην παράγραφο «Εκπομπές SO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο» περιλάμβαναν τόσο τις εκπομπές SO₂ όσο και τις εκπομπές NOx. Η εκτίμηση που υπάρχει από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) είναι ότι οι εκπομπές NOx που οφείλονται στα πλοία (ocean-going vessels) θα μειωθούν κατά 6% έως το 2020.

Πίνακας 15: Εκπομπές NOx σε τόνους ανά ημέρα (δεξιά) και σε τόνους ανά χρόνο (αριστερά) όπως μετρήθηκαν το 2001 στο λιμάνι του Λος Άντζελες

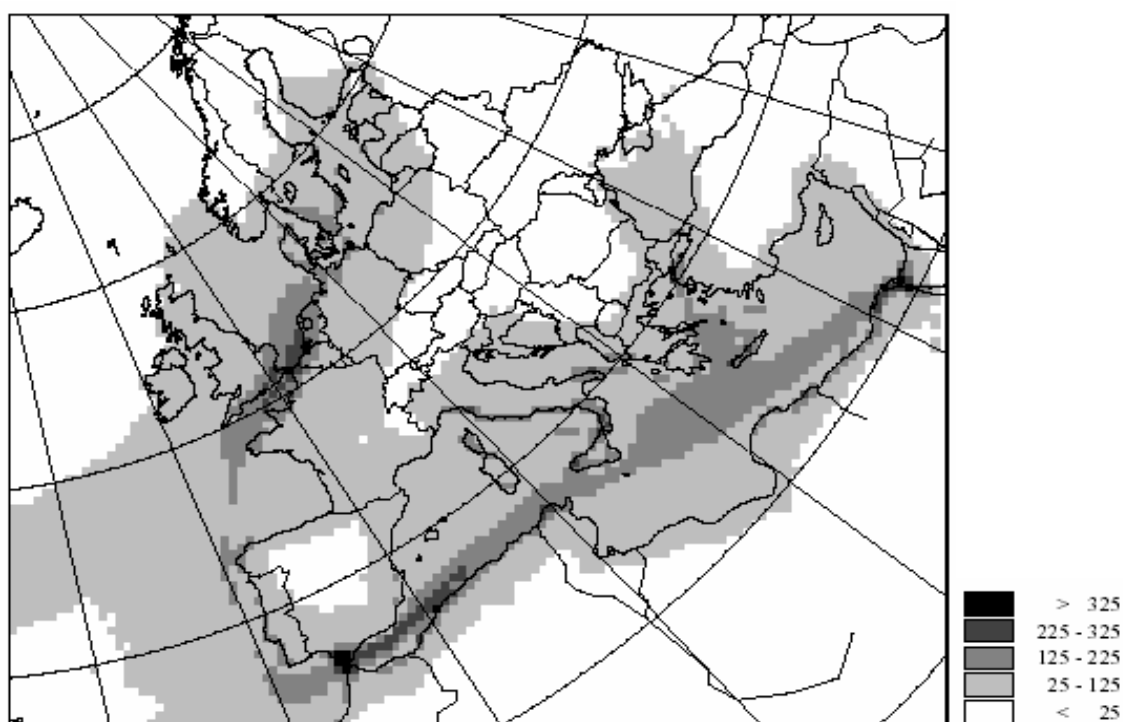
	NO _x			NO _x	
	In-Port	Regional		In-Port	Regional
Ocean-Going Vessels	1,967.6	6,922.7	Ocean-Going Vessels	5.4	19.0
Harbor Craft	1,968.0	3,530.7	Harbor Craft	5.4	9.7
Cargo Handling Equipment	1,862.6	1,862.6	Cargo Handling Equipment	5.1	5.1
Railroad Locomotives	445.9	2,465.8	Railroad Locomotives	1.2	6.8
Heavy-Duty Vehicles	872.5	4,463.5	Heavy-Duty Vehicles	2.4	12.2
Total	7,116.6	19,245.3	Total	19.5	52.7

Στον παραπάνω Πίνακα βλέπουμε ότι οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου στην ευρύτερη περιοχή του λιμανιού (regional) είναι μεγαλύτερες από τις εκπομπές που αναφέρονται στην περιοχή προσάραξης των πλοίων. Αυτό οφείλεται στην μεταφορά

των φορτίων των πλοίων από φορτηγά, στα ανυψωτικά μηχανήματα που υπάρχουν καθώς και στον κινητό εξοπλισμό χειρισμού όπως είναι τα φορτηγά των ναυπηγείων.

ΒΑΛΤΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ

Η θάλασσα της Βαλτικής όπως και η Βόρεια θάλασσα όπως έχει σημειωθεί παραπάνω έχουν χαρακτηριστεί ως ειδικές περιοχές εκπομπής θείου (SECA). Οι εκπομπές NOx ρυθμίζονται με βάση τον Κανονισμό 13 του Παραρτήματος VI της MARPOL 73/78. Βέβαια τον Οκτώβριο 2008 έγιναν τροποποιήσεις και ορίστηκαν νέα όρια για τις υπάρχουσες μηχανές αλλά και για τις μηχανές που θα εγκατασταθούν στα πλοία που πρόκειται να κτιστούν. Όλα αυτά αναφέρονται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 4. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το παρακάτω Σχήμα όπου φαίνονται οι εκπομπές NOx σε αυτές τις περιοχές (38).



Σχήμα 16

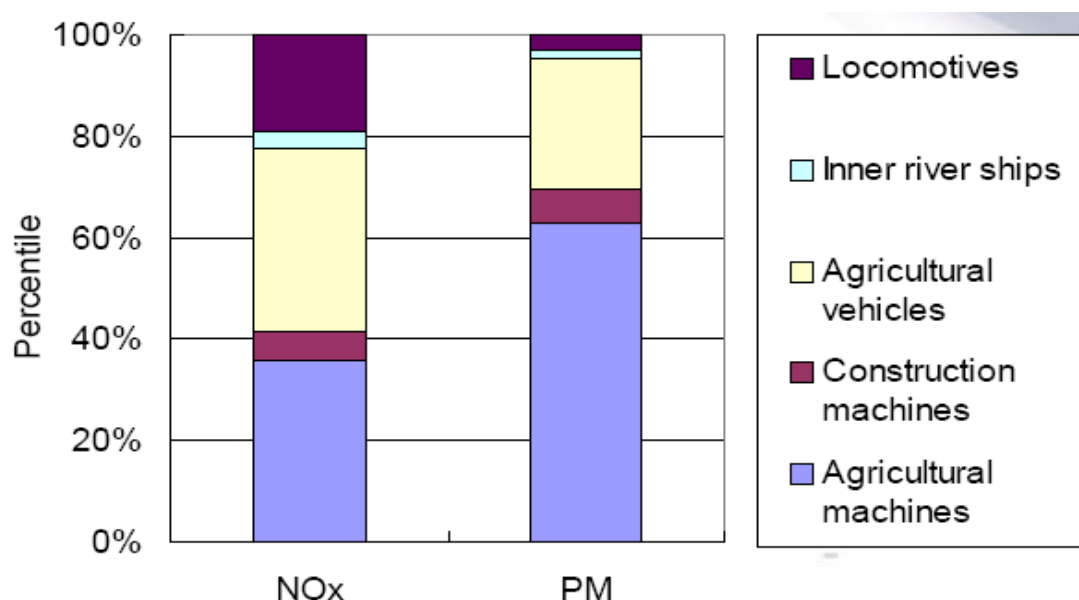
Απεικόνιση των εκπομπών NOx στον Ευρωπαϊκό χώρο λόγω της ναυτιλίας

Να σημειώσουμε ότι στο Σχήμα 16 τα οξείδια του αζώτου έχουν μονάδες mg/m^2 . Όπως παρατηρούμε οι συγκεντρώσεις αυτές είναι πιο μεγάλες σε ορισμένες περιοχές όπως είναι αυτής της Βόρεια θάλασσας, της θάλασσας της Μάγχης και της δυτικής Μεσογείου.

ΑΣΙΑ

ΚΙΝΑ

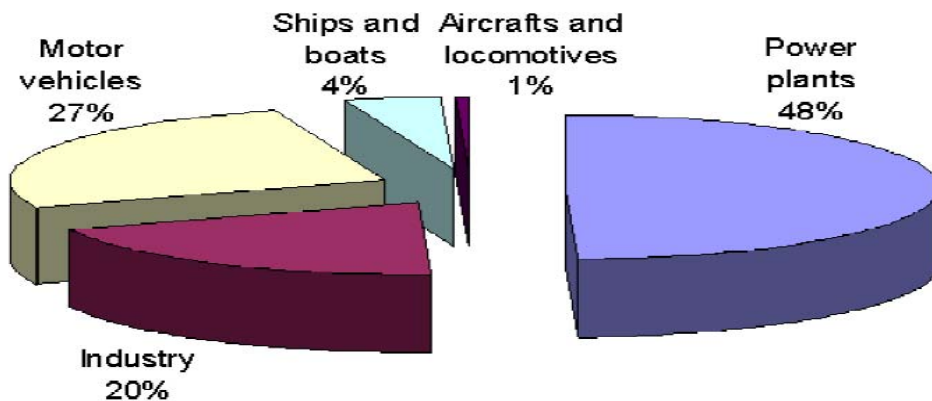
Είναι αρκετά δύσκολο να βρεθούν οποιεσδήποτε πληροφορίες που αφορούν περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες που έχουν γίνει στους κινεζικούς και ταϊβανικούς λιμένες γενικότερα καθώς και κανονισμοί που αφορούν τις εκπομπές πλοίων σε αυτές τις περιοχές. Το σίγουρο πάντως είναι ότι η Κίνα εφαρμόζει τη Δ.Σ. MARPOL 73/78 από το 2005. Επίσης σε έρευνα που έγινε στο Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Μηχανολογίας (Institute of Environmental Science and Engineering) **(39)** βρέθηκε ότι το 2002 οι εκπομπές NO_x καθώς και των αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matters) ήταν 2007×10^3 tons και 184×10^3 tons αντίστοιχα.



Σχῆμα 17

Ποσοστιαίες εκπομπές NO_x και PM των διαφόρων πηγών στην Κίνα το 2002

Στο Σχῆμα 17 παρουσιάζονται οι διάφορες πηγές εκπομπής καθώς και το πόσο συμβάλλουν ποσοστιαία στις εκπομπές αυτές. Να τονίσουμε ότι στο Σχῆμα αυτό δεν περιλαμβάνονται τα πλοία που κινούνται στα παράλια της Κίνας. Όσον αφορά το λιμάνι της Σαγκάης μπορούμε να πούμε ότι οι εκπομπές NO_x είναι από τους κύριους ρύπους που κυριαρχούν στην ατμόσφαιρα εκεί **(40)**. Στο παρακάτω Σχῆμα παρουσιάζονται οι πηγές εκπομπής οξειδίων του αζώτου όπως υπολογίστηκαν το 1998.



Share Responsibility of NOx Pollution in Shanghai in 1998

Σχημα 18

Ποσοστιαίες εκπομπές NOx των διαφόρων πηγών στην Σαγκάη το 1998

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας Πίνακας που δείχνει τις εκπομπές NOx το έτος 1998 από διάφορα είδη πλοίων που πέρασαν από το λιμάνι της Σαγκάης. Να αναφέρουμε ότι όλα τα πλοία έχουν χωρητικότητα κάτω των 3000 ton (tonnage<3000 ton) (41) διότι η Σαγκάη το 1998 δεν είχε μπει στον Παγκόσμιο Οργανισμό Εμπορίου.

Πίνακας 16: Εκπομπές NOx από πλοία στο λιμάνι της Σαγκάης το 1998

CATEGORY	Number (ships/a)	Time of stop in port (hr)	NOx emissions t/hr per ship	NOx emissions t/a
CONTAINER SHIPS	2706	24	0,0359	194
BULK CARRIES	12571	24	0,0359	864
ROLL SHIPS	82120	24	0,026	4270
OTHER SHIPS	35870	12	0,038	2726
TANKER SHIPS	16616	24	0,0335	1113
TOTAL	150063			9168

ΧΟΝΓΚ ΚΟΓΚ

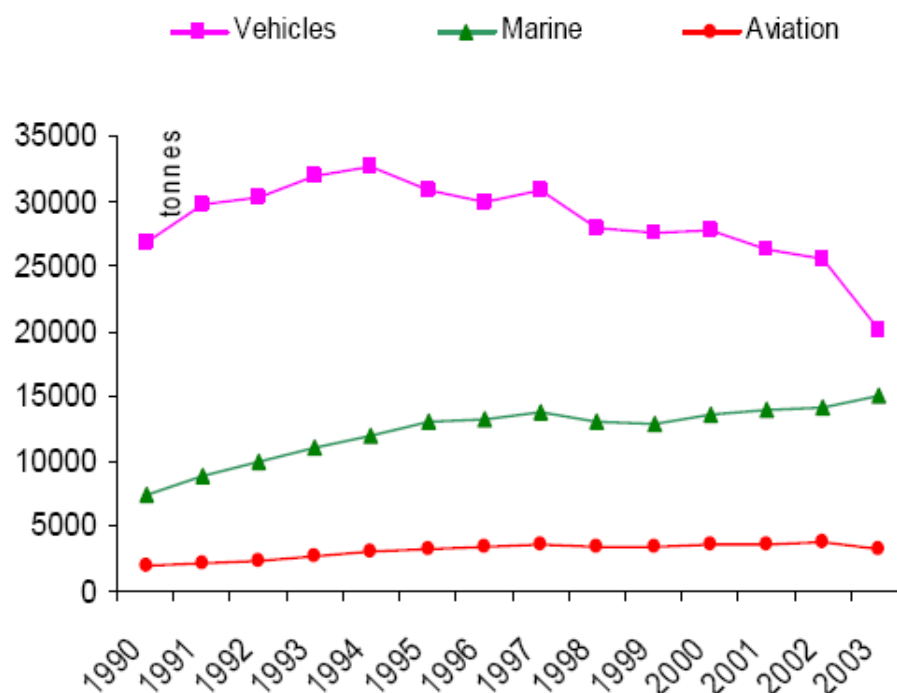
Το 2004 περισσότερα από 225.000 πλοία και πλοίαρια αφίχθησαν στο λιμάνι του Χονγκ Κονγκ. Από αυτά, περίπου 36.000 ήταν ωκεανοπόρα πλοία (ocean-going vessels) και τα υπόλοιπα περίπου 190.000 ήταν πλοία που πλέουν σε ποτάμια

(river vessels) (42). Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται οι κατηγορίες πλοίων που αφίχθησαν στο λιμάνι αυτό.

Πίνακας 17: Αφίξεις πλοίων στο λιμάνι του Χονγκ Κονγκ το 2004

Table 1: Hong Kong Vessel Arrivals 2004							
(NRT – Net Registered Tonnes)							
Ocean Vessels		River Vessels					
Number	Capacity ('000 NRT)	Passenger Ferries		Cargo Vessels		Total River Vessels	
		Number	Capacity ('000 NRT)	Number	Capacity ('000 NRT)	Number	Capacity ('000 NRT)
35,900	307,713	71,980	11,126	117,540	80,193	189,530	91,318

Πάνω σε αυτόν τον Πίνακα στηρίχτηκε το τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος του Χονγκ Κονγκ (Hong Kong Environmental Protection Department) για να εκδόσει το 2005 τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από τα πλοία που καταφτάνουν στο λιμάνι. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στο Σχήμα 19. Σε αυτό το Σχήμα γίνεται μια συνολική παρουσίαση των εκπομπών NOx που οφείλονται σε όλα τα μέσα μεταφοράς (πλοία, αεροπλάνα, οχήματα). Όπως παρατηρούμε οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου που εκπέμπονται από τα πλοία παρουσιάζουν αυξητική τάση από το 1990, φτάνοντας το 2003 να πλησιάζουν τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου από τα οχήματα. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι εκπομπές NOx που οφείλονται στα αυτοκίνητα έχουν μειωθεί αρκετά σε σχέση με το 1990.



Σχήμα 19

Εκπομπές NOx σε τόνους από όλα τα μέσα μεταφοράς στο Χονγκ Κονγκ

Εξαιτίας της μεγάλης εκπομπής NO_x από τα πλοία η κυβέρνηση του Χονγκ Κονγκ αποφάσισε να εφαρμόσει τη Δ.Σ. MARPOL 73/78 από το Μάιο 2005 **(43)**. Έτσι ακολουθεί όλους τους κανονισμούς που αφορούν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου ώστε στο άμεσο μέλλον η πτώση των εκπομπών αυτών να είναι αισθητή.

2.4.5 Επιπτώσεις των NO_x

Το άζωτο, που αποτελεί το 78 % του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξείδια του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσεως (π.χ. πλοία). 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 **(44)**.

Τα οξείδια 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 **(45)**. Όσον αφορά την όξινη βροχή έχει γίνει εκτενής αναφορά παραπάνω (2.3.4 Επιπτώσεις του SO₂ στο περιβάλλον). Όταν λέμε ευτροφισμό γλυκών υδάτων εννοούμε ότι οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλγών είναι μεγάλες και η διαύγεια του νερού πολύ χαμηλή. Η άλγη να αναφέρουμε ότι 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 βιοποικιλότητας **(46)**.

Εξίσου σημαντικές επιπτώσεις έχουν τα οξείδια 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, κυάνωση, 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 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 (47).

2.5 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs)

2.5.1 Γενικά

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 διαιρούνται σε δύο κυρίως κατηγορίες (48) :

- 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 αλκύνια (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 (O₃). Τα αλκύνια, αν και πολύ ενεργά, είναι σχετικώς σπάνια και έτσι δεν απασχολούν τη μελέτη της ρύπανσης του αέρα.

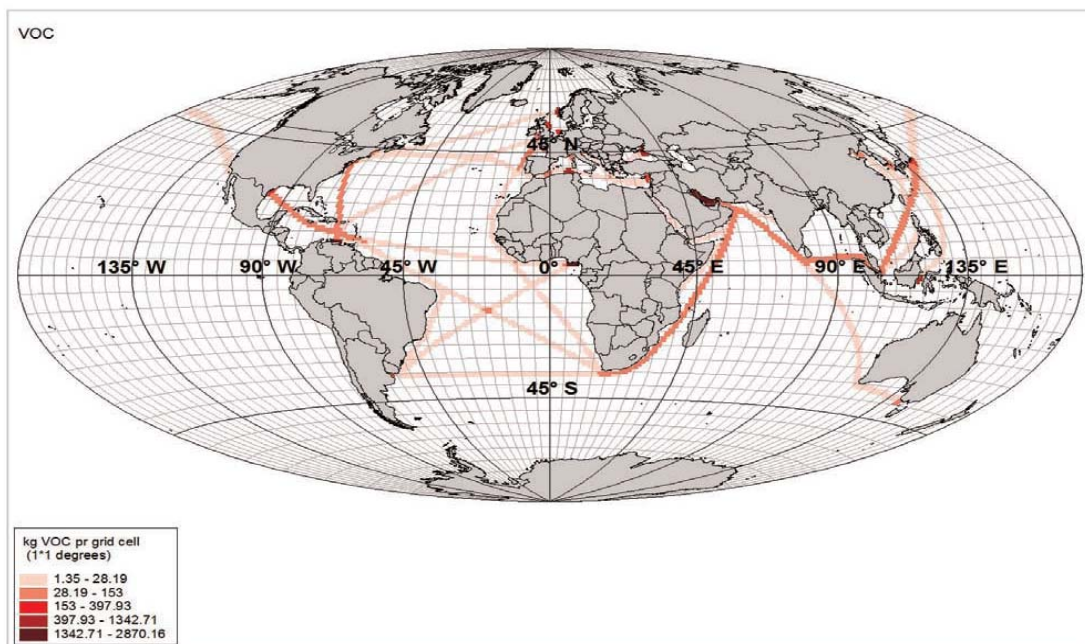
Η ομάδα των αρωματικών υδρογονανθράκων είναι βιοχημικά και βιολογικά ενεργή ενώ μερικοί από αυτούς είναι καρκινογόνοι. Όλα τα αρωματικά παράγονται από το βενζόλιο ή σχετίζονται με αυτό. Αν και τα αρωματικά δεν δείχνουν τη χημική δραστηριότητα των ακόρεστων αλειφατικών υδρογονανθράκων εξετάζονται σε κάθε 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.

2.5.2 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις και ναυτιλία

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις εντοπίζονται κυρίως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων. Στην περίπτωση αυτή οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds) 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, χόματα, 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 50°C έως 200°C). 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 αεριωθούμενων αεροσκαφών (σημείο βρασμού 200°C έως 250°C).
- Πετρέλαιο Diesel : μείγμα υδρογονανθράκων με 14 έως 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχει σημείο βρασμού 225°C έως 350°C και διακρίνεται σε ελαφρύ Diesel (gas oil) που χρησιμοποιείται σε πολύστροφες πετρελαιομηχανές (πετρέλαιο κινήσεως) και εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης (πετρέλαιο θερμάνσεως) και σε βαρύ πετράλαιο Diesel (diesel fuel, Maritime 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 (Heavy Fuel Oil) : περιέχει υδρογονάνθρακες με πάνω από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο και σημείο βρασμού πάνω από 350°C . Χρησιμοποιείται ως μεγάλων αργόστροφων μηχανών, ως καύσιμο λεβήτων και για την παραγωγή ορυκτελαίων και κυλινδρελαίων.



Σχήμα 20

Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων κατά την μεταφορά ακατέργαστου πετρελαίου παγκοσμίως

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. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το Σχήμα 20 όπου φαίνονται οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων κατά την μεταφορά αργού πετρελαίου παγκοσμίως σύμφωνα με την έρευνα που έκανε ο DNV το 2003 (49).

Να αναφέρουμε ότι οι εκπομπές VOCs στο Σχήμα 20 έχουν μονάδες kg per grid cell. Όπως παρατηρούμε από το Σχήμα υψηλές τιμές καταγράφονται στον Ινδικό Ωκεανό κυρίως καθώς στις εκεί Αραβικές χώρες γίνεται φόρτωση πετρελαίου από τα Crude Oil Tankers. Η έρευνα που έγινε από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα όπως έχει ήδη σημειωθεί (2.2.3 Παραδείγματα) βασίστηκε στο είδος των πλοίων που απαρτίζουν τον παγκόσμιο εμπορικό και πολεμικό στόλο. Όλα αυτά φαίνονται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18: Κατανομή του παγκόσμιου εμπορικού και πολεμικού στόλου

Mode	Number of Vessels	Dwt, Millions	GT, Millions	Reference Year
Ocean-going merchant fleet ^a > 100 GT				
All vessels	87,546/84,264		558/508	1996/2000
Cargo fleet	46,205/45,097	792/740	529/482	1996/2000
Noncargo	41,341/39,167		29/26	1996/2000
Inland cargo fleet ^b (waterways)	79,844			1992
Navy fleet ^c				
All vessels ^d	19,646			1995
All vessel > 100 t standard displacement ^e	1338			1998

^aLR [1996, 2000].

^bOECD [1997] (push-towed vessels included).

^cAdcock and Stitt [1995] and Calhoun [1999].

^dIncludes 759 submarines.

^eIncludes 523 submarines.

Σε έρευνα που διεξήχθη από την NTM (The Network for Transport and Environment) και έχει γίνει αναφορά στην Παράγραφο 2.4.2 Εκπομπές NO_x και Ευρωπαϊκή Ένωση φαίνονται οι εκπομπές μεταξύ άλλων και των πτητικών οργανικών ενώσεων από φορτηγά με διαφορετικά πρότυπα εκπομπής καθώς και από φορτηγά πλοία. Δεν θα γίνει εδώ αναφορά για τις οδηγίες Euro 0, Euro 1, Euro 2, Euro 3 αφού έχει γίνει ήδη στην παράγραφο που αναφέρθηκε αλλά γίνεται και στο Κεφάλαιο 4. Από τον Πίνακα 19 παρατηρούμε ότι οι εκπομπές VOCs από τα πλοία δεν είναι υψηλές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εκπομπές (NO_x, SO₂, CO₂, PM) στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι εκπομπές είναι πολύ μικρότερες από εκείνες των φορτηγών που είναι υποχρεωμένα να τηρήσουν τα πρότυπα εκπομπής. Ίσως γι' αυτόν τον λόγο να μην έχουν γίνει αρκετές έρευνες για τις πτητικές οργανικές ενώσεις που προέρχονται από τα πλοία μιας και η συνεισφορά τους είναι πολύ μικρότερη από τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς.

Πίνακας 19: Εκπομπές από φορτηγά με διαφορετικά πρότυπα εκπομπής καθώς και από φορτηγά πλοία

	CO ₂	PM	SO ₂	NO _x	VOCs
Heavy truck with trailer:					
Before 1990	50	0.058	0.0093	1.00	0.120
Euro 0 (1990)	50	0.019	0.0093	0.85	0.040
Euro 1 (1993)	50	0.010	0.0093	0.52	0.035
Euro 2 (1996)	50	0.007	0.0093	0.44	0.025
Euro 3 (2000)	50	0.005	0.0093	0.31	0.025
Cargo vessel:					
large (>8000 dwt)	15	0.02	0.26	0.43	0.017
medium size (2000-8000 dwt)	21	0.02	0.36	0.54	0.015
small (<2000 dwt)	30	0.02	0.51	0.72	0.016

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 (Vapour 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) **(50)**. Να αναφέρουμε ότι ISGOTT είναι ένας οδηγός που ρυθμίζει τον ασφαλή χειρισμό και μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου (crude oil) καθώς και των παραγωγών του σε πλοία Tankers 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 2005 **(51)**.

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 (VOCs) 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 **(52)**. Κάτι αντίστοιχο υπάρχει και στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 στον Κανονισμό 15 και ο οποίος αναφέρεται στο Κεφάλαιο 4.

2.5.3 Επιπτώσεις VOCs

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 όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1 τα αέρια αυτά συντελούν στις κλιματικές αλλαγές του πλανήτη. Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται διεξοδική ανάλυση των επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στον 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.

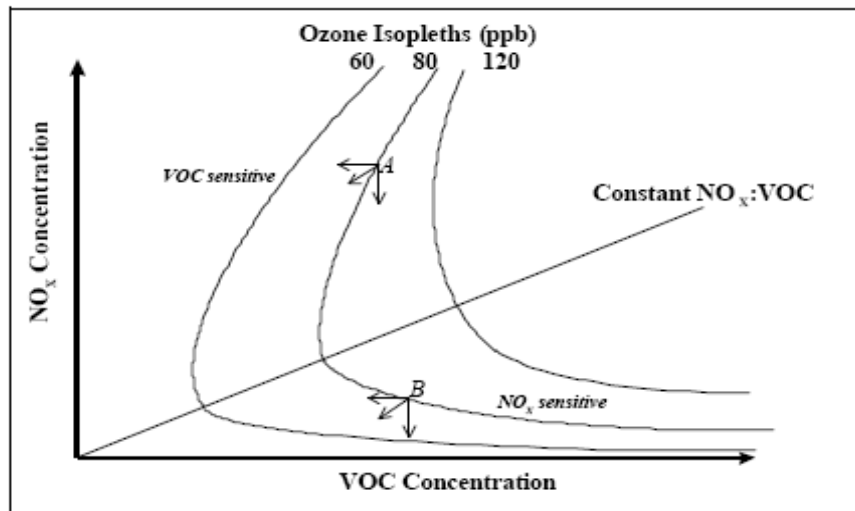
Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων όπως έχει ειπωθεί είναι δυνατόν να έχουμε στις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων που υπάρχουν στα λιμάνια. Στην περίπτωση αυτή οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούνται κυρίως από πτητικές αρωματικές ενώσεις όπως είναι το βενζόλιο το οποίο 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 (53).

2.6 Όζον (O₃)

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 SO₂ τα οποία εκπέμπονται άμεσα από τα πλοία, το όζον (O₃) δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Αντ' αυτού, διαμορφώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω μιας σειράς σύνθετων φωτοχημικών αντιδράσεων όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1. Στην ουσία είναι προϊόν της φωτόλυσης του διοξειδίου αζώτου (NO₂). Γι' αυτόν τον λόγο λοιπόν το όζον (O₃) θεωρείται δευτερογενές προϊόν με την έννοια ότι δεν παράγεται άμεσα και όχι πρωτογενές όπως είναι τα NO_x και το SO₂.

2.6.1 Όζον και ναυτιλία

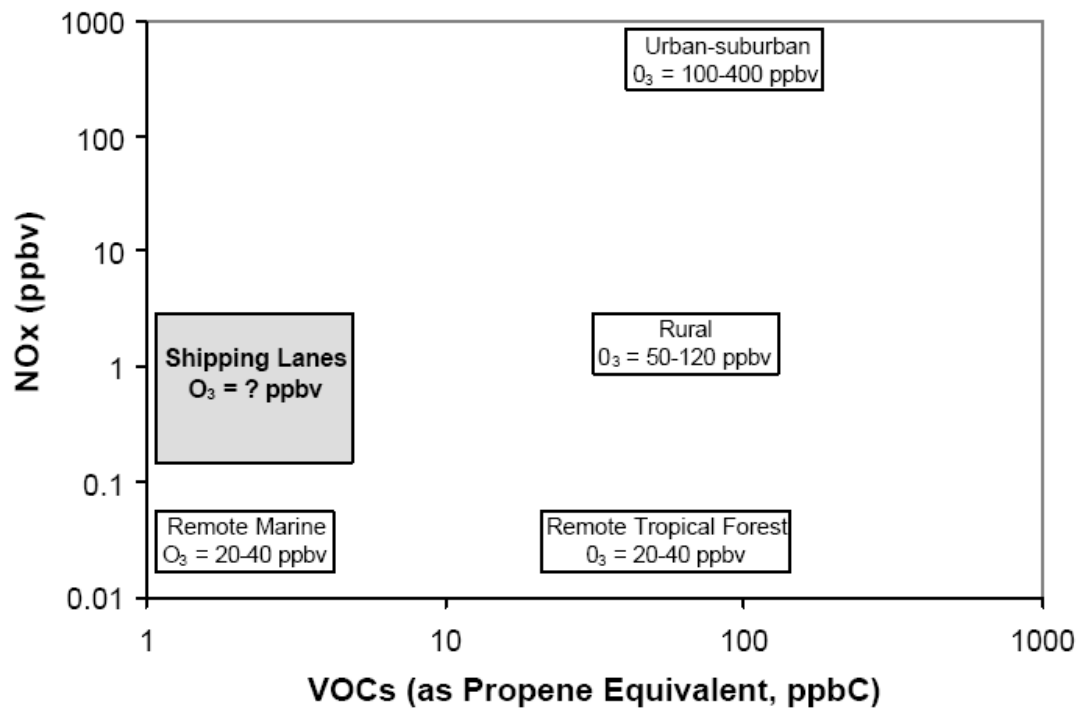
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι η παρουσία VOCs έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα με την οποία το NO_x διαμορφώνει το όζον (54). Τα VOCs έχουν επιπτώσεις στον σχηματισμό του όζοντος μέσω μιας αλυσίδας των αντιδράσεων οξειδωσης. Αυτές οι αλυσιδωτές αντιδράσεις καταναλώνουν VOCs ανακυκλώνοντας ενώ ταυτόχρονα μετατρέπουν το NO σε NO₂ 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 Σχήμα 21.



Σχήμα 21

Διάφορες καμπύλες όζοντος για διαφορετικούς συνδυασμούς NO_x και VOCs

Στο παραπάνω Σχήμα οι διάφορες καμπυλών 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 (ozone formation is VOC-sensitive) και μία αλλαγή στη συγκέντρωση αυτή θα αλλάξει το επίπεδο του όζον (ozone level). 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 (increasing VOCs by a factor of ten) 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 (55). Στο Σχήμα 22 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις όζοντος για διάφορες περιοχές. Όπως παρατηρούμε δεν υπάρχουν στοιχεία για τις γραμμές πλοίων παρά μόνο για τις ευρύτερες περιοχές των λιμένων και όπως είναι λογικό οι υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος είναι στις αστικές και προαστιακές περιοχές.



Σχήμα 22

Συγκεντρώσεις όζοντος σε διάφορες περιοχές

2.6.2 Επιπτώσεις του όζοντος

Το όζον όπως είναι γνωστό είναι αέριο του θερμοκηπίου και μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1 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 κάποιο 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 (56).

2.7 Αιωρούμενα Σωματίδια

2.7.1 Γενικές έννοιες και ορισμοί

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 (suspended particles) ή απλά ως σωματίδια (57).

Αερολύματα

Αερολύματα (aerosols) ονομάζονται τα κολλοειδή συστήματα όπου κάποια αέρια, υγρή ή στερεά ουσία, κολλοειδών 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 κολλοειδείς διαστάσεις (στο γεγονός αυτό

οφείλεται και το γαλάζιο χρώμα του ουρανού). Συνεπώς, ως ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν να χαρακτηριστούν τα ατμοσφαιρικά σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων. Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα αποτελούνται από στερεά ή υγρά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 100μm **(58)**.

Στερεά αερολύματα

Σχηματίζονται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διαχωρίζονται σε αιθάλη και σκόνη.

1. Αιθάλη (fume): 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 μm.

2. Σκόνη (dust): Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών, κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη. Τυπικό μέγεθος 1 έως 10.000 μm. Η χρήση του όρου σκόνη, υποδηλώνει σωματίδια φυσικής και συνήθως γεωλογικής προέλευσης **(59)**.

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

1. Καπνός (smoke): 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.

2. Ιπτάμενη τέφρα (fly ash): 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.

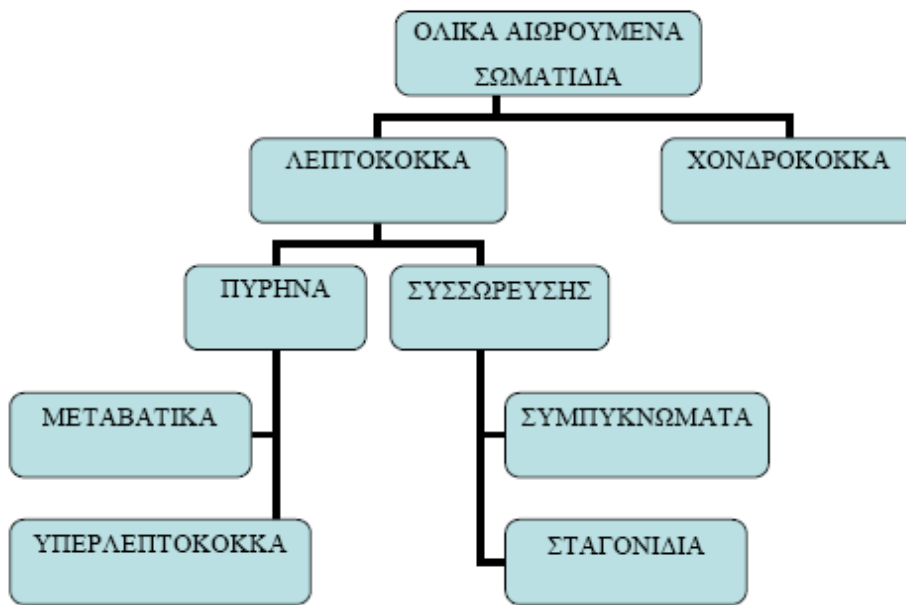
Στο Σχήμα 23 φαίνεται σχηματικά η κατηγοριοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων.



Σχήμα 23
Είδη αιωρούμενων σωματιδίων

2.7.2 Κατάταξη σωματιδίων

Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη, συντίθεται από σωματίδια έντονα διαφοροποιημένα ως προς το μέγεθος. Τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια έχουν μέγεθος κάτω από 5 nm σε διάμετρο και αποτελούνται μόνο από κάποιες δεκάδες μορίων. Αντιθέτως τα πιο μεγάλα σωματίδια έχουν μέγεθος έως και 100μm. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP) είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, τα οποία με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κατηγορίες (61). Στο Σχήμα 24 παρουσιάζονται τα είδη ολικών αιωρούμενων σωματιδίων με κριτήριο το μέγεθος.



Σχήμα 24

Είδη ολικών αιωρούμενων σωματιδίων με κριτήριο το μέγεθος

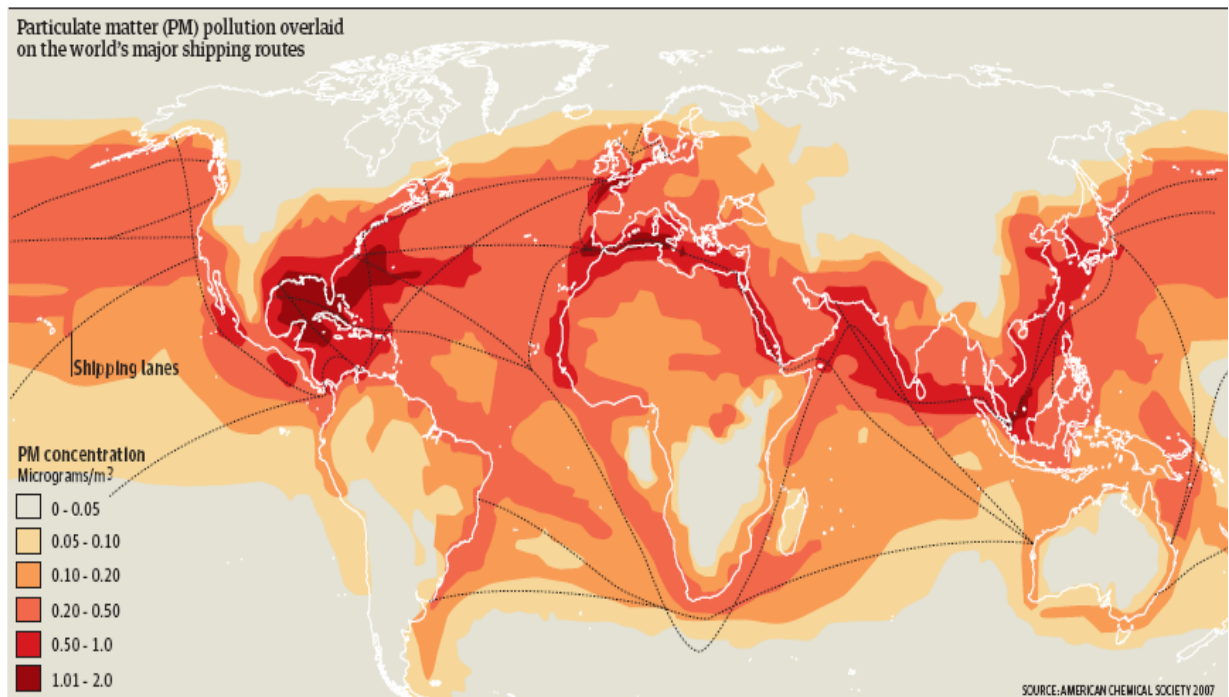
2.7.3 Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων

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 PM10 και των σωματιδίων PM2.5, σωματίδια που παράγονται από τα μέσα μεταφοράς, επομένως και από τα πλοία **(62)**. Τα PM10 ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10μm. Ο αυστηρός ορισμός των PM10 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 PM2,5 ταυτίζονται με την κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων και θεωρείται ότι έχουν διάμετρο έως και 2,5 μm. Ο αντίστοιχος ορισμός της ΕΕ για τα PM2,5 είναι:

PM2,5 νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5μm **(63)**. Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις διαφόρων αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως, που η εκπομπή τους οφείλεται στα πλοία κατά το έτος 2007 παγκοσμίως.



Σχήμα 25

Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που οφείλονται στη ναυτιλία

Παρατηρούμε από το Σχήμα 25 ότι τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τα πλοία είναι εκείνα που έχουν συγκέντρωση $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και ακολουθούν τα σωματίδια που έχουν συγκέντρωση $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 (64).

2.7.4 Τρόποι εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων

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 οξειδωσης. 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 (65).

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 συμπύκνωση (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 απ' ευθείας πολυμερισμό και συμπύκνωση.

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 συμπύκνωσης, 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 (66,67).

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

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.

2.7.5 Μελέτη για τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από τα πλοία (68).

Για τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από τα πλοία οι πληροφορίες που υπάρχουν είναι συγκεκριμένες και δεν είναι αρκετές καθώς είναι ένα ζήτημα που απασχολεί το χώρο της ναυτιλίας αυτήν την περίοδο. Πειράματα και μελέτες πρόκειται να γίνουν στο εγγύς μέλλον μέσα από τα οποία θα προκύψουν και επίσημες οδηγίες ώστε να μειωθούν οι εκπομπές τους από τα πλοία. Εντούτοις μια αξιολογη μελέτη έλαβε χώρα το 2007 στο Σουηδικό Ινστιτούτο Περιβάλλοντος (Swedish Environmental Research Institute) με θέμα τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter) από τα πλοία. Η μελέτη βασίστηκε σε τρία διαφορετικά πλοία που βρίσκονταν εν πλω και στις έξι συνολικά μηχανές τους. Οι περιγραφές των σκαφών και των μηχανών μπορούν να βρεθούν στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20: Δεδομένα πλοίων και χαρακτηριστικά των μηχανών τους

	Ship A	Ship B	Ship C
Type	Multi-purpose ferry	Ro-Ro	Container
Main engines	4 × 7650 kW, 500 rpm, from 1988	1 × 20 070 kW, 125 rpm, from 2004	1 × 17 500 kW, 97 rpm, from 1985
Auxiliary engines	5 × 1200 kW, 750 rpm, from 1988	4 × 1720 kW, 1000 rpm, from 2004	2 × 2250 kW, 720 rpm, from 1985
Aftertreatment	-	SCR with oxidation catalyst on AE	-

Το σκάφος Α είναι ένα πολλαπλής χρήσης πλοίο (multipurpose ferry) το οποίο ταξιδεύει στη Θάλασσα της Βαλτικής. Οι μετρήσεις που έγιναν ήταν πάνω στις κύριες και στις βοηθητικές μηχανές του. Το σκάφος Β είναι ένα Ro-Ro το οποίο ταξιδεύει στη Βόρεια Θάλασσα. Εκτός των κυρίων και των βοηθητικών μηχανών του το σκάφος είναι εξοπλισμένο και με ένα καταλύτη τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον Πίνακα 20. Το σκάφος Γ είναι ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership) όπου οι μετρήσεις έγιναν κατά τη πλεύση του

στη Βόρεια Θάλασσα αλλά και κατά τη πλεύση του σε ποταμό με τη μηχανή να λειτουργεί σε χαμηλές στροφές (low speed operation).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πείραμα αυτό όσον αφορά το πετρέλαιο που καταναλώθηκε από τα πλοία φαίνονται στον Πίνακα 21. Το πλοίο Α χρησιμοποίησε διαφορετικά καύσιμα για τις κύριες και τις βοηθητικές μηχανές του τα οποία είχαν περίπου την ίδια περιεκτικότητα σε θείο (S). Τα πλοία Β και Γ χρησιμοποίησαν τα ίδια καύσιμα τα οποία όμως είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο (S) σε σχέση με το πλοίο Α, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21: Δεδομένα που προέκυψαν από τις αναλύσεις καυσίμων

	Ship A, AE	Ship A, ME	Ship B	Ship C
Density at 15 °C, g cm ⁻³	0.922	0.942	0.991	0.991
Net calorific value, MJ kg ⁻¹	44.60	44.27	42.40	42.36
Viscosity at 50 °C, mm ² s ⁻¹	78.3	332	413	375
Carbon, wt%	87.6	87.0	87.1	86.9
Hydrogen, wt%	12.5	12.0	10.4	10.3
Nitrogen, wt%	0.24	0.30	0.47	0.39
Sulfur, wt%	0.33	0.49	2.2	2.4
Oxygen, wt%	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3

Έγιναν συνολικά είκοσι δύο (22) μετρήσεις εκ των οποίων οι έξι (6) αφορούν τις εκπομπές αερίων από το πλοίο Α, εννιά (9) το πλοίο Β και επτά (7) το πλοίο Γ. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών φαίνονται στον Πίνακα 22. Οι θερμοκρασίες στην τελευταία στήλη είναι οι θερμοκρασίες εξόδου των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και με αυτές τις θερμοκρασίες συλλέχτηκαν τα σωματίδια για να εξεταστούν. Τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter) μετρήθηκαν αφού μετά από διάλυση σε διάλυμα σε θερμοκρασία 52 °C χαμηλότερα από αυτή που φαίνεται στον Πίνακα 22. Να αναφέρουμε ότι οι εκπομπές NO_x όπως φαίνεται και στον Πίνακα 22 είναι μεταξύ 10 gkWh⁻¹ με 20 gkWh⁻¹ με εξαίρεση τη μηχανή που έχει καταλύτη. Η μηχανή αυτή έχει εκπομπές NO_x που κυμαίνονται μεταξύ 1.5 gkWh/h με 2.27 gkWh/h.

Για το σκάφος Α οι υψηλές μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter) παρατηρήθηκαν κατά την πρώτη μέτρηση όπου το πλοίο άφηνε το λιμάνι με τις μηχανές όχι φορτισμένες το ίδιο. Όσον αφορά τις βοηθητικές μηχανές (AE) παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων

έλαβαν χώρα όταν είναι λιγότερο φορτισμένες (29%). Το πλοίο Β χρησιμοποιεί μια μεσόστροφη μηχανή (medium speed engine) και καταναλώνει καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (S). Αυτό έχει ως συνέπεια οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το πλοίο Α, κάτι που φαίνεται και στον Πίνακα 22. Η κύρια μηχανή του πλοίου Β εκπέμπει υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων όταν είναι υψηλά φορτισμένη. Επιπλέον όταν έγινε η μέτρηση πριν την τοποθέτηση καταλύτη διαπιστώθηκε ότι είχαμε εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων μεγαλύτερη όταν οι βοηθητικές μηχανές (ΑΕ) ήταν χαμηλά φορτισμένες (24%). Βέβαια με την τοποθέτηση καταλύτη στις βοηθητικές μηχανές (ΑΕ) οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων μειώθηκαν όπως φαίνεται στον Πίνακα 22. Για το σκάφος Γ το οποίο καταναλώνει καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο (S) 2.4%, οι υψηλότερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από την κύρια (ΜΕ) αλλά και από τη βοηθητική μηχανή (ΑΕ) διαπιστώθηκαν όταν είναι υψηλά φορτισμένες, δηλαδή 80% και 40% αντίστοιχα.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα των μετρήσεων εκπομπής για τρία διαφορετικά πλοία

Ship	Engine	Load %	NO _x		HC		CO		CO ₂		TSP		PM ₁₀		PM _{2.5}		PM ₁		Temp. °C
			g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	g kWh ⁻¹	g kg ⁻¹ fuel	
A	ME	var	12.66	63.6	-	3.03	15.2	636	3.20	2.99	15	0.20	1.0	0.15	0.13	0.65	315		
A	ME	41	13.16	66.1	-	2.40	12.1	634	3.19	0.33	1.7	0.041	0.21	0.023	0.12	0.022	0.11	350	
A	ME	41	13.15	66.1	-	2.26	11.4	634	3.19	0.27	1.4	0.06	0.30	0.036	0.18	0.028	0.14	350	
A	AE	48	13.26	66.6	-	2.09	10.5	639	3.21	0.53	2.7	0.18	0.90	0.16	0.80	0.14	0.70	350	
A	AE	29	9.34	46.9	-	5.26	26.4	640	3.21	0.70	3.5	0.59	3.0	0.48	2.4	0.40	2.0	290	
A	AE	73	10.5	52.8	-	2.24	11.3	638	3.21	0.40	2.0	0.19	0.95	0.13	0.65	0.10	0.50	375	
B	ME	var	13.6	58.1	0.15	0.64	4.29	18.3	750	3.21	1.53	6.5	0.43	1.8	0.33	1.4	0.28	1.2	200
B	ME	91	16.22	77.6	0.03	0.14	0.66	3.2	668	3.20	2.12	10	0.97	4.6	0.45	2.2	0.31	1.5	220
B	ME	72	14.78	71.1	0.12	0.58	0.57	2.7	666	3.20	1.34	6.4	0.94	4.5	0.44	2.1	0.31	1.5	220
B	AE before SCR	46	11.96	47.3	0.26	1.03	0.66	2.6	810	3.20	1.51	6.0	0.42	1.7	0.33	1.3	0.29	1.1	328
B	AE before SCR	24	13.1	46.0	0.32	1.12	1.12	3.9	911	3.20	2.91	10	0.80	2.8	0.45	1.6	0.33	1.2	328
B	AE before SCR	48	10.27	42.1	0.31	1.27	0.55	2.3	779	3.19	1.11	4.5	0.68	2.8	0.35	1.4	0.27	1.1	320
B	AE after SCR	41	1.53	6.2	-	1.14	4.6	789	3.19	0.67	2.7	0.49	2.0	0.23	0.93	0.15	0.61	330	
B	AE after cat	41	1.53	6.2	-	1.14	4.6	789	3.19	0.82	3.3	0.39	1.6	0.18	0.73	0.13	0.53	330	
B	AE after cat	24	2.27	8.2	-	1.69	6.1	884	3.19	0.79	2.9	0.48	1.7	0.25	0.90	0.19	0.69	330	
C	ME	51	19.94	100	0.37	1.86	0.35	1.8	634	3.19	1.61	8.1	0.25	1.3	0.22	1.1	0.19	0.95	186
C	ME	76	15.85	79.6	0.34	1.71	0.40	2.0	634	3.19	2.63	13.0	0.19	0.95	0.19	0.95	0.16	0.80	285
C	ME	80	13.75	69.1	0.01	0.05	0.37	1.9	634	3.19	2.48	12.0	0.27	1.4	0.22	1.1	0.2	1.0	285
C	ME	31	20.06	101	0.45	2.26	0.44	2.2	634	3.19	0.93	4.7	0.22	1.1	0.19	0.95	0.16	0.80	330
C	AE	40	11.71	58.8	0.44	2.21	0.82	4.1	634	3.19	1.11	5.6	0.20	1.0	0.17	0.85	0.14	0.70	275
C	AE	40	11.77	59.1	0.09	0.45	0.93	4.7	634	3.19	0.86	4.3	0.21	1.1	0.18	0.90	0.16	0.80	300
C	AE	22	12.12	60.9	0.58	2.91	1.20	6.0	634	3.19	0.75	3.8	0.25	1.3	0.22	1.1	0.19	0.95	300

Καταλήγοντας διαπιστώνουμε ότι οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνονται με την αύξηση του φορτίου της κύριας μηχανής (ME). Βέβαια για τις βοηθητικές μηχανές (AE) οι εκπομπές αυξάνονται με την μείωση του φορτίου της μηχανής ενώ με τη παρουσία καταλύτη στο πλοίο Β η μείωση των εκπομπών είναι φανερή. Πάντως είναι γεγονός ότι οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτώνται κατά πολύ από τη περιεκτικότητα σε θείο (S) των καυσίμων αφού όπως φαίνεται και στον Πίνακα 22 οι εκπομπές αυτές είναι μεγαλύτερες για τα πλοία Β και Γ.

2.7.6 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων

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 (69).

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 (70). 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 (71).

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 – chlorosis). 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 (72).

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 (73). Υλικά κατασκευής κτηρίων (μέταλλα, πέτρες, τσιμέντο και μογιές), υφίστανται φυσική φθορά λόγω της μακροχρόνιας έκθεσής τους στο περιβάλλον και στα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα (αέρας, υγρασία, έντονες θερμοκρασιακές μεταπτώσεις, ηλιακή ακτινοβολία κοκ.). 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 επικάθεισή τους πάνω σε αυτές δημιουργώντας έτσι ένα στρώμα χρώματος. 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 (74).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΑΙ ΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΑΙΑ

3.1 Αρκτική και Βορειοδυτικό Πέρασμα

3.1.1 Εισαγωγή

Η Αρκτική είναι η περιοχή γύρω από τον Βόρειο Πόλο, στον αντίποδα της Ανταρκτικής. Περιλαμβάνει βόρεια τμήματα της Αλάσκας του Καναδά, της Σιβηρίας, την Γροιλανδία, την Σπιτςβεργη (η κυριότερη ομάδα από τα νησιά Σβάλμπαρντ, που βρίσκονται στο Βόρειο Παγωμένο ωκεανό στα βόρεια της Νορβηγίας), διάφορες αρκτικές νήσους, τις ακτές της Χερσονήσου Λαμπραντόρ (περιοχή βορειοανατολικά του Κεμπέκ), καθώς και όλο τον θαλάσσιο χώρο τον λεγόμενο Αρκτικό Ωκεανό (ή Βόρειο Παγωμένο Ωκεανό). Όλες οι παραπάνω περιοχές καλούνται και Αρκτικές Χώρες.



Σχήμα 1

Περιοχή της Αρκτικής οριοθετημένη από την ισόθερμη γραμμή των 10°C τον Ιούλιο

Η περιοχή της Αρκτικής ορίζεται είτε από τον αρκτικό κύκλο είτε από την αρκτική ισόθερμη γραμμή. Το συνηθέστερο όριο, βόρεια του οποίου εκτείνεται η Αρκτική,

είναι ο Αρκτικός Κύκλος ($66^{\circ} 33' B$), που αποτελεί το όριο για τον ήλιο του μεσονυκτίου και την πολική νύχτα. Το άλλο όριο είναι, με βάση το κλίμα, η αρκτική ισόθερμη γραμμή των $10^{\circ}C$ τον Ιούλιο. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η περιοχή της Αρκτικής οριοθετημένη από την ισόθερμη γραμμή των $10^{\circ}C$ τον Ιούλιο (1). Να σημειώσουμε ότι η ισόθερμη αυτή γραμμή αποτελεί την τελευταία (από Ισημερινού) δενδρογραμμή. Αυτό σημαίνει ότι πέρα από αυτή δεν φυτρώνουν δέντρα. Στο Σχήμα 2 φαίνεται ο Αρκτικός Κύκλος (μπλε γραμμή) ο οποίος περιλαμβάνει κομμάτια της Γροιλανδίας, του Καναδά, της Αλάσκας, της Ρωσίας, της Φιλανδίας, της Σουηδίας, της Νορβηγίας, κι ένα μικρό τμήμα της Ισλανδίας.



Σχήμα 2

Περιοχή της Αρκτικής οριοθετημένη από την ισόθερμη γραμμή των $10^{\circ}C$ τον Ιούλιο και από τον Αρκτικό κύκλο

Να αναφέρουμε ότι ο Αρκτικός Κύκλος είναι ένας από τους πέντε παράλληλους κύκλους γεωγραφικού πλάτους που σηματοδοτούν τους χάρτες της Γης. Ονομάζεται Αρκτικός γιατί αντιστοιχεί στο νοτιότερο άκρο του αστερισμού της Μεγάλης Άρκτου. Σηματοδοτεί τη γεωγραφική περιοχή μέσα στην οποία εμφανίζεται το φαινόμενο της πολικής ημέρας και της πολικής νύχτας: βορειότερα του Αρκτικού Κύκλου, ο αρκτικός ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα για 24 συνεχόμενες ώρες τουλάχιστον για μια μέρα το χρόνο (για έξι μήνες στους πόλους), φαινόμενο που αναφέρεται συνήθως ως ήλιος του μεσονυκτίου. Παρομοίως, κατά το χειμώνα, ο Αρκτικός ήλιος θα βρεθεί κάτω από τον ορίζοντα για 24 ώρες τουλάχιστον για μια μέρα το χρόνο.

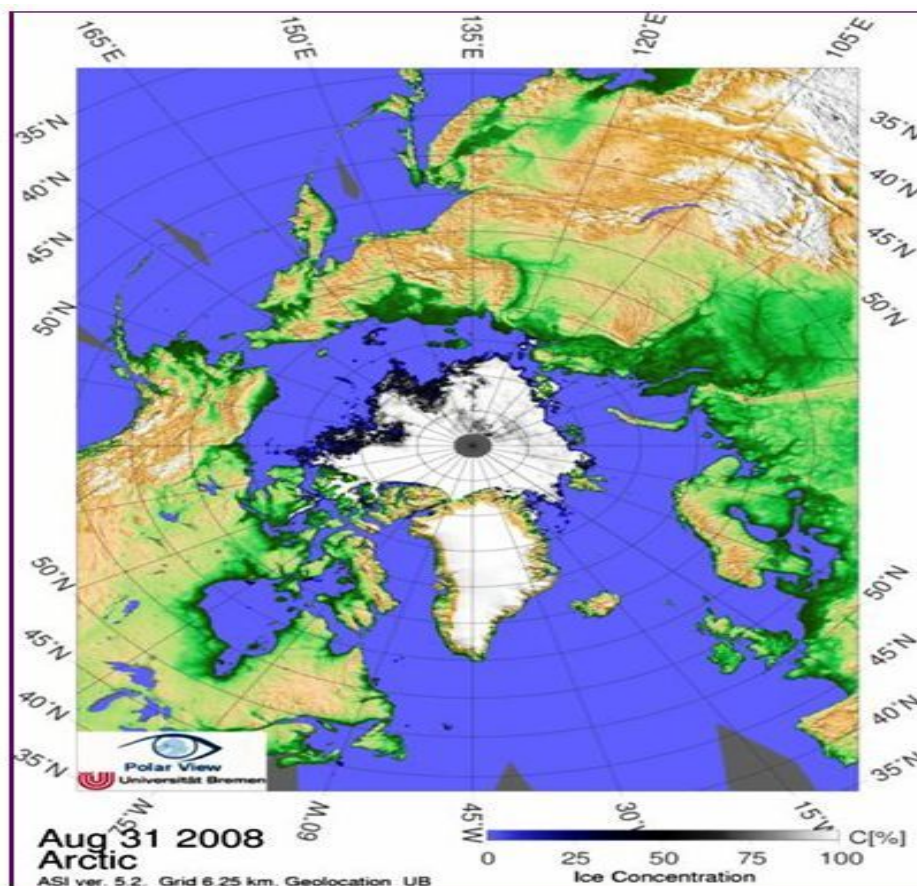
Στις περιοχές που βρίσκονται ακριβώς πάνω στον Αρκτικό Κύκλο, το φαινόμενο της 24ωρης μέρας και 24ωρης νύχτας εμφανίζονται ακριβώς μια φορά το χρόνο, κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα **(2)**.

Οι τεράστιες θαλάσσιες και χερσαίες εκτάσεις της περιοχής της Αρκτικής είναι ζωτικής σημασίας και ευάλωτα συστατικά στοιχεία του περιβάλλοντος και του κλιματικού συστήματος του πλανήτη. Η κάλυψη της θάλασσας με πάγο, το χιόνι και οι μονίμως παγωμένες εκτάσεις μειώνονται με μεγάλη ταχύτητα, ενεργοποιώντας μηχανισμούς ανάδρασης που επιταχύνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αναφορά στην υπερθέρμανση του πλανήτη και ειδικότερα στην περιοχή της Αρκτικής έχει γίνει και στο Κεφάλαιο 1. Αξίζει μόνο να σημειωθεί ότι η επιταχυνόμενη απώλεια των παγετώνων της Γροιλανδίας θα προκαλέσει ταχεία και σημαντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με το Συμβούλιο της Αρκτικής, το παγετονικό κάλυμμα της Γροιλανδίας, που αποτελεί τη μεγαλύτερη μάζα χερσαίου πάγου στον κόσμο, θα εισέλθει πιθανότατα σε μια φάση μη αντιστρέψιμης τήξης κάποια στιγμή τον αιώνα που διανύουμε. Ενισχυμένη δε και από την επιπρόσθετη τήξη χερσαίου πάγου που ενδεχομένως θα ελάμβανε χώρα και σε άλλες περιοχές, η τήξη όλου του παγετονικού καλύμματος της Γροιλανδίας θα προκαλούσε άνοδο της στάθμης των ωκεανών κατά 8 μέτρα, εξέλιξη που θα κατάστρεφε περιοχές σε χαμηλό υψόμετρο όπως το Μπαγκλαντές, όπου περίπου 17 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε λιγότερο από 1 μέτρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επιπλέον, καθώς το αρκτικό «πέρμαφροστ» (το μονίμως παγωμένο έδαφος, σκληρό σαν τσιμέντο) θα συρρικνώνεται, ο άνθρακας που περιέχει, και ο οποίος υπολογίζεται στο 14% του συνόλου του παγκοσμίως, θα επιδεινώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η θέρμανση της Αρκτικής θα αποδεκάτιζε τους πληθυσμούς της πολικής αρκούδας και της φώκιας και θα διατάρασσε σοβαρά τη ζωή των αυτόχθονων πληθυσμών που εξαρτώνται άμεσα από τα συγκεκριμένα ζώα **(3)**. Αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι το Συμβούλιο της Αρκτικής είναι ένας διακυβερνητικός οργανισμός στον οποίο συμμετέχουν τα εξής οκτώ κράτη: ΗΠΑ, Καναδάς, Ισλανδία, Δανία, Νορβηγία, Σουηδία, Φινλανδία, Ρωσία καθώς και διάφορες οργανώσεις αυτόχθονων πληθυσμών.

3.1.2 Τήξη των πάγων στην περιοχή της Αρκτικής

Σε ένα από τα πιο χαμηλά επίπεδα όλων των εποχών έφτασαν οι πάγοι στην Αρκτική αρχές Σεπτεμβρίου 2008 καθώς η κάλυψη με πάγο κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών φαίνεται να είναι πολύ κοντά στα εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα του 2007. Οι πάγοι λοιπόν που καλύπτουν τον Αρκτικό Ωκεανό, σύμφωνα με μελέτη που δημοσίευσε το «National Snow and Ice Data Center» (NSIDC) περί τα τέλη Αυγούστου 2008 φαίνεται ότι έχουν φτάσει στο δεύτερο χαμηλότερο επίπεδο που έχει καταγραφεί τα τελευταία 30 χρόνια. Συγκεκριμένα οι επιστήμονες του NSIDC, στο Κολοράντο διαπίστωσαν ότι οι θαλάσσιοι πάγοι στην Αρκτική την Τρίτη, 26 Αυγούστου 2008 κάλυπταν έκταση 5,26 εκατομμύρια τετραγωνικά χλμ. Η

χαμηλότερη τιμή, από το 1979 που ξεκίνησαν οι μετρήσεις, είναι τα 4,13 εκατομμύρια τετραγωνικά χλμ., και καταγράφηκε στις 16 Σεπτεμβρίου 2007 (4). Στο Σχήμα 2 φαίνεται φωτογραφία της Αρκτικής η οποία τραβήχτηκε στις 31 Αυγούστου 2008.

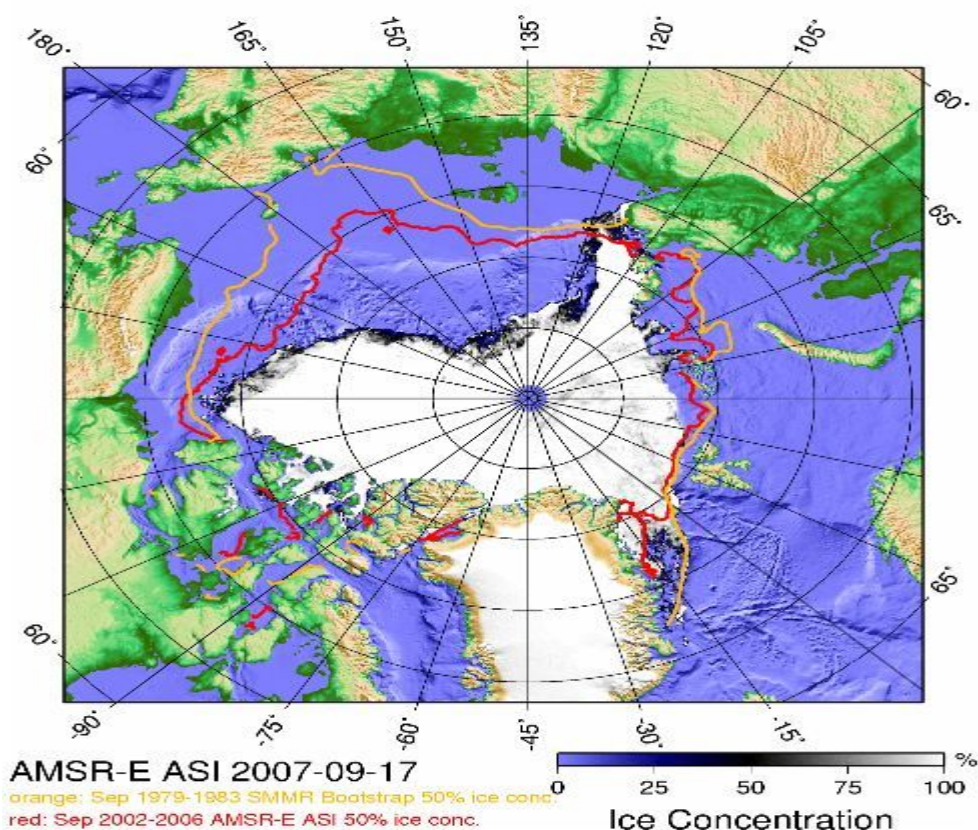


Σχήμα 3

Φωτογραφία της Αρκτικής και συγκέντρωση του πάγου σε διάφορα μέρη της τον Αύγουστο 2008.

Στο παραπάνω Σχήμα του οποίου η φωτογράφιση έγινε από το Πανεπιστήμιο της Βρέμης βλέπουμε ότι η συγκέντρωση του πάγου έχει μειωθεί κατά πολύ σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια, γεγονός που γίνεται περισσότερο αντιληπτό με την επόμενη φωτογραφία του Σχήματος 4. Συγκρίνοντας τις δύο αυτές φωτογραφίες οι οποίες όπως ειπώθηκε δείχνουν τα δύο πιο χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης και κάλυψης πάγου, με τις συγκεντρώσεις πάγου που φαίνονται με κίτρινο και κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 4, βλέπουμε την αισθητή μείωση κάλυψης του πάγου. Η κίτρινη γραμμή οριοθετεί την συγκέντρωση πάγου σε ποσοστό 50% που υπήρχε το χρονικό διάστημα 1978 έως 1983 ενώ η κόκκινη γραμμή οριοθετεί την συγκέντρωση πάγου σε ποσοστό 50% που υπήρχε το χρονικό διάστημα 2002 έως 2006. Με την πάροδο του χρόνου η συγκέντρωση πάγου ολοένα και μειώνεται και φτάσαμε τα έτη 2007 και 2008 όπου η συγκέντρωση πάγου έχει μειωθεί αρκετά.

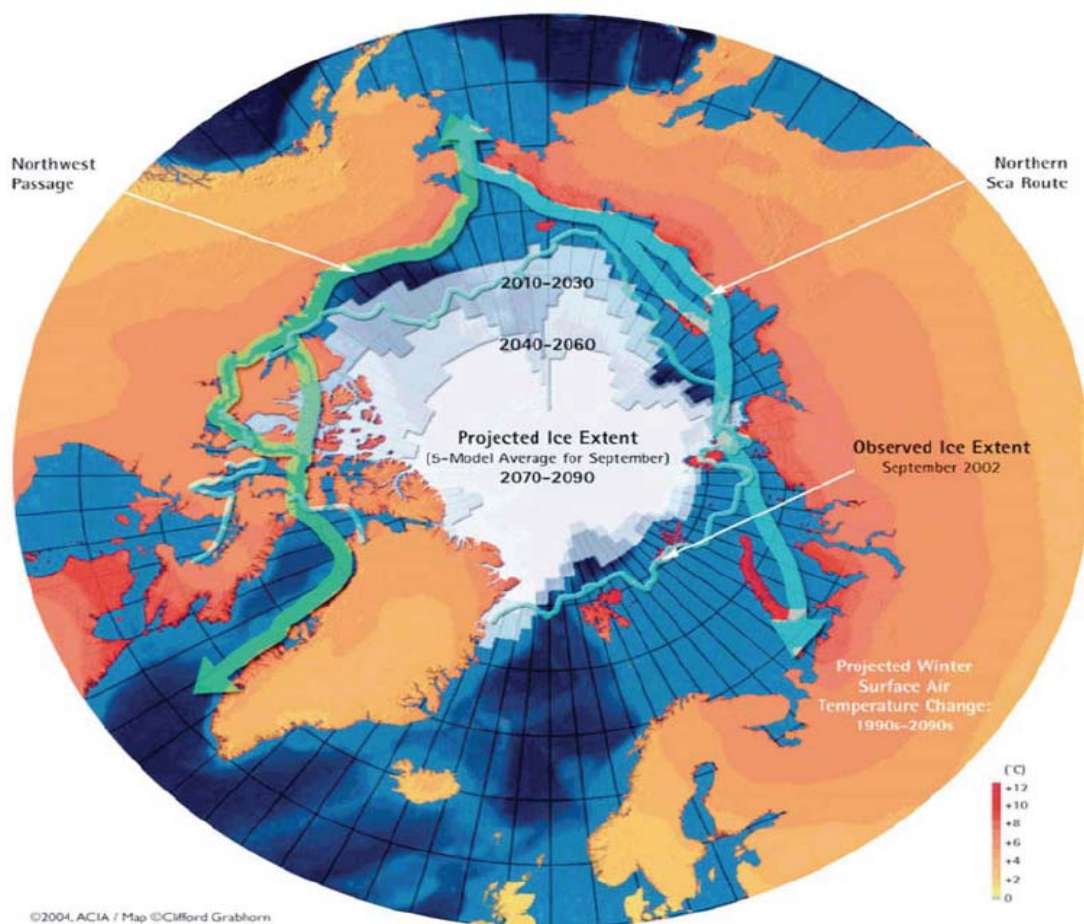
2007 Minimum Sea Ice Extent



Σχήμα 4

Φωτογραφία της Αρκτικής και συγκέντρωση του πάγου σε διάφορα μέρη της τον Σεπτέμβριο 2007.

Η συνεχής απώλεια παλαιότερων και παχύτερων στρωμάτων πάγου σημαίνει ότι η κάλυψη της Αρκτικής ακολουθεί μια τάση να γίνεται όλο και λεπτότερη και νεότερη χρόνο με το χρόνο. Η περιοχή του πάγου που είναι τουλάχιστον πέντε ετών έχει μειωθεί κατά 56% μεταξύ των ετών 1985 έως 2007 **(5)**. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη κρηπίδα πάγου, το Ward Hunt, στην Αρκτική έσπασε στα δύο, εξαφανίζοντας σχεδόν όλο το γλυκό νερό που υπήρχε στη λίμνη μέσα στους πάγους. Η διαδικασία αυτή, της θραύσης είχε ξεκινήσει την άνοιξη του 2000 και είναι το αποτέλεσμα της συνεχούς επιδείνωσης του κλίματος επί τρεις δεκαετίες τώρα. Η τεράστια αυτή κρηπίδα Ward Hunt, που βρίσκεται στη βόρεια ακτή του νησιού του Ellesmere στην περιοχή Nunavut του Καναδά, υπήρχε στην ίδια θέση για τουλάχιστον 3.000 χρόνια και η ρωγμή της είχε πρωτοεμφανιστεί το 2000 ως αποτέλεσμα 30 χρόνων φθοράς της κρηπίδας. Τελικά έσπασε σε δύο μεγάλα κομμάτια το 2003 **(6)**. Όλα αυτά λοιπόν μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι πάγοι της Αρκτικής έχουν πλέον μπει σε τροχιά επιταχυνόμενης μείωσης. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 4.



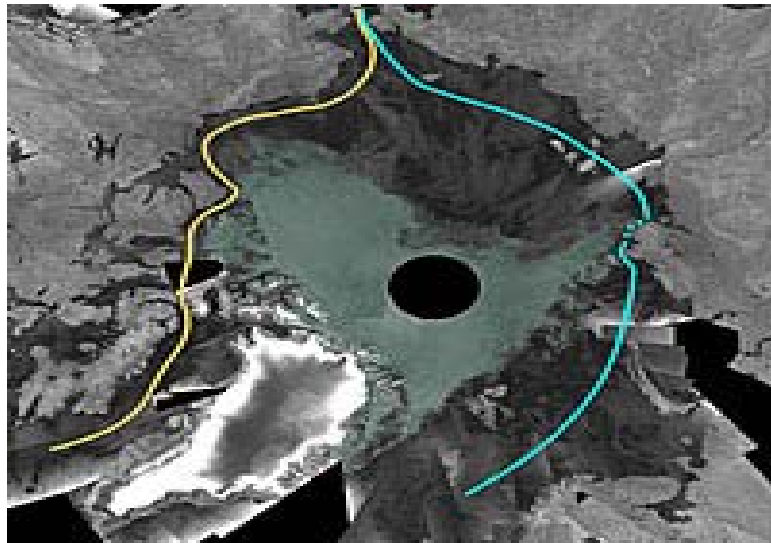
©2004, ACIA / Map ©Clifford Grabhorn

Σχήμα 5

Εκτίμηση της έκτασης του πάγου για τα επόμενα χρόνια στη περιοχή της Αρκτικής

Στο Σχήμα 5 παρατηρούμε τη μείωση της έκτασης του πάγου σε ένα χρονικό ορίζοντα βάθους ογδόντα περίπου χρόνων. Παρατηρούμε σημαντική μείωση από το 2002 έως σήμερα, ενώ μέχρι το 2090 η έκταση της Αρκτικής περιοχής που θα καλύπτεται από πάγο θα περιοριστεί αρκετά. Παράλληλα με τη μείωση της έκτασης των πάγων βλέπουμε και μια αύξηση της θερμοκρασίας που με την πάροδο του χρόνου θα μεγαλώνει. Έτσι το έτος 2090 όπως φαίνεται και από το παραπάνω Σχήμα η θερμοκρασία σε ορισμένες περιοχές της Αρκτικής θα είναι μεγαλύτερη ακόμα και κατά δώδεκα βαθμούς (12°C) σε σχέση με το 1990 (7).

Το έτος 2007 εξάλλου είναι και η πρώτη χρονιά που το Βορειοδυτικό Πέρασμα πάνω από τη Βόρεια Αμερική άνοιξε δείχνοντας έναν ελεύθερο δίαυλο από τον Ατλαντικό στον Ειρηνικό κατά μήκος των ακτών της Γροιλανδίας, του βόρειου Καναδά και της Αλάσκας. Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η τελική σύνθεση 200 φωτογραφιών οι οποίες πάρθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency) τον Σεπτέμβριο 2007 (8).



Σχήμα 6

Αεροφωτογραφία της Αρκτικής τον Σεπτέμβριο 2007

Το σκούρο γκρι χρώμα παρουσιάζει τις ελεύθερες από πάγο περιοχές ενώ το πράσινο χρώμα δείχνει τις περιοχές που είναι καλυμμένες από τον πάγο. Με κίτρινο και ανοιχτό μπλε φαίνονται οι νέες θαλάσσιες διαδρομές. Προς το παρόν, το Βορειοδυτικό Πέρασμα είναι πλωτό μόνο στη διάρκεια του καλοκαιριού, ωστόσο αν οι σημερινές τάσεις συνεχιστούν ο διάυλος θα είναι ανοιχτός όλο τον χρόνο. Το Συμβούλιο της Αρκτικής εκτιμά ότι σε δέκα με είκοσι το πολύ χρόνια θα αποτελεί εφικτή εναλλακτική διαδρομή σε σχέση με τη διώρυγα του Παναμά (9).

3.1.3 Νέες θαλάσσιες οδοί

Η συρρίκνωση των πάγων, η οποία όπως ειπώθηκε παραπάνω είναι στο χαμηλότερο σημείο των τελευταίων τριάντα χρόνων δημιουργεί τις προϋποθέσεις πλοήγησης των εμπορικών στόλων κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Βέβαια το ενδιαφέρον της διέλευσης από το βορειοδυτικό πέρασμα για χρήση της συντομότερης απόστασης προς Ασία είχε διαφανεί από τις αρχές του 15^{ου} αιώνα. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι ο Ιταλός εξερευνητής Giovanni Caboto αναζήτησε υποστήριξη στην αυλή της Αγγλίας και συγκεκριμένα έπεισε τον Ερρίκο τον 7^ο ότι είναι εφικτό να φθάσει στην Ασία, χρησιμοποιώντας μία βορειότερη πορεία από αυτή του Κολόμβου. Το έτος 1496 ξεκίνησε τα ταξίδια αναζήτησης μέσω Αρκτικής Θάλασσας για διέλευση με προορισμό την Ασία αλλά τελικά η προσπάθεια καθώς και άλλες οι οποίες ακολούθησαν απέβησαν ανεπιτυχείς. Τελικά το 1906 ο Νορβηγός εξερευνητής Roald Amundsen πλοήγησε το ξύλινο πλοίο του μέσω του βορειοδυτικού περάσματος. Έκτοτε έχουν καταγραφεί τουλάχιστον 110 διελεύσεις με πλοία ειδικής ενίσχυσης για αντιμετώπιση πάγων και ιδιαίτερος δυσμενών καιρικών συνθηκών. Το

1969 το δεξαμενόπλοιο ειδικής ενίσχυσης S/S «MANHATTAN» πραγματοποίησε το συγκεκριμένο ταξίδι μέσω της Αρκτικής βορειοδυτικής θαλάσσιας δίοδου. Η εταιρεία «Humble oil & refining co.» χρηματοδότησε τη συγκεκριμένη γραμμή με σκοπό τη χρήση ειδικών δεξαμενόπλοιων για τροφοδότηση των λιμένων ΗΠΑ. Αν και το SS «MANHATTAN» επέτυχε να διέλθει από τη δίοδο, απεδείχθη ότι η τροφοδοσία των λιμένων της Ανατολής από Αλάσκα ήταν ιδιαίτερα δαπανηρή σε σχέση με την εγκατάσταση πετρελαιοαγωγού και τη δημιουργία εταιρείας για κατασκευή και εκμετάλλευση του πετρελαιοαγωγού της Αλάσκας (10).

Ο Αρκτικός Ωκεανός έως σήμερα απολαμβάνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι μόνο από τους φυσιοδίφες αλλά, τις τελευταίες δεκαετίες, και από πολιτικούς, οικονομολόγους, με σκοπό τη διαμόρφωση εξωτερικών πολιτικών και συμμαχιών λόγω των διαγραφόμενων νέων ενεργειακών προοπτικών. Το 20-30% των προς ανεύρεση ενεργειακών αποθεμάτων υπολογίζεται ότι βρίσκονται στη συγκεκριμένη περιοχή. Εκτιμάται ότι ο Αρκτικός Ωκεανός κρύβει 90 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου και είναι η τελευταία πηγή υδρογονανθράκων στον κόσμο γι αυτό και ήδη είναι ένα τεράστιο γεωπολιτικό διακύβευμα. Επιπλέον εκτιμάται ότι υπάρχουν αποθέματα φυσικού αερίου που αντιστοιχούν στο 30% των αποθεμάτων αερίου που δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί (11). Οι υψηλές τιμές παραγωγής ενέργειας, τα νέα ναυπηγικά σχέδια, τα σύγχρονα εξαρτήματα και οι σύγχρονοι μέθοδοι εξόρυξης, τα υψηλής ευαισθησίας ανεπτυγμένα συστήματα εντοπισμού και εξεύρεσης κοιτασμάτων πετρελαίου, οι αισθητήρες ογκομετρικού υπολογισμού κοιτάσματος, σε συνδυασμό με την οικονομικότερη εκμετάλλευση των μεταφορών από Ατλαντικό προς Ειρηνικό, έχουν δραστηριοποιήσει τις κυβερνήσεις της περιοχής όπως των ΗΠΑ, Καναδά, Δανίας, Γροιλανδίας, Νορβηγίας και Ρωσίας στον ανταγωνισμό δικαιωμάτων ή και καθορισμό διεκδικήσεων με γνώμονα το οικονομικό τους συμφέρον.

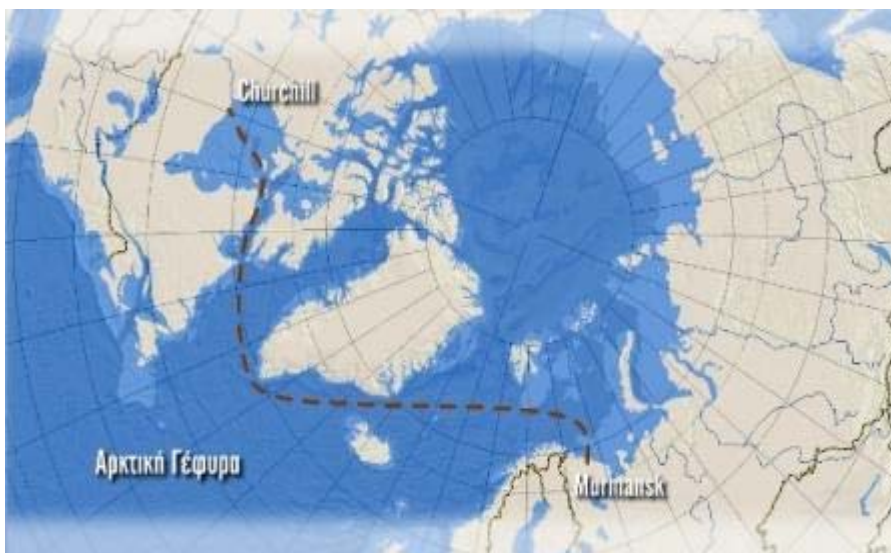
Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι κλιματικές αλλαγές έχουν αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, όχι όμως και στην παγκόσμια οικονομία, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα αφού εκτός των άλλων ανοίγουν νέους, συντομότερους δρόμους για τα πλοία. Στο Σχήμα 7 φαίνεται η ανοιχτή δίοδος του βορειοδυτικού περάσματος καθώς και η διαδρομή που είναι εφικτή να ακολουθηθεί.



Σχήμα 7

Βορειοδυτικό πέρασμα και η διαδρομή που μπορεί να ακολουθηθεί

Στην περίπτωση κατά την οποία η δίοδος καταστεί εμπορικά εκμεταλλεύσιμη, τότε θα καταστούν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες οι εισαγωγές αργού πετρελαίου για τα διυλιστήρια της δυτικής ακτής της Αμερικής από περιοχές όπως η Βόρειος Θάλασσα, η Βόρεια Ευρώπη, η Ρωσία. Η θαλάσσια δίοδος από το Μούρμανσκ μέσω της βορειοδυτικής Αρκτικής δίοδου έως το Λος Άντζελες είναι περίπου 8.000 μίλια σε σύγκριση με 11.000 μίλια που είναι η απόσταση μέσω της Δυτικής Αφρικής.



Σχήμα 8

Θαλάσσια διαδρομή Μούρμανσκ - λιμάνι του Τσόρτσιλ διαμέσου της Αρκτικής Γέφυρας

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει και η προγραμματισμένη ανάπτυξη στην περιοχή του Μούρμανσκ στη Βόρεια Ρωσία συμπεριλαμβανομένης και αυτής της κατασκευής ναυπηγείου μεγέθους έως και δεξαμενόπλοιων VLCC (Very Large Crude Carrier) καθώς και διαφόρων διευκολύνσεων ικανές να εξυπηρετήσουν φόρτωση 200.000 tones ημερησίως με μελέτη επέκτασης 500.000 tones έως το 2025. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η διαδρομή από το Μούρμανσκ έως το λιμάνι του Τσώρτσιλ στο Καναδά μέσω της Αρκτικής Γέφυρας. Η εν λόγω απόσταση υπολογίζεται γύρω στα 8.000 μίλια.

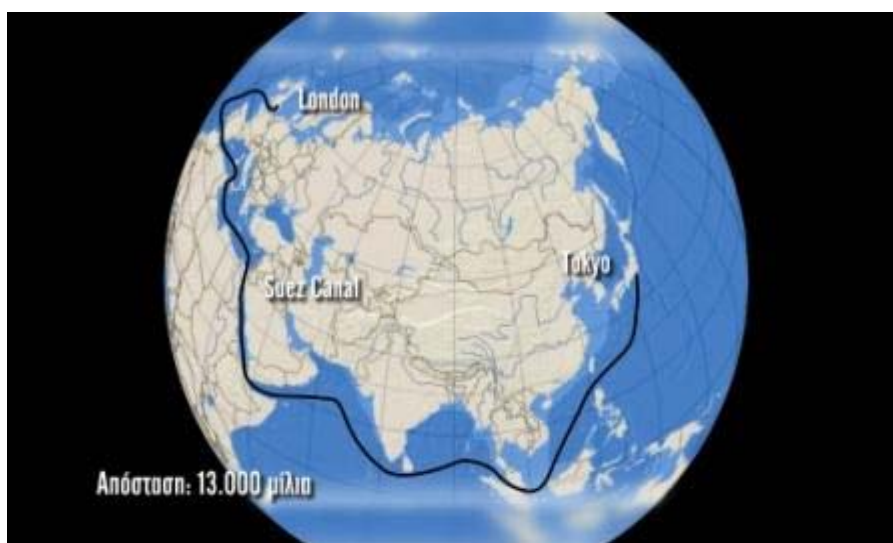
Μπαίνοντας στο Τσώρτσιλ, στο μόνο αρκτικό λιμάνι του Καναδά, το ρωσικό πλοίο «Καπιτάν Σβίριντοφ», εγκαινίασε στις 17 Οκτωβρίου 2007 τη λεγόμενη Αρκτική Γέφυρα μεταξύ Καναδά και Ρωσίας. Η Αρκτική Γέφυρα αποτελεί μια ιδέα η οποία φιλοδοξεί να ενώσει το Μούρμανσκ στη βόρεια Ρωσία, με το λιμάνι του Τσώρτσιλ, και μέσω αυτού με τον Καναδά. Στην ουσία λοιπόν το ρώσικο αυτό πλοίο μετέφερε το πρώτο φορτίο μέσω της Αρκτικής Γέφυρας στον Καναδά. Να σημειώσουμε ότι η Αρκτική Γέφυρα είναι διαφορετική από το Βορειοδυτικό Πέρασμα αλλά είναι εξίσου σημαντική. Η δυνατότητα διέλευσης πλοίων ακολουθώντας τη διαδρομή αυτή ανοίγει νέους εμπορικούς δρόμους μεταξύ των δύο αυτών χωρών. Στον Κόλπο του Χάντσον (Hudson Bay), όπου βρίσκεται το λιμάνι του Τσώρτσιλ, η έκταση του πάγου έχει μειωθεί κατά περισσότερο από 30% από το 1978. Ταυτόχρονα, η ναυτιλιακή περίοδος για το λιμάνι έχει επιμηκυνθεί μέχρι τα μέσα Νοέμβρη, ενώ 10 χρόνια πριν δεν ξεπερνούσε το τέλος Οκτώβρη. Επιπλέον το ταξίδι μεταξύ Μούρμανσκ και Τσώρτσιλ με την καινούρια θαλάσσια διαδρομή της Αρκτικής Γέφυρας διαρκεί μόλις 8 ημέρες, με καλό καιρό ενώ η παραδοσιακή διαδρομή που συνδέει το Μούρμανσκ με τον Καναδά, μέσω ενός νοτιότερου θαλάσσιου περάσματος και λιμανιού διαρκεί 17 ημέρες. Τα νέα αυτά δεδομένα βάζουν πλέον το λιμάνι του Τσώρτσιλ στον χάρτη των ναυτιλιακών εταιριών (12).



Σχήμα 9

Θαλάσσια διαδρομή Λονδίνου-Τόκιου διαμέσου του Βορειοδυτικού Πέρασματος

Επιπλέον το κυκλικό ταξίδι από Murmansk στο Ulsan Κορέας (μητρόπολη της Νότιας Κορέας, 70 χλμ.βόρεια του Busan) μέσω του Ακρωτηρίου της Καλής Ελπίδας που διαρκεί 102 ημέρες στην περίπτωση διέλευσης από τη βορειοδυτική δίοδο θα έχει διάρκεια μόνο 55 ημέρες. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένα πλοίο από το Λονδίνο έως το Τόκυο περνώντας από το Βορειοδυτικό Πέρασμα παρακάμπτοντας τη διώρυγα του Παναμά. Η εν λόγω απόσταση είναι 8.500 μίλια, απόσταση μικρότερη από αυτή των 13.000 μιλίων αν περάσει από τη διώρυγα του Σουέζ. Η διαφορά αυτή της τάξεως των 4.500 μιλίων γίνεται περισσότερη κατανοητή και με το ακόλουθο Σχήμα 10.



Σχήμα 10

Θαλάσσια διαδρομή Λονδίνου-Τόκιου διαμέσου της διώρυγας του Σουέζ

Επίσης, ένα ταξίδι από την Αλγερία στη Νότιο Κορέα μέσω της βορειοδυτικής διέλευσης θα ήταν 5.000 μίλια συντομότερο από την παραδοσιακή γραμμή VLCC (Very Large Crude Carrier) μέσω του Ακρωτηρίου της Καλής Ελπίδας ενώ η απόσταση από τη Σαγκάη έως το Ρότερνταμ μέσω της βορειοανατολικής αρκτικής θαλάσσιας διαδρομής είναι μικρότερη περίπου κατά 1.000 ναυτικά μίλια από αυτή της γνωστής μέσω της διώρυγας του Σουέζ. Η χρησιμοποίηση του Βορειοδυτικού Πέρασματος για εμπορική ναυσιπλοΐα θα σημάνει την εξοικονόμηση τουλάχιστον 4.000 μιλίων στο ταξίδι των πλοίων από την Ευρώπη προς τα λιμάνια της Ανατολής, καθώς δεν θα είναι πια υποχρεωμένα να περνούν από το Κανάλι του Παναμά. Να σημειώσουμε όμως σε αυτό το σημείο ότι η Αρκτική Γέφυρα όπως και το Βορειοδυτικό Πέρασμα είναι συνέπεια της κλιματικής αλλαγής και συγκεκριμένα της τήξης των πάγων στην περιοχή της Αρκτικής. Δηλαδή δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης επιχειρηματικής δραστηριότητας μέσω του εμπορίου εξαιτίας της περιβαλλοντικής καταστροφής **(13)**.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να παρουσιαστεί το κόστος των διαδρομών που αναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα θα δούμε για ένα φορτηγό πλοίο (BULK CARRIER) τις καταναλώσεις καυσίμου που θα έχει εκτελώντας τις παραπάνω διαδρομές. Το φορτηγό πλοίο (BULK CARRIER) έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά φορτηγού πλοίου (BULK CARRIER)

L.O.A. (m)	130
B (m)	22
T (m)	7,5
DWT (ton)	45000
V (knots)	17

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι εν λόγω διαδρομές, οι αποστάσεις τους και το κόστος κατανάλωσης καυσίμων για τις διαδρομές αυτές. Να σημειώσουμε ότι η ημερήσια κατανάλωση καυσίμου του συγκεκριμένου φορτηγού πλοίου είναι 35 ton/day και το κόστος ενός τόνου καυσίμου είναι περίπου 280 \$ (14).

Πίνακας 2: Θαλάσσιες διαδρομές και κόστος κατανάλωσης καυσίμου

Θαλάσσια διαδρομή	Απόσταση (km)	Κατανάλωση καυσίμου (ton)	Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (\$)	Εκπομπή CO ₂ (kg/ton fuel)
Μούρμανσκ–Λος Άντζελες (μέσω Βορειοδυτικού Περάσματος)	12.800	591,5	165.620	1786,33
Μούρμανσκ–Λος Άντζελες (μέσω Δυτικής Αφρικής)	17.700	819,4	229.432	2474,59
Μούρμανσκ–Τσώρτσιλ (μέσω Αρκτικής Γέφυρας)	6.800	314,8	88.102	950,69
Μούρμανσκ–Τσώρτσιλ (μέσω νοτιότερης διαδρομής)	8.600	398,1	111.468	1202,26
Μούρμανσκ–Ουλσάν (μέσω Βορειοδυτικού Περάσματος)	10.800	500	140.000	1510
Μούρμανσκ–Ουλσάν (μέσω Ακρωτηρίου Καλής Ελπίδος)	29.500	1365,7	382.396	4124,41
Λονδίνο–Τόκυο (μέσω Βορειοδυτικού Περάσματος)	13.600	629,63	176.296	1901,4
Λονδίνο– Τόκυο (μέσω διάρρυγας Σουέζ)	20.900	967,59	270.925	2922,12
Αλγερία–Πουσάν (μέσω Βορειοδυτικού Περάσματος)	16.300	754,63	211.296	2278,98
Αλγερία–Πουσάν (μέσω Ακρωτηρίου Καλής Ελπίδος)	26.700	1236,11	346.111	3733,05

Να αναφέρουμε ότι η ταχύτητα του πλοίου σε m/sec είναι $V = 8,75$ m/sec. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου εργαζόμαστε ως εξής για την πρώτη διαδρομή:

- Υπολογίζονται οι μέρες ταξιδιού: $12.800.000/8,75 = 1462857,1$ sec = 16,9 days
- Υπολογίζεται η ολική κατανάλωση καυσίμου: $16,9 \times 35 = 591,5$ ton
- Υπολογίζεται το κόστος κατανάλωσης καυσίμου: $591,5 \times 280 = 165.620$ \$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογίζω και για τις υπόλοιπες διαδρομές την κατανάλωση καυσίμου και το κόστος κατανάλωσης καυσίμου. Παρατηρούμε ότι στις διαδρομές μέσω του Βορειοδυτικού Περάσματος ή της Αρκτικής Γέφυρας ο χρόνος ταξιδιού είναι λιγότερος οπότε τα προϊόντα μεταφέρονται γρηγορότερα. Επίσης το κόστος καυσίμου αυτών των διαδρομών είναι λιγότερο, οπότε έχουμε λιγότερα έξοδα όσον αφορά το ταξίδι του πλοίου. Τέλος όπως έχει ειπωθεί στο Κεφάλαιο 2, η ποσότητα του CO₂ που παράγεται από τα πλοία είναι ανάλογη της κατανάλωσης καυσίμου και της περιεκτικότητας άνθρακα στα καύσιμα. Σύμφωνα με την έκθεση η οποία υποβλήθηκε τον Οκτώβριο 2008 από την ομάδα εργασίας του IMO που ασχολείται με την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου, ένας τόνος Marine Diesel Oil παράγει με την καύση του 3,09 kg CO₂, ενώ ένας τόνος Heavy Fuel Oil 3,02 kg CO₂. Με βάση αυτό το δεδομένο συμπληρώθηκε η τελευταία στήλη του Πίνακα. Να αναφερθεί ότι το πλοίο χρησιμοποιεί Heavy Fuel Oil. Όπως παρατηρούμε είναι αρκετά μειωμένες οι εκπομπές CO₂ αν χρησιμοποιηθούν οι διαδρομές μέσω του Βορειοδυτικού Περάσματος ή της Αρκτικής Γέφυρας

Η οικονομική λοιπόν σημασία αυτών των νέων δεδομένων έχει αναθερμάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των κρατών για τον έλεγχο των εν λόγω υδάτων. Στο επίκεντρο της διαμάχης βρίσκεται ο Καναδάς, ο οποίος υπερασπίζεται τα κυριαρχικά του δικαιώματα στο Καναδικό Αρκτικό Αρχιπέλαγος, από το οποίο διέρχεται το Βορειοδυτικό Πέρασμα, θεωρώντας ότι αποτελεί εθνικά του ύδατα στα οποία έχει τον απόλυτο έλεγχο. Στον αντίποδα οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά κυρίως η Αμερική, υποστηρίζουν ότι πρόκειται για διεθνή ύδατα, στα οποία δεν γίνεται να περιοριστεί η ελεύθερη μεταβατική ναυσιπλοΐα όλων. Μια σειρά περιστατικών σημαδεύουν ήδη από το παρελθόν αυτόν τον ιδιότυπο και κλιμακούμενο ψυχρό πόλεμο, με τον διάπλου το 1985 του αμερικανικού παγοθραυστικού “Polar Sea” στο Καναδικό Αρκτικό Αρχιπέλαγος, χωρίς προηγούμενη καναδική άδεια, να ξεχωρίζει. Αυτή τη στιγμή και οι δύο χώρες, Καναδάς και Αμερική, ενισχύουν τις ναυτικές δυνάμεις και περιπολίες τους στην Αρκτική.

Όσον αφορά τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αναφέρουμε ότι έχουν το μεγαλύτερο εμπορικό στόλο του κόσμου και πολλά απ’ αυτά τα πλοία χρησιμοποιούν υπερωκεάνιες αρτηρίες. Η τήξη του πάγου που καλύπτει τη θάλασσα

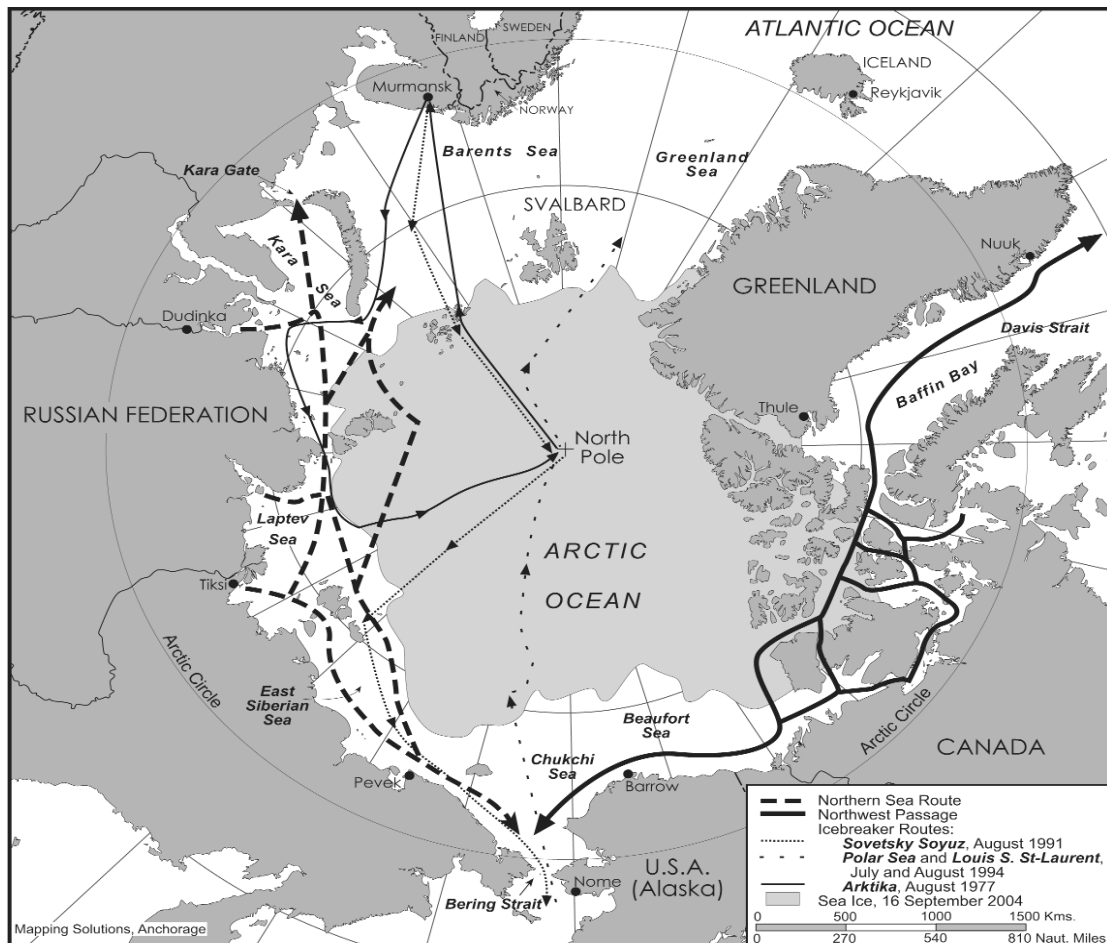
δημιουργεί προοδευτικά νέες ευκαιρίες ναυσιπλοΐας στα αρκτικά ύδατα. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να συντομεύσει σημαντικά τα ταξίδια από την Ευρώπη στον Ειρηνικό, να προωθήσει το εμπόριο και να μειώσει την πίεση στα βασικά διηπειρωτικά κανάλια ναυσιπλοΐας. Είναι προς το συμφέρον της Ε.Ε. να διερευνήσει και να βελτιώσει τους όρους για τη βαθμιαία εισαγωγή της εμπορικής ναυσιπλοΐας στην Αρκτική προωθώντας παράλληλα αυστηρότερους κανόνες για την ασφάλεια και το περιβάλλον και αποφεύγοντας τις ζημιογόνες επιπτώσεις. Στο ίδιο πνεύμα, τα κράτη μέλη και η Κοινότητα πρέπει να υπερασπιστούν την αρχή της ελευθερίας της ναυσιπλοΐας και το δικαίωμα αβλαβούς διέλευσης από τις αρτηρίες και τις περιοχές που έχουν ανοιχτεί πρόσφατα, παρότι ο Καναδάς επιμένει ότι πρόκειται για εθνικά ύδατα.

3.1.4 Μελέτη του Αρκτικού Συμβουλίου (15)

Η ναυτιλιακή χρήση του αρκτικού ωκεανού αυξάνεται με απρόσμενους ρυθμούς από τις αρχές του 21ου αιώνα. Η υποχώρηση των πάγων της Αρκτικής θάλασσας κάτω από την επίδραση των κλιματικών αλλαγών, εξασφαλίζει αυξημένη ναυτική πρόσβαση όλες τις εποχές σε όλη την αρκτική λεκάνη και τις παράκτιες θάλασσές της. Ως απάντηση σε αυτά τα γεγονότα, το αρκτικό συμβούλιο, ένα διακυβερνητικό φόρουμ των οχτώ κρατών της αρκτικής, αποφάσισε να λάβει μέρος σε μια περιεκτική αξιολόγηση της τρέχουσας και μελλοντικής ναυτικής δραστηριότητας στην Αρκτική. Η μελέτη αυτή που είναι γνωστή ως AMSA (Arctic Marine Shipping Assessment), αρχικά εστίασε στη ναυτική ασφάλεια και την θαλάσσια περιβαλλοντική προστασία (προστασία του περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη).

Με μια βιαστική ματιά στην Αρκτική παρατηρούμε ότι ολοένα και αυξανόμενες ναυτικές επιχειρήσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως στο Barents, Kara και στις νορβηγικές θάλασσες. Η όλον τον χρόνο ναυσιπλοΐα η οποία συμβαίνει από το 1979 στο λιμάνι του Dudinka, επιτρέπει τη ναυτική κυκλοφορία από τον ποταμό Yenisey της δυτικής Σιβηρίας προς το λιμάνι Murmansk στο Kola Peninsula. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η ναυτική κυκλοφορία στην Αρκτική περιοχή. Στο Σχήμα αυτό φαίνονται οι θαλάσσιες διαδρομές στη Βόρειο θάλασσα, στο Βορειοδυτικό Πέρασμα, οι διαδρομές των ειδικών δεξαμενόπλοιων (ice breaking tankers) καθώς και η έκταση του πάγου τον Αύγουστο 2004.

Με τη χρήση εξελιγμένων παγοθραυστικών το θαλάσσιο αυτό σύστημα μετακίνησης υπηρετεί το εμπορικό σύμπλεγμα στο Norilsk. Να αναφέρουμε ότι το Norilsk είναι η μεγαλύτερη πόλη στο Krasnoyarsk Krai (Σιβηρία) και η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη μετά το Murmansk πάνω από τον Αρκτικό κύκλο. Στην πόλη αυτή βρίσκεται το μεγαλύτερο ορυχείο νικελίου στον κόσμο.



Σχήμα 11

Θαλάσσιες διαδρομές που συντελούνται στην Αρκτική περιοχή

Επιπλέον ένα σύστημα πυκνών δρομολογίων δεξαμενόπλοιων (arctic tankers) ικανά να πλεύσουν στις περιοχές αυτές έχει καθιερωθεί ώστε να γίνεται η μεταφορά φορτίου από το Varandy, που είναι στη θάλασσα του Pechora (η νοτιοανατολική γωνία της θάλασσας του Barents) προς το Murmansk και κατευθείαν προς την τοπική αγορά. Το πρώτο δεξαμενόπλοιο που χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό, το Vasily Dinkon (70000 DWT) μετέφερε το φορτίο του στον ανατολικό Καναδά τον Ιούνιο του 2008. Δύο επιπλέον δεξαμενόπλοια αυτής της μορφής (icebreaking tankers) ναυπηγούνται στην Κορέα για την επιχείρηση αυτή. Επίσης δύο τέτοια δεξαμενόπλοια είναι υπό κατασκευή στην Αγία Πετρούπολη της Ρωσίας και θα χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν πετρέλαιο από το Pirazlimnoye που βρίσκεται στο βόρειο μέρος της θάλασσας Pechora σε ένα τερματικό σταθμό στο Murmansk. Παράλληλα η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου με αφετηρία το βορειότερο μέρος της Νορβηγίας αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε τη πρώτη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου από δεξαμενόπλοιο (LNG tanker) στις Ανατολικές Ακτές της Αμερικής. Εκτός της μεταφοράς φορτίου, στην περιοχή του Βόρειου Πόλου πραγματοποιούνται εδώ και λίγα χρόνια ταξίδια τουρισμού και επιστημονικής έρευνας. Ειδικότερα από το 2004 έως το 2007, 28

ταξίδια έλαβαν χώρα για τους παραπάνω σκοπούς. Όσον αφορά τα ταξίδια τουρισμού αξίζει να σημειωθεί ότι εκείνα που πραγματοποιούνται στα παράλια της Γροιλανδίας αυξήθηκαν από 27 το καλοκαίρι 2004 σε 200 το καλοκαίρι 2007. Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω οι πιο πολλές εμπορικές δραστηριότητες αυτή τη στιγμή συντελούνται στη Βόρεια θάλασσα της Ρωσίας και συγκεκριμένα στη θάλασσα Kara. Όσον αφορά το Βορειοδυτικό Πέρασμα προς το παρόν έχουν γίνει το 2004 πέντε ταξίδια αναψυχής από καναδέζικα ειδικά πλοία (icebreaker yachts) και ένα από ρώσικο ειδικό πλοίο (icebreaker yacht).

Από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνουμε ότι η ναυτιλιακή δραστηριότητα στην περιοχή της Αρκτικής έχει ήδη αρχίσει. Πολύ σύντομα θα επεκταθεί και σε μεγαλύτερο μέρος της Αρκτικής εξαιτίας του λιωσίματος των πάγων. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε στις Ανατολικές Ακτές της Αμερικής στις 25 έως 27 Μαρτίου 2008 από την ομάδα που σύνταξε την έρευνα AMSA για να συζητήσουν τις προκλήσεις της ολοένα και αυξανόμενης ναυτικής δραστηριότητας. Στηρίχτηκαν σε πέντε ναυτικά ατυχήματα της Αρκτικής που έχουν λάβει χώρα. Αυτά είναι τα εξής:

- Μία βυθισμένη φορτηγίδα με τοξικά υλικά στο νησί St. Lawrence στη θάλασσα του Bering.
- Ένα βυθισμένο κρουαζιερόπλοιο ανοικτά της Γροιλανδίας.
- Μία σύγκρουση δεξαμενόπλοιου με αλιευτικό δίπλα στα αμφισβητούμενα σύνορα Νορβηγίας -Ρωσίας στη θάλασσα Barents.
- Ένα βυθισμένο δεξαμενόπλοιο κοντα στον Βόρειο Πόλο σε διεθνή ύδατα.
- Μιά σύγκρουση και πυρκαγιά μεταξύ μιας κινητής εγκατάστασης γεώτρησης και σκάφων υποστήριξης στα αμφισβητούμενα σύνορα Καναδά και Αμερικής στη θάλασσα Beaufort.

Από τα παραπάνω περιστατικά η ερευνητική ομάδα AMSA έβγαλε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Υποχρεωτικές οδηγίες και κανονισμοί από τον IMO για τα πλοία που πλέουν στην περιοχή της Αρκτικής είναι ανάγκη να εκδοθούν στο άμεσο μέλλον.
- Πρέπει να προσδιοριστούν καταφύγια σ' όλη την Αρκτική λεκάνη και τις παράκτιες θάλασσές της.
- Διεθνής συμφωνία έρευνας και διάσωσης (Arctic search and rescue, SAR) είναι απαραίτητη με τη συμμετοχή και των οχτώ κρατών της Αρκτικής.
- Άμεση ευαισθητοποίηση για τα περιβαλλοντικά θέματα σε κάθε ακτή της Αρκτικής.
- Υποχρεωτική βελτίωση των τηλεπικοινωνιών της Αρκτικής.
- Τα αρκτικά κράτη πρέπει να φιλοξενήσουν σύνοδο κορυφής με τους παράγοντες (leaders) της διεθνούς ναυτιλιακής βιομηχανίας ώστε να συζητηθούν κοινά θέματα που αφορούν την ασφάλεια στα νερά της αρκτικής.

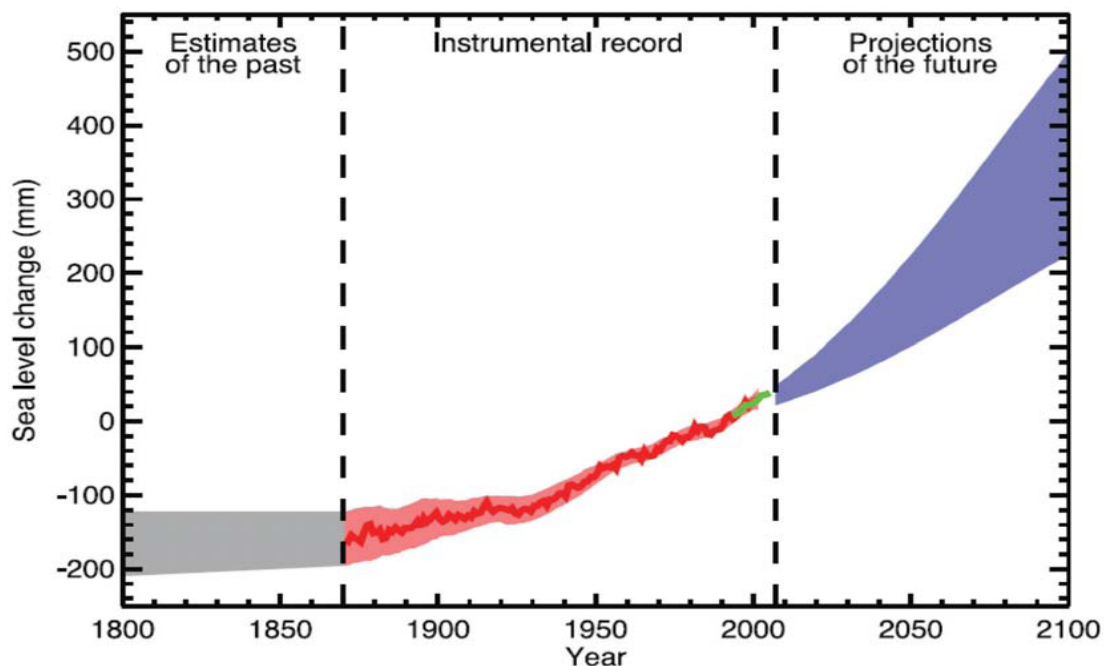
- Ενεργή συμμετοχή των κατοίκων των αρκτικών κοινοτήτων.
- Περιεκτική αποτίμηση των περιβαλλοντικών κινδύνων σε κάθε αρκτική ακτή.
- Αυξημένη έρευνα για τη βελτίωση της αντιμετώπισης των διαρροών πετρελαίου στον πάγο.

3.2 Καιρικές αλλαγές και ναυσιπλοΐα

3.2.1 Στάθμη της θάλασσας

Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Fourth Assessment Report, AR4, ή Climate Change 2007) και η οποία είναι η τελευταία αξιολόγηση της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή έχει παρατηρηθεί το εξής: την περίοδο 1961-2003, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 1.8mm/έτος (1.3-2.3 mm). Η αντίστοιχη αύξηση για το διάστημα 1993-2003 ήταν 3.1mm/έτος, χωρίς να είναι σαφές αν πρόκειται για μακροχρόνια ροπή ή φυσική διακύμανση **(16)**.

Παρουσιάσεις μοντέλων για το κλίμα (climate model projections) που συμπεριλήφθηκαν στην έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change) προτείνουν ότι ο μέσος όρος αύξησης της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του εικοστού πρώτου αιώνα θα είναι 2.5 χιλ./έτος, πράγμα που σημαίνει ότι η μέση στάθμη της θάλασσας θα είναι 0,2 μέτρα έως 0,5 μέτρα υψηλότερη το 2100 απ' ό τι το 2000.

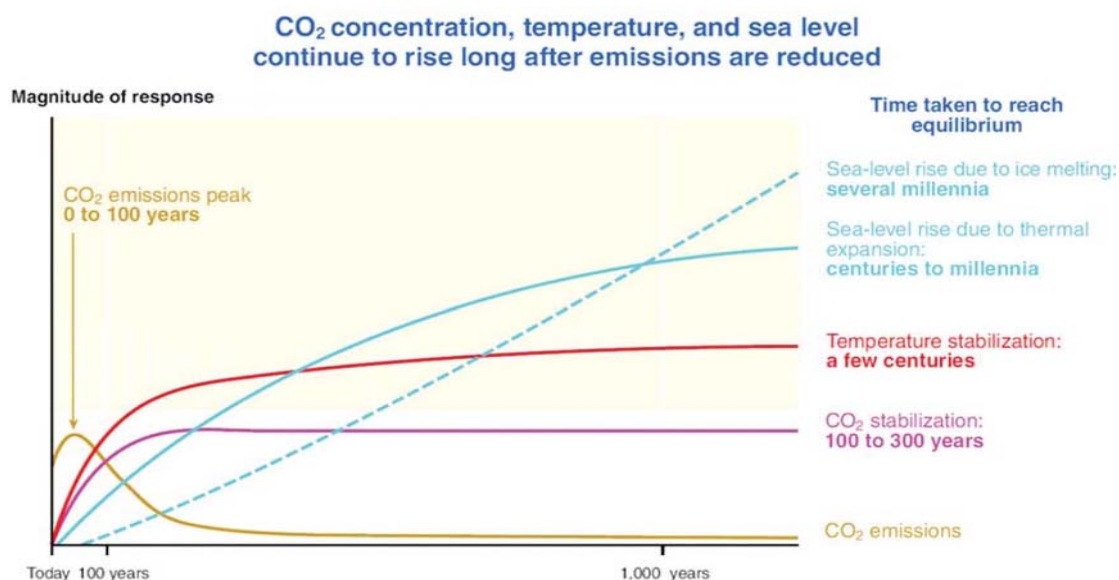


Σχήμα 12

Μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας από το 1800 έως το 2100

Στο Σχήμα 12 φαίνεται η μελλοντική αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Οι μεγάλες μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας όπως φαίνεται από το Σχήμα άρχισαν από τα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1990 (πράσινο χρώμα) και συνεχίζονται έως και σήμερα. Όπως σημειώθηκε παραπάνω και φαίνεται και από το Σχήμα 12 το έτος 2100 η στάθμη της θάλασσας θα είναι περίπου 0,2 μέτρα έως 0,5 μέτρα υψηλότερη σε σχέση με το 2000. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αριθμοί αυτοί αφορούν πρώτιστα την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, αποκλείοντας τις γρήγορες και δυναμικές αλλαγές όπως η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική και την Γροιλανδία. Αν συμπεριλάβουμε και τη τήξη των πάγων η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα κυμανθεί από 0,2 μέτρα έως 0,6 μέτρα μέχρι το 2100. Βέβαια μερικοί ερευνητές της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) κάνουν λόγο για υποτίμηση της επίδρασης της τήξης των πάγων και ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα μπορούσε να είναι 1 μέτρο, εάν όχι περισσότερο, μέχρι το τέλος του αιώνα (17).

Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει και το ακόλουθο Σχήμα όπου δείχνει ότι ακόμα κι αν η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μειωθεί και οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις σταθεροποιηθούν, η θερμοκρασία του αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας θα συνεχίσει να αυξάνεται με αργούς ρυθμούς για πάνω από εκατό χρόνια.



Σχήμα 13

Μεταβολές στη συγκέντρωση του CO₂, της θερμοκρασίας, της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο του χρόνου

Από το Σχήμα 13 συμπεραίνουμε ότι η στάθμη της θάλασσας που οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας θα συνεχιστεί για τουλάχιστον χίλια χρόνια ακόμα και με τη μείωση εκπομπών CO₂, αφού το λιώσιμο των πάγων θα συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όλα αυτά βέβαια είναι υποθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής

για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) αφού δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την εκπόνηση πιο βέβαιων συμπερασμάτων. Οι εξελίξεις είναι ραγδαίες όσον αφορά τη κλιματική αλλαγή και κανείς δεν μπορεί να εξάγει συμπεράσματα με βεβαιότητα.

Αν και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας δεν θα ασκούσε καμία άμεση επίδραση στην ίδια τη ναυσιπλοΐα, θα είχε επιπτώσεις στη υποδομή των λιμανιών και το επίπεδο των υπηρεσιών των παράκτιων και λιμενικών δομών. Μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερη διείσδυση της ενέργειας των κυμάτων στην ακτή και στα λιμάνια, ενώ παράλληλα να αυξήσει την αλατότητα των κόλπων και των εκβολών των λιμανιών. Λέγοντας ενέργεια των κυμάτων εννοούμε ότι η ορμή των κυμάτων θα αυξηθεί με αποτέλεσμα ζημιά στην υποδομή των λιμανιών. Γέφυρες και προβλήτες θα υποστούν τη μεγαλύτερη φθορά ενώ αν αναλογιστούμε και την αύξηση της αλατότητας όπως ειπώθηκε παραπάνω, η διάβρωση που θα υποστούν οι υποδομές αυτές θα είναι μεγάλη. Είναι γνωστό ότι η διαβρωτική δράση του θαλασσινού νερού οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα αλάτων οπότε η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας θα είχε ως άμεση συνέπεια την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου με το οποίο έρχεται σε επαφή το νερό.

Εκτός από την αρνητική επίπτωση στην υποδομή των λιμανιών, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα έπαιζε σημαντικό ρόλο στην άφιξη πλοίων σε λιμάνια που τώρα δεν επιτρέπεται να αφιχθούν.

Πίνακας 1: Βυθίσματα λιμανιών τώρα και το 2100 **(18,19,20,21,22,23)**

ΛΙΜΑΝΙΑ	ΒΥΘΙΣΜΑ (m)	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟ ΒΥΘΙΣΜΑ (m)
ROTTERDAM	24	24,2-24,6
MURMANSK	15	15,2-15,6
CHURCHILL	8,5	8,7-9,1
OSLO	11	11,2-11,6
HAMBURG	15,1	15,3-15,7
ANTWERPEN	15,5	15,7-16,1

Στον παραπάνω Πίνακα φαίνονται κάποια λιμάνια εκ των οποίων ορισμένα έχουν αναφερθεί παραπάνω με τα αντίστοιχα βυθίσματά τους τώρα και το έτος 2100. Όπως έχει ειπωθεί παραπάνω η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα κυμανθεί από 0,2 μέτρα έως 0,6 μέτρα μέχρι το 2100. Αυτό σημαίνει ότι θα αυξηθεί το βύθισμα των λιμανιών με συνέπεια να μπορούν να δέχονται πλοία με μεγαλύτερο βύθισμα.



Σχήμα 13

Χάρτης που απεικονίζει τα λιμάνια της Ευρώπης καθώς και θαλάσσιες διαδρομές που πραγματοποιούνται

Στο Σχήμα 14 φαίνονται τα λιμάνια της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένων και τα λιμάνια του Πίνακα 1. Μόνο το λιμάνι Churchill δεν απεικονίζεται καθώς υπάρχει στον Καναδά και έχει απεικονιστεί στο Σχήμα 8. Όπως συμπεραίνεται από τον Πίνακα 1 πλοία με μεγαλύτερο βύθισμα έως και 0,6 μέτρα μεγαλύτερο θα μπορούν να καταπλέουν σε αυτά τα λιμάνια. Αυτό σημαίνει ότι πλοία με μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα θα μπορούν να προσεγγίζουν τα εν λόγω λιμάνια το 2100, οπότε θα διακινείται μεγαλύτερος όγκος φορτίου από και προς τα λιμάνια αυτά.

3.2.2 Άνεμοι

Η κατάσταση των ανέμων θα μπορούσε, από πολλές απόψεις, να επηρεαστεί από τη θερμοκρασία και άλλες αλλαγές κλίματος. Η εποχιακή κατανομή των ταχυτήτων και των κατευθύνσεων του αέρα, οι κατευθύνσεις αλλά και οι διάρκειες των θυελλών και των τυφώνων θα μπορούσαν να αλλάξουν. Στην έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) που ολοκληρώθηκε το 2007 λίγες πληροφορίες υπάρχουν για την κατάσταση των ανέμων καθώς υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την αλλαγή της συμπεριφορά τους λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το μόνο σίγουρο είναι ότι σύμφωνα με πρότυπα

μοντέλα συμπεριφοράς ανέμων, οι μεγαλύτερες αλλαγές στη συμπεριφορά τους θα λάβει χώρα στις βόρειες περιοχές της γης. Συγκεκριμένα στη Νορβηγία σύμφωνα πάντα με πρότυπα μοντέλα συμπεριφοράς ανέμων διαφαίνεται ότι θα είναι συχνότερες οι περιπτώσεις των θυελλών μέσης έντασης και εντονότερες οι ακραίες θύελλες (24). Σε αυτή τη χρονική περίοδο πάντως, η 4η έκθεση της IPCC συμπεραίνει ότι δεν θα ήταν λογικό να προβλέπουμε οποιαδήποτε συγκεκριμένη αλλαγή στην κατάσταση του αέρα, αλλά να έχουμε υπόψη ότι μάλλον θα μπορούσε να αλλάξει η συμπεριφορά του αέρα.

Η αλλαγή της συμπεριφοράς των ανέμων σύμφωνα με την 4η έκθεση της IPCC επηρεάζει περισσότερο τις βόρειες περιοχές του πλανήτη. Το ποσοστό των ανέμων με ταχύτητες άνω των 15 m/s τείνει να αυξηθεί στις περιοχές αυτές (25). Αυτό θα είχε ως συνέπεια τη δυνατότητα δημιουργίας υψηλότερων κυμάτων. Στη ναυσιπλοΐα μια αύξηση στην ταχύτητα αέρα θα είχε επίσης άμεσα αποτελέσματα. Για παράδειγμα οι προτιμώμενες εμπορικές οδοί μπορεί να αλλάξουν, καθώς θα υπάρχει δυσκολία διέλευσης από τα πλοία. Η βόρεια θάλασσα, η θάλασσα της Βαλτικής και γενικά η θαλάσσια περιοχή των Σκανδιναβικών χωρών, θα μπορούσαν να δυσκολέψουν τη διέλευση εμπορικών πλοίων λόγω της δημιουργίας ισχυρών ανέμων. Επιπλέον μία άλλη επίπτωση που μπορεί να έχει η αλλαγή της συμπεριφοράς των ανέμων θα είναι η δυσκολία διέλευσης από στενά κανάλια. Οι ελιγμοί στα κανάλια θα γίνουν δυσκολότεροι καθώς δεν θα υπάρχει η πλήρης δυνατότητα ελέγχου του πλοίου. Ίσως δούμε δυσκολία διέλευσης ακόμα και στο κανάλι του Παναμά ή και στο Σουέζ. Εξαιτίας της ανάπτυξης ισχυρών ανέμων αξίζει να αναφερθεί ότι θα υπάρχει δυσκολία πρόσδεσης των πλοίων στα λιμάνια και κυρίως στα λιμάνια του βορείου ημισφαιρίου της γης, όπου η αλλαγή στη συμπεριφορά των ανέμων θα είναι μεγαλύτερη όπως έχει ειπωθεί. Θα χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να δέσει το πλοίο στο λιμάνι για να ξεφορτώσει ή να φορτώσει το εμπόρευσμά του, οπότε ο χρόνος παραμονής του στο λιμάνι θα αυξηθεί. Αυτό θα έχει βέβαια συνέπεια στη μεταφορά των προϊόντων από το λιμάνι στην αγορά οπότε η οικονομία που διέπει το εμπόριο ίσως επηρεαστεί έως έναν βαθμό. Βέβαια όλα αυτά είναι υποθέσεις που προέκυψαν από μελέτη που εκπονήθηκε από την PIANC (International Navigation Association) λαμβάνοντας υπόψιν τα πορίσματα της 4ης έκθεσης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC). Τίποτα δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα τουλάχιστον προς το παρόν. Μόνο υποθέσεις μπορεί να σημειωθούν.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει αναφορά στην αντίσταση του πλοίου και συγκεκριμένα στη συνιστώσα που σχετίζεται με την αντίσταση του ανέμου. Ένα πλοίο που πλέει σε μια ήρεμη θάλασσα και χωρίς άνεμο «αισθάνεται» μία αντίσταση αέρα. Η αντίσταση αυτή εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου και από την επιφάνεια της υπερκατασκευής. Όταν φυσά επιπλέον άνεμος η αντίσταση αέρα εξαρτάται από την φαινόμενη (ως προς το πλοίο) ταχύτητα του ανέμου. Παρότι η

κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι ποτέ σταθερές και σε μια καταιγίδα ιδιαίτερα αναμένεται να παρουσιάσουν σημαντικές διακυμάνσεις, συνήθως τις υποθέτουμε σταθερές κατά την επίλυση σχετικών προβλημάτων. Η αντίσταση του ανέμου δίνεται από τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο (26):

$$R_w = 0.5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 \quad \text{όπου:}$$

- A_{TA} : η εγκάρσια προβεβλημένη επιφάνεια του πλοίου
- V : η ταχύτητα του ανέμου
- $C_x = 0,4$ συντελεστής αντίστασης ανέμου
- $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του αέρα

Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της αντίστασης του ανέμου για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership) και για ένα δεξαμενόπλο (TANKER) που πλέυνε στην Βόρεια θάλασσα και γενικά στην περιοχή των σκανδιναβικών χωρών. Η επιλογή των θαλασσών αυτών οφείλεται στην συχνότερη εμφάνιση ανέμων με ταχύτητα $V = 15 \text{ m/sec}$ στις θάλασσες αυτές.

Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership)

Όνομα πλοίου:

LACONIKOS (27)

L.O.A. = 213 m

T = 11,6 m

$A_{TA} = A_{TA1} + A_{TA2}$ όπου:

A_{TA1} : η συνολική επιφάνεια των TEU πάνω στην οποία προσκρούει ο άνεμος. Για συνολικό ύψος TEU στο κατάστρωμα του πλοίου $H_{TEU} = 15,6 \text{ m}$, $H_{hatch covers} = 1 \text{ m}$ συνολικό μήκος $L_{CARGO} = 192 \text{ m}$ θα έχουμε:

$$A_{TA1} = (H_{TEU} + H_{hatch covers}) \times L_{CARGO} = 6889 \text{ m}^2$$

A_{TA2} : η επιφάνεια των υπερκατασκευών στην οποία προσκρούει ο άνεμος και είναι υψηλότερα από το συνολικό ύψος των TEU. Για μήκος υπερκατασκευών $L_{SUPERSTRUCTURES} = 13,6 \text{ m}$, ύψος υπερκατασκευής $H_{SUPERSTRUCTURES} = 3 \text{ m}$, αριθμός υπερκατασκευών πάνω από το ύψος των TEU $n = 1$ ($n = 7$ ο αριθμός των υπερκατασκευών) θα έχουμε:

$$A_{TA2} = n \times L_{SUPERSTRUCTURES} \times H_{SUPERSTRUCTURES} = 1 \times 13,6 \times 3 = 40,8 \text{ m}^2$$

Άρα:

$$A_{TA} = A_{TA1} + A_{TA2} = 6889 + 40,8 = 6929,8 \text{ m}^2$$

Η αντίσταση του ανέμου για ταχύτητα ανέμου $V = 15 \text{ m/sec}$ θα είναι:

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 6929,8 \times 15^2 = 374209 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W1} = 374,209 \text{ kN.}$$

Για ταχύτητα ανέμου $V = 10 \text{ m/sec}$ θα είναι:

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 6929,8 \times 10^2 = 166315 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W2} = 166,315 \text{ kN.}$$

Για ταχύτητα ανέμου $V = 14 \text{ m/sec}$ θα είναι:

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 6929,8 \times 14^2 = 325977 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W3} = 325,977 \text{ kN}$$

Δεξαμενόπλοιο (Tanker)

Όνομα πλοίου:

LUXMAR (28)

L.O.A. = 180 m

T = 10.9 m

A_{TA} : η επιφάνεια των υπερκατασκευών στην οποία προσκρούει ο άνεμος. Για συνολικό ύψος υπερκατασκευών $H_{SUPERSTRUCTURES} = 18 \text{ m}$, μήκος υπερκατασκευών $L_{SUPERSTRUCTURES} = 21 \text{ m}$ θα έχουμε:

$$A_{TA} = H_{SUPERSTRUCTURES} \times L_{SUPERSTRUCTURES} = 18 \times 21 = 378 \text{ m}^2$$

Η αντίσταση του ανέμου για ταχύτητα ανέμου $V = 15 \text{ m/sec}$ θα είναι :

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 378 \times 15^2 = 20412 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W4} = 20,412 \text{ kN.}$$

Για ταχύτητα ανέμου $V = 10 \text{ m/sec}$ θα είναι:

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 378 \times 10^2 = 9072 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W5} = 9,72 \text{ kN.}$$

Για ταχύτητα ανέμου $V = 14 \text{ m/sec}$ θα είναι:

$$R_w = 0,5 \times C_x \times \rho \times A_{TA} \times V^2 = 0,5 \times 0,4 \times 1,2 \times 378 \times 14^2 = 17781 \text{ kg x m/sec}^2.$$

$$\text{Άρα } R_{W6} = 17,781 \text{ kN.}$$

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 2: Τιμές αντίστασης ανέμου για ταχύτητες ανέμου $V = 15$ m/sec, $V = 14$ m/sec και $V = 15$ m/sec για δύο διαφορετικά είδη πλοίων κατά την πλεύση τους στην Βόρεια θάλασσα και γενικά στην περιοχή των σκανδιναβικών χωρών

TACHYTHTA ANEMOY (m/sec)	ANTISTATASH ANEMOY (Kn) CONTAINERSHIP	ANTISTATASH ANEMOY (Kn) TANKER
10	166,315	9,72
14	325,977	17,781
15	374,209	20,412

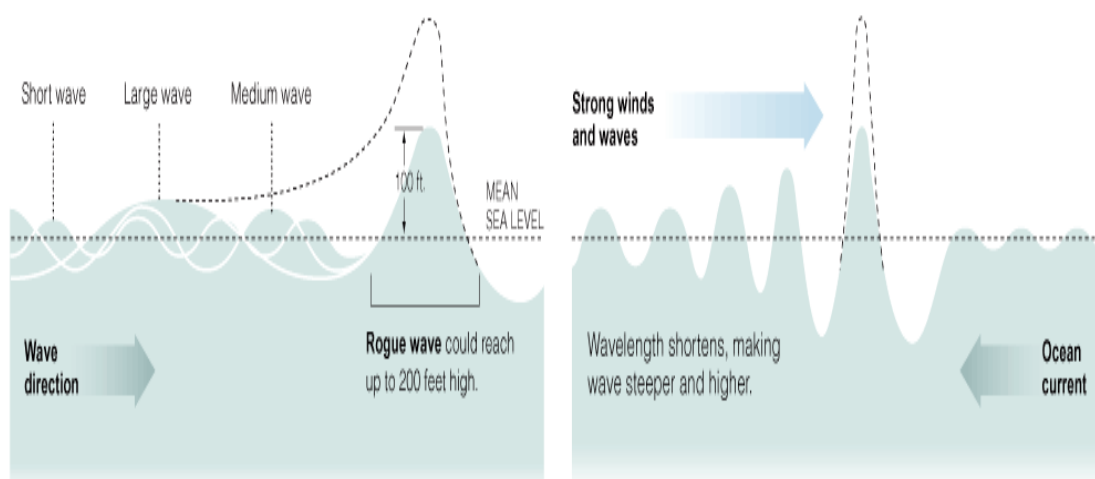
Από τον Πίνακα 2 παρατηρούμε ότι η αντίσταση του ανέμου αυξάνεται αρκετά καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Αυτό οφείλεται στο ότι η αντίσταση του ανέμου είναι συνάρτηση του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου. Άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου λόγω της κλιματικής αλλαγής αυξάνει σε σημαντικό βαθμό την αντίσταση του ανέμου με αποτέλεσμα να δυσκολεύει την πλεύση του πλοίου ακόμα περισσότερο στην Βόρεια θάλασσα και γενικά στην περιοχή των σκανδιναβικών χωρών. Επίσης παρατηρούμε ότι η αντίσταση του ανέμου είναι μεγαλύτερη σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership) από ένα δεξαμενόπλοιο (Tanker). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο πλευρικός άνεμος προσκρούει σε μεγαλύτερη επιφάνεια σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership) λόγω της επιφάνειας των TEU που υπάρχουν στο κατάστρωμα.

3.2.3 Δράση των κυμάτων και freak waves

Τα κύματα θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την αλλαγή κλίματος με διάφορους τρόπους. Η εποχιακή κατανομή του ύψους των κυμάτων (καθώς και περιόδων και κατευθύνσεων), η συχνότητα και η διεύθυνση των περιόδων των υψηλών κυμάτων, η συχνότητα και η διεύθυνση των τυφώνων καθώς και η διάρκεια των θυελλών θα μπορούσαν να αλλάξουν. Στις πολικές περιοχές η αλλαγή στη θέση και την έκταση του τοπικού πάγου μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην κατάσταση των κυμάτων. Η 4η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) αναφέρει μια σημαντική τάση ετήσιας αύξησης του ύψους κύματος (H_s) κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο. Η τάση αυτή είναι εμφανής στις ακόλουθες θαλάσσιες περιοχές: Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό, Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, Νοτιοδυτικός Ατλαντικός Ωκεανός, Ανατολικός Ινδικός Ωκεανός καθώς και οι Ανατολικές και Νότιες θάλασσες της Κίνας (29).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά για τα λεγόμενα freak waves. Τα κύματα αυτά είναι αρκετά μεγάλα και αποτελούν απειλή ακόμη και για μεγάλα πλοία. Το χαρακτηριστικό των κυμάτων αυτών είναι ότι μπορεί να εμφανιστούν εντελώς ξαφνικά και ότι το ύψος κύματός τους (H_s) μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 34 μέτρα. Το ύψος αυτό είναι πιο πάνω από το τριπλάσιο του ύψους των κανονικών κυμάτων το οποίο είναι περίπου 10,8 μέτρα. Λέγοντας ύψος κύματος εννοούμε την κάθετη απόσταση μεταξύ της κορυφής και του κατώτερου σημείου της κοιλάδας του κύματος. Είναι γνωστό ότι η δημιουργία ενός κύματος οφείλεται στην ένταση του αέρα πάνω από τη θάλασσα. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται σχηματικά η δημιουργία τέτοιων κυμάτων. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι τα κύματα αυτά είναι διαφορετικά από τα κύματα που προκαλούνται από σεισμούς, δηλαδή τα γνωστά τσουνάμι.

Κύματα τέρατα δημιουργούνται με δύο τρόπους. Ο ένας είναι αν συνδυαστούν θαλάσσια κανονικά κύματα με διαφορετικές όμως ταχύτητες, σπότε περνούν το ένα πάνω από το άλλο. Όταν συγχρονιστούν δημιουργείται ένα πολύ μεγάλο κύμα. Ο δεύτερος τρόπος είναι όταν κύματα συνήσουν ένα ωκεάνιο ρεύμα.



Sources: Smithsonian; Dr. Wolfgang Rosenthal, Helmholtz Research Center Geesthacht

Σχήμα 14

Σχηματική παράσταση δημιουργίας των τεράστιων κυμάτων (freak waves)

Η δύναμη, η διάρκεια και ο τρόπος με τον οποίο ο άνεμος σαρώνει το νερό προσδιορίζουν το μέγεθος των κυμάτων. Η δύναμη και η διάρκεια του ανέμου καθορίζουν και το ύψος των κυμάτων. Κύματα ύψους περίπου 2 μέτρων είναι κάτι το συνηθισμένο, αν και αυτά μέχρι 10 ή ακόμα και 15 μέτρα θεωρούνται κάτι το σύνηθες. Καθώς τα κύματα κερδίζουν ενέργεια από τον άνεμο, γίνονται ολοένα και πιο απότομα και οι κορυφές τους μπορούν να φτάσουν πολύ ψηλά. Κύματα τεράστια μπορεί να δημιουργηθούν με δύο τρόπους (30):

- Αν συνδυαστούν θαλάσσια κανονικά κύματα με διαφορετικές όμως ταχύτητες, οπότε περνούν το ένα πάνω από το άλλο. Όταν συγχρονιστούν δημιουργείται ένα αρκετά μεγάλο κύμα.
- Αν τα κύματα συναντήσουν ένα ωκεάνιο ρεύμα.

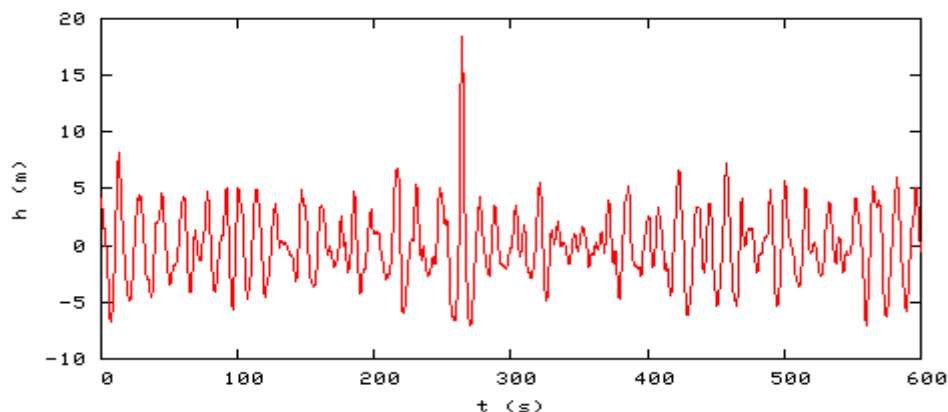
Η αύξηση της εμφάνισης τέτοιων κυμάτων τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει βάλει σε σκέψεις αρκετούς επιστήμονες σχετικά με τη δημιουργία τους. Δεν είναι λίγοι που πιστεύουν ότι η αύξηση της εμφάνισης τέτοιων κυμάτων ίσως να οφείλεται στις κλιματικές αλλαγές (31). Συγκεκριμένα να αναφέρουμε τον Arne Nestegård ο οποίος είναι μέλος του Νορβηγικού Νηογνώμονα (DNV) και απόφοιτος του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT). Με αφορμή το χτύπημα ενός τεράστιου κύματος σε παράκτια πλατφόρμα στη Βόρεια Θάλασσα καθώς και το χτύπημα ορισμένων πλοίων στη Βόρεια Θάλασσα και στον Βόρειο Ατλαντικό λόγω της εμφάνισης τεράστιων κυμάτων (freak waves), ο εν λόγω επιστήμονας πιστεύει ότι η εμφάνιση τέτοιων κυμάτων ίσως να οφείλεται στην αλλαγή του κλίματος. Περιστατικά εμφάνισης τέτοιων κυμάτων παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η αλλαγή της συμπεριφοράς των ανέμων που αναλύθηκε παραπάνω και που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή ίσως παίζει ρόλο στην συχνότερη εμφάνιση τεράστιων κυμάτων (freak waves). Η ανάγκη διερεύνησης τέτοιων κυμάτων ώθησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να αρχίσει από τον Δεκέμβριο 2000 ένα επιστημονικό πρόγραμμα αποκαλούμενο MaxWave για να καταγράψει τα διαδεδομένα περιστατικά των τεράστιων αυτών κυμάτων (freak waves) καθώς και να διαμορφώσει όσο το δυνατόν μία πληρέστερη εικόνα για τον τρόπο δημιουργίας τους και τι συνέπειες μπορεί να έχουν. Σε αυτό το πρόγραμμα συμμετείχε και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (European Space Agency) για την καταγραφή των κυμάτων αυτών από δορυφόρους. Χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2, οι οποίοι σάρωσαν επί τρεις εβδομάδες τους ωκεανούς του πλανήτη και με τα ραντάρ τους αποτύπωσαν υπό διάφορες καιρικές συνθήκες περίπου 30.000 εικόνες. Η ανάλυση των εικόνων έγινε στο Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστήματος (DLR) και διαπιστώθηκε πως οι δορυφόροι είχαν δει δέκα κύματα ύψους μεγαλύτερου των 25 μέτρων σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για να καταρτιστεί Παγκόσμιος Άτλας των κυμάτων, ώστε να γίνει κατανοητό σε ποιες περιοχές εκδηλώνονται και με ποια συχνότητα. Ο Δρ. Rosenthal ο οποίος μετέχει στο πρόγραμμα MaxWave είπε ότι στο μέλλον ο συνεχής πολλαπλασιασμός των δορυφόρων ραντάρ θα δημιουργήσει ευκαιρίες να γίνουν κατανοητοί καλύτερα όχι μόνο οι βιότοποι των γιγαντιαίων κυμάτων αλλά και μεμονωμένες απειλές (32).

Πίνακας 1: Αριθμός πλοίων που έχουν βυθιστεί ανοικτά της Νότιας Αφρικής κατά την περίοδο 1981 έως 1991.

DATE	VESSEL	TYPE	DWT	DATE	VESSEL	TYPE	DWT		
81	4	Energy Endurance	T	205,807	87	7	Goldstar	OBO	145,057
	8	Schelderin	T	230,679		10	Bocita	B	140,000
	8	Rimula	OBO	227,412	88	11	Atlantic Emperor	T	292,641
82	4	Alva Sea	OBO	225,010	89	7	Arabian Sea	T	315,695
	7	Marofa	T	135,000		11	Paaficos	T	268,467
	7	Antonios	T	290,558	90	1	Rokko San	OBO	200,000
	7	Theodora	B	137,519		9	Dorado Star	T	304,707
	7	Victoria	T	236,810		11	Samjohn Captain	B	65,051
	9	Torvanger	CH-T	17,057	91	4	Vasso	B	51,181
84	7	Merity	CH-T	24,083		5	Alborz	T	230,673
	11	Alva Sea	OBO	225,010		8	World Renown	T	262,267
85	2	Musashi	B	62,649		8	Mimosa	T	357,647
86	6	World Scholar	T	268,000		8	Novelty	T	233,399
	8	Formosa Fortune	OBO	162,973		8	Settebello	T	317,354
						9	Atlas Pride	T	248,602

SHIP TYPES: T TANKER, OBO OIL / BULK ORE, B BULK, CH-T CHEMICAL TANKER .

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες πάνω από 200 υπερδεξαμενόπλοια (supertankers) και μεγάλα φορτηγά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships) με ολικό μήκος πάνω από διακόσια μέτρα έχουν χτυπηθεί από τα τεράστια αυτά κύματα. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε την περιοχή ανοικτά της Νότιας Αφρικής όπου υπάρχει το θαλάσσιο ρεύμα Agulhas. Στην περιοχή αυτή ισχυροί νότιοι άνεμοι επικρατούν εκεί και σε συνδυασμό με τους επίσης ισχυρούς νότιους ανέμους που μεταφέρονται από την περιοχή της Ανταρκτικής, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων κυμάτων (33). Στον παραπάνω Πίνακα παρουσιάζονται τα πλοία που έχουν βυθιστεί στην περιοχή αυτή κατά τη περίοδο 1981 έως 1991. Από τη δράση των κυμάτων αυτών δεν έχουν γλιτώσει ούτε και οι παράκτιες πλατφόρμες. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε την εγκατάσταση γεώτρησης πετρελαίου Draupner στη Βόρεια Θάλασσα η οποία χτυπήθηκε από ένα κύμα του οποίου το ύψος υπολογίστηκε στα 26 μέτρα. Το μέγιστο πλάτος του κύματος αυτού μετρήθηκε στα 18,5 μέτρα, ενώ το πλάτος ενός συνηθισμένου κύματος είναι τρεις φορές μικρότερο. Λέγοντας πλάτος κύματος εννοούμε την καθ' ύψος μέγιστη μετατόπιση ενός σημείου, από το σημείο ισορροπίας του κατά τη διέλευση ενός κύματος. Πλάτος του θαλάσσιου κύματος ονομάζεται το ύψος του όρους ή της κορυφής ή και το βάθος της κοιλάδας του (κύματος), μετρούμενα πάντα από την κανονική στάθμη ή τη μέση κανονική στάθμη. Όσο μεγαλύτερο πλάτος παρουσιάζει ένα κύμα τόσο μεγαλύτερη ενέργεια μεταφέρει (34). Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται το πλάτος του κύματος που χτύπησε την πλατφόρμα στη Βόρεια Θάλασσα.



Σχήμα 15

Γράφημα που δείχνει το πλάτος του κύματος που χτύπησε την εγκατάσταση γεώτρησης πετρελαίου Draupner στη Βόρεια Θάλασσα συναρτήσει του χρόνου

Στη συνέχεια παρατίθενται τα πιο πρόσφατα περιστατικά εμφάνισης θηριωδών κυμάτων (freak waves) από το 2000 μέχρι σήμερα:

- Το βρετανικό ωκεανογραφικό σκάφος Discovery βρέθηκε στο μέσο μιας θύελλας στις 8 Φεβρουαρίου 2000. Το πλοίο παγιδεύτηκε σε μια καταιγίδα 250 χιλιομέτρων δυτικά της Σκωτίας, σε μια θαλάσσια περιοχή γνωστή για τις τρικυμίες της. Η θύελλα αυτή δημιουργούσε κύματα άνω των 18 μέτρων, ενώ δύο από τα κύματα έφτασαν τα 29 μέτρα.
- Το επιβατηγό Celedonian Star, το Μάρτιο 2001 χτυπήθηκε στο Νότιο Ατλαντικό από κύμα ύψους περίπου 30 μέτρων.
- Το κρουαζιερόπλοιο Norwegian Dawn, που έπλεε ανοικτά της Τζόρτζια στις ΗΠΑ τον Απρίλιο 2005, χωρίς κανένας να καταλάβει πώς, εμφανίστηκε ένα γιγαντιαίο κύμα που όπως το περιγράψανε οι επιβάτες είχε το ύψος μίας επταώροφης πολυκατοικίας.

Για την πληρέστερη καταγραφή τέτοιων κυμάτων να αναφέρουμε ότι το ψηλότερο μοναχικό κύμα στη σύγχρονη καταγεγραμμένη ιστορία θεωρείται αυτό το οποίο έπληξε το αμερικανικό πολεμικό πετρελαιοφόρο «Ramapo» το 1933 στον Ειρηνικό Ωκεανό, με ύψος 34 μέτρων, ενώ ένα τέτοιο μοναχικό κύμα πρέπει να ήταν η αιτία του παράξενου ναυαγίου του γερμανικού φορτηγού «München» το 1978. Πιθανολογείται κάτι αντίστοιχο και για το βρετανικό πλοίο μεταφοράς φορτίου «Derbyshire», που βυθίστηκε ανοικτά της Ιαπωνίας το 1980. Στο Σχήμα 16 παρατίθεται μία από τις λίγες φωτογραφίες ενός τέτοιου κύματος το οποίο χτύπησε ένα υπερδεξαμενόπλοιο ανοικτά της Νότιας Αφρικής. Ενδεικτικά για το ύψος του

κύματος να αναφέρουμε ότι το κατάρτι του πλοίου μπροστά και δεξιά βρίσκεται σε ύψος 25 μέτρων από τη θάλασσα.



Σχήμα 16

Φωτογραφία τεράστιου κύματος (freak wave) που χτύπησε δεξαμενόπλοιο ανοιχτά της Νότιας Αφρικής το 1980

3.2.4 «Φυσική» παγκόσμια κλιματική διαδικασία ή κλιματική αλλαγή (35) ;

Στον αντίποδα της 4ης έκθεσης της IPCC υπάρχει μία έρευνα από το Πανεπιστήμιο του Aberdeen η οποία δημοσιεύτηκε το 2008. Η έρευνα αυτή κάνει λόγο για «φυσική» παγκόσμια κλιματική διαδικασία όσον αφορά τους έντονους ανέμους και την αύξηση της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι τα φαινόμενα Ελ Νίνιο (El Nino) και Λα Νίνια (La Nina) προκαλούν σημαντικές κλιματικές ανωμαλίες σε όλο τον πλανήτη. Υπάρχουν αναφορές στο Περού από το 1525 περίπου, που μας γνωστοποιούν για τις συνέπειες των φαινομένων αυτών. Αυτό σημαίνει ότι τα φαινόμενα αυτά εκδηλώνονται στον πλανήτη πολύ πριν τις κλιματικές αλλαγές και ότι η ένταση των ανέμων και η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζονται έως ένα βαθμό από τα φαινόμενα αυτά. Να σημειώσουμε ότι τα φαινόμενα αυτά επαναλαμβάνονται κάθε 2 με 7 χρόνια. Το φαινόμενο Ελ Νίνιο (El Nino) συμβαίνει όποτε εξασθενούν οι συνηθισμένοι ανατολικοί ισχυροί άνεμοι, επιτρέποντας στο θερμότερο νερό από το δυτικό Ειρηνικό να ρέει προς την ανατολή. Αυτό αλλάζει το επίπεδο της θάλασσας, ενισχύει το θερμό νερό της επιφάνειας στην ακτής της Νότιας Αμερικής, και αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού στον ανατολικό

Ειρηνικό. Συγχρόνως τα σύννεφα καταιγίδας σχηματίζονται πάνω από τον κεντρικό Ειρηνικό κι όχι στον δυτικό. Κατά τη διάρκειά του, παρατηρείται ανωμαλία στην κίνηση των ατμοσφαιρικών και ωκεάνιων ρευμάτων στον Τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό, που επηρεάζει το κλίμα σε όλη τη Γη. Τα αποτελέσματα είναι εμφανή παντού: τα νησιά του Κεντρικού Τροπικού Ειρηνικού, η Χιλή, η Αργεντινή, η Βραζιλία, η Ουρουγουάη και η Νότια Κίνα έχουν πλημμυρίσει εξαιτίας του φαινομένου αυτού. Επιπλέον στη διάρκεια του αντίστοιχου φαινομένου από το 1991 έως το 1994 σημειώθηκε ρεκόρ τυφώνων στον Ατλαντικό, την Καραϊβική και τον Κόλπο του Μεξικού.

Κατά τη διάρκεια του φαινομένου Λα Νίνια (La Nina) που συμβαίνει συνήθως μετά το φαινόμενο Ελ Νίνιο (El Nino), οι ανατολικοί άνεμοι ισχυροποιούνται πολύ και ωθούν έτσι τα θερμά επιφανειακά νερά προς την Ασία. Τα νέφη καταιγίδας μετακομίζουν προς τα δυτικά του ωκεανού. Τα ψυχρά ρεύματα τότε στις δυτικές ακτές της Αμερικής αναδύονται (ενώ στο φαινόμενο El Nino είναι σε βάθος 45 m μέσα στη θάλασσα), οι υδρατμοί μειώνονται με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι βροχές στην περιοχή αυτή. Το φαινόμενο Λα Νίνια (La Nina) όπως γίνεται κατανοητό είναι ένα ακραίο καιρικό αντί-El Nino φαινόμενο. Αυτό έγινε περισσότερο κατανοητό το 1997, όπου το El Nino προκάλεσε μεγάλες βροχές στην Βόρεια Αμερική με τη βοήθεια ενός ρεύματος. Κατόπιν στα τέλη του 1998, αρχίζοντας το La Nina ώθησε το ρεύμα αυτό πίσω στο Βορρά πάλι, που ενίσχυσε τις ξηρές καιρικές τάσεις. Οι πυρκαγιές και οι ξηρασίες έγιναν κοινές, στις ίδιες θέσεις όπου οι βροχές είχαν πέσει κατά τη διάρκεια του El Nino. Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν να σημειώσουμε ότι οτιδήποτε ακραίο κάνει το φαινόμενο El Nino, το φαινόμενο La Nina κάνει το αντίθετο. Οι πλημμύρες γίνονται ξηρασίες και ο κρύος καιρός γίνεται θερμός. Η εναλλαγή λοιπόν του φαινομένου La Nina και του φαινομένου El Nino είναι ένα κανονικό μέρος του κύκλου της ζωής του Ειρηνικού ωκεανού, η οποία όπως είπαμε έχει αντίκτυπο στο κλίμα. Πάνω σε αυτό έχει στηριχτεί η έρευνα αυτή και υποστηρίζει ότι οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται εν μέρει σε μία φυσική κλιματική διαδικασία.

3.3 Κλιματική αλλαγή και εξοπλισμός του πλοίου

3.3.1 Σύστημα πυρόσβεσης πλοίου

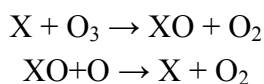
Η ολοένα αυξανόμενη καταστροφή του όζοντος οφείλεται και στην παρουσία αερίων που δρουν καταλυτικά όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1 στην παράγραφο 1.3.2 (Τα αέρια του θερμοκηπίου). Ένα από τα αέρια αυτά είναι και οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (halons). Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι αέρια, άχρωμα και άοσμα και έχουν τη δυνατότητα κατάσβεσης όλων των ειδών των πυρκαγιών. Το μόνιμο σύστημα πυρόσβεσης ενός πλοίου αλλά και οι φορητοί πυροσβεστήρες που υπάρχουν πάνω στο πλοίο είναι δυνατόν να λειτουργούν με αλογονωμένους υδρογονάνθρακες (halons). Οι υδρογονάνθρακες αυτοί λειτουργούν

κατασβεστικά είτε με διακοπή της χημικής αντίδρασης της καύσης, ή με απομόνωση λόγω εκδίωξης του αέρα. Όπως είναι γνωστό το οξυγόνο, σαν απαραίτητο συστατικό για τις καύσεις, πρέπει να υπάρχει ώστε να εκδηλώνεται και να συντηρείται η πυρκαγιά. Λέγοντας απομόνωση εννοούμε διακοπή της επαφής του καιγομένου σώματος με τον ατμοσφαιρικό αέρα, δηλαδή με το οξυγόνο. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με κατασβεστικά αέρια όπως είναι το halon.

Επειδή όμως οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (halons) περιέχουν αλογόνα δηλαδή φθόριο (F), χλώριο (Cl) και βρώμιο (Br) κατά τη χρήση τους δημιουργούνται ενώσεις οι οποίες καταστρέφουν το όζον (O₃) της ατμόσφαιρας. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί που συντελούν στην καταστροφή του όζοντος είναι οι εξής:

- Halon 1211 Βρωμοχλωροδιφθορομεθάνιο
- Halon 1301 Βρωμοτριφθορομεθάνιο
- Halon 2404 1,2-διβρωμο-1,1,2,2-τετραφθοροαιθάνιο (γνωστό επίσης ως Halon 114B2)

Η αντίδραση που συντελείται και καταστρέφει το όζον με X= Cl, Br, F, είναι η εξής:



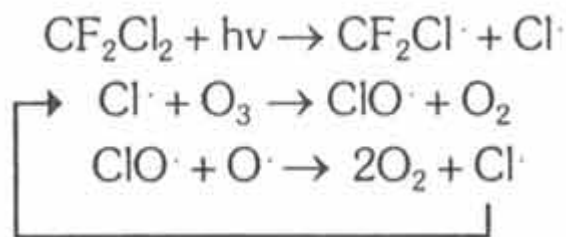
Εξαιτίας λοιπόν της καταστροφικής δράσης των αλογονωμένων υδρογονάνθρακων (halons) θεσπίστηκε ο Κανονισμός 12 του Παραρτήματος VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78. Το εν λόγω Παράρτημα έχει τεθεί σε ισχύ από τις 19 Μαΐου 2005. Διεξοδικότερη αναφορά γίνεται στο Κεφάλαιο 4. Ενδεικτικά για τους αλογονωμένους υδρογονάνθρακες (halons) αναφέρεται τα ακόλουθα:

«οι ηθελημένες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον απαγορεύονται, περιλαμβανομένων των εκπομπών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια συντήρησης, επισκευής ή διάθεσης συστημάτων και εξοπλισμού, εκτός και εάν συνδέονται με ελάχιστες διαρροές για την ανάκτηση ή ανακύκλωση μιας ουσίας που καταστρέφει το όζον. Επίσης, απαγορεύονται οι νέες εγκαταστάσεις (συστήματα εξοπλισμού, φορητές μονάδες πυρόσβεσης, μονωτικά υλικά κ.α.) που περιέχουν τέτοιες ουσίες, εκτός από αυτές που περιέχουν χλωροφθοριομένους υδρογονάνθρακες (HCFCs) και οι οποίες επιτρέπονται μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020.»

3.3.2 Ψυκτικά μέσα

Λέγοντας ψυκτικά μέσα εννοούμε τον υλικό φορέα ο οποίος παραλαμβάνει ποσά θερμότητας από θέσεις με χαμηλότερη θερμοκρασία, όπου είναι ανεπιθύμητα, και τα μεταφέρει σε θέσεις με υψηλότερη θερμοκρασία όπου και τα απορρίπτει **(36)**. Εκτός από την αμμωνία (NH₃) τα υπόλοιπα εν χρήσει ψυκτικά μέσα προέρχονται από το μεθάνιο (CH₄) ή αιθάνιο (C₂H₆) με αντικατάσταση των ατόμων υδρογόνου από

άτομα χλωρίου ή φθορίου. Το πιο γνωστό ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιούσαν τα πλοία για να καλύψουν τις ανάγκες τους ήταν το λεγόμενο διχλωροδιφθορομεθάνιο (Dichlorodifluoromethane), γνωστό και με τον κωδικό R12. Κυκλοφορούσε με την εμπορική ονομασία Φρέον-12 (R12) έως το 1994 όπου και σταμάτησε λόγω της ζημιάς που προκαλεί στο όζον. Η κατάργηση του Φρέον-12 (R12) ήρθε με τον Κανονισμό 3093/94/EC. Να αναφέρουμε ότι το Φρέον-12 (R12) αποτελείται από δύο άτομα χλωρίου και δύο άτομα φθορίου τα οποία δρουν καταλυτικά όπως έχει ειπωθεί παραπάνω στη καταστροφή του στρώματος του όζοντος. Η αντίδραση κατάλυσης είναι η εξής:



Το άτομο χλωρίου που δημιουργείται στην τρίτη αντίδραση μπορεί να διασπάσει άλλο ένα μόριο όζον (O_3) και τελικά από ένα άτομο χλωρίου είναι δυνατόν να καταστραφούν πολλά μόρια όζοντος.

Με την κατάργηση του Φρέον-12 (R12) άρχισε να χρησιμοποιείται ευρύτερα στα πλοία το ψυκτικό μέσο Φρέον-22 (R22). Τα ψυκτικό μέσο ανήκει στην κατηγορία των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFCs) οι οποίοι έχουν χαμηλότερο δυναμικό καταστροφής όζοντος. Βέβαια με την εφαρμογή ενός νέου Κανονισμού ο οποίος ισχύει από τον Οκτώβριο 2000, νέα δεδομένα διαμορφώθηκαν. Συγκεκριμένα με τον Κανονισμό 2037/2000/EC προκύπτουν ότι κανένας καθαρός υδροχλωροφθορανθράκας συμπεριλαμβανομένου και του Φρέον-22 (R22) δεν θα μπορεί να διατίθεται στην αγορά μετά το τέλος του 2009. Λέγοντας καθαρός χρειάζεται να σημειώσουμε ότι ο προσανατολισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα μίγματα υδροχλωροφθορανθράκων όπως είναι τα ακόλουθα: R401a, R402a, R403a, R406a, R408a, R411b. Βέβαια όλα αυτά περιλαμβάνονται και στον Κανονισμό 12 του Παραρτήματος VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78, ο οποίος έχει αναφερθεί και παραπάνω. Ο Κανονισμός αυτός κάνει λόγο για τις εξής ουσίες:

- CFC-11 Τριχλωροδιφθορομεθάνιο
- CFC-12 Διχλωροδιφθορομεθάνιο
- CFC-113 1,1,2-τριχλωρο-1,2,2-τριφθοροαιθάνιο
- CFC-114 1,2-διχλωρο-1,1,2,2-τετραφθοροαιθάνιο
- CFC-115 Χλωροπενταφθοροαιθάνιο

Οι ουσίες αυτές αν εξαιρέσουμε το διχλωροδιφθορομεθάνιο το οποίο δεν χρησιμοποιείται πλέον ως ψυκτικό μέσο, οι υπόλοιπες ανήκουν στη κατηγορία των υδροχλωροφθορανθράκων, καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και γίνεται χρήση τους σήμερα. Βέβαια η χρήση τους μειώνεται κλιμακωτά και μετά το πέρας του 2009 δεν θα χρησιμοποιούνται αυτούσιες καθόλου, φτάνοντας έτσι μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020 που θα καταργηθούν και τα μίγματα υδροχλωροφθορανθράκων.

3.4 Έρμα και ανεπιθύμητοι θαλάσσιοι οργανισμοί

3.4.1 Γενικά

Στα πλοία το έρμα χρησιμοποιείται για θέματα ευστάθειας και σταθερότητας πλεύσης, ιδίως όταν το πλοίο είναι άφορτο. Πιο συγκεκριμένα το θαλάσσιο έρμα είναι απαραίτητο για την ασφαλή λειτουργία όλων των τύπων πλοίων. Χρησιμοποιείται για τη σταθερότητα. Τα πλοία φορτώνουν έρμα προκειμένου να βυθιστούν οι προπέλες τους και να έχουν καλύτερη δύναμη πρόωσης. Όταν το πλοίο είναι άφορτο, τότε για θέματα ευστάθειας φορτώνεται με έρμα, το οποίο δύναται να εμπεριέχει διάφορους οργανισμούς. Όταν το πλοίο φτάσει στο λιμάνι προορισμού του εκφορτώνει το έρμα και φορτώνει το φορτίο του και συνεχίζει την πορεία του χωρίς έρμα.

Το θαλάσσιο έρμα αν και δεν είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για τη μεταφορά οργανισμών, είναι εντούτοις ένας διεθνώς αναγνωρισμένος παράγοντας-μέσο μεταφοράς οργανισμών από τη μία περιοχή στην άλλη. Κατά το παρελθόν, οι θαλάσσιοι οργανισμοί μεταφέρονταν ανά τους ωκεανούς με φυσικούς τρόπους, όπως η μεταφορά τους από ρεύματα ή η μεταφορά τους από την προσκόλληση τους σε κομμάτια ξύλου και άλλα επιπλέοντα αντικείμενα. Διάφορα φυσικά εμπόδια, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία ή οι γεωγραφικοί περιορισμοί, δεν επέτρεπαν τη μεταφορά πολλών θαλασσιών οργανισμών σε συγκεκριμένες περιοχές. Ειδικότερα αναφέρουμε ότι ο φυσικός διαχωρισμός της γης σε βόρειο και νότιο ημισφαίριο με την παρουσία των τροπικών ζωνών και των υψηλών θερμοκρασιών γύρω από τον ισημερινό, δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες ζωής για τους οργανισμούς του νότιου, του βόρειου, αλλά και του δυτικού και του ανατολικού ημισφαιρίου. Σε γενικές βέβαια γραμμές έτσι εξηγείται η σχετική διαφορετικότητα των οργανισμών ανά τις περιοχές του κόσμου.

3.4.2 Οι ανεπιθύμητοι θαλάσσιοι οργανισμοί

Όταν το έρμα που λαμβάνει από μία περιοχή το πλοίο εμπεριέχει ανεπιθύμητους θαλάσσιους οργανισμούς τότε δημιουργούνται προβλήματα. Τέτοιοι ανεπιθύμητοι θαλάσσιοι οργανισμοί είναι βακτήρια και άλλα μικρόβια, πλαγκτονικοί οργανισμοί, μικροί ασπόνδυλοι οργανισμοί και οι σπόροι, τα αυγά και τα μικρά

σκουλήκια- νύμφες μεγαλύτερων οργανισμών. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε τους εξής:

1.

Η περίπτωση του European Zebra Mussel *Dreissena polymorpha* (είδος μυδιού από την Ευρώπη). Το είδος αυτό του μαλακίου το οποίο είναι μικρό σε μέγεθος και αναπτύσσεται σε γλυκά νερά. Εμφανίστηκαν στις Great Lakes της Βόρειας Αμερικής ρυπαίνοντας πάνω από το 40% των θαλασσιών οδών των ΗΠΑ και φράζοντας τις σωληνώσεις των παράκτιων βιομηχανιών. Εκτιμάται ότι κατά τα έτη 1989 έως 2000 έχει κοστίσει \$750 εκατομμύρια με \$1 δις δολάρια για μέτρα ρύθμισης του συγκεκριμένου προβλήματος (37).



Σχήμα 17

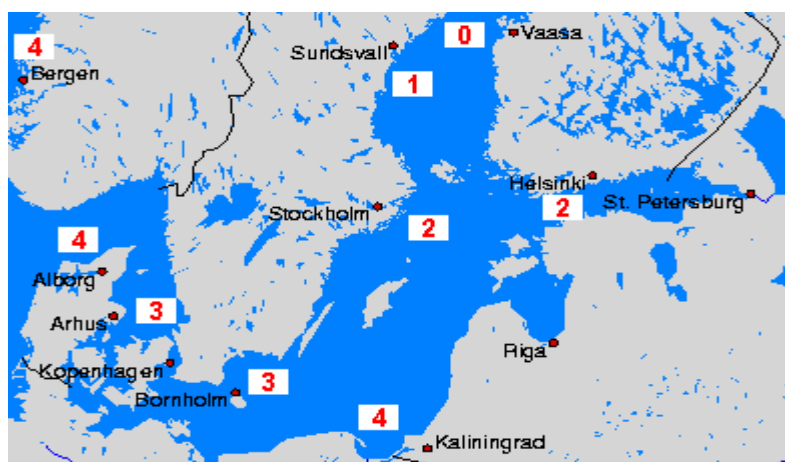
Περιοχές της Ευρώπης που ζει το European Zebra Mussel *Dreissena polymorpha*

Το μύδι αυτό όπως ειπώθηκε ζει σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης. Οι περιοχές αυτές φαίνονται στο παραπάνω Σχήμα. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στις περιοχές αυτές είναι από 0 °C έως 18 °C (38) ενώ οι θερμοκρασίες που επικρατούν στη Βόρεια Αμερική κυμαίνονται μεταξύ 5 °C με 12 °C. Σύμφωνα με την 4^η έκθεση της IPCC η μέση πλανητική θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί από 1,1°C έως 6,4°C έως το 2095 οπότε θα αυξηθεί και η θερμοκρασία στις Great Lakes της Βόρειας Αμερικής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μπορεί να μεταφερθεί μόνο του και να επιβιώσει στην περιοχή αυτή, χωρίς την ανάγκη μεταφοράς του μέσω έρματος. Η θερμοκρασία στην περιοχή αυτή θα έχει στο μέλλον την ίδια περίπου θερμοκρασία με τις περιοχές που ζει το μαλάκιο αυτό στην Ευρώπη.

2.

Η περίπτωση του Cladoceran Water Flea, *Cercopagis pengoi*. Πρόκειται για ένα είδος που προέρχεται από τη Μαύρη και την Κασπία Θάλασσα και εμφανίστηκε ξαφνικά στη Βαλτική Θάλασσα. Το είδος αυτό αναπαράγεται με ραγδαίους ρυθμούς δημιουργώντας τέτοιους πληθυσμούς που κυριαρχούν στο ζωοπλαγκτόν. Επίσης

δημιουργεί προβλήματα στην τοπική αλιεία. Οι θερμοκρασίες στις οποίες ζει ο οργανισμός αυτός κυμαίνονται από 3 °C έως 38 °C **(39)**. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στη Βαλτική Θάλασσα φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα.

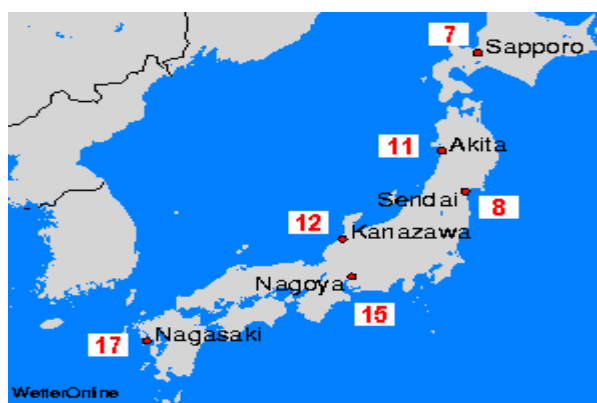


Σχήμα 18

Χάρτης μέσης θερμοκρασίας Βαλτικής Θάλασσας κατά το έτος 2008

Όπως βλέπουμε από το Σχήμα 18, ο εν λόγω μικροοργανισμός πολύ δύσκολα θα μετακινηθεί από μόνος του στην περιοχή αυτή λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που επικρατεί. Μία αύξηση όμως της θερμοκρασίας από 1,1°C έως 6,4°C θα δημιουργούσε τις κατάλληλες συνθήκες για τη μετακίνηση του στην περιοχή αυτή. Δεν θα χρειάζεται στο άμεσο μέλλον τη βοήθεια του έρματος για να μετακινηθεί στη Βαλτική Θάλασσα.

3. Η περίπτωση του ιαπωνικού καβουριού (Mitten Crab, *Eiocheur sunensis*). Πρόκειται για ένα είδος καβουριού από τη Βόρεια Ασία (κυρίως Ιαπωνία) που εμφανίστηκε στη Δυτική Ευρώπη (πρωτοεμφανίστηκε το 1912 στη Γερμανία) και στη Βαλτική Θάλασσα.. Η παρουσία του έχει ανεπιθύμητες επιδράσεις στην οικονομική δραστηριότητα των προαναφερθέντων περιοχών και κυρίως στην τοπική αλιεία **(40)**.



Σχήμα 19

Χάρτης μέσης θερμοκρασίας της θάλασσας της Ιαπωνίας κατά το έτος 2008

Στο παραπάνω Σχήμα παρουσιάζεται η περιοχή που ζει τώρα με την αντίστοιχη μέση θερμοκρασία της κατά το έτος 2008. Στη Δυτική Ευρώπη η θερμοκρασία της θάλασσας είναι σχεδόν ίδια με αυτή της Ιαπωνίας με μικρές αυξομειώσεις ενώ η θερμοκρασία της Βαλτικής Θάλασσας φαίνεται στο Σχήμα 18. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,1°C έως 6,4°C θα καθιστούσε εφικτή τη μετακίνηση και διαβίωση του εν λόγω καβουριού στη Δυτική Ευρώπη. Παράλληλα, στη Βαλτική Θάλασσα οι συνθήκες διαβίωσης από πλευράς θερμοκρασίας θα ήταν οι κατάλληλες σε ορισμένες περιοχές όπως φαίνεται από το Σχήμα 18 και Σχήμα 19.

Από τα παραπάνω τρία ενδεικτικά παραδείγματα οργανισμών που μετακινούνται μέσω έρματος των πλοίων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον αρκετοί οργανισμοί θα μπορούν να διαβιώνουν σε περιοχές που σήμερα δεν μπορούν λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας. Αυτό θα έχει ίσως συνέπεια στη διαχείριση του έρματος. Δεν θα χρειάζεται στο μέλλον να θεσπιστούν αυστηρότεροι κανονισμοί που θα σχετίζονται με την ανταλλαγή ποσοτήτων έρματος. Δεν θα υπάρχει ανησυχία για τυχόν μεταφορά ανεπιθύμητων οργανισμών σε κάποιες περιοχές όπως αυτές που αναφέρθηκαν, καθώς στις περιοχές αυτές οι οργανισμοί αυτοί θα μπορούν να αναπτύσσονται από μόνοι τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ

4.1 Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78

Στο πλαίσιο του νέου πρωτοκόλλου στη Σύμβαση MARPOL 73/78, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) ενέκρινε το 1997 παράρτημα (Παράρτημα VI) το οποίο περιλαμβάνει κανονισμούς για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία. Το παράρτημα έχει τεθεί σε ισχύ από τις 19 Μαΐου 2005. Να αναφέρουμε ότι η Ελλάδα έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα και τροποποιήσεις της MARPOL 73/78. Ειδικότερα για το Παράρτημα VI η Ελλάδα το έχει επικυρώσει με το νόμο 3104/03 (ΦΕΚ Α'28/03). Με τις διατάξεις του εν λόγω Παραρτήματος θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις, υπό μορφή κανονισμών, με τις οποίες καθορίζονται οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο του καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία, τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για μηχανές diesel πλοίων καθώς και τα ληπτέα μέτρα σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή δεξαμενόπλοιων στα οποία μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα βασικότερα σημεία του παραρτήματος VI της MARPOL 73/78:

1. Πεδίο εφαρμογής

Το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα, εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επί μέρους απαιτήσεις.

2. Επιθεωρήσεις - Κανονισμός 5

2.1 Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 gt (grain tonnage) και άνω και κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου και άλλες πλατφόρμες, διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις:

α) αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα.

β) περιοδικές επιθεωρήσεις: διενεργούνται σε χρόνο που καθορίζεται από την Αρχή, χωρίς να υπερβαίνουν τα πέντε (5) έτη.

γ) τουλάχιστον μία ενδιάμεση επιθεώρηση: στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μία τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των πέντε ετών, αυτή θα πραγματοποιείται μέσα σε χρονικό διάστημα έξι μηνών πριν ή μετά την ημερομηνία του μέσου της περιόδου αυτής (6 μήνες πριν ή μετά τα 2,5 έτη).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις και υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις εφαρμοζόμενες απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

2.2 Οι επιθεωρήσεις των υπόχρεων πλοίων γίνονται είτε από επιθεωρητές της Αρχής είτε από Αναγνωρισμένους Οργανισμούς (Α.Ο).

2.3 Εφόσον, κατά τη διενέργεια της επιθεώρησης, ήθελε κριθεί από τον επιθεωρητή ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν ανταποκρίνεται στα στοιχεία του Πιστοποιητικού, θα λαμβάνεται μέριμνα προκειμένου να διασφαλίζεται ότι έχουν ληφθεί ενέργειες αποκατάστασής του, με παράλληλη ενημέρωση της Αρχής.

2.4 Για οποιοσδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις ή υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

3 Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ)
International Air Pollution Prevention Certificate (IAPPC) - Κανονισμός 6

3.1 Τα πλοία και οι πλατφόρμες ή εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου που υποχρεούνται σύμφωνα με τον επισυναπτόμενο Πίνακα να έχουν ΔΠΠΡΑ και κατασκευάστηκαν πριν την 19η Μαΐου 2005 (υπάρχοντα πλοία), θα εφοδιάζονται με Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα, που θα χορηγείται όχι αργότερα από την πρώτη προγραμματισμένη επιθεώρηση στη ξηρά, μετά την 19η Μαΐου 2005 αλλά σε καμία περίπτωση μετά την 19η Μαΐου 2008.

3.2 Το ΔΠΠΡΑ εκδίδεται είτε από την Αρχή είτε από Αναγνωρισμένο Οργανισμό.

3.3 Ο τύπος του Πιστοποιητικού θα ανταποκρίνεται στο υπόδειγμα που παρατίθεται στο Προσάρτημα I του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου και θα συντάσσεται στην Ελληνική και Αγγλική γλώσσα.

3.4 Το εν λόγω Πιστοποιητικό έχει διάρκεια ισχύος πέντε έτη από την ημερομηνία έκδοσής του.

4. Απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών από πλοία

Σύμφωνα με τους εννοιολογικούς προσδιορισμούς του υπόψη Νόμου, ως «εκπομπή» νοείται οποιαδήποτε απελευθέρωση ουσιών από πλοία στον αέρα ή στη θάλασσα, που υπόκειται σε έλεγχο από το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78.

4.2 Οξείδια του αζώτου (NO_x) – Κανονισμός 13

Ο Κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε κάθε μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία εγκαθίσταται σε ένα πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000 και κάθε μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία υπόκειται σε μετασκευή ευρείας έκτασης μετά την 1η Ιανουαρίου 2000. Ο Κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται σε μηχανές diesel έκτακτης ανάγκης (ηλεκτρογεννήτριες), μηχανές πρόωσης σωσίβιων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Για τους σκοπούς εφαρμογής του Κανονισμού αυτού, μετασκευή ευρείας έκτασης σημαίνει τροποποίηση μιας μηχανής όταν μία μηχανή αντικαθίσταται από μία νέα μηχανή που κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000. Επίσης μετασκευή ευρείας έκτασης μπορεί να έχουμε όταν οποιαδήποτε σημαντική μετατροπή, όπως ορίζεται στον Τεχνικό Κώδικα για τον Έλεγχο Εκπομπών Οξειδίων του Αζώτου από Ναυτικές Μηχανές Diesel (Τεχνικός Κώδικας NO_x), γίνεται στη μηχανή ή η μέγιστη συνεχής απόδοση των στροφών της μηχανής αυξάνεται περισσότερο από 10%.

Η λειτουργία κάθε μηχανής diesel, στην οποία εφαρμόζεται αυτός ο Κανονισμός, επιτρέπεται εφόσον οι εκπομπές NO_x βρίσκονται μεταξύ των ακόλουθων ορίων :

- 17 g/KWh όταν το n είναι μικρότερο από 130 rpm,
- 45,0 x n-0,2 g/KWh όταν το n είναι μεγαλύτερο ή ίσο από 130 αλλά μικρότερο από 2000 rpm,
- 9,8 g/KWh όταν το n είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 2000 rpm,

όπου n είναι η ονομαστική ταχύτητα της μηχανής (περιστροφές στροφαλοφόρου ανά λεπτό). Η λειτουργία μιας μηχανής diesel επιτρέπεται επίσης όταν λειτουργεί ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NO_x ή εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδος, εγκεκριμένη από την Αρχή, για τη μείωση των εκπομπών NO_x στο πλοίο, τουλάχιστον μέχρι τα όρια που προαναφέρθηκαν.

4.3 Οξειδία του θείου (SO_x) – Κανονισμός 14

Με τον Κανονισμό αυτό καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καύσιμου πετρελαίου, το 4,5% κατά βάρος. Αυστηρότερες απαιτήσεις ισχύουν για τα πλοία που κινούνται εντός περιοχών ελέγχου εκπομπών SO_x (SECA), δηλαδή εντός θαλασσιών περιοχών που πληρούν τα κριτήρια και τις διαδικασίες καθορισμού, που περιγράφονται στο Προσάρτημα III του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου. Επί του παρόντος, ως περιοχές SECA έχουν καθορισθεί, η Βαλτική θάλασσα, η Βόρειος Θάλασσα και το Στενό της Μάγχης. Σημειώνεται, ότι για την είσοδο του πλοίου σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SO_x θα καταγράφονται στοιχεία που αφορούν στον όγκο του καυσίμου πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μικρότερης ή ίσης του 1, 5% κ.β. σε περιεχόμενο θείο) σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου. Ενδεικτικά γνωρίζουμε, ότι η σχετική εγγραφή μπορεί να γίνεται στο ημερολόγιο γέφυρας ή μηχανής του πλοίου. Περαιτέρω, για τα πλοία που βρίσκονται εντός των προαναφερόμενων περιοχών SECA, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις: η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο πετρέλαιο δεν υπερβαίνει το 1,5% κ.β. ή υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από την Αρχή, που εφαρμόζεται στη μηχανή του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των κύριων ή βοηθητικών μηχανών πρόωσης, για τη μείωση των ολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου δεν θα υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (συνολικό βάρος εκπομπής $\leq 6,0 \text{ g SO}_x/\text{KWh}$) ή θα εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη τεχνολογική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x, εντός των παραπάνω ορίων, εγκεκριμένη από την Αρχή. Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ($S \leq 4,5\%$ κ.β. είτε $S \leq 1,5\%$ κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SO_x), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του καυσίμου (bunker delivery note), με ευθύνη του προμηθευτή.

4.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) – Κανονισμός 15

Στον Κανονισμό αυτό καθορίζονται γενικές απαιτήσεις / υποχρεώσεις, στην περίπτωση που ένα Μέρος στο Πρωτόκολλο 1997, σκοπεύει να καθορίσει λιμάνια ή τερματικούς σταθμούς, που ανήκουν στη δικαιοδοσία του και στα οποία οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από δεξαμενόπλοια πρόκειται να αποτελέσουν αντικείμενο ρύθμισης. Στην περίπτωση αυτή, το Μέρος στο εν λόγω Πρωτόκολλο θα πρέπει να διασφαλίζει ότι, στα λιμάνια και στους τερματικούς σταθμούς στους οποίους ισχύουν ειδικά μέτρα για εκπομπές VOCs, διατίθενται συστήματα ελέγχου των ατμών συγκεκριμένων πτητικών φορτίων, που λειτουργούν με ασφάλεια και χωρίς να προκαλούν αδικαιολόγητη καθυστέρηση στα δεξαμενόπλοια. Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου και σύμφωνα με την

πρότυπη προδιαγραφή για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών που αναφέρεται στην Απόφαση MSC/Circ.585. Σημειώνεται, ότι για τα υγραεριοφόρα δεξαμενόπλοια ο Κανονισμός αυτός θα εφαρμόζεται μόνον όταν ο τύπος φόρτωσης και τα συστήματα εγκλωβισμού επιτρέπουν την κατακράτηση ατμών VOCs που δεν περιέχουν μεθάνιο πάνω στο πλοίο ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

4.5 Αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gases)

Τον Οκτώβριο 2008 στα πλαίσια των τροποποιήσεων του Παραρτήματος VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) συζήτησε την εφαρμογή μέτρων για τον περιορισμό και την μείωση των αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία. Η Επιτροπή έλαβε πληροφορίες για τις εκπομπές GHG από τα σκάφη. Η προκύπτουσα εκτίμηση για το 2007 από τον IMO όσον αφορά τις εκπομπές του CO₂ από τη διεθνή ναυτιλία ανέρχεται σε 843 εκατομμύρια τόνους, ή 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών του CO₂, σε σύγκριση με την εκτίμηση 1,8% στη μελέτη του IMO το 2000. Η κατ' εκτίμηση που έγινε για τις μελλοντικές εκπομπές από τη διεθνή ναυτιλία όπως περιγράφηκαν από τη διακυβερνητική επιτροπή στην αλλαγή κλίματος (IPCC) και, ελλείψει κανονισμών σχετικά με τις εκπομπές του CO₂ από τα σκάφη, είναι η περαιτέρω αύξηση κατά ένα συντελεστή 2.4 έως 3 φορές παραπάνω μέχρι το 2050. Για το 2020, το σενάριο βάσεων προβλέπει τις αυξήσεις να κυμαίνονται κατά ένα συντελεστή από 1.1 έως 1.3. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις αποφασίστηκε η συζήτηση για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου να συνεχιστεί το 2009 ώστε να παρουσιαστεί τον Ιούλιο 2009 το MEPC 59 όπου θα υπάρχουν τα συμπεράσματα της ανανεωμένης μελέτης του IMO.

4.2 Τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78

Τον Οκτώβριο του 2008 η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο MARPOL Παράρτημα VI σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές είναι στην σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SO_x) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου να μειώνεται αρχικά σε 3,50% (από το τρέχον 4,50%) από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σταδιακά σε 0,50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020, υπό τον όρο ότι μία μελέτη σκοπιμότητας θα έχει ολοκληρωθεί το αργότερο έως το 2018. Από την 1η Μαρτίου 2010 τα εφαρμόσιμα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου (SECAs) θα μειωθούν στο 1,00%, (από τα τρέχοντα 1,50 %) και στο 0,10%, από την 1η Ιανουαρίου 2015. Στο Σχήμα 1 φαίνονται παραστατικά οι τροποποιήσεις στα όρια των οξειδίων θείου (SO_x).

Πίνακας 1: παράσταση των νέων ορίων εκπομπών SOx

Entry Into Force Date	Global Control (1 January)		Emission Control Area	
	≥ 2012 to < 2020/25*	≥ 2020/25*	≥ 1 Mar 2010 to < 1 Jan 2015	≥ 1 Jan 2015
Limits	3.5% +	0.5% +	1.0% +	0.10% +
<p>* Note: Effective year (2020 or 2025) will be decided in 2018 † Alternative Technology is acceptable and includes Exhaust Gas Cleaning System and onboard blending</p>				

Προοδευτικές μειώσεις των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) από τις μηχανές πλοίων συμφωνήθηκαν επίσης, με τους πιο αυστηρούς ελέγχους στην αποκαλούμενη "σειρά μηχανών III", δηλ. εκείνες που εγκαταστάθηκαν στα πλοία που κατασκευάστηκαν από την 1η Ιανουαρίου 2016, και λειτουργούν στις περιοχές ελέγχου εκπομπής. Το αναθεωρημένο παράρτημα VI θα επιτρέψει τον καθορισμό μίας περιοχής ελέγχου εκπομπής SOx, αιωρούμενων σωματιδίων, ή NOx, ή και τους τρεις τύπους εκπομπών από τα πλοία, υπό τον όρο υποβολής μίας πρότασης ενός συμμετέχοντος ή των συμμετεχόντων στο Παράρτημα υπό εξέταση για έγκριση από την οργάνωση, εάν υποστηρίζεται από μια καταδεδειγμένη ανάγκη να αποτρέψουν, να μειώσουν και να ελέγξουν μια ή και τις τρεις από εκείνες τις εκπομπές των πλοίων.

4.2.1 Οι κανονισμοί NOx για τις νέες μηχανές

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) MEPC συμφώνησε με τις τροποποιήσεις που επιβεβαιώνουν την προτεινόμενη δομή τριών επιπέδων για τις νέες μηχανές, οι οποίες θα καθόριζαν τα σταδιακά αυστηρότερα όρια εκπομπής οξειδίων αζώτου για τις νέες μηχανές ανάλογα με την ημερομηνία της εγκατάστασής τους. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα επίπεδα εκπομπής NOx.

Πίνακας 2: παράσταση των νέων ορίων εκπομπών NOx

RPM	Total Weight of NO ₂ Emission (g/kWh)			Relative NO ₂ Reduction from Tier I
	< 130	130 ≤ n < 2000	≥ 2000	
Tier I	17.0	45*n^(-0.2)	9.8	Current
Tier II	14.4	44*n^(-0.23)	7.7	15.5% - 21.8%
Tier III	3.4	9*n^(-0.2)	2.0	80%

Η σειρά I ισχύει για μια μηχανή diesel που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2000 και πριν από την 1η Ιανουαρίου 2011 και αντιπροσωπεύει τα πρότυπα 17 g/kW που ορίζονται στο υπάρχον παράρτημα VI. Για τη σειρά II, τα επίπεδα εκπομπής NOx για μια μηχανή diesel που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2011 θα μειώνονταν σε 14.4g/kWh.

Για τη σειρά III, τα επίπεδα εκπομπής NOx για μια μηχανή diesel που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2016 θα μειώνονταν σε 3.4 g/kWh, όταν το πλοίο κινείται σε μια οριζόμενη περιοχή ελέγχου εκπομπής. Έξω από μια οριζόμενη περιοχή ελέγχου εκπομπής, ισχύει το όριο της σειράς II.

4.2.2 Όρια NOx για τις υπάρχουσες μηχανές

Η MEPC συμφώνησε με όριο εκπομπής NOx 17 g/kW για μια μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 5.000 kW και εκτόπισμα ανά κύλινδρο 90 λίτρα ή περισσότερο, που εγκαταστάθηκαν σε ένα πλοίο κατασκευής 1ης Ιανουαρίου 1990 και μετά αλλά πριν από την 1η Ιανουαρίου 2000. Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα νέα δεδομένα για τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί πριν το 2000, για τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί από το 2000 μέχρι το 2011, για τα πλοία που θα έχουν κατασκευαστεί από το 2011 μέχρι το 2016 καθώς και για τα πλοία που θα έχουν κατασκευαστεί από το 2016 και ύστερα.

Πίνακας 3: παράσταση των νέων δεδομένων που θα ισχύουν για τα πλοία ανάλογα με τη χρονολογία κτίσης τους

Ship Constructed (≥1 January)	Application of Standard	Emission Limits	Compliance at engine's delivery except as below
1990 to 2000 <i>Retroactive to existing engines</i>	Engine size > 5000 kW and ≥ 90 liters per cylinder displ.	Tier I	1 st IAPP Renewal Survey ≥ 12 mo after IMO advised by Party of availability (physical & cost) of "upgrade kit"
2000 ≤ x < 2011	> 130 kW		----
2011 ≤ x < 2016		Ships ≥ 24m L or total propulsion power ≥ 750kW	Tier II
≥ 2016	Tier III		Operation within ECA

4.3 Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία για τους ρύπους και τα αέρια του θερμοκηπίου

4.3.1 Θεσμοθετημένα πρότυπα εκπομπής για τα μέσα μεταφοράς

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ως στρατηγική να θεσπίσει νόμους και οδηγίες ώστε να μειωθούν οι εκπομπές από τα μέσα μεταφοράς. Συγκεκριμένα να αναφέρουμε ότι έχουν θεσπιστεί πρότυπα εκπομπής (European emission standards) τα οποία καθορίζουν τα αποδεκτά όρια εκπομπής των οχημάτων που κινούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα πρότυπα αυτά εκπομπής καθορίζονται σε μία σειρά των οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που οργανώνουν την προοδευτική εισαγωγή των όλο και περισσότερο αυστηρών προτύπων.

Στη συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά τα πρότυπα εκπομπής (European emission standards) και οι αντίστοιχες οδηγίες (directives) που έχουν τεθεί σε ισχύ, αλλά και αυτά που πρόκειται να τεθούν **(1)**:

- Euro 1 (1993):
- For passenger cars - 91/441/EEC.
- Also for passenger cars and light trucks - 93/59/EEC.

- Euro 2 (1996) for passenger cars - 94/12/EC (& 96/69/EC)
- Euro 3 (2000) for any vehicle - 98/69/EC
- Euro 4 (2005) for any vehicle - 98/69/EC (& 2002/80/EC)
- Euro 5 (2008/2009) and Euro 6 (2014) for light passenger and commercial vehicles - 2007/715/EC

Από αυτές τις οδηγίες εξαιρούνται τα πλοία αλλά μπορούμε να πούμε ότι αποτελούν τον προπομπό ώστε να θεσπιστούν στο άμεσο μέλλον οδηγίες και για αυτά. Μέσω των οδηγιών αυτών διαφαίνεται η τάση που έχει η Ευρωπαϊκή Ένωση όσον αφορά τις εκπομπές αερίων από τα μέσα μεταφοράς. Η τάση αυτή δεν είναι άλλη από τη θέσπιση όλο και πιο αυστηρών μέτρων που αφορούν τις εκπομπές από τα οδικά μέσα μεταφοράς, τάση που μας κάνει να συλλογιστούμε ότι σύντομα θα θεσπιστούν οδηγίες και για τη μείωση εκπομπών από τα πλοία.

4.3.2 Οδηγίες και στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές πλοίων

Όσον αφορά τα πλοία υπάρχουν διάφορα κοινοτικές οδηγίες (Community measures) και προγράμματα που απαιτούν από την Ευρωπαϊκή Ένωση να λάβει μέτρα σχετικά με τις εκπομπές σκαφών. Αυτά είναι :

- η οδηγία 2001/81/EC δεσμεύει την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Commission) για να υποβάλει έκθεση σχετικά με το βαθμό στον οποίο οι εκπομπές από τις θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν στον σχηματισμό του όζοντος.
- η οδηγία το 1999/32/EC που αναφέρεται στη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων θέτει τα όρια θείου για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τις μηχανές των πλοίων που κινούνται στα χωρικά ύδατα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- η οδηγία 94/63/EC που αναφέρεται στον έλεγχο των πτητικών οργανικών ενώσεων (ΠΟΕ) στους λιμένες που γίνεται η φόρτωση και η εκφόρτωση των σκαφών.
- ο κανονισμός (EC) με αριθμό 2037/2000 στον οποίο γίνεται αναφορά σχετικά με τις ουσίες που μειώνουν το στρώμα όζοντος.
- το πρόγραμμα καθαρός αέρας για την Ευρώπη (The clean air for Europe, CAFE) αντιμετωπίζει όλες τις πηγές ατμοσφαιρικών εκπομπών.
- το έκτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον (sixth Environment Action Programme) του οποίου ένας από τους στόχους είναι να επιτευχθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ποιότητας που δεν έχουν τα απαράδεκτα αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, και να σταθεροποιηθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου προκειμένου να αποτραπούν οι αφύσικες αλλαγές του κλίματος.

Οι στόχοι της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι **(2)**:

- να μειώσει τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου (SO₂) των σκαφών.
- να μειώσει τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) των σκαφών που έχουν επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.
- να μειώσει τις εκπομπές των σκαφών των αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matters).
- να μειώσει τις εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).
- να μειώσει τις εκπομπές των διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) των σκαφών.
- να περιορίσει τις εκπομπές του όζοντος από όλα τα σκάφη που κινούνται στα ύδατα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η επικοινωνία που υπάρχει μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει συντελέσει στο να επιτευχθούν κοινές κινήσεις δράσης για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι. Οι κοινές αυτές κινήσεις δράσης περιλαμβάνουν **(3)** :

- συντονισμό των θέσεων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) που πιέζει για όλο και πιο αυστηρά μέτρα για να μειωθούν οι εκπομπές από τα σκάφη.
- έγκριση της πρότασης οδηγίας 2005/33/EC που τροποποιεί την οδηγία 1999/32/EC για να περιορίσει την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων πλοίων.
- σύσταση (2006/339/EC) σχετικά με την ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά. Συνιστά στα κράτη μέλη να εξετάσουν τη δυνατότητα δημιουργίας εγκαταστάσεων για την ηλεκτροδότηση ελλειμενισμένων πλοίων από την ξηρά, ιδιαίτερα σε λιμάνια όπου σημειώνονται υπερβάσεις των οριακών τιμών για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ζητεί επίσης από τα κράτη μέλη να εξετάσουν τη δυνατότητα παροχής οικονομικών κινήτρων για την προώθηση αυτών των εγκαταστάσεων και να λάβουν μέτρα προς την κατεύθυνση της εναρμόνισης των εγκαταστάσεων ηλεκτροδότησης από την ξηρά.

4.3.3 Οδηγία 2005/33/EC

Η οδηγία 2005/33/EC, αποτελεί όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω μέρος μιας στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία. Η οδηγία επεκτείνει το πεδίο της οδηγίας 1999/32/EK για να περιλάβει όλα τα υγρά καύσιμα που παράγονται από το πετρέλαιο και που χρησιμοποιούνται με τα σκάφη που κινούνται στα χωρικά ύδατα των κρατών μελών. Επιτρέπει **(4)** :

- περιοριστικός σε 1,5% κατά μάζα, από τις 11 Αυγούστου 2006, την περιεκτικότητα σε θείο των θαλασσιών καυσίμων που χρησιμοποιούνται με τα

σκάφη στη θάλασσα της Βαλτικής, και από τις 11 Αυγούστου 2007 για τα σκάφη στη Βόρεια Θάλασσα και το αγγλικό κανάλι, προκειμένου να μειωθεί ο οξυνισμός και να βελτιωθεί η ατμοσφαιρική ποιότητα.

- περιοριστικός σε 1,5% κατά μάζα, από τις 11 Αυγούστου 2006, την περιεκτικότητα σε θείο των θαλασσιών καυσίμων που χρησιμοποιούνται με τα επιβατικά σκάφη στις κανονικές υπηρεσίες σε ή από οποιοδήποτε λιμένα στην Ένωση προκειμένου να βελτιωθεί η ατμοσφαιρική ποιότητα και να δημιουργηθεί η ικανοποιητική απαίτηση για να εξασφαλίσει έναν πανκοινοτικό ανεφοδιασμό των χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καυσίμων.
- περιοριστικός σε 0,1% κατά μάζα, από την 1η Ιανουαρίου 2010, την περιεκτικότητα σε θείο των θαλασσιών καυσίμων που χρησιμοποιούνται με τα σκάφη στις πλωτές οδούς και στο αγκυροβόλιο προκειμένου να βελτιωθεί η ατμοσφαιρική ποιότητα γύρω από τους λιμένες και τις πλωτές οδούς.
- κατά την παρέκκλιση στα προαναφερθέντα όρια για το πετρέλαιο καυσίμων, που επιτρέπει στα σκάφη για να χρησιμοποιήσει μια εγκεκριμένη τεχνολογία μείωσης εκπομπής, υπό τον όρο ότι αυτά τα σκάφη επιτυγχάνουν συνεχώς τις μειώσεις εκπομπής που είναι τουλάχιστον ισοδύναμες και ότι λεπτομερώς τεκμηριώνουν ότι οποιαδήποτε ρεύματα αποβλήτων που απαλλάσσονται στους εσωκλειόμενους λιμένες και τις εκβολές δεν ασκούν καμία επίδραση στα οικοσυστήματα.
- περιοριστικός σε 1,5% κατά μάζα την περιεκτικότητα σε θείο των θαλασσιών πετρελαίων diesel που πωλούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- περιοριστικός σε 0,1% κατά μάζα την περιεκτικότητα σε θείο των θαλασσιών πετρελαίων αερίου που πωλούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- άμεση απαίτηση των διαδικασιών ανεφοδιασμού σε καύσιμα για να καταγραφεί στο ημερολόγιο πριν από τα σκάφη μπορεί να χορηγηθεί την πρόσβαση στους λιμένες στην Κοινότητα.

Η οδηγία προβλέπει επίσης την επαλήθευση της περιεκτικότητας σε θείο των θαλασσιών καυσίμων από τη δειγματοληψία και την ανάλυση. Κάθε έτος, τα κράτη μέλη πρέπει να στείλουν στην Επιτροπή μια έκθεση σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που καλύπτονται από αυτήν την πρόταση και που χρησιμοποιούνται στο έδαφός τους. Μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2010, η Επιτροπή πρέπει να στείλει στο Κοινοβούλιο και στο Συμβούλιο μια έκθεση σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας, μαζί με οποιοσδήποτε προτάσεις για την περαιτέρω βελτίωσή της.

4.3.4 Ελληνική νομοθεσία για τις εκπομπές πλοίων

Στην Ελλάδα όπως έχει αναφερθεί στην αρχή του Κεφαλαίου είναι σε ισχύ το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78. Συγκεκριμένα στο ΦΕΚ 28 Α' /10-02-2003

δημοσιεύθηκε ο Ν. 3104/2003, με τον οποίο η χώρα μας επικύρωσε το Πρωτόκολλο του 1997, που τροποποιεί τη Διεθνή Σύμβαση για την πρόληψη ρύπανσης από πλοία του 1973, όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του 1978 που σχετίζεται με αυτή (Δ.Σ. MARPOL 73/78). Με τις διατάξεις του εν λόγω Πρωτοκόλλου, προστίθεται Παράρτημα VI στη Διεθνή Σύμβαση, μετά το υπάρχον Παράρτημα V, που τιτλοφορείται 'Κανονισμοί για την Πρόληψη Ρύπανσης του Αέρα από Πλοία'. Το ως άνω Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78, όπως έχει ειπωθεί έχει τεθεί σε ισχύ την 19^η Μαΐου 2005. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι αρμόδιες αρχές για τον έλεγχο εφαρμογής των διατάξεων του Ν. 3104/2003 είναι στην Ελλάδα το ΥΕΝ/ΚΕΕΠ (Κέντρο Επιθεώρησης Εμπορικών Πλοίων) και οι Λιμενικές Αρχές. Στους παραβάτες των διατάξεων του Νόμου 3104/03 επιβάλλονται οι κυρώσεις του άρθρου 9 του Ν. 1269/1982 (ΦΕΚ 89 Α) 'Για την κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης «περί πρόληψης της ρυπάνσεως της θαλάσσης από πλοία» του 1973 και του Πρωτοκόλλου του 1978, που αναφέρεται σε αυτή τη Σύμβαση'.

Τέλος η Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλει να εναρμονίζεται με τις οδηγίες, κανονισμούς και προγράμματα της που έχουν ως στόχο την καλύτερευση της ποιότητας της ατμόσφαιρας λόγω των μέσων μεταφοράς συμπεριλαμβανομένων και των πλοίων ενώ έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα της MARPOL 73/78. Στα πλαίσια λοιπόν της σύμπλευσης της Ελλάδας με την Ευρωπαϊκή Ένωση οφείλει να εφαρμόζει την οδηγία 2005/33/ΕΚ που αφορά την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο.

4.4 Τεχνολογίες που μειώνουν τις εκπομπές αερίων από τα πλοία

Η προώθηση της ασφάλειας στις θαλάσσιες μεταφορές και η συντήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι τα τελευταία χρόνια δύο σημαντικές ανησυχίες για την παγκόσμια θαλάσσια κοινότητα. Εντούτοις πολύ συχνά χρησιμοποιούνται καύσιμα που έχουν υψηλό περιεχόμενο σε θείο και σε άνθρακα με αποτέλεσμα η καύση τους να έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αιωρούμενων-μοριακών σωματιδίων (particulate matter), οξειδίων του θείου (SO_x) καθώς και οξειδίων του αζώτου (NO_x). Η απελευθέρωση των εκπομπών αυτών από τις diesel μηχανές των πλοίων έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά βάζει και σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων.

4.4.1 Καταλυτικό μοριακό φίλτρο (katalyzed particular filter)

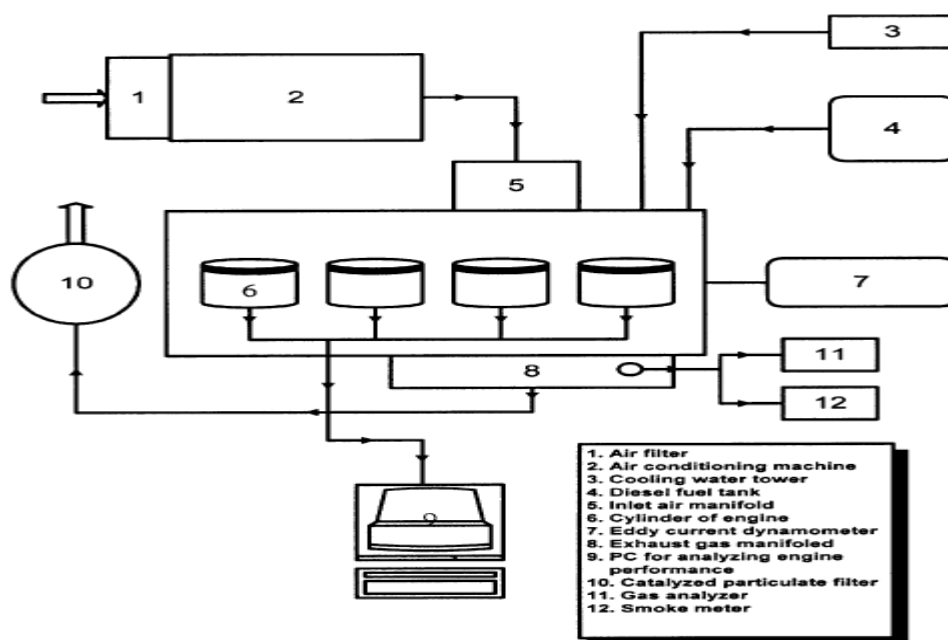
Το μοριακό σωματίδιο (particulate matter) είναι ένα από τα σημαντικότερα είδη εκπομπής από τις diesel μηχανές των πλοίων. Η εισπνοή του μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα αλλά ακόμα και καρκίνο του πνεύμονα (5). Η χρήση ενός καταλυτικού φίλτρου που θα έχει ως σκοπό την επεξεργασία των αερίων προτού εκπέμψουν από τα πλοία θα συμβάλει αρκετά στη μείωση των ρύπων από τις

μηχανές των πλοίων. Για την αξιολόγηση του φίλτρου αυτού έγιναν κάποια πειράματα πάνω σε διάφορες μηχανές diesel. Ενδεικτικά αναφέρουμε το πείραμα που έγινε σε μια μηχανή diesel (model UMBD1, Isuzu, Japan) (6). Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά μηχανής diesel (model UMBD1, Isuzu, Japan)

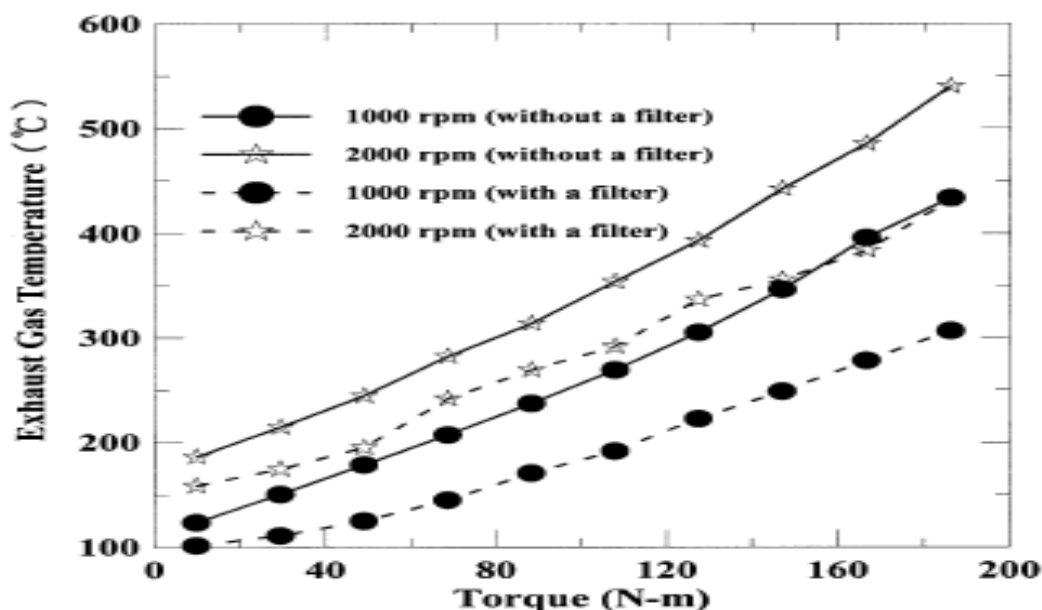
Item	Specification
Displacement volume (cc)	3856
Maximum horsepower (PS/rpm)	88/2800
Minimum idle speed (rpm)	550
Injection angle (° BTDC)	13
Type	Four-stroke, L-4 marine, water-cooled, direct-injection
Cylinder bore×stroke (mm)	4-102×118
Compression ratio	17.01
Air admitting	Naturally aspirated

Ένα μοριακό φίλτρο diesel (πρότυπο DPX, Engelhard, ΗΠΑ) εγκαταστάθηκε στον σωλήνα εκπομπής (tail pipe) της μηχανής. Στο Σχήμα 4 φαίνεται παραστατικά η διάταξη της μηχανής με το φίλτρο αυτό.



Σχήμα 4
 Διάταξη μηχανής diesel με προσθήκη φίλτρου

Με την προσθήκη του φίλτρου ερευνήθηκε η απόδοση και η εκπομπή αερίων της μηχανής σε διάφορες ταχύτητες και ροπές της. Η θερμοκρασία των εκπεμπόμενων αερίων ελαττώθηκε γραμμικά με την φόρτιση της μηχανής όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



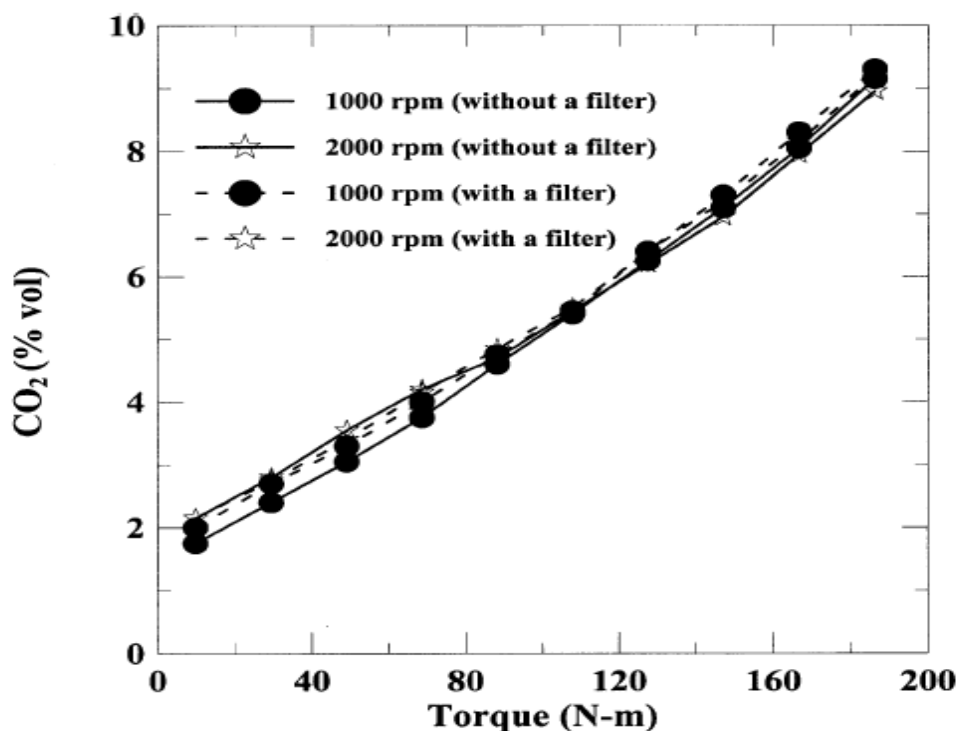
Σχήμα 5

Γραφικά αποτελέσματα του εγκατεστημένου φίλτρου στη μηχανή για τη θερμοκρασία των εκπεμπόμενων αερίων σε διάφορες φορτίσεις

Επιπλέον τα αποτελέσματα της εγκατάστασης ενός καταλυτικού μοριακού φίλτρου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) για διάφορες φορτίσεις και στροφές της μηχανής φαίνονται στο Σχήμα 6. Διαπιστώθηκε ότι η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) αυξήθηκε γραμμικά με το αυξανόμενο φορτίο μηχανών. Δηλαδή αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας του πλοίου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ένα υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης καυσίμων απαιτήθηκε για μεγαλύτερη φόρτιση της μηχανής αυξάνοντας έτσι την αναλογία καυσίμου-αέρα στο θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα.

Όσον αφορά την σύνθεση του NO_x που εκπέμπεται από ένα σύστημα καύσης, μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Στο Σχήμα 7 παρατηρούμε ότι αυξάνοντας τη φόρτιση της μηχανής έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση των εκπομπών NO_x . Η αύξηση στη φόρτιση της μηχανής απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων. Αυτό οδηγεί σε μια υψηλότερη θερμοκρασία του αερίου μέσα στο θάλαμο καύσης και επομένως μεγαλύτερη παραγωγή NO_x . Η παρουσία καταλυτικού φίλτρου στη μηχανή δείχνει ότι διευκολύνει περισσότερο την παραγωγή NO_x σε χαμηλότερες φορτίσεις της μηχανής, δηλαδή μέχρι περίπου τα 120 Nm οι εκπομπές NO_x είναι μεγαλύτερες με

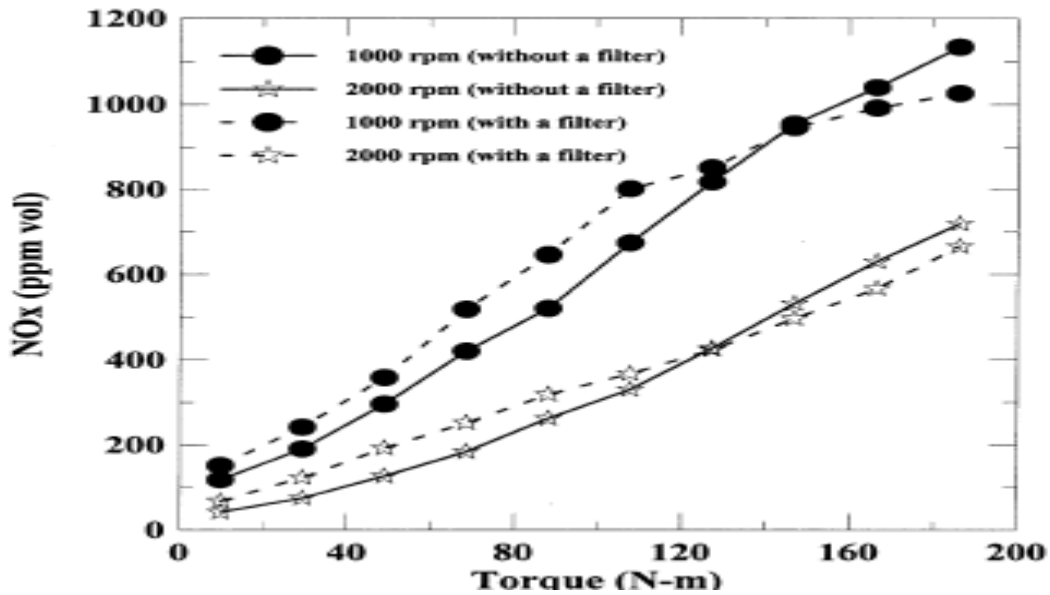
την παρουσία του φίλτρου. Αντίθετα σε υψηλές φορτίσεις (άνω των 120 Nm) της μηχανής βλέπουμε ότι με την παρουσία του φίλτρου οι εκπομπές NO_x είναι χαμηλότερες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υψηλή θερμοκρασία που απαιτείται μέσα στο θάλαμο καύσης για την παραγωγή οξειδίων του αζώτου, ελαττώθηκε με την αύξηση της φόρτισης της μηχανής. Στο Σχήμα 7 φαίνονται τα συμπεράσματα αυτά.



Σχήμα 6

Γραφικά αποτελέσματα του εγκατεστημένου φίλτρου στη μηχανή στην εκπομπή CO₂ σε διάφορες φορτίσεις

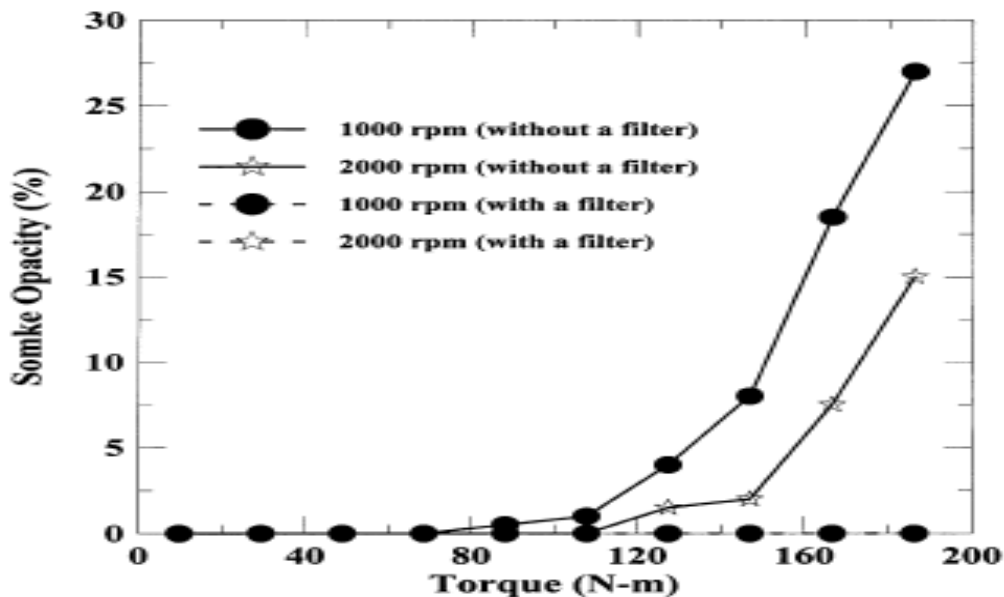
Τέλος όσον αφορά τα αιωρούμενα-μοριακά σωματίδια που αποτελούνται κυρίως από αιθάλη η οποία καλύπτεται από οργανικές ενώσεις, μπορούμε να πούμε ότι η ελλιπής καύση των καυσίμων είναι η κύρια πηγή εμφάνισής τους. Ένας μετρητής καπνού που έχει τοποθετηθεί στη διάταξη όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 είναι ένα από τα πιο αξιόπιστα όργανα για να μετρηθεί η ποσότητα των μοριακών σωματιδίων που θα εκπεμφθεί στην ατμόσφαιρα. Παρατηρούμε ότι η αδιαφάνεια (θαμπάδα) του καπνού αυξάνεται αισθητά καθώς η ροπή της μηχανής αυξάνεται πάνω από 110 Nm. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ποσό κατανάλωσης καυσίμων αυξήθηκε με την αύξηση της φόρτισης της μηχανής. Βέβαια με τη χρήση του καταλυτικού φίλτρου όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 8 ο καπνός γίνεται σχεδόν διαφανής.



Σχήμα 7

Γραφικά αποτελέσματα του εγκατεστημένου φίλτρου στη μηχανή στην εκπομπή NO_x σε διάφορες φορτίσεις

Στο Σχήμα 8 βλέπουμε και τη μεγάλη σημασία της χρήσης του καταλυτικού φίλτρου. Το φίλτρο κατάφερε να συγκρατήσει όλα τα στερεά κατάλοιπα των αιωρούμενων-μοριακών σωματιδίων με αποτέλεσμα να μην έχουμε σχεδόν καθόλου μαύρη εκπομπή καπνού ακόμα και σε μεγάλες φορτίσεις της μηχανής.



Σχήμα 8

Γραφικά αποτελέσματα του εγκατεστημένου φίλτρου στη μηχανή στο ποσοστό αδιαφάνειας του καπνού σε διάφορες φορτίσεις

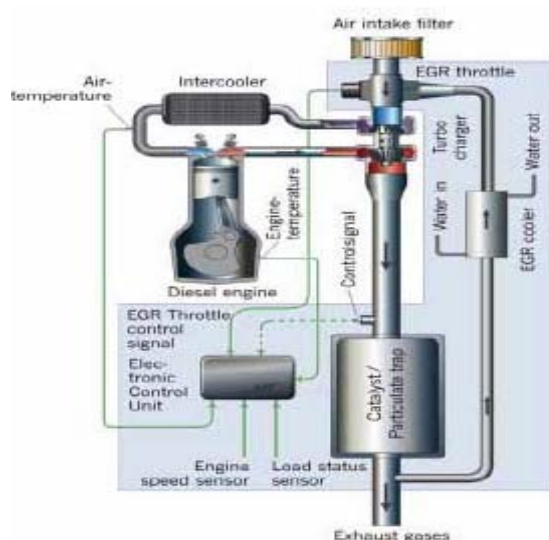
4.4.2 Τεχνολογίες μείωσης NOx (7)

Είναι γνωστό ότι το οξυγόνο το οποίο είναι αρκετό στο θάλαμο καύσης σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες καύσης οδηγεί στον σχηματισμό των οξειδίων αζώτου (NOx) κατά τη διαδικασία καύσης. Στη συνέχεια γίνεται μια περιγραφή των τεχνολογιών που αναπτύσσονται ώστε να μειωθούν οι εκπομπές NOx από τις μηχανές diesel.

4.4.2.1 Επανακυκλοφορία αερίου εξάτμισης (Exhaust Gas Recirculation)

Όπως υπονοείται και από το όνομα σύμφωνα με αυτήν την τεχνολογία έχουμε μια αναδιανομή ενός ποσοστού καυσαερίων που βγαίνουν από τη μηχανή πίσω στην είσοδο του συμπιεστή (charger inlet). Στα πιο πολλά από αυτά τα συστήματα ο ψύκτης (intercooler) μειώνει τη θερμοκρασία των διανεμημένων εκ νέου αερίων. Τα αέρια αυτά τα οποία έχουν ψυχθεί, έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο σε σχέση με τον αέρα, χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης στη μηχανή. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα ο σχηματισμός NOx να εμποδίζεται. Τα συστήματα αυτά είναι σε θέση να μειώνουν γύρω στο 40% τις εκπομπές NOx. Να αναφέρουμε ότι υπάρχουν δύο τεχνολογικά συστήματα επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης. Αυτά είναι τα παρακάτω :

- Υψηλής πίεσης επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα, το αέριο εξάτμισης λαμβάνεται πριν από το στροβιλοσυμπιεστή και επαναπροσανατολίζεται πίσω στον αέρα εισαγωγής.
- Χαμηλής πίεσης επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης.



Σχήμα 10

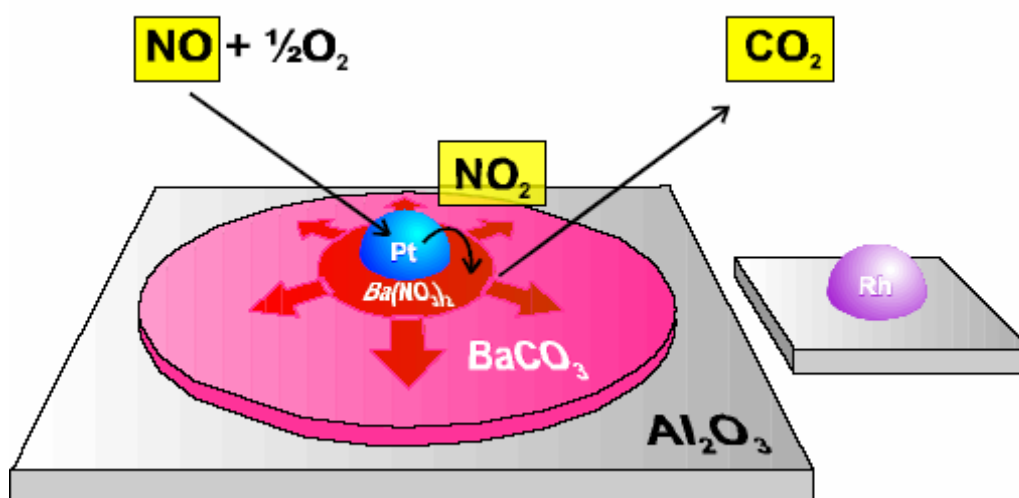
Σχηματική διάταξη συστήματος Χαμηλής πίεσης επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης

Στο Σχήμα 10 φαίνεται η διάταξη ενός τέτοιου συστήματος. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα συλλέγονται τα καυσαέρια μετά από τον στροβιλοσυμπιεστή (turbocharger) και αφού εισαχθούν σε ένα μοριακό φίλτρο diesel επιστρέφονται στο ψυγείο (intercooler). Τα μοριακά φίλτρα diesel χρησιμοποιούνται πάντα με ένα χαμηλής πίεσεως επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης σύστημα για να εξασφαλίσουν ότι οι μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων δεν διανέμονται εκ νέου στη μηχανή που θα είχε αρνητικές επιδράσεις στη μηχανή και στον στροβιλοσυμπιεστή.

4.4.2.2 Καταλύτες απορρόφησης NOx

Οι καταλύτες αυτοί παρέχουν μια άλλη μέθοδο κατάλυσης για τη μείωση των εκπομπών NOx. Ο μηχανισμός κατάλυσης περιλαμβάνει :

1. Καταλυτική οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου (NO) σε διοξείδιο του αζώτου NO₂ πάνω σε έναν καταλύτη κατασκευασμένο από ακριβή μέταλλα (precious metal catalyst). Λέγοντας ακριβή μέταλλα εννοούμε τον λευκόχρυσο (Pt). Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 11.



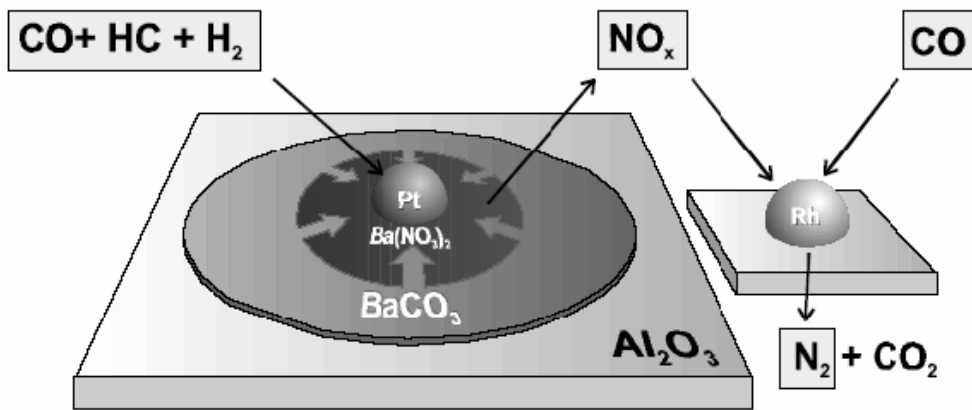
Σχήμα 11

Σχηματική απεικόνιση της οξείδωσης του NO

2. Αποθήκευση του διοξειδίου του αζώτου (NO₂) σε μια παρακείμενη περιοχή αλκαλιών οξειδίων ως νιτρικό άλας.

3. Το αποθηκευμένο NOx στη συνέχεια απομακρύνεται. Η απομάκρυνση αυτή συνοδεύεται από μείωση αζώτου μέσα από μια τριπλή αντίδραση καταλυτών.

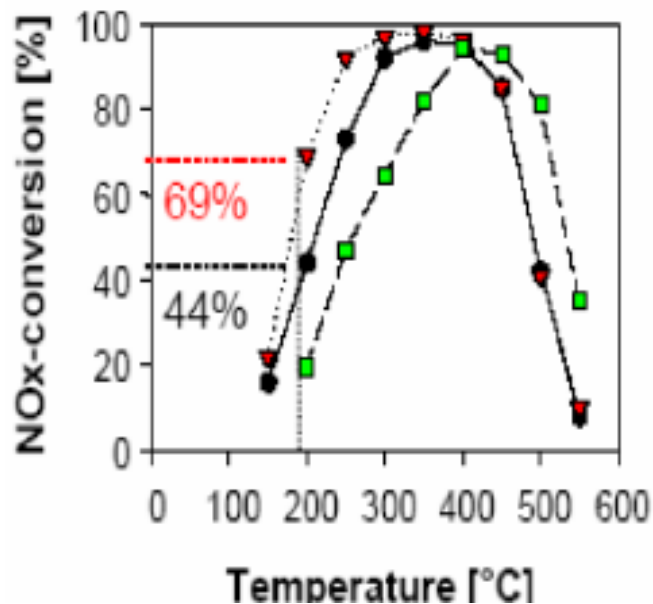
Τα βήματα 2 και 3 παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12

Σχηματική απεικόνιση της αποθήκευσης και απομάκρυνσης του NO_x

Οι καταλύτες απορρόφησης NO_x αναπτύσσονται και βελτιώνονται συνέχεια για τις μηχανές diesel. Τα συστήματα αυτά έχουν επιδείξει την ικανότητα μετατροπής των εκπομπών NO_x σε άζωτο που κυμαίνεται από 50% μέχρι 90% ανάλογα βέβαια με τη θερμοκρασία που λειτουργούν. Στο Σχήμα 13 φαίνεται το ποσοστό μετατροπής NO_x σε σύγκριση με τη θερμοκρασία.

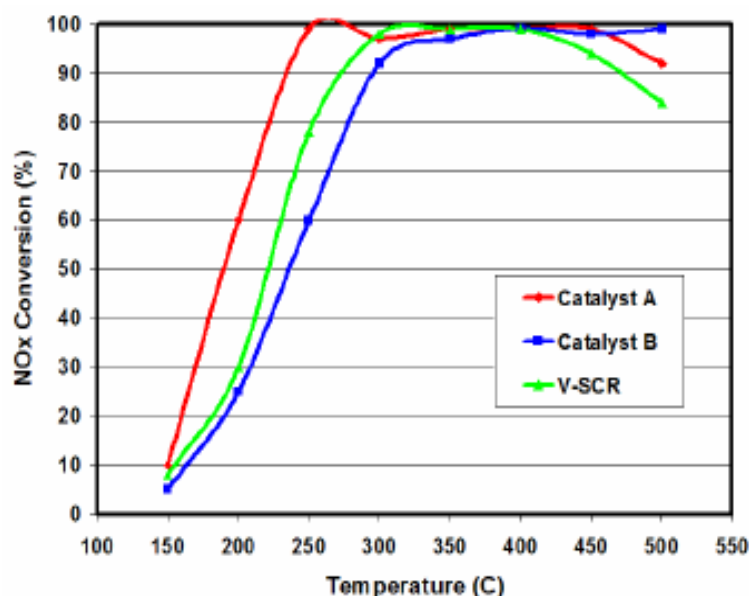


Σχήμα 13

Διάγραμμα ποσοστού μετατροπής NO_x συναρτήσει της θερμοκρασίας

4.4.2.3 Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction, SCR)

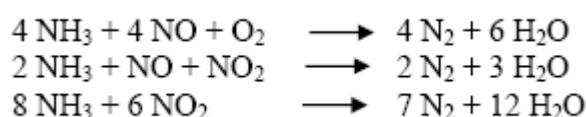
Η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) χρησιμοποιείται για πάνω από είκοσι έτη για να ελέγξει τις εκπομπές NOx από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Προσφάτως έχει εφαρμοστεί σε αυτοκίνητα, φορτηγά αλλά και πλοία. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι αυτοί οι καταλύτες είναι κράμα βανναδίου-τιτανίου καθώς και κράμα μετάλλου που περιέχει ζεολίτη. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο ζεολίτης είναι ένα πορώδες ορυκτό με τεράστια ιοντοανταλλακτική ικανότητα και λόγω αυτής, μπορεί να φιλτράρει το νερό δεσμεύοντας μέταλλα και οργανικές ενώσεις. Γι αυτό ακριβώς τον λόγο οι καταλύτες είναι κατασκευασμένοι από κράμα μετάλλου που περιέχει ζεολίτη αφού μπορεί να χρησιμοποιείται στα φίλτρα του καταλύτη για την δέσμευση των οξειδίων του αζώτου (NOx). Οι καταλύτες που είναι κατασκευασμένοι από κράμα βανναδίου-τιτανίου είναι πιο αποτελεσματικοί σε θερμοκρασίες κάτω των 500 °C ενώ οι καταλύτες από κράμα μετάλλου που περιέχει ζεολίτη είναι πιο αποτελεσματικοί σε θερμοκρασία της τάξης των 500 °C.



Σχήμα 14

Διάγραμμα σύγκρισης μετατροπής NOx συναρτήσει της θερμοκρασίας για τρεις διαφορετικούς καταλύτες

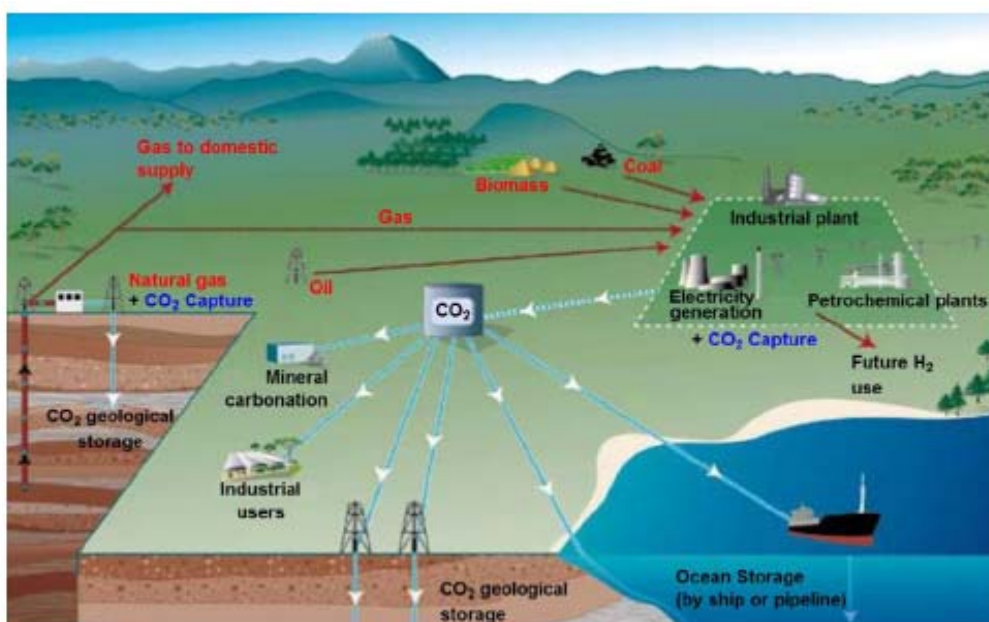
Κατά τη μέθοδο αυτή τα καυσαέρια αναμιγνύονται με αμμωνία (NH₃) και θερμαίνονται οπότε τα οξείδια του αζώτου NOx μετατρέπονται σε άζωτο (N₂) και νερό (H₂O) κατά τις αντιδράσεις :



Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η μετατροπή των NOx για τρεις διαφορετικούς καταλύτες SCR. Ο καταλύτης Α είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα χαλκού-ζεολίτη, ο καταλύτης Β είναι κατασκευασμένος από ένα κράμα σιδήρου-ζεολίτη και ο καταλύτης Γ είναι κατασκευασμένος από βανάδιο. Όπως παρατηρούμε ο καταλύτης Γ παρουσιάζει μεγαλύτερη μετατροπή NOx σε σύγκριση με τον καταλύτη Β σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Βέβαια είναι απαραίτητο να τονίσουμε ότι σε θερμοκρασίες πάνω από 400 °C η απόδοση του μειώνεται, ενώ η απόδοση του καταλύτη Β μεγιστοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 450 °C και 500 °C. Το σημαντικότερο λοιπόν συμπέρασμα που εξάγεται από το παραπάνω σχήμα είναι ότι οι καταλύτες των οποίων η σύσταση περιέχει ζεολίτη παρουσιάζουν μεγαλύτερη μετατροπή NOx σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

4.4.3 Μέθοδος σύλληψης και αποθήκευσης CO₂ (CO₂ capture and storage, CCS) (8)

Η σύλληψη και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) είναι μια τεχνολογία όπου υπάρχει η δυνατότητα να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου (GHG) χωρίς να απαγορευτεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων. Με τη μέθοδο CCS το CO₂ που προκύπτει από την καύση των ορυκτών καυσίμων συλλαμβάνεται, μεταφέρεται, και τελικά αποθηκεύεται ακίνδυνα σε έναν υπόγειο γεωλογικό σχηματισμό (geological formation) που μπορεί να είναι είτε εσωτερικά της γης είτε μέσα στη θάλασσα. Οι διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη τεχνολογία CGS παρουσιάζονται στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15

Σχηματική παράσταση σύλληψης, μεταφοράς και αποθήκευσης του CO₂

Στο παραπάνω Σχήμα βλέπουμε τη χρήση CO₂ που κάνουν τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται και αποθηκεύεται είτε μέσα στη γη είτε με τη χρήση πλοίου στον ωκεανό. Τα εργοστάσια λοιπόν παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιώντας τεχνολογία που βασίζεται στη χρήση οξειδίου του ασβεστίου έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τη τεχνολογία CCS. Σύμφωνα με αυτήν την τεχνολογία η σύλληψη του διοξειδίου του άνθρακα στηρίζεται στον κύκλο καθαρισμού εν θερμώ του άλατος του ανθρακικού οξέος (carbonation-calcination cycle) όπου το CO₂ αφαιρείται από το φουγάρο (flue gas) μέσω μιας χημικής αντίδρασης με το οξείδιο ασβεστίου (CaO). Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν παράγεται ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃). Το ανθρακικό ασβέστιο στη συνέχεια θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα να λάβει χώρα αντίδραση η οποία έχει ως αποτέλεσμα να διασπαστεί σε CaO και CO₂. Το παραγόμενο CO₂ μπορεί να αποθηκευτεί. Η τεχνολογία CCS έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι μπορεί να συλλάβει και το SO₂ ρύπος που όπως έχει αναφερθεί είναι υπεύθυνος για την όξινη βροχή. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι :

- οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας δεν χρειάζεται να κάνουν τροποποιήσεις στον εξοπλισμό τους για να προσαρμόσουν τη τεχνολογία CCS.
- η λειτουργία εγκαταστάσεων δεν επηρεάζεται.
- καθώς οι εκπομπές SO_x αφαιρούνται, δεν υπάρχει η ανάγκη για μια χωριστή μονάδα σύλληψης και αποθήκευσης SO_x.
- οι χημικές αντιδράσεις αποδεσμεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας και η θερμότητα αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τον ατμό ο οποίος θα συντελέσει να παράγουν οι στρόβιλοι πρόσθετη ισχύ.

Πίνακας 2: Εκπομπές CO₂ από διάφορες πηγές και σύλληψη του για τα επόμενα 40 χρόνια

Table 4 – Predicted CO ₂ emission and CO ₂ capture globally. All data are given in million tonnes CO ₂						
Type of data	Sector	2010	2020	2030	2040	2050
CO ₂ emission	Power production	12,014	13,045	10,999	7,786	4,573
	Industry	5,399	5,715	5,277	4,385	3,493
	Transportation	7,080	8,211	8,237	6,733	5,228
	Other sources	4,589	4,894	5,072	5,072	5,072
	Total	29,083	31,864	29,586	23,976	18,367
CO ₂ capture	Power production	0	340	2,750	5,963	9,176
	Industry	0	66	699	1,591	2,483
	Transportation	0	148	1,046	2,550	4,055
	Other sources	0	0	0	0	0
	Total	0	554	4,494	10,104	15,713
Accumulated CO ₂ capture (all sectors)		0	1,672	28,468	104,262	236,151
All data are given in million tonnes CO ₂ .						

Σύμφωνα με την εκτίμηση της Ομάδας Διεθνούς Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) που έγινε το 2006 υπολογίζεται ότι η μέθοδος CCS μπορεί να συμβάλει στην παγκόσμια μείωση εκπομπής του CO₂ ίση με 7,5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως μέχρι το 2050. Το ποσό αυτό βέβαια είναι πολύ λιγότερο σε σύγκριση με τη μελέτη που έγινε (9) και της οποίας τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2. Η ουσία πάντως είναι ότι η τεχνολογία αυτή είναι καινούργια και δεν έχει άμεσα εφαρμοστεί σε βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας. Στο άμεσο μέλλον βέβαια δεν αποκλείεται να τη δούμε να τίθεται σε εφαρμογή σε αυτές τις βιομηχανίες αφού το Ευρωπαϊκό συμβούλιο (European Council) έχει στα πλάνα του να εγκαταστήσει δέκα με δώδεκα τεχνολογίες CCS μέχρι το 2015. Βέβαια αν η χρήση αυτής της τεχνολογίας συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από 0.781 CO₂ kg/kWh σε 0.122 kg/kWh όπως προκύπτει από τη μελέτη αυτή τότε ίσως τη δούμε να εφαρμόζεται και στα μέσα μεταφοράς συμπεριλαμβανομένου και τα πλοία. Το αρνητικό όμως της τεχνολογίας αυτής όσον αφορά τη χρήση της στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας είναι ότι παρά τη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, έχουμε μια αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από 37.9 Euros/MWh σε 48.3 Euros/MWh. Αυτό βέβαια είναι όπως είπαμε συμπέρασμα στο στάδιο της μελέτης και δεν αποκλείεται στο εγγύς μέλλον η αύξηση αυτή να μειωθεί. Οι παράγοντες ωστόσο που θα καθορίσουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου CCS είναι (10) :

- Η ενεργειακή ποινή που απαιτείται για τη σύλληψη και την αποθήκευση CO₂. Είναι η επιπλέον ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της σύλληψης και αποθήκευσης.
- Το ποσοστό CO₂ που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο CCS.
- Το συνολικό ποσοστό των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ που μπορεί να αποθηκευτούν.
- Το χρόνο παρακράτησης του CO₂ στους θύλακες φύλαξης.

4.4.4 Δείκτης CO₂

Τρόποι περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία αποτέλεσαν το αντικείμενο συζητήσεων της συνεδρίασης ειδικής Ομάδας Εργασίας του IMO (Greenhouse Gas Working Group) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ 23 και 27 Ιουνίου στο Όσλο καθώς και τον Οκτώβριο 2008. Στην παράγραφο 4.1 έχει γίνει αναφορά για τις εκτιμήσεις της ομάδας αυτής όσον αφορά τις μελλοντικές εκπομπές CO₂ από τα πλοία. Το έργο της Ομάδας εντάσσεται στην προσπάθεια που καταβάλλεται να καταρτισθούν κανονισμοί για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία μέχρι το τέλος του 2009.

Η ανάπτυξη δεικτών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και συγκεκριμένα του Design CO₂ Index για πλοία που πρόκειται να κατασκευαστούν και του Operational

CO₂ Index για υπάρχοντα πλοία απασχόλησαν την Ομάδα Εργασίας του IMO (Greenhouse Gas Working Group). Ο πρώτος δείκτης θα αποτελεί ένα ελάχιστο πρότυπο ενεργειακής επίδοσης ανά τύπο και μέγεθος πλοίου εστιάζοντας στη σχεδίαση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Θα επιτρέπει την αξιολόγηση της επίδοσης ενός πλοίου από τη φάση της αρχικής σχεδίασης χωρίς να αποκλείει τυχόν δοκιμές στη θάλασσα μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του. Έχει προταθεί να εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά ποσότητα μεταφορικού φορτίου (ton x km για φορτηγά, m³ x km για πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων και σε km στην περίπτωση των επιβατηγών και επιβατηγών – οχηματαγωγών πλοίων) και να υπολογίζεται με βάση την εγκατεστημένη ισχύ, την ειδική κατανάλωση καυσίμων των μηχανών, την ταχύτητα στις συνθήκες σχεδιασμού και το νεκρό βάρος ή τη χωρητικότητα των δεξαμενών φορτίου (11). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι τα πρώτα πλοία που χρησιμοποιούν δείκτες διοξειδίου του άνθρακα είναι πέντε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containerships) της Costamare. Τα πλοία αυτά άρχισαν να χρησιμοποιούν τον δείκτη αυτόν από το φθινόπωρο 2008. Ο δείκτης αυτός είναι ο Operational CO₂ Index ο οποίος όπως ειπώθηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπάρχοντα πλοία. Υπολογίζεται με βάση την ποσότητα του καταναλωμένου καυσίμου και τον όγκο του μεταφερόμενου φορτίου και εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά ποσότητα μεταφορικού φορτίου. Οι υπολογισμένες τιμές του δείκτη μπορούν να συγκρίνονται με τις τιμές άλλων πλοίων και να χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών που προκαλούνται από τη μεταφορά. Τα πλοία με καλό (χαμηλό) δείκτη θα χρησιμοποιούνται εκτενέστερα, θα μεταφέρουν περισσότερο φορτίο και θα βελτιώνουν ακόμα περισσότερο το δείκτη τους (12).

4.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

4.5.1 Εισαγωγή

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγονται από βιομάζα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ισχύος και θερμότητας αλλά και ως καύσιμα μεταφοράς σε ανάμιξη ή μη με άλλα παράγωγα του πετρελαίου. Είναι υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται κυρίως από την αξιοποίηση της βιομάζας, το βιοαποικοδομήσιμο, δηλαδή, κλάσμα φυτικών ή ζωικών υπολειμμάτων, δημοτικών ή βιομηχανικών αποβλήτων ή εξειδικευμένων γεωργικών καλλιεργειών (ελαιοκράμβη, καλαμπόκι, σιτηρά, κ.α.). Η σημασία και η συμβολή τους στη βιώσιμη ανάπτυξη, στην εξοικονόμηση ορυκτών πόρων, στην ενεργειακή ασφάλεια έναντι των εισαγωγών συμβατικών καυσίμων ή αργού πετρελαίου προς διύλιση, στην τόνωση της απασχόλησης ιδιαίτερα στις γεωργικές περιοχές καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα τείνουν να εμπεδωθούν στους διεθνείς οργανισμούς και στα κέντρα διαμόρφωσης ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, στο βιομηχανικό κόσμο αλλά και στο ευρύτερο κοινό. Από την άλλη μεριά βέβαια τα βιοκαύσιμα έχουν κάποια μειονεκτήματα που αξίζει να αναφερθούν. Το σημαντικότερο είναι ότι οι γεωργοί εγκαταλείπουν τις παραδοσιακές τους καλλιέργειες για να φυτέψουν φυτά

που θα χρησιμοποιηθούν ως βιοκαύσιμα. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα να ελαττωθούν οι καλλιέργειες που προορίζονται για τροφή οπότε αναπόφευκτα έχουμε την αύξηση των τιμών των γεωργικών προϊόντων (αύξηση τιμής καλαμποκιού και σιταριού) (13).

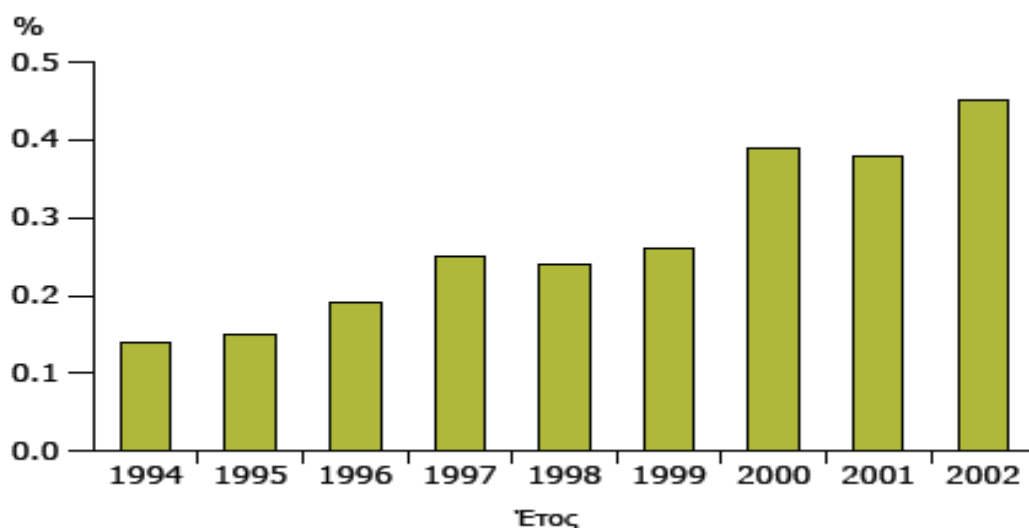
Τα βιοκαύσιμα για τις μεταφορές προωθούνται ως χρήσιμο μέσο 'για τον οικολογικό προσανατολισμό' του κλάδου των μεταφορών. Όταν λέμε μεταφορές εννοούμε τις οδικές αφού τα βιοκαύσιμα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στη ναυτιλία. Καύσιμα που παράγονται από καλλιέργειες και άλλα οργανικά υλικά παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα για τον κλάδο των μεταφορών. Τα καύσιμα αυτά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα στις εκπομπές των μέσων μεταφοράς καθώς και να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο στον τομέα των μεταφορών. Η οδηγία 2003/30/EU του 2003 για τα βιοκαύσιμα (14) έχει ως στόχο να αυξήσει σημαντικά τη χρήση των καυσίμων αυτών στις μεταφορές. Θα ληφθούν μέτρα σε εθνικό επίπεδο από όλες τις χώρες της Ε.Ε. με σκοπό την αντικατάσταση 5.75% του συνόλου των ορυκτών καυσίμων στον κλάδο των μεταφορών με βιοκαύσιμα πριν από το 2010. Η Ελλάδα δεν εξαιρείται από αυτή την οδηγία καθώς με νόμο που ψηφίστηκε το Νοέμβριο 2005 (ν.3423/2005) εναρμονίζεται η εθνική νομοθεσία προς την κοινοτική οδηγία. Τα βασικότερα σημεία του νόμου είναι:

- Ο καθορισμός της συμμετοχής των βιοκαυσίμων και των άλλων ανανεώσιμων καυσίμων στην ελληνική αγορά σε ποσοστό 5,75% του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου που καταναλώνονται στον τομέα μεταφορών έως την 31η Δεκεμβρίου του 2010.
- Η θέσπιση της Άδειας Διάθεσης Βιοκαυσίμων για τις επιχειρήσεις που επιθυμούν να δραστηριοποιηθούν στην παραγωγή και την εμπορία βιοκαυσίμων στη χώρα μας. Ο κάτοχος της σχετικής άδειας θα έχει το δικαίωμα παραγωγής ή εισαγωγής αυτούσιων βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων και της διάθεσής τους εντός της ελληνικής επικράτειας.
- Η πρόβλεψη για την κατάρτιση του «Προγράμματος Κατανομής Ποσοτήτων Βιοκαυσίμων» που απαλλάσσονται από τον Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης Καυσίμων (ΕΦΚΚ). Σε κάθε συμμετέχοντα στο Πρόγραμμα παρέχεται η δυνατότητα και παράλληλα επιβάλλεται η υποχρέωση διάθεσης στην ελληνική αγορά συγκεκριμένης ποσότητας βιοκαυσίμων, απαλλαγμένη από τον Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης για την περίοδο μέχρι και το τέλος του 2010.

Ενδεικτικά στοιχεία του μεγέθους του εγχειρήματος όσον αφορά την Ε.Ε. είναι τα εξής:

το 2002 τα βιοκαύσιμα αποτελούσαν μόνο 0.45 % περίπου της κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές της ΕΕ. Ωστόσο, παρότι τα απόλυτα επίπεδα είναι χαμηλά, η παραγωγή βιοκαυσίμων αυξάνεται ραγδαία. Το μερίδιο ήταν μόνο 0.25%

το 1999, ενώ με βάση την ικανότητα παραγωγής φανερώνουν ότι το μερίδιο αυτό ανήλθε σε ποσοστό 1% μέχρι το 2004. Εάν ο ρυθμός ανάπτυξης συνεχιστεί, τότε ο ενδεικτικός στόχος για το 2010 μπορεί να επιτευχθεί στο επίπεδο της ΕΕ που είναι όπως είπαμε πιο πάνω στο 5.75% (15). Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται το μερίδιο των βιοκαυσίμων στην συνολική κατανάλωση στον κλάδο των μεταφορών.



Σχήμα 16

Γραφική απεικόνιση του ποσοστού συμμετοχής των βιοκαυσίμων στην ολική κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών

4.5.2 Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς ή τυπικά βιοκαύσιμα είναι αυτά που παράγονται σήμερα με συμβατικές μεθόδους. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Ωστόσο τα πιο διαδεδομένα είναι τα υγρά βιοκαύσιμα βιοντίζελ και βιοαιθανόλη που χρησιμοποιούνται σε μίγμα με τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα κίνησης ντίζελ και βενζίνη (16).

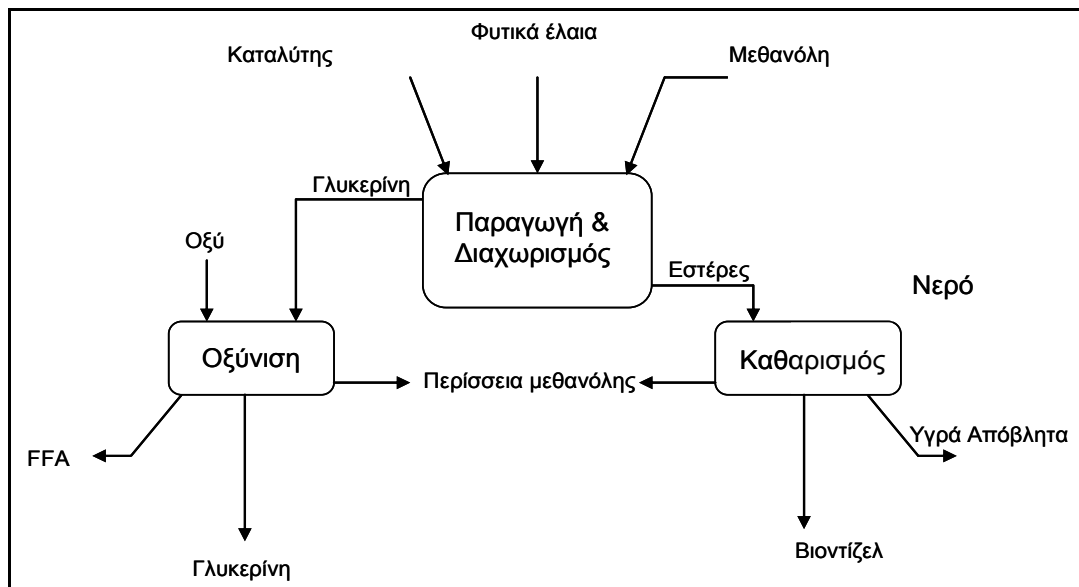
Πίνακας 3: Τυπικά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς

Τύπος Βιοκαυσίμου	Ονομασία	Διεργασία
Φυτικό έλαιο	Φυτικό έλαιο	Πίεση, εκχύλιση, δύλιση
Βιοντίζελ	Βιοντίζελ από σπόρους	Μετεστεροποίηση ελαίων
	Βιοντίζελ από απόβλητα ή χρησιμοποιημένα έλαια	Δύλιση, μετεστεροποίηση
Βιοαιθανόλη	Αιθανόλη από ζαχαρώδη φυτά	Ζύμωση, απόσταξη
	Αιθανόλη από αμυλώδη φυτά	Υδρόλυση, ζύμωση, απόσταξη
Βίο-ETBE	ETBE	Ζύμωση, σύνθεση

Βιοαέριο	Συνθετικό φυσικό αέριο από βιοαέριο	Χώνευση, απομάκρυνση CO ₂ -H ₂ O
Βιουδρογόνο	Υδρογόνο από βιοαέριο	Χώνευση, wgs, απομάκρυνση CO ₂ -H ₂ O

Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ πρώτης γενιάς είναι το προϊόν της μετεστεροποίησης των οξέων φυτικών ελαίων και είναι γνωστό και ως FAME (Fatty Acid Methy Esters). Η πρώτη ύλη για την παραγωγή FAME βιοντίζελ είναι τα φυτικά σπορέλαια από διάφορες καλλιέργειες όπως ο ηλιόσπορος, το βαμβάκι, η ελαιοκράμβη, η σόγια, το καλαμπόκι, κτλ, καθώς και τα χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια. Η παραγωγή βιοντίζελ από φυτικά έλαια ακολουθεί την διεργασία που περιγράφεται στο Σχήμα 17. Τα φυτικά έλαια έρχονται σε επαφή με περίσσεια μεθανόλης για την αντίδραση της μετεστεροποίησης παρουσία βασικού ή όξινου καταλύτη (ανάλογα με τη φύση του φυτικού ελαίου). Το παραγόμενο διφασικό μίγμα διαχωρίζεται. Οι παραγόμενοι εστέρες καθαρίζονται και συλλέγονται δίνοντας το προϊόν βιοντίζελ ενώ το παραπροϊόν γλυκερίνης καθαρίζεται και χρησιμοποιείται στην βιομηχανία φαρμάκων και καλλυντικών. Να αναφέρουμε ότι ένας τόνος λαδιού και 110 kg μεθανόλης παράγουν ένα τόνο biodiesel και 110 kg γλυκερίνης.

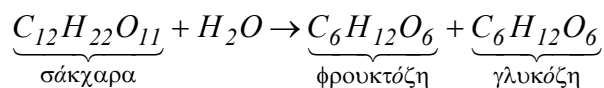


Σχήμα 17
Διεργασία παραγωγής βιοντίζελ FAME

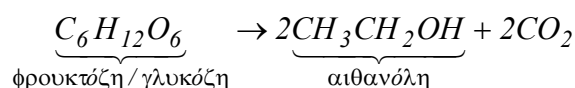
Βιοιθανόλη

Η βιοιθανόλη παράγεται με τη μέθοδο της ενζυματικής υδρόλυσης. Για την παραγωγή βιοιθανόλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αγροτικά προϊόντα που περιέχουν σάκχαρα όπως ζαχαρότευτλο, ζαχαροκάλαμο, γλυκό σόργο, μελάσα κ.α., καθώς και άμυλο όπως δημητριακά, καλαμπόκι, πατάτα κτλ, ή κυτταρινικό υλικό

(ξυλεία, υπολείμματα χαρτοβιομηχανίας). Κατά την ενζυματική υδρόλυση η βιομάζα υφίσταται την διεργασία της υδρόλυσης κατά την οποία τα μεγάλα μόρια αμύλου και σακχαρόζης διασπώνται σε μικρότερα μόρια σακχάρων, τα οποία μπορούν να ζυμωθούν και να μετατραπούν σε αιθανόλη. Η μαγιά περιέχει το ένζυμο invertase που δρα ως καταλύτης και βοηθά στην μετατροπή σακχάρων σε γλυκόζη και φρουκτόζη, όπως φαίνεται από την παρακάτω απλοποιημένη αντίδραση:



Η ζύμωση μορίων της ζάχαρης (φρουκτόζη και γλυκόζη) συντελεί στη παραγωγή αιθανόλης, μία μέθοδος πολύ διαδεδομένη στη βιομηχανία τροφίμων. Κατά τη ζύμωση, οι σακχαρομύκητες συντελούν στο μεταβολισμό της ζάχαρης απουσία οξυγόνου προς αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται με την παρακάτω αντίδραση:



Πίνακας 4: Περιεκτικότητα υδρογονανθράκων σε διάφορους τύπους βιομάζας

	<u>Υδρογονάνθρακες (% ισοδύναμο ζάχαρης)</u>					<u>Μη-υδρογονάνθρακες</u>	
	<u>Γλυκόζη</u>	<u>Μαννόζη</u>	<u>Γαλακτόζη</u>	<u>Ξυλόζη</u>	<u>Αραμπινόζη</u>	<u>Λιγνίνη</u>	<u>Στάχτη</u>
Σπάδικας Καλαμποκιού	39.0	0.3	0.8	14.8	3.2	15.1	4.3
Άχυρο σιταριού	36.6	0.8	2.4	19.2	2.4	14.5	9.6
Άχυρο ρυζιού	41.0	1.8	0.4	14.8	4.5	9.9	12.4
Τσόφλια ρυζιού	36.1	3.0	0.1	14.0	2.6	19.4	20.1
Υπολείμματα εκχύλισης σακχάρων	38.1	-	1.1	23.3	2.5	18.4	2.8
Σκληρό ξύλο	40.0	8.0	-	13.0	2.0	20.0	1.0
Μαλακό ξύλο	50.0	12.0	1.3	3.4	1.1	28.3	0.2

Αξίζει να σημειωθεί ότι η φύση της βιομάζας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση της διεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται βιομάζα πλούσια σε άμυλο και σάκχαρα αλλά και λιγνοκυτταρινική βιομάζα. Γενικότερα το κυτταρινικό και ημικυτταρινικό υλικό μπορεί με τη χρήση κατάλληλων ενζύμων να μετατραπεί ως ένα μεγάλο ποσοστό σε βιοαιθανόλη. Ωστόσο η λιγνίνη δεν μπορεί να διασπαστεί και να δώσει βιοαιθανόλη. Στον Πίνακα

4 παραθέτονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μερικών τύπων βιομάζας και συγκεκριμένα η περιεκτικότητά τους σε υδρογονάνθρακες (κυτταρινικό υλικό) και μη-υδρογονάνθρακες. Όπως φαίνεται από τον πίνακα, το άχυρο ρυζιού έχει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε μη-υδρογονάνθρακες ενώ το μαλακό ξύλο τη μεγαλύτερη. Ωστόσο το μαλακό ξύλο έχει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλυκόζη που μετατρέπεται πολύ εύκολα σε αιθανόλη. Ανάλογα με τα ένζυμα (εκλεκτικότητα και απόδοση) που θα χρησιμοποιηθούν μπορούν διάφοροι τύποι βιομάζας να αποφέρουν μεγάλες αποδόσεις για παραγωγή βιοαθανόλης (17).

4.5.3 Μειονεκτήματα βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς (18)

Παρότι τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς ήταν εφάμιλλα των συμβατικών καυσίμων από πλευράς ιδιοτήτων και απόδοσης στις μεταφορές, σταδιακά αναπτύχθηκε κριτική αξιολόγησή τους σε σχέση με την επίδραση της προώθησης των απαιτούμενων ενεργειακών καλλιεργειών στη γεωργία και τη βιοποικιλότητα, και γενικότερα τη ορθολογική χρήση των γαιών τόσο σε επίπεδο κρατών μελών όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι μεγάλες φυτείες ζαχαροκάλαμου, φοινικέλαιου, και σόγιας αντικαθιστούν ήδη τα δάση και τα λιβάδια στη Βραζιλία, την Αργεντινή, την Κολομβία, τον Ισημερινό, και την Παραγουάη.

Η παραγωγή αιθανόλης

Αν και υπάρχει μια σειρά προοπτικών για τα βιοκαύσιμα, η αιθανόλη που προέρχεται από το καλαμπόκι και τη σόγια αποτελεί αυτήν την περίοδο το 99% των βιοκαυσίμων στις Η.Π.Α., και η παραγωγή της αναμένεται να αυξηθεί το 2012 στοχεύοντας τα 7,5 δισεκατομμύριο γαλόνια ετησίως. Η ποσότητα καλαμποκιού που καλλιεργείται για αιθανόλη στις Η.Π.Α. έχει τριπλασιαστεί από 18 εκατομμύρια τόνους το 2001 σε 55 εκατομμύρια το 2006. Παρέχοντας όλη τη παρούσα παραγωγή καλαμποκιού και σόγιας της Αμερικής για βιοκαύσιμα, αυτό θα κάλυπτε μόνο ένα 12% των αναγκών βενζίνης της χώρας και 6% των αναγκών για ντίζελ. Τα αγροτικά εδάφη στις Η.Π.Α. φτάνουν συνολικά τα 625.000 τετραγωνικά στρέμματα. Με τους τωρινούς ρυθμούς, οι ανάγκες καυσίμου από βιοκαύσιμα θα απαιτούσαν 1,4 εκατομμύριο τετραγωνικά μίλια καλαμποκιού για αιθανόλη ή 8,8 εκατομμύριο τετραγωνικά μίλια σόγιας για βιοντίζελ. Η νότια Ντακότα και η Αιόβα αφιερώνουν ήδη περισσότερο από 50% του καλαμποκιού τους στην παραγωγή αιθανόλης, η οποία έχει οδηγήσει σε μικρότερες παραγόμενες ποσότητες για ζωοτροφή και ανθρώπινη κατανάλωση. Αν και το 1/5 της συγκομιδής αμερικανικού καλαμποκιού αφιερώθηκε στην παραγωγή αιθανόλης το 2006, αυτό ικανοποίησε μόνο 3% των αμερικάνικων συνολικών αναγκών για καύσιμα.

Επιπλέον το καλαμπόκι απαιτεί μεγάλα ποσά χημικού αζωτούχου λιπάσματος, που συνεισφέρει σημαντικά στη ρύπανση εδάφους και ποτάμιων υδάτων και είναι

υπεύθυνο για τη "Νεκρή Ζώνη" στον κόλπο του Μεξικού. Τα μέσα ποσοστά εφαρμογής νιτρικών αλάτων στο αμερικανικό καλλιεργήσιμο έδαφος κυμαίνονται από 120 έως 550 κιλά αζώτου ανά εκτάριο. Η ανεπαρκής απορρόφηση των αζωτούχων λιπασμάτων από τις καλλιέργειες οδηγεί στην απορροή άζωτου, συνήθως στα επιφανειακά ύδατα ή στα υπόγεια νερά. Η μόλυνση των υδροφόρων στρωμάτων από τα νιτρικά άλατα είναι διαδεδομένη και σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα σε πολλές αγροτικές περιοχές. Στις Η.Π.Α., υπολογίζεται ότι περισσότερο από 25% των φρεατίων πόσιμου νερού περιέχουν επίπεδα νιτρικών αλάτων υψηλότερα από το όριο ασφάλειας των 45 μέρη ανά εκατομμύριο (45 ppm).

Σόγια για βιοντίζελ

Από το 1995, το συνολικό έδαφος για την παραγωγή σόγιας στη Βραζιλία έχει αυξηθεί κατά 3,2% ετησίως (320.000 εκτάρια). Η σόγια σήμερα-μαζί με το ζαχαροκάλαμο-καταλαμβάνει περισσότερη γη από οποιαδήποτε άλλη καλλιέργεια στη Βραζιλία (21% του συνολικού καλλιεργημένου εδάφους). Το συνολικό έδαφος που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια σόγιας έχει αυξηθεί 57 φορές από το 1961, και ο όγκος της παραγωγής έχει πολλαπλασιάσει 138 φορές. 55% της συγκομιδής σόγιας, ή 11,4 εκατομμύριο εκτάρια, είναι γενετικώς τροποποιημένα. Στην Παραγουάη, η σόγια καταλαμβάνει περισσότερα από 25% των γεωργικών εκτάσεων. Το εκτενές καθαρίσμα εδάφους έχει συνοδεύσει αυτήν την εξάπλωση: παραδείγματος χάριν, ένα μεγάλο μέρος του ατλαντικού δάσους της Παραγουάης έχει καθαριστεί, εν μέρει για την παραγωγή σόγιας που περιλαμβάνει 29% της χρήσης γεωργικού εδάφους της χώρας. Στην Αργεντινή, η εντατική καλλιέργεια σόγιας έχει οδηγήσει στην μαζική μείωση θρεπτικών ουσιών του εδάφους. Υπολογίζεται ότι η συνεχής παραγωγή σόγιας έχει οδηγήσει στην απώλεια ένα εκατομμύριο τόνων αζώτου και 227.000 τόνων φωσφορούχου στο έδαφος σε εθνικό επίπεδο. Το κόστος αναπλήρωσης αυτής της θρεπτικής απώλειας με λιπάσματα είναι κατ' εκτίμηση 910 εκατομμύρια δολάρια. Η αύξηση παρουσίας αζώτου και φωσφόρου σε λεκάνες απορροής ποταμών της Λατινικής Αμερικής συνδέονται βεβαίως με την αύξηση της παραγωγής σόγιας.

Τέλος η μονοκαλλιέργεια σόγιας στη λεκάνη του Αμαζονίου έχει καταστήσει άγονο ένα μεγάλο μέρος του εδάφους. Τα φτωχά εδάφη απαιτούν περισσότερη λίπανση με βιομηχανικά λιπάσματα ώστε να φτάσουν σε ανταγωνιστικά επίπεδα παραγωγικότητας. Στη Βολιβία, η παραγωγή σόγιας επεκτείνεται ανατολικά σε περιοχές όπου τα εδάφη είναι ήδη υποβαθμισμένα. Ένα εκατομμύριο στρέμματα υποβαθμισμένων εδαφών όπου προηγουμένως καλλιεργούνταν σόγια έχουν τώρα αφεθεί για βόσκηση βοοειδών οδηγώντας σε περαιτέρω υποβάθμιση. Τα βιοκαύσιμα δημιουργούν έναν νέο κύκλο εξάπλωσης της ερήμωσης στις περιοχές Cerrado και στον Αμαζόνιο. Δεδομένου ότι οι λατινοαμερικανικές χώρες αυξάνουν τις επενδύσεις τους στην καλλιέργεια σόγιας για την παραγωγή βιοκαυσίμων, οι οικολογικές

επιπτώσεις αναμένεται να ενταθούν.

4.5.4 Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς και τρίτης γενιάς

Βλέποντας τα μειονεκτήματα που υπάρχουν από τη παραγωγή των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, υπάρχει παγκοσμίως μία τάση στο να χρησιμοποιηθούν βιοκαύσιμα που παράγονται με διαφορετικό τρόπο. Υπάρχει στην εποχή μας προσανατολισμός στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς τα οποία είναι βιοκαύσιμα που παράγονται με πρωτοποριακές διεργασίες και από περισσότερους τύπους βιομάζας από ότι τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς συνοψίζονται στον Πίνακα 5. Στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς ανήκουν τα συνθετικά βιοκαύσιμα που παράγονται από θερμοχημικές και καταλυτικές διεργασίες όπως πυρόλυση, εξαερίωση, και Fischer-Tropsch. Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκει και η βιοαιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρινικό υλικό. Το υδρογόνο από αέριο σύνθεσης καθώς και το βιοαέριο αποτελούν τα κύρια αέρια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς (19).

Πίνακας 5: Πρωτοποριακά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς

Τύπος Βιοκαυσίμου	Ονομασία	Διεργασία
Συνθετικά βιοκαύσιμα	Fischer-Tropsch Βιοντίτζελ	Εξαέρωση, σύνθεση, HDC
	Αλκοόλη από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, σύνθεση
	HTU ντίτζελ	HTU, HDO, δύλιση
	Ντίτζελ πυρόλυσης	Πυρόλυση, HDO, δύλιση
Βιομεθανόλη	Μεθανόλη	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση
Βιοαιθανόλη	Αιθανόλη από κυτταρίνη	Υδρόλυση, Ζύμωση, απόσταξη
Βιο-MTBE	MTBE	Σύνθεση
Βιοδιμέθυλαιθέρας	DME	Εξαέρωση, σύνθεση
Βιουδρογόνο	Υδρογόνο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, απομάκρυνση CO ₂
Βιοαέριο	Φυσικό αέριο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, σύνθεση, απομάκρυνση CO ₂ -H ₂ O
	Συνθετικό φυσικό αέριο	Εξαέρωση

Μελετάται όπως βλέπουμε η ανάπτυξη νέων βιοχημικών (ενζυματική υδρόλυση βιομάζας και ζύμωση παραγομένων σακχάρων προς παραγωγή βιοαιθανόλης) ή θερμοχημικών διεργασιών (πυρόλυση προς παραγωγή βιοελαίου, εξαερίωση προς παραγωγή αερίου σύνθεσης σε συνδυασμό με τη καταλυτική διεργασία Fischer-Tropsch προς παραγωγή βιοντίτζελ και βενζίνης), μέσω των οποίων φυτικά προϊόντα και υπολείμματα ανθρώπινων/βιομηχανικών δραστηριοτήτων (γεωργικά απόβλητα,

σκουπίδια) θα αξιοποιηθούν για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων.

Όσον αφορά τέλος τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά με τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς όπως είναι η αξιοποίηση υπολειμμάτων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει η σκέψη να αξιοποιηθούνε μικροοργανισμοί για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι το Δεκέμβριο 2008 ερευνητές του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας-Λος Άντζελες δημιούργησαν ένα συνθετικό κολοβακτηρίδιο (*E.coli*), το οποίο, αντί να μολύνει τα τρόφιμα, μπορεί να βοηθήσει στην παραγωγή καλύτερων βιοκαυσίμων. Μεταβάλλοντας τη βασική γενετική δομή του βακτηρίου, οι επιστήμονες μπόρεσαν να το καθοδηγήσουν, ώστε να παράγει αλκοόλη πυκνότερη σε ενέργεια από αυτή που υπάρχει στη φύση. Είναι η πρώτη φορά που οι ερευνητές κατάφεραν να συνθέσουν αλκοόλη με περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριό της. Αυτό έγινε εφικτό με την εισαγωγή ειδικών χρωμοσωμάτων στο DNA του κολοβακτηριδίου και την υπερ-δραστηριοποίηση ορισμένων ενζύμων του, αλλάζοντας έτσι το μεταβολισμό του και αναγκάζοντάς το να μετατρέπει πλέον γλυκόζη σε αλκοόλη με περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριό της. Να αναφέρουμε ότι οι αλκοόλες με περισσότερα άτομα άνθρακα στη μοριακή τους αλυσίδα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο καυσίμου, δεν διαβρώνουν τον κινητήρα και είναι πιο συμβατές με τα αεροπορικά καύσιμα ή το ντίζελ **(20)**. Βέβαια η αξιοποίηση μικροοργανισμών είναι ακόμα σε εμβρυακό επίπεδο και χρειάζονται να γίνουν και άλλες έρευνες ώστε να έχουμε παραγωγή βιοκαυσίμων από μικροοργανισμούς. Πάντως είναι θετικό βήμα η γενετική «χειραγώγηση» των μικροβίων αφού δεν θα έχουμε επιβάρυνση της κλιματικής αλλαγής του πλανήτη. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα είναι μηδαμινές.

4.5.5 Βιοκαύσιμα και ναυτιλία

Αν και δεν χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο εμπορικά σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου το βιοκαύσιμο ως καύσιμο για τα πλοία, ίσως στο άμεσο μέλλον δούμε μία στροφή της ναυτιλίας προς τη χρήση βιοκαυσίμων.

Τα σημαντικότερα οφέλη από τη χρήση των βιοκαυσίμων στα πλοία συνοψίζονται στα εξής **(21)**:

- Η καύση της βιομάζας που είναι και η πρώτη ύλη έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα κι έτσι δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

- Η μηδενική ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) που ευθύνονται για την όξινη βροχή.
- Η αξιοποίηση της βιομάζας ως εγχώρια πηγή ενέργειας, μειώνει την εξάρτηση των χωρών για εισαγόμενα καύσιμα και βελτιώνει το εμπορικό τους ισοζύγιο, ενώ σε κοινωνικό επίπεδο αυξάνει τα επίπεδα απασχόλησης στις αγροτικές περιοχές ενισχύει την οικονομική τους ανάπτυξη και προάγει συνολικά την κοινωνική ισότητα.

Σύμφωνα με πρόσφατες δηλώσεις του Διευθύνοντος Συμβούλου του Lloyd's Register (Απρίλιος 2008) βλέπουμε ότι υπάρχει μια στροφή της ναυτιλίας προς τη χρήση των βιοκαυσίμων (22). Ο Richard Sadler, Διευθύνων Σύμβουλος του Lloyd's Register, δημόσια είπε πως η ναυτιλία πρέπει να αρχίσει να προετοιμάζεται για μια παγκόσμια στροφή προς τα βιοκαύσιμα, παρά τα αυξανόμενα επικριτικά σχόλια που θέτουν ερωτηματικά στο κατά πόσο συντελούν στην προστασία του περιβάλλοντος. Τόνισε πως δύο είναι τα καίρια ζητήματα που σχετίζονται με την εκτενή χρήση των βιοκαυσίμων στη διεθνή ναυσιπλοΐα στη θέση του αργού πετρελαίου. Σύμφωνα με τις θέσεις του οργανισμού, το πιο μεγάλο εμπόδιο είναι η απουσία ενός θεσμοθετημένου πλαισίου διανομής αναφορικά ιδίως με την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα πλοίων εφοδιασμού. Επίσης, σημαντική είναι και η απουσία ενός προτύπου, το οποίο να καλύπτει ζητήματα διασφάλισης ποιότητας για τα νέα οικολογικά καύσιμα. Στη συνέχεια, διακήρυξε την ανάγκη για περισσότερη έρευνα και συλλογή πληροφοριών γύρω από τα βιοκαύσιμα 1ης γενιάς από καλλιεργήσιμα φυτά, παραδέχτηκε ωστόσο πως τα καύσιμα 2ης και 3ης γενιάς που θα προέρχονται από άλλη μορφή βιομάζας όπως απόβλητα και φύκια αντίστοιχα, είναι πολλά υποσχόμενα τουλάχιστον από κοινωνική και περιβαλλοντική σκοπιά και θα μπορούσαν να πυροδοτήσουν ανέλπιστα υψηλά επίπεδα ζήτησης στο προσεχές μέλλον. Ο Διευθύνων Σύμβουλος του βρετανικού νηογνώμονα προειδοποίησε πως η αύξηση στη ζήτηση φορτίων βιοκαυσίμων θα ήταν ικανή να απαιτήσει την ναυπήγηση επιπρόσθετων 400 φορτηγών πλοίων με ωφέλιμο φορτίο 35.000 τόνους έως το 2030.

4.6 Κυψέλες καυσίμων (fuel cells)

Μία άλλη νέα τεχνολογία που αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι οι κυψέλες καυσίμων (fuel cells). Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη

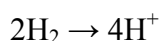
δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στο διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια.

Η αρχή λειτουργίας της είναι η ακόλουθη **(23)** :

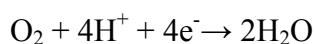
Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγικά υλικά. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας. Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.

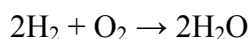
Στην άνοδο:



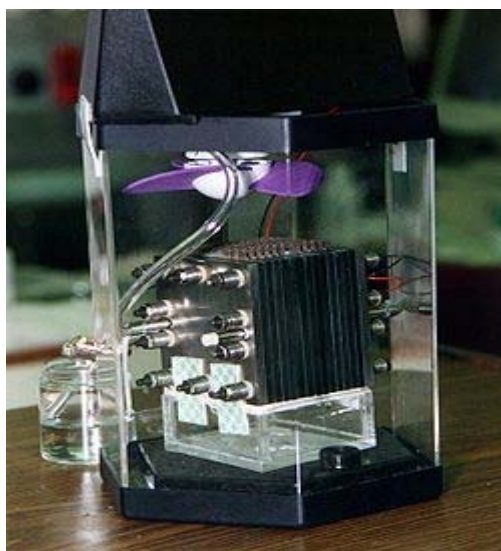
Στην κάθοδο:



Ολική αντίδραση:



Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts. Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack). Στο επόμενο Σχήμα παρουσιάζεται μία κυψέλη καυσίμου.



Σχήμα 18

Κυψέλη Καυσίμου. Ο πραγματικός αριθμός κυττάρων καυσίμων είναι η βαλμένη σε στρώσεις κυβική δομή στο κέντρο της εικόνας

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και είναι **(24)** :

- PAFC – Φωσφορικό οξύ
- MCFC – Τηγμένα ανθρακικά άλατα
- SOFC – Σταθεροποιημένα οξείδια
- PEMFC – Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων
- AFC – Αλκάλια

Στον επόμενο Πίνακα φαίνονται οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου.

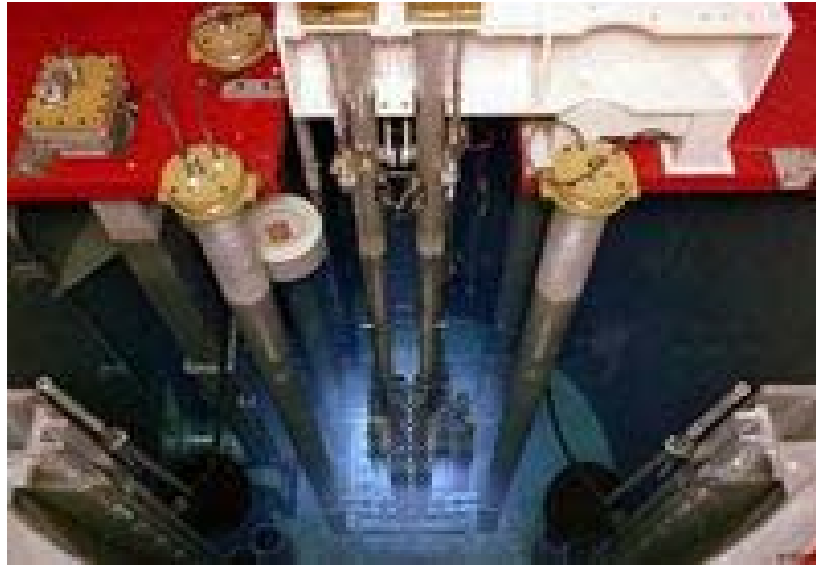
Πίνακας 6: Τύποι κυψέλων καυσίμων

Τύποι Κυψέλων Καυσίμου					
Ηλεκτρολύτης	Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	Αλκάλια (AFC)	Φωσφορικό Οξύ (PAFC)	Τηγμένα ανθρακικά άλατα (MCFC)	Σταθεροποιημένα οξείδια (SOFC)
Θερμοκρασία Λειτουργίας	80 °C	60-150 °C	Περίπου 200 °C	650 °C	800-1000 °C
Ηλεκτρικός φορέας	Ιόν υδρογόνου	Ιόν υδρογόνου	Ιόν υδρογόνου	Ανθρακικό ιόν	Ιόν οξυγόνου
Καταλύτης	Πλατίνα	Πλατίνα	Πλατίνα	Νικέλιο	Τιτανικό Ασβέστιο
Απόδοση (%)	40-50	70	40-60	>60	>60
Κυριότερες εφαρμογές	Μεταφορές, ηλεκτροπαραγωγή, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές	Διάστημα	Ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή σε κτηριακές εγκαταστάσεις	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής

Όσον αφορά την ναυτιλία να αναφέρουμε ότι τεχνολογία κυψέλης καυσίμου έχει εγκατασταθεί προς το παρόν μόνο σε μικρά σκάφη που η ισχύς της μηχανής τους είναι γύρω στα 7 kW. Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι το πρώτο σκάφος στο οποίο εγκαταστάθηκε μια τέτοια τεχνολογία ήταν το Fuel Cell Boat HYDRA του οποίου η κυψέλη καυσίμου είχε τον AFC ηλεκτρολύτη και η απόδοση ισχύς της μηχανής ήταν 6,5 kW **(25)**. Ένα ερευνητικό έργο με ονομασία FellowSHIP έχει ξεκινήσει από το 2003 από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV) και έχει ως σκοπό την εφαρμογή των κυψέλων καυσίμων στα πλοία. Το έργο αυτό γίνεται σε συνεργασία με τις εταιρείες Eidesvik Offshore, MTU CFC Solutions GmbH, Vik-Sandvik and Wärtsilä Automation Norway και τα αποτελέσματα της έρευνας θα βγουν αρχές 2009. Σύμφωνα με το διευθυντή του προγράμματος FellowSHIP's Tomas Tronstad η τεχνολογία αυτή μπορεί να είναι μέχρι 50% αποδοτικότερη από τις σημερινές μηχανές diesel ενώ ταυτόχρονα ανοίγει ο δρόμος για «καθαρά» σκάφη. Επιπλέον αν ως καύσιμο χρησιμοποιείται και το φυσικό αέριο τότε τα καυσαέρια που θα εκπέμπονται από τα πλοία θα περιέχουν 50% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα **(26)**.

4.7 Πυρηνική ενέργεια

Πυρηνική ενέργεια ή ατομική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή σύντηξη των πυρήνων και εφόσον οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενες (όπως συμβαίνει στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ενεργειακές ανάγκες. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιείται και ως μέσο πρόωσης στα πλοία.



Σχήμα 19
Εσωτερικό πυρηνικού αντιδραστήρα PWR

Το πυρηνοκίνητο πλοίο (nuclear ship) (NS) αποτελεί την τελευταία εξέλιξη μέσου πρόωσης των μηχανοκινήτων πλοίων. Τα πλοία αυτά σε ειδικό διαμέρισμα πλώραθεν του μηχανοστασίου φέρουν πυρηνικό αντιδραστήρα τύπου PWR (Pressurized-Water Reactors) που θέτει σε κίνηση τις ηλεκτρομηχανές (τουρμίνες). Ο εν λόγω αντιδραστήρας χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσο. Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται το εσωτερικό ενός πυρηνικού αντιδραστήρα PWR (27).

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν μια μεγάλη δεξαμενή όπου το πυρηνικό καύσιμο υφίσταται πυρηνική σχάση απελευθερώνοντας έτσι θερμότητα. Στην πλειοψηφία τους, οι σύγχρονοι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν ως καύσιμο εμπλουτισμένο ουράνιο ή μεικτό οξείδιο, ενώ κάποιοι χρησιμοποιούν φυσικό ουράνιο (U). Το εμπλουτισμένο ουράνιο, περιέχει το ισότοπο U^{235} σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι το φυσικό ουράνιο, ενώ το μεικτό οξείδιο εκτός από ουράνιο περιέχει και τα ισότοπα Pu^{239} και Pu^{240} του πλουτωνίου. Υπάρχουν και αντιδραστήρες σχάσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμα είτε το πλουτώνιο είτε το ισότοπο U^{233} του ουρανίου. Τα άτομα του πυρηνικού καυσίμου υπό ορισμένες συνθήκες διασπώνται αυθόρμητα εκπέμποντας νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια προκαλούν τη διάσπαση άλλων ατόμων, με τελικό αποτέλεσμα μια γεωμετρικά αυξανόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Στην "καρδιά του αντιδραστήρα" φέρονται επιβραδυντικό υλικό και ρυθμιστικές ράβδοι (ή "ράβδοι ελέγχου" ή "ράβδοι ρύθμισης") που συγκρατούν την αλυσιδωτή αντίδραση σε σταθερό ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή ροή της θερμότητας. Ένα "ψυκτικό μέσο" (που μπορεί να είναι αέριο ή υγρό όπως το νερό) κυκλοφορεί μέσα στον αντιδραστήρα και θερμαίνεται. Στη συνέχεια αυτό οδηγείται σε ένα "εναλλάκτη θερμότητας" όπου προκαλεί βρασμό σε νερό που υπάρχει εκεί. Ο παραγόμενος ατμός στη συνέχεια θέτει

σε κίνηση στροβίλους που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και κινητική ενέργεια (28).

Η ύπαρξη μη πολεμικών πλοίων που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης είναι μια ιστορία της οποίας η αρχή έγινε μόλις το 1959 με το Σοβιετικό παγοθραυστικό «Λένιν» το οποίο ήταν και το πρώτο σκάφος επιφανείας που έφτασε στο Βόρειο πόλο. Το «Λένιν» παροπλίστηκε το 1989, όμως σήμερα υπάρχουν 7 άλλα παγοθραυστικά που χρησιμοποιούνται από τη Ρωσία για τη διευκόλυνση της ναυσιπλοΐας στις βόρειες ακτές της χώρας. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 χρησιμοποιούνται επίσης και ως κρουαζιερόπλοια, για ταξίδια στο Βόρειο Πόλο. Επίσης η Ρωσία διαθέτει και ένα πυρηνοκίνητο εμπορικό πλοίο για μεταφορά μεταλλευμάτων. Κατασκευάστηκαν άλλα 3 εμπορικά πυρηνοκίνητα πλοία. Το NS Savannah κατελύστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 50 όμως παροπλίστηκε το 1970. Το ίδιο σύντομη ήταν και η ιστορία του Γερμανικού NS Otto Hahn το οποίο μετατράπηκε σε νηξελοκίνητο και του Ιαπωνικού NS Mutsu το οποίο μετά και από αρκετά προβλήματα λειτουργίας χρησιμοποιείται σήμερα για ερευνητικούς σκοπούς. Και στις 3 περιπτώσεις ο κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας ήταν το μεγάλο κόστος λειτουργίας, που καθιστούσε τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας οικονομικά ασύμφορη (29). Δεν πρέπει όμως να παραλείψουμε και το αμερικάνικο πυρηνοκίνητο πλοίο "Savannah" που ναυπηγήθηκε το 1962 το οποίο ως φορτηγό πλοίο αποσύρθηκε ως "λίαν αντιοικονομικό" (30).

Ο μικρός αριθμός εμπορικών πλοίων που έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιούν πυρηνικό αντιδραστήρα ως μέσο πρόωσης δείχνει ότι είναι ασύμφορη οικονομικά η κατασκευή τέτοιων πλοίων. Στοιχεία για το κόστος κτήσης τέτοιων πλοίων δεν υπάρχουν αλλά γνωρίζουμε στοιχεία για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή τη στιγμή σε όλο τον κόσμο λειτουργούν 439 πυρηνικοί αντιδραστήρες, που εξασφαλίζουν το 15,2% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής, ενώ υπό κατασκευή βρίσκονται άλλοι 34. Η συζήτηση για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας επανέρχεται καθώς ο σύγχρονος κόσμος αναζητά, μεταξύ άλλων, ενεργειακή ανεξαρτησία αλλά και τρόπους για να μειωθεί κατά το ήμισυ τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050, έτσι ώστε να μην υποστεί αμετάκλητες αλλαγές το παγκόσμιο κλίμα. Όμως η πυρηνική ενέργεια δεν θα δώσει τη λύση καθώς είναι πολύ ακριβή. Τα έργα κατασκευής πυρηνικών αντιδραστήρων υπερβαίνουν σταθερά κατά πολύ τους προϋπολογισμούς τους. Οι δαπάνες κατασκευής συχνά είναι διπλάσιες των αρχικών εκτιμήσεων. Παρά τα 50 χρόνια εξέλιξης και σημαντικών επιδοτήσεων, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες εξακολουθούν να μην μπορούν να προσφέρουν δοκιμασμένα και αξιόπιστη τεχνολογία σε προβλέψιμο κόστος. Ενώ η βιομηχανία υπόσχεται νέους αντιδραστήρες με κόστος επένδυσης γύρω στα 2.000 δολάρια ανά κιλοβάτ (kW) εγκατεστημένης ισχύος η εμπειρία του παρελθόντος δείχνει ότι οι περισσότεροι αντιδραστήρες στις Ηνωμένες Πολιτείες είχαν υπερβάσεις κόστους άνω του 200%, το

ίδιο και οι πιο πρόσφατοι πυρηνικοί αντιδραστήρες που ολοκληρώθηκαν στην Ινδία. Το πιο πρόσφατο όμως παράδειγμα έρχεται από τη Φιλανδία όπου η κατασκευή του πυρηνικού αντιδραστήρα Olkiluoto-3 άρχισε το 2005, αλλά ο προϋπολογισμός του έχει ήδη αυξηθεί από τα 4,7 δισ. δολάρια στα 6,9 δισ. δολάρια. Αυτό το έργο που αφορά έναν αντιδραστήρα 1.600 MW, αποτελεί απόδειξη ότι το κόστος της εγκατάστασης ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ενέργειας μπορεί εύκολα να φτάσει τα 4.300 δολάρια ανά kW. Πρόσφατες εκτιμήσεις της Moody's Investors Service τοποθετούν το συνολικό κόστος κατασκευής αντιδραστήρων στα 5.000 με 6.000 δολάρια ανά kW. Αυτές βέβαια είναι μόνο οι αρχικές επενδυτικές δαπάνες. Πρόσθετες δαπάνες προκύπτουν από τη συντήρηση και τη λειτουργία, καθώς και από τα καύσιμα. Η έλλειψη ουρανίου στις παγκόσμιες αγορές εκτοξεύει το συνολικό κόστος ακόμη ψηλότερα. Από αυτά τα στοιχεία συμπεραίνουμε το ακριβό κόστος κατασκευής και συντήρησης ενός πυρηνικού αντιδραστήρα (31).

Βέβαια εκτός από το υψηλό κόστος, σημαντικό μειονέκτημα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα συμπεριλαμβανομένου και του ναυτικού πυρηνικού αντιδραστήρα είναι η έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Σε περίπτωση ναυαγίου ή βλάβης του αντιδραστήρα η καταστροφή που θα προκληθεί στο περιβάλλον θα είναι ανυπολόγιστη. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι στο ναυάγιο του Scorpion (υποβρύχιο με ένα πυρηνικό αντιδραστήρα) έρευνα που διεξήχθη το 1986 έδειξε ότι ενώ δεν ανιχνεύτηκαν προϊόντα σχάσης, εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις κοβαλτίου-60 στα αδιάλυτα προϊόντα διάβρωσης στο πρωτεύον κύκλωμα ψύξης του αντιδραστήρα (32).

4.8 Ηλεκτροδότηση πλοίων από τη ξηρά (Shore-side electricity)

Η ηλεκτροδότηση πλοίων από τη ξηρά αν εφαρμοστεί ευρέως θα συντελέσει έως ένα βαθμό στη μείωση εκπομπών από τα πλοία. Λέγοντας ηλεκτροδότηση πλοίων από τη ξηρά εννοούμε τη χρησιμοποίηση από τα πλοία ηλεκτρικού ρεύματος παραγόμενο από χερσαίες μονάδες ενόσω είναι ελλιμενισμένα. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από χερσαίες μονάδες κατά τον ελλιμενισμό θα συμβάλλει αρκετά στην καλύτερη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του λιμένος. Αυτό γίνεται κατανοητό αν αναλογιστούμε ότι καμία από τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου (Auxilliary Engines) δεν θα λειτουργεί. Συνήθως όταν το πλοίο είναι σε ένα λιμάνι είτε φόρτωση είτε για εκφόρτωση είτε για επισκευή, ένας αριθμός βοηθητικών μηχανών είναι σε λειτουργία για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ο αριθμός αυτός ποικίλλει ανάλογα με τις ανάγκες του πλοίου για ηλεκτρικό ρεύμα. Τις πιο πολλές περιπτώσεις μία ή δύο ηλεκτρομηχανές είναι σε λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε κατανάλωση καυσίμου diesel για τη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών, οπότε και εκπομπές καυσαερίων που περιέχουν CO₂, SO₂, NO_x και αιωρούμενα σωματίδια.

Όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω η Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2006/339/EC συνιστά στα κράτη μέλη να εξετάσουν τη δυνατότητα δημιουργίας

εγκαταστάσεων για την ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων από την ξηρά. Συγκεκριμένα συνιστά να προωθήσουν την ευαισθητοποίηση, όσον αφορά την ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά, των τοπικών αρχών που είναι αρμόδιες για περιοχές όπου υπάρχουν λιμένες, των ναυτιλιακών αρχών, των λιμενικών αρχών, των εμπειρογνομόνων και των ενώσεων του ναυτιλιακού κλάδου. Επίσης τα κράτη μέλη πρέπει να ενθαρρύνουν τις λιμενικές αρχές και το ναυτιλιακό κλάδο να ανταλλάσσουν πληροφορίες για τις βέλτιστες πρακτικές σχετικά με την ηλεκτροδότηση από την ξηρά και την εναρμόνιση των διαδικασιών για την παροχή της υπηρεσίας αυτής. Τέλος πρέπει να αναφέρουν στην Επιτροπή που ασχολείται με την ηλεκτροδότηση από την ξηρά πλοίων ελλιμενισμένων σε λιμένες της Κοινότητας, τα μέτρα που προτίθενται να λάβουν για τη μείωση των εκπομπών από ελλιμενισμένα πλοία, ιδιαιτέρως όταν σημειώνεται υπέρβαση των οριακών τιμών για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Στο Σχήμα 20 φαίνεται η ηλεκτροδότηση πλοίου από ειδική φορτηγίδα στο λιμάνι του Long Beach στο Λος Άντζελες.



Σχήμα 20

Ηλεκτροδότηση πλοίου από ειδική φορτηγίδα στο λιμάνι του Long Beach

Τα οφέλη και το κόστος της ηλεκτροδότησης από την ξηρά ποικίλουν σημαντικά, ανάλογα με τη υφιστάμενη διάρθρωση του συστήματος ηλεκτροδότησης και την τοποθεσία του λιμένα, τη θέση πλεύρισης και το πλοίο. Το ετήσιο συνολικό κόστος του συστήματος ανά θέση πλεύρισης εξαρτάται από τρεις παράγοντες: το μέγεθος των μηχανών του πλοίου, το εάν η σχετική τεχνολογία επιλέγεται για νεότευκτο ή παλιό πλοίο, και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και του καυσίμου των πλοίων. Από την εκτίμηση των επιπτώσεων προκύπτει ότι το κόστος για την ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά σε 500 θέσεις πλεύρισης θα υπερβαίνει κατά 185 εκατομμύρια ευρώ ανά έτος το κόστος που θα προκύπτει εάν χρησιμοποιείται καύσιμο πλοίου, υπό την προϋπόθεση ότι θα είναι χαμηλή η τιμή του

καυσίμου πλοίων και ότι θα καταβάλλεται όλος ο φόρος για την ηλεκτροδότηση των σκαφών από την ξηρά. Εάν υποτεθεί ότι θα είναι υψηλότερη η τιμή του καυσίμου και θα φοροαπαλλάσσεται πλήρως η ηλεκτρική ενέργεια για ηλεκτροδότηση από την ξηρά, το συνολικό κόστος θα μειωθεί κατά 80 %, σε περίπου 34 εκατομμύρια ευρώ ετησίως. Από τα αριθμητικά αυτά στοιχεία προκύπτει ότι, σε άλλες περιπτώσεις, τα οφέλη της ηλεκτροδότησης από την ξηρά υπερβαίνουν το κόστος ενώ σε άλλες, τα οφέλη είναι σε μεγάλο βαθμό πολλαπλάσια του κόστους. Από περιβαλλοντική σκοπιά, η μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται με την ηλεκτροδότηση από την ξηρά υπερβαίνει κατά πολύ τη μείωση των εκπομπών από τη χρήση καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο 0,1 % κατά τον ελλιμενισμό η οποία απαιτείται από το 2010 σύμφωνα με την οδηγία 2005/33/EU, ιδίως δε των οξειδίων του αζώτου (NOx) και αιρούμενων σωματιδίων (PM). Η ηλεκτροδότηση από την ξηρά αξίζει λοιπόν να ληφθεί ιδιαίτερος υπόψη σε λιμένες όπου οι εκπομπές NOx και PM από τα πλοία δημιουργούν προβλήματα στην τοπική ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως υπερβάσεις των οριακών τιμών του όζοντος (33).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας. Οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέρμανση της Γης (Global Warming) που προκαλείται από το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου κατά το οποίο τα αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG), εμποδίζουν μέρος της ακτινοβολίας του ήλιου να διαφύγει στο διάστημα και την συγκρατούν εντός της ατμόσφαιρας. Τα τελευταία χρόνια λέγοντας φαινόμενο θερμοκηπίου δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι εκείνα που παρόντα στην ατμόσφαιρα μειώνουν την απώλεια θερμότητας στο διάστημα και επομένως συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά κύριο λόγο. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το όζον (O₃) είναι τα κύρια αέρια που εκπέμπονται από τα πλοία ενώ οι υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons) HFC και οι πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες PFC είναι αέρια που χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό του πλοίου.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου έχουν αρχίσει και διαφαίνονται στις μέρες μας και αναμένεται να γίνουν ακόμα πιο αισθητές στο άμεσο μέλλον. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως διατυπώθηκαν στην τελευταία έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), το 2007 είναι:

- Η μέση πλανητική θερμοκρασία θα αυξηθεί από 1,1°C – 6,4°C έως το 2095 σε σχέση με τα επίπεδα της περιόδου 1980-1999, αν δε μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Την περίοδο 1961-2003 η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 1.8mm/έτος (1.3-2.3 mm). Η αντίστοιχη αύξηση για το διάστημα 1993-2003 ήταν 3.1mm/έτος, χωρίς να είναι σαφές αν πρόκειται για μακροχρόνια ροπή ή φυσική διακύμανση. Αν συνεχιστούν οι ίδιοι ρυθμοί, η στάθμη της θάλασσας μπορεί να αυξηθεί από 9 έως 48 εκ. σύμφωνα με ένα "σενάριο όπου οι εκπομπές διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα" και από 16 έως 69 εκ. σύμφωνα με ένα "σενάριο όπου οι εκπομπές φθάνουν σε υψηλά επίπεδα".
- Υποχώρηση των παγετώνων στους πόλους της γης. Συγκεκριμένα για τη Γροιλανδία η τήξη των παγετώνων μπορεί να προκληθεί από μια αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 2 έως 3°C.
- Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, τυφώνες, και καύσωνες αναμένεται να ενταθούν.
- Το ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στην ατμόσφαιρα το 2005 (379 ppm) υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά όρια των τελευταίων 650.000 ετών

(180 - 300 ppm) Η κυριότερη πηγή αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων.

- Μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα νερού θα αυξηθεί κατά 10-40% στα υψηλότερα υψόμετρα και σε ορισμένες τροπικές περιοχές, ενώ θα μειωθεί κατά 10-30% σε ξηρές περιοχές σε μέσο υψόμετρο. Ο αριθμός των άνυδρων περιοχών αναμένεται να αυξηθεί, όπως και ο κίνδυνος πλημμύρων.
- Περίπου 20-30% της γνωστής χλωρίδας και πανίδας είναι πιθανό να γνωρίσει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα.

Εκτός από τα παραπάνω αέρια του θερμοκηπίου που όπως ειπώθηκε συντελούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με τις συνέπειες που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και οι λεγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι οι οποίοι αλλοιώνουν τη δομή, τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται από τα πλοία είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS). Οι ρύποι αυτοί είναι υπεύθυνοι μεταξύ άλλων για το φαινόμενο της όξινης βροχής. Κατά το φαινόμενο αυτό ποσότητες κυρίως θεικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες με τη βροχή, το χιόνι και την ομίχλη με καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και σε κτίρια και μνημεία. Επίσης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Στην εργασία αυτή έχει γίνει εκτενής αναφορά στις επιπτώσεις αυτές.

Η κύρια εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Για τη ναυτιλία, μπορούμε να πούμε ότι οι ετήσιες εκπομπές από τον παγκόσμιο εμπορικό στόλο έχουν φθάσει στους 1.019 εκατομύρια τόνους CO_2 , ή σχεδόν 3.3% όλων των παγκόσμιων εκπομπών του κύριου αερίου του θερμοκηπίου. Σε αυτό το σημείο όμως είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι η ναυτιλία παράγει τρεις έως πέντε φορές λιγότερο CO_2 από τις οδικές και τις σιδηροδρομικές μεταφορές και μεταξύ είκοσι με τριάντα φορές λιγότερο από τις αεροπορικές μεταφορές κατά την μεταφορά ενός τόνου φορτίου ανά ένα χιλιόμετρο. Μέσα από παραδείγματα που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2 φαίνεται η μειωμένη εκπομπή του CO_2 από τα πλοία. Αξίζει να σημειωθεί ότι εκτεταμένες έρευνες έχουν αρχίσει να γίνονται από το 2000 και ύστερα. Σε όλες τις έρευνες αυτές εξάγεται το εξής συμπέρασμα: η ναυτιλία αν και αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του εμπορίου καθώς σε αυτήν αντιστοιχεί το 90% περίπου του παγκόσμιου εμπορίου εκπέμπει τη λιγότερη ποσότητα CO_2 ανά τόνο x χιλιόμετρο σε σύγκριση με τις αεροπορικές και οδικές μεταφορές. Βέβαια ελλείψει κανονισμών σχετικά με τη μείωσή τους οι εκπομπές CO_2 από τα πλοία αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον. Γι αυτό τον λόγο γίνονται συζητήσεις από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος

(MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και αναμένεται μέσα στο 2009 να παρουσιαστούν συμπεράσματα και τρόποι μείωσης τους.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου (SO_2) από τα πλοία συνδέονται άμεσα με την περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα ναυτιλίας που χρησιμοποιούνται στις κύριες και βοηθητικές μηχανές των πλοίων. Προβλέπεται ότι οι εκπομπές θείου (S) το 2010 από τη διεθνή ναυτιλία θα ανέρχονται σε 1,6 εκατομμύρια τόνους, ένα νούμερο αρκετά μικρό σε σύγκριση με τις εκπομπές των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και των κρατών που δεν ανήκουν σε αυτήν. Από τη προσπάθεια καταγραφής των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO_2) από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο συμπεραίνουμε ότι στην Αμερική και συγκεκριμένα το λιμάνι του Λος Άντζελες, είναι εκείνο που συντελεί σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης στην Ευρώπη τα ωκεανοπόρα σκάφη (ocean-going vessels) συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές του διοξειδίου 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. Επιπλέον στην Ασία και συγκεκριμένα στην Ιαπωνία στην Κορέα και στην Σιγκαπούρη οι εκπομπές (SO_2) είναι σημαντικές. Για τον λόγο αυτό έχουν γίνει τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78. Συγκεκριμένα το όριο περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων θα μειωθεί αρχικά σε 3,50% (από το τρέχον 4,50%) από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σε 0,50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020. Επίσης από την 1η Μαρτίου 2010 τα εφαρμόσιμα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου (SECAs) θα μειωθούν στο 1,00%, (από τα τρέχοντα 1,50 %) και στο 0,10%, από την 1η Ιανουαρίου 2015.

Ένα μεγάλο μέρος των ρύπων συμπεριλαμβανομένων και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) 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 2,6 εκατομμύρια τόνους το έτος 2000. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι ενώ οι εκπομπές τόσο του NO_x όσο και του SO_2 που οφείλονται στα επίγεια μέσα μεταφοράς (οδικές μεταφορές) το έτος 2000 μειώθηκαν σε σχέση με το έτος 1990, κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε για τις εκπομπές αυτές από τα πλοία. Αυτό οφείλεται στις οδηγίες (directives) που έχει εκδώσει μεταξύ άλλων η Ευρωπαϊκή Ένωση για τα πρότυπα εκπομπής που πρέπει να έχουν τα επίγεια μέσα μεταφοράς. Η τάση όμως της Ευρωπαϊκής Ένωσης να περιορίσει τις εκπομπές των ρύπων θα οδηγήσει στο άμεσο μέλλον την έκδοση οδηγιών (directives) που θα αφορούν και τα θαλάσσια μέσα μεταφοράς. Από τη προσπάθεια καταγραφής των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο συμπεραίνουμε ότι στην Αμερική και

συγκεκριμένα στο λιμάνι του Λος Άντζελες, η Βόρεια θάλασσα, η θάλασσα της Μάγχης και η δυτική Μεσόγειος παίζουν σημαντικό ρόλο στις εκπομπές NOx. Για τον λόγο αυτό έχουν γίνει τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78. Συγκεκριμένα θεσπίστηκαν αυστηρότερα όρια εκπομπής οξειδίων αζώτου για τις νέες μηχανές ανάλογα με την ημερομηνία της εγκατάστασής τους καθώς και νέα όρια NOx για τις υπάρχουσες μηχανές.

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις εντοπίζονται κυρίως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων. Στην περίπτωση αυτή οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds) είναι μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο) που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα κυρίως κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου. Υψηλές τιμές καταγράφονται στον Ινδικό Ωκεανό κυρίως καθώς στις εκεί Αραβικές χώρες γίνεται φόρτωση πετρελαίου από τα Crude Oil Tankers. 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). Γι αυτό τον λόγο έχει θεσπιστεί ο ISGOTT ο οποίος είναι ένας οδηγός που ρυθμίζει τον ασφαλή χειρισμό και μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου (crude oil) καθώς και των παραγωγών του σε πλοία Tankers καθώς και στους τερματικούς σταθμούς και λιμάνια. Τέλος να αναφέρουμε ότι γενικά οι εκπομπές VOCs από τα πλοία δεν είναι υψηλές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εκπομπές (NOx, SO₂, CO₂, PM) στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ίσως γι' αυτόν τον λόγο να μην έχουν γίνει αρκετές έρευνες για τις πτητικές οργανικές ενώσεις που προέρχονται από τα πλοία μιας και η συνεισφορά τους είναι πολύ μικρότερη από τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς.

Το όζον είναι αέριο του θερμοκηπίου που συντελεί στις κλιματικές αλλαγές αφού αυξάνει την μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Αντίθετα όμως από τα NOx και το SO₂ τα οποία εκπέμπονται άμεσα από τα πλοία, το όζον (O₃) δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Στην ουσία είναι προϊόν της φωτόλυσης του διοξειδίου αζώτου (NO₂). Επίσης να σημειώσουμε ότι η παρουσία VOCs έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα με την οποία το NOx διαμορφώνει το όζον. Λόγω της έλλειψης αρκετών στοιχείων δεν είναι δυνατή μια πλήρης καταγραφή των εκπομπών όζοντος από τα πλοία. Το μόνο σίγουρο είναι ότι στις ευρύτερες περιοχές των λιμένων υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matters) που παράγονται από τα πλοία δημιουργούνται κατά την καύση. Ένα μικρό μέρος του άνθρακα δεν προλαβαίνει να καεί, σχηματίζοντας έτσι αιθάλη, μέσω πολύπλοκων διεργασιών πυρόλυσης, πολυμερισμού και μερικής οξειδωσης. Τα πολύ μικρά σωματίδια αιθάλης, που δημιουργούνται κατά την καύση, λειτουργούν ως πυρήνες συσσωμάτωσης, δημιουργώντας έτσι τα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές

αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνονται με την αύξηση του φορτίου της μηχανής του πλοίου καθώς και με την αύξηση της περιεκτικότητας σε θείο (S) των καυσίμων. Η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ έχουν συνήθως διάμετρο 2,5 μm ή 10 μm .

Εκτός από το Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 και τις τροποποιήσεις που έγιναν τον Οκτώβριο 2008 σχετικά με τις εκπομπές των πλοίων, υπάρχουν και ορισμένες οδηγίες και κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν τις εκπομπές πλοίων. Η σημαντικότερη από αυτές είναι η οδηγία 2005/33/EC η οποία σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων των πλοίων. Δεν είναι όμως μόνο οι κανονισμοί που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Υπάρχουν και ορισμένες τεχνολογίες και μέθοδοι που συντελούν σε αυτό. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε το καταλυτικό μοριακό φίλτρο (katalyzed particular filter), η επανακυκλοφορία αερίου εξάτμισης (Exhaust Gas Recirculation), οι καταλύτες απορρόφησης NO_x, η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction, SCR), η μέθοδος σύλληψης και αποθήκευσης CO₂ (CO₂ capture and storage, CGS), οι κυψέλες καυσίμων (fuel cells), η χρήση της πυρηνικής ενέργειας, η ηλεκτροδότηση πλοίου από τη στεριά και ο δείκτης CO₂. Ορισμένες από αυτές εφαρμόζονται ήδη σε πλοία, άλλες αναμένεται να εφαρμοστούν, άλλες είναι ακόμα υπό έρευνα και άλλες έχουν απορριφθεί. Επίσης η χρήση βιοκαυσίμων ίσως συντελέσει στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Βέβαια λόγω μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, υπάρχει η τάση στο να χρησιμοποιηθούν βιοκαύσιμα δεύτερης και τρίτης γενιάς.

Στην εργασία αυτή πέρα από την προσπάθεια ανάλυσης και επίδρασης των εκπομπών από τα πλοία, έχουν διατυπωθεί και ορισμένες σκέψεις για το πώς οι κλιματικές αλλαγές επηρεάζουν τη ναυτιλία. Συγκεκριμένα η τήξη των πάγων στην περιοχή της Αρκτικής δημιουργεί νέες θαλάσσιες οδούς κυρίως μέσω του Βορειοδυτικού Περάσματος. Μέσα από παραδείγματα φαίνεται η εξοικονόμηση χρόνου και κόστους καυσίμου χρησιμοποιώντας τις νέες θαλάσσιες οδούς. Επιπλέον οι καιρικές αλλαγές που εντείνονται λόγω των κλιματικών αλλαγών ενδέχεται να επηρεάσουν άλλοτε αρνητικά και άλλοτε θετικά τη ναυτιλία. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υποδομή των λιμανιών από την μία μεριά και από την άλλη να παράσχει τη δυνατότητα στα λιμάνια να δέχονται πλοία με μεγαλύτερο βύθισμα. Η αύξηση της έντασης των ανέμων θα δημιουργήσει προβλήματα στην πλεύση των πλοίων αφού θα αυξηθεί η αντίσταση λόγω του ανέμου. Μέσα από παραδείγματα γίνεται κατανοητή η δυσκολία πλεύσης των πλοίων. Η δράση των κυμάτων και κυρίως των λεγόμενων freak waves παίζουν αρνητικό ρόλο στη πλεύση των πλοίων αφού δεν είναι λίγα εκείνα τα πλοία που έχουν υποστεί ζημιές ή ακόμα και να βυθιστούν εξαιτίας των. Επίσης η κλιματική αλλαγή έχει συντελέσει και στην αλλαγή του εξοπλισμού του πλοίου. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε την αλλαγή στο σύστημα πυρόσβεσης του πλοίου

και την χρήση διαφορετικών ψυκτικών μέσων. Τέλος δεν θα πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι εξαιτίας της θέρμανσης της γης ορισμένοι οργανισμοί θα μπορέσουν να μεταναστεύσουν από μόνοι τους σε νέες περιοχές όπου αυξήθηκε η θερμοκρασία τους. Αυτό σημαίνει ότι το έρμα των πλοίων που μεταφέρεται από περιοχή σε περιοχή και μεταφέρει τέτοιους οργανισμούς δεν θα χρειάζεται στο μέλλον να υπόκεινται σε αυστηρότερους κανονισμούς σχετικά με τους οργανισμούς αυτούς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (1)

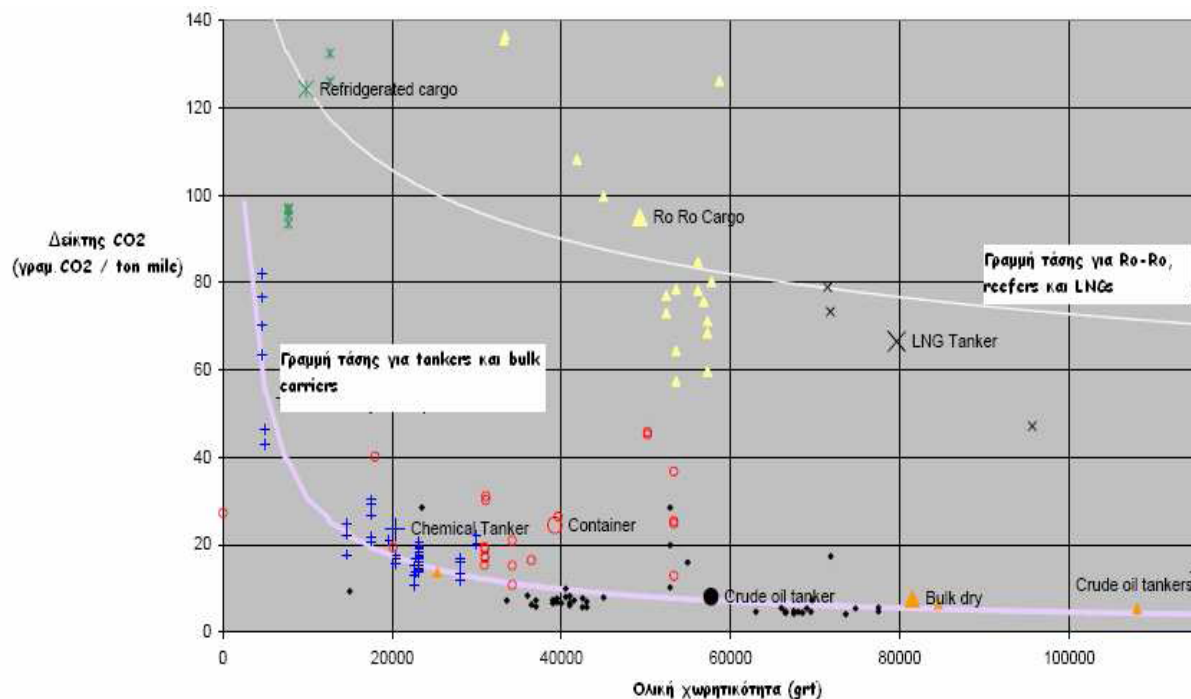
Σε μελέτη που εκπονήθηκε για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2007 με τίτλο “Greenhouse gas emissions from shipping and implementation guidance for the Marine Fuel Sulphur Directive”, παρουσιάζονται, αποτελέσματα δοκιμών υπολογισμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε πλοία και προτείνονται βελτιώσεις στη χρήση του δείκτη CO₂ Transport Efficiency Index του IMO. Να σημειώσουμε ότι ο δείκτης αυτός θα μετονομαστεί σε Energy Efficiency Design Index (EEDI) και ένας νέος τρόπος υπολογισμού του βασισμένος σε ένα νέο μοντέλο θα παρουσιαστεί στο Λονδίνο 9 με 13 Μαρτίου 2009 στο πλαίσιο συνάντησης της ομάδας του IMO που ασχολείται με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία.

Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του διοξειδίου του άνθρακα προς το παραγόμενο μεταφορικό έργο και αποτελεί ένα μέσο χαρακτηρισμού της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των πλοίων. Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης αντλήθηκαν πληροφορίες από 364 πλοία. Τα bulk carriers αντιπροσωπεύονται με πολύ μικρό αριθμό πλοίων ενώ απουσιάζουν οι κατηγορίες των δεξαμενόπλοιων προϊόντων πετρελαίου, LPGs και φορτηγών γενικού φορτίου, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 1: Αποτελέσματα έρευνας IMO σχετικά με τον δείκτη CO₂ για 364 πλοία

Τύπος πλοίου	Μέσος όρος δείκτη CO ₂ (γραμμάρια CO ₂ / τόνο x ν. μίλι)	Μέση ολική χωρητικότητα (κοχ)	Αριθμός πλοίων
LNG tanker	66,5	79.652	3
Chemical tanker	23,5	20.311	49
Crude oil tanker	8,0	57.703	46
Bulk carrier	7,6	81.519	4
Container ship	96,5	40.021	23
Reefer cargo ship	124,3	9.850	11
Ro Ro cargo ship	94,9	49.294	29
Ro Ro passenger ship	9,379 (ανά όχημα x ν. μίλι)	2.894	199

Το μεταφορικό έργο των πλοίων ορίζεται ως η ποσότητα ή όγκος του φορτίου που μεταφέρθηκε προς την απόσταση που διανύθηκε. Για τα φορτηγά πλοία εκφράζεται σε μετρικούς τόνους, για τα δεξαμενόπλοια σε κυβικά μέτρα, για τα πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια σε TEUs, κλπ.



Σχήμα 1

Γραφική παράσταση του δείκτη CO₂ συναρτήσει της ολικής χωρητικότητας

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της μελέτης αυτής συνοψίζονται στη συνέχεια :

- Υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του μέσου όρου του δείκτη CO₂ και του μέσου μεγέθους των πλοίων που μεταφέρουν χύδην υγρά και ξηρά φορτία. Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται δύο γραμμές αναφοράς πάνω στις οποίες συγκεντρώνονται με μικρή ή μεγάλη απόκλιση οι δείκτες δύο ομάδων πλοίων α) δεξαμενόπλοιων και φορτηγών χύδην φορτίων και β) Ro-Ro, πλοίων ψυγείων και LNGs.
- Τα πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια εμφανίζουν ελαφρά μεγαλύτερο δείκτη. Τα μεγάλα Ro-Ro επιβατηγά πλοία, ολικής χωρητικότητας μεγαλύτερης από 20.000 κοχ., υπολογίζεται ότι εκπέμπουν από 400 – 1.300 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα και τόνο μίλι, περίπου 4 φορές περισσότερο από τα πλοία που έχουν τις χαμηλότερες εκπομπές. Οστόσο αν θεωρούσαμε ότι κάθε όχημα αντιπροσώπευε μάζα ενός τόνου τότε ο δείκτης θα ήταν εξαιρετικά χαμηλός (1 γραμ. διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο μίλι).

- Καταγράφηκαν σημαντικές διακυμάνσεις του δείκτη σε αδελφά πλοία. Δοκιμές σε 15 χημικά δεξαμενόπλοια που κατασκευάστηκαν στο ίδιο ναυπηγείο ίδιου μεγέθους, σχεδίασης και ιπποδύναμης πρόωσης που διαχειρίζονται από την ίδια εταιρία έδειξαν διαφορές της τάξης του 33%.
- Ενώ ο δείκτης CO₂ Transport Efficiency είναι γενικά χρήσιμος, δε βοηθά στην ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από το πλοίο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ταξιδιού με ή υπό έρμα.
- Σε περιπτώσεις πλοίων που φορτώνουν και εκφορτώνουν αντίστοιχα σε πολλά λιμάνια μέχρι να ολοκληρωθεί ένας κύκλος ταξιδιού, ο υπολογισμός του δείκτη είναι προτιμότερο να γίνεται σε κάθε τμήμα του ταξιδιού και όχι συνολικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

(1) IPCC, 2001: “Summary for Policymakers, Climate Change 2001: Mitigation, A Report of Working Group III of Intergovernmental Panel on Climate Change”
<http://www.ipcc.ch/pub/wg3spm.pdf>

(2) Danny Harvey L. D., “Global Warming-The Hard Science”, Pearson Education Limited, 2000

(3) IPCC Climate Change: Working Group I: The Scientific Basis :.
Intergovernmental Panel on Climate Change 2001

(4) Richard A. Kerr, Science vol. 309, 5731, July 2005

(5) <http://www.physics4u.gr/> Η φυσική στο διαδίκτυο

(6) 4^η έκθεση της IPCC , Chapter 4 atmospheric chemistry and greenhouse gases 2007

(7) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007

(8) World Resources Institute, Navigating the numbers, based on data from IEA, EIA, Marland et al, and BP.

(9) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 2 2007

(10) World Carbon Dioxide Emissions from the Consumption and Flaring of Fossil Fuels, 1990-1999, US Department of Energy 2000

(11) Ελληνική Δημοκρατία, ΥΠΕΧΩΔΕ, «Κλιματική Αλλαγή», Εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου, Αθήνα 2002.

- (12) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 3 2007
- (13) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 3 2007
- (14) <http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>
- (15) Καραθανάσης Στ. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- (16) http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/Tropo_o3.doc
- (17) <http://users.ntua.gr/apdlidar/Kefalaio3.pdf>
- (18) <http://www.minagric.gr/Greek/data/ZEREFOS2.DOC>
- (19) H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan (2006). Livestock's long shadow -- Environmental issues and options. Retrieved on 2008-02-02.
- (20) Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis :. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved on 2008-02-02.
- (21) Sources and Emissions -- Where Does Nitrous Oxide Come From?. U. S. Environmental Protection Agency (2006).
- (22) Lerner & K. Lee Lerner, Brenda Wilmoth. Environmental issues : essential primary sources.". Thomson Gale. (2006)
- (23) Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 2007
- (24) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 2 2007

(25) IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 3 2007

(26) IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 2 2007

(27) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 3 2007

(28) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 2 2007

(29) IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

(30) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

(31) IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of

the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

(32) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

(33) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

(34) Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability σελ. 3 2007

(35) Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability σελ 12 2007

(36) Climate Change 2001: The Scientific Basis - "Summary for policymakers". A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001

(37) ΕΑΑ, Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών, Κλιματική αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο Ανάλυση παρατηρήσεων: τάσεις των τελευταίων 100 ετών, Αθήνα 2005

(38) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 18 2007

(39) "Vanishing kingdom - the melting realm of the polar bear". WWF International, May 2002

(40) ιστοσελίδα του WWF για τις κλιματικές αλλαγές
http://climate.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=12

3

- (41) Καραθανάσης Στ. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- (42) Καραθανάσης Στ. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- (43) http://www.gsrt.gr/default.asp?MARK_SEARCH=YES&SEARCH_ID=s1&V_ITEM_ID=3690
- (44) Καραθανάσης Στ. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- (45) http://www.gsrt.gr/default.asp?MARK_SEARCH=YES&SEARCH_ID=s1&V_ITEM_ID=3690
- (46) http://www.gsrt.gr/default.asp?MARK_SEARCH=YES&SEARCH_ID=s1&V_ITEM_ID=3690
- (47) Καραθανάσης Στ. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
- (48) <http://en.wikipedia.org/>
- (49) HELMEPA NAVIGATOR Τεχνικό Δελτίο Τεύχος 27 (02/2008)
- (50) Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships. International Maritime Organization by the consortium run by MARINEK in partnership with Det Norske Veritas, Econ Centre for Economic Analysis, and Carnegie Mellon University. (2000)
- (51) The guardian
<http://www.guardian.co.uk/environment/2007/mar/03/travelsenvironmentalimpact.transportintheuk> (03/2007)
- (52) Global Warming Pollution from Ships Must be Regulated, Άρθρο στο Oceana protecting the world's oceans (2007)
- (53) Effects of ship emissions on sulphur cycling and radiative climate forcing over the ocean Spyros N. Pandis Departments of Chemical Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213, USA (2001)

(54) Global Climate Change Effects From Ozone from Ships. International Maritime Organization by the consortium run by MARINEK in partnership with Det Norske Veritas, Econ Centre for Economic Analysis, and Carnegie Mellon University. (2000)

(55) Natural Resources Defence Council, “Air pollution FAQ” (Based on BREATH-TAKING : Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

(1) www.agu.org AGU: American Geophysical Union. Earth - Oceans - Atmosphere - Space – Planets

(2) Άρθρο του Doney, Scott C.; Naomi M. Levine με τίτλο How Long Can the Ocean Slow Global Warming? Δημοσιεύτηκε στην ιστοσελίδα www.whoi.edu/oceanus (2007)

(3) Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc.ch, July 2003

(4) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 2 2007

(5) <http://cdiac.ornl.gov>

(6) <http://www.greenpeace.org/greece/news/25727>

(7) <http://el.wikipedia.org>

(8) Updated Study on Greenhouse Gas emissions from Ships. Presented to First Intersessional Meeting of the Working Group on GHG Emissions from Ships, June 24 2008

(9) Έκθεση του IMO (International Maritime Organization). IMO’s response to current environmental challenges. (2007)

(10) Αναφορά της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), International Energy Agency, World Energy Outlook (2006)

(11) Climate Change and Shipping ECSA Position Paper, 2008

- (12) Stern Review on the Economics of Climate Change, October 2006
- (13) Emission from international sea transportation and environmental impact, Øyvind Endresen and Eirik Sjørgard, DNV, 2003
- (14) SHIP EMISSIONS STUDY Prepared by: National Technical University of Athens Laboratory for Maritime Transport, May 2008
- (15) <http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm/newsid/50578/story.htm>
- (16) http://www.iso.org/iso/iso_catalogue
- (17) 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
- (18) Port-Wide Baseline Air Emissions Inventory, Executive Summary
<http://www.westcoastdiesel.org>.
- (19) Air Resources Board Adopts Measures to Reduce Emissions from Goods Movement Activities”, <http://www.arb.ca.gov/newsrel/nr120805.htm>.
- (20) Directive 2005/33/EC of the European Parliament
- (21) 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
- (22) http://www.worldroom.com/pages/shippingnews/marine_pollution
- (23) “FY2004 Report by the Study Committee on Countermeasures for Marine Emissions and Other Air Pollutions,” a report by the Air Preservation Section, Environmental Improvement Division, TMG Bureau of Environment, March 2005
- (24) Bunkering Conference Hong Kong September 2005
- (25) Bunkering Conference Hong Kong September 2005
- (26) Significant Marine Source for SO₂ levels in Hong Kong,” written by Alexis Kai-Hon Lau, Wai Man Wu, Jimmy C-H Fung, Ronald Henry and Bill Barron, submitted to Atmospheric Environment, April 2005

- (27) <http://www.lloydlist.com/ll/news/viewArticle.htm?articleId=20017543473>
- (28) <http://airlab.edu.gr/htm/so2.htm>
- (29) <http://www.enviroliteracy.org/article.php/2.html>
- (30) <http://utopia.duth.gr/~ad5286/>
- (31) <http://ysma.culture.gr/sintirisi/genika.htm#1>
- (32) www.pontokomi.com/ripoi.doc
- (33) European Commission, November 1997. Air Quality: nitrogen dioxide, Position paper
- (34) 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
- (35) The Network for Transport and Environment, 2003 www.ntm.a.se
- (36) Port-Wide Baseline Air Emissions Inventory, Executive Summary <http://www.westcoastdiesel.org>.
- (37) Air Resources Board Adopts Measures to Reduce Emissions from Goods Movement Activities”, <http://www.arb.ca.gov/newsrel/nr120805.htm>.
- (38) HELCOM MARITIME, Emission from ships study, 2004
- (39) Legal and Regulation Challenges for Reducing Emissions from Goods Transport in China Institute of Environmental Science and Engineering Tsinghua University, Beijing, 2005
- (40) Legal and Regulation Challenges for Reducing Emissions from Goods Transport in China Institute of Environmental Science and Engineering Tsinghua University, Beijing, 2005
- (41) Fu Qingyan, The Status Quo and Share Responsibility of NO_x Pollution in Shanghai, 1998
- (42) Marine Emission Reduction Options For Hong Kong and the Pearl River Delta Region, Caitlin Gall & Marcos Van Rafelghem, Civic Exchange, 2006

- (43) Hong Kong merchant shipping information note, MARPOL annex VI and its implementation in Hong Kong
- (44) <http://airlab.edu.gr/htm/no2.htm>
- (45) <http://airlab.edu.gr/htm/no2.htm>
- (46) Ανακοίνωση της Επιτροπής στο συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, Θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση, {SEC(2005) 1132}
- (47) www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1707&Itemid=82
- (48) http://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound
- (49) Emission from international sea transportation and environmental impact, Øyvind Endresen and Eirik Sjørgard, DNV, 2003
- (50) Helmepe Navigator, Τεχνικό Δελτίο, τεύχος 14, 2007
- (51) http://www.witherbyseamanship.com/pages/product/product.asp?item_sefcode=is_gott&cookie%5Ftest=1
- (52) <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994L0063:EL:HTML>
- (53) <http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>
- (54) Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships, Final Report to the International Maritime Organization, 2000
- (55) Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships, Final Report to the International Maritime Organization, 2000 based in National Research Council, 1991
- (56) http://www.nilu.no/web/apnee/greech/about_airpollution.html
- (57) Environmental Protection Agency's (EPA) Office of Research and Development (ORD), "Air Quality Criteria for Particulate matter", 1996
- (58) Wark K., Warher C.F., Davis W.T., "Air pollution: its origin and control", Addison Wesley Longman, 1998

- (59) E.Manahan Stanley, “Environmental chemistry”, 5th edition, Lewispublishers, USA, 1991
- (60) De Nevers Noel, “Air pollution control engineering”, Mc Graw Hill, USA, 1995
- (61) Chow Judith C., “Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles”, J. Air & Waste Management Assoc., 1995
- (62) American Chemical Society 2007
- (63) Technical working group on particles (by European Commission), “Ambient air pollution by particulate matter-Draft position paper”, version 4.0, 1996
- (64) Natural Resources Defence Council, “Air pollution FAQ” (Based on BREATH-TAKING : Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council)
- (65) Kleeman M. J., Cass G.R., “Identifying the effect of individual emissions sources on particulate air quality within a photochemical aerosol processes trajectory model”, Atmospheric Environment, 1999
- (66) Robert Jennings Heinsohn, Robert Lynn Kobel, Sources and Control of air Pollution, Prentice Hall, 1999
- (67) Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., “Τεχνολογία καυσίμων και λιπάντικων”, Αθήνα, 1993
- (68) Primary particles in ship emissions, Swedish Environmental Research Institute, 2007
- (69) <http://www.particulatepollutionFAQnrdc.htm>
- (70) Mage D., Wilson W., Hasselblad V., Grant L., “Assessment of human exposure to ambient particulate matter”, Journal of the Air and Waste Management Association, 49(1999)
- (71) U.S. Environmental Protection Agency, “Information on Particulate Matter ”, 1997

(72) “Particulate matter in the atmosphere: which properties are responsible for its effects on health”, The science of the total environment, Harrison R.M., Yin. J, 2000

(73) De Nevers Noel, “Air pollution engineering”, McGraw Hill, USA, 1995

(74) <http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

(1) <http://en.wikipedia.org>

(2) <http://en.wikipedia.org>

(3) <http://www.arctic-council.org>

(4) <http://nsidc.org/arcticseaicenews>, National Snow and Ice Data Center, (NSIDC) Colorado

(5) http://climate.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=135

(6) www.newscientist.com

(7) Report of PIANC (International Navigation Association) EnviCom Task Group 3: Climate change and navigation, 2008

(8) http://www.esa.int/esaEO/SEMYTC13J6F_planet_0.html

(9) <http://www.arctic-council.org>

(10) <http://www.inout.gr/showthread.php?t=16435>

(11) <http://www.arctic-council.org>

(12) <http://exandas.ert.gr/>

(13) <http://www.inout.gr/showthread.php?t=16435>

(14) Ναυτιλιακή εταιρεία Laskaridis Shipping Co.

(15) Arctic Marine Shipping Assesment (amsa) of the Arctic Council, Lawson W. Brigham, 2008

(16) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, σελ. 5 2007

- (17) IPCC, Horton et al., 2008
- (18) http://en.wikipedia.org/wiki/Port_of_Rotterdam
- (19) <http://www.maritimemarket.ru/eng/murmansk.phtml>
- (20) www.portofchurchill.ca
- (21) [http://www.cruisebaltic.com/media\(1071,1033\)/Oslo.pdf](http://www.cruisebaltic.com/media(1071,1033)/Oslo.pdf)
- (22) <http://www.hafen-hamburg.de/content/view/418/449/lang,en/>
- (23) <http://www.portofantwerp.com>
- (24) IPCC , Haugen και Iversen, 2008
- (25) Report of PIANC (International Navigation Association) EnviCom Task Group 3: Climate change and navigation, 2008
- (26) Σημειώσεις Αντίστασης πλοίου, Γ. Πολίτη, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005
- (27) Ναυτιλιακή εταιρεία Dioryx Maritime Co.
- (28) Ναυτιλιακή εταιρεία OVERSEAS SHIPHOLDING GROUP Co.
- (29) 4^η έκθεση της IPCC : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], 2007
- (30) <http://www.physics4u.gr/news/2006/scnews2541.html>
- (31) http://www.dnv.co.kr/publications/oilgas_news/by_subject/health_safety_and_environment/changing_weather_conditions_and_the_effect_on_offshore_installations.asp
- (32) <http://www.physics4u.gr/news/2006/scnews2541.html>
- (33) Pentow Marine Salvaging Co., SA
- (34) Freak waves, rogue waves, extreme waves and ocean wave climate, Kristian B. Dysthe, Department of Mathematics, University of Bergen, Norway
- (35) Rates and Mechanisms of Climate Change: Implications for Ports and Harbours, A.G Dawson, University of Aberdeen, World Maritime University (WMU), 2008

(36) Ψυκτικές Μηχανές και Εγκαταστάσεις, Κουρεμένος, τακτικός καθηγητής ΕΜΠ, 2001

(37) Projected Distribution of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America, David L. Strayer

(38) Projected Distribution of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America, David L. Strayer

(39) http://web2.uwindsor.ca/courses/biology/macisaac/pages/male_complete.htm

(40) www.globallast.imo.org

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

(1) http://en.wikipedia.org/wiki/Euro_V

(2) <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28131.htm>

(3) <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28131.htm>

(4) <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l21050.htm>

(5) www.elsevier.com/locate/oceaneng

(6) Reduction of particulate matter and gaseous emission from marine diesel engines using a catalyzed particulate filter by Cherng-Yuan Lin 2002

(7) Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles, Manufacturers of Emission Controls Association, 2007 www.meca.org

(8) www.elsevier.com/locate/ijggc , a model for the CO₂ capture potential, 2007

(9) International journal of gas control, www.elsevier.com/locate/ijggc

(10) Carbon capture and storage: climate impacts, Stone, E. J., Lowe, J.A., Shine, K.P. (2009). The impact of carbon capture and storage on climate. *Energy & Environmental Science*. 2: 81-91

(11) HELMEPA NAVIGATOR, Τεχνικό Δελτίο, τεύχος 34, 2008

(12) <http://www.mediashipping.gr/?q=node/1693>

(13) <http://www.physics4u.gr/energy/biofuels.html>

(14) Οδηγία 2003/30/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 8ης Μαΐου 2003 σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές

(15) www.eea.eu.int Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

- (16) Βιοκαύσιμα και διυλιστήρια, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)
- (17) Lee, J., Biological Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol, J. Biotechnology, 1997
- (18) Διάλεξη του Miguel Altieri, Καθηγητής Αγροτικής Οικολογίας στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, 2008
- (19) Βιοκαύσιμα και διυλιστήρια, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)
- (20) Πρακτικά της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των ΗΠΑ, έρευνα πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας-Λος Άντζελες υπό τον Τζέιμς Λιάο, 2008
- (21) <http://www.shortseashipping.no/?nid=13278&lcid=1033>
- (22) <http://www.lr.org/NR/rdonlyres/97FD9CBD-9993-482B-BB5F-3769BEB88357/78767/StanleyGrayspeechbyRichardSadler2304094.pdf>
- (23) http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- (24) http://www.cres.gr/energy_saving
- (25) http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- (26) http://www.dnv.in/publications/classification_news/3_2006/fuelcelltech.asp
- (27) <http://el.wikipedia.org/>
- (28) <http://el.wikipedia.org/>
- (29) <http://www.e-telescope.gr/>
- (30) <http://el.wikipedia.org/>
- (31) http://www.eurocharity.org/article.php?article_id=3792
- (32) <http://www.e-telescope.gr/>
- (33) <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006H0339:EL:HTML>

The environmental impacts of increased international maritime shipping, Global Forum on transport and environment in a globalising world, Endresen and Eide, DNV, 10-12 November 2008

Improving Spatial Representation of Global Ship Emissions Inventories, Chengfeng Wang, James J. Corbett, and Jeremy Firestone *Environ. Sci. Technol.*, 2008

Understanding Shipboard Air Emissions Issues and Their Impact on Ship Design
Prepared for the American Bureau of Shipping, June 2008

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

(1) HELMEPA NAVIGATOR, Τεχνικό Δελτίο, τεύχος 20, 2007