



ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ:

**Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΟΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ**

Μερκούρης Χρήστος του Βασιλείου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κρασακοπούλου Ευαγγελία

Μυτιλήνη, Μάιος 2019, χρονολογία παρουσίασης Ιούνιος 2019

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποφοίτου του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας

Χρήστου Μερκούρη

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ:

**Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΟΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ**

Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης και Κρίσης της Εργασίας

Υπογραφές

Κρασακοπούλου Ευαγγελία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Βαγή Μαρία, Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Χασιώτης Θωμάς, Επιβλέπον Καθηγητής

Ευχαριστίες

Η σύνταξη της διπλωματικής αυτής εργασίας βασίστηκε σε εκτενή δευτερογενή έρευνα σε βιβλία, ακαδημαϊκά άρθρα, και ηλεκτρονικές πηγές, όλα σχετικά με τη ναυτιλία και το συγκεκριμένο θέμα των επιπτώσεων των θαλάσσιων μεταφορών στην ατμοσφαιρική – θαλάσσια ρύπανση του περιβάλλοντος. Οι πληροφορίες και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αξιολογήθηκαν και στη συνέχεια παρατέθηκαν συστηματικά, ώστε να συνταχθεί με οργάνωση, συνέπεια και συνοχή η διπλωματική αυτή εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου για τη βοήθεια και τη στήριξη που παρείχε κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και τα μέλη της Εξεταστική Επιτροπής για την έγκριση που έδωσαν, ώστε να προχωρήσω με το θέμα διπλωματικής εργασίας που επέλεξα. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου τόσο για τις γνώσεις που αποκόμισα από αυτούς, όσο για την ανάπτυξη της κριτικής μου σκέψης, στοιχεία που ήταν απαραίτητα για την εκπόνηση της εργασίας μου.

Ιδιαιτέρως θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα και τον πατέρα μου για την στήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών σε όλα τα επίπεδα αλλά και την εμπιστοσύνη που έχουν δείξει και συνεχίζουν να δείχνουν σε κάθε εγχείρημά μου μέχρι σήμερα.

Περίληψη

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να αναλύσει τις επιπτώσεις των θαλάσσιων μεταφορών στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Λόγω της περιεκτικότητας των ναυτικών καυσίμων σε θείο και άζωτο, η εκπομπή αυτών των ουσιών στην ατμόσφαιρα, συντελεί στη ρύπανσή της, καθώς είναι οι κύριοι ρύποι που τελικά καταλήγουν στη θάλασσα και συμβάλλουν στην επιτάχυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά και στη διεύρυνση της τρύπας του όζοντος, μεταξύ άλλων. Για τη μείωση των ρύπων από τα καύσιμα των πλοίων, των οποίων η συμμετοχή στην ρύπανση αναμένεται να αυξηθεί, λόγω της άνθησης του παγκοσμίου θαλάσσιου εμπορίου, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένες διατάξεις τόσο σε διεθνές επίπεδο (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός) (International Maritime Organization) (IMO), όσο σε κοινοτικό (Ε.Ε.) και εσωτερικό (ελληνική νομοθεσία). Στόχος των διατάξεων αυτών είναι η αισθητή μείωση της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο, το οποίο θεωρείται ως η κύρια αιτία ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Εστιάζεται επίσης στις **μεθόδους υπολογισμού της εκπομπής αερίων, μέσω της προσομοίωσης**. Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, οι ναυτιλιακές εταιρίες μπορούν επίσης να λάβουν μια σειρά από τεχνικά και λειτουργικά μέτρα, ενώ η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και βιοκαυσίμων αναμένεται να συντελέσει δυναμικά στη μείωση των ρύπων που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση.

Λέξεις-Κλειδιά: Ατμοσφαιρική Θαλάσσια ρύπανση, International Maritime Organization, Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, Τρύπα του Όζοντος, βιοκαύσιμα, εναλλακτικά καύσιμα

Abstract

The aim of this dissertation was to analyze the contribution of sea transportation in sea pollution. Because of sulphur and nitrogen that are contained in ship fossil fuels, their combustion causes air pollution, in the sense that the substances produced are mainly responsible for causing the Greenhouse effect, as well the expansion of the Ozone Hole. Finally, they pollute the sea. In order to reduce the effects of shipping dual emissions, which are expected to further increase, given the rapid growth in seaborne trade, certain directives have been developed within an international context (International Maritime Organization –IMO), as well as a community (European Union) and a domestic one (Greek shipping legislation). We refer also to ways to compute the pollution from ships, such as simulation.

Keywords: Air Sea pollution, International Maritime Organization, Greenhouse Effect, Ozone Hole, biofuels, alternative fuels Simulation

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

IMO: International Maritime Organization

NOx: Οξειδία του Αζώτου

CO: Μονοξείδιο του άνθρακα

VOCs: Πτητικές οργανικές ενώσεις

SO₂: Διοξείδιο του θείου

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

MARPOL: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

E.E.: Ευρωπαϊκή Ένωση

O.H.E.: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

O₃: Όζον

PAN: Νιτρικό υπεροξυακετύλιο

CH₄: Μεθάνιο

N₂O: Υποξείδιο του Αζώτου

A.E.Π.: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

CFC: Χλωροφθοράνθρακες

NO₂: Διοξείδιο του αζώτου

HNO₃: Νιτρικό οξύ

CH₃SCH₃: Διμεθυλοθειαιθέρας

HFO: Heavy Fuel Oil

MEPC: Marine Environment Protection Committee

SECAs: SO_x Emission Control Areas

LNG: Liquefied Natural Gas

CCS: Carbon Capture and Storage

EMSA: European Maritime Safety Agency

MDO: Marine Diesel Oil

MGO: Marine Gas Oil

DME: Dimethyl ether

MGO: Marine Gas Oil

SVO: Straight Vegetable Oil

IFO: Intermediate Fuel Oil

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract	iv
1. Εισαγωγή	1
1.1. Στόχοι Εργασίας.....	1
1.2. Διάρθρωση Εργασίας	2
2. Μεθοδολογία	3
3. Εξέλιξη της Ναυτιλίας	4
4. Ατμοσφαιρική Ρύπανση	5
4.1. Αέριες εκπομπές των πλοίων	6
4.2. Επιπτώσεις των αέριων εκπομπών στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	7
4.2.1 Επιπτώσεις του CO2	8
4.2.2 Επιπτώσεις του Αζώτου	11
4.2.3 Επιπτώσεις του Θείου	12
5. Αντιμετώπιση ρύπανσης.....	13
5.1. Στρατηγικές.....	13
5.1.1 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO).....	13
5.1.2 Το Παράρτημα VI της MARPOL.....	13
5.1.3 Πρωτόκολλο του Κιότο.....	14
5.1.4 Το ρυθμιστικό πλαίσιο της ΕΕ για την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία.....	15
5.1.5 Θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	17
5.2 Μεθοδολογία για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	17
5.2.1 Μεθοδολογία εκτίμησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα.....	17
5.2.2 Προσομοίωση.....	17
5.2.3 Κανονισμοί για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία	22
5.2.3.1 Ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (EEDI)	22
5.2.3.2 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου(Ship Energy Efficiency Management Plan).....	26

5.2.4 Δείκτης Αποδοτικής Ενεργειακά Λειτουργίας του πλοίου(EnergyEfficiency Operational Indicator ΕΕΟΙ) ...	29
5.3 Εφαρμογή Μέτρων.....	31
5.3.1 Τεχνολογικά μέτρα (CNSS, χ.χ. ,ΙΜΟ, 2009)	32
5.3.1.1 ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	35
5.3.1.2 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	35
5.3.1.3 ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	36
5.3.1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	37
5.3. 2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΙΑΚΑ ΜΕΤΡΑ.....	38
5.3.2.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΛΕΥΣΗΣ.....	39
5.3.2.2 ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΡΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΥΜΝΑΙΟΥ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ.....	40
5.3.2.3 ΧΑΡΑΞΗ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΒΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	41
5.3.3.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ.....	42
5.3.3.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ (ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ)	43
5.3.3.3 Φυσικό Αέριο.....	44
5.3.4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ.....	45
5.4 ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΤΡΑ.....	47
6. Συμπεράσματα	48
7. Βιβλιογραφία.....	51

1. Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των αέριων εκπομπών των πλοίων (π.χ. SOx, NOx, CO₂, σωματίδια PM) στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι στρατηγικές και μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για να περιοριστούν οι αέριες εκπομπές και οι επιπτώσεις που η εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών μπορεί να έχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον.

1.1.Στόχοι Εργασίας

Πιο συγκεκριμένα, η διπλωματική αυτή εργασία έχει τους ακόλουθους ερευνητικούς στόχους:

- Να διερευνήσει τη συμβολή και τις επιπτώσεις των θαλάσσιων μεταφορών στο παγκόσμιο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής – θαλάσσιας ρύπανσης.
- Να παρουσιάσει τις μεθόδους υπολογισμού των ρύπων που εκπέμπουν τα πλοία στην Ελλάδα και τις επιπτώσεις τους.
- Να καταγράψει το υφιστάμενο θεσμικό (ρυθμιστικό – οργανωτικό) πλαίσιο το οποίο αναφέρεται στον έλεγχο και τη ρύθμιση του ανωτέρω προβλήματος, σε παγκόσμιο, κοινοτικό και εθνικό επίπεδο (Ελλάδα).
- Να διατυπώσει σχετικά συμπεράσματα και εκτιμήσεις για το μέγεθος και τη σοβαρότητα του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της ναυτιλίας.

1.2.Διάρθρωση Εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 παρατίθεται η Εισαγωγή και η διάρθρωση της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 φαίνεται η Μεθοδολογία συγγραφής της διατριβής.

Το Κεφάλαιο 3 παραθέτει μια ιστορική αναδρομή αναφορικά με τις θαλάσσιες μεταφορές και την κίνηση των πλοίων, καθώς και την ιστορική εξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τα πλοία.

Το Κεφάλαιο 4 ασχολείται με αυτή καθαυτή την ατμοσφαιρική ρύπανση, προβάλλοντας πληροφορίες σχετικά με τα ποσοστά και τις συνιστώσες του σημαντικού αυτού παγκοσμίου προβλήματος και στις γενικές επιπτώσεις της δραστηριότητας των θαλάσσιων μεταφορών στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το Κεφάλαιο 5 παραθέτει τις Στρατηγικές (θεσμικό πλαίσιο) που διέπει τη μόλυνση της ατμόσφαιρας από τα πλοία, κάνοντας μνεία τόσο στις διατάξεις και συνθήκες του ΔΝΟ (ΙΜΟ), όσο και σε αυτές του Ο.Η.Ε., της Ε.Ε., αλλά και της Ελλάδας σε εσωτερικό-εθνικό επίπεδο καθώς επίσης καταγράφει μεθόδους, τεχνικές (δείκτες) που συμβάλλουν στην καταπολέμηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή τουλάχιστον στη μείωσή της σε ότι αφορά το ποσοστό που προκαλείται από τις μεταφορές των πλοίων και μέτρα που μπορούν να συμβάλουν σε αυτό το σκοπό.

Τέλος, το Κεφάλαιο 6 συνοψίζει τα ευρήματα της έρευνας, παραθέτει αυτά που προκύπτουν για τους φορείς ναυτιλίας και τις διοικήσεις των ναυτιλιακών εταιριών.

2. Μεθοδολογία

Η διπλωματική αυτή εργασία βασίστηκε σε δημοσιευμένες αξιόπιστες πηγές (δευτερογενή έρευνα), η οποία αναφέρεται στη συλλογή πληροφοριών και ερευνητικών δεδομένων από δευτερογενείς πηγές, όπως βιβλία, ακαδημαϊκά άρθρα, περιοδικά, εφημερίδες και ηλεκτρονικές πηγές-ιστοσελίδες, σχετίζονται με τη ναυτιλία οι οποίες συντελούν στην αξιοπιστία της έρευνας γενικότερα.

Αφού πραγματοποιήθηκε η συλλογή των πληροφοριών, επεξεργάστηκαν εκ νέου, ώστε να επιλεγθούν εκείνες που ήταν πιο αξιόπιστες και χρήσιμες για την έρευνα. Έπειτα, οι πληροφορίες κατηγοριοποιήθηκαν σε θεματικές ενότητες αντίστοιχες με το θέμα του κάθε κεφαλαίου της διπλωματικής εργασίας.

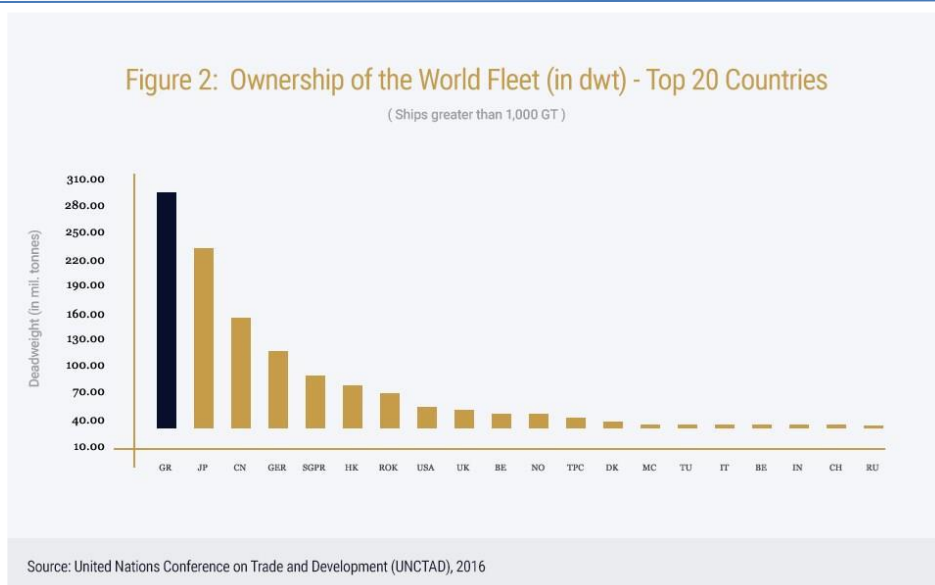
3. Εξέλιξη της Ναυτιλίας

Το 2012, υπολογίστηκε ότι ο παγκόσμιος στόλος της ναυτιλίας, υπολογιζόταν σε περίπου 50.000 πλοία, απασχολώντας περισσότερους από 1 εκατομμύριο εργαζόμενους, με αποτέλεσμα να την κατατάσσει στις σημαντικότερες βιομηχανίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Υπολογίστηκε μάλιστα ότι, το 90% του παγκοσμίου εμπορίου διακινείται με πλοία¹, ενώ το παγκόσμιο εμπόριο που διακινείται μέσω θαλάσσης αυξήθηκε από 8 δισεκατομμύρια MT που διακινούνταν το 1968, σε παραπάνω από 32 δισεκατομμύρια το 2008². Σε αυτό βοήθησε και η εξέλιξη του παγκοσμίου εμπορίου, καθώς επίσης μεταξύ άλλων η απελευθέρωση των εθνικών οικονομιών. Το 2012 η ανάπτυξη του παγκοσμίου εμπορίου που μεταφέρεται μέσω θαλάσσης, ήταν μεγαλύτερη ακόμη και από αυτήν της παγκόσμιας οικονομίας στο σύνολό της.

Όσον αφορά την χώρα μας, η υπό ελληνική μόνο σημαία ναυτιλία, παραμένει επί σειρά δεκαετιών στις κορυφαίες θέσεις των μεγαλύτερων ναυτιλιακών δυνάμεων του κόσμου, αφού διατηρεί την έβδομη θέση παγκοσμίως και την δεύτερη στην ευρωπαϊκή ένωση. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, το 2016 κατείχε 759 πλοία (άνω των 1000gt) χωρητικότητας 42.38 εκατομμύρια gt.

¹ Διεθνές Συμβούλιο Ναυτιλίας (International Chamber of Shipping).

² Διεθνές Συμβούλιο Ναυτιλίας (International Chamber of Shipping).



Εικόνα 1: Παγκόσμιος εμπορικός στόλος σε deadweight ³

³ United Nations Conference on Trade and Development 2016.

4. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Ατμοσφαιρική ρύπανση, αποκαλείται η εκπομπή ρύπων και ουσιών, η οποία οφείλεται σε διάφορες δραστηριότητες. Μετά την ομαδοποίησή τους, διαπιστώνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, ότι οφείλεται στις παρακάτω δραστηριότητες:⁴

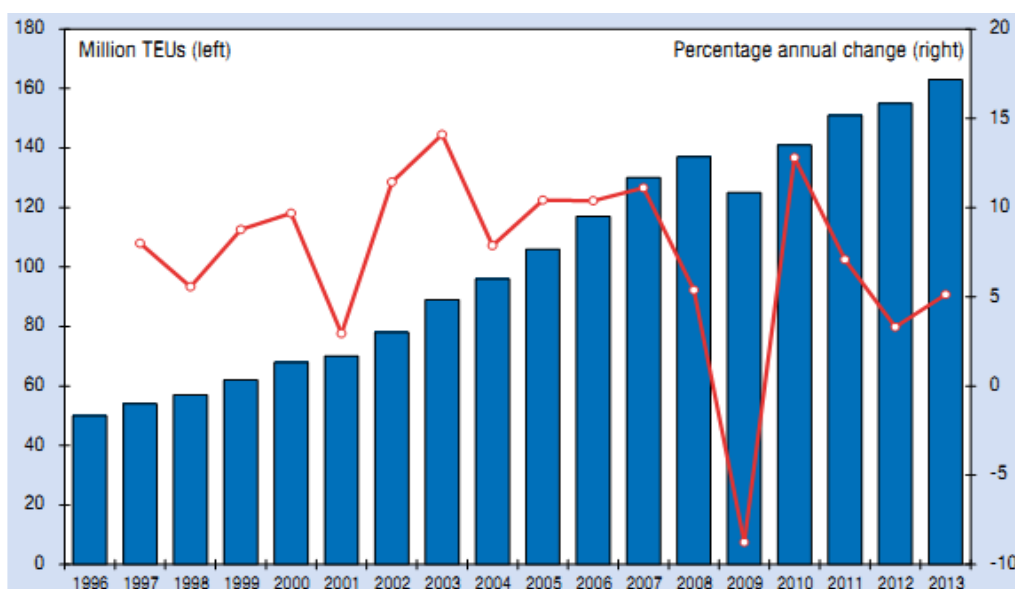
-Το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στη βιομηχανική δραστηριότητα,

-Το 35% στις δραστηριότητες μεταφορών, ενώ

-Το 15% οφείλεται σε οικιακές δραστηριότητες.

Η συμβολή των θαλάσσιων μεταφορών στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πολύ σημαντική, αν και διεθνώς έχει προβληθεί το αντίθετο⁵. Διαπιστώθηκε πρώτη φορά στα μέσα του 19ου αιώνα, όταν, με την αντικατάσταση των ιστοφόρων πλοίων με αυτά που κινούνται με μηχανές, υιοθετήθηκε και η χρήση ορυκτών καυσίμων (στην αρχή καύσιμα γαιάνθρακα και στη συνέχεια καυσμέλαιο) ως κύρια καύσιμα για την προώθησή τους.

Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε επίσης ότι αυτές ευθύνονται για τη σύσταση του όζοντος και της αεροζόλης, καθώς και ότι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2: Μετρήσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ετών 1996 -2013

⁴ Sandler & Pezzullo 2007.

⁵ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

Αέριες εκπομπές των πλοίων

Τα συστατικά από τα οποία κατά κύριο λόγο αποτελούνται τα καύσιμα των πλοίων είναι άνθρακας και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το ποσοστό σε άνθρακα εις το οποίο περιέχεται το πετρέλαιο, κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4%⁶. Περιέχουν επίσης προσμίξεις, όπως θείο. Ανάλογα τώρα με το είδος των καυσίμων, διαφοροποιείται η περιεκτικότητά του σε θείο (εάν είναι αποσταγματικό – MDO, MGO– ή υπολειμματικό καύσιμο – HFO).

Τα συστατικά που περιέχουν τα καυσαέρια ενός πλοίου, είναι τα παρακάτω:

- κατά κύριο λόγο

-άζωτο (N_2),

-οξυγόνο (O_2),

-υδρατμούς (H_2O)

-διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το οποίο δημιουργείται με την τέλεια καύση του άνθρακα των καυσίμων και

-σε πολύ μικρότερο ποσοστό

-οξειδία του αζώτου (NO_x),

-οξειδία του θείου (SO_x),

-μονοξείδιο του άνθρακα (CO),

-άκαυστους υδρογονάνθρακες και

-αιωρούμενα σωματίδια, Particulate Matter (PM).

Χρόνιες μελέτες έχουν δείξει ότι στις μηχανές εσωτερικής καύσης, δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης (ατελής καύση). Αποτέλεσμα αυτού του δεδομένου είναι ότι, προκύπτουν τα παρακάτω καυσαέρια:

-σωματίδια άνθρακα (αιθάλη),

-CO,

-άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες⁷.

Η απάντηση στο ερώτημα που οφείλονται τα SO_x -είναι: στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Το θείο που περιέχεται στα καύσιμα, οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξειδία

⁶ MEPC 2014.

⁷ Heywood, 1988.

του θείου, κυρίως SO_2 και SO_3 , τα οποία αναφέρονται ως SO_x . Τα σωματίδια θειικού οξέος (H_2SO_4) δημιουργούνται όταν, το SO_3 αντιδρά με την υγρασία (H_2O), και τα οποία ως μικρά σωματίδια, αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα).

Όπως έχει διαπιστωθεί, το άζωτο (N_2), μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης των πλοίων, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξείδια του αζώτου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), γνωστά ως NO_x . Αυτό οφείλετε στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν εντός των μηχανών εσωτερικής καύσης. Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι, ο έλεγχος των NO_x , εν αντιθέση με τα SO_x , δεν μπορεί να γίνει με βελτιώσεις στη σύσταση των καυσίμων, αλλά με βελτιώσεις στη διαδικασία της καύσης.

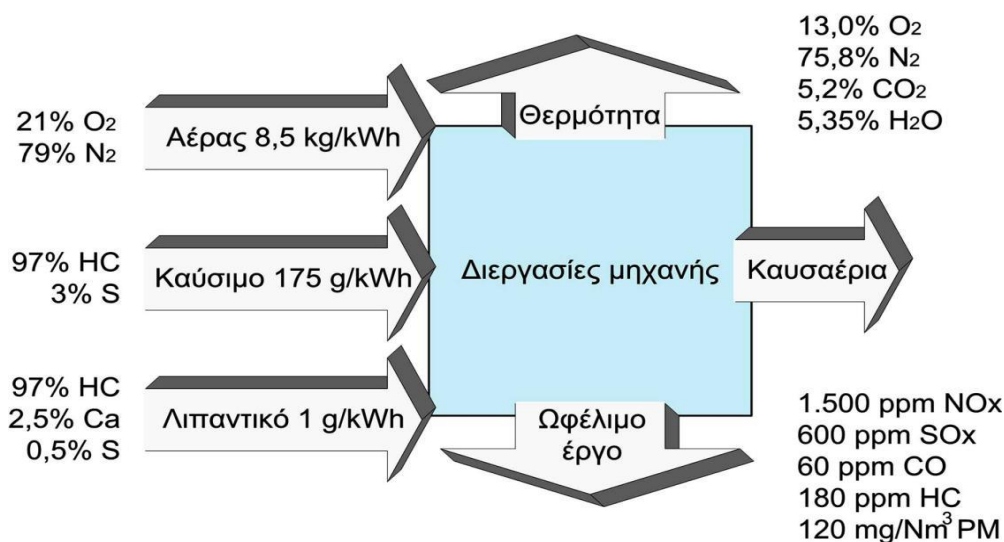
Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), περιλαμβάνουν μίγμα των παρακάτω μίγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών:

- ατομικό άνθρακα,
 - αιθάλη,
 - στάχτη,
 - πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς,
 - άκαυστο λιπαντικό έλαιο,
- θειικά και
υγρασία⁸.

Τα στοιχεία που κατά κύριο λόγο συνθέτουν το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας είναι άζωτο (78% κ.ό.) και οξυγόνο (21% κ.ό.), καθώς επίσης αργό, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια⁹. Χρόνια πειράματα έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια καύσης σε μια μηχανή στο πλοίο, καίγονται τα καύσιμα με το οξυγόνο του αέρα με αποτέλεσμα να παράγεται, μηχανική ενέργεια για την κίνηση του πλοίου. Στη συνέχεια αποβάλλεται θερμική ενέργεια και εκπέμπονται καυσαέρια. Στην παρακάτω εικόνα (3), αποτυπώνεται η είσοδος και η έξοδος της μηχανής ενός πλοίου.

⁸ Reynolds, 2004.

⁹ Τα ποσοστά των αερίων αφορούν ξηρή ατμόσφαιρα, δηλαδή ατμόσφαιρα από την οποία έχουν αφαιρεθεί οι υδρατμοί, και αυτό διότι η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς ποικίλλει ανάλογα με τον τόπο, την ώρα και την εποχή.



Εικόνα 3: Είσοδος και έξοδος της μηχανής ενός πλοίου¹⁰.

Επιπτώσεις των αέριων εκπομπών στο θαλάσσιο περιβάλλον

Σύμφωνα με το Νόμο 743/1977, (περί προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων), ως θαλάσσια ρύπανση ορίζεται: *Η παρουσία εις την θάλασσαν πάσης ουσίας, η οποία αλλοιώνει την φυσική κατάσταση του θαλασσιού ύδατος ή καθιστά τούτο επιβλαβές, εις την υγείαν του ανθρώπου ή την πανίδα και χλωρίδα των βυθών, και εν γένει ακατάλληλον δια τας προβλεπομένας κατά περίπτωσιν χρήσεις αυτού.*



Οι ρύποι που εκπέμπουν τα πλοία (CO₂, αιθάλης (C), οξειδία του αζώτου (NO_x), υποξειδίο του αζώτου (NO)), συμβάλλουν στην παγκόσμια αλλαγή του κλίματος είτε άμεσα, δρώντας ως μέσο του εγκλωβισμού της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, είτε έμμεσα, βοηθώντας στη δημιουργία επιπλέον αερίων του θερμοκηπίου.

Οι ωκεανοί δεν έχουν γλιτώσει από τις πιέσεις της κλιματικής αλλαγής. Καθώς περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα προστίθενται στο σύστημα του κλίματος, σημαντικές ποσότητες καθενός απορροφώνται από τους ωκεανούς, προκαλώντας σημαντικές αλλαγές. Αλλαγές που θα είναι καταστροφικές για πολλά από τα είδη του θαλάσσιου και μη περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, που εξαρτώνται από τους ωκεανούς.

¹⁰ Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA ΜΑΡΙΑ ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ

Οι αυξανόμενες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απορροφώνται από τους ωκεανούς αλλάζουν πολύ τη χημεία τους, κάνοντας τους πιο όξινους, με αποτέλεσμα των κίνδυνο των κοραλλιογενών υφάλων και άλλων οργανισμών που παράγουν το ανθρακικό ασβέστιο των κοχυλιών. Το εκτιμώμενο αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι θα οδηγήσει στην κατάρρευση πολλών σημαντικών τροφικών αλυσίδων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων από τις οποίες εξαρτώνται οι άνθρωποι. Η όλο και συνεχιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών προκαλεί το λιώσιμο των θαλάσσιων πάγων και αυξάνει την στάθμη της θάλασσας, διαταράσσοντας τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Εκτιμάται επίσης ότι και οι άνθρωποι θα επηρεαστούν άμεσα από τις αλλαγές αυτές, καθώς οι τεράστιες εκτάσεις της ακτογραμμής θα χαθούν, οι καιρικές συνθήκες θα αλλάξουν ενώ οι μέθοδοι παραγωγής τροφίμων θα πρέπει να αναθεωρηθούν.

Συνοπτικά, οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 1.

	SO ₂ , NO _x , PM, VOCs	CO ₂
Χωρική κλίμακα επιπτώσεων	Τοπική, περιφερειακή	Παγκόσμια
Χρονική κλίμακα επιπτώσεων	Βραχυπρόθεσμα, άμεσα Μακροπρόθεσμα, χρόνια	Περισσότερο μακροπρόθεσμα
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Όξινη βροχή Νέφος Φωτοχημικό νέφος Νέφος αιθαλομίχλης	Φαινόμενο θερμοκηπίου και παγκόσμια θέρμανση Άνοδος στάθμης της θάλασσας Ακραία καιρικά φαινόμενα Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους και τη γεωργία
Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	Ευθείες: Αναπνευστικά προβλήματα υγιών ατόμων Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, πνεύμονες Άσθμα Χρόνια βρογχίτιδα Καρδιοπάθειες	Έμμεσες, που θα οφείλονται σε: Υψηλές θερμοκρασίες Ακραία καιρικά φαινόμενα Προβλήματα με τους υδατικούς πόρους και τη γεωργία κ.λπ.

Πίνακας 1. Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον¹¹.

Όπως διαπιστώθηκε, το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνουν χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός συστήματος διεθνών θαλάσσιων διαδρομών¹². Εκτιμάται ότι το 85% των αερίων εκπομπών της ναυτιλίας διαπιστώνεται στο βόρειο ημισφαίριο, από το οποίο το 52% διαπιστώνεται στον βόρειο Ατλαντικό και το 27% στον βόρειο Ειρηνικό¹³. Επίσης, εκτιμάται ότι περίπου το 70% των εκπομπών από την ναυτιλία πραγματοποιούνται εντός 200 ν.μ., με το 44% αυτών σε απόσταση 50 ν.μ. από την ξηρά¹⁴.

¹¹ Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ

¹² Endresen et al., 2003

¹³ Corbett et al. (1999)

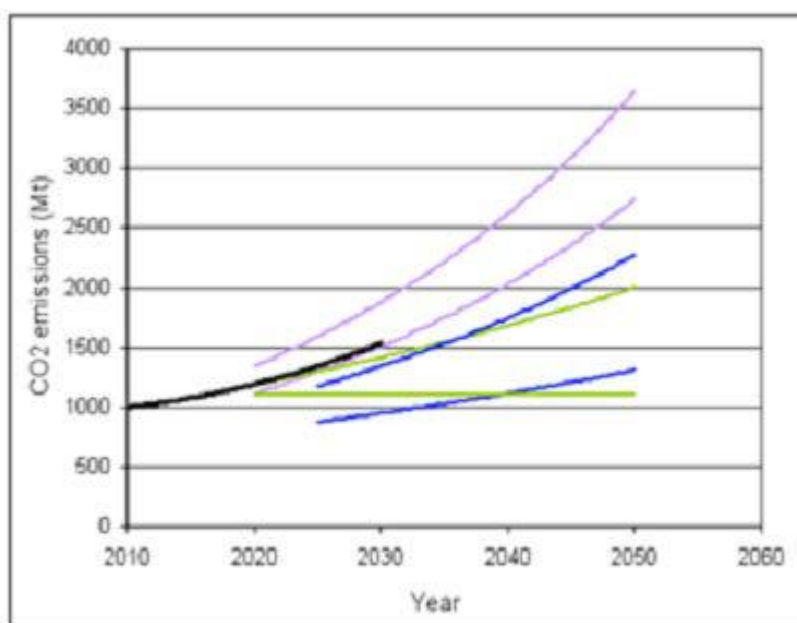
¹⁴ IMO, 2009

Το 2005, οι εκπομπές NO_x, SO₂, PM και CO₂ από τη ναυτιλία στη Μεσόγειο ήταν 2, 1.45, 0.157 και 87.6 εκατομμύρια τόνοι, αντίστοιχα¹⁵, με ποσοστό μεγαλύτερο από το 50%, διαπιστώθηκε ότι παράγεται στη Μεσόγειο. Εκτοτε το ποσοστό αυτό αυξήθηκε¹⁶.

Το βαρύ καυσίμελαιο (Heavy Fuel Oil) (HFO), (υπόλοιπο της διαδικασίας διύλισης του πετρελαίου), αποτελεί το είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερη έκταση¹⁷, με ποσότητα η οποία να ανέρχεται στους 150 εκατομμύρια τόνους το 2000, και ακολούθως στους 333 εκατομμύρια το 2007¹⁸.

4.2.1 Επιπτώσεις του CO₂

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (World Energy Council/2013), οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από τα πλοία ανέρχονται στο ποσοστό του 2,7%¹⁹



Εικόνα 4 : Εκτιμώμενη αύξηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ετών (2010-2060)²⁰

Η οξίνιση των ωκεανών, προκαλείται με την απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων CO₂ από την ατμόσφαιρα, στις θάλασσες και τους ωκεανούς. Το ανθρακικό οξύ, παράγεται με τη διάλυση του CO₂ στο νερό, με αποτέλεσμα την οξίνιση των ωκεανών. Εκτιμάται από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα, οι θάλασσες και οι ωκεανοί έχουν απορροφήσει το 25-50% του CO₂. Το pH, αποτελεί ένα κατάλληλο δείκτη, που χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε και να εκτιμήσουμε την οξύτητα στις θάλασσες και τους ωκεανούς, αλλά και σε κάθε υγρό. Οι

¹⁵ Cofala et al., 2007

¹⁶ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

¹⁷ Notteboom & Verminnen, 2009.

¹⁸ Eyring et al. (2005) και Buhaug et al. (2009).

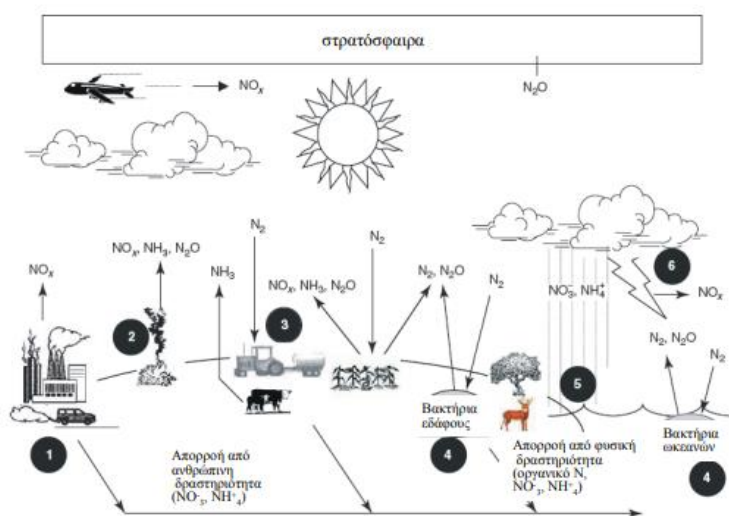
¹⁹ Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, OHE, E.E., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014.

²⁰ Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, OHE, E.E., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014.

τιμές που μπορεί να πάρει το pH κυμαίνονται από 0 έως 14. Όξινα χαρακτηρίζονται τα υγρά με pH από 0 έως 7, ενώ αλκαλικά ή βασικά τα υγρά με τιμές από 7 έως 14. Η αύξηση της ποσότητας του ανθρακικού οξέος στους ωκεανούς, έχει οδηγήσει στη μείωση του pH των ωκεανών κατά 0,1 μονάδα, δηλαδή αύξηση της οξύτητας κατά σχεδόν 30%. Μελλοντικά εκτιμάται ότι οδηγούμαστε σε αύξηση της οξύτητας των ωκεανών, με αποτέλεσμα το 2.100 να αυξηθεί κατά 127%! Οι επιπτώσεις της αύξησης της οξύτητας των θαλασσών και των ωκεανών, στη θαλάσσια βιοποικιλότητα, θα είναι σοβαρές, με πιο σημαντική επιβάρυνση να είναι η μείωση της διαδικασίας ασβεστοποίησης (calcification) πολλών οργανισμών, δηλαδή της ικανότητας να δεσμεύουν το ασβέστιο για την κατασκευή των σκελετών και των κελυφών τους.

4.2.2 Επιπτώσεις του Αζώτου

Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ως αέριο N_2 , ενώ άλλες αποθήκες αζώτου είναι η οργανική ύλη που περιέχεται στο έδαφος και τους ωκεανούς²¹. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας, εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τα πλοία, ενδέχεται έως το 2050 να ξεπεράσουν αυτές των οδικών μεταφορών²². Στην παρακάτω εικόνα 5, φαίνεται μία ολοκληρωμένη εικόνα του παγκόσμιου κύκλου του αζώτου, το οποίο, αναλύεται όπως παρακάτω: (1) στις Αστικές περιοχές: NO_x εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από καύσεις σε υψηλή θερμοκρασία. (2) Καύσεις βιομάζας: ελευθερώνονται NO_x , NH_3 και N_2O στην ατμόσφαιρα. (3) Γεωργία και κτηνοτροφία: το άζωτο δεσμεύεται στο έδαφος και τα νερά με την χρήση λιπασμάτων. Η απονιτροποίηση ελευθερώνει N_2 και N_2O στην ατμόσφαιρα. Με τα απόβλητα των ζώων και την χρήση λιπασμάτων ελευθερώνεται αμμωνία. (4) Φυσικές πηγές: Το άζωτο δεσμεύεται από βακτήρια στο έδαφος ενώ η απονιτροποίηση ελευθερώνει N_2 και N_2O στην ατμόσφαιρα. (5) Υγρή και ξηρή εναπόθεση: Νιτρικά και αμμωνιακά άλατα μεταφέρονται από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και τη θάλασσα. (6) Αστραπές: NO_x παράγεται διαμέσου αντίδρασης σε υψηλή θερμοκρασία του N_2 με O_2



²¹ Διονύσιος Μπουλαντζιάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014.

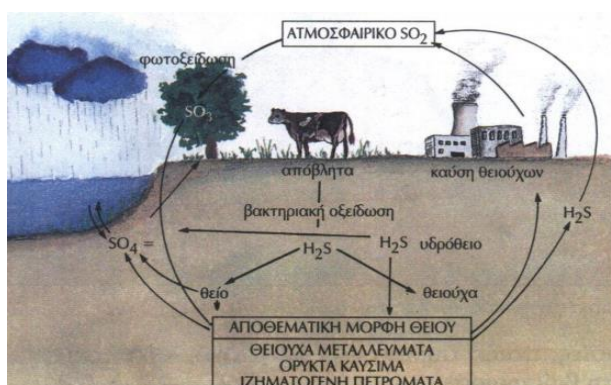
²² *ibid*, 2013

Εικόνα 5: Ολοκληρωμένη εικόνα του παγκόσμιου κύκλου του Αζώτου ²³.

Η αυξανόμενη εισχώρηση αζώτου στους υδατικούς αποδέκτες μπορεί να προκαλέσει αύξηση του φυτοπλαγκτόν, η οποία μπορεί να βλάψει τα ψάρια, τα οστρακόδερμα και τον άνθρωπο, διαμέσου του φαινομένου του ευτροφισμού. Έρευνα τελευταίων ετών δείχνει ότι τα επίπεδα αζώτου συνδέονται την Ρύπανση της Ατμόσφαιρας. Τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με το νερό, υπό τη μορφή νιτρικού οξέος, το οποίο μαζί με το διοξείδιο του θείου είναι σημαντικά συστατικά της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή μπορεί να βλάψει την υδρόβια ζωή.

4.2.3 Επιπτώσεις του Θείου

Το θείο είναι ένα σημαντικό στοιχείο, τόσο από γεωχημική όσο και βιολογική άποψη. Η σημασία του ανάγεται στην παρουσία του σε ορισμένα αμινοξέα. Ο κύκλος του θείου είναι μια φυσική διαδικασία διαμέσου της οποίας λαμβάνει χώρα κυκλική μεταφορά του θείου από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και στη θάλασσα, καθώς εκεί μεταφέρεται διαμέσου των βροχοπτώσεων. Η κυκλική αυτή διαδικασία εξασφαλίζει την ύπαρξη του θείου σε επαρκείς ποσότητες προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στις βιολογικές/βιοχημικές διαδικασίες. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ο κύκλος του θείου στη φύση.



Εικόνα 6: Ο κύκλος του θείου στη φύση.

Το θείο υπάρχει στη φύση σε διάφορες βαθμίδες οξειδωσης και μπορεί εύκολα να μετατραπεί από μια κατάσταση οξειδωσης σε άλλη. Οι πιο σημαντικές βιοχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα όταν βρίσκεται στην ανόργανη μορφή του. Το θείο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα ως υδρόθειο (H_2S) μεταξύ άλλων, διαμέσου της ατελούς καύσης καυσίμων και αποτελεί σήμερα μία από τις κύριες πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας²⁴. Στη συνέχεια, το H_2S οξειδώνεται προς SO_2 , το οποίο με τους υδρατμούς δημιουργεί H_2SO_4 που μεταφέρεται στο έδαφος με τις βροχοπτώσεις (φαινόμενο όξινης βροχής).

Φαινόμενο του Θερμοκηπίου²⁵

²³ Σημειώσεις για την Ρύπανση της Ατμόσφαιρας – Σεπτέμβριος 2014-16

²⁴ Σημειώσεις για την Ρύπανση της Ατμόσφαιρας – Σεπτέμβριος 2014-16

²⁵ Γιώργος Τσιλιγκιρίδης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ

Με τον όρο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» εννοούμε την παρεμπόδιση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη να ακτινοβοληθεί στο διάστημα και την απορρόφησή της από αέρια της ατμόσφαιρας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε τη συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας της κατώτερης ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης. Η απορρόφηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στο CO₂ αλλά και σε άλλα αέρια. Η σύνθεση και η χημική και φυσικοχημική σημασία των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) είναι κατά σειρά επιρροής και σπουδαιότητας μεγέθους η ακόλουθη:

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι κυρίως υπεύθυνο για το 50% του μεγέθους του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση της κλιματικής αλλαγής.

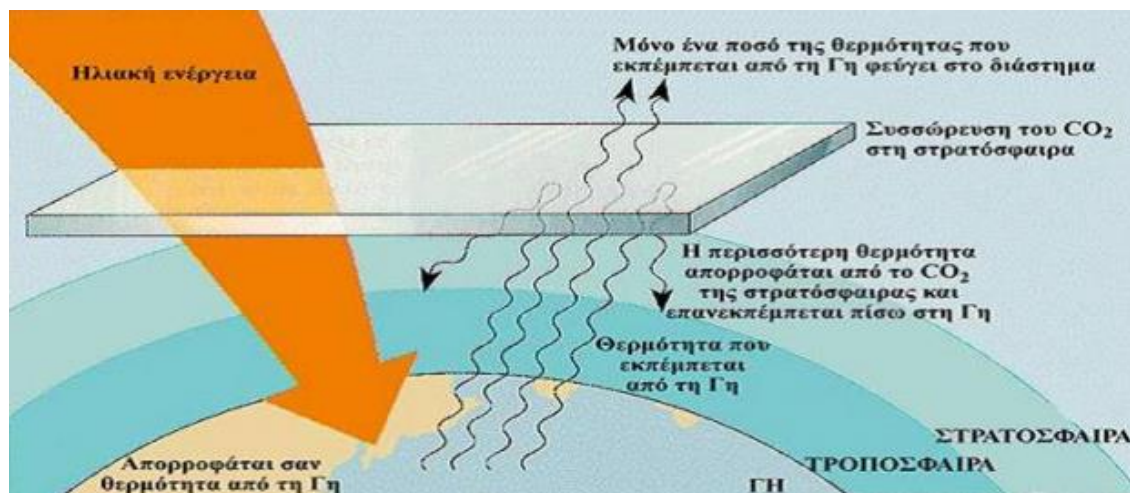
Το μεθάνιο (CH₄) που συμμετέχει κατά περίπου 13% στη δημιουργία του φαινομένου θερμοκηπίου.

Το ατμοσφαιρικό όζον (O₃) με 7%.

Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) με συμμετοχή 5%.

Οι υδρατμοί (Stratospheric Water Vapor) κατά 3%.

Οι διάφορων μορφών χλωροφθοράνθρακες (CFCs), που παράλληλα είναι και η κύρια αιτία δημιουργίας των οπών του στρατοσφαιρικού όζοντος, κατά 22%.



Εικόνα 7: Σχηματική παράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου

5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Όπως είναι αναμενόμενο, οι ρύποι που παράγονται από τη ναυσιπλοΐα, και εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, τελικά καταλήγουν στη θάλασσα. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται οι κυριότερες στρατηγικές, μέτρα και μέθοδοι μέτρησης της μείωσης των εκπομπών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτοί, αναλύονται στις παρακάτω γενικές κατηγορίες²⁶

-Στρατηγικές,

-Μεθοδολογίες.

-Μέτρα

5.1 Στρατηγικές

5.1.1 ΔΙΕΘΝΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ (ΙΜΟ)

Αποτελεί τον επίσημο Παγκόσμιο Οργανισμό που διέπει τη Διεθνή Ναυτιλία²⁷, με στόχο τη δημιουργία ενός ενιαίου θεσμικού πλαισίου για τη ναυτιλία σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι διατάξεις που συμπεριλαμβάνονται αφορούν την ασφάλεια των πλοίων, των πληρωμάτων και των φορτίων τους, την ασφάλεια του περιβάλλοντος, νομικά θέματα, καθώς και την αποδοτική λειτουργία της ναυτιλίας γενικότερα.

5.1.2 Συνθήκη MARPOL

Για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, υπεγράφη η συνθήκη International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, Marine Environment Protection Committee (MEPC). Αυτή αποτελείται από έξι (6) Παραρτήματα. Στα πρώτα πέντε (5) παραρτήματα, συμπεριλαμβάνονται διατάξεις που αφορούν την αποφυγή της θαλάσσιας μόλυνσης που προκαλείται από τα απόβλητα των πλοίων. Το Παράρτημα VI, περιλαμβάνει διατάξεις που διαπραγματεύονται την αποφυγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης²⁸. Σύμφωνα με τις διατάξεις του Παραρτήματος VI της MARPOL, τίθενται όρια στις εκπομπές των κύριων ρύπων στα καυσαέρια των πλοίων δηλ. στα οξείδια του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), περιορισμοί στις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον (Ozone Depleting Substances – ODS) και ρυθμίζουν την καύση επί του πλοίου και τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOCs) από τα δεξαμενόπλοια. Στο Παράρτημα VI, γίνεται διάκριση μεταξύ περιοχών (ειδικές περιοχές), στις οποίες τα όρια εκπομπών SO₂ θα είναι αυστηρότερα (SO_x Emission Control Areas) (SECAs)²⁹. Για όσα κράτη επιθυμούν εναλλακτική λύση, δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα πλοία

²⁶ Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014

²⁷ International Maritime Organization (IMO) (2014). "About IMO". Διαθέσιμο στο <<http://www.imo.org/About/Pages/Default.aspx>>

²⁸ IMO, 2014

²⁹ Ως περιοχές SECA με γνώμονα τη χρήση καυσίμων αναγνωρίζονται σήμερα οι εξής:

Μεσόγειος, Βαλτική, Μαύρη Θάλασσα, Ερυθρά Θάλασσα, Κόλπος του Άντεν, Ανταρκτική, Βορειοδυτικές ευρωπαϊκές θάλασσες, η περιοχή της Αραβικής Θάλασσας γύρω από το Ομάν, το νότιο τμήμα της θάλασσας της Νότιας Αφρικής. IMO (2014), Special Areas under MARPOL

τους καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και παράλληλα να εφαρμόζουν ένα σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων ή να χρησιμοποιήσουν οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία θα μειώνει τις εκπομπές SO₂ στα επίπεδα των εκπομπών των καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Καθορίζονται επίσης οι ποσότητες των NO_x τις οποίες επιτρέπεται ένα πλοίο να εκπέμπει ανά kWh. Οι ποσότητες εξαρτώνται από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα. Υπάρχουν τρία επίπεδα εκπομπών, (Tier I-II-III), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Όσο νεότερο είναι ένα πλοίο τόσο αυστηρότερα είναι τα όρια. Τα όρια του Επιπέδου III (Tier III) είναι τα αυστηρότερα και θα ισχύσουν μόνο στις Ειδικές Περιοχές για τα NO_x (NO_x Emission Control Areas – NECAs), για μηχανές σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά το 2016. Οι NECAs αυτή τη στιγμή είναι θαλάσσιες περιοχές στη Β. Αμερική και την Καραϊβική, ενδέχεται όμως στο μέλλον να οριστούν και άλλες περιοχές ως NECA, π.χ. η Βόρεια θάλασσα.

NO _x MARPOL Annex VI		
Regulation	NO _x limit	RPM (n)
Tier I	17 g kWh ⁻¹	n < 130
Diesel engines (>130 kW) installed on a ship constructed on or after 1 January 2000 and prior to 1 January 2011.	45 × n - 0.2 g kWh ⁻¹ 9.8 g kWh ⁻¹	130 ≤ n < 2000 n ≥ 2000
Tier II	14.4 g kWh ⁻¹	n < 130
Diesel engines (>130 kW) installed on a ship constructed on or after 1 January 2011.	44 × n - 0.23 g kWh ⁻¹ 7.7 g kWh ⁻¹	130 ≤ n < 2000 n ≥ 2000
Tier III	3.4 g kWh ⁻¹	n < 130
Diesel engines (>130 kW) installed on a ship constructed on or after 1 January 2016.	9 × n - 0.2 g kWh ⁻¹ 3 g kWh ⁻¹	130 ≤ n < 2000 n ≥ 2000

Εικόνα 8 Όρια NO_x, σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL³⁰

5.1.3 Πρωτόκολλο του Κιότο, Μείωση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου

Το διεθνές πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθορίστηκε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή, που τέθηκε σε ισχύ το 1994. Για την υλοποίηση της Σύμβασης-Πλαίσιο, υιοθετήθηκε το 1997 το Πρωτόκολλο του Κιότο, με το οποίο ορίστηκαν δεσμευτικές διαδικασίες και χρονοδιαγράμματα για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Βάσει αυτών, οι αναπτυγμένες χώρες αποδέχτηκαν να θέσουν μειώσεις στις εκπεμπόμενες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου της τάξης (κατά μέσο όρο) του 5,2% κατά την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Επιπλέον, οι χώρες αυτές ήταν υποχρεωμένες να υποβάλουν εθνικές ετήσιες απογραφές που να αποτυπώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Η διεθνής ναυτιλία και οι αεροπορικές μεταφορές, λόγω ακριβώς του διεθνούς τους χαρακτήρα, δεν συμπεριλήφθησαν στα συνολικά εθνικά στοιχεία των απογραφών. Συγκεκριμένα, υπήρχε πρόβλημα σχετικά με την κατανομή των εκπομπών από τις δύο αυτές πηγές. Προτάθηκε να αποδοθούν στη χώρα πώλησης των καυσίμων ανάλογα με τις ποσότητες, στην χώρα αναχώρησης/προορισμού, στη χώρα του διαχειριστή, στη χώρα σημαίας (για τα πλοία) ή στη χώρα στη θαλάσσια επικράτεια της οποίας πραγματικά συμβαίνουν. Όλες αυτές οι λύσεις εμφάνιζαν προβλήματα. Τελικά, στο Άρθρο 2.2 του Πρωτοκόλλου του Κιότο αναφέρεται ότι οι

³⁰ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να επιδιώξουν μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία και τις αεροπορικές μεταφορές συνεργαζόμενες με τον IMO και τον ICAO (International Civil Aviation Organization), τους δύο οργανισμούς του ΟΗΕ για τη ναυτιλία και τις αερομεταφορές, αντίστοιχα.

5.1.4. ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ-ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ (Ε.Ε.)

Σε γενικές γραμμές, η ΕΕ ευθυγραμμίζεται με το πλαίσιο του IMO όσον έχει να κάνει με την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλεί η ναυτιλία. Ωστόσο, η ΕΕ, ανεξαρτήτως των κανόνων του IMO, σε κάποιες περιπτώσεις, εργάζεται προκειμένου να αναπτύξει τους κανονισμούς που κρίνεται σκόπιμο, οι οποίοι είναι αυστηρότεροι για πλοία που φέρουν ευρωπαϊκή σημαία ή ελλιμενίζονται σε ευρωπαϊκά λιμάνια.

Η ΕΕ, το 2005, αντιλήφθηκε ότι σε περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα για την αέρια ρύπανση, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα οι εκπομπές SO₂ από τη ναυτιλία θα υπερέβαιναν κατά το 2020 τις εκπομπές από όλες τις χερσαίες πηγές στην ΕΕ. Επομένως, εκτιμήθηκε ότι θα απαιτηθεί επιπλέον δράση, για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά τη ναυτιλία, η ΕΕ νομοθέτησε την οδηγία 1999/32/ΕΚ, η οποία αποτελεί τη βασική νομοθεσία για την αντιμετώπιση των εκπομπών διοξειδίου του θείου. Σύμφωνα με αυτήν, ορίστηκε μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο του βαρέος μαζούτ, του πετρελαίου εσωτερικής καύσης και του πετρελαίου εσωτερικής καύσης πλοίων.

Στη συνέχεια, η ΕΕ όρισε ως ειδικές περιοχές για τις εκπομπές SO₂ (SECAs) τις εξής περιοχές, (Βαλτική, Βόρεια θάλασσα και το στενό της Μάγχης). Σε αυτές τις περιοχές ορίστηκε ως ανώτερο περιεχόμενο των καυσίμων σε θείο το 1,5% κ.β.³¹.

Πλέον των ανωτέρω, σύμφωνα με την οδηγία 2005/33/ΕΚ, με εφαρμογή από το 1/1/2010, καθόριζε στα πλοία που είναι προσδεμένα ή αγκυροβολημένα σε λιμάνια της ΕΕ, δεν θα χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη του 0,1% κ.β.

Διάφοροι κανόνες που έχει επιβάλει η ΕΕ και οι οποίοι ισχύουν από 1/1/2018, εκτιμάται ότι θα οδηγήσουν σε μείωση 2% των εκπομπών CO₂ και μείωση του κόστους για τους πλοιοκτήτες κατά 1,2 δισ. ευρώ το 2030.

³¹ United Nations (2013), "Review of maritime transport 2013"

5.1.5. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

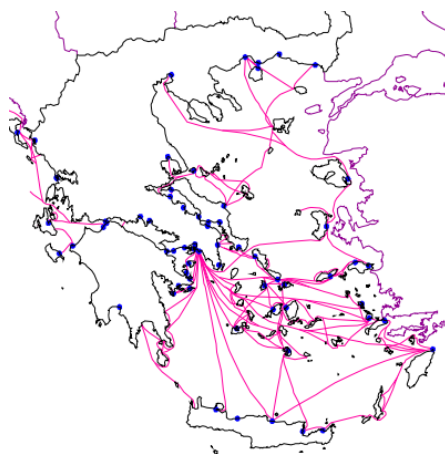
Όσον αφορά το εσωτερικό θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας περί της ποιότητας των καυσίμων των πλοίων, αυτό αντιπροσωπεύεται από το Νόμο 284/200 (ΦΕΚ 1736/Β/30.08.2007). Οι σημαντικότερες διατάξεις του νόμου αυτού, ο οποίος έχει ως στόχο την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας περί πλοίων με την κοινοτική οδηγία 1999/32/ΕΚ.

5.2. Μεθοδολογία για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία

Το παρόν κεφάλαιο, αποτελεί για την παρούσα εργασία το κυριότερο, μιας και όπως λέει και ο λαός μας, προκειμένου να επιλύσεις κάποιο πρόβλημα στη ζωή σου, θα πρέπει αρχικά να το διαπιστώσεις, να το μετρήσεις και να υπολογίσεις όλες τις διαστάσεις του. Επομένως, κρίνεται σκόπιμο όπως αναλύσουμε τις μεθοδολογίες, τις οποίες χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό των ρύπων.

5.2.1. Μεθοδολογία εκτίμησης των αέριων εκπομπών στην Ελλάδα³²

Η περίπτωση της Ελλάδας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού αποτελείται από πολλά νησιά, με συνέπεια η ναυτιλία να αποτελεί από τα κυριότερα μέσα συγκοινωνιών της πυκνής κυκλοφορίας των πλοίων ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού, με άμεσο αποτέλεσμα, τον αντίκτυπο των εκπομπών ρύπων καυσαερίων (CO₂, NO_x, SO₂ και PM) στο θαλάσσιο περιβάλλον της εν γένει.



Εικόνα 12: Τα σημαντικότερα λιμάνια και ακτοπλοϊκές γραμμές Ε/Ο πλοίων στην Ελλάδα

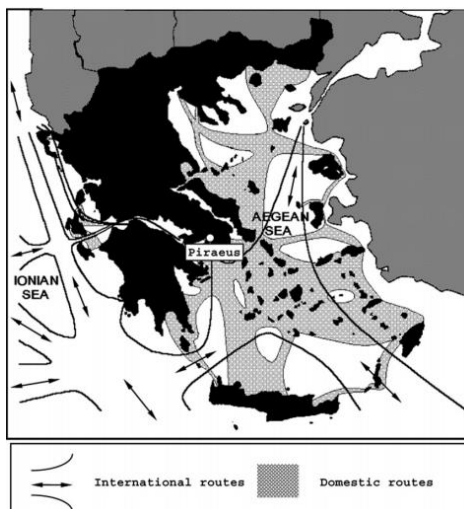
Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι εκτίμησης της εκπομπής των ρύπων, όσον αφορά τα πλοία που διέρχονται των ελληνικών θαλασσών. Από τις επικρατέστερες αυτών, και θα μπορούσαμε να τις χωρίσουμε στις παρακάτω γενικές κατηγορίες³³:

- Για όσα πλοία, φέρουν την ελληνική σημαία, και αυτή στηρίζεται στις πωλήσεις καυσίμων, ενώ

³² Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

³³ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

- Για τα υπόλοιπα πλοία, στη μεθοδολογία, η οποία βασίζεται στην αναλυτική καταγραφή της δραστηριότητά τους.



Εικόνα 13: Χάρτης στον οποίο καταγράφεται η δραστηριότητα των πλοίων που κινούνται στην Ελλάδα³⁴

Αναλυτική Μεθοδολογία Εκτίμησης των Εκπεμπόμενων Ρύπων³⁵.

Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται όταν είναι διαθέσιμα λεπτομερή δεδομένα των φάσεων λειτουργίας του πλοίου και τεχνικών χαρακτηριστικών του πλοίου, όπως είναι: το μέγεθος και η τεχνολογία των κινητήρων, η εγκατεστημένη ισχύς, το χρησιμοποιούμενο είδος καυσίμων, οι ώρες σε κάθε δραστηριότητα. Υπολογίζονται οι συνολικές εκπομπές σε ένα ταξίδι, αθροίζοντας τις επιμέρους εκπομπές από κάθε φάση λειτουργίας του πλοίου με την ακόλουθη σχέση:

$$\text{ΕΠλήρες Ταξίδι} = \text{ΕΑγκυροβόλιο} + \text{ΕΕλιγμοί} + \text{Επλεύση}, \text{ όπου}$$

Επλήρες Ταξίδι: Περιλαμβάνει το συνολικό αρχείο καταγραφών, ήτοι το άθροισμα όλων των εκπομπών από όλα τα ταξίδια όλων των πλοίων, κατά τη διάρκεια του έτους.

Όπως αντιλαμβανόμαστε, στην πράξη αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί για το σύνολο των πλοίων. Αυτό αποτελεί και η επίσημη άποψη της Ελλάδας³⁶. Γι αυτό το λόγο, συνήθως τα δεδομένα που συλλέγονται τελικά, αφορούν ένα δείγμα των ταξιδιών κάποιων πλοίων. Αυτονόητο είναι πως αυτό το δείγμα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, για την εκπομπή των ρύπων των πλοίων που θέλουμε να μελετήσουμε. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στη συνέχεια προκειμένου να υπολογιστούν οι συνολικές εκπομπές είναι, να ανάγονται οι εκπομπές

³⁴ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

³⁵ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΣΥΡΡΑΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΧΑΝΙΑ 2014.

³⁶ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

του δείγματος στο σύνολο των πλοίων που εξετάζονται για έναν ολόκληρο χρόνο. Η επιστήμη της στατιστικής, αποτελεί απαραίτητο εργαλείο θα μπορούσαμε να πούμε σε αυτή την περίπτωση.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ετήσια κατανάλωση καυσίμων, από ένα τύπο πλοίου στην ελληνική επικράτεια, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$Q = N \times T \times FC / 24, \text{ όπου}$$

Q, η κατανάλωση καυσίμων, (υπολογίζεται σε τόνους)

N = Ετήσιο πλήθος συγκεκριμένου τύπου πλοίων που διέρχονται των ελληνικών θαλασσών

T = Μέσος όρος χρονικού διαστήματος που ο συγκεκριμένος τύπος πλοίων, διέρχονται των ελληνικών θαλασσών, (σε ώρες). Εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου καθώς επίσης του σημείου εισόδου – εξόδου της ελληνικής επικράτειας. Οι μετρήσεις γίνονται υπό την υπόθεση εργασίας ότι όλα τα πλοία, διανύουν κατά μέσο όρο απόσταση ίση με 350 ναυτικά μίλια. Οσον αφορά την ταχύτητα των πλοίων, η εκτιμώμενη ταχύτητα ενός φορτηγού πλοίου (container ship), ανέρχεται στους 20.2 κόμβους, όταν στα αντίστοιχα tanker, ανέρχεται στους 13.8 κόμβους και στα κρουαζιερόπλοια ανέρχεται στους 25.3 κόμβους.

FC = Ημερήσια κατανάλωση καυσίμων του συγκεκριμένου τύπου πλοίων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση καυσίμων για κάθε τύπο πλοίου, σύμφωνα με τις οδηγίες της IPCC 2006³⁷, χρησιμοποιείται ο παρακάτω πίνακας ανά τύπο πλοίου³⁸

Fuel Consumption Factors.

Ship type	Fuel consumption (tons day ⁻¹) in terms of tonnage (gt)
Container Ships	8.0552 + 0.00235 × gt
Bulk Carriers	20.186 + 0.00049 × gt
Tankers	14.685 + 0.00079 × gt
General Cargo	9.8197 + 0.00143 × gt
Cruise Ships/Ro-Pax	16.904 + 0.00198 × gt

Εικόνα 14 Κατανάλωση καυσίμων ανά τύπο πλοίου, IPCC 2006

Άλλη μέθοδος που να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των εκπομπών, στην οποία λαμβάνουμε υπόψη την **κατανάλωση καυσίμων** από τα πλοία, καθώς επίσης την **ισχύ** τους, είναι η παρακάτω³⁹:

³⁷ Intergovernmental Panel on Climatic Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse.

³⁸ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

³⁹ Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA ΜΑΡΙΑ ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ

$$E_{Trip, i, j, m} = \sum_p (FC_{j, m, p} \times EF_{i, j, m, p})$$

όπου:

E_{Trip} = Συνολικές εκπομπές ρύπων, σε ένα ταξίδι, (υπολογίζεται σε τόνους),

FC = Κατανάλωση καυσίμου (υπολογίζεται σε τόνους),

EF = Συντελεστής εκπομπών ρύπων (kg/ τόνο),

i = Ρύπος

j = τύπος του κινητήρα (χαμηλής, μεσαίας και υψηλής ταχύτητας ντιζελοκινητήρες, τουρμπίνες αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλων).

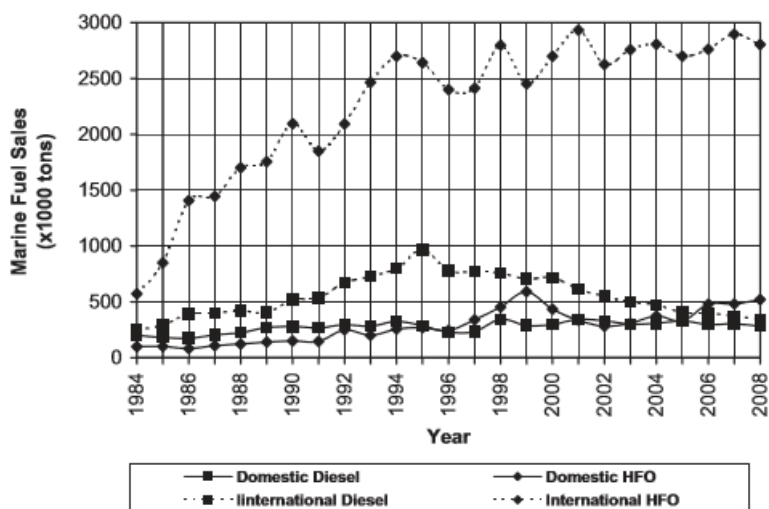
m = Τύπος καυσίμου (μαζούτ πλοίων, ντίζελ πλοίων/ πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων (MDO/MGO), βενζίνη),

p = Φάση λειτουργίας του πλοίου (πλεύση-cruising, ελιγμοί maneuvering, στο αγκυροβόλιο-hotelling).

Αυτή η μεθοδολογία, εφαρμόζεται σε περίπτωση που η κατανάλωση καυσίμου για κάθε φάση λειτουργίας είναι γνωστή, και οι εκπομπές ενός ρύπου i μπορούν να υπολογιστούν για ένα ταξίδι.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΩΛΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στον παρακάτω πίνακα, αποτυπώνονται οι πωλήσεις καυσίμων στην Ελλάδα, ανά τύπο καυσίμου (Diesel, HFO), για την χρονική περίοδο από 1984 έως 2008⁴⁰



Εικόνα 15 Πωλήσεις καυσίμων σε λιμάνια στην Ελλάδα για την περίοδο 1984-2008

⁴⁰ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

Στον επόμενο πίνακα, φαίνεται η εκπομπή αερίων, πλοίων με διεθνή σημαία, ανά τύπο πλοίου⁴¹

Fuel consumed by international shipping in the Greek seas in 2008.

Number of ships	Ship's sailing speed (knots)	Ship's sailing time ^a (h)	Ship's daily fuel consumption (tons)	Total fuel consumption (tons)	
				HFO	MDO
Container Ships	10 114	20.2	17.3	83.4	601 948 6080
Bulk Carriers	10 709	13.8	25.4	28.7	318 771 6505
Tankers	13 684	13.8	25.4	35.5	508 978 5141
General Cargo	14 279	16.5	20.2	20.7	236 337 12 439
Cruise/Ro-Pax	10 709	25.3	13.8	87.2	429 559 107 390
TOTAL	59 495				2 095 593 137 555

^a For an average sailing distance of 350 nautical miles through the Greek seas.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η εκπομπή ρύπων, για κάθε παράγοντα (CO₂, SO₂, NO_x, PM), χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$E = E \times EF \times 10^{-6}, \text{ όπου}$$

E = ετήσια ποσότητα ρύπου, (μετριέται σε τόνους).

Q = ετήσια ποσότητα καυσίμων, (μετριέται σε τόνους).

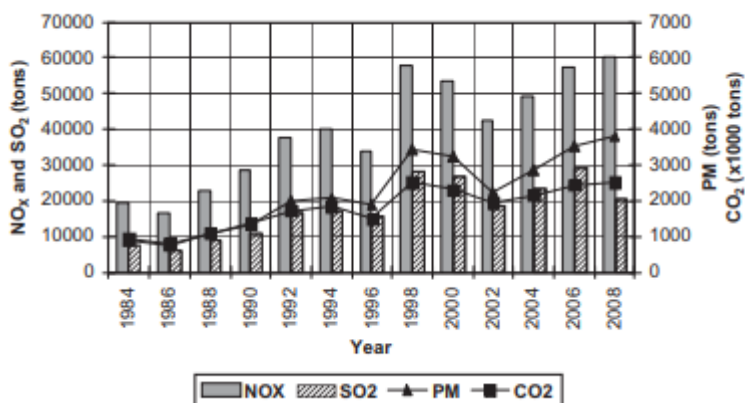
EF = εκπομπή αερίων σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (IPCC 2006)

Emission	Emission Factor		Guideline Reference
	(kg of emission per ton of fuel)		
CO ₂	HFO	3130	IPCC 2006
	MDO	3190	IPCC 2006
SO ₂ *	HFO	20 × S	CORINAIR
	MDO	20 × S	CORINAIR
NO _x **	Slow-speed Diesel Engine	90 / 78 (85)	-
	Medium-speed Diesel Engine	60 / 51 (56)	-
PM	HFO	6.7	CORINAIR
	MDO	1.1	CORINAIR

Εικόνα 16 Εκπομπή ρύπων, (CO₂, SO₂, NO_x, PM)

Ακολούθως στο γράφημα αποτυπώνεται η εκπομπή των ρύπων, από πλοία που διέρχονται των ελληνικών θαλασσών, σύμφωνα με τις πωλήσεις καυσίμων. Αφορά τα πλοία που φέρουν ελληνική σημαία.

⁴¹ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.



Εικόνα 17 Εκπομπή ρύπων, (CO₂, SO₂, NO_x, PM), σύμφωνα με τις πωλήσεις καυσίμων

Μία άλλη παράμετρος, που εξετάζεται σε αντίστοιχες μελέτες για τη μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, είναι η εξωτερική επίπτωση (externality).

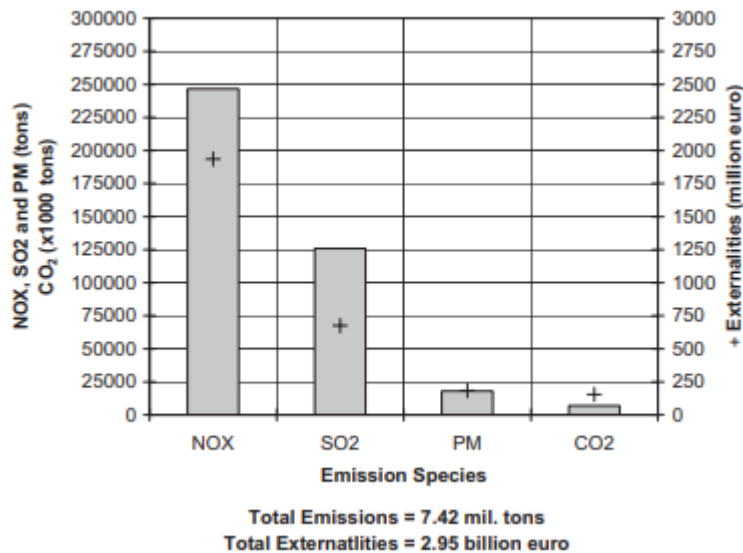
Αναλυτική ερμηνεία της «εξωτερικής επίπτωσης»

Αποτελεί το αποτέλεσμα των κοινωνικών ή οικονομικών δραστηριοτήτων μιας ομάδας ατόμων, οι οποίες έχουν αντίκτυπο σε μια άλλη ομάδα, και όταν ο εν λόγω αντίκτυπος δεν αντισταθμίζεται, από την πρώτη ομάδα⁴². Μετριέται δε σε ΕΥΡΩ. Στα αποτελέσματα των «εξωτερικών επιπτώσεων», συμπεριλαμβάνονται αυτά όπως οι οξείες και χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία των εκπεμπόμενων PM, SO₂, NO_x, δηλαδή αύξηση της θνησιμότητας και των εμφανιζόμενων ασθενειών, NO_x και Volatile Organic Compound (VOC) στις καλλιέργειες. Επομένως συνάγεται ότι, η αξιολόγηση των «εξωτερικών επιπτώσεων», είναι σημαντική στην σχεδίαση της πολιτικής «εσωτερίκευσης του κόστους» ή/και σε μια ανάλυση κόστους -οφέλους, όπου το κόστος της θέσπισης μέτρων για τη μείωση μιας ορισμένης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, συγκρίνεται με τα οφέλη αυτής της μείωσης.

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται συγκεντρωτικά η εκπομπή ρύπων (SO₂, NO_x, PM, CO₂), όλων των πλοίων, καθώς επίσης οι «εξωτερικές επιπτώσεις» τους στην Ελλάδα για το 2008⁴³, από τη ναυσιπλοΐα αντίστοιχα.

⁴² ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΣΥΡΡΑΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΧΑΝΙΑ 2014.

⁴³ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

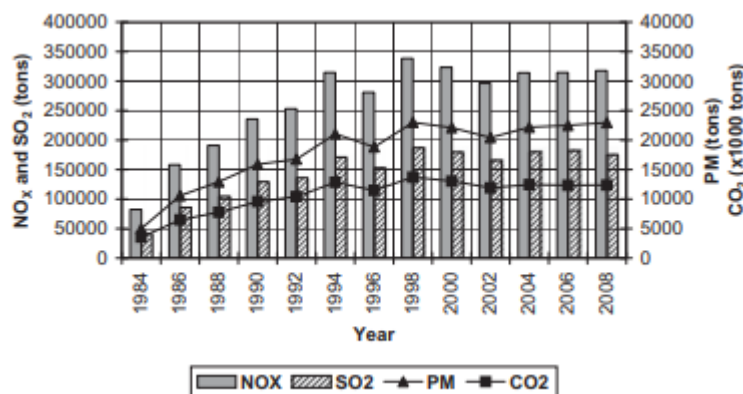


Εικόνα 18 Εκπομπή ρύπων, (CO₂, SO₂, NO_x, PM), και οι «εξωτερικές επιπτώσεις» τους στην Ελλάδα

+CO₂, υπολογίζεται X 1.000 τόνους

Από τη μελέτη του γραφήματος, διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη εκπομπή αερίων, παρουσιάζεται στο CO₂, με τιμή στους 7.000.000 τόνους, και «εξωτερική επίπτωση» στα 155.000.000 ΕΥΡΩ, ενώ ακολουθούν το NO_x, το SO₂, και τελευταίο το PM.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η διαχρονική εκπομπή των ρύπων, από πλοία που διέρχονται των ελληνικών θαλασσών για την χρονική περίοδο, 1984-2006.



Εικόνα 19 Εκπομπή ρύπων, από πλοία που διέρχονται των ελληνικών θαλασσών, για την περίοδο, 1984-2006⁴⁴

⁴⁴ Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011.

Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της δραστηριότητας των πλοίων που διέρχονται από το Αιγαίο, διαπιστώνεται διαχρονικά από το 1984 μέχρι το 2008, αύξηση των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Κατά τη διάρκεια των ετών 1998 μέχρι 2002, διαπιστώνεται μια μικρή μείωση των ρύπων, ενώ για τα έτη από 2002 μέχρι το 2008, φαίνεται ότι παραμένουν σταθερές οι τιμές, περίπου στο ίδιο επίπεδο. Εκτιμάται, ότι αυτό οφείλεται στην στρατηγική που ακολουθήθηκε τα επόμενα έτη, και η οποία αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Μεταξύ των μεθόδων υπολογισμού της ατμοσφαιρικής και ως εκ τούτου της θαλάσσιας ρύπανσης, συμπεριλαμβάνεται και αυτή της προσομοίωσης⁴⁵.

5.2.2 Μοντέλα Προσομοίωσης

Η ποιότητα και η σύνθεση της ατμόσφαιρας, υπολογίζεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Μέσω δικτύων σταθμών, επιτόπιες παρατηρήσεις (Μετρήσεων πεδίου), μπορούμε να εκτιμήσουμε τις συγκεντρώσεις των **ατμοσφαιρικών ρύπων** καθώς επίσης **τιμών**, των **μετεωρολογικών δεδομένων**.

-Φυσικές προσομοιώσεις της διασποράς και της φωτοχημείας, (Εργαστηριακές έρευνες) και

-Μαθηματικές Προσομοιώσεις⁴⁶.

Ως μοντέλο ορίζεται "ένα σταθερό σύνολο κανόνων και διατεταγμένων στοχαστικών ή μη διαδικασιών που αντιγράφουν μια φυσική ή υποθετική οντότητα". Ένα μοντέλο που περιλαμβάνει στις παραμέτρους του τον χρόνο και τον ανθρώπινο παράγοντα καθώς και διαδικασίες λήψεως αποφάσεων ικανές να διαμορφώνουν την συμπεριφορά του και ενδεχομένως και την λειτουργικότητά του θα το λέμε προσομοιωτή⁴⁷.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για προβλέψεις της συμπεριφοράς ενός συστήματος, αποτελούνται ουσιαστικά από μαθηματικές αναπαραστάσεις, των νόμων που καθορίζουν το σύστημα και τις εισροές του. Ο ρόλος αυτών των μοντέλων είναι να εκτιμήσουμε τη συμπεριφορά ενός ρύπου, σε περίπτωση που τροποποιούνται κάποιοι παράμετροι⁴⁸.

Η ατμόσφαιρα προσομοιάζει με έναν πολύπλοκο μηχανισμό, που συμβαίνουν ταυτόχρονα πολυάριθμα φυσικά και φωτοχημικά φαινόμενα. Οι μετρήσεις, που γίνονται στα πλαίσια πειραμάτων, ακόμα και οι καθιερωμένες μετρήσεις ρουτίνας που διεξάγουν ορισμένες δημόσιες υπηρεσίες, δίνουν **μόνο ένα στιγμιότυπο της κατάστασης της ατμόσφαιρας** σε μια **συγκεκριμένη τοποθεσία** και για μια **συγκεκριμένη χρονική στιγμή**. Αυτές οι μετρήσεις, είναι **δύσκολο να ερμηνευτούν** χωρίς την εφαρμογή ενός μαθηματικού προτύπου (μοντέλου) περιγραφής των

⁴⁵ Costs and benefits of reducing SO₂ emissions from Shipping in the Greek seas, E. Tzannatos 2011.

⁴⁶ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΣΥΡΡΑΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΧΑΝΙΑ 2014.

⁴⁷ Μοντελοποίηση και Προσομοίωση ΜΑΝΟΣ ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗΣ ΕΑΠ.

⁴⁸ Η ρύπανση των θαλασσών, Κώστα Φυτιάνου UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη 2017.

ατμοσφαιρικών διαδικασιών διασποράς και μετασχηματισμών. Αυτά τα μοντέλα, είναι δυνατό να δώσουν μια ολοκληρωμένη, αξιόπιστη και αντιπροσωπευτική στο χώρο και στο χρόνο εκτίμηση των επιπέδων των συγκεντρώσεων των ρύπων μιας περιοχής.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Προσομοίωση είναι η λειτουργική απεικόνιση οντοτήτων (με τη γενικότερη έννοια του όρου, π.χ. πλοίων, αγωγών καυσίμων, κλπ), συστημάτων, δομών, γεγονότων και διαδικασιών, πραγματικών ή υποθετικών, με τη χρήση υπολογιστών. Η προσομοίωση διενεργείται μέσα από μοντέλα λογισμικού, τα οποία διαθέτουν μια σειρά αλγορίθμων και υπολογιστικών δομών για να αποδώσουν όσο το δυνατό πιστότερα την απαίτηση του διενεργούντα την προσομοίωση, για την ολοκληρωμένη απεικόνιση του συνόλου των δεδομένων του. Ο όρος προσομοίωση (simulation) συγγέεται συχνά με τον όρο εξομοίωση (emulation), αν και οι όροι αυτοί υποδηλώνουν τελείως διαφορετικές μεθοδολογίες. Εξομοίωση είναι μια μέθοδος αναπαραγωγής ενός συστήματος εντός ή μέσω ενός άλλου συστήματος παρόμοιου με το πρώτο⁴⁹.

Είναι λοιπόν εμφανές ότι κατά την προσομοίωση, σκοπός είναι η μελέτη του συστήματος και όχι η χρήση του. Αντίθετα, κατά την εξομοίωση υπάρχει η εντύπωση υλοποίησης στο πραγματικό σύστημα γιατί σκοπός είναι η χρήση του.

Παίγνιο είναι η προσομοίωση κάθε είδους ενεργειών, όσων πλευρών είναι επιθυμητό, δομημένη μέσα από ένα σύνολο κανόνων, διαδικασιών και απαιτήσεων από αυτούς που τη διενεργούν. Το Παίγνιο είναι το αποτέλεσμα της προσομοίωσης και η δόμησή του μπορεί να στηρίζεται σε ένα ή περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης. Το Παίγνιο είναι υπερσύνολο της προσομοίωσης. Σκοπός του είναι είτε η απεικόνιση οντοτήτων είτε εκπαιδευτικός. Στην περίπτωση που ο σκοπός του Παιγνίου είναι η λειτουργική απεικόνιση οντοτήτων, απαιτείται η δόμηση πλήρους βάσης δεδομένων για το μοντέλο ή τα μοντέλα προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία θα βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία, προκειμένου να γίνουν οι δοκιμές των σχεδίων και των σεναρίων.

Για ποιο λόγο διεξάγονται ασκήσεις με Παίγνια;

-Εξάσκηση σε ρεαλιστικό περιβάλλον (κινήσεις πλοίων, αποστάσεις που διανύουν, ταχύτητες, καύσιμο που χρησιμοποιείται, τροποποίηση μηχανών – καυσίμου που καταναλώνει, φορτίο πλοίου κλπ).

-Ανάπτυξη αντίληψης της πολυπλοκότητας του συστήματος που θέλουν να προσομοιώσουν (π.χ. μόλυνση θαλάσσιου περιβάλλοντος)

-Εξάσκηση και αξιολόγηση της εκπαίδευσης προσωπικού, του συντονισμού και διαδικασιών (π.χ. διαδικασία αποτροπής εξάπλωσης μόλυνσης μιας περιοχής, από ένα ναυτικό ατύχημα...).

⁴⁹ Μοντελοποίηση και Προσομοίωση ΜΑΝΟΣ ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗΣ ΕΑΠ

-Μέτρηση της αποτελεσματικότητας των ενεργειών στις διάφορες καταστάσεις και της ικανότητας ανάπτυξης εναλλακτικών σχεδίων (π.χ. **φυσικών καταστροφών**).

-Εξάσκηση σε επίπεδα που είναι αδύνατον να εκτελεστούν σε πραγματική βάση λόγω περιορισμών (**κόστος, κοινή γνώμη, περιβάλλον** κλπ).

Ως Παράδειγμα θα μπορούσαμε να εξετάσουμε την προσομοίωση ενός πλοίου. Ο τύπος αυτού του πλοίου, μπορεί να γίνει είτε εξ ολοκλήρου σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή είτε με την κατασκευή ενός συστήματος που έχει όλα τα χαρακτηριστικά του (χωρητικότητα, τύπος καυσίμου που καταναλώνει,...). Για τον σκοπό αυτό δημιουργείται στον υπολογιστή ένα μαθηματικό μοντέλο του πλοίου και εισάγονται σ' αυτό οι παράμετροι των φυσικών χαρακτηριστικών του καθώς και οι εξισώσεις κατανάλωσης καυσίμου και ακολούθως ρύπανσης του περιβάλλοντος. Από την προσομοίωση κατόπιν εξάγονται τα αποτελέσματα που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος, όταν τροποποιείται κάποια παράμετρος του καυσίμου που αυτό καταναλώνει⁵⁰.

Οι χειριστές του υπολογιστή έχουν την εντύπωση ότι εργάζονται με το πραγματικό σύστημα, που είναι το πλοίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι χωρίς να ρυπαίνεται το περιβάλλον αλλά και χωρίς άλλο κόστος παρά μόνο με τη λειτουργία του ή των ηλεκτρονικών υπολογιστών μας, βγάζουμε χρήσιμα συμπεράσματα για το καύσιμο που καταναλώνει το πλοίο και την εκπομπή ρύπων.

Η διαδικασία της προσομοίωσης αποτελείται από τρεις διακριτές μεταξύ τους φάσεις:

- την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης,
- την εκτέλεση ή τρέξιμο του μοντέλου και
- την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Η κατασκευή του μοντέλου αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό βήμα για την προσομοίωση του συστήματος, επειδή η ποιότητα και αξιοπιστία του καθορίζουν και την αξιοπιστία της προσομοίωσης⁵¹.

Οι μελέτες της ποιότητας του αέρα σε έχουν σκοπό να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως:

- Την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, λόγω των ρύπων που εκπέμπει ένα πλοίο;
- Ποια τα μέτρα που θα πρέπει να λάβουμε σε στρατηγικό επίπεδο, ποιο είναι το κόστος και ποια τα αποτελέσματα αυτών των μέτρων;

⁵⁰ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΣΥΡΡΑΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΧΑΝΙΑ 2014.

⁵¹ Ατμοσφαιρική Ρύπανση ΕΚΠΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΑΡΙΑΝΟΥΤΣΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ, ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΦΟΙΤΗΤΡΙΩΝ ΕΛΕΝΗ ΒΟΥΛΓΑΡΗ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΟΡΦΑΝΙΔΟΥ ΑΘΗΝΑ 2012

-Ποια θα είναι τα αποτελέσματα στην ατμόσφαιρα σε περίπτωση που προσθέσουμε είτε αφαιρέσουμε μια συγκεκριμένη πηγής ρύπων;

-Ποιές θα είναι οι επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον μελλοντικά, από την δραστηριότητα του ανθρώπου;

Προκειμένου να δοθούν απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, θα πρέπει να γνωρίζουμε πως σχετίζονται οι εκπομπές των ρύπων με τις συγκεντρώσεις τους στο περιβάλλον. Ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τα προαναφερόμενα (επίδραση των εκπομπών, των μετεωρολογικών συνθηκών, των φωτοχημικών μετασχηματισμών και των διαδικασιών απομάκρυνσης των ρύπων από την ατμόσφαιρα), αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο που μπορεί να υποδείξει τέτοιες σχέσεις.

Μοντέλα Διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Ο όρος διασποράς, έχει να κάνει με την εξάπλωση ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το μοντέλο είναι δυνατό να είναι ένα μαθηματικό μοντέλο, που περιλαμβάνει ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Λόγω του ότι, τα μαθηματικά μοντέλα, περιλαμβάνουν γενικεύσεις και υποθέσεις, κρίνεται σκόπιμο όπως επαληθεύονται με πειραματικές μετρήσεις⁵². Τα μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς χρησιμοποιούν ως δεδομένα εισόδου τις παρακάτω μετεωρολογικές παραμέτρους:

-ταχύτητα,

-διεύθυνση ανέμου,

-θερμοκρασία,

-κατηγορία ευστάθειας της ατμόσφαιρας,

-ύψος στρώματος ανάμειξης κ.ά.

Η διασπορά ενός ρύπου, στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι δυνατό να εκτιμηθεί με την εξίσωση (1ος Νόμος) του Fick σε μια διάσταση:

$$Q = -k \frac{\partial C}{\partial x}$$

Όπου Q η ροή μάζας, (flux), μετριέται σε M/L²T,

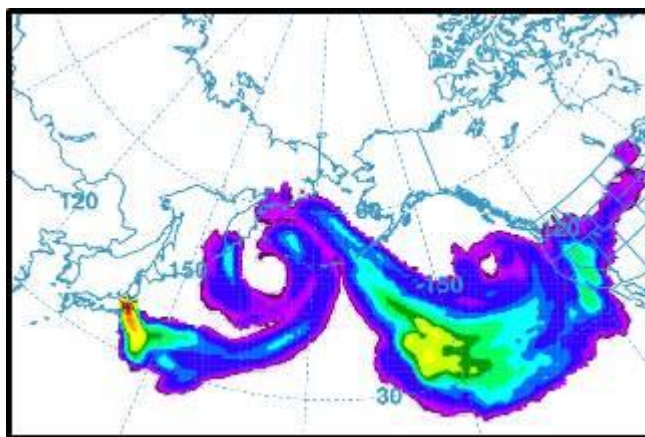
K ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης, μετριέται σε L²/T

$\frac{\partial C}{\partial x}$ κλίση της συγκέντρωσης με την απόσταση, μετριέται σε M/L⁴

⁵² Η ρύπανση των θαλασσών, Κώστα Φυτιάνου UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη 2017.

Ο συντελεστής Κ, καθώς επίσης η κλίση δεν παραμένουν σταθερά τόσο στο χώρο όσο και στον χρόνο, επομένως η λύση του προβλήματος αντιμετωπίζει αρκετές δυσκολίες.

Το μοντέλο HYSPLIT⁵³



Ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως στην προσομοίωση διασποράς, προκειμένου να υπολογιστούν τα μέσα επίπεδα και οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων ρύπων (NO_x και CO) στον αέρα, σε ετήσια, ημερήσια και ωριαία βάση είναι το Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT). Αυτό αποτελεί την τελευταία έκδοση ενός ολοκληρωμένου συστήματος υπολογισμού τόσο απλών μετακινήσεων αέριων μαζών, όσο και πολύπλοκων προσομοιώσεων διασποράς και απόθεσης. Η μεθοδολογία υπολογισμού που χρησιμοποιεί το μοντέλο είναι η εξής: Χρησιμοποιεί ένα κινητό πλαίσιο αναφοράς καθώς οι αέριες μάζες, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών ρύπων μετακινούνται από την αρχική τους θέση (Lagrangian προσέγγιση), και της Eulerian προσέγγισης, η οποία χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο κάρναβο (grid) ως πλαίσιο αναφοράς. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει μία μεγάλη σειρά προσομοιώσεων σχετικά με την ατμοσφαιρική μεταφορά και διασπορά ρύπων και επικίνδυνων υλικών, καθώς και με την απόθεσή τους στην επιφάνεια της γης.

Παρακάτω παρατίθενται έτερα συστήματα προσομοίωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της εκπομπής αερίων.

JTLS

Στο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας, αξιοποιείται το σύστημα προσομοίωσης, Joint Theater Level Simulation (JTLS), το οποίο αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα προσομοίωσης. Χρησιμοποιείται δε μεταξύ άλλων, για τις επιπτώσεις φυσικών καταστροφών στο περιβάλλον, και εκτελούνται ασκήσεις, σε συνεργασία με άλλα Υπουργεία, για το συντονισμό τους, σε περίπτωση φυσικών καταστροφών⁵⁴.

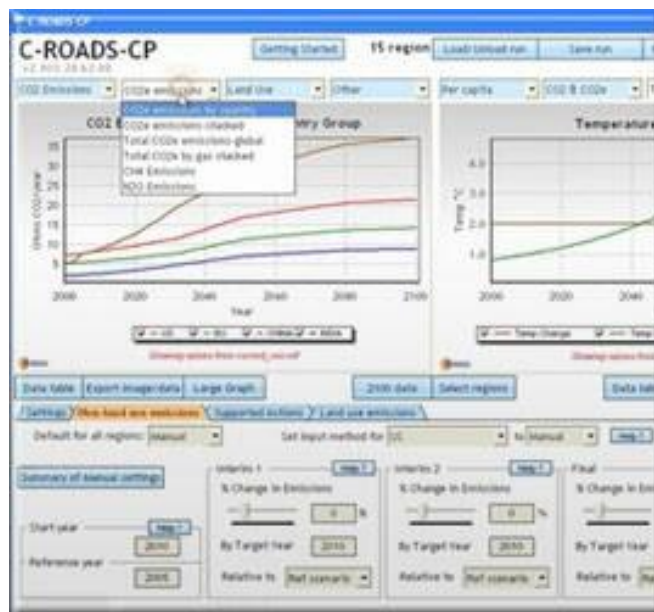
⁵³ <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>

⁵⁴ www.geetha.mil.gr

Το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας (ΓΕΕΘΑ), είναι από τους 46 φορείς διεθνώς που διαθέτει και χρησιμοποιεί το σύστημα προσομοίωσης Joint Theatre Level Simulation (JTLS), μέσω του οποίου σχεδιάζει, οργανώνει και εκτελεί σε συνεργασία με άλλους φορείς **ασκήσεις προσομοίωσης** σε εθνικό επίπεδο. Μεταξύ των κρατών που χρησιμοποιούν το σύστημα, είναι και οι ΗΠΑ.

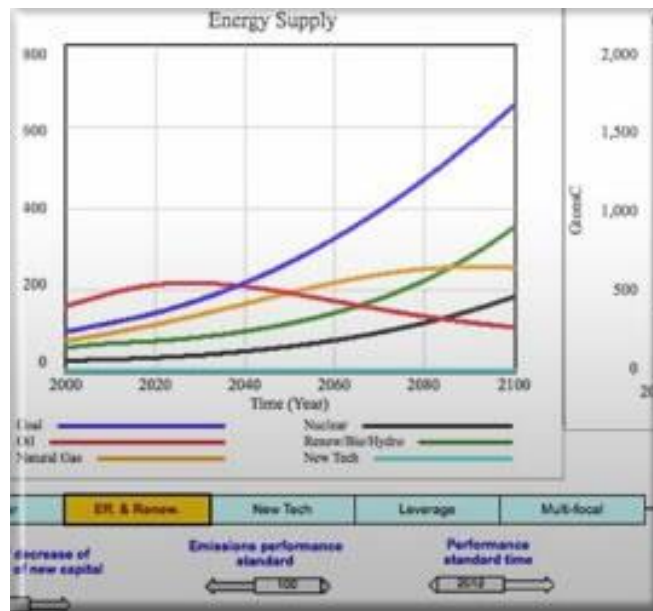
Το JTLS είναι σύστημα προσομοίωσης interactive (αλληλεπίδρασης με τον χρήστη) multi-sided (πολύπλευρο, έως και δέκα πλευρές είναι δυνατόν να παίζουν ταυτόχρονα) και που υποστηρίζει συνδυασμένες επιχειρήσεις μεταξύ άλλων πολιτικής προστασίας (σχέδια αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών – ρύπανση του περιβάλλοντος). Το σύστημα προσομοίωσης, χρησιμοποιεί εσωτερικές υπολογιστικές λειτουργίες (αλγορίθμους) για τον υπολογισμό των στοιχείων. Η βάση δεδομένων είναι το σημαντικότερο μέρος του μοντέλου, διότι από την ακρίβεια των στοιχείων της εξαρτάται η αξιοπιστία ή όχι των αποτελεσμάτων των ασκήσεων προσομοίωσης. Χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες σε Έδαφος και Προσωπικό. Στο JTLS το έδαφος αναπαρίσταται σε παραλληλόγραμμα ανάλυσης που θα φτάνει στα 250μ, το οποίο στο μοντέλο περιγράφεται στη βάση σε σχέση με τη γεωγραφική του θέση (Lat-Long), τον τύπο εδάφους (Θάλασσα, Δάσος, Βουνό,...).

C-ROADS-CP⁵⁵



⁵⁵ <https://croadsworldclimate.climateinteractive.org>

ENERGY SUPPLY⁵⁶



COMBUSEM⁵⁷



CO₂ mpas⁵⁸



⁵⁶ <https://www.energy-supply.dk>

⁵⁷ combusem.com

⁵⁸ <https://co2mpas.io>

Εκτιμάται ότι η χρήση τέτοιων συστημάτων, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής μελέτης – έρευνας σε επόμενη διατριβή, με σκοπό την πρόβλεψη της λειτουργικής τους συμπεριφοράς και των εκπομπών αερίων (CO₂, NO_x, PM,...). Με τη βοήθεια αυτών των μοντέλων, τα οποία χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι χωρίς κόστος και απώλειες, μπορούμε να περιγράψουμε σε προκαθορισμένο χρόνο, τη συμπεριφορά των μηχανών του πλοίου, και να μελετούμε τις επιπτώσεις που θα έχουμε όταν θα αλλάζουμε κάποιες παραμέτρους, τόσο όσο έχει να κάνει με την ενεργειακή απόδοση του πλοίου, όσο και τους ρύπους που θα εκπέμπει η συγκεκριμένη μηχανή. Συνολικά προσομοιώνονται όλες οι φάσεις που θέλουμε να μελετήσουμε.

5.2.3. Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (EEDI)-Εργαλείο Δχσης (SEEMP)

Το 2013 τέθηκαν σε ισχύ μέτρα του Παραρτήματος VI της MARPOL, που έχουν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ναυτιλίας, ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές CO₂. Για να μπορέσει ένα πλοίο να αποκτήσει το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC), θα πρέπει να τηρεί:

- τις απαιτήσεις για τον Δείκτη Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία από 400 GT και πάνω, καθώς επίσης
- να χρησιμοποιεί το εργαλείο διαχείρισης (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP), το οποίο αφορά λειτουργικά κυρίως μέτρα, για όλα τα πλοία (νέα και υπάρχοντα)⁵⁹.

5.2.3.1 Ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (EEDI)

Επί της ουσίας, ο EEDI εκφράζει τον λόγο του κόστους για το περιβάλλον προς την ωφέλεια για την κοινωνία που προκύπτει από τις μεταφορές από ένα πλοίο. Συγκεκριμένα, το κόστος οφείλεται στις εκπομπές CO₂ από ένα πλοίο, οι οποίες συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ η ωφέλεια είναι το μεταφορικό έργο που ένα πλοίο προσφέρει.

$$EEDI = \frac{\text{Κόστος για το περιβάλλον}}{\text{Οφελος για την κοινωνία}} = \frac{\text{Εκπομπές CO}_2}{\text{Μεταφορικό έργο}}$$

Πιο αναλυτικά, ο EEDI [σε g/(tonnes.nm)], μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση⁶⁰:

⁵⁹ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ)

⁶⁰ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ) (MEPC 2014)

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}\right) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE} + \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nPPT} P_{PPT(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{ff(i)} P_{AEff(i)}\right) C_{FAE} SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME}\right)}{f_i f_c f_l Capacity_{refw}}}$$

Ακολούθως αναλύονται οι παράμετροι της εξίσωσης, και αφορούν τις μηχανές του πλοίου:

P Ισχύς των μηχανών του πλοίου (μετριέται σε kW).

PME(i) η ισχύς των κύριων μηχανών του πλοίου, στο 75% του Maximum Continuous Rating (MCR).

PPT(i) το 75% της ισχύος κάθε εγκατεστημένου αξονικού κινητήρα.

Peff(i) το 75% της μείωσης μηχανικής ισχύος (kW) που οφείλεται σε καινοτόμες μηχανικές τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας.

PAEff(i) η μείωση της ηλεκτρικής ισχύος (kW) από την εφαρμογή τεχνολογιών ηλεκτρικής ενεργειακής εξοικονόμησης.

vref η ταχύτητα (από τη σχεδίαση του πλοίου) σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (κόμβους – knots) στη μέγιστη κατάσταση φόρτωσης. Η μέτρηση γίνεται υπό την υπόθεση εργασίας ότι το πλοίο βρίσκεται σε βαθιά νερά, ήρεμη θάλασσα και απουσία ανέμου.

Capacity Χωρητικότητα

CF Συντελεστής εκπομπής (άνευ διαστάσεων), που βασίζεται στο περιεχόμενο του καυσίμου σε άνθρακα και αποδίδει την ποσότητα (σε g) CO₂ που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, από τη μηχανή του πλοίου, (επίσης σε g).

SFC Ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει η μηχανή, ανά μονάδα ενέργειας που αποδίδει (Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου) (Specific Fuel Consumption), μετριέται σε g/kWh.

fj Συντελεστής που αφορά σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες των πλοίων (αδιάστατος συντελεστής) και αφορούν την εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης (π.χ.πλοία ice-classed ή δεξαμενόπλοια shuttle).

fw Στις παραμέτρους που συμπεριλαμβάνονται υπόψη είναι η μείωση της ταχύτητας σε χαρακτηριστικές καταστάσεις θάλασσας, με συγκεκριμένο ύψος κύματος, συχνότητα κυματισμού και ταχύτητα ανέμου.

feff(i) Αφορά την κάθε καινοτόμο τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας. Εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που αυτή τεχνολογία εφαρμόζεται στο πλοίο κατά τη διάρκεια της πλεύσης.

fi Σχετίζεται με την χωρητικότητα του πλοίου, (περιορισμοί) λόγω των κανονισμών και τεχνικών ιδιαιτεροτήτων (π.χ. πλοία ice-classed).

fc Παράγοντας διόρθωσης για την χωρητικότητα του πλοίου, σε κυβικά πόδια ή κυβικά μέτρα (cubic capacity).

fl Αφορά πλοία γενικού φορτίου που διαθέτουν γερανούς και άλλα μηχανήματα φορτοεκφόρτωσης και σε αυτόν δυνατό να αποδοθεί η απώλεια DWT του πλοίου.

Το περιεχόμενο διαφόρων τύπων καυσίμων σε άνθρακα και ο συντελεστής εκπομπής CF σύμφωνα με διεθνή πρότυπα ISO, δίνονται στον παρακάτω πίνακα

Τύπος καυσίμου	Αναφορά	Περιεχόμενο σε άνθρακα	CF (tones-CO ₂ /tonnes-καυσίμου)
Ντίζελ/GasOil	ISO 8217 Grades DMX έως DMC	0,8744	3,206
Ελαφρύ Καύσιμο Πετρέλαιο (LFO)	ISO 8217 Grades RMA έως RMD	0,8594	3,151
Βαρύ Καύσιμο Πετρέλαιο (HFO)	ISO 8217 Grades RME έως RMK	0,8493	3,114
Υγροποιημένα Αέρια Πετρελαίου (LPG)	Προπάνιο	0,8182	3,000
Βουτάνιο		0,8264	
Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	I.	0,75	2,750

Πίνακας 7. Περιεχόμενο σε άνθρακα και συντελεστής εκπομπής για διάφορα ναυτιλιακά καύσιμα⁶¹

Προφανώς για μια αναυτιλιακή εταιρεία, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η μεγιστοποίηση του οφέλους από ένα πλοίο. Συνεπώς οι τιμές του EEDI θα πρέπει σταδιακά να μειώνεται.

Ο υπολογισθείς EEDI (ή επιτευχθείς EEDI) ενός νέου πλοίου σύμφωνα με τα σχεδιαστικά του χαρακτηριστικά και οι θαλάσσιες δοκιμές, θα πρέπει να λαμβάνει χαμηλότερη τιμή από μια τιμή αναφοράς (τον απαιτούμενο EEDI), που προκύπτει με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων (ανάλυση παλινδρόμησης). Γραμμή αναφοράς, αποτελεί η τιμή EEDI ορισμένης κατηγορίας πλοίων χωρητικότητας 400 GT και άνω, που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1999 και 2009. Για την εξεύρεση της γραμμής αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων Lloyd's Register Fairplay.

Υπάρχουν τόσο θετικά αλλά και αρνητικά σχόλια σχετικά με τον EEDI. Πρόκειται για έναν δείκτη που μετράει την ενεργειακή απόδοση των πλοίων και δεν δεσμεύεται από τις κατασκευαστικές βελτιώσεις και τεχνολογίες με τις οποίες θα επιτευχθεί η απαιτούμενη ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτό σημαίνει ότι κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων θα μπορούν να χρησιμοποιούνται κάθε φορά οι πιο σύγχρονοι και αποδοτικοί τρόποι συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Θωρείται ότι είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, διότι είναι ένας δείκτης που

⁶¹ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ) (MEPC 2014)

εστιάζεται στις εκπομπές CO₂ που εκπέμπονται από κάποιο πλοίο, με στόχο να βοηθήσει την αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας του μέσου αυτού. Χρησιμοποιείται δε σε παγκόσμιο επίπεδο.

Από την άλλη πλευρά, αναφέρονται διάφορα προβλήματα τόσο για τον Επιτευχθέντα EEDI όσο και για τις γραμμές αναφοράς. Κατ' αρχάς υπάρχουν αντιρρήσεις σχετικά με την εγκυρότητά – αντικειμενικότητα της βάσης δεδομένων IHS Fairplay, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς του EEDI, παρ' ότι επίσημα συμφωνήθηκε στον IMO. Καθώς δεν είναι υποχρεωτικό για τους πλοιοκτήτες να παρέχουν δεδομένα για τα πλοία τους στη βάση αυτή, η ακρίβεια των δεδομένων αμφισβητείται και έχουν αποδειχθεί αποκλίσεις σε σύγκριση με άλλες μετρήσεις σε δεδομένα πλοίων⁶². Διαπιστώνεται η ανάγκη για τη δημιουργία μιας νέας βάσης ειδικά για τον σκοπό αυτό, η οποία θα αποτελεί ένα σημείο αναφοράς αποδεκτό από όλους, με μετρήσεις οι οποίες θα διασταυρωθούν και από άλλες πηγές δηλαδή δεδομένα που θα λαμβάνονται από τους πλοιοκτήτες, τις χώρες σημαίας, τους νηογνώμονες και τα ναυπηγεία.

Άλλο πρόβλημα το οποίο αναδείχτηκε κατά τη διάρκεια συζητήσεων στο πλαίσιο της MEPC είναι η πολυπλοκότητα εφαρμογής του EEDI στα πλοία, λόγω της τεράστιας ποικιλίας σχεδιασμών και λειτουργικότητων των πλοίων. Αυτές οι ιδιαιτερότητες εμφανίζονται σε ορισμένες κατηγορίες πλοίων, όπως τα πλοία γενικού φορτίου και κατεψυγμένου φορτίου, τα μικρά πλοία, τα δεξαμενόπλοια χημικών, τα επιβατικά πλοία, τα οχηματαγωγά (Ro-Ro Cargo) και τα επιβατικά-οχηματαγωγά (Ro-Ro Passenger) πλοία.

Επίσης, υπάρχουν απόψεις ότι ο EEDI δεν θα περιορίσει τόσο πολύ τις πραγματικές εκπομπές CO₂ από τα πλοία, αφού η αρχική τιμή του δείκτη (Φάση 0) θεωρείται ότι δεν είναι ιδιαίτερα φιλόδοξη σε σχέση με τις επιδόσεις του υπάρχοντος στόλου. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι τα περισσότερα πλοία που λειτουργούν στη Βόρεια Θάλασσα πληρούν ήδη τις απαιτήσεις, άρα τα νέα πλοία δεν χρειάζονται ιδιαίτερες τροποποιήσεις. Εάν θεωρηθεί ότι ο κύκλος ζωής ενός πλοίου ολοκληρώνεται σε 25 χρόνια, τα πλοία της Φάσης 0, θα λειτουργούν έως και το 2038, εκπέμποντας ίδιες ποσότητες CO₂. Συνεπώς, η επίδραση του EEDI θα χρειαστεί τουλάχιστον μία έως δύο δεκαετίες για να γίνει αισθητή⁶³.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί, η στάση ορισμένων αναπτυσσόμενων χωρών απέναντι στον δείκτη αυτόν. Συγκεκριμένα, οι κυριότερες, και με επιρροή, αναπτυσσόμενες χώρες (με επικεφαλής την Κίνα, τη Βραζιλία, την Ινδία, τη Νότια Αφρική και τη Σαουδική Αραβία) διατύπωσαν κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων την άποψη ότι η καθολική εφαρμογή του EEDI έρχεται σε σύγκρουση με την αρχή της κοινής αλλά διαφοροποιημένης ευθύνης (Common but Differentiated Responsibility). Αυτή εκφράζεται και στη UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), σύμφωνα με την οποία μόνο οι αναπτυγμένες χώρες υπόκεινται στους δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του πρωτοκόλλου του Κιότο. Η αρχή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι, ιστορικά οι αναπτυγμένες χώρες είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος

⁶² Deltamarin, 2011

⁶³ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ) (MEPC 2014)

των εκπομπών CO₂. Επί της ουσίας, το αίτημα των αναπτυσσόμενων χωρών ήταν να μη συμπεριληφθούν στο αναπτυσσόμενο πλαίσιο του EEDI ή να συμπεριληφθούν υπό ευνοϊκότερους όρους. Από την άλλη πλευρά, ο IMO προτιμά να ισχύουν τα ίδια μέτρα, χωρίς διαφοροποιήσεις, σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε να μη στρεβλώνεται ο ανταγωνισμός και αυτό αποτελεί μια θεμελιώδη αρχή που διέπει όλο του το έργο.

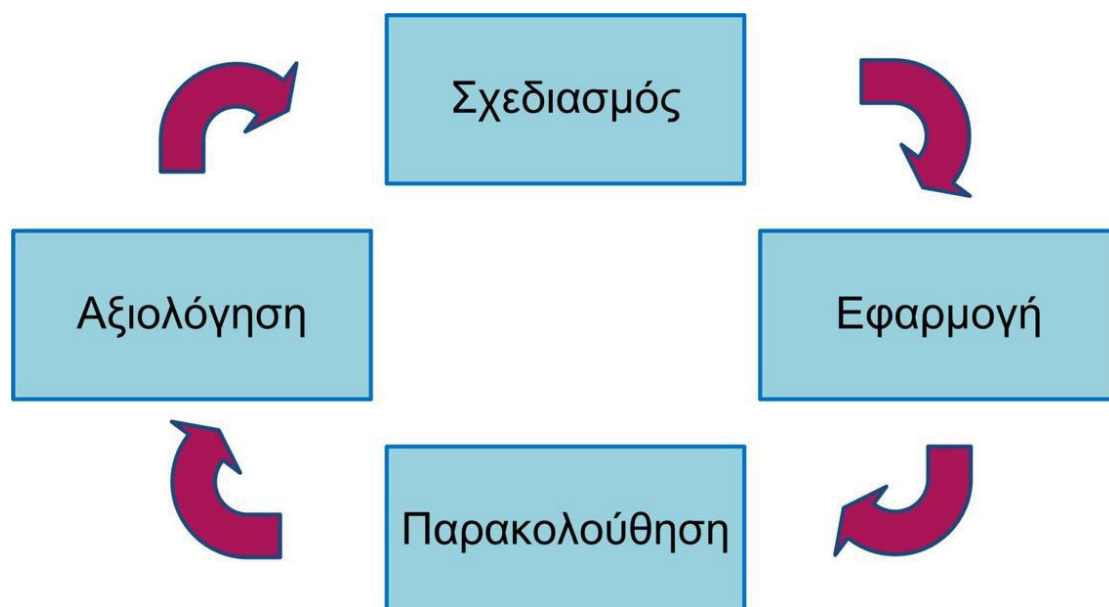
5.2.3.2 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)

Το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan-SEEMP) είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο το οποίο καθιερώνει έναν μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου, με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το SEEMP έγινε υποχρεωτικό από τον IMO για όλα τα πλοία πάνω από 400 GT σε διεθνείς πλόες από την 1/1/2013 και απαιτείται για την έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC).

Κάθε πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα SEEMP επί του σκάφους, το οποίο θα έχει εκπονηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Το SEEMP θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί ως διαδικασία, μια ιδανική ευκαιρία για το πλοίο, αφού βελτιώνοντας την ενεργειακή αποτελεσματικότητα του πλοίου, να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους του καυσίμου του πλοίου.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή του SEEMP είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει τα παρακάτω τέσσερα κύρια στάδια:

- σχεδιασμός,
- εφαρμογή,
- παρακολούθηση,
- αυτοαξιολόγηση και βελτίωση.



Εικόνα 17 : Τα στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής του SEEMP.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Οι κύριες (και περισσότερο χρονοβόρες) διαδικασίες κατά το στάδιο του σχεδιασμού, περιλαμβάνουν τις παρακάτω εργασίες:

- εκτίμηση της τρέχουσας ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου και του στόλου,
- καθορισμός των μελλοντικών στόχων ενεργειακής αποδοτικότητας για το πλοίο, τον στόλο και την εταιρεία συνολικά,
- αξιολόγηση και επιλογή μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης για την επίτευξη των στόχων,
- σχεδιασμός των απαιτούμενων αλλαγών σε διαδικασίες και εξοπλισμό για το πλοίο και τον στόλο,
- προσδιορισμός ή ανάπτυξη των εργαλείων μέτρησης και παρακολούθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας,
- σύνταξη του SEEMP.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ του SEEMP

Ακολουθεί το στάδιο της εφαρμογής του SEEMP. Το στάδιο αυτό απαιτεί συγκεκριμένα σχέδια ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αλλαγές στα σκάφη, τις λειτουργίες τους και τη διαχείρισή τους. Συμπεριλαμβάνεται η ανάθεση αρμοδιοτήτων για κάθε στοιχείο του SEEMP. Συγκεκριμένα, απαιτούνται τα ακόλουθα:

- δημοσίευση του SEEMP,
- υλοποίηση των αλλαγών στις διαδικασίες και τον εξοπλισμό του πλοίου,
- ανάθεση αρμοδιοτήτων,
- παροχή εκπαίδευσης στο πλήρωμα του πλοίου και στο προσωπικό ξηράς.

Ένα ουσιώδες μέρος της εφαρμογής του SEEMP είναι η αύξηση της ευαισθητοποίησης του προσωπικού, σε όλες τις θέσεις, για τα ενεργειακά θέματα, έτσι ώστε να εφαρμόζεται σωστά το SEEMP. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για το πλήρωμα, που είναι υπεύθυνο για την καθημερινή λειτουργία του πλοίου.

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου σημαίνει τη συνεχή συλλογή των κατάλληλων δεδομένων σε όλες τις φάσεις της λειτουργίας του πλοίου. Θα πρέπει να γίνεται με έναν συνδυασμό αυτόματης

καταγραφής και χειροκίνητης τεκμηρίωσης, ώστε να ελαχιστοποιείται κατά το δυνατόν ο χρόνος απασχόλησης του προσωπικού. Η εταιρεία θα πρέπει να εφαρμόζει ένα σύστημα παρακολούθησης που θα περιλαμβάνει ανάλυση των δεδομένων και υποβολή εκθέσεων. Ένα εργαλείο παρακολούθησης αποτελεί ο Δείκτης Αποδοτικής Ενεργειακά Λειτουργίας του πλοίου .

ΑΥΤΟΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το στάδιο της αυτοαξιολόγησης απαιτείται να λαμβάνει χώρα σε τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία προσδιορίζονται στο SEEMP. Περιλαμβάνει:

αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων του πλοίου και ολόκληρου του στόλου (με χρήση των δεδομένων παρακολούθησης) σε σχέση με προκαθορισμένους δείκτες,

αναγνώριση των αιτιών για την παρατηρούμενη ενεργειακή απόδοση και προτάσεις για τη βελτίωση της,

επανεξέταση της αποτελεσματικότητας του SEEMP και προτάσεις βελτίωσής του,

εφαρμογή αλλαγών και συνέχιση παρακολούθησης.

Ενώ το SEEMP είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο για όλα τα πλοία, μπορεί παράλληλα να θεωρηθεί μη δεσμευτικός κανονισμός (soft regulation), υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει μηχανισμός που να επιβάλλει ή να δίνει κίνητρα στους διαχειριστές του πλοίου να εφαρμόσουν το SEEMP που έχει εκπονηθεί για κάθε πλοίο τους. Η επιβολή του κανονισμού περιορίζεται στην εξακρίβωση (για παράδειγμα κατά τον έλεγχο του πλοίου από το κράτος λιμένα) ότι το SEEMP υπάρχει επί του πλοίου ως μέρος των επίσημων εγγράφων του και ότι έχει εκπονηθεί βάσει των οδηγιών.

5.2.4 Ο Δείκτης Αποδοτικής Ενεργειακά Λειτουργίας του πλοίου (Energy Efficiency Operational Indicator – EEOI)

Ο EEOI, αποτελεί ένα δείκτη ο οποίος δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του SEEMP. Ο EEOI επηρεάζεται από τις αλλαγές στη λειτουργία των πλοίων, σε αντίθεση με τον EEDI, που σχετίζεται με τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Δηλαδή, ο EEOI χρησιμοποιεί τις πραγματικές εκπομπές CO₂ και το πραγματικό μεταφορικό έργο του πλοίου κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Ο δείκτης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη έναν αριθμό ταξιδιών, ώστε να προκύπτει ο μέσος όρος⁶⁴.

Στην πιο απλή του μορφή, ο EEOI ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του CO₂ που εκπέμπεται στη διάρκεια ενός ταξιδιού, ανά μονάδα μεταφορικού έργου:

⁶⁴ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ)

$$EEOI = (M_{CO_2}) / (\text{Μεταφορικό έργο})$$

Όπως συνάγεται, οι τιμές που λαμβάνει ο εν λόγω δείκτης, είναι αντιστρόφως ανάλογος της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Δηλαδή όσο μικρότερες τιμές λαμβάνει ο δείκτης, τόσο αποδοτικότερη ενεργειακά είναι η λειτουργία ενός πλοίου. Αναλυτικότερα, για κάποιο ταξίδι, ο EEOI υπολογίζεται βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j C_{Fj}}{m_{\text{cargo}} D}$$

Όπου:

j Το είδος καυσίμου που χρησιμοποιεί το πλοίο,

FC_j Η μάζα του καυσίμου που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, (υπολογίζεται σε τόνους),

C_{Fj} Αποδίδει τη μάζα CO₂ που εκπέμπεται από την καύση μιας ορισμένης μάζας καυσίμου (αδιάστατο μέγεθος, μετριέται σε τόνους CO₂/τόνους καυσίμου),

m_{cargo} το φορτίο που μεταφέρθηκε κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (υπολογίζεται σε τόνους) ή το πλήθος των επιβατών που μεταφέρθηκαν, για τα επιβατικά πλοία,

D η απόσταση σε ναυτικά μίλια για το φορτίο που μεταφέρθηκε στο ταξίδι ή το πλήθος των επιβατών που μεταφέρθηκαν.

Υπάρχει άμεση σχέση των μονάδων του EEOI, με το φορτίο που μεταφέρθηκε ή το πλήθος των επιβατών που μεταφέρθηκαν. Υπολογίζεται σε τόνους CO₂/(τόνους·nm), τόνους CO₂/(TEU·nm), τόνους CO₂/(person·nm) κ.λπ. Ένα παράδειγμα υπολογισμού του EEOI⁶⁵, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Όνομα και τύπος πλοίου:				
Ταξίδι ή μέρα	Κατανάλωση καυσίμου (FC) στο πλοίο και το λιμάνι (tonnes)		Δεδομένα ταξιδιού ή περιόδου	
	HFO	LFO	Φορτίο m (tonnes)	Απόσταση D (nm)
1	20	5	25.000	300
2	20	5	0	300
3	50	10	25.000	750
4	10	3	15.000	150

Πίνακας 10 Υπολογισμός του EEOI, σύμφωνα με τα λειτουργικά δεδομένα του πλοίου.

Κατόπιν των ανωτέρω δεδομένων (πίνακα για συγκεκριμένο ταξίδι, καθώς επίσης και των δεδομένων των συντελεστών εκπομπής C_{Fj} ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου), το αποτέλεσμα της εξίσωσης του EEOI, γίνεται:

⁶⁵ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ), όπως αναφέρεται στο ΜΕΡC.1/Circ.684

$$EEOI = \frac{100 \text{ tonnes} \times 3,114 + 23 \text{ tonnes} \times 3,151}{25.000 \text{ tonnes} \cdot 300 \text{ nm} + 0 \text{ tonnes} \cdot 300 \text{ nm} + 25.000 \text{ tonnes} \cdot 750 \text{ nm} + 15.000 \text{ tonnes} \cdot 150 \text{ nm}}$$

$$= 1,34 \times 10^{-5} \text{ tonnes CO}_2 / (\text{tonnes} \cdot \text{nm})$$

5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Για τη μείωση των ρύπων που εκπέμπουν τα πλοία τα μέτρα που εφαρμόζονται, θα μπορούσαν να χωριστούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες⁶⁶:

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα **τεχνικά μέτρα**. Σκοπός αυτών είναι είτε η μείωση της απαίτησης των μηχανών σε ενέργεια, είτε η βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων. Είναι επομένως λογικό ότι η εφαρμογή των τεχνικών μέτρων να απαιτούν συνήθως μεγάλες επενδύσεις, ενώ πολλά από αυτά να περιορίζονται στην εφαρμογή τους σε νέα πλοία, λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασής τους στα παλιά.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τη **χρήση εναλλακτικών καυσίμων**, όπως είναι τα βιοκαύσιμα ή το φυσικό αέριο (LNG), καθώς και **χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας**, όπως π.χ. η αιολική ή η ηλιακή. Στα μειονεκτήματα αυτής της κατηγορίας είναι ότι απαιτούν μεγάλες επενδύσεις, τόσο πάνω στο πλοίο, όσο και σε επίπεδο εξωτερικών εγκαταστάσεων.

Η τρίτη κατηγορία αναφέρεται σε **λειτουργικά μέτρα**, με σκοπό τη βελτίωση των τρόπων με τους οποίους ελέγχεται και λειτουργεί ένα πλοίο, ενώ δεν απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις. Αντίθετα, είναι δυνατόν να απαιτούν αλλαγές στη διοίκηση και τα εκπαιδευτικά προγράμματα των ναυτιλιακών εταιριών.

Η τέταρτη και τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει **δομικά μέτρα**, τα οποία είναι ιδανικά όταν η μείωση της εκπομπής ρύπων αφορά την αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων μερών που ασχολούνται με τη ναυτιλία. Στην περίπτωση αυτή, η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στηρίζεται στην αλλαγή της δομής της αλληλεπίδρασης των εμπλεκόμενων μερών⁶⁷

5.3.1 Τεχνολογικά μέτρα

Τα τεχνολογικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂ αφορούν αλλαγές στο κύτος (hull), την έλικα ή τη μηχανή του πλοίου⁶⁸. Διαπιστώθηκε ότι ναυπηγία σε πολλά μέρη του πλανήτη, έχουν στραφεί στον πρωτοποριακό σχεδιασμό πλοίων, αντικαθιστώντας το συμβατικό σχεδιασμό των πλοίων και αναπτύσσοντας υβριδικά συστήματα ενέργειας. Έχουν στόχο την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, για τη μείωση της αντίστασης στην κίνηση του πλοίου (αεροδυναμικός σχεδιασμός, αποδοτικότερης πρόωσης, αλλά και την αξιοποίηση νέων υλικών.

⁶⁶ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, OHE, E.E., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

⁶⁷ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ) (DNV, 2010)

⁶⁸ (Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ)

Βελτιώσεις στο κύτος

Κατά τη διάρκεια της κίνησης ενός πλοίου, διαπιστώνονται δυνάμεις που αντιτίθενται (αντιστάσεις) στην κίνησή του, δυνάμεις που οφείλονται:

- στην τριβή μεταξύ της γάστρας και του νερού,
- στους κυματισμούς που προκαλεί το πλοίο καθώς πλέει σε ήρεμο νερό,
- στις δίνες που δημιουργούνται στην πρύμνη του πλοίου,
- στα παρελκόμενα του πλοίου και στην πίεση που ασκεί ο ακίνητος αέρας λόγω της κίνησης του πλοίου.

Μία μέθοδος για να μειωθεί αυτή η δύναμη, είναι η βελτιστοποίηση του σχήματος της γάστρας. Εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι κατά κύριο λόγο στα μικρότερα πλοία, διότι αυτά δημιουργούν σχετικά μεγαλύτερη αντίσταση λόγω κυματισμού σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα πλοία.

Άλλη μέθοδος, η οποία αφορά το κύτος του πλοίου, έχει να κάνει με το βάρος του. Όσο μικρότερο είναι το βάρος του, τόσο μειώνεται η επιφάνεια που βρέχεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντίσταση με το νερό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ελαφρύτερων υλικών στην κατασκευή του. Εκτιμάται ότι από την ελαφριά κατασκευή επιτυγχάνεται μείωση κατά 7% συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο υπάρχουν περιορισμοί στην χρήση ελαφρύτερων υλικών, λόγω των απαιτήσεων αντοχή και ασφάλειας στην κατασκευή του πλοίου.

Η χρήση κατάλληλων, ολισθηρών επιχρισμάτων αποτελεί άλλη μέθοδο στη μείωση της αντίστασης τριβής της γάστρας του πλοίου με το νερό κατά την κίνησή του. Το δυναμικό μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων την τρέχουσα περίοδο ανέρχεται περίπου 5%, ωστόσο αυτό αναμένεται να αυξηθεί μελλοντικά, λόγω της ανακάλυψης νέων υλικών.

Η χρήση φυσαλίδων αέρα μεταξύ της γάστρας του πλοίου και του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα τη λίπανση με αέρα (air lubrication) είναι άλλη μέθοδος για τη μείωση της αντίστασης. Επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός φυσητήρα αέρα ο οποίος παράγει φυσαλίδες σε διαφορετικές, σε συμμετρικές θέσεις στη γάστρα του πλοίου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ομοιόμορφο στρώμα αέρα. Με τη μέθοδο αυτή αναμένεται ότι επιτυγχάνεται μείωση στην κατανάλωση καυσίμων 10-15% και αντίστοιχη μείωση στις εκπομπές CO₂.

Βελτιώσεις στην έλικα (υδροδυναμικός σχεδιασμός)

Μελέτες έδειξαν ότι η απόδοση της έλικας βελτιώνεται, με αποτέλεσμα την ταχύτερη ώθηση του πλοίου, όταν αυξάνεται η διάμετρος των πτερυγίων και μειώνεται ο αριθμός των περιστροφών ανά λεπτό (revolutions per minute – rpm). Μειώνεται η επιφάνεια και η αντίσταση της τριβής όταν μειώνεται ο αριθμός των πτερυγίων. Ωστόσο υπάρχουν και εδώ περιορισμοί στον σχεδιασμό της έλικας, όπως στο βύθισμα του πλοίου και τη μηχανική φόρτιση του έλικα.

Οι ομοαξονικές, αντίθετα περιστρεφόμενες έλικες (coaxial contra-rotating propeller), αποτελούν ένα παράδειγμα βελτιστοποίησης. Η πρυμναία έλικα ανακτά μέρος της περιστροφικής ενέργειας των ρευμάτων από την μπροστινή έλικα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε περίπτωση που έχουμε έλικες με βαρύ μηχανικό φορτίο και τα καλύτερα αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε περιπτώσεις γρήγορων φορτηγών πλοίων και πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Τα εκτιμώμενα αποτελέσματα είναι η μείωση στην κατανάλωση καυσίμων μεγέθους 6-20%.

Σε όλες τις περιπτώσεις, θα πρέπει να λαμβάνουμε πάντα υπόψη ότι ιδιαίτερα σε τρικυμώδεις θάλασσες η έλικα θα πρέπει να ανταπεξέλθει στο μηχανικό φορτίο που δέχεται. Οι επεμβάσεις τόσο στην έλικα, το πηδάλιο και το πλοίο πάντα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ενιαία διαδικασία, λόγω του ότι αυτά αλληλοεπιδρούν.

Βελτιώσεις της διαδικασίας καύσης στις μηχανές του πλοίου

Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου. Παραδείγματα τέτοιας τεχνολογίας αποτελούν τα παρακάτω:

-το σύστημα ψεκασμού καυσίμου common rail, με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της έγχυσης του καυσίμου.

-με ανάκτηση της θερμότητας και άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης της μηχανής. Μελέτες έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια της καύσης, στη μηχανή, πάνω από το 50% της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα. Επομένως σε περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε σύστημα ανάκτησης της θερμότητας αυτής και μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η συνολική κατανάλωση καυσίμου στο πλοίο να μειωθεί κατά 8-10%. Εφαρμογή αυτής της μεθόδου, έχουμε σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-ψυγείων τα οποία διαθέτουν μεγάλες κύριες μηχανές και έχουν υψηλές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια.

5.3.2 Εναλλακτικά καύσιμα (CNSS, χ.χ.) και πηγές ενέργειας

Τα εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη ναυτιλία είναι το LNG και τα βιοκαύσιμα.

5.3.2.1. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ (ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ)

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς προέρχονται από καλλιέργειες φυτών, όπως το σακχαροκάλαμο και το καλαμπόκι. Αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης, ενώ για την παραγωγή βιοντίζελ χρησιμοποιούνται καλλιέργειες που περιέχουν φυτικά έλαια (ελαιοκράμβη, ηλίανθος, σόγια). Ωστόσο λόγω του ότι οι εκτάσεις (ή καλλιέργειες) που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφίμων χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή καυσίμων, είχε ως αποτέλεσμα την κριτική. Για την παραγωγή των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούνται υπολείμματα μη βρώσιμων καλλιεργειών, όπως παραπροϊόντα επεξεργασίας ξύλου, προϊόντα γρασιδιού είτε βιομηχανικά απόβλητα.

Στα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων συγκαταλέγονται αυτά της μειωμένης εκπομπής CO₂, αλλά και πως όλα τα είδη βιοκαυσίμων δεν περιέχουν καθόλου θείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση τους να συμβάλουν δραστικά στη μείωση των ρύπων.

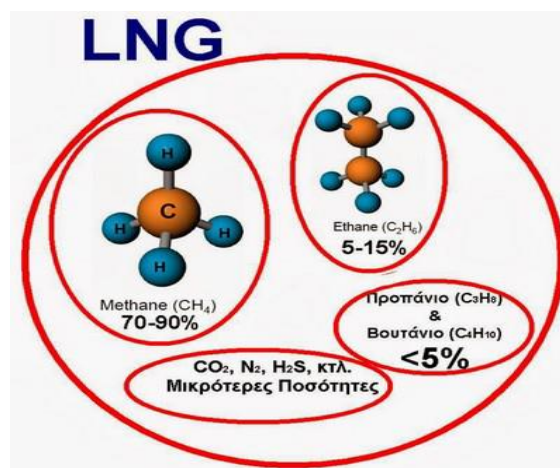
Στην περίπτωση της ναυτιλίας, τα βιολογικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Σε μηχανές πλοίων μικρής ή μέσης ταχύτητας για την αντικατάσταση του Marine Diesel Oil (MDO) και του Marine Gas Oil (MGO), χρησιμοποιείται Βιο-πετρέλαιο.
- Για την αντικατάσταση του Marine Diesel Oil (MDO) και του Marine Gas Oil (MGO) χρησιμοποιείται το Dimethyl ether (DME), στις μηχανές όλων των τύπων
- Σε μηχανές χαμηλής ταχύτητας για όλα τα είδη πλοίων, για την αντικατάσταση του Intermediate Fuel Oil (IFO) ή του Heavy Fuel Oil (HF), θα χρησιμοποιηθεί Καθαρό φυτικό έλαιο (Straight Vegetable Oil) (SVO).
- Στις κύριες ή βοηθητικές μηχανές υψηλών ταχυτήτων, θα χρησιμοποιηθεί Βιολογικό φυσικό αέριο (Bio-LNG) ή βιολογική αιθανόλη (Bio-ethanol).

Μελέτες έδειξαν ότι έχουν μικρότερη πυκνότητα τα βιολογικά καύσιμα από τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται σήμερα στη ναυτιλία. Από αυτό συνάγεται ότι προκειμένου να επιτύχουμε ίδια απόδοση στη λειτουργία των μηχανών πλοίων με τα αντίστοιχα πετρελαιοειδή, απαιτείται η ποιότητα των βιοκαυσίμων να είναι πολύ καλή. Το αποτέλεσμα αυτού όμως είναι η αύξηση του λειτουργικού κόστους του πλοίου, ο οποίος είναι σημαντικός παράγοντας σε μια επιχείρηση.

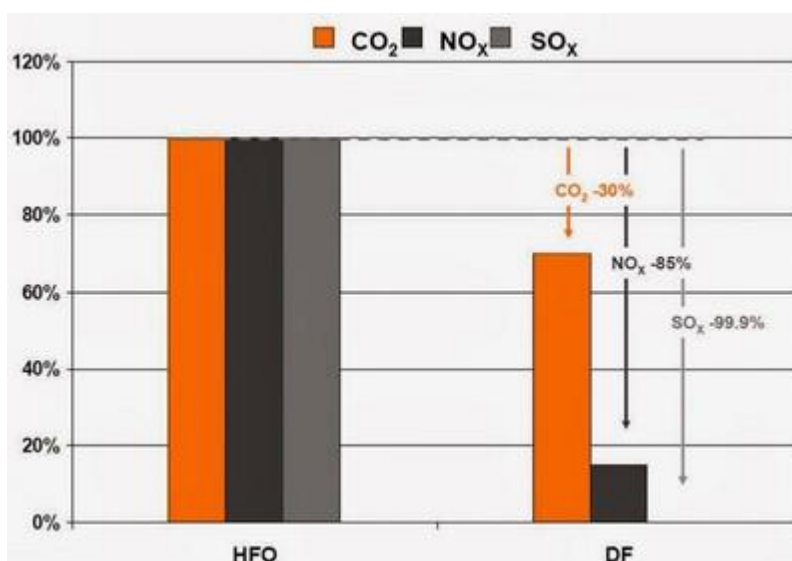
5.3.2.2 Φυσικό Αέριο

Η χρήση φυσικού αερίου σε υγρή μορφή (Liquified Natural Gas-LNG) ως βασικού καυσίμου πρόωσης αποτελεί άλλη λύση για τη μείωση των εκπομπών ρύπων των πλοίων.



Εικόνα 18: Σύσταση φυσικού αερίου σε υγρή μορφή LNG⁶⁹

Κύριο συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο (NH₄), το οποίο λόγω των πλούσιων αποθεμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο είναι διαθέσιμο σε άφθονες ποσότητες. Στα πλεονεκτήματά του σε σύγκριση με το καυσιμέλαιο που χρησιμοποιείται σήμερα, αυτό παράγει περισσότερη ενέργεια ανά εκπεμπόμενη μονάδα CO₂. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση στην εκπομπή CO₂ περίπου 20% ⁷⁰. Αυτή η μείωση βέβαια οφείλεται λόγω των εκπομπών του μεθανίου, το οποίο δεν καίγεται. Όπως και να έχει όμως η χρήση φυσικού αερίου, έχει ως αποτέλεσμα την αισθητή μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO₂, αλλά και αυτές των οξειδίων του θείου και του αζώτου (SO_x και NO_x αντίστοιχα) ⁷¹.



Εικόνα 19: Γράφημα Συγκριτικός πίνακας εκπομπών ρύπων HFO & LNG-DF⁷²

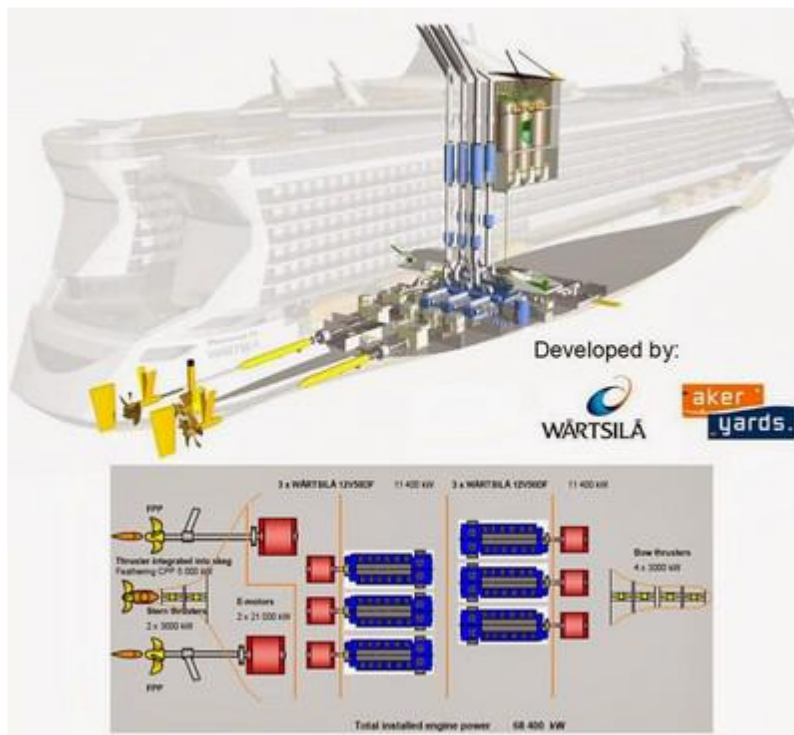
Σε αντιδιαστολή έρχεται το υψηλό κόστος από την χρήση του φυσικού αερίου, μειονέκτημα, το οποίο ανέρχεται κατά 10-20% από το αντίστοιχο ενός κλασικού κινητήρα diesel.

⁶⁹ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

⁷⁰ (Lauer et al., 2009)

⁷¹ (Endresen et al., 2005)

⁷² (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).



Εικόνα 20: Εγκατάσταση μηχανών Dual Fuel για τη χρήση LNG⁷³

5.3.2.3 Εναλλακτικές μορφές ενέργειας

Η αιολική, η ηλιακή και οι κυψέλες καυσίμου, αποτελούν τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας που δύνανται να χρησιμοποιηθούν στη ναυσιπλοία, και αναλυτικά περιγράφονται παρακάτω.

5.3.2.3.1 ΠΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Προκειμένου να μετατραπεί η αιολική ενέργεια σε ισχυρή δύναμη πρόωσης, χρησιμοποιούνται στη ναυσιπλοία άκαμπτα ή μαλακά πανιά, αετών, ή στροφείων Flettner.



⁷³ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).



Εικόνα 21: Χρήση αετών σε πλοίο⁷⁴

Από τα προαναφερόμενα μέτρα, η χρήση αετών αποτελεί την πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την πρόωση των πλοίων. Η υλοποίησή του επιτυγχάνεται με αναπροσαρμογές τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στο λειτουργικό σύστημα των πλοίων. Το κόστος επένδυσης εξαρτάται από την επιφάνεια, ενώ το λειτουργικό κόστος ανέρχεται στο 5-15% του κόστους επένδυσης.

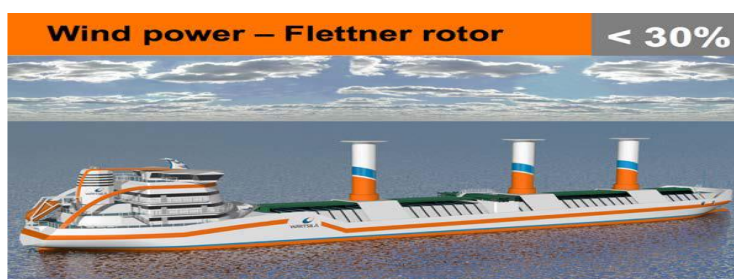
Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

-Η άμεσης εξάρτησης του συστήματος από τη φορά και την ένταση του αέρα, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται η αποδοτικότητα από την χρήση αετών. Όπως είναι αναμενόμενο η χρήση τους εξαρτάται κάθε φορά από τις καιρικές συνθήκες.

-Για την εγκατάσταση αετών ή στροφείων Flettner θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο όγκος του φορτίου που θα μεταφέρουν τα πλοία. Ένας χαρταετός μπορεί να εγκατασταθεί σε πλοίο, το ελάχιστο μήκος του οποίου θα πρέπει να ανέρχεται στα 30 m.

-Η δυνατότητα των πλοίων να προσεγγίσουν τα λιμάνια.

-Η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων υπάρχει περίπτωση να αλληλοεπιδρούν με τις λοιπές λειτουργίες του πλοίου.



⁷⁴ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

Εικόνα 22: Στροφείο Flettner⁷⁵

Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση του ανέμου ως βοηθητική μορφή ενέργειας, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί παρά μόνο ως σωτήρια την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Μελέτες έδειξαν ότι η χρήση χαρταετών στα πλοία, μπορεί να προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 10-35% ανά πλοίο. Καθοριστικό στοιχείο στην ισχύ που δύναται να προσφέρει αποτελεί η επιφάνεια του χαρταετού. Παραδείγματος χάριν, σε περίπτωση που το πλοίο διαθέτει χαρταετό με επιφάνεια ίση με 160 m² εκτιμάται ότι αυτό αντιστοιχεί σε ισχύ 600 kW, ενώ μια επιφάνεια ίση με 5.000 m² αντιστοιχεί σε 19.200 kW.

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Άλλη βοηθητική μορφή ενέργειας σε ένα πλοίο, αποτελεί η ηλιακή ενέργεια. Απαιτείται δε η αποθήκευσή της λόγω του ότι ήλιο δεν διαθέτουμε καθ όλη τη διάρκεια της ημέρας, είναι διακοπτόμενη. Σε περίπτωση που αρκετή επιφάνεια του πλοίου καλυφθεί με φωτοβολταϊκά και αυτό πλοίο επιχειρεί σε περιοχές με ηλιοφάνεια, τότε ενδεχομένως να καλύψει τις ανάγκες του για ηλεκτρική ενέργεια.

Ο επαρκής διαθέσιμος χώρος στο κατάστρωμα, αποτελεί προϋπόθεση για τη χρήση φωτοβολταϊκών στο πλοίο. Επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα φωτοβολταϊκά είναι κατάλληλα για δεξαμενόπλοια και Ro-Ro πλοία. Η σχέση τιμής – απόδοσης των φωτοβολταϊκών, θα μπορούσαν να χαρακτηριστεί σήμερα όχι ιδιαίτερα αποδοτική για τα πλοία.

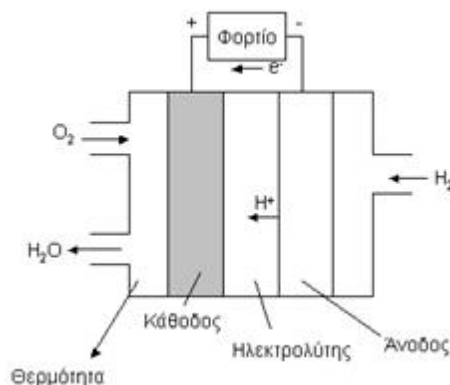
5.3.3 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

⁷⁵ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (IMO, OHE, E.E., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).



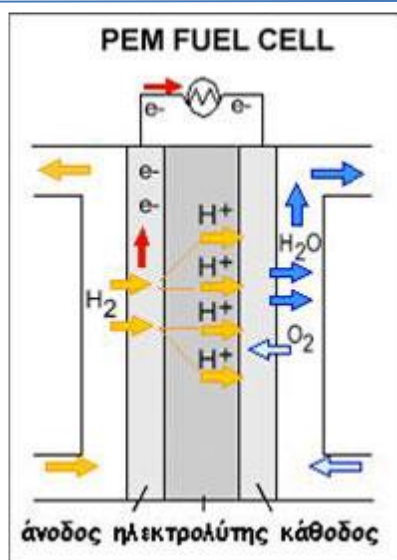
Εικόνα 23: Πλοίο με κυψέλες καυσίμων⁷⁶

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, μέσω των οποίων η ενέργεια ενός καυσίμου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική, αποτελούν τη βασική τεχνολογία των κυψελών καυσίμου. Σε αυτή την περίπτωση, υλοποιείται με την χρήση καυσίμου, όπως LNG, βιοκαύσιμο ή υδρογόνο, μαζί με κάποιο οξειδωτικό μέσο, όπως είναι ο αέρας (οξυγόνο). Στα πλεονεκτήματα εκτός από το ότι οι εκπομπές CO₂ από τις κυψέλες είναι αισθητά χαμηλότερες από αυτές του πετρελαίου, συμπεριλαμβάνονται και ότι δεν υπάρχουν εκπομπές οξειδίων του θείου και του αζώτου (SO_x και NO_x αντίστοιχα)⁷⁷.



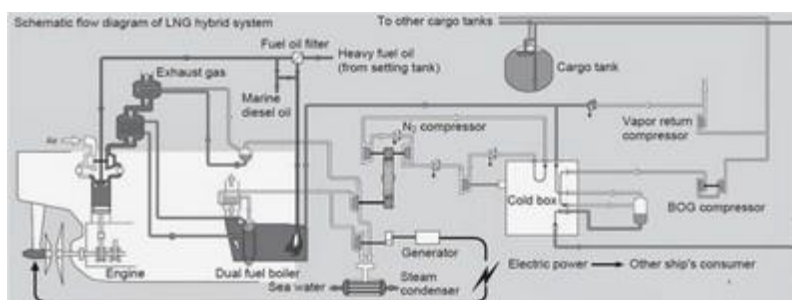
⁷⁶ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

⁷⁷ (Δαγκίνης & Νικητάκος, 2014)



Εικόνα 23: Πως λειτουργεί μια κυψέλη⁷⁸

Ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης, περιλαμβάνει μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια κυψέλη καυσίμου. Συμπληρωματικά, οι κυψέλες καυσίμου θα καλύψουν τις ανάγκες ηλεκτρισμού του πλοίου. Στα μειονεκτήματα αποτελεί το κόστος επένδυσης καθώς επίσης και το λειτουργικό κόστος. Παραδείγματος χάριν, το κόστος επένδυσης για κυψέλη καυσίμου είναι 2-3 φορές υψηλότερο από το κόστος μιας συμβατικής μηχανής, ενώ υψηλό είναι και το κόστος συντήρησής τους⁷⁹.



Εικόνα 24: Υβριδικό σύστημα πρόωσης με κυψέλες καυσίμου

Τα προγράμματα από τη χρήση κυψελών καυσίμου σε πλοία, βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, λόγω του ότι υπάρχουν ακόμα τεχνικά εμπόδια, τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν, όπως είναι το θέμα της σταθερής φόρτισης των κυψελών, καθώς οι αυξομειώσεις στη φόρτωση ενδέχεται να οδηγήσουν σε υπερθέρμανση και έκρηξη των κυψελών.

⁷⁸ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

⁷⁹ (Winebrake et al., 2009)



Εικόνα 25: Εγκατάσταση κυψελών καυσίμων⁸⁰

5.3.3 Λειτουργικά μέτρα

Τα λειτουργικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών ρύπων, είναι τα παρακάτω:

- Η μείωση της ταχύτητας,
- Η μείωση της αντίστασης του πλοίου και
- Γενικά μέτρα βελτιστοποίησης του ταξιδιού.

Όπως είναι λογικό, όταν ένα πλοίο, κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση στην κατανάλωση των καυσίμων. Παραδείγματος χάριν, σε περίπτωση μείωσης της ταχύτητας του πλοίου κατά 10%, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση στην κατανάλωση του καυσίμου κατά 19% ανά τόνο-χιλιόμετρο. Στα αρνητικά στοιχεία συμπεριλαμβάνεται βέβαια η αύξηση του χρόνου ταξιδιού. Για να το αντιμετωπίσουμε θα Αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί με χρήση περισσότερων πλοίων, μείωση του χρόνου στο λιμάνι κ.λπ. Αυτό το μέτρο είναι δυνατό να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους και τα μεγέθη των πλοίων.

Η Μείωση της αντίστασης του πλοίου, μπορεί να υλοποιηθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Κατάλληλη κατανομή φορτίου και έρματος, που θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της διαγωγής (trim) του πλοίου. Σε αυτή την περίπτωση, εκτιμάται ότι η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου που θα επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο, ανέρχεται σε 0,5-2%.
- Περιοδική στίλβωση της έλικας του πλοίου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση 2-5% των εκπομπών.

⁸⁰ (Διονύσιος Μπουλαντζάς «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014).

Μέτρα βελτιστοποίησης του ταξιδιού που μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων, είναι τα παρακάτω:

-Εκμετάλλευση των διαθέσιμων χώρων φόρτωσης του πλοίου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να απαιτούνται λιγότερα πλοία για τη μεταφορά του ίδιου φορτίου. Λογικό ακολούθως είναι, να έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση των εκπομπών.

-Χρήση μεγαλύτερων πλοίων. Μειονέκτημα βέβαια αποτελούν ότι, τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μεγαλύτερα πλοία σε λιμάνια και κανάλια, λόγω του μεγέθους τους.

-Μείωση του χρόνου παραμονής ενός πλοίου στο λιμάνι, ο οποίος εξαρτάται από τον απαιτούμενο χρόνο για φορτοεκφορτώσεις, πρόσδεση και αγκυροβολία. Θα μας βοηθήσει η κατάλληλη οργάνωση και η επένδυση σε προηγμένα μέσα προγραμματισμού και νέες τεχνολογίες. Το μέτρο αυτό απαιτεί τη συνεργασία πλοίου και λιμανιού και μπορεί να εξοικονομήσει 1-7% του καυσίμου.

-Χάραξη διαδρομών σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες, αφού ληφθούν υπόψη, ο αέρας, τα θαλάσσια κύματα και τα ρεύματα των ωκεανών, παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου της μηχανής ενός πλοίου. Όσο πιο μακρινό είναι ένα ταξίδι, τόσο περισσότερες επιλογές έχουμε στις διαδρομές, ώστε να αποφύγουμε καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν αρνητικά (αυξητικά) την απαίτηση των πλοίων σε ενέργεια. Σε αυτό συνδράμει η εγκατάσταση συστήματος πλοήγησης, το κόστος του οποίου είναι μικρό.

5.3.4 ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Αυτά κατά βάση αφορούν την εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 5 της διπλωματικής αυτής εργασίας, η εφαρμογή των οποίων θα συντελέσει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, καθώς και στη μείωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η υλοποίηση αυτών των μέτρων και η εφαρμογή του συναντούν δύο ειδών δυσκολίες.

-Στις ελλείψεις ακόμη τεχνολογικές υποδομές και γνώσεις για την εφαρμογή τους,

-Στο υψηλό κόστος εγκατάστασης συστημάτων και μηχανισμών που να ελέγχουν την εφαρμογή αυτών των μέτρων.

Εκτιμάται επομένως ότι, οι δομικές αλλαγές στη ναυτιλία θα πρέπει να στοχεύσουν στην αύξηση των εθνικών και κοινοτικών κονδυλίων στην έρευνα και την ανάπτυξη, χωρίς το κόστος τους να είναι απαγορευτικό.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των αέριων εκπομπών των πλοίων (π.χ. SO_x, NO_x, CO₂, σωματίδια PM) στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι στρατηγικές και μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για να περιοριστούν οι αέριες εκπομπές και οι επιπτώσεις που η εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών μπορεί να έχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η περίπτωση της Ελλάδας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού αποτελείται από πολλά νησιά, με συνέπεια η ναυτιλία να αποτελεί από τα κυριότερα μέσα συγκοινωνιών της πυκνής κυκλοφορίας των πλοίων ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού, με άμεσο αποτέλεσμα, τον αντίκτυπο των εκπομπών ρύπων καυσαερίων (CO₂, NO_x, SO₂ και PM) στο θαλάσσιο περιβάλλον της εν γένει. Διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη εκπομπή αερίων, παρουσιάζεται στο CO₂, με τιμή στους 7.000.000 τόνους και «εξωτερική επίπτωση» στα 155.000.000 ΕΥΡΩ, ενώ ακολουθούν το NO_x, το SO₂, και τελευταίο το PM. Από το 1984 μέχρι το 2008, των πλοίων που διέρχονται από το Αιγαίο, διαπιστώνεται αύξηση των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Κατά τη διάρκεια των ετών 1998 μέχρι 2002, διαπιστώνεται μια μικρή μείωση των ρύπων, ενώ για τα έτη από 2002 μέχρι το 2008, φαίνεται ότι παραμένουν σταθερές οι τιμές, περίπου στο ίδιο επίπεδο. Εκτιμάται, ότι αυτό οφείλεται στην στρατηγική που ακολουθήθηκε.

Θετικές χαρακτηρίζονται οι στατηγικές για τον περιορισμό των αέριων εκπομπών ρύπων, σε ότι αφορά θεσμικό πλαίσιο που περιβάλλει τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία, τόσο σε παγκόσμιο, όσο σε κοινοτικό και εθνικό επίπεδο.

Αναλύθηκαν διάφορες μεθοδολογίες υπολογισμού των εκπεμπόμενων ρύπων από τη ναυσιπλοΐα. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο, αποτελεί για την παρούσα εργασία το κυριότερο, μιας και όπως λέει και ο λαός μας, προκειμένου να επιλύσεις κάποιο πρόβλημα στη ζωή σου, θα πρέπει αρχικά να το διαπιστώσεις, να το μετρήσεις και να υπολογίσεις όλες τις διαστάσεις του. Οι μεθοδολογίες που παρατέθηκαν στην διπλωματική εργασία, ήταν οι παρακάτω:

-Από τις πωλήσεις καυσίμων,

-Από την αναλυτική καταγραφή της δραστηριότητά τους. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται όταν είναι διαθέσιμα λεπτομερή δεδομένα (φάσεων λειτουργίας του πλοίου, τεχνικών χαρακτηριστικών του πλοίου, το μέγεθος, η τεχνολογία των κινητήρων, η εγκατεστημένη ισχύς, το χρησιμοποιούμενο είδος καυσίμων, οι ώρες σε κάθε δραστηριότητα). Πρακτικά είναι δύσκολο αυτό να επιτευχθεί και γι αυτό συνήθως τα δεδομένα που συλλέγονται τελικά, αφορούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των ταξιδιών κάποιων πλοίων.

-Με Προσομοίωση. Η ατμόσφαιρα προσομοιάζει με έναν πολύπλοκο μηχανισμό, στον οποίο συμβαίνουν ταυτόχρονα πολυάριθμα φαινόμενα. Οι μετρήσεις, που γίνονται, είναι δύσκολο να ερμηνευτούν χωρίς την εφαρμογή ενός μαθηματικού προτύπου (μοντέλου) περιγραφής των ατμοσφαιρικών διαδικασιών διασποράς και

μετασηματισμών. Αυτά δύνανται να δώσουν μια ολοκληρωμένη, αξιόπιστη και αντιπροσωπευτική στο χώρο και στο χρόνο εκτίμηση των επιπέδων των συγκεντρώσεων των ρύπων μιας περιοχής.

Τα μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς χρησιμοποιούν ως δεδομένα εισόδου διάφορες παραμέτρους, δύνανται ακολούθως να υπολογίσουν τα επίπεδα και τις τιμές συγκεντρώσεων ρύπων (NOx και CO). Το μοντέλο, υποστηρίζει μία μεγάλη σειρά προσομοιώσεων σχετικά με την ατμοσφαιρική μεταφορά και διασπορά ρύπων και επικίνδυνων υλικών, καθώς και με την απόθεσή τους στην επιφάνεια της θάλασσας. Στην περίπτωση την δικιά μας, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε την προσομοίωση ενός πλοίου. Ο τύπος αυτού του πλοίου, μπορεί να γίνει εξ ολοκλήρου σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, με την κατασκευή ενός συστήματος που έχει όλα τα χαρακτηριστικά του (χωρητικότητα, τύπος καυσίμου που καταναλώνει,...). Για τον σκοπό αυτό δημιουργείται στον υπολογιστή ένα μαθηματικό μοντέλο του πλοίου και εισάγονται σ' αυτό οι παράμετροι των χαρακτηριστικών (κατανάλωσης καυσίμου, ρύπανσης του περιβάλλοντος). Από την προσομοίωση κατόπιν εξάγονται τα αποτελέσματα που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς επίσης όταν τροποποιείται κάποια παράμετρος του καυσίμου που αυτό καταναλώνει.

Παρατέθηκαν διάφορα συστήματα προσομοίωσης (JTLS,...). Μελλοντικές έρευνες, θα μπορούσαν να ασχοληθούν περισσότερο πιο αναλυτικά με μεθόδους προσομοίωσης, καθώς επίσης άλλων μεθοδολογιών υπολογισμού των αέριων ρύπων.

Προβλήθηκαν μια σειρά από τρόπους, με τους οποίους θα μπορούσε να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως π.χ. η χρήση βιοκαυσίμων, εναλλακτικών καυσίμων και καυσίμων με χαμηλότερα ποσοστά διοξειδίου του θείου, η επένδυση σε μηχανισμούς καλύτερης και πιο αποδοτικής καύσης των καυσίμων, πρόωσης, και μείωσης εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Ατμοσφαιρική Ρύπανση ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ (ΕΚΠΑ) ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ: «ΣΥΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ» ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΑΡΙΑΝΟΥΤΣΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ, ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΦΟΙΤΗΤΡΙΩΝ ΕΛΕΝΗ ΒΟΥΛΓΑΡΗ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΟΡΦΑΝΙΔΟΥ ΑΘΗΝΑ 2012

Γενικό Χημείο του Κράτους (2014), «Εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας προς την Οδηγία 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με τη μείωση της περιεκτικότητας ορισμένων υγρών καυσίμων σε θείο και για την τροποποίηση της Οδηγίας 93/12/ΕΟΚ και προς την Οδηγία 2005/33/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο».

Ναυτιλία και Περιβάλλον, της ANNA MARIA ΚΟΤΡΙΚΛΑ, Επίκουρη Καθηγήτρια Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία Διονύσιου Μπουλαντζά «ΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ, ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΙΜΟ, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)» ΜΝ 09091 Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς Σεπτέμβριος 2014

Διπλωματική Εργασία Κωνσταντοπούλου Μαρία «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη Ναυτιλία» Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης 2013

Η ρύπανση των Θαλασσών Φυτιάνος Κωνσταντίνος Κ., Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1996

Πτυχιακή εργασία στα πλαίσια του τομέα «Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής» «Απορρίμματα και εκτίμηση θαλάσσιων και χερσαίων πηγών ρύπανσης στις ελληνικές ακτές» των Μοιρώτσου Αναστασία και Παπαμιχαλοπούλου Κωνσταντίνα Πάτρα, Δεκέμβριος 2012

Δαγκίνης, Ι., & Νικητάκος, Ν. (2014), «Κατασκευαστική εξέλιξη συστημάτων πλοίων».

Καραθανάσης, Σ. (2006), Ατμοσφαιρική ρύπανση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Μοντελοποίηση και Προσομοίωση ΜΑΝΟΣ ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗΣ ΕΑΠ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΣΥΡΡΑΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΧΑΝΙΑ 2014

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Adams, S., & Lambert, D. (2006), *Earth Science: An illustrated guide to science*, New York, Chelsea House Publications.

Andersen, S. O., & Sarma, K. M. (2002), *Protecting the Ozone Layer: the United Nations History*, London: Earthscan Press.

Buhaug, Ø., Corbett J., Endresen, O., Eyring, V., Faber J., Hanayama, S., Lee, D., Lindstad, H., Mjelde, A., Palsson, C., Wanquing, W., Winebrake, J., & Yoshida, K. (2009), "Second IMO greenhouse gas study", International Maritime Organization, London.

Chasek, P., Downie, D., & Brown, J. W. (2013), *Global Environmental Politics*, 6th Edition, Boulder: Westview Press.

Corbett, J., Wang, H., & Winebrake, J. (2009), "The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping", *Transportation Research, Part D* (14): pp. 539-598.

Dalsøren, S. B., Eide, M. S., Myhre, G., Endresen, O., Isaksen, I. S., & Fuglestedt, J.

S. (2010), "Impacts of the large increase in international ship traffic 2000-2007 on tropospheric ozone and methane", *Environmental Science & Technology*, 44(7): 2482-2489.

Davis, D. (2002), *When Smoke Ran Like Water: Tales of Environmental Deception and the Battle Against Pollution*, Basic Books Publishing.

Davis, T. (2000), *Sustaining the Forest, the People, and the Spirit*, State University of New York Press.

DeSombre, E. (2006), *Flagging Standards: Globalization and Environmental, Safety and Labor Regulations at Sea*, Cambridge: MIT Press.

DNV (2010), "Assessment of measures to reduce future CO2 emissions from shipping".

Downie, D. L. (2013), "Stratospheric Ozone Depletion". *The Routledge Handbook of Global Environmental Politics*. New York: Routledge Publications.

Duc, G., Perroux, O., Schiedt, H.- U., & Walter, F. (2014), *Transport and mobility history. Between modal competition and coordination (1918 in our days)*, Neuchâtel: Editions Alphil.

Eidea, M., Endresen, O., Skjonga, T., Longva, T., & Alvika, S. (2009), "Costeffectiveness assessment of CO2 reducing measures in shipping". *Maritime Policy & Management*, 36(4): 367- 384.

Endresen, O., Sorgard, E., Sundet, J., Dalsoren, S., Isaken, I., Berglen, T., & Gravir, G. (2003), "Emissions from international sea transportation and environmental impact", *Journal of Geophysical Research*, 108(D17): 4560

Endresen, O., Bakke, J., Sørgård, E., Berglen, T. F., & Holmvanga, P. (2005), "Improved modelling of ship SO2 emissions – A fuel based approach", *Atmospheric Environment*, 39, 3621-3628.

European Commission (2014), "Transport & Environment: Emissions from Maritime Transport".

EUR-Lex (2014), "Directive 2012/33/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 amending Council Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels".

Eyring, V., Köhler, H. W., Lauer, A., & Lemper, B. (2005), "Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110 (D17).

Farman, J. C., Gardiner, B. G., & Shanklin, J. D. (1985), "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction", *Nature*, 315 (6016): 207.

Florentinus, A., Hamelinck, C., Van den Bos, A., Winkel, R., & Cuijpers, M. (2012), "Potential of biofuels for shipping", *ECOFYS Final Report by order of the European Maritime Safety Agency (EMSA)*.

Fuglestedt, J., Berntsen, T., Eyring, V., Isaksen, I., Lee, D. S., & Sausen, R. (2009), "Shipping Emissions: From Cooling to Warming of Climate and Reducing Impacts on Health", *Environmental Science & Technology*, 43(24): 9057- 9062.

Gard (2011), "Bunkers and Bunkering".

Gehring, U., Wijga, A. H., Brauer, M., Fischer, P., de Jongste, J. C., Kerkhof, M., & Brunekreef, B. (2010), "Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life", *American journal of respiratory and critical care medicine*, 181(6): 596-603.

Henderson-Sellers, A., & McGuffie, K. (2005), *A climate modelling primer*, 3rd edition, New York: Wiley Publications.

International Chamber of Shipping (2012), "Shipping facts".

International Maritime Organization (IMO) (1997), "Consideration and adoption of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 related thereto".

International Maritime Organization (IMO) (2009), "IMO Second Greenhouse Gas Study 2009", London: International Maritime Organization.

International Maritime Organization (IMO) (2014), "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)".

Knowles, R., Shaw, J., & Docherty, I. (2009), *Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces*, Blackwell Publishing.

Lauer, A., Eyring, V., Corbett, J. J., Wang, C., & Winebrake, J. J. (2009), "An assessment of near-future policy instruments for oceangoing shipping: Impact on atmospheric aerosol burdens and the Earth's radiation budget", *Environmental Science & Technology*, 49 (15): 5592–5598.

Longva, T., Eide, M., S., Skjong, R., (2010), "Determining a required energy efficiency design index level for new ships based on a cost-effectiveness criteria", *Maritime Policy & Management*, 37(2): 129-143.

Lucking, A. J., Lundback, M., Mills, N. L., Faratian, D., Barath, S. L., Pourazar, J., Cassee, F. R., Donaldson, K., Boon, N. A., Badimon, J. J., Sandstrom, T., Blomberg, A., & Newby, D. E. (2008), "Diesel exhaust inhalation increases thrombus formation in man", *European Heart Journal*, 29 (24): 3043–3051
National Geographic (2013), "Climate Milestone: Earth's CO₂ Level Passes 400 ppm".

Notteboom, T., & Vernimmen, B. (2009), "The effect of high fuel costs on liner service configuration in container shipping", *Journal of Transport Geography*, 17(5): 325-337.

Nordhaus, W. D. (2007), "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate", *Journal of Economic Literature*, 45 (3): 686–702.

Rom, W. N., & Markowitz, S. (2006), *Environmental and Occupational Medicine*, 4th edition, Philadelphia: Lippincott-Raven Publications.

Psaraftis, H., & Kontovas, C. (2009), "CO₂ emission Statistics for the world commercial fleet", *WMU Journal of Maritime Affairs*, 8 (1): 1-25.

Raets Marine Insurance (2013), "Emission Control Areas Developments".

Sandler, R., & Pezzullo, P. C. (2007), *Environmental Justice and Environmentalism*, Massachusetts Institute of Technology Press.

Shine, K., Berntsen, T., Fuglestvedt, J., & Sausen, R. (2005), "Scientific issues in the design of metrics for inclusion of oxides of nitrogen in global climate agreements", *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 102 (44): 15768–15773.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H.L. (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.

Ship emissions and their externalities for Greece, E. Tzannatos 2011

Costs and benefits of reducing SO₂ emissions from Shipping in the Greek seas, E. Tzannatos 2011

United Nations (2013), "Review of maritime transport 2013".

Vaclav, S., (2003), *The Earth's Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change*, MIT Press.

Vallero, D. A. (2007), *Fundamentals of Air Pollution*, Elsevier Academic Press.

Vermeire, M. B. (2007), "Everything you need to know about marine fuels. Chevron Global Marine Products publications"

Winebrake, J. J., Corbett, J. J., Green, E. H., Lauer, A., & Eyring, V. (2009), "Mitigating the Health Impacts of Pollution from International Shipping: An Assessment of Low-Sulfur Fuel Mandates", *Environmental Science & Technology*, 49 (13): 4776–4782.

Winstanley, D., Lackey, R. T., Warnick, W. L., & Malanchuk, J. (1998), "Acid rain: Science and policy making", *Environmental Science & Policy*, 1: 51.

World Bank (2007), *Air Pollution*.

World Energy Council (2013), "World Energy Resources 2013 Survey".

Einstein, A. & Copernicus, N., 1900. New findings on the nature of Universe and the Will of God. *Annales of Physics*, Τόμος 15, pp. 1-100.

Feynman, R., Galilei, G. & Πυθαγόρας, Π., 1950. Everything you wanted to know about Physics and didn't dare to ask. Στο: Ι. Μυριτζής & Β. Ζερβάκης, επιμ. *Physical Progress*. Μυτιλήνη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αιγαίου, pp. 628-650.

Hugo, V., 1850. *Les Miserables*. Havana, Proceedings of the International Conference on Misery, International Monetary Fund, pp. 1943-1950.

http://www.helmepacadets.gr/files/acidification_cadets.pdf