



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ



Διπλωματική εργασία

Κονσολάκης Ιωάννης

Επιβλέπων καθηγητής:

Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Εξεταστική επιτροπή :

Κονσολάκης Μιχαήλ

Ιψάκης Δημήτριος

XANIA 2020

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδωνα, καθώς και τον βοηθό του Δουνδουλάκη Εμμανουήλ για την πολύτιμη στήριξη και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους – συμφοιτητές μου για τη συμπαράστασή τους, όχι μόνο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και κατά τη διάρκεια όλων των σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη κοπέλα μου για τη αμέριστη υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό την καταγραφή των επιπτώσεων από τη δραστηριότητα των επιβατηγών πλοίων στο λιμάνι του Ηρακλείου. Μέσω κατάλληλων μεθοδολογιών θα γίνει υπολογισμός των αέριων ρύπων(Sox NOx CO2 και PM) και των επιπτώσεών τους.

Στο 2^ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης, αναφέρονται οι παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αναλύονται οι επιπτώσεις της ρύπανσης τόσο στο περιβάλλον και στο οικοσύστημα όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι αέριοι ρύποι που θα ασχοληθούμε ,οι τύποι καυσίμων καθώς και οι τύποι των πλοίων που υπάρχουν στη ναυτιλία. Τέλος αναλύονται οι επιπτώσεις όλων αυτών στη ναυτιλία γενικότερα.

Στο 4^ο κεφάλαιο αφού προσδιορίζεται ο ρόλος του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας(IMO) επιχειρείται μια προσέγγιση στις κυριότερες συνθήκες που έχει υπογράψει ο οργανισμός για τη προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Αναφορά γίνεται επίσης για τις δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και σε κάποιους κανονισμούς.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη μεθοδολογία που πρόκειται να ακολουθήσουμε παρουσιάζοντας όλους εκείνους τους τύπους που θα μας βοηθήσουν να υπολογίσουμε τους αέριους ρύπους που καταναλωθήκαν στο λιμάνι του Ηράκλειου κατά το έτος 2019.

Στο 6^ο κεφάλαιο αυτή η μεθοδολογία παρουσιάζεται στη πράξη ενδεικτικά για ένα κρουαζιερόπλοιο που επιλέξαμε τυχαία και στη συνέχεια παρουσιάζουμε συγκεντρωτικά στοιχεία για τα υπόλοιπα. Γίνεται επίσης σύγκριση με το λιμάνι της Σούδας για το έτος 2019 καθώς και εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος επιχειρήσαμε να προτείνουμε κάποιες λύσεις για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

Abstract

The purpose of this dissertation is to record the effects of the activity of passenger ships in the port of Heraklion. Appropriate methodologies will calculate the gaseous pollutants (Sox NOx CO₂ and PM) and their effects.

Chapter 2 of the dissertation introduces the subject of the study, mentions the factors of air pollution and analyzes the effects of pollution on the environment and the ecosystem as well as on human health.

Chapter 3 describes the gaseous pollutants that we will deal with, the types of fuels as well as the types of ships that exist in shipping. Finally, the effects of all this on shipping in general are analyzed.

Chapter 4, after defining the role of the International Maritime Organization (IMO), attempts an approach to the main conditions signed by the organization for the protection of the marine ecosystem. Reference is also made to the actions of the European Union as well as to some regulations.

In the 5th chapter we refer to the methodology that we are going to follow, presenting all those types that will help us to calculate the gaseous pollutants that were consumed in the port of Heraklion in the year 2019.

In Chapter 6 this methodology is presented in practice as an example for a cruise ship that we have chosen at random and then we present aggregate data for the rest. A comparison is also made with the port of Souda for the year 2019 as well as conclusions are drawn. Finally, we tried to suggest some solutions to deal with the phenomenon.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	10
2.3 Επιπτώσεις αέριας Ρύπανσης στο περιβάλλον	13
2.4 Επιπτώσεις αέριας Ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
ΡΥΠΟΙ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	23
3.1 Γενικά.....	23
3.2 Περιγραφή Ατμοσφαιρικών Ρύπων.....	25
3.3 Διαδικασία εκπομπής των ρύπων.....	27
3.4 Κατηγορίες πλοίων.....	29
3.5 Τύποι μηχανών	31
3.6 Τύποι καυσίμων.....	32
3.6 Επιπτώσεις στη ναυτιλία	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	36
ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	36
4.1 Εισαγωγή.....	36
4.2 Δράσεις -Νομοθεσία του IMO για τη θαλάσσια ρύπανση	38
4.3 Η σύμβαση MARPOL-Παραρτήματα I-VI.....	40
4.4 Το πρωτόκολλο του Κιότο	43
4.5 Δράσεις της ΕΕ για τη θαλάσσια ρύπανση.....	46
4.5.1 Γενικά.....	46

4.5.2 Ο κανονισμός της ΕΕ 2015/757 για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές(Κανονισμός MRV).....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	50
ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	50
5.1 Η λεπτομερής μέθοδος υπολογισμού «activity-based»	51
5.2 Φάσεις λειτουργίας μηχανών	53
5.3 Συντελεστές φορτίου κινητήρα	54
5.4 Συντελεστές εκπομπών.....	55
5.5 Ειδική κατανάλωση κινητήρα (SFOC).....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	63
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2019.....	63
6.1 Το λιμάνι και η πόλη του Ηρακλείου.....	63
6.2 Κίνηση κρουαζιερόπλοιων εντός του λιμένα Ηρακλείου.....	65
6.3 Υπολογιστική μέθοδος	66
6.3.1 Παραδοχές.....	66
6.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά κρουαζιερόπλοιων.....	67
6.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανών	70
6.3.4 Εκτελούμενα δρομολόγια.....	74
6.3.5 Ενδεικτικός τρόπος υπολογισμού αέριων ρύπων	75
6.4 Σύγκριση εκπομπών αέριων Ηρακλείου με το λιμάνι της Σούδας.....	86
6.5 Συμπεράσματα.....	89
6.6 Πιθανές λύσεις του προβλήματος της αέριας ρύπανσης από κρουαζιερόπλοια στο λιμάνι.....	90
Βιβλιογραφία.....	91

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

CO: Μονοξείδιο του άνθρακα

GHG: Greenhouse Gases

HC: Υδρογονάνθρακες και τα παράγωγα τους

HFO: Heavy Fuel Oil

IMO: International Maritime Organization

LSFO: Low Sulphur Fuel Oil

MEPC: Marine Environment Protection Committee

MDO: Marine Diesel Oil

MGO: Marine Gas Oil

NO_x: Οξείδια του αζώτου

O₃: Όζον

PM: Αιωρούμενα σωματίδια

SO₂: Διοξείδιο του θείου

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

VOC's: Πτητικές οργανικές ενώσεις

ΟΛΗ: Οργανισμός Λιμένος Ηρακλείου

MRV: Monitoring, Reporting, Verifying

SFOC: Specific Fuel Oil Consumption - Ειδική κατανάλωση καυσίμου

AAQ: ambient air quality

HAP: hazardous air pollutants

O₂: Οξυγόνο

EMEP: European Monitoring and Evaluation Programme

EEA: European environment agency

IFO: Intermediate Fuel Oil

MERC: Marine Environment Protection Committee

MSC: Maritime Safety Committee

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί πολύτιμη κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται, να διαφυλάσσεται και, εφόσον είναι εφικτό, να αποκαθίσταται ώστε τελικά να διατηρείται η βιοποικιλότητα και να εξασφαλίζεται η πολυμορφία και η δυναμική των ωκεανών και θαλασσών, που θα είναι καθαρές, υγιείς και παραγωγικές. Είναι προφανές ότι τόσο οι πιέσεις που ασκούνται στους φυσικούς ενάλιους πόρους όσο και η ζήτηση για θαλάσσιες

οικολογικές υπηρεσίες είναι συχνά πολύ μεγάλες και ότι η Κοινότητα θα πρέπει να μειώσει τις επιπτώσεις τους στα θαλάσσια ύδατα, ανεξάρτητα από τον τόπο όπου εκδηλώνονται οι συνέπειές τους. Η εκπόνηση και η εφαρμογή της θεματικής στρατηγικής θα πρέπει να αποσκοπούν στη διατήρηση των θαλασσίων οικοσυστημάτων. Η προσέγγιση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει προστατευόμενες περιοχές καλύπτοντας όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επηρεάζουν το θαλάσσιο περιβάλλον.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η αέρια ρύπανση ξεκίνησε ήδη να απασχολεί την ανθρωπότητα ήδη από τους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, με τις βιομηχανίες της μεταλλουργία, η κεραμοποιία και η συντήρηση ζωικών προϊόντων να φαίνεται να συνδέονται άμεσα με αυτήν (Χρέμου Ευανθία, 2013). Με την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης, το πρόβλημα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας γίνεται ακόμη πιο εμφανές καθώς επηρεάζει πλέον ολόκληρη την εμφύλιο σε ολόένα και μεγαλύτερο βαθμό. Ανάλογα με την προέλευσή τους οι ρύποι ποικίλουν. Όπως θα δούμε και παρακάτω, υπάρχουν τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς πηγές που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, με τις τελευταίες να είναι οι κυριότερες για την δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων. Κάθε είδους βλαβερές ουσίες, όταν βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη διάρκεια και συγκέντρωση, προκύπτει ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και γενικότερα στους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα.

Στη χώρα μας, φαίνεται ότι η αστικοποίηση σε συνδυασμό με την οικονομική ανάπτυξη τα τελευταία σαράντα χρόνια, έκανε πιο εμφανές το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς η μη ελεγχόμενη αστικοποίηση οδήγησε σε άναρχη διόγκωση των πόλεων τόσο ως προς την πολεοδομική πλευρά όσο και ως προς τη λειτουργική πλευρά. Επιπροσθέτως είχαμε βιομηχανική δραστηριότητα με συγκέντρωση υψηλών ποσοτήτων από βλαβερές ουσίες κοντά ή εντός των πόλεων. Ταυτόχρονα η οικονομική ανάπτυξη είχε ως επακόλουθο την αύξηση κατανάλωσης ενέργειας η οποία προέρχεται από την καύση του λιγνίτη και πετρελαιοειδών, ουσίες που προκαλούν σε μεγάλο βαθμό ατμοσφαιρική ρύπανση. (Δουνδουλάκης Ε. , 2018).

Η ποιότητα της ατμόσφαιρας στις πόλεις βρίσκεται στο επίκεντρο των θεμάτων που

σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού βλαβερών ουσιών και πηγών ρύπανσης αλλά και λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης πληθυσμού. Ανάμεσα στις εκατοντάδες ουσίες που έχουν αναγνωριστεί, οι κυριότεροι ρύποι που καθορίζουν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας των πόλεων είναι:

- το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- το διοξείδιο του θείου (SO₂)
- τα οξείδια του αζώτου (NO_x)
- το όζον (O₃)
- τα αιωρούμενα σωματίδια (PM)
- οι υδρογονάνθρακες και τα παράγωγα τους (HC)
- τα βαρέα μέταλλα

Οι παραπάνω ρύποι είναι οι λεγόμενοι συμβατικοί ρύποι και είναι οι συνηθέστερα μετρούμενοι σε σχέση με τους οποίους γίνεται ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ambient air quality, AAQ). Οι υπόλοιποι μη συμβατικοί ρύποι (non-criteria pollutants) διακρίνονται από τη νομοθεσία σε δύο επιπλέον κατηγορίες, στους βλαπτικούς αέριους ρύπους HAPs (hazardous air pollutants) και στους τοξικούς. (Larashi, 2018)

Η πρώτη κατηγορία συνδέεται με διάφορα προβλήματα υγείας, όπως ερεθισμούς, ασφυξία κ.α., ενώ η δεύτερη με τη φυσιολογική απόκριση (τοξικότητα). Και οι δύο κατηγορίες ρύπων είναι πολύ σημαντικές για τις βιομηχανικές περιοχές, ενώ στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις τους είναι συνήθως μικρότερου μεγέθους απ' ό,τι των συμβατικών ρύπων.

2.2 Παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ένα ποσοστό των υλικών που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε σημαντικές ποσότητες είναι απλά μόρια, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO, NO₂ και N₂O), υδρόθειο (H₂S), αμμωνία (NH₃), υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF) κ.τ.λ., καθώς και διάφοροι

διαλύτες και υδρογονάνθρακες που εξατμίζονται λόγω πτητικότητας, όπως αλκάνια, αλκένια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες με σχετικά απλή δομή. (Larashi, 2018)

Επιπλέον με αυτά τα υλικά, η ατμόσφαιρα δέχεται και άλλες εκπομπές, ως επί των πλείστων από την βιομηχανία, οι οποίες περιλαμβάνουν πιο πολύπλοκα μόρια πολυαρωματικών υδρογονανθράκων και διοξινών, τα οποία συχνά αναφέρονται ως τοξικά αέρια. Ουσίες όπως οι παραπάνω, όπου εκπέμπονται άμεσα από τις πηγές ρύπανσης, ονομάζονται **πρωτογενείς ρύποι**. (Larashi, 2018)

Ωστόσο, το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν είναι αποτέλεσμα μόνο πρωτογενών ρύπων. Στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν διάφορες χημικές αντιδράσεις, τόσο μεταξύ των ρύπων όσο και μεταξύ των ρύπων με μόρια που απαρτίζουν την καθαρή ατμόσφαιρα. Μέσω αυτών των χημικών μεταβολών στα μόρια των ρύπων, δια μέσου φωτοχημικών, ομογενών και ετερογενών (κατόπιν συμμετοχής και της σωματιδιακής ύλης) αντιδράσεων, προκύπτει η παραγωγή νέων ρύπων των **δευτερογενών ρύπων**. Αυτοί είναι υπεύθυνοι κατά κύριο λόγο για τα φαινόμενα του φωτοχημικού νέφους, του ερεθισμού των ματιών και του αναπνευστικού, αλλά και για μια σειρά καταστροφών στη χλωρίδα, την πανίδα και τα υλικά.

Παρόλο που επικρατεί η αντίληψη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές, ωστόσο οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες).

Αντιθέτως, όταν υπάρχει καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο υπάρχει και η δυνατότητα α καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψιν μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Μερικά παραδείγματα φυσικών πηγών είναι:

- Οι εκρήξεις ηφαιστείων από τις οποίες παράγονται κυρίως αιωρούμενα

σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο.

- Οι πυρκαγιές (φυσικές) δασών η οποίες προκαλούνται από κεραυνούς τους χειμερινούς μήνες ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιρινούς μήνες απελευθερώνουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.
- Οι αμμοθύελλες με τις οποίες π.χ. πολλές φορές άμμος από τη Σαχάρα φτάνει όχι μόνο μέχρι την Ελλάδα αλλά και μέχρι την κεντρική και βόρεια Ευρώπη (αιωρούμενα σωματίδια).
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις από τη δράση των οργανισμών του φυτοπλαγκτόν και με τη διάβρωση των βράχων που προκύπτει από τη δράση των κυμάτων (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
- Η βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων κατά την οποία παράγονται κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου)
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, βενζόλιο)
- Μεταφορές (μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου, βενζόλιο)
- Κεντρική θέρμανση (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου)
- Απόθεση και αποτέφρωση στερεών αποβλήτων (μονοξείδιο του άνθρακα)

Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιουργείται από διαδικασίες καύσης υλικών, που ονομάζονται καύσιμα. Υπάρχουν στερεά καύσιμα (λιγνίτης, λιθάνθρακας, τύρφη, κοκ, μπριγκέτες, ξυλάνθρακες, ξύλα, απορρίμματα κ.α.), υγρά καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο, κηροζίνη κ.α.) και αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.α.). (Χρέμου Ευανθία, 2013)

Όλα σχεδόν τα συμβατικά καύσιμα αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις δύο

στοιχείων, του άνθρακα και του υδρογόνου δηλαδή από υδρογονάνθρακες. Για να καεί ένα καύσιμο πρέπει να βρεθεί σε μία υψηλή θερμοκρασία, που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξή του, και να υπάρχει αρκετό οξυγόνο (O_2). Η ανάφλεξη ενός καυσίμου είναι πιο εύκολη όσο μεγαλύτερο είναι το μέρος H_2 , που περιέχει. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται αέρας για την καύση (που περιέχει O_2 σε αναλογία όγκου 21%). Κατά την καύση ενός καυσίμου εκτός από τη θερμότητα δημιουργείται και μία σειρά ρύπων. Οι ρύποι που προέρχονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, καταλήγουν στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση π.χ. ενός βιομηχανικού λέβητα μέσω της καπνοδόχου, ενός οχήματος μέσω της εξάτμισης, ενός αεροπλάνου μέσω των ακροφυσίων. Στην περίπτωση μιας έκρηξης ηφαιστείου οι ρύποι καταλήγουν στην ατμόσφαιρα μέσω του κρατήρα, ενώ σε ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες μέσω των εξατμίσεων των μηχανών, της πόρτας, των παραθύρων ή του τεχνητού συστήματος εξαερισμού του κτιρίου.

Η διάρκεια ζωής ενός ρύπου διαφέρει. Όταν αυτή είναι μικρή, δηλαδή μερικές μέρες, η επίδραση του στο περιβάλλον περιορίζεται κοντά στις περιοχές προελεύσεώς του. Όταν η διάρκεια ζωής είναι περισσότεροι μήνες, τότε η επίδρασή του στο περιβάλλον περιορίζεται σε ένα ημισφαίριο ενώ, αν η διάρκεια ζωής είναι περισσότερα χρόνια, τότε ο ρύπος μεταφέρεται σε όλη την υδρόγειο.

Έτσι εξηγούνται γεγονότα, όπως παραδείγματος χάριν το ότι στην Ανταρκτική εντοπίστηκαν εντομοκτόνα και στους πάγους της Γροιλανδίας, τετραμεθυλομόλυβδος από τα καυσαέρια αυτοκινήτων, παρά το γεγονός ότι δεν υπήρχε εκπομπή τέτοιων ρύπων ποτέ σε αυτές τις περιοχές.

2.3 Επιπτώσεις αέριας Ρύπανσης στο περιβάλλον

Οι κυριότερες επιπτώσεις των αέριων ρύπων στο περιβάλλον είναι οι εξής:

Όξινη βροχή

Το νερό της βροχής είναι φυσικά όξινο λόγω της διάλυσης σε αυτό του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Έτσι, όταν δεν υπάρχουν αέριοι ρύποι, η βροχή θα έπρεπε να έχει μια τιμή pH γύρω στο 5,6. Πάραυτα παρατηρείται ότι από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης τα επίπεδα του pH της βροχής και συνεπώς η αύξηση

της οξύτητας έχουν σημειώσει σημαντική πτώση. Κύριοι λόγοι για την αύξηση της οξύτητας είναι κυρίως οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου. Τα εκπεμπόμενα αέρια διαλύονται στην υγρασία της ατμόσφαιρας ή στο νερό της βροχής, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα οξέα (θειικό και νιτρικό οξύ), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητά της. Υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των οξέων μπορούν να καταστρέψουν οικοσυστήματα σε στεριά και θάλασσα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά. Η όξινη βροχή μπορεί να καταστρέψει τα δάση, να μειώσει τη γεωργική παραγωγή.

Πιο συγκεκριμένα, όταν η όξινη βροχή πέσει σε δασικές εκτάσεις αλλάζει το επίπεδο pH του εδάφους με αποτέλεσμα να το υποβαθμίζει. Έτσι τα δέντρα λαμβάνουν λιγότερα θρεπτικά συστατικά από το έδαφος κάνοντάς τα κατ' αυτό το τρόπο πιο ευαίσθητα στην ξηρασία, στις αρρώστιες και στην προσβολή των εντόμων. Ακόμη καταστρέφονται μικροοργανισμοί διαταράσσοντας έτσι την πανίδα του οικοσυστήματος, διαλύουν ποσότητες θρεπτικών αλάτων και απελευθερώνουν βαρέα μέταλλα, επικίνδυνα για τα φυτά του δάσους.

Εξίσου σημαντικές είναι οι επιπτώσεις της όξινης βροχής και για τα υδάτινα οικοσυστήματα. Εκεί η μεγάλη συγκέντρωση οξέων καταστρέφει το πλαγκτόν δημιουργώντας προβλήματα με την εύρεση τροφής των υδάτινων οργανισμών και είναι υπεύθυνη για το θάνατο ψαριών και άλλων οργανισμών. Το φαινόμενο αυτό έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις στην Κεντρική Ευρώπη και τη Σκανδιναβία, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη λίμνη Μπάρκενβατ στη Νορβηγία, όπου ζούσαν μεγάλοι πληθυσμοί από πέστροφες και πέρκες. Αποτέλεσμα της όξινης βροχής ήταν η πλήρης εξαφάνιση των πληθυσμών αυτών στα τέλη της δεκαετίας του '70.

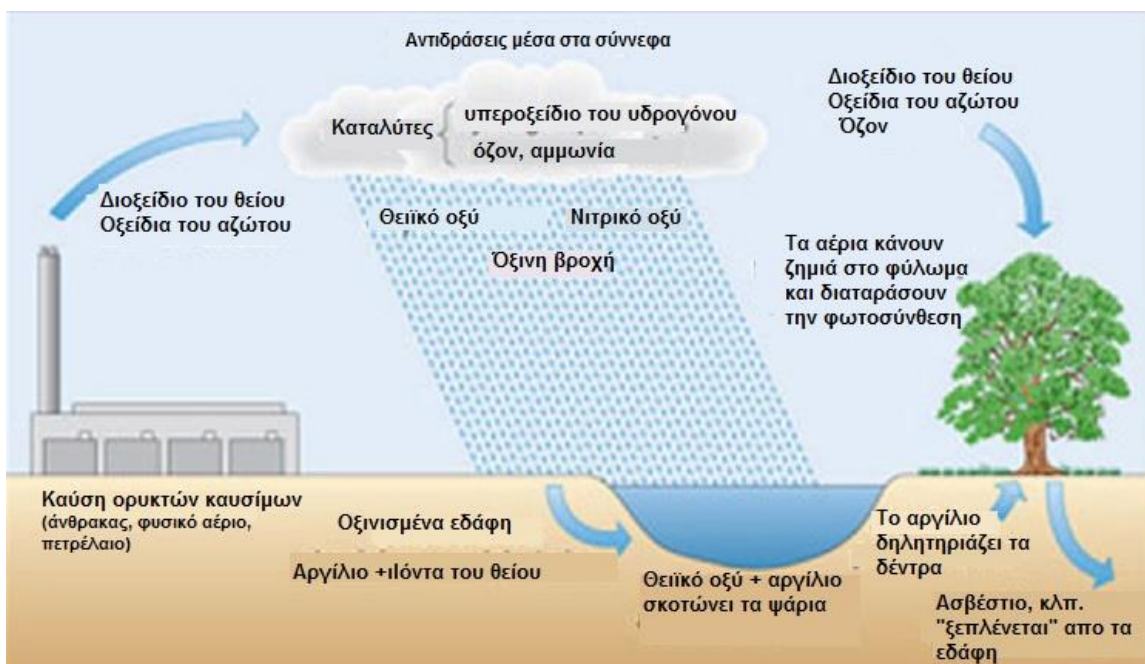
Ένα από τα προβλήματα που έπονται της όξινης βροχής είναι η υπέρβαση των εθνικών συνόρων. Αυτό σημαίνει ότι σε κάποιες περιπτώσεις οι χώρες που υφίστανται τις επιπτώσεις της όξινης βροχής δεν είναι εκείνες που προκάλεσαν την αρχική ρύπανση.

Τα θαλάσσια καύσιμα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, μέχρι 4,5% για πολλούς τύπους βαρύ μαζούτ (HFO). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης, το θείο συνδυάζεται με οξυγόνο και εκπέμπεται μέσω της εξάτμισης στην ατμόσφαιρα όπου

συνεχίζει να σχηματίζει θειικά αερολύματα. Οι ιδιότητές τους που αντανακλούν το φως παράγουν μια αρνητική ακτινοβολία και επιπρόσθετα, παράγουν έμμεσα αρνητική ακτινοβολία μέσω της αλληλεπίδρασής τους με τα σύννεφα, ενεργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης

Η όξινη βροχή μπορεί ακόμα να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά, προκαλώντας φθορές σε κτήρια και οχήματα ,καθώς και σε ιστορικά μνημεία. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι το μάρμαρο (CaCO_3) απορροφά SO_2 και μετατρέπεται σε γύψο (CaSO_4). Ο γύψος είναι πολύ περισσότερο υδατοδιαλυτός από το μάρμαρο, με αποτέλεσμα να παρασύρεται από τη βροχή. Επίσης, ο μοριακός όγκος του γύψου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του μαρμάρου, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ρωγμές στο μάρμαρο. Τα φαινόμενα αυτά έχουν παρατηρηθεί σε αρχαιολογικούς χώρους της Αθήνας, όπως η Ακρόπολη, και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση αγαλμάτων από εξωτερικούς χώρους και την επιβολή μέτρων για τη μείωση του περιεχομένου θείου στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης στην Αθήνα ήδη από τη δεκαετία του '80.

Κρίνεται λοιπόν σημαντικός ο περιορισμός εκπομπών αερίων ρύπων μέσα από μέτρα προς την κατεύθυνση αυτή περιλαμβάνουν αποθείωση των καυσαερίων που προέρχονται από εργοστάσια και τη χρησιμοποίηση καταλυτών καυσαερίων σε μηχανές όπως τα αυτοκίνητα.



Εικόνα 2.1: Η όξινη βροχή - Σχηματική επεξήγηση

Φαινόμενο Θερμοκηπίου

Η Γη και η ατμόσφαιρα της απορροφούν ακτινοβολούμενη ενέργεια από την Ήλιο με αποτέλεσμα η Γη να θερμαίνεται. Η Γη, με τη σειρά της, εκπέμπει γήινη ακτινοβολία, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας διαφεύγει στο διάστημα. Η απορρόφηση και η εκπομπή γίνονται με τον ίδιο ρυθμό και με τον τρόπο αυτό διατηρείται μία μέση θερμοκρασία ισορροπίας. Τα τελευταία 500.000 χρόνια η μέση θερμοκρασία της Γης έχει κυμανθεί μεταξύ 19 και 27 °C, ενώ την τελευταία δεκαετία βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο, στους 27 °C (Hewitt, 2010).

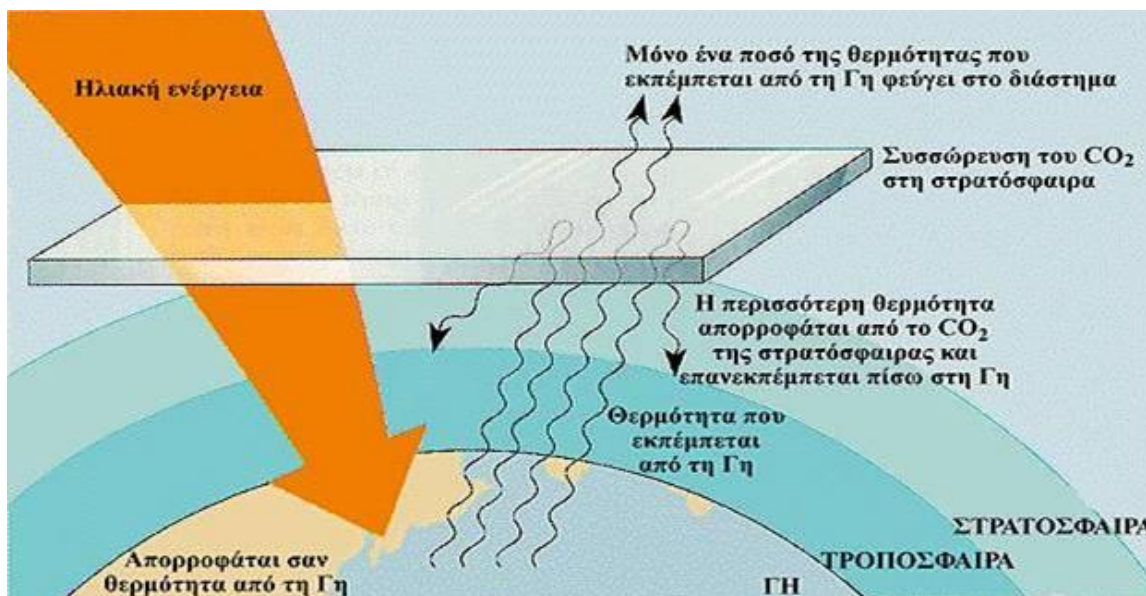
Έτσι λοιπόν η θερμοκρασία της γης αυξάνεται είτε όταν η εισερχόμενη ακτινοβολούμενη ενέργεια αυξάνεται, είτε όταν μειώνεται ο ρυθμός διαφυγής της γήινης ακτινοβολίας. Ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρεται στη θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών αερίων στο ισοζύγιο μεταξύ της γήινης και ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του Ήλιου, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από κύματα υψηλής συχνότητας-στην περιοχή του υπεριώδους, του ορατού και του μικρού μήκους κύματος υπέρυθρου. Η ατμόσφαιρα της Γης είναι

διαφανής για ένα μεγάλο μέρος αυτής της ακτινοβολίας, ειδικά για το ορατό φως, και έτσι η ηλιακή ενέργεια διεισδύει μέχρι την επιφάνεια της Γης και απορροφάται από αυτήν. Η επιφάνεια της Γης μετέπειτα επαναεκτινολοεί μέρος αυτής της ενέργειας. Στη φυσιολογική σύσταση της ατμόσφαιρας υπάρχουν, σε πολύ μικρές ποσότητες, αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και οι υδρατμοί τα οποία είναι διαφανή στο ορατό φως, γι' αυτό και δεν εμποδίζουν την ακτινοβολία του ήλιου να διασχίσει την ατμόσφαιρα. Όμως δεν είναι διαφανή στην υπέρυθη ακτινοβολία και απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εκπέμπεται από τη γη προτού αυτή διαφύγει στο διάστημα. Τα αέρια αυτά με τη σειρά τους επανεκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία, μέρος της οποίας απορροφάται από τη γη, συντελώντας έτσι στην άνοδο της θερμοκρασίας του συστήματος γη - ατμόσφαιρα. Με τη διαδικασία αυτή η μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας είναι περίπου 15°C .

Έχει υπολογιστεί μάλιστα ότι αν δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία παγιδεύουν τελικά τη θερμότητα κοντά στην επιφάνεια της Γης, η μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν περίπου -18°C. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ενέργεια, 2020)

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η ανθρώπινη δραστηριότητα (καύση ορυκτών καυσίμων) έχει προκαλέσει αύξηση κατά 40% των συγκεντρώσεων CO₂ σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (από τα 280 ppm το 1750 στα 400 ppm το 2015). Η αύξηση αυτή έχει συνδεθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή, δηλαδή με το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, αυξάνονται οι συγκεντρώσεις 146 και άλλων ανθρωπογενών αερίων, πέραν του διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά είναι, κατά σειρά σπουδαιότητας το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μία προσομοίωση των γυάλινων κατασκευών ή των πλαστικών φύλλων που χρησιμοποιούν οι αγρότες για να παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια δρώντας σαν βαλβίδα μίας κατεύθυνσης. Με άλλα λόγια επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, αλλά εμποδίζουν την θερμική ακτινοβολία να εξέλθει. Έτσι παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια με αποτέλεσμα να

αυξάνεται η θερμοκρασία και να ακολουθούν φαινόμενα όπως το λιώσιμο των πάγων, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας με σοβαρές επιπτώσεις στην γεωργία, καθώς καταστρέφονται καλλιεργημένες περιοχές, διαταράσσουν οικοσυστήματα κ.α.



Εικόνα 2.2 : Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Φωτοχημικό νέφος

Περίπου το 90% του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της γης βρίσκεται στη στρατόσφαιρα και το υπόλοιπο 10% του όζοντος βρίσκεται στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας, την τροπόσφαιρα. Η προέλευση του τροποσφαιρικού όζοντος έρχεται από τη φωτοχημική παραγωγή υπό την παρουσία διάφορων πρωτογενών ρύπων (π.χ. οξειδία του αζώτου, υδρογονάνθρακες) και του φωτός, και από τη μεταφορά στρατοσφαιρικού όζοντος προς την τροπόσφαιρα (Ζάνης, 2014)

Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται από την ένωση του ηλιακού φωτός με ρύπους που έχουν ελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι οξειδία του αζώτου (NO_x), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) που υπάρχουν σε τεχνητές ουσίες όπως η βενζίνη και τα τεχνητά χρώματα, ορισμένες αλδεΐδες (RCHO) και το όζον (O₃) όταν βρίσκεται στα χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου και τα τέλη της δεκαετίας του '70 η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι το όζον στην τροπόσφαιρα είναι ένα αδρανές αέριο που δεν αντιδρά με άλλα στοιχεία και ότι προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από την κατώτερη στρατόσφαιρα (από διεισδύσεις στρατοσφαιρικού όζοντος στην τροπόσφαιρα) και καταστρέφεται στο έδαφος. Ωστόσο στα τέλη της δεκαετίας του '70 και '80 τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της φωτοχημικής παραγωγής του τροποσφαιρικού όζοντος, στην προσπάθεια να δοθεί μία εξήγηση του φωτοχημικού νέφους του Λος Άντζελες στην δεκαετία του '60 από όπου έγινε αντιληπτό ότι το φωτοχημικό νέφος (ή φωτοχημική καπνομίχλη) δημιουργείται από μία πολύπλοκη σειρά χημικών αντιδράσεων που περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες και οξειδία του αζώτου από βιομηχανικές πηγές και αυτοκίνητα υπό την δράση του ηλιακού φωτός (Ζάνης, 2014)

Από αυτές τις αντιδράσεις σχηματίζονται εκτός του όζοντος και άλλες δευτερογενείς ενώσεις στις οποίες συγκαταλέγονται NO_2 , HNO_3 και PAN που αποτελούν φωτοχημικούς ρύπους. Αντίστροφα, ισχύει και το εξής: όταν η θερμοκρασία πέφτει οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνουν και το φωτοχημικό νέφος σπανίως δημιουργείται. Η παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος και το φωτοχημικό νέφος ευνοείται την ημέρα και τους θερμούς μήνες του έτους. Το φωτοχημικό νέφος συμβαίνει πλέον συχνά σε πολλές μεγαλουπόλεις όπως και στην Αθήνα. (Ζάνης, 2014)



Εικόνα 2.3: Το φωτοχημικό νέφος στην Αθήνα

Τρύπα του όζοντος

Η λεγόμενη τρύπα του όζοντος, οφείλεται τελικά σε μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας βρίσκεται το λεγόμενο στρώμα ή στιβάδα του όζοντος. Το όζον είναι αέριο, μια τριατομική μορφή οξυγόνου (το οξυγόνο έχει δύο άτομα [O₂], το όζον τρία [O₃]). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω περίπου το 90% του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της γης βρίσκεται στη στρατόσφαιρα και το υπόλοιπο 10% του όζοντος βρίσκεται στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας, την τροπόσφαιρα.

Αυτό το στρώμα στην στρατόσφαιρα προστατεύει τη Γη από την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας σημαντικό τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία είναι βλαβερή για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το όζον, δηλαδή, λειτουργεί σαν μια ομπρέλα που προστατεύει από τις βλαβερές ακτινοβολίες του ήλιου. Δημιουργείται υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με τα μόρια του οξυγόνου, βάσει μίας σειράς αντιδράσεων, τις αντιδράσεις Chapman. Η ίδια ακτινοβολία προκαλεί και την καταστροφή του όζοντος, αφού όταν πέφτουν οι ακτίνες πάνω του, το διασπούν στα μέρη τα οποία αποτελείται με ένα ισοζύγιο.

Όζον που καταστρέφεται + Όζον που δημιουργείται = σταθερή περιεκτικότητα περίπου ίση με 10 ppm

Αυτή όμως η στιβάδα του όζοντος άρχισε να λεπταίνει εδώ και μερικές δεκαετίες, ένα φαινόμενο που θεωρείται πως δημιουργήθηκε από υπερβολική χρήση χλωροφθορανθράκων (CFC ή φρέον) και βρωμοφθορανθράκων. Επειδή απελευθερώνονται στον αέρα, ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα, καταλήγουν στη στιβάδα του όζοντος, και έπειτα από μια σειρά χημικών διεργασιών, καταστρέφουν το όζον, μειώνοντας το πάχος της στιβάδας. Έτσι δημιουργήθηκε η λεγόμενη «τρύπα του όζοντος», η οποία είναι εντονότερη πάνω από την Ανταρκτική και ανακαλύφθηκε μόλις το 1985. Το όζον καταστρέφεται και από άλλους ρύπους, που προέρχονται από

καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης όπως πλοία αυτοκίνητα κ.α. Μια συνολική μείωση του στρώματος του όζοντος γύρω στο 10% μπορεί να έχει ολέθριες επιπτώσεις στην υγεία, εξασθενώντας το ανοσοποιητικό σύστημα και αυξάνοντας τα κρούσματα καρκίνου του δέρματος.

Ενώ αυτές οι ενώσεις καταστρέφουν το όζον, οι ίδιες δεν καταστρέφονται, με αποτέλεσμα να δρουν σε μακροχρόνιους κύκλους. Σήμερα έχει απαγορευτεί η χρήση χλωροφθορανθράκων και έχουν αντικατασταθεί από άλλες, μη βλαπτικές ενώσεις, ωστόσο απαιτούνται πολλά χρόνια προκειμένου να επανέλθει το προστατευτικό στρώμα του όζοντος σε επίπεδα ικανοποιητικά.

2.4 Επιπτώσεις αέριας Ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία

Ουσίες όπως το SO₂, τα NO_x και τα αιωρούμενα σωματίδια βλάπτουν σοβαρά την ανθρώπινη υγεία. Τα κυριότερα οξειδία του αζώτου που παράγονται κατά την καύση είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου. Το χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου είναι ότι συνεισφέρουν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα των πόλεων. Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται όταν τα NO_x και άκαυστοι υδρογονάνθρακες, με μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία φωτός καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος (O₃) και μιας μεγάλης ποικιλίας άλλων οργανικών ουσιών. Το φωτοχημικό νέφος έχει ως αποτέλεσμα ερεθισμό στα μάτια και τους πνεύμονες. Τέλος τα NO_x συνεισφέρουν μαζί με τα SO_x στον σχηματισμό της όξινης βροχής.

Τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm παγιδεύονται στη μύτη ή τον φάρυγγα δεν δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα καθώς απομακρύνονται ή καταπίνονται. Τα μικρότερα όμως σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και παραμένουν, και είναι δύσκολη η απομάκρυνσή τους, με αποτέλεσμα την πρόκληση πνευμονικών προβλημάτων. Σύμφωνα με μελέτη (Corbett et al, 2007), τα αιωρούμενα σωματίδια από τη ναυτιλία είναι υπεύθυνα για περίπου 60.000 πρόωρους θανάτους ετησίως σε όλο τον πλανήτη από κάρδιο-αναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους περισσότερους να λαμβάνουν χώρα κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολικής

Ασίας και της Νότιας Ασίας, όπου συμπίπτει έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού.

Το CO₂ το οποίο θεωρείται ως ο κύριος λόγος για τη δημιουργία του σημαντικότερου περιβαλλοντικού προβλήματος της εποχής μας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν ενέχει άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Μια σύνοψη των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω :

	SO ₂ , NO _x , PM, VOC's	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	Άμεσες: Αναπνευστικά προβλήματα υγιών ατόμων Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, πνεύμονες Άσθμα Χρόνια βρογχίτιδα Καρδιοπάθειες	Έμμεσες, που οφείλονται σε: Υψηλές θερμοκρασίες Ακραία καιρικά φαινόμενα Προβλήματα με τους υδατικούς πόρους και τη γεωργία κ.λπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΡΥΠΟΙ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

3.1 Γενικά

Το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας αποτελείται από άζωτο (78%) και οξυγόνο (21% κ.ό.). Η ατμόσφαιρα συνίσταται ακόμη από αργό, διοξείδιο του άνθρακα καθώς επίσης και από αέρια. Σε μια ναυτική μηχανή τα ναυτιλιακά καύσιμα καίγονται με το οξυγόνο του αέρα και δημιουργείται η μηχανική ενέργεια που απαιτείται για να κινηθεί το πλοίο, αποβάλλεται θερμική ενέργεια και εκπέμπονται καυσαέρια.

Τα καύσιμα της ναυτιλίας, συνίστανται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το περιεχόμενο του πετρελαίου της ναυτιλίας σε άνθρακα κυμαίνεται από 84,9% και 87,4% . Περιέχουν επιπλέον ορισμένες προσμίξεις, όπως θείο, η περιεκτικότητα των οποίων διαφοροποιείται ανάλογα με το αν είναι αποσταγματικό ή υπολειμματικό το καύσιμο. Τα καυσαέρια μιας μηχανής του κλάδου αυτού κυρίως περιέχουν άζωτο (N₂), οξυγόνο (O₂), υδρατμούς (H₂O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) . Ακόμη συνίστανται από οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια σε μικρότερο βαθμό. Το CO₂ προκύπτει από την τέλεια καύση του άνθρακα των καυσίμων. Αντίστοιχα, το υδρογόνο των καυσίμων μετατρέπεται σε υδρατμούς (H₂O). Δυστυχώς, στις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν κυριαρχούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, οπότε από την ατελή καύση των καυσίμων μπορεί να προκύψουν ποικίλα καυσαέρια: σωματίδια άνθρακα (αιθάλη), CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες .

Οι εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τη ναυτιλία, σχετίζονται με τις περισσότερες δράσεις στη θάλασσα και κατευθύνονται από τη διεθνή οικονομία. Αξίζει να αναφερθεί ότι το 80% του διεθνούς εμπορίου στη σημερινή εποχή υλοποιείται διαμέσου της θαλάσσης με τα διαφορετικά είδη φορτηγών πλοίων. Το εμπόριο αυτής της μορφής

εξυπηρετεί τον εφοδιασμό για την τροφή των ανθρώπων, την ενέργεια που έχουν ανάγκη (ηλεκτροδότηση, μεταφορές, θέρμανση κλπ.), τις πρώτες ύλες καθώς επίσης και έτοιμα αγαθά . Ακόμη εξυπηρετούνται οι μεταφορές επιβατών, η αλιεία, η έρευνα, οι υπηρεσίες ρυμούλκησης κλπ. Καθώς το εμπόριο διαμέσου της θαλάσσης αναπτύσσεται ταχεία, είναι φυσικό επακόλουθο να αυξάνονται και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

Έρευνες κατά καιρούς έχουν τονίσει πως οι συγκεκριμένες εκπομπές από αυτόν τον κλάδο, έχουν παρουσιάσει αισθητή ανοδική τάση τα τελευταία 20 έτη, παίζοντας καθοριστικό ρόλο με αυτόν τον τρόπο σε σημαντικά ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και η κλιματική αλλαγή που εντοπίζεται ολοένα και πιο συχνά. (Miola, 2010)

Σχετικές έρευνες επισημαίνουν πως κατά κύριο λόγο οι θαλάσσιες εκπομπές στον ευρωπαϊκό χώρο παίζουν σημαντικό ρόλο και στις διεθνείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και καθίσταται αναγκαία η εφαρμογή ενός πανευρωπαϊκού συστήματος ελέγχου αυτών, η υποβολή εκθέσεων και η επαλήθευση των συγκεκριμένων εκθέσεων.

Μελέτες ακόμη επισημαίνουν πως η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων διαμέσου της βέλτιστης εφικτής απόδοσής τους, τεχνικών βελτιώσεων και διαφοροποιημένων δράσεων λειτουργίας των σκαφών, είναι η βέλτιστη δυνατή μέθοδος, η οποία στοχεύει και στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι βασικότεροι ρύποι οι οποίοι εκπέμπονται από τα σκάφη είναι το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το μεθάνιο, το μονοξείδιο του άνθρακα, διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις, υποξείδιο του αζώτου κλπ.

Επίσης η ναυτιλία σήμερα, εκπέμπει αιθάλη σαν ένα τμήμα των αιωρούμενων σωματιδίων. Η αιθάλη, στην περίπτωση στην οποία υφίσταται στην ατμόσφαιρα, λόγω του μαύρου χρώματός της, κάνει πιο έντονα το φαινόμενο του θερμοκηπίου, συμβάλλει στην ανοδική τάση της απορρόφησης της ακτινοβολίας του ήλιου και παράλληλα σκιάζει και ψύχει την επιφάνεια του πλανήτη μας. Αν μάλιστα η αιθάλη πέσει σε ανοιχτόχρωμες τοποθεσίες της γης (όπως για παράδειγμα στην Αρκτική), μειώνει σε μεγάλο βαθμό την ανακλαστικότητά τους, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στη θέρμανση.

3.2 Περιγραφή Ατμοσφαιρικών Ρύπων

Διοξείδιο του άνθρακα

Το CO₂ προκύπτει από την καύση του άνθρακα από τα καύσιμα. Παίζει καθοριστικό ρόλο στη συντήρηση της θερμοκρασίας της γης αλλά αποτελεί ένα από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου. Στις συγκεντρώσεις που απαντάται στην ατμόσφαιρα δεν φαίνεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Η αύξηση των εκπομπών του όμως συνδέεται με το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο αποτελεί αιτία για το σημαντικότερο πρόβλημα της εποχής μας μιας και συνδέεται με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση θερμοκρασίας στον πλανήτη.

Το ποσοστό εκπομπής αυτού του ρύπου από την παγκόσμια ναυτιλία φτάνει στο 2,7% των συνολικών διεθνών εκπομπών. Ενώ σε περίπτωση στην οποία προσθέσουμε το ποσοστό από τα πλοία τα οποία υλοποιούν εσωτερικά ταξίδια και από τα αλιευτικά σκάφη το συνολικό αυτό ποσοστό θα ξεπεράσει το 3,3% της διεθνούς εκπομπής CO₂. Επίσης, έρευνες αναφέρουν πως περίπου κατά την περίοδο του 2050 σε περίπτωση που δεν εφαρμοστούν άμεσα οι κατάλληλες τακτικές δράσεις με στόχο την αισθητή μείωση αυτών των εκπομπών, οι συγκεκριμένες εκπομπές από την παγκόσμια ναυτιλία θα παρουσιάσουν ανοδική τάση της τάξης του 150 έως και 250% .

Οξείδια του αζώτου

Τα οξείδια του αζώτου είναι ανόργανες χημικές ενώσεις με γενικό χημικό μοριακό τύπο NO_x. Οι εκπομπές αυτού του είδους σχετίζονται και εξαρτώνται κατά μεγάλο ποσοστό με τις συνθήκες υπό τις οποίες καίγεται το καύσιμο, όπως επί παραδείγματι με το είδος της μηχανής, τις συνθήκες καθώς επίσης και τις ρυθμίσεις με τις οποίες δρα η κάθε μηχανή.

Πιο συγκεκριμένα :Το άζωτο N₂ υπό κανονικές συνθήκες δεν αντιδρά με το οξυγόνο. Όμως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης, υπάρχει αντίδραση με το οξυγόνο με αποτέλεσμα την παραγωγή οξειδίων του αζώτου. Τα οξείδια του αζώτου μπορούν να σχηματιστούν σε μικρότερο ποσοστό από την καύση των

Διπλωματική εργασία

συστατικών καυσίμων που περιέχουν άζωτο και ο έλεγχος τους πραγματοποιείται με βελτιώσεις στη διαδικασία της καύσης.

Οξειδία του θείου

Πρόκειται για ανόργανες ενώσεις του οξυγόνου με το θείο, με το γενικό χημικό μοριακό τύπο SO_x. Από τα οξείδια αυτής της μορφής εκείνο το οποίο μας ενδιαφέρει πιο πολύ, σε ό,τι έχει να κάνει με την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το διοξείδιο του θείου στο οποίο οφείλεται και η υπερθέρμανση της γης και από αυτό κατά κύριο λόγο προέρχεται το φαινόμενο της όξινης βροχής, το οποίο έχει την ευχέρεια να δημιουργήσει αρκετά και σοβαρά ζητήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

Τα καύσιμα της ναυτιλίας παγκοσμίως περιέχουν περίπου 27000 ppm, τη στιγμή που το όριο σε θείο για το πετρέλαιο κίνησης είναι 10 ppm . Το θείο των καυσίμων οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξείδια του θείου, κυρίως σε SO₂ και SO₃. Έπειτα το SO₃ αντιδρά με την υγρασία με αποτέλεσμα τη παραγωγή σωματιδίων θειικού οξέος που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

Σε αντίθεση με τα οξείδια του αζώτου, ο έλεγχός τους πραγματοποιείται μέσα από βελτιώσεις στη σύσταση των καυσίμων (με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο) και σύμφωνα με αυτή τη γραμμή κινείται και η ναυτιλία.

Πτητικές οργανικές ενώσεις

Πρόκειται για οργανικές ενώσεις, οι οποίες έχουν προέλευση από άνθρακα και υδρογόνο κυρίως. Γι' αυτό και μπορούν να θεωρηθούν ως ένα είδος μειγμάτων υδρογονανθράκων. Κάποιες από αυτές αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου είτε με το όζον και αναπτύσσονται καινούρια αγαθά οξείδωσης είτε διάφορα αερολύματα που ως επί το πλείστον είναι δευτερεύοντα. Οι βασικότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την εκπομπή των ρύπων αυτής της μορφής έχουν άμεση σχέση με ποικίλα προβλήματα υγείας των ανθρώπων

Αιωρούμενα σωματίδια

Πρόκειται για ένα σύνθετο μείγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών. Τα σωματίδια αυτού του είδους έχουν σαν βασικό τους γνώρισμα το εκάστοτε στερεό είτε υγρό σώμα

Διπλωματική εργασία

(εκτός του νερού) με μέγεθος που ξεπερνά αυτό των απλών μορίων της ύλης, που εντοπίζονται διεσπαρμένα στον αέρα σαν συνέπεια της δράσης της καύσης κάποιων καυσίμων. Βασικά παραδείγματα αυτών των σωματιδίων είναι ατομικό άνθρακας αιθάλη στάχτη και πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκαν ή κάηκαν ατελώς άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία. Ως προς τις εξατμίσεις των πλοίων, τα σωματίδια που παράγονται είναι κυρίως σωματίδια θεικών (κατά 75%) . Σε μικρότερο ποσοστό, περίπου 25% παράγεται οργανικός άνθρακας και τέλος σε πολύ μικρά ποσοστά τέφρα.

Αδιαμφισβήτητα, μελέτες τονίζουν πως η παραγωγή τέτοιων σωματιδίων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον κλάδο της ναυτιλίας. Οι ποσότητες των σωματιδίων αυτών έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον και στην ποιότητα του αέρα , κυρίως σε περιοχές με έντονη ναυτιλιακή δράση ή σε πόλεις που βρίσκονται κοντά σε μεγάλα λιμάνια.

Αν αναλογιστούμε τους συνολικούς ρύπους της ναυτιλίας, στα λιμάνια εκπέμπεται μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών. Ωστόσο η συνεχής ανάπτυξη του εμπορίου, του τουρισμού και της κίνησης των επιβατών και των οχημάτων τους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των προσεγγίσεων των πλοίων και κατά συνέπεια την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα λιμάνια. Εξάλλου ο χρόνος παραμονής του κάθε πλοίο σε κόμβους όπως τα λιμάνια ποικίλει. Στη φάση της παραμονής τους, τα πλοία χρησιμοποιούν τις βοηθητικές τους μηχανές για την παραγωγή ενέργειας που σχετίζεται με φωτισμό , διακίνηση φορτίου, συστήματα ελέγχου καυσίμου κλιματισμού κ.α. Έτσι συγκεντρώνονται μεγάλες εκπομπές καυσαερίων, οι οποίες αυξάνουν την ανησυχία για περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι αφού εκλύονται οι εκπομπές αέριων ρύπων από τα πλοία, αναμιγνύονται με τον περιβάλλοντα αέρα, αραιώνονται, ενώ κατά την αραιώση μετασχηματίζονται σε δευτερογενείς ρύπους. Στο μετασχηματισμό αυτόν παίζουν ρόλο οι αρχικές συγκεντρώσεις των ρύπων, η ατμόσφαιρα, οι μετεωρολογικές συνθήκες , οι συντεταγμένες της εκάστοτε περιοχής κ.α.

3.3 Διαδικασία εκπομπής των ρύπων

Τα πλοία έχουν δύο είδη μηχανών στο μηχανοστάσιο από τις οποίες εκπέμπονται οι ρύποι. Ο ένας τύπος μηχανή χαρακτηρίζεται ως κύρια και χρησιμοποιείται για την βασική πρόωση του πλοίου και ο δεύτερος τύπος μηχανή είναι η βοηθητική μηχανή την

οποία το πλοίο χρησιμοποιεί για τις βασικές ανάγκες και την ενέργεια του πλοίου.

Μεγάλο ρόλο στην εκπομπή των ρύπων παίζουν η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης για την καύση του καυσίμου και ο τύπος του καυσίμου. Οι κύριοι ρύποι που δημιουργούνται είναι το Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα Οξειδία του αζώτου (NO_x), τα Οξειδία του θείου (SO_x), οι Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), και τα Αιωρούμενα σωματίδια (PM). Υπάρχει βεβαίως και το Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) το οποίο δεν χαρακτηρίζεται ως ρύπος αλλά ως αέριο, για το λόγο ότι συναντάται στην σύσταση της ατμόσφαιρας.

Για να μπορέσει να παραχθεί η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια και το πλοίο να είναι σε θέση να κινηθεί, η ναυτική μηχανή είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να περνάει το οξυγόνο του αέρα και να καίγονται τα καύσιμα. Με την καύση των καυσίμων εκπέμπονται καυσαέρια που προκύπτουν από την αποβολή της θερμικής ενέργειας. Το καύσιμο είναι υδρογονάνθρακας με ένα μικρό ποσοστό προσμίξεων από βαρέα μέταλλα και θείο. Η περιεκτικότητά του σε άνθρακα είναι περίπου 84,9 έως 87,412, ενώ η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο εξαρτάται από τον τύπο του καυσίμου. Οι μηχανές των πλοίων εκπέμπουν κυρίως άζωτο, οξυγόνο, νερό σε μορφή υδρατμών και διοξείδιο του άνθρακα ενώ σε πολύ μικρότερο βαθμό θα εκπέμπουν και οξειδία του αζώτου, οξειδία του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια.

Περίληπτικά αξίζει να αναφερθεί ότι η παραγωγή του CO₂ στις ιδανικές συνθήκες πραγματοποιείται λόγω τέλει καύσης του άνθρακα που περιέχεται στα καύσιμα, σε μια ναυτική μηχανή όμως οι συνθήκες είναι αόριστες με συνέπεια η καύση να είναι ατελής και να παράγονται περαιτέρω αιθάλη, μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυστοι υδρογονάνθρακες.

Η εκπομπή SO_x από τις ναυτικές μηχανές οφείλεται στην περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο. Λόγω της οξείδωσης του θείου κατά την καύση της μηχανής, παράγονται τα οξειδία του θείου. Ένα από τα οξειδία που παράγονται το SO₃ αντιδράει με το νερό που είναι σε μορφή υδρατμών και παράγονται σωματίδια θειικού οξέος. Η εκπομπή NO_x προκύπτει εξαιτίας της περιεκτικότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε άζωτο. Αν και είναι

χημικά αδρανές σε φυσιολογικές συνθήκες, το άζωτο, μέσα στις ναυτικές μηχανές που επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες αντιδρά με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα και παράγονται τα οξειδία του αζώτου. Τέλος, τα ΡΜ χαρακτηρίζονται από τη σύνθεση ενός μίγματος οργανικών και ανόργανων ουσιών, όπου τα συστατικά τους είναι ατομικός άνθρακας, στάχτη, αιθάλη, άκαυστα σωματίδια καυσίμου και λιπαντικά έλαια, θειικά άλατα και υγρασία.

3.4 Κατηγορίες πλοίων

Οι θαλάσσιες μεταφορές προϋπήρχαν ήδη από την αρχαιότητα και εμπορεύματα και άνθρωποι διακινούνταν σε όλο τον τότε γνωστό κόσμο. Με τη πάροδο των ετών και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ερευνάς νέου τύπου πλοία έκαναν την εμφάνιση τους φέρνοντας έτσι την ανάπτυξη των θαλάσσιων μεταφορών έτσι ώστε στην εποχή μας να αποτελούν μια γιγάντια οικονομική και κοινωνική ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρατηρώντας λοιπόν το πλοίο, το οποίο έχει κύριο ρολό στις θαλάσσιες μεταφορές, συμπεραίνουμε ότι αυτό προσαρμόστηκε βελτιώθηκε για να εξυπηρετήσει καλύτερα τις ανθρώπινες και οικονομικές ανάγκες.

Προκειμένου να μελετήσουμε τα πλοία καλύτερα μπορούμε να τα κατατάξουμε σε διάφορες ομάδες με κριτήρια είτε το μέγεθος τη μορφή και το βασικό εξοπλισμό τους. Πολλές και διάφορες κατηγορίες και τύποι πλοίων ήταν φυσικό επακόλουθο της τεράστιας τεχνολογικής και βιομηχανικής ανάπτυξης ,ειδικότερα των τελευταίων δεκαετιών στις οποίες οφείλεται και η μεγάλη ποικιλία προϊόντων που μπορούν να μεταφερθούν με πλοία. Προϊόντα όπως πρώτες ύλες ,υλικά λειτουργίας και συντήρησης βιομηχανιών (πχ καύσιμα) και προϊόντα τα οποία προορίζονται για εμπορική και καταναλωτική χρήση είναι τα κυριότερα μεταφερόμενα από εμπορικά και όχι μόνο πλοία. Αρά και για να μεταφερθούν αυτά τα προϊόντα χρειάζεται κάθε φορά και διαφορετικός τύπος πλοίου.

Εν κατακλείδι λοιπόν διάφοροι λόγοι όπως ανθρώπινες ανάγκες, βιομηχανική ανάπτυξη, τεχνολογική εξέλιξη, οικονομική οργάνωση και διαχείριση ναυτλιακών εταιρειών είχαν ως αποτέλεσμα την κατηγοριοποίηση των πλοίων λαμβάνοντας ως κριτήριά το υλικό

κατασκευής, το είδος η την περιοχή μεταφορών, το μέσο πρόωσης και την αποστολή που εξυπηρετούν.

Μια πρώτη γενική κατάταξη των εμπορικών πλοίων είναι η εξής :

- Φορτηγά πλοία τα οποία μπορούν να μεταφέρουν στερεά ,υγρά η υγροποιημένα και μικτά φορτία.
- Επιβατηγά τα οποία μεταφέρουν κατά κύριο λόγο επιβάτες. Κάποια είναι διαμορφωμένα ώστε να μεταφέρουν ένα αριθμό οχημάτων καθώς και κάποια ποσότητα εμπορευμάτων.
- Ειδικού προορισμού τα οποία χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένο σκοπό όπως αλιεία, επιστημονικό σκοπό, αναψυχή κτλ.
- Βοηθητικής ναυτιλίας τα οποία κατασκευάζονται για να συνδράμουν στο έργο και την αποστολή των υπολοίπων κατηγοριών. Τέτοια πλοία μπορεί να είναι ρυμουλκά, φορτηγίδες, ναυαγοσωστικά, πλωτές δεξαμενές και γερανοί. πλοηγίδες κτλ.

Η ταξινόμηση των πλοίων μπορεί να γίνει σύμφωνα με τους παρακάτω τρόπους: (Δαγκίνης, 2012)

- Με το τύπο των υδάτων που πλέουν: Πλοία θαλάσσης, Λιμνόπλοια και Ποταμόπλοια,
- Με τον τομέα δραστηριότητας: Πλοία μεταφοράς προσώπων ή εμπορευμάτων, Αλιευτικά, Πλοία έξω-οικονομικών σκοπών (ερευνητικά, επιστημονικά, εκπαιδευτικά) Πλοία ειδικών υπηρεσιών, Πλοία βοηθητικής ναυτιλίας και Πλοία αναψυχής,
- Με το αντικείμενο μεταφοράς: Επιβατηγά (passenger ships) και Φορτηγά (cargo ships),
- Με τα εκτελούμενα δρομολόγια: Συγκοινωνιακών γραμμών εσωτερικού ή εξωτερικού (passenger liners) και Περιηγητικών πλοών καλούμενα Τουριστικά ή Κρουαζιερόπλοια (Cruise ships),

- Με την τεχνολογία τους: Επιβατηγά κλασσικού τύπου, Επιβατηγά - οχηματαγωγά (passenger / γεωοικονομικών) μεγάλα, μεσαία και μικρά, Πορθμεία (ferry for) και Σύγχρονα ταχύπλοα όπως τα Αερόστρωμα (hover crafts), τα Υδροπτέρυγα (hydro foils) και τα Καταμαράν ή Cats,
- Με το είδος φορτηγών πλοίων: Φορτηγά ξηρού φορτίου, Υγρού φορτίου, Μικτού φορτίου (ξηρού - υγρού φορτίου) ή πολλαπλής χρήσης και Φορτηγά ειδικού φορτίου,
- Με τη γενικότερη μορφή κατασκευής: Fulls candling vessels, Complete super structure vessels, Shelter deck ships, Long bridge ship και Three-island ships,
- Με το υλικό κατασκευής: Ξύλινα, Μεταλλικά, Πλαστικά και Αλουμινίου,
- Με τον τύπο των ταξιδιών που εκτελούν: Ακτοπλοϊκά, κλειστών θαλασσών ή εσωτερικού και ποντοπόρα,
- Με την ηλικία του πλοίου: Νεότευκτα, Μικρής ηλικίας και Παρήλικα ή Υπερήλικα,
- Κυβερνητικά: Πολεμικά, Λιμενικό, Πυροσβεστική,
- Με την εγκατάσταση μηχανών: Αυτοκινούμενα και Μη αυτοκινούμενα,
- Με τον τύπο πρόωσης (κίνησης): Ιστιοφόρα, Μηχανοκίνητα Ντίτζελ, Ατμόπλοια, Ηλεκτροκίνητα και Πυρηνοκίνητα,
- Με τον αριθμό των ελίκων: Μονή έλικα, Διπλή έλικα, Τριπλή έλικα και Τετραπλή έλικα.

3.5 Τύποι μηχανών

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανών ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η καύση

1. η μηχανή εσωτερικής καύσεως και
2. η μηχανή εξωτερικής καύσεως.

Ως εκ τούτου οι μηχανές που χρησιμοποιούνται στα πλοία μπορούν να χωριστούν σε κάποιες από τις ακόλουθες κατηγορίες,

- i. μηχανές εσωτερικής καύσης,
- ii. gas turbines και
- iii. steam turbines.

Το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης κατέχουν οι diesel μηχανές με 99% το 2010 σύμφωνα με την έρευνα της EMEP/EEA και στη συνέχεια είναι οι steam turbines μηχανές με 1% και οι gas turbines μηχανές με 0,1%. Οι μηχανές marine diesel καθώς δημοφιλέστερες χωρίζονται σε τρεις τύπους βάσει ταχύτητας: στις χαμηλών στροφών, στις μέσες στροφών και στις υψηλών στροφών. Οι στροφές των χαμηλών στροφών μηχανών diesel (slow-speed diesel engines) κυμαίνονται μεταξύ 80 και 140 στροφών το λεπτό, όμως είναι εφικτό να φτάσουν μέγιστο τις 300 στροφές το λεπτό. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται κατά βάση ως κύριες μηχανές πρόωσης.

Οι στροφές των μέσων στροφών μηχανών diesel (medium speed diesel engines) κυμαίνονται μεταξύ 300 με 900 στροφές το λεπτό. Αυτές οι μηχανές όπως οι χαμηλών στροφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύριες μηχανές πρόωσης αλλά και ως βοηθητικές μηχανές για την τροφοδότηση του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια (σε συνδυασμό με κατάλληλη γεννήτρια).

Τέλος οι μηχανές υψηλών στροφών (fast speed diesel engines) έχουν πάνω από 900 στροφές ανά λεπτό. Αυτού του είδους οι μηχανές, αξιοποιούνται ως βοηθητικές μηχανές στα πλοία για την τροφοδότηση του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια (σε συνδυασμό με κατάλληλη γεννήτρια).

Κατά τα ταξίδια χρησιμοποιούνται οι κύριες μηχανές και από αυτές εκπέμπονται οι περισσότεροι ρύποι. Κατά τον ελλιμενισμό του πλοίου λειτουργούν οι βοηθητικές μηχανές για την παραγωγή ηλεκτρισμού στο πλοίο, ενώ οι κύριες μηχανές σε αυτή τη φάση συνήθως δεν λειτουργούν.

3.6 Τύποι καυσίμων

Πηγή καυσίμου των μηχανών diesel είναι το αργό πετρέλαιο (crude oil), από το οποίο

μέσω ατμοσφαιρικής απόσταξης δημιουργούνται αποστάγματα όπως αέριο, νάφθα, κηροζίνη, ελαφρύ και βαρύ diesel. Εκτός από τα αποστάγματα παράγεται και βαρύ πετρέλαιο. Για την διεξαγωγή των παραγών του αργού πετρελαίου είναι σημαντικό από τα διυλιστήρια να «αποσπαστούν χρήσιμες ουσίες από το αργό πετρέλαιο». Το αργό πετρέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά τη διαδικασία της διύλισης, αν και χαρακτηρίζεται σαν καύσιμο. Με τον όρο διύλιση εννοείται:

- Διαχωρισμός υδρογονανθράκων (με φυσικές διεργασίες)
- Μετατροπή υδρογονανθράκων (δημιουργία νέων προϊόντων με χημική μετατροπή)
- Εξευγενισμός των νέων προϊόντων
- Διαμόρφωση του τελικού προϊόντος

Ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου «βασίζεται στην απόσταξη του πετρελαίου σε κλάσματα συγκεκριμένων θερμοκρασιακών περιοχών». Το πρώτο και βασικό στάδιο της ατμοσφαιρικής απόσταξης (κλασματική απόσταξη) για τον διαχωρισμού του αργού πετρελαίου είναι η αέρια φάση καθώς περιέχει μεγαλύτερη αναλογία σε πτητικά συστατικά από την υγρή φάση. Με τη θέρμανση του αργού πετρελαίου στους 350 βαθμούς Κελσίου μεγάλο μέρος αυτού σε μορφή ατμών εισέρχεται στην στήλη της κλασματικής απόσταξης όπου στη συνέχεια οι ατμοί καθώς «ανεβαίνουν ψύχονται και ένα μέρος τους υγροποιείται, ανάλογα με το σημείο ζέσης του προϊόντος, στους χαμηλούς ή υψηλούς δίσκους μέχρι αυτοί να υπερχειλίσουν». Υπάρχουν ορισμένα κύρια καύσιμα που χρησιμοποιούν στη ναυτιλία τα οποία χωρίζονται σε κατηγορίες ποιότητας όπως αναφέρει ο Νερσισιγιάν (Νερσισιγιάν, 2004):

- MGO (Marine Gas Oil ή ναυτιλιακό gas oil), το MGO ανήκει στην κατηγορία των αποσταγμάτων καθώς παράγεται από αποστάγματα υψηλής ποιότητας. Το καύσιμο αυτό χρησιμοποιείται «σε πολύστροφες μηχανές, στις μέσου αριθμού στροφών μηχανές και για να ο αναμειγνύεται με βαρύ πετρέλαιο (HFO – Heavy Fuel Oil) για την παραγωγή ενδιάμεσων καυσίμων (IFO – Intermediate Fuel Oil)»
- MDO (Marine Diesel Oil ή ναυτιλιακό diesel), το MDO ανήκει και αυτό στην κατηγορία των αποσταγμάτων αλλά παράγεται από βαρύτερα αποστάγματα από το

MGO. Θεωρείται ελαφρύ καύσιμο. Το καύσιμο αυτό όπως και το ναυτιλιακό gas oil «χρησιμοποιείται σε μηχανές υψηλού και μέσου αριθμού στροφών και για την εκκίνηση μηχανών που εργάζονται κανονικά με βαρύ πετρέλαιο»

- HFO (Heavy Fuel Oil), το HFO είναι ένα μείγμα των τελευταίων κλασμάτων του αργού πετρελαίου και υπολειμμάτων, χαρακτηρίζεται και ως Bunker Fuel Oil ή υπολειμματικό καύσιμο – Residual Oil. Αυτό το καύσιμο όπως είδαμε και στις δύο προηγούμενες κατηγορίες χρησιμοποιείται για την ανάμειξή του με τα MDO και MGO «και ως καύσιμο σε αργόστροφες μηχανές»

Μετά την κλασματική απόσταξη μερικά κλάσματα του αργού πετρελαίου χρειάζονται μια επιπλέον επεξεργασία (καταλυτική χημική επεξεργασία) που καλείται αποθείωση για την απομάκρυνση του θείου που περιέχεται τα πετρελαιοειδή προϊόντα (όπως νάφθα, κηροζίνη, πετρέλαιο-diesel oil, μαζούτ-fuel oil).

Ο λόγος για τον οποίο πρέπει να γίνεται η απομάκρυνση του θείου από ορισμένα προϊόντα του ακατέργαστου πετρελαίου είναι καταρχάς για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου και διότι σε υψηλές αλλά και χαμηλές συγκεντρώσεις το θείο αποτελεί δηλητήριο σε καταλύτες ευγενούς μετάλλου. Το θείο μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου κατά την καύση του πετρελαίου και στη συνέχεια σε τριοξείδιο του θείου, όπως αναφέρει ο Νερσισιγιάν . Λόγω του ότι υπάρχουν και υδρατμοί από την ατμόσφαιρα, το τριοξείδιο του θείου αντιδρά με αυτούς με τον καταλύτη βαναδίου V₂O₅ και δημιουργείται θειικό οξύ το οποίο είναι «έντονα διαβρωτικό συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των κυλίνδρων και γενικότερα στα εξαρτήματα καύσης». Κάθε κλάσμα που προκύπτει από το αργό πετρέλαιο έχει διαφορετική θερμοκρασία ζέσης συνεπώς και διαφορετική σύσταση και διαφορετική χρήση στην αγορά.

3.6 Επιπτώσεις στη ναυτιλία

Σύμφωνα με τους Forster, Stohi, & Seibert , πέρα από τις επιπτώσεις στη ατμόσφαιρα και τη σύσταση της και την υγεία των ανθρώπων, φαίνεται ότι οι εκπομπές των πλοίων επιδρούν και στο κλίμα μέσω των μεταβολών στα σύννεφα καθώς φαίνεται να υπάρχει μία γραμμική σχεδόν σχέση μεταξύ της Παγκόσμιας μέσης ακτινοβολίας και της

αλλαγής στη παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία.

Αυτό παρατηρείται σε χαμηλά επίπεδα τροπόσφαιρας όταν διαταραχθεί ένα στρώμα νεφών αλλάζοντας την ανακλαστικότητά τους. Μάλιστα όσες περιοχές έχουν μεγάλη ποσότητα χαμηλών νεφών πάνω από τη θάλασσα, είναι πιο επιρρεπείς στις εκπομπές πλοίων.

Μελέτες ακόμη δείχνουν πως η ψύξη λόγω της αλλαγής των νεφών, φέρει μεγαλύτερες επιπτώσεις από ότι τα αέρια του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία και προκαλεί τη σημερινή αρνητική κατακράτηση της ακτινοβολίας.

Οι προσπάθειές για την μείωση του θείου και άλλων ρύπων από την ναυτιλία θα ήταν δυνατόν να τροποποιήσει τη δεδομένη κατάσταση. Πάραυτα, λόγω του μικρού χρόνου παραμονής του θείου σε σύγκριση με το CO₂, η απόκριση του κλίματος για το θείο είναι της τάξης των δεκαετιών ενώ εκείνη που ισχύει για το CO₂ είναι της τάξης των αιώνων.

Μετρώντας την παγκόσμια μεταβολή της θερμοκρασίας οι εκπομπές ισοδύναμου CO₂, δείχνουν ότι μετά από 50 χρόνια η καθαρή παγκόσμια επίδραση των σημερινών εκπομπών είναι κοντά στο 0 ακυρώνοντας τη θέρμανση του πλανήτη λόγω του CO₂ από ψύξη που προέρχεται από οξείδια του θείου και του αζώτου.

Αξίζει να σημειωθεί ακόμη ότι εκτιμάται ότι τα βασικά είδη εκπομπών της ναυτιλίας σε λιμάνια θα τετραπλασιαστούν έως το 2050 από το Διεθνή Οργανισμό της Ναυτιλίας και την Επιτροπή MERC. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι θα αυξηθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία στους λιμένες σε 70 εκατομμύρια τόνους έως το 2050 και εκπομπές οξειδίων του αζώτου σε 1,3 εκατομμύρια τόνους. Ακόμη υπολογίζεται, ότι λόγω της ανάπτυξης λιμένων στην Αφρική και Ασία και την ταυτόχρονη ελλιπή εφαρμογή μέτρων για τον περιορισμό εκπομπών των πλοίων, θα υπάρξουν μεγαλύτερες αυξήσεις εκπομπών ρύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Λόγω του διεθνούς χαρακτήρα που έχει λάβει η ναυτιλιακή βιομηχανία, εδώ και πολύ καιρό έχει αναγνωριστεί ότι και είναι κοινώς αποδεκτό ότι η δράση για τη βελτίωση της ασφάλειας στις θαλάσσιες επιχειρήσεις καθώς και ο περιορισμός της θαλάσσιας ρύπανσης είναι πιο αποτελεσματικός όταν διεξάγεται σε διεθνές επίπεδο παρά σε επίπεδο μεμονωμένων χωρών και που ενεργούν μεμονωμένα και χωρίς συντονισμό . Αρκετές χώρες πρότειναν να δημιουργηθεί ένας μόνιμος διεθνής φορέας για το λόγο αυτό ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις

Γι' αυτό το λόγο τα Ηνωμένα έθνη το 1948 υιοθέτησαν μια σύμβαση ίδρυση της Διεθνούς Οργάνωσης Ναυτιλίας (International Maritime Organization ή IMO) ως ο πρώτος διεθνής οργανισμός αφιερωμένος αποκλειστικά σε θαλάσσια θέματα. Στη δεκαετή περίοδο μεταξύ της έγκριση της σύμβασης και της έναρξη ισχύος του οργανισμού ,το 1958, άλλα προβλήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια αλλά απαιτούν ελαφρώς διαφορετική αντιμετώπιση είχαν προσελκύσει το διεθνές ενδιαφέρον . Ένα από τα πολλά σημαντικά από αυτά ήταν η απειλή από τη θαλάσσια ρύπανση από τα πλοία, ιδιαίτερα τη ρύπανση από πετρέλαιο που μεταφέρεται σε δεξαμενόπλοια. Μια διεθνή σύμβαση για το θέμα αυτό υιοθετήθηκε το 1954, και η ευθύνη για τη διαχείριση και την προώθηση της σύμβασης ανέλαβε ο IMO τον Ιανουάριο του 1959.

Οι συνολικοί στόχοι του Διεθνούς Οργανισμού ναυτιλίας συνοψίζονται στο σύνθημα: ***ασφαλή και αποτελεσματική ναυτιλία σε καθαρούς ωκεανούς.***

Η έδρα του Οργανισμού βρίσκεται στο Λονδίνο και απαριθμεί μέχρι σήμερα 174 κράτη – μέλη. Το διοικητικό του όργανο συνεδριάζει μία φορά κάθε δύο χρόνια. Μεταξύ των συνόδων, το Συμβούλιο εκλέγει τη συνέλευση αποτελούμενη από 40 κράτη μέλη και

Διπλωματική εργασία

αποτελεί το κύριο όργανο διοίκησης. Ο IMO είναι ένας τεχνικός οργανισμός και οι περισσότεροι όγκοι της δουλειάς του εκτελείται σε έναν αριθμό επιτροπές και υποεπιτροπές. Η Επιτροπή για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (MSC) είναι ένα από τα κύρια όργανα, μαζί με τη Συνέλευση και το Συμβούλιο, που έχουν συσταθεί από τη Σύμβαση του 1948 για τον IMO. Σήμερα, το MSC ασχολείται με όλα τα θέματα σχετικά με την ασφάλεια της ναυτιλίας, όπως η αντιμετώπιση της ζητημάτων που έχουν να κάνουν με τη πειρατεία και ένοπλη ληστεία στη θάλασσα. Ο συντονισμός και ο έλεγχος για τη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος διενεργείται από την αντίστοιχη επιτροπή (MEPC). Η συγκεκριμένη επιτροπή ιδρύθηκε από τη Συνέλευση τον Νοέμβριο του 1973 και είναι υπεύθυνη για το συντονισμό των δραστηριοτήτων του Οργανισμού σχετικά με την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από πλοία.

Η νομική επιτροπή αρχικά ιδρύθηκε για να ασχολείται με τα νομικά προβλήματα που προέκυψαν από το ατύχημα του πετρελαιοφόρου Torrey Canyon το 1967 στις νοτιοδυτικές ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου όπου υπολογίζεται ότι διέρρευσαν περίπου 25–36 εκατομμύρια γαλόνια (94–164 εκατομμύρια λίτρα) αργού πετρελαίου. Μετά το περιστατικό συνέχισε πλέον τη λειτουργία της ως μόνιμη επιτροπή. Είναι υπεύθυνο για την εξέταση τυχόν νομικών θεμάτων που ενδέχεται να προκύψουν από το πεδίο εφαρμογής των ενεργειών του Οργανισμού.

Η επιτροπή τεχνικής συνεργασίας είναι υπεύθυνη για το συντονισμό του έργου του Οργανισμού στο πλαίσιο της παροχής τεχνικής βοήθειας στο θαλάσσιο πεδίο, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η Επιτροπή Διευκόλυνσης είναι υπεύθυνη για τις δραστηριότητες του IMO και τις λειτουργίες που σχετίζονται με τη διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας, με στόχο τη μείωση των διατυπώσεων και απλοποίηση της απαιτούμενης διαδικασίας κατά την είσοδο ή την έξοδο των πλοίων από λιμένες ή άλλα τερματικά.

Υπάρχουν ακόμη επτά υποεπιτροπές:

- Υποεπιτροπή για το ανθρώπινο δυναμικό, την εκπαίδευση και φύλαξη (HTW)
- Υποεπιτροπή για την εφαρμογή των πολιτικών του IMO (III)

- Υποεπιτροπή σχετικά με την πλοήγηση, τις επικοινωνίες, αναζήτηση και διάσωση (NCSR)
- Υποεπιτροπή για την πρόληψη της ρύπανσης και απόκρισης (PPR)
- Υποεπιτροπή για τον σχεδιασμό και κατασκευή πλοίων(SDC)
- Υποεπιτροπή για τα συστήματα και τον εξοπλισμό των πλοίων (SSE) ·
- Υποεπιτροπή για τη μεταφορά φορτίων και εμπορευματοκιβωτίων (CCC)

4.2 Δράσεις -Νομοθεσία του ΙΜΟ για τη θαλάσσια ρύπανση

Η πρώτη διεθνής συμφωνία που υπογράφηκε ήταν η *Διεθνής Σύμβαση για το περιορισμό της θαλάσσιας ρύπανσης από το πετρέλαιο*, στο Λονδίνο στις 12 Μαΐου 1954 (Oilpol 54). Η συγκεκριμένη σύμβαση επικαιροποιήθηκε το 1962 (OILPOL 62), 1969 (OILPOL 69), και 1971 (OILPOL 71). Η διεθνής σύμβαση σχετικά με την παρέμβαση σε περιπτώσεις ατυχημάτων ρύπανσης από πετρέλαιο το 1969, που καθιέρωσε το δικαίωμα των παράκτιων κρατών να παρέμβουν σε περιστατικά στο πέλαγος, που είναι πιθανό να οδηγήσουν σε ρύπανση πετρελαίου, τέθηκε σε ισχύ το 1975. Το 1969 και το 1971 υπογράφηκαν ακόμη δυο διεθνείς συμβάσεις που θεμελιώναν από κοινού το νομοθετικό πλαίσιο για την αποζημίωση εκείνων όσων πλήττονταν από τη θαλάσσια ρύπανση (*Διεθνής Σύμβαση αστικής Ευθύνης για ζημιές ρύπανσης από πετρέλαιο και Διεθνής Σύμβαση για την ίδρυση Διεθνούς Ταμείου για αποζημίωση*).

Μετά από την τελευταία τροποποίηση της OILPOL το 1971, υπήρχε η γενική αίσθηση ότι χρειαζόταν μετά από τόσα χρόνια ένα νέο σύμφωνο για τον έλεγχο της ρύπανσης των θαλασσών από πλοία. Για το λόγο αυτό το 1973 συγκλήθηκε από τον ΙΜΟ ένα μεγάλο συνέδριο για τη συζήτηση του προβλήματος της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την υιοθέτηση του πρώτου ολοκληρωμένου συμφώνου για την ρύπανση, τη *Διεθνή Σύμβαση για την πρόληψη Ρύπανση από πλοία (MARPOL)*. Το 1978, ο ΙΜΟ συγκάλεσε το Συνέδριο σχετικά με την ασφάλεια και τη πρόληψη για τη ρύπανση των δεξαμενόπλοιων, το οποίο εισήγαγε περαιτέρω μέτρα,

συμπεριλαμβανομένων ορισμένων λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων .Η τροποποιημένη σύμβαση αυτή αναφέρεται ως MARPOL 73/78 και τέθηκε σε ισχύ τον Οκτώβριο του 1983 . Η Σύμβαση έχει τροποποιηθεί επανειλημμένα από τότε.

Η Σύμβαση MARPOL δεν αφορά μόνο ρύπανση από πετρέλαιο, αλλά και ρύπανση από χημικά, άλλες επιβλαβείς ουσίες, σκουπίδια, λύματα και, βάσει παραρτήματος VI που εγκρίθηκε το 1997, ατμοσφαιρική ρύπανση και εκπομπές από πλοία. Ένα αναθεωρημένο παράρτημα VI εγκρίθηκε το 2008 και τέθηκε σε ισχύ το 2010, και αφορά τη σταδιακή μείωση του οξειδίου του θείου (SO_x) από πλοία και περαιτέρω μειώσεις εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NO_x) από κινητήρες πλοίων. Τροπολογίες που εγκρίθηκαν το 2011 έθεσαν υποχρεωτικά μέτρα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) από τη διεθνή ναυτιλία, με το **δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI)** καθώς και ένα **σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης (SEEMP)** να είναι να είναι απαραίτητα σε κάθε πλοίο .Οι συγκεκριμένες τροποποιήσεις τέθηκαν σε ισχύ στις 1 Ιανουαρίου 2013 . Ο IMO συζητά επίσης πρόσθετα μέτρα τα οποία θα συμπληρώσουν το παγκόσμιο ρυθμιστικό καθεστώς για τον περιορισμό και μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες και έτσι θα συμβάλλουν στην επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής.

Το 1990, ο IMO υιοθέτησε το Διεθνές Σύμφωνο ετοιμότητας, ανταπόκρισης και συνεργασίας για τη ρύπανση του πετρελαίου (OPRC). Είναι σχεδιασμένο να βελτιώνει την ικανότητα των κρατών να αντιμετωπίζουν μια ξαφνική κατάσταση έκτακτης ανάγκης και τέθηκε σε ισχύ τον Μάιο του 1995. Ένα σχετικό πρωτόκολλο που καλύπτει επικίνδυνες και επιβλαβείς ουσίες (OPRC-HNS) εγκρίθηκε το 2000, και τέθηκε σε ισχύ το 2007.

Το 1996, ο IMO υιοθέτησε τη Διεθνή Σύμβαση για την Ευθύνη και αποζημίωση για ζημιές που έχουν να κάνουν με τη μεταφορά επικίνδυνων και επιβλαβών ουσιών από θαλάσσης (Σύμβαση HNS). Η Σύμβαση δημιουργεί ένα σύστημα δύο επιπέδων για την παροχή αποζημίωσης έως περίπου 250 εκατομμύρια λίρες. Δεν καλύπτει μόνο περιπτώσεις ρύπανσης, αλλά και άλλοι κίνδυνους και ατυχήματα όπως φωτιά και έκρηξη.

4.3 Η σύμβαση MARPOL-Παραρτήματα I-VI

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η *Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία* είναι η βασική συνθήκη του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας γνωστή και ως **MARPOL** η MARPOL 73/78

Η MARPOL βοήθησε στη θεαματική μείωση της ρύπανσης από τη ναυτιλία. Στατιστικά δεδομένα από αξιόπιστους φορείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας και άλλους ανεξάρτητους φορείς δείχνουν ότι η MARPOL, σε συνδυασμό με κανονισμούς που αφορούν την ασφάλεια, όπως η θέσπιση υποχρεωτικών συστημάτων διαχωρισμού της κυκλοφορίας και τα διεθνή πρότυπα για την εκπαίδευση των ναυτικών, έχουν συμβάλει στη συνεχή μείωση της ατυχηματικής και λειτουργικής πετρελαϊκής ρύπανσης τα τελευταία σαράντα χρόνια.

Όσον αφορά τη λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο, οι καινοτομίες που εισήγαγε η MARPOL σε σχέση με τις επιτρεπόμενες απορρίψεις σεντινόνερων μέσω του ελαιδιαχωριστήρα (με το γνωστό πρότυπο των 15 ppm) ή ελαιωδών μιγμάτων από τις δεξαμενές φορτίου μέσω του συστήματος αυτόματης παρακολούθησης και ελέγχου απόρριψης πετρελαίου, συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό στην αισθητή μείωση της ρύπανσης των θαλασσών του πλανήτη, αν και πρέπει να αναγνωριστεί ότι απαιτείται μεγαλύτερη προσπάθεια για την επιβολή της συμμόρφωσης (IMO, MARPOL Annex I – Prevention of Pollution by Oil, 2020a).

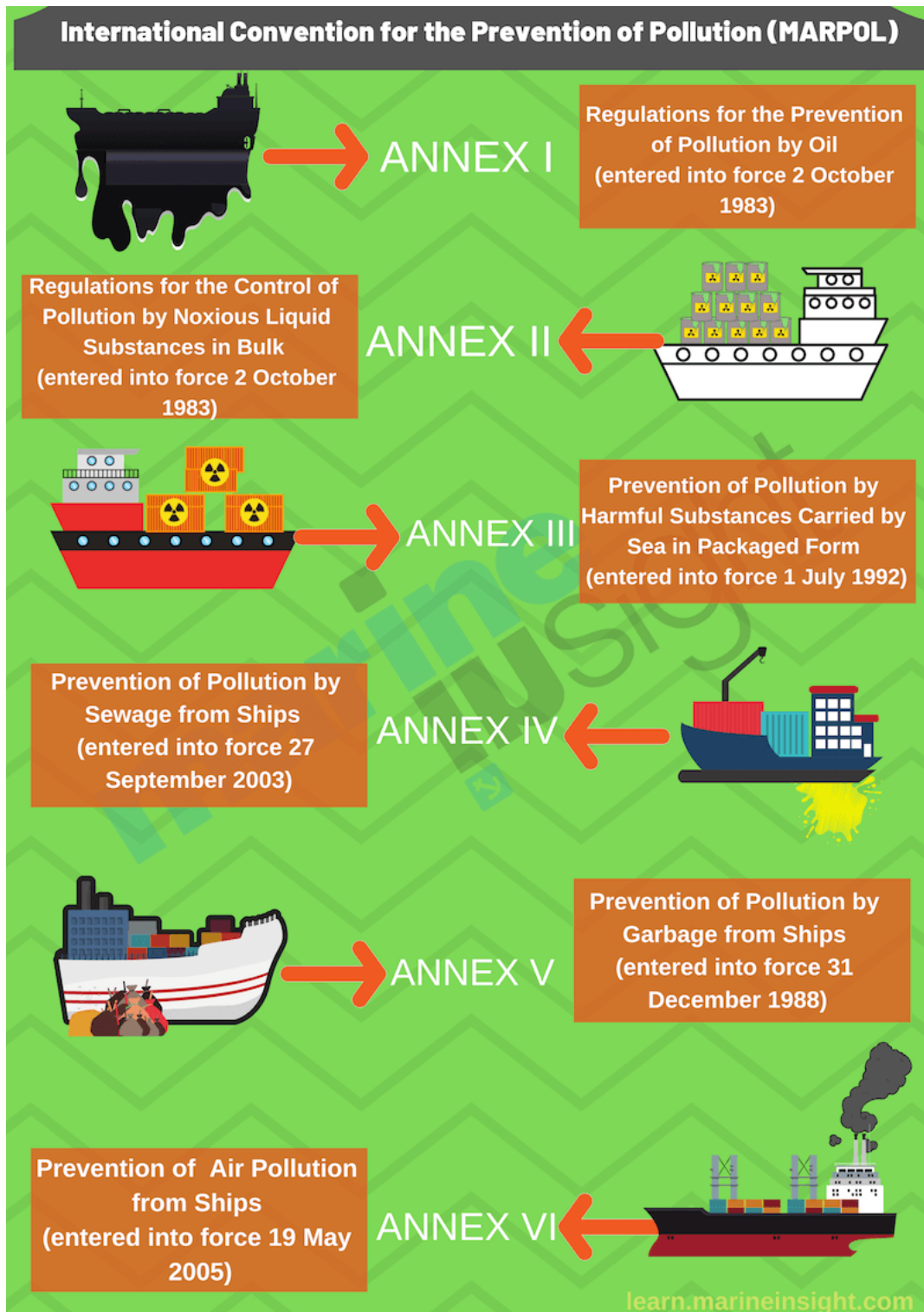
Η σύμβαση αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- 1) Διεθνής Σύμβαση του 1973 για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Πλοία και Πρωτόκολλο του 1978 σχετικά με την Διεθνή Σύμβαση του 1973 για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Πλοία.
- 2) Πρωτόκολλο I: πρόβλεψη για ατυχήματα στη θάλασσα που μπορεί να προκαλέσουν διαρροή επικίνδυνων και επιβλαβών ουσιών.
- 3) Πρωτόκολλο II: Διαιτησία.
- 4) Έξι τεχνικά παραρτήματα :

- Παράρτημα I: Κανονισμοί που αφορούν τη θαλάσσια ρύπανση από πετρέλαιο και τέθηκαν σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983.
- Παράρτημα II: Κανονισμοί πολύ ελέγχουν τη ρύπανση από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύδην και οι οποίοι τέθηκαν σε ισχύ στις 6 Απριλίου 1987.
- Παράρτημα III: Κανονισμοί που προλαμβάνουν τη ρύπανση από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή και τέθηκαν σε ισχύ στη 1 Ιουλίου 1992.
- Παράρτημα IV: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα λύματα των πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003 και αναθεωρήθηκε το 2004.
- Παράρτημα V: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988
- Παράρτημα VI: Κανονισμοί για την πρόληψη της αέριας ρύπανσης από πλοία. Τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005

***Πίνακας 4.1 :** Τα έξι τεχνικά παραρτήματα της συμβάσης MARPOL οι ημερομηνίες που τέθηκαν σε ισχύ ,αριθμός κρατών που έχουν επικυρώσει το καθένα καθώς και το ποσοστό της παγκόσμιας χωρητικότητας της ναυτιλίας που την επικύρωσαν τον Απρίλιο 2015 (IMO, Summary of Status of Convention, 2020b)*

Παράρτημα	Ημερομηνία ισχύος	Αριθμός κρατών	Ποσοστό παγκόσμιας χωρητικότητας %
I/II	2/10/1983	153	98.52
III	1/7/1992	141	97.79
IV	27/9/2003	134	90.74
V	31/12/1988	147	98.03
VI	19/5/2005	80	95.23



Εικόνα 4.1: Τα έξι τεχνικά παραρτήματα της MARPOL (marineinsight, 2020)

4.4 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το 1992 όταν υιοθετήθηκε από κυβερνήσεις η Σύμβαση Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) είχαν ήδη προβλέψει τις μελλοντικές εξελίξεις σχετικά με την κλιματική αλλαγή. Η τρίτη διάσκεψη των μελών της UNFCCC πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας. Το συνέδριο είχε ως αποτέλεσμα μια συναινετική απόφαση (1/CP.3) να υιοθετήσει ένα Πρωτόκολλο βάσει του οποίου βιομηχανικές χώρες θα μειώσουν τις συνδυασμένες τους εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 την περίοδο 2008–2012. Το άρθρο 2, παράγραφος 2, του Πρωτοκόλλου του Κιότο ορίζει: «Τα Μέλη που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι θα επιδιώξουν τον περιορισμό ή τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από καύσιμα αεροπορίας και ναυτιλίας, μέσω της Διεθνούς Οργάνωσης Πολιτικής Αεροπορίας και του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO), αντίστοιχα».

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα υπέγραψε το Πρωτόκολλο στις 29 Απριλίου 1998. Τον Δεκέμβριο του 2001, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Laeken επιβεβαίωσε τη βούληση της Ένωσης για τη θέση σε ισχύ του Πρωτοκόλλου του Κιότο πριν από την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την αειφόρο ανάπτυξη, του Γιοχάνεσμπουργκ (26 Αυγούστου-4 Σεπτεμβρίου 2002).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αφορά τις εκπομπές **έξι αερίων θερμοκηπίου**:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Μεθάνιο (CH₄)
- το υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
- Υδροφθοράνθρακες (HFC)
- Υπερφθοράνθρακες (PFC) και
- Εξαφθοριούχο θείο (SF₆)

Τα τρία πρώτα αέρια υπάρχουν στη φύση ,μολονότι αυξήθηκαν οι εκπομπές τους λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Τα τρία επόμενα είναι ανθρωπογενή αέρια. Οι HFC's

και PFC's υποκαθιστούν ουσίες όπως οι χλωροφθοράνθρακες, που απαγορεύτηκαν από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ διότι καταστρέφουν το όζον. Το SF₆ χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και σε ηλεκτρικό εξοπλισμό. Και τα έξι αέρια αναφέρονται στο παράρτημα Α τους πρωτοκόλλου. Επίσης στο παράρτημα Α αναφέρονται οι τομείς και οι κατηγορίες πηγών που είναι υπεύθυνοι για τα αέρια αυτά. Οι τομείς περιλαμβάνουν την ενέργεια (χρήση καυσίμων και διαφεύγοντες εκπομπές από καύσιμα) ,τις βιομηχανικές διεργασίες(προϊόντα εξόρυξης ,χημικές βιομηχανίες ,παραγωγή μετάλλων κ.α.),χρήση διαλυτών και άλλων προϊόντων ,τη γεωργία(διαχείριση ζωικών αποβλήτων ,καύση γεωργικών υπολειμμάτων ,καλλιέργεια ρυζιού κ.α.) και τέλος τα απόβλητα(διάθεση στερεών αποβλήτων στο έδαφος ,διαχείριση υγρών αποβλήτων ,καύση απορριμμάτων κ.α.)

Συνιστά ένα σημαντικό βήμα στην καταπολέμηση της θέρμανσης του πλανήτη, επειδή περιλαμβάνει δεσμευτικούς και ποσοτικοποιημένους στόχους περιορισμού και μείωσης των αερίων θερμοκηπίου.

Το μέγιστο ποσό εκπομπών (μετρούμενο σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα) που ένα Μέλος μπορεί να εκπέμπει σε μια περίοδο δέσμευσης, προκειμένου να συμμορφωθεί με τους στόχους εκπομπών, είναι γνωστό ως αποδιδόμενο ποσό μέλους. Οι επιμέρους στόχοι για τα Μέλη του Παραρτήματος Ι απαριθμούνται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Country	Target (1990** - 2008/2012)
EU-15*, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Monaco, Romania, Slovakia, Slovenia, Switzerland	-8%
US***	-7%
Canada, Hungary, Japan, Poland	-6%
Croatia	-5%
New Zealand, Russian Federation, Ukraine	0
Norway	+1%
Australia	+8%
Iceland	+10%

Πίνακας 4.2: Χώρες που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο και στόχοι εκπομπών τους (πηγή <https://unfccc.int/>)

** Μερικοί στόχοι έχουν βάση διαφορετική από το 1990.

*** Οι ΗΠΑ έχουν δηλώσει την πρόθεσή τους να μην επικυρώσουν το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Σημείωση: Παρόλο που απαριθμούνται στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης, η Λευκορωσία και η Τουρκία δε συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου, δεδομένου ότι δεν ήταν συμβαλλόμενα μέλη της Σύμβασης, κατά την έγκριση του Πρωτοκόλλου.

Τα 15 Κράτη που ήταν Μέλη της ΕΕ το 1997, όταν το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε, συμφώνησαν ότι ο στόχος 8% θα ανακατανεμηθεί μεταξύ τους, εκμεταλλευόμενοι ένα σύστημα στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου γνωστό ως "φούσκα", σύμφωνα με το οποίο οι χώρες έχουν διαφορετικούς επιμέρους στόχους, αλλά το οποίο

σε συνδυασμό αποτελεί ένα συνολικό στόχο για αυτή την ομάδα χωρών. Η ΕΕ έχει ήδη καταλήξει σε συμφωνία σχετικά με τον τρόπο που θα πρέπει να αναδιανεμηθούν οι στόχοι της.

Για την επίτευξη των εν λόγω στόχων, το Πρωτόκολλο προτείνει μια σειρά μέσων:

- ενίσχυση ή θέσπιση εθνικών πολιτικών μείωσης των εκπομπών (αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας, προώθηση των αειφόρων μορφών γεωργίας, ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κ.ά.).
- συνεργασία με τα άλλα συμβαλλόμενα μέρη (ανταλλαγή πείρας ή πληροφοριών, συντονισμός των εθνικών πολιτικών, μέσω αδειών εκπομπής, από κοινού εφαρμογής, και κατάλληλου μηχανισμού ανάπτυξης).

Το αργότερο ένα έτος πριν από την πρώτη περίοδο δέσμευσης, τα συμβαλλόμενα κράτη θεσπίζουν εθνικό σύστημα υπολογισμού των ανθρωπογενών εκπομπών, καθώς και της απορρόφησης, από τις καταβόθρες, όλων των αερίων του θερμοκηπίου (που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ).

4.5 Δράσεις της ΕΕ για τη θαλάσσια ρύπανση

4.5.1 Γενικά

Παράλληλα, ενώ οι έντονες διαφωνίες εντός του ΙΜΟ καθυστέρησαν τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης, οι εξελίξεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση προσέθεταν ακόμη μεγαλύτερη πίεση για την εξεύρεση συμβιβαστικής λύσης.

Το Σύστημα Εμπορίας Ρύπων που είχε θεσπίσει η Ένωση ήδη από το 2003, ολοκλήρωνε το 2008 την πρώτη περίοδο εφαρμογής του (2005 – 2008) και εισερχόταν στη δεύτερη με μία σημαντική καινοτομία για το μέλλον, αυτή της προσθήκης της πολιτικής αεροπορίας για πτήσεις από και προς κράτη – μέλη της Ένωσης, με έναρξη εφαρμογής από το 2012.

Το γεγονός πως ο τομέας της αεροπορίας συμπεριλήφθηκε στο σύστημα ενώ η ναυτιλία που «παραδοσιακά» τον συνόδευε έμεινε εκτός, δεν αποτελούσε αισιόδοξο οίονο για τη ρύθμιση των εκπομπών της διεθνούς ναυτιλίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Την ίδια περίοδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε το Πακέτο για το Κλίμα και την Ενέργεια στο οποίο η ναυτιλία ήταν ο μοναδικός τομέας που δεν συμπεριλαμβανόταν, επισημαίνοντας όμως, λίγους μήνες αργότερα με Απόφαση, πως αν έως την 31η Δεκεμβρίου 2011 δεν επιτευχθεί διεθνής συμφωνία, είτε στο πλαίσιο του IMO είτε της UNFCCC, που να περιλαμβάνει τις εκπομπές της διεθνούς ναυτιλίας, η Ένωση θα ενέτασσε τις συγκεκριμένες εκπομπές στις γενικές δεσμεύσεις μείωσης των εκπομπών που είχε αναλάβει.

Αυτή η πρόθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης λειτούργησε αφυπνιστικά για τον IMO, που σε καμία περίπτωση δεν επιθυμούσε να δει τις διαπραγματεύσεις επί ενός τόσο σημαντικού και σχετικού με το αντικείμενό του ζητήματος να ναυαγούν και την Ένωση να αναλαμβάνει την πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Έτσι, το 2010 η MEPC αποφάσισε πως οι νέοι κανονισμοί θα προθέτονταν, τελικά, στο Πρωτόκολλο VI της MARPOL ως αναθεώρηση, και πολύ σύντομα μία ομάδα κρατών αποτελούμενη από τις Αυστραλία, Βέλγιο, Καναδά, Δανία, Ιαπωνία, Λιβερία, Νορβηγία και Ηνωμένο Βασίλειο, κατέθεσε στον Γενικό Γραμματέα του IMO πρόταση του αναθεωρημένου Παραρτήματος VI προς κυκλοφορία στα υπόλοιπα Μέρη.

4.5.2 Ο κανονισμός της ΕΕ 2015/757 για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές(Κανονισμός MRV)

Οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές παρότι περιλαμβανόταν στη δέσμευση του IMO για τον τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου ,δε συνέβαινε το ίδιο με την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο Κανονισμός 2015/757 της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσμοθετήθηκε ως απόρροια των επιπτώσεων των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων εκπομπών των θαλασσιών μεταφορών , π.χ. των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x), οξειδίων του θείου (SO₂), μεθανίου (CH₄), σωματιδίων (PM) και μαύρου άνθρακα (BC) στο παγκόσμιο κλίμα και στην ποιότητα του αέρα. Σύμφωνα με την εκτίμηση επιπτώσεων που συνοδεύει την πρόταση για τον παρόντα κανονισμό, οι εκπομπές CO₂ από διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές που σχετίζονται με την Ένωση αυξήθηκαν κατά 48 % μεταξύ 1990 και 2007 (Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, 2020)

Έτσι στις 29 Απριλίου 2015 ψηφίστηκε και υπογράφηκε από το ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ο παρών κανονισμός και τέθηκε σε ισχύ 1η Ιουλίου 2015. Ο κανονισμός αναφέρεται και ως MRV. Έχει ως κύριο αντικείμενο την επακριβή παρακολούθηση, υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων συναφών πληροφοριών από τα πλοία που καταπλέουν σε λιμένες, βρίσκονται εντός λιμένων ή αποπλέουν από λιμένες οι οποίοι υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους, ώστε να προωθηθεί η μείωση των εκπομπών CO₂ από τις θαλάσσιες μεταφορές με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Ο κανονισμός περιλαμβάνει 3 βήματα :1) παρακολούθηση αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα μεγάλα πλοία που καταπλέουν στα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), 2) ενέργειες για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τη ναυτιλία και 3) θέσπιση περαιτέρω μέτρων ιδιαίτερα μέσο-μακροπρόθεσμων που βασίζονται στην αγορά (market-based measures - MBM's).

Η στρατηγική MRV αφορά όλα τα πλοία με χωρητικότητα άνω των 5000 κορών (GT) ανεξαρτήτως σημαίας. Από αυτό εξαιρούνται τα πολεμικά πλοία και βοηθητικά του πολεμικού ναυτικού, αλιευτικά πλοία, πλοία ξύλινης κατασκευής, πλοία χωρίς πρόωση καθώς και πλοία που ανήκουν σε δημοσιές αρχές και χρησιμοποιούνται για μη εμπορικούς σκοπούς. Εφαρμόζεται σε όλα τα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), της Ισλανδίας της Νορβηγίας καθώς και σε άλλα λιμάνια του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (πχ Κανάριοι νήσοι, Γαλλική Γουιάνα κ.α.). Επίσης στο πλαίσιο του κανονισμού εμπίπτουν όλα τα ταξίδια που πραγματοποιούνται για μεταφορά φορτιού ή διακίνηση επιβατών τόσο εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), όσο από και προς λιμάνια της ΕΕ ακόμα κι αν ο αρχικός ή τελικός προορισμός είναι λιμένας τρίτης χώρας.



Εικόνα 4.2: οδικός χάρτης του κανονισμού MRV (2015/757) (e-nautilia.gr, 2020)

Οι ναυτιλιακές εταιρίες οφείλουν να παρακολουθούν και να καταγράφουν ανά πλοίο και ταξίδι τα εξής στοιχεία :

- Λιμάνια άφιξης και αναχώρησης καθώς και επακριβή ώρα άφιξης και αναχώρησης.
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)
- Ποσότητα και πηγή εκπομπής για καθένα τύπο καυσίμου που καταναλώθηκε
- Χρόνος ταξιδιού
- Απόσταση που διάνυσε το πλοίο
- Μεταφορικό έργο
- Μεταφερόμενο φορτίο

Όλα τα παραπάνω δεδομένα αθροίζονται ετησίως προκειμένου να συνταχθεί η ετήσια αναφορά της ναυτιλιακής εταιρείας για το πλοίο, για το συγκεκριμένο διάστημα παρακολούθησης. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να ελέγχονται από διαπιστευμένους ελεγκτές η ακόμα και από τη αρχή του κράτους σημαίας του οποίου φέρει το πλοίο. Μετά τον έλεγχο, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα σχέδια παρακολούθησης και οι εκπομπές πληρούν τον κανονισμό MRV και κατόπιν εκδίδεται μέσα στους πέντε πρώτους μήνες του ημερολογιακού έτους το έγγραφο συμμόρφωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Υπάρχουν δύο μεθοδολογίες υπολογισμού αέριων ρύπων στη ναυτιλία. Η fuel based και η activity based. Η fuel based μεθοδολογία χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστή η κατανάλωση καυσίμου από τα υπό μελέτη πλοία. Στη περίπτωση που δεν είναι γνωστή η κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιούμε την activity-based μεθοδολογία και υπολογίζουμε την κατανάλωση του καυσίμου από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων και την τυπική κατανάλωση καυσίμου που δίδεται από τον κατασκευαστή.

Η κατανάλωση καυσίμου ενός κινητήρα FC_e υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε την απαιτούμενη ενέργεια του κινητήρα $Energy_e$ (kWh) με την ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα ($SFOC_e$) (Juan Moreno-Gutiérrez, 2015):

$$FC_e = Energy_e * SFOC_e \quad (5.1)$$

Η ενέργεια υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο εάν γνωρίζουμε την της μέγιστη ονομαστική ισχύ του κινητήρα, του συντελεστή φορτίου του και την διάρκεια λειτουργία του σε κάθε λειτουργική φάση :

$$Energy_e = MCR_e * LF_e * T_p \quad (5.2)$$

Οπού: MCR_e , η μέγιστη ονομαστική ισχύς (kW) του κινητήρα e

LF_e , ο συντελεστής φορτίου λειτουργίας (Load Factor) του κινητήρα e

T_p , ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα στη φάση p (hr)

e, ο εξεταζόμενος κινητήρας

p, η φάση λειτουργίας

5.1 Η λεπτομερής μέθοδος υπολογισμού «activity-based»

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία υπάρχουν δυο περιπτώσεις σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεση μας (European Environment Agency, 2016) :

1) Αν σε ένα ταξίδι **είναι γνωστή η κατανάλωση καυσίμου** σε κάθε φάση λειτουργίας για κάθε τύπο κινητήρα, οι εκπομπές του ρύπου i υπολογίζονται από τον τύπο 5.4:

$$E_{TAΞΙΔΙΟΥ,i,j,m} = \sum_p (FC_{j,m,p} * EF_{i,j,m,p}) \quad (5.3)$$

όπου : $E_{TAΞΙΔΙΟΥ}$ = εκπομπές ανά ταξίδι (σε τόνους),

FC = κατανάλωση καυσίμου (σε τόνους),

EF = συντελεστής εκπομπών (kg / kW),

i = τύπος ρύπου (NO_x, CO₂, PM),

j = τύπος του κινητήρα (αργής, μεσαίας και υψηλής ταχύτητας diesel, κτλ),

m = τύπος καυσίμου (marine diesel oil, marine gas oil, bunker fuel oil),

p = οι φάσεις λειτουργίας του πλοίου (πορεία, ελιγμοί, ελλιμενισμός).

Σ' αυτή τη περίπτωση χρειάζονται τα παρακάτω βήματα:

- Καταγραφή της κατανάλωσης του καυσίμου για κάθε φάση λειτουργίας, για καθένα τύπο κινητήρα που είναι εγκατεστημένοι στα πλοία. Αυτό μπορεί να γίνει για όλη τη διάρκεια του έτους η για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Υπολογισμός των εκπομπών πολλαπλασιάζοντας τη κατανάλωση καυσίμου ,από το πρώτο βήμα, με τους συντελεστές εκπομπών που αντιστοιχούν σε κάθε καύσιμο.

2) Αν σε ένα ταξίδι **δεν είναι γνωστή η κατανάλωση καυσίμου** ,για τον υπολογισμό των εκπομπών του ρύπου i , χρησιμοποιείται η ονομαστική ισχύς του κινητήρα οπότε έχουμε τον τύπο 5.5α:

$$E_{TAΞΙΔΙΟΥ,i,j,m} = \sum_p [T_p \sum_e (P_e * LF_e * EF_{e,i,j,m,p})] \quad (5.4\alpha)$$

όπου : $E_{TAΞΙΔΙΟΥ}$ = εκπομπές ανά ταξίδι (σε τόνους),

P = ονομαστική ισχύς κινητήρα (kW),

EF = συντελεστής εκπομπών (g /kWh),

LF = συντελεστής φορτίου κινητήρα (load factors) (%),

T = χρόνος (ώρες) παραμονής σε κάθε λειτουργική φάση,

e = κατηγορία κινητήρα (κύριοι, βοηθητικοί, λέβητες),

i = τύπος ρύπου (NO_x, CO₂, PM),

j = τύπος του κινητήρα (αργής, μεσαίας και υψηλής ταχύτητας diesel, κτλ.),

p = η φάση λειτουργίας του πλοίου (πορεία, ελλιμενισμός, ελιγμοί).

m = τύπος καυσίμου (marine diesel oil, marine gas oil, bunker fuel oil)

Ο τύπος 5.4α μπορεί να γραφεί και:

$E_{T\text{ΑΣΙΔΙΟΥ},i,p} = \sum_e (T_p * LF_p * EF_{i,e})$ (5.4β) για τον υπολογισμό σε κάθε φάση λειτουργίας p των αέριων εκπομπών του ρύπου i . (Μαραγκογιάννη Α, 2017)

Αντικαθιστώντας τη σχέση 5.2 στη παραπάνω σχέση (5.4β) προκύπτει ο εξής τύπος :

$$E_{T\text{ΑΣΙΔΙΟΥ},i,p} = \sum_e (Energy_e * EF_{i,e}) \quad (5.4\gamma)$$

Για τον υπολογισμό των εκπομπών χρησιμοποιώντας την ισχύς του κινητήρα ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Καταγραφή των δεδομένων κίνησης του πλοίου: ώρα άφιξης και αναχώρησης. Δεδομένα τα οποία μπορούν να καταγράψουν για ένα έτος ή μια συγκεκριμένη περίοδο του έτους (π.χ. καλοκαίρι)
2. καταγραφή των κινητήρων του κάθε πλοίου: εύρεση από βάση δεδομένων ,όπως είναι το <https://www.dnvgl.com/> ,κυρίων και βοηθητικών μηχανών τον τύπο και το μέγεθος τους καθώς και τον αριθμό αυτών.
3. Προσδιορισμός του χρόνου ελλιμενισμού καθώς και της φάσης των ελιγμών ,στοιχεία που διατίθενται από τον εκάστοτε Οργανισμό Λιμένος ή Λιμενική Αρχή.
4. Υπολογισμός των εκπομπών για κάθε πλοίου και συνδυασμό τύπου κινητήρα/καυσίμου πολλαπλασιάζοντας το συνολικό χρόνο που δαπανάται σε κάθε φάση, με την εγκατεστημένη ισχύ (kW) και με τους συντελεστές φορτιού (%) για κάθε μηχανή.

5.2 Φάσεις λειτουργίας μηχανών

Οι λειτουργικές φάσεις των μηχανών στα πλοία είναι (Δουνδουλάκης Ε. , 2020):

- Φάση ελλιμενισμού : Η κατάσταση όπου οι κύριες μηχανές δεν λειτουργούν ενώ σε μέτρια ισχύ λειτουργούν οι βοηθητικές μηχανές παρέχοντα ηλεκτρική ενέργεια για τις ανάγκες του πλοίου και τις ανάγκες πληρώματος και επιβατών.
- Φάση ελιγμών: Οι κύριες μηχανές λειτουργούν σε χαμηλή ισχύ σε αντίθεση με τις βοηθητικές που φτάνουν τη μέγιστη ισχύ τους με υψηλή κατανάλωση καυσίμου.
- Φάση πλεύσης: Σε αυτή τη φάση οι κύριες μηχανές λειτουργούν στην μέγιστη υπηρεσιακή τους ισχύ και υπάρχει μεγάλη κατανάλωση καυσίμου. Οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν σε αρκετά χαμηλότερη ισχύ.
- Φάση έκτακτης ανάγκης: Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης π.χ. blackout η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης τίθεται αυτόματα σε λειτουργία ώστε να τροφοδοτήσει τα βασικά συστήματα του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια.
- Φάση μεταφοράς φορτίου: Οι βοηθητικοί κινητήρες λειτουργούν σε υψηλή ισχύ λόγω της φορτοεκφόρτωσης, γενικού φορτίου και τα πλοία που μεταφέρουν αυτοκίνητα. Η κατανάλωση καυσίμου σε αυτή τη βάση είναι μέτρια προς υψηλή για τους βοηθητικούς κινητήρες.

Αν αθροίσουμε όλες τις εκπομπές από κάθε φάση λειτουργίας του πλοίου προκύπτουν οι εκπομπές αερίων ρύπων για ένα ταξίδι όπως φαίνεται στο τύπο (5.5):

$$ΕΤΑΞΙΔΙΟΥ = ΕΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟΥ + ΕΕΛΛΙΓΜΩΝ + ΕΠΛΕΥΣΗΣ (5.5)$$

Για τις φάσεις λειτουργίας των μηχανών θα αναφερθούμε παρακάτω.

5.3 Συντελεστές φορτίου κινητήρα

Ο συντελεστής φορτίου, εκφράζει τον λόγο της παραγόμενης ενέργειας του κινητήρα για μια δοσμένη ταχύτητα κινητήρα που έχει συγκεκριμένη μέγιστη ονομαστική ισχύ. Ο προσδιορισμός των συντελεστών φορτίου των κύριων (ME) και βοηθητικών (AE) μηχανών, κατά τη δραστηριότητα των πλοίων στο λιμάνι, ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα. Σχετικά πρόσφατη έρευνα (De Meyer, 2008) προτείνει συντελεστές φορτίου των κινητήρων επιβατηγών πλοίων και κρουαζιερόπλοιων κατά τη διάρκεια ελιγμών και αγκυροβόλησης, οι οποίοι είναι σημαντικά υψηλότεροι από τις αντίστοιχες προτεινόμενες από την ENTEC (ENTEK, 2002). Με βάση την προσέγγιση αυτή, καθώς και την επίδραση τοπικών συνθηκών για ζήτηση ισχύος από τις μηχανές των πλοίων, θεωρήθηκε απαραίτητο να διενεργηθεί έρευνα με συμμετοχή ναυτιλιακών φορέων, προκειμένου να βρεθούν ρεαλιστικοί συντελεστές φορτίου κινητήρα. (Τζανάτος, 2010)

Από αυτή την έρευνα διαπιστώθηκε ότι ο κλάδος της ακτοπλοΐας και της κρουαζιέρας, απαιτούν μεγάλο φορτίο από τις βοηθητικές μηχανές, ακόμα και κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τις ξενοδοχειακές υπηρεσίες, καθώς και την υποστήριξη των συστημάτων του πλοίου. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο και τον ελλιμενισμό, τα κρουαζιερόπλοια απαιτούν μεγάλη ισχύ από τις βοηθητικές μηχανές για να καλύψουν τη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος για ξενοδοχειακές υπηρεσίες καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής τους, ενώ η ισχύς των βοηθητικών μηχανών των επιβατικών πλοίων, απαιτείται να είναι υψηλή για τις ξενοδοχειακές λειτουργίες περίπου για το 50% του ελλιμενισμού. Εκτός της καλοκαιρινής περιόδου, απαιτείται χαμηλότερη ενέργεια από τις βοηθητικές μηχανές, ειδικά στη φάση του ελλιμενισμού. Οι συντελεστές φορτίου των μηχανών για τις φάσεις του ελλιμενισμού και των ελιγμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα: (Τζανάτος, 2010)

	Κρουαζιερόπλοια			
	Καλοκαίρι		Υπόλοιπο έτος	
	ME	AE	ME	AE
Φάση ελιγμών	0,20	0,75	0,20	0,60
Ελλιμενισμός	0	0,60	0	0,45

Πίνακας 5.1 Συντελεστές φορτίου κινητήρα κύριων - βοηθητικών μηχανών

5.4 Συντελεστές εκπομπών

Οι συντελεστές εκπομπών χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την κατανάλωση ενέργειας ή καυσίμου για την εκτίμηση των εκπομπών διαφέρουν ανάλογα με τον ρύπο, τον τύπο του κινητήρα, τον κύκλο λειτουργίας και το καύσιμο. Οι δοκιμές εκπομπών χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη συντελεστών εκπομπών σε g/kWh και μετατρέπονται σε συντελεστές εκπομπών με βάση το καύσιμο (γραμμάρια ρύπων ανά γραμμάριο καυσίμου που καταναλώνεται) διαιρώντας με την ειδική κατανάλωση καυσίμου φρένων (BSFC) ή την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου (SFOC). Οι συντελεστές εκπομπών διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο κινητήρα (κύριος, βοηθητικός, βοηθητικός λέβητας), Μηχανή βαθμολογία (SSD, MSD, HSD) και αν πληροί τις προϋποθέσεις του IMO tier I η II η III. Οι συντελεστές εκπομπών προσαρμόζονται περαιτέρω για διαφορετικούς τύπους καυσίμου (HFO, MDO, MGO και LNG) και για την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου που καταναλώνεται. Τέλος, η μεταβλητότητα του φορτίου του κινητήρα ενσωματώνεται στους παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπομπών. Όλες αυτές οι μεταβλητές, λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των συντελεστών εκπομπών, που θα χρησιμοποιηθούν στην μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε η οποία είναι η εξής: (IMO, 2014)

1) Προσδιορισμός των βασικών συντελεστών που δίνονται από τον IMO η από τη

βιβλιογραφία. Οι συντελεστές εκπομπών δίδονται με βάση το καύσιμο (g ρυτών /g καυσίμου που καταναλώνεται) ή με βάση την ενέργεια (g ρυπανσης/kWh)

- 2) Μετατροπή κατά περίπτωση των βασικών συντελεστών εκπομπών με βάση την ενέργεια (g ρυπανσης/kWh) σε συντελεστές εκπομπών με βάση το καύσιμο (g ρυτών /g καυσίμου που καταναλώνεται) που καταναλώνεται χρησιμοποιώντας το παρακάτω τύπο:

$$EF_{baseline} (g\text{ pollutant}/g\text{ fuel}) = \frac{EF_{baseline}(g\text{ pollutant}/kWh)}{SFOC_{baseline} (g\text{ fuel}/kWh)} \quad (5.6)$$

Όπου : $EF_{baseline}$ = συντελεστής εκπομπών όπως δίνεται από την βιβλιογραφία

$SFOC_{baseline}$ = η ειδική κατανάλωση καυσίμου που έχει σχέση με τον $EF_{baseline}$ συντελεστή εκπομπών.

- 3) Χρησιμοποιούμε κατά περίπτωση, συντελεστές διόρθωσης (FCF) για να προσαρμόσουμε τους συντελεστές εκπομπών, για το συγκεκριμένο καύσιμο που χρησιμοποιείται (καθώς η σύσταση του μεταβάλλεται από έτος σε έτος) :

$$F_{actual} (g\text{ pollutant})(g\text{ fuel}) = EF_{baseline} (g\text{ pollutant})(g\text{ fuel}) * FCF \quad (5.7)$$

Ανάλογα τον ρύπο που θέλουμε να υπολογίσουμε οι τύποι υπολογισμού είναι οι εξής (Juan Moreno-Gutiérrez, 2015):

Για το διοξείδιο του άνθρακα :

- HFO: $EF_{baseline} CO_2 = 3,114 * SFOC(g_{fuel}/kWh)$ (5.8α)
- MDO/MGO: $EF_{baseline} CO_2 = 3,206 * SFOC(g_{fuel}/kWh)$ (5.8β)

Για το διοξείδιο του αζώτου :

$$NOx (g /kWh) = 45 * n^{-0,20} \text{ (IMO Tier I - κατασκευή από το 2000 και μετά) (5.8γ. i)}$$

$$NOx (g /kWh) = 44 * n^{-0,23} \text{ (IMO Tier II - κατασκευή από το 2011 και μετά) (5.8γ. ii)}$$

$$NOx (g /kWh) = 9 * n^{-0,20} \text{ (IMO Tier III - κατασκευή από το 2016 και μετά) (5.8γ. iii)}$$

Όπου n: στροφές του κινητήρα

Για το διοξείδιο του θείου:

$$SOx(g /kWh) = SFOC(g_{fuel}/kWh) * 2 * 0,97753 * \% \text{ Fuel Sulfur (5.8δ)}$$

Όπου: 0,97753 είναι ο συντελεστής μετατροπής του θείου: S σε SOX, 2 είναι η αναλογία μοριακού βάρους του SOX και του S.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούσαν τα πλοία για τα οποία θα υπολογίσουμε τους συντελεστές εκπομπών, είναι το **LSFO** (<1,5% S) για τις κύριες μηχανές και **MDO/MGO** (<0,1% S) για τις βοηθητικές μηχανές. Αρα απλοποιώντας τους παραπάνω τύπους:

$$\text{LSFO: } SOx (g /kWh) = SFOC(g_{fuel}/kWh) * 0,029326$$

$$\text{MDO/MGO: } SOx (g /kWh) = SFOC(g_{fuel}/kWh) * 0,001955$$

Για τα αιωρούμενα σωματίδια :

$$PM_{LSFO}(g /kWh) = 1,35 + SFOC(g_{fuel}/kWh) * 7 * 0,02247 * (\% \text{ Fuel Sulfur} - 0,0246) \text{ (5.8ε. i)}$$

$$PM_{MGO}(g /kWh) = 0,23 + SFOC(g_{fuel}/kWh) * 7 * 0,02247 * (\% \text{ Fuel Sulfur} - 0,0024) \text{ (5.8ε. ii)}$$

Ομοίως με τη παραπάνω παρατήρηση απλοποιούμε και τους τύπους για τα αιωρούμενα σωματίδια ως εξής :

$$\text{LSFO: } PM = 1,35 - SFOC(g_{fuel}/kWh) * 0,00151$$

$$\text{MDO/MGO: } PM = 0,23 + SFOC(g_{fuel}/kWh) * 0,00022$$

5.5 Ειδική κατανάλωση κινητήρα (SFOC)

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα (SFOC) εκφράζει την ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή μιας κιλοβατώρας (kWh). Οι κινητήρες παρά την τεχνολογική εξέλιξη, δεν είναι δυνατό να λειτουργούν με τη μέγιστη οικονομία καυσίμου για όλο το εύρος των φορτίων. Για τη βελτίωση της λειτουργίας τους, προσαρμόζονται ανάλογα με την επιχειρησιακή τους ιδιότητα (δρομολόγια η/και φορτίο κινητήρων), με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμου και εξισορροπημένες εκπομπές αερίων. Τα φορτία των κινητήρων συνήθως λειτουργούν βέλτιστα στο 75%-85% και η υπέρβαση αυτού του ορίου οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ισχύος (g/kWh).

Η στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου των κύριων μηχανών που χρησιμοποιούνται στην πρόωση του πλοίου, υπολογίζεται ως το γινόμενο της σταθερής ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με την στιγμιαία ισχύ του κινητήρα (τύπος 5.1) με αποτέλεσμα μια σχετικά γραμμική σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της στιγμιαίας ισχύος του κινητήρα. Είναι κατανοητό ότι δεν έχουν όλοι οι κινητήρες την ίδια ειδική κατανάλωση καθώς διαφέρουν τόσο σε μέγεθος-ισχύ (kW) στροφές ανά λεπτό (σ.α.λ.-rpm) όσο και σε παλαιότητα κατασκευής και τεχνολογίας που χρησιμοποιούν.

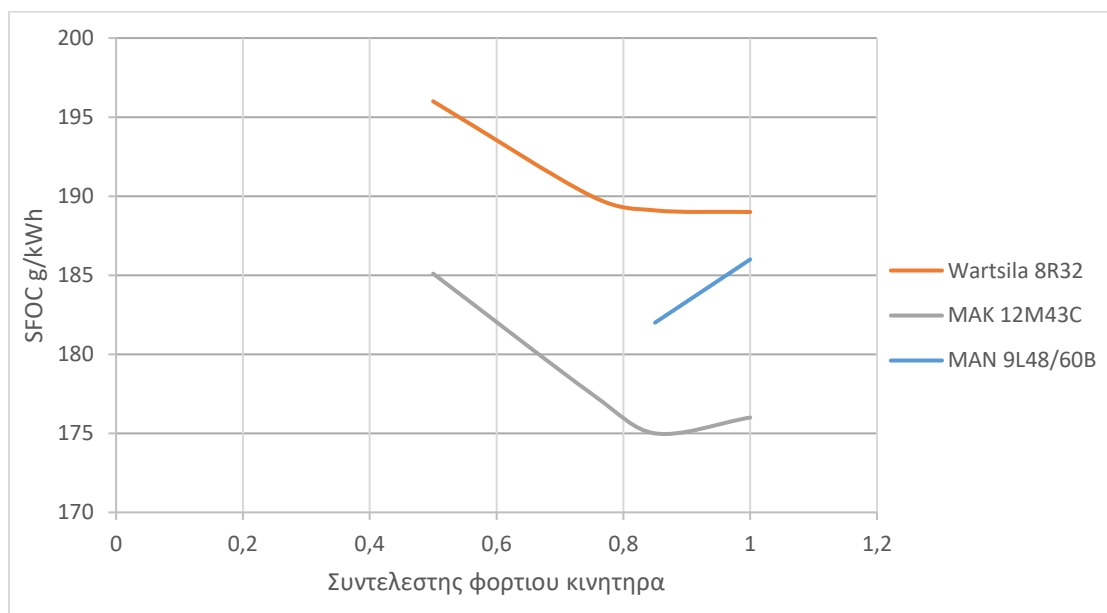
Οι μεγάλοι κατασκευαστές κινητήρων, όπως οι Wartsila, Caterpillar, MAN κ.α. για κάθε νέο μοντέλο που βγάζουν στην αγορά, τις περισσότερες φορές αναγράφουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά την ειδική κατανάλωση καυσίμου (gr/kWh) σε συνήθη επίπεδα φορτίου του κινητήρα (π.χ. 50%, 75%, 85%, 100%). Σε κάποια μοντέλα δίνεται σε ένα επίπεδο φορτίου (π.χ. 85%) ενώ σε κάποια άλλα δίδεται σε δύο (85%, 100%) ή τρία (50%, 75%, 100%).

Όταν δίνεται η ειδική κατανάλωση σε τρία επίπεδα φορτίου, μπορούμε σχετικά εύκολα να προσδιορίσουμε την σχετική καμπύλη SFOC του κινητήρα, με την οποία προσδιορίζουμε την ειδική κατανάλωση καυσίμου σε οποιοδήποτε φορτίο του κινητήρα. Στο πίνακα 5.1 έχουμε την ειδική κατανάλωση σε 4 επίπεδα φορτίου έτσι όπως δίνονται από τους κατασκευαστές τους:

	0.5	0.75	0.85	1.0
Μηχανή	Κατανάλωση (gr/kWh)			
Wartsila 8R32	196	190	189,1	189
MAK 12M43C	185,1	177,5	175	176
MAN 9L48/60B			182	186

Πίνακας 5.2 : Τυπικές τιμές κατανάλωσης SFOC για μηχανές Wartsila, Caterpillar MAK και MAN

Στο σχήμα 5.1 παρατηρούμε την καμπύλη SFOC για τις παραπάνω μηχανές. Από το σχήμα διαπιστώνουμε ότι σαφώς υπάρχουν διαφορές στην κατανάλωση σε κάθε επίπεδο φορτίου των κινητήρων, καθώς και ότι η σχέση SFOC με φορτίο κινητήρα, δεν είναι γραμμική, ενώ υπάρχει ελάχιστο σημείο κατανάλωσης για κάθε μηχανή, το οποίο μπορεί να είναι σε διαφορετικό επίπεδο φορτίου.



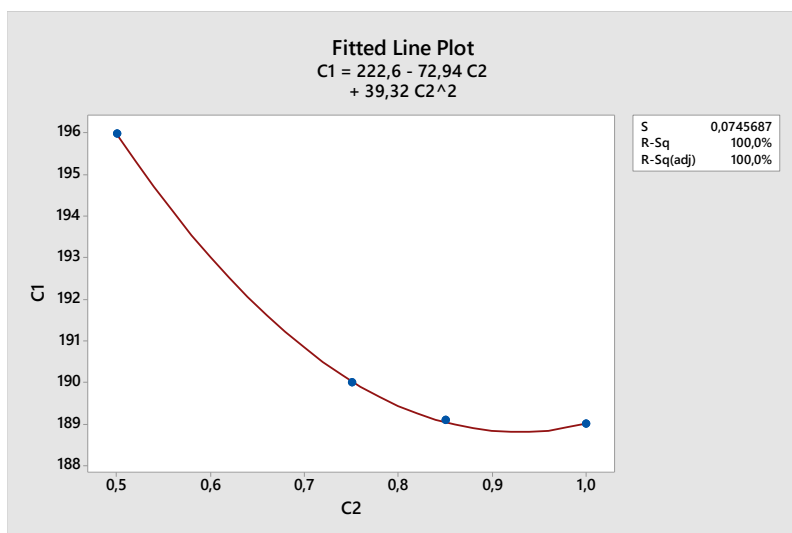
Εικόνα 5.1: Τυπικές καμπύλες SFOC για μηχανές Wartsila, Caterpillar MAK και MAN

Σε περίπτωση που δεν είναι γνωστή η SFOC σε κάθε εύρος φορτίου (όπως παραπάνω) αλλά γνωρίζουμε πχ μόνο 2 ή 3 σημεία κατανάλωσης, τότε τα υπόλοιπα μπορούν να υπολογιστούν με ανάλυση παλινδρόμησης για κάθε ζεύγος τιμών (Δουνδουλάκης, 2020). Από αυτή την ανάλυση προκύπτει ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού για καθεμία μηχανή. Το πολυώνυμο έχει τη μορφή:

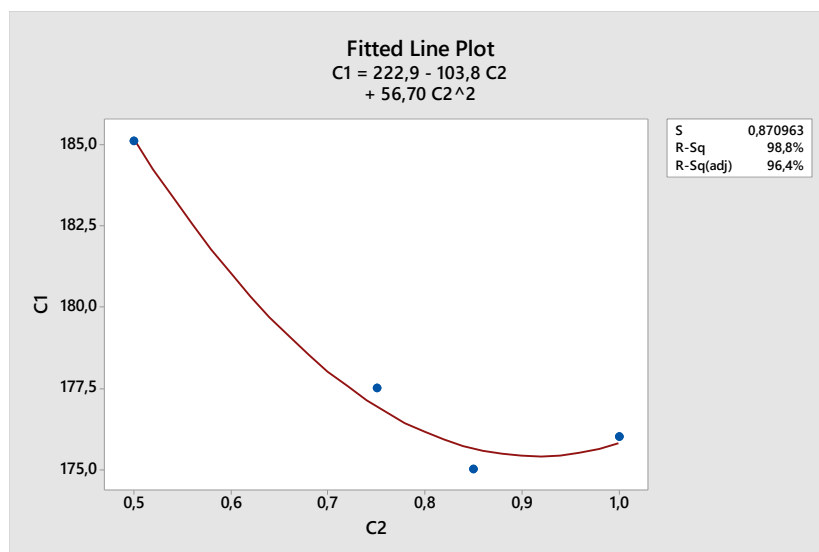
$$SFOC = c * L^2 + b * L + a \quad (5.9)$$

Όπου L είναι ο συντελεστής φορτίου του κινητήρα, με τιμές από 0 έως 1, ενώ οι συντελεστές a, b και c, εξαρτώνται από την μηχανή.

Για την ανάλυση παλινδρόμησης μπορούμε να χρησιμοποιούμε οποιοδήποτε στατιστικό πρόγραμμα (πχ Minitab, SPSS ή ακόμα και Excel) και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανάλωση σε κάθε επίπεδο φορτίου της μηχανής.



Εικόνα 5.2 Καμπύλη SFOC της Wartsila 8R32 (πρόγραμμα Minitab)



Εικόνα 5.3 Καμπύλη SFOC της MAK 12M43C (πρόγραμμα Minitab)

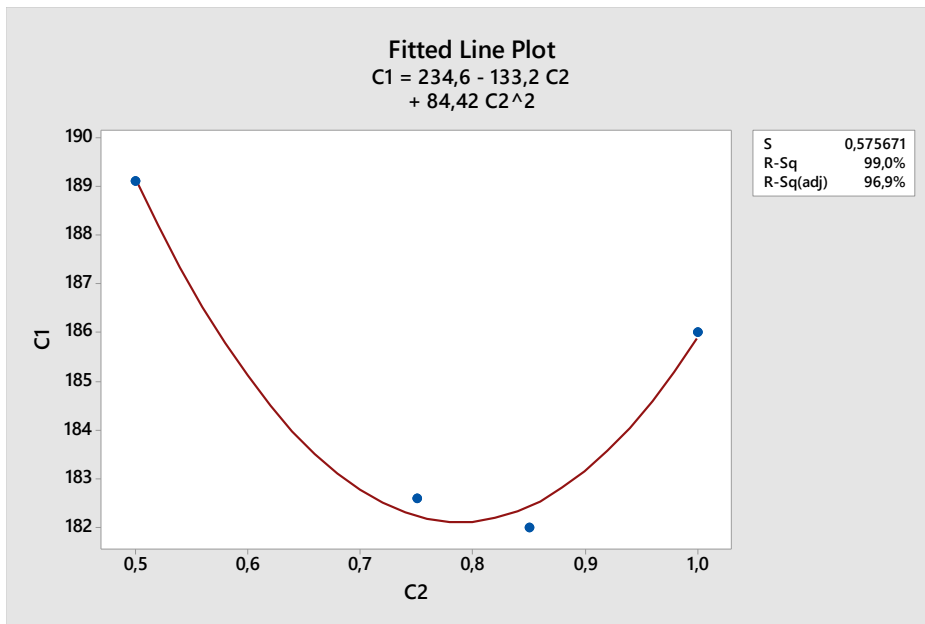
Για κάποιες μηχανές όπως πχ την MAN 9L48/60B έχουμε ειδικές καταναλώσεις καυσίμου μόνο για δυο συντελεστές φορτίου οπότε δε μπορούμε να εφαρμόσουμε εδώ την ανάλυση παλινδρόμηση. Σε αυτή τη περίπτωση εφαρμόζουμε τον παρακάτω τύπο έτσι όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Juan Moreno-Gutiérrez, 2015) :

$$SFOC_{Relative} = 0.455 L^2 - 0.71 L + 1.28 \quad (5.10)$$

Αν αντικαταστήσουμε το αντίστοιχο φορτίο που μας ενδιαφέρει και πολλαπλασιάσουμε με την ειδική κατανάλωση βάσης του κινητήρα ($SFOC_{BASE}$) υπολογίζουμε τη συνολική κατανάλωση του κινητήρα δηλαδή:

$$SFOC = SFOC_{RELATIVE} * SFOC_{BASE} \quad (5.11)$$

Οπότε με βάση τα παραπάνω για τη τρίτη μηχανή : Η ειδική κατανάλωση βάσης ($SFOC_{BASE}$) είναι στο φορτίο 0,85 και στη συγκεκριμένη μηχανή είναι 182 gr/kWh. Άρα χρησιμοποιώντας τις δυο παραπάνω σχέσεις, για 0,5 υπολογίζουμε 189,1 gr/kWh και για 0,75 υπολογίζουμε 182,6 gr/kWh. Εφόσον πλέον έχουμε υπολογίσει αρκετά σημεία για να κάνουμε ανάλυση παλινδρόμησης, μπορούμε να προχωρήσουμε και προκύπτει το εξής πολυώνυμο : $SFOC = 84,42 L^2 - 133,32 L + 234,6$



Εικόνα 5.4 Καμπύλη SFOC της MAN 9L48/60B (πρόγραμμα Minitab)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ

ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ

ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2019

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετήσουμε τη εκπομπή αέριων ρύπων στο Λιμάνι του Ηρακλείου (CO₂, SO_x, NO_x, PM) σε κρουαζιερόπλοια τα οποία αφίχθηκαν το έτος 2019. Πρόκειται για 48 κρουαζιερόπλοια τα οποία ανήκουν σε ναυτιλιακές εταιρίες κρουαζιέρας παγκοσμίου φήμης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων (στοιχεία κύριων και βοηθητικών μηχανών) τα αναζητήσαμε από τη βάση δεδομένων DNV GL (vesselregister.dnvgl.com, 2020) όπου είναι μια διεθνής βιβλιοθήκη που περιέχει τεχνικές πληροφορίες για πάνω από 200.000 πλοία όλων των κατηγοριών και μεγεθών. Θα πραγματοποιήσουμε αναλυτικούς υπολογισμούς και τα στοιχεία που θα παρουσιάσουμε θα είναι συγκεντρωτικά, για όλα τα πλοία, όλων των εταιρειών που δραστηριοποιήθηκαν τη εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

6.1 Το λιμάνι και η πόλη του Ηρακλείου

Το Ηράκλειο είναι η μεγαλύτερη πόλη στην Κρήτη και βρίσκεται στη μέση περίπου της βόρειας ακτής του νησιού. Το Ηράκλειο έχει πληθυσμό 131.000 κατοίκους (απογραφή του 2001), αλλά υπολογίζεται ότι στον δήμο Ηρακλείου μαζί με τον γειτονικό δήμο Αλικαρνασσού (κοντά στο αεροδρόμιο) κατοικούν περίπου 200,000 άνθρωποι σήμερα.

Το Ηράκλειο είναι η 4η μεγαλύτερη πόλη στην Ελλάδα, και διαθέτει το μεγαλύτερο λιμάνι στην Κρήτη, όπως και το μεγαλύτερο αεροδρόμιο.

Ο φυσικός όρμος του Ηρακλείου, που διαμορφώθηκε στο πέρασμα των αιώνων στο σημαντικότερο λιμάνι της Ανατολικής Μεσογείου, δεν υπήρξε ούτε ιδιαίτερα μεγάλος, ούτε ιδιαίτερα βαθύς και σίγουρα καθόλου απάνεμος. Οι πρώτες λιμενικές εγκαταστάσεις παραμένουν άγνωστης χρονολόγησης, παρ' όλα αυτά έγκριτοι επιστήμονες αναγνωρίζουν σ' αυτές λαξεύσεις αρχαίων χρόνων. Η πρώτη σοβαρή προσπάθεια δημιουργίας οργανωμένου λιμανιού στον όρμο του Χάνδακα έγινε στην περίοδο της Αραβοκρατίας (9ος-10ος). Από τη μία η νευραλγική θέση του σε σχέση με τις θαλάσσιες οδούς της Ανατολικής Μεσογείου διευκόλυνε τις πειρατικές επιχειρήσεις των Αράβων πειρατών, και από την άλλη η ύπαρξη λιμανιού εξυπηρετούσε στην αξιοποίηση των πλουτοπαραγωγικών πηγών της Κρήτης για τις εμπορικές συναλλαγές τους με ισλαμικές χώρες. Με την ανάκτηση της Κρήτης στα εδάφη της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας το 961 μ.Χ. ο Χάνδακας σταδιακά εξελίσσεται σε ακμαία πόλη με αστική οργάνωση και συνεπώς οχυρώνεται και οργανώνει καλύτερα το λιμάνι της. Όταν το νησί ήρθε στα χέρια των Ενετών (1204), η Κάντια (όπως ονόμαζαν οι Ενετοί το Ηράκλειο, αλλά και την Κρήτη ολόκληρη) γίνεται η «άλλη Βενετία της Ανατολής» και το λιμάνι της είναι το μοναδικό στην ελληνική επικράτεια με εξαγωγικό εμπόριο σε τόσο μεγάλη κλίμακα. Κυρίως τους δύο τελευταίους αιώνες της ενετικής κυριαρχίας ήταν το σημαντικότερο λιμάνι της Ανατολικής Μεσογείου. Εξαγωγίμα προϊόντα ήταν κυρίως το κρασί, το μέλι, το τυρί, το κερί, το μετάξι, οι σταφίδες, το μπαμπάκι, το λάδι και το αλάτι, που αποτελούσε ενετικό μονοπώλιο. Από την αρχή το λιμάνι του Ηρακλείου παρουσίαζε την ανάγκη συνεχών εκβαθύνσεων λόγω απόθεσης άμμου, τις οποίες πραγματοποιούσαν οι ενετοί με διάφορες τεχνικές της εποχής. Τον 17ο μ.Χ. αιώνα το λιμάνι πήρε την τελική του μορφή ικανό να ελλιμενίσει 50 γαλέρες (Φραγκίσκος Βασιλικάτα 1625). Την περίοδο της τουρκοκρατίας (17ος-19ος) το λιμάνι ελάχιστα διαφοροποιείται από την προηγούμενη περίοδο. Το πανέμορφο λιμάνι ήρθε να αλλοιώσει η καταστροφική τάση «εκμοντερνοποίησης» του 20ου αιώνα με την κατασκευή της παραλιακής λεωφόρου και του νέου μεγάλου λιμανιού. Το μεγαλύτερο μέρος από τα Νεώρια κατεδαφίστηκε, όπως και ο μικρός Κούλες, ενώ κατεδαφίστηκε και η Πύλη του

Μόλου, η οποία ήταν κτισμένη στην αρχή του σημερινού πεζόδρομου της 25ης Αυγούστου και ήλεγχε την είσοδο στο λιμάνι.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε το λιμάνι Ηρακλείου να προσφέρει σύγχρονες υπηρεσίες στους ταξιδιώτες. Σημαντική βελτίωση αποτελεί ο νέος επιβατικός σταθμός που κάνει την παραμονή των επιβατών ευχάριστη στις καινούριες εγκαταστάσεις με εμβαδόν 2.500 τ.μ. Το νέο λιμάνι Ηρακλείου δέχεται 2 εκατομμύρια επιβάτες το χρόνο, τόσο από τα καθημερινά δρομολόγια από Πειραιά, τη Σαντορίνη και άλλα νησιά, αλλά και από κρουαζιερόπλοια που σταματούν στο Ηράκλειο για μια επίσκεψη στην Κνωσό και την πόλη του Ηρακλείου. (www.explorecrete.com, 2020)

6.2 Κίνηση κρουαζιερόπλοιων εντός του λιμένα Ηρακλείου

Όταν το πλοίο περάσει το στόμιο της εισόδου του λιμανιού και μέχρι αυτό να πάρει τη τελική οριστική θέση του στον κρηπιδότοιχο χρειάζεται να εκτελέσει τις εξής ενέργειες μέχρι να προσδέσει στην τελική του θέση:

- Το πλοίο περνώντας το στόμιο του λιμανιού ,σταματάει σε μια θέση πάνω στη πορεία εισόδου.
- Στη συνέχεια εκτελεί ορισμένους ελιγμούς και πλησιάζει αργά σε παράλληλη θέση στον κρηπιδότοιχο στον οποίο προβλέπεται να πλευρίσει (**φάση ελιγμών πρόσδεσης**). Σε αυτή τη φάση το πλοίο έχει μειώσει την ταχύτητα του στους 5 κόμβους.
- Στη τρίτη φάση το πλοίο θα πλευρίσει στον κρηπιδότοιχο και θα προσδεθεί στις δέστρες του, για όσο χρονικό διάστημα χρειαστεί (**φάση ελλιμενισμού**)
- Για την αναχώρηση του πλοίου από το λιμάνι πραγματοποιεί ελιγμούς ώστε να αποκτήσει τη κατάλληλη θέση για τη έξοδο του από τον λιμένα.(**φάση ελιγμών αναχώρησης**). Η ταχύτητα του πλοίου φτάνει τους 8 κόμβους.
- Τέλος το πλοίο έχει πλέον διανύσει ορισμένη απόσταση και βρίσκεται στο σημείο εξόδου από το λιμάνι όπου αρχίζει πλέον η **φάση πλεύσης – ταξιδιού**.

Στη παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τη κίνηση των πλοίων εντός του λιμένα Ηρακλείου:



Εικόνα 6.1: Δορυφορική εικόνα Λιμένα Ηρακλείου

6.3 Υπολογιστική μέθοδος

6.3.1 Παραδοχές

1. Οι κύριες μηχανές χρησιμοποιούν καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (LSFO), ενώ οι βοηθητικές καύσιμο diesel (MDO/MGO). Η ταχύτητα που εισέρχεται το κρουαζιερόπλοιο στο λιμάνι θεωρήθηκε ότι είναι 5 κόμβοι και η ταχύτητα που εξέρχεται είναι 8 κόμβοι.
2. Κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού τα πλοία δεν σβήνουν καθόλου τις βοηθητικές μηχανές τους οι οποίες είναι συνεχώς σε λειτουργία.
3. Από παρατήρηση δεδομένων από τα το marinetraffic, θεωρούμε ότι για τους ελιγμούς πρόσδεσης απαιτούνται 20 λεπτά για κάθε άφιξη, ενώ για τους ελιγμούς αναχώρησης, απαιτούνται 10 λεπτά. Επίσης απαιτούνται ακόμα 10 λεπτά στην άφιξη,

για να φτάσει το πλοίο από την είσοδο του λιμανιού στο σημείο που ξεκινάει τους ελιγμούς πρόσδεσης, καθώς και 10 λεπτά στην αναχώρηση, για να φτάσει από το σημείο που τελειώνουν οι ελιγμοί, μέχρι την έξοδο του λιμανιού αντίστοιχα. (Δουνδουλάκης Ε. , 2020)

6.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά κρουαζιερόπλοιων

Πλοίο	Αριθμός IMO	Ισχύς κεντρικής μηχανής	Ισχύς βοηθητικής μηχανής	Τεχνολογία του συστήματος πρόωσης του πλοίου
AEGEAN ODYSSEY	7225910	10300	1878	
AIDA BELLA	9362542	36000		Propulsion diesel-electric
AIDA BLU	9398888	36000	-	Conventional propulsion - electric
AIDA CARA	9112789	6480	13800	Conventional propulsion - combustion engine
AIDA PRIMA	9636955	49740	-	Thruster propulsion - electric
AIDA VITA	9221554	27550	-	Conventional propulsion - electric
AMERA	8700280	21120	-	
AZAMARA PURSUIT	9210220	19440	-	Conventional propulsion - combustion engine
BERLIN	7904889	7200	2112	Conventional propulsion - combustion engine
CELESTYAL CRYSTAL	7827213	19120	6480	Conventional propulsion - combustion engine
CELESTYAL OLYMPIA	7927984	17056	12150	Conventional propulsion - combustion engine
COSTA DIADEMA	9636888	65160	-	Diesel-Electric
COSTA FORTUNA	9239783	63360	65160	Diesel-Electric
COSTA MEDITERRANEA	9237345	62370	-	Diesel-Electric
COSTA neoRIVIERA	9172777	31680	-	Diesel-Electric
COSTA VENEZIA	9801689	62400	-	
COSTA VICTORIA	9109031	50700	-	
CROWN IRIS	8814744	23400	-	
EUROPA	9183855	21600	-	Thruster propulsion - electric
HORIZON	7358573	15440	15440	Conventional propulsion - combustion engine
LE BOUGAINVILLE	8807088	21600	12960	

LE LYRIAL	9704130	6400	1366	
MARELLA DISCOVERY	9070632	54300	-	Conventional propulsion - electric
MARELLA DREAM	9070620	54300	-	
MARINA	9438066	42000	42000	Propulsion diesel-electric
MEIN SCHIFF 3	9641730	28800	19200	Conventional propulsion - electric
MEIN SCHIFF 4	9678408	28800	19200	Conventional propulsion - combustion engine
MEIN SCHIFF 5	9753193	28800	19200	Conventional propulsion - combustion engine
MEIN SCHIFF 6	9753208	28800	19200	Conventional propulsion - combustion engine
MEIN SCHIFF HERZ	9106302	20700	13800	Diesel-Electric
MSC MAGNIFICA	9387085	63000	-	Diesel-Electric
MSC BELLISSIMA	9760524	58800	38400	Diesel-Electric
MSC LIRICA	9246102	31680	-	Diesel-Electric
MSC MUSICA	9320087	58000	-	Diesel-Electric
MSC OPERA	9250464	31680	-	Diesel-Electric
MSC POESIA	9387073	58000	-	Diesel-Electric
MSC SINFONIA	9210153	34800	-	Diesel-Electric
NAUTICA	9200938	19440	-	Propulsion diesel-electric
NIEUW STATENDAM	9767106	48000	-	Propulsion diesel-electric
OCEANA (Queen of ocean)	9169550	46080	-	Propulsion diesel-electric
SALAMIS FILOXENIA	7359400	26480	3840	Propulsion diesel-electric(
SEA CLOUD	8843446	3000	-	Conventional propulsion - combustion engine
SEVEN SEAS NAVIGATOR	9064126	23200	-	Propulsion diesel-electric
SEVEN SEAS VOYAGER	9247144	23040	23760	Propulsion diesel-electric

VEENDAM	9102992	34560	-	
VIKING JUPITER	9796262	25200	-	
VIKING SKY	9650420	25200	-	Propulsion diesel-electric
VIKING STAR	9650418	25200	-	Propulsion diesel-electric

Πίνακας 6.1 Λίστα κρουαζιερόπλοιων (vesselregister.dnvgl.com, 2020)

6.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανών

Α/Α	Μοντέλο κινητήρα	Κατασκευαστής	Έτος Εγκατ.	kW	RPM	SFOC (gr/kW)								Βιβλιογραφική Πηγή
						0,20	0,30	0,45	0,50	0,60	0,75	0,85	1,00	
1	MAK 12M43C	CATERPILAR	2016	12000	500	203	195.9	187.4	185.1	181.2	177.5	175	176	(Caterpillar, M43C, 2020)
2	MAK 8M43C	CATERPILAR	2010	8000	500	202.9	195.9	187.3	185	181.3	178	176	177	(Caterpillar, MAK VM43C, 2020)
3	MAK 9M43C	CATERPILAR	2008	9000	500	202.9	195.9	187.3	185	181.3	178	176	177	(Caterpillar, MAK VM43C, 2020)
4	12V32/44CR	MAN	2015	7200	720	198.9	190.6	181.1	178.7	175.1	172.6	172	174	(MAN, 2020)
5	12V48/60B	MAN	2006	13800	500	200	191.7	182.1	179.7	176.1	173.6	180	184	(MAN, 2020)
6	12V48/60CR	MAN	2012	14400	500	200.6	192.2	182.6	180.2	176.6	174.1	173.5	182	(MAN, 2020)
7	14V48/60CR	MAN	2012	16800	500	200.6	192.2	182.6	180.2	176.6	174.1	173.5	182	(MAN, 2020)

Υπολογισμός αέριων ρύπων κρουαζιερόπλοιών στο λιμάνι του Ηρακλείου | Ιωάννης Κονσολάκης

8	6L48/60B	MAN	1995	6900	500	210.4	201.6	191.6	189.1	185.2	182.6	182	186	(MAN, 2020)
9	8L48/60B	MAN	1995	6900	500	210.4	201.6	191.6	189.1	185.2	182.6	182	186	(MAN, 2020)
10	8L48/60CR	MAN	2019	9600	500	202.9	194.4	184.7	182.3	178.6	176.1	175.5	184	(MAN, 2020)
11	9L32/44CR	MAN	2015	5400	720	198.9	190.6	181.1	178.7	175.1	172.6	172	176	(MAN, 2020)
12	9L48/60B	MAN	1997	10350	514	210.4	201.6	191.6	189.1	185.2	182.6	182	186	(MAN, 2020)
13	8ZAL40S	SULZER	1988	5280	510	211.6	202.8	192.6	190.1	186.3	183.6	183	187.6	(Sulzer, 2020)
14	12ZAV40S	SULZER	2003	8640	510	211.6	202.8	192.6	190.1	186.3	183.6	183	187.6	(Sulzer, 2020)
15	16ZAV40S	SULZER	2002	11520	510	211.6	202.8	192.6	190.1	186.3	183.6	183	187.6	(Sulzer, 2020)
16	12V32	WARTSILA	1999	6720	720	203.2	196.7	188.9	186.8	183.4	180.3	179.5	180.3	(Wartsila32, 2020)
17	12V32E	WARTSILA	2018	4860	720	209.7	203.5	196.1	194	190.8	188	186.6	187	(Wartsila Wasa, 2020)
18	12V32LNE	WARTSILA	2000	4860	720	207.7	201.5	194.1	192	188.8	186	184.6	185	(Wartsila Wasa, 2020)
19	12V38	WARTSILA	2002	8700	600	200.7	194.1	186.4	185	181.5	179	178	182	(Wartsila 38, 2020)
20	12V38A	WARTSILA	1999	7920	600	210.4	201.6	191.6	189.1	185.2	182.6	182	186.6	(Woodyard, 2004)
21	12V38B	WARTSILA	2003	8700	600	194.8	189.4	182.8	181	178	175	174	174	(Woodyard, 2004)
22	12V46	WARTSILA	1996	10860	500	206	200.3	194	192.5	190.4	189.5	190.4	194	(W46, 2020)
23	12V46C	WARTSILA	1997	12600	500	203	197,3	191	189,5	187,4	186,5	187,4	191	(W46, 2020)
24	12V46DF	WARTSILA	2016	13740	600	204	201,6	198,1	197	197,8	191	177,2	186,3	(Wartila 46F, 2020)

Υπολογισμός αέριων ρύπων κρουαζιερόπλοιών στο λιμάνι του Ηρακλείου | Ιωάννης Κονσολάκης

25	12V46F	WARTSILA	2014	14400	600	184,6	183	180,5	179,3	178,5	176,4	173	180,6	(Wartila 46F, 2020)
26	16V38B	WARTSILA	2006	11600	600	194,8	189,4	182,8	181	178	175	174	174	(Woodyard, 2004)
27	4R32E	WARTSILA	1980	1620	720	212,1	206,1	198,9	197	193,9	191	190,3	191	(Wartsila, 2020)
28	6L38B	WARTSILA	2002	4350	600	196,8	191,4	184,8	183	180	177	176	176	(Woodyard, 2004)
29	6R32	WARTSILA	1973	2430	720	217,5	208,9	198,7	196	191,7	188	187,3	189	(Wartsila, 2020)
30	8L20	WARTSILA	2018	1040	720	218,6	212,2	204,2	202	198,2	194	193	192	(Wartsila 20, 2020)
31	8L38	WARTSILA	1999	5800	600	205,3	197,4	188,3	186	182,4	180	180	183	(Wartsila 38, 2020)
32	8L38B	WARTSILA	2002	5800	600	196,8	191,4	184,8	183	180	177	176	176	(Woodyard, 2004)
33	8L46	WARTSILA	2006	7240	500	217,8	208,7	198,3	195,7	191,8	189	188,4	193,1	(Woodyard, 2004)
34	8L46C	WARTSILA	2011	8400	500	214,4	205,4	195,2	192,6	188,7	186	185,4	190	(Woodyard, 2004)
35	8L46F	WARTSILA	2014	9600	600	202,2	193,8	184,1	182,2	178	179,2	174,9	183,4	(Wartila 46F, 2020)
36	8R32	WARTSILA	1996	3240	720	208	203,2	197,3	196	192,9	190	189,1	189	(Wartsila, 2020)
37	9L20C	WARTSILA	2003	1530	900	216,4	209,1	200,3	198	194,1	190	190	190	(Wartsila, 2020)
38	9L38A	WARTSILA	2003	5940	600	199,6	193,4	185,9	184	180,8	178	177,3	178,3	(Woodyard, 2004)
39	9L38B	WARTSILA	2009	6525	600	196,8	191,4	184,8	183	180	177	176	176	(Woodyard, 2004)
40	12PC2,5V	PIELSTICK	1980	14580	400	213,9	205	194,7	192,2	188,3	185,6	185	189,6	(Woodyard, 2004)

41	12PC4-2V	PIELSTICK	1980	4800	500	203,5	195	185,3	182,8	179,1	176,6	176	180,4	(Woodyard, 2004)
----	----------	-----------	------	------	-----	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-----	-------	------------------

Πίνακας 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά υπό εξέταση κινητήρων

6.3.4 Εκτελούμενα δρομολόγια

Από την ιστοσελίδα του Οργανισμού λιμένος Ηρακλείου αντλήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα που αφορούν το πλήθος των δρομολογίων που εκτελέστηκαν από πλοία κρουαζιέρας ανά μήνα .Επίσης υπολογίστηκε ο χρόνος ελλιμενισμού και ο χρόνος ελιγμών σύμφωνα με τις παραδοχές που έγιναν στη παράγραφο 6.3.1.

Μήνας	Πλήθος	Ελλιμενισμός (hh:mm)	Ελιγμοί (hh:mm)	
			Αν/Αφ	Πορεία
Ιανουάριος	0	0:00	0:00	0:00
Φεβρουάριος	1	7:30	0:30	0:20
Μάρτιος	10	105:35	5:00	3:20
Απρίλιος	23	266:40	11:30	7:40
Μάιος	21	223:15	10:30	7:00
Ιούνιος	18	174:45	9:00	6:00
Ιούλιος	17	165:50	8:30	5:40
Αύγουστος	20	208:45	10:00	6:40
Σεπτέμβριος	23	275:15	11:30	7:40
Οκτώβριος	35	361:44	17:30	11:40
Νοέμβριος	31	294:45	15:30	10:20
Δεκέμβριος	5	45:00	2:30	1:40
Σύνολο	204	2129:04	102:00	68:00

Πίνακας 6.3: Πλήθος δρομολογίων κρουαζιερόπλοιων και διάρκεια λειτουργικών φάσεων στο λιμάνι Ηρακλείου για το έτος 2019 (ΟΛΗ , 2020)

Στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να δούμε τη πορεία των αφίξεων των κρουαζιερόπλοιων κατά το έτος 2019. Παρατηρούμε ότι αυξάνει σταδιακά από το μήνα Μάρτιο, συνεχίζει με σταθερό ρυθμό κατά τους καλοκαιρούς μήνες. Οι αφίξεις κορυφώνονται κατά το μήνα Οκτώβριο, ακολουθώντας μια πτωτική πορεία τους υπολοίπους δυο μήνες.



Εικόνα 6.2: Πλήθος δρομολογίων κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι Ηρακλείου Κρήτης κατά το έτος 2019

6.3.5 Ενδεικτικός τρόπος υπολογισμού αέριων ρύπων

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο θα εργαστούμε για να υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμου και ενέργειας, σε κάθε λειτουργική φάση και τύπο κινητήρα. Στη παρούσα παράγραφο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τη μεθοδολογία για ένα κρουαζιερόπλοιο ενώ προφανώς θα ισχύει το ίδιο και για τα υπόλοιπα. Τέλος θα παραθέσουμε τα συγκεντρωτικά στοιχεία και γραφήματα για όλα τα κρουαζιερόπλοια που αφίχθηκαν στο λιμάνι του Ηρακλείου κατά τη διάρκεια του έτους 2019.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα εξετάσουμε το κρουαζιερόπλοιο “MEINN SCHIFF 6”. Το συγκεκριμένο κρουαζιερόπλοιο κατασκευάστηκε το 2017, είναι υπό σημαία Μάλτας και έχει αριθμό IMO 9753208. (Marinetraffic, 2020)



Το συγκεκριμένο πλοίο διαθέτει 2 κύριες μηχανές Wartsila 12V46F με 14400 kW η κάθε μία, καθώς και 2 βοηθητικές μηχανές Wartsila 8L46F με 9600 kW η κάθε μια. Ο κατασκευαστής Wartsila δίδει την παρακάτω τυπική κατανάλωση στον συντελεστή φορτίου 0.85 για αυτές τις μηχανές:

Μηχανή	SFOC 85%
Wartsila 12V46F	173
Wartsila 8L46F	174

Χρησιμοποιούμε το παρακάτω πολυώνυμο :

$$SFOC_{RELATIVE} = 0.455 \cdot L^2 - 0.71 \cdot L + 1.28$$

στη σχέση $SFOC = SFOC_{RELATIVE} \cdot SFOC_{BASE}$ και προκύπτει η τυπική κατανάλωση καυσίμου για το συντελεστή φορτίου 85 % όπως φαίνεται παρακάτω :

Υπολογισμός αέριων ρύπων κρουαζιερόπλοιών στο λιμάνι του Ηρακλείου | Ιωάννης Κονσολάκης

Μηχανή	SFOC
Wartsila 12V46F	173,89
Wartsila 8L46F	174,90

Όπως τα παραπάνω υπολογίζουμε την τυπική κατανάλωση καυσίμου και για τους υπολοίπους συντελεστές φορτίου κινητήρα 20%, 30%, 45%, 60%, 75% όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα :

Μηχανή	Είδος	Πλήθος	Ισχύς (kWh)	Σύνολο (kWh)	0.2	0.3	0.45	0.6	0.75
					Κατανάλωση (gr/kWh)				
Wartsila 12V46F	Κύρια	4	14.400	57.600	213,43	202,74	189,99	181,67	176,99
Wartsila 8L46F	Βοηθητική	4	9.600	38.400	233,78	214,71	193,78	181,16	179,80

Πίνακας 6.4: Τυπικές τιμές κατανάλωσης SFOC για τις μηχανές του πλοίου “ MEIN SCHIFF 6 ”

Τα δρομολόγια και η διάρκεια των λειτουργικών φάσεων του συγκεκριμένου πλοίου είναι :

Άφιξη		Αναχώρηση	Διάρκεια	Διάρκεια	Διάρκεια
Λιμάνι	Ημ/νία-Ωρα	Ημ/νία-Ωρα	Ελλιμεν. (h)	Ελιγμών (h)	Πορείας (h)
Ηράκλειο	27/10/2019 03:00	27/10/2019 22:30	18:40	00:30	00:20

Πίνακας 6.5: Δρομολόγιο και διάρκεια λειτουργικών φάσεων πλοίου “ MEIN SCHIFF 6 ”

Ως καλοκαιρινούς μήνες θεωρούμε τους Ιούνιο Ιούλιο και Αύγουστο. Το δρομολόγιο του συγκεκριμένου πλοίου που χρησιμοποιούμε σαν παράδειγμα λαμβάνει χώρα εκτός καλοκαιρινών μηνών οπότε σύμφωνα με τον πίνακα :

- κατά τη φάση του ελλιμενισμού οι κύριες μηχανές δεν λειτουργούν (συντ.

φορτίου 0)

- κατά τη φάση των ελιγμών οι κύριες μηχανές έχουν συντελεστή φορτίου 0.2
- κατά τη φάση του ελλιμενισμού οι βοηθητικές μηχανές έχουν συντελεστή φορτίου 0.45
- κατά τη φάση των ελιγμών οι βοηθητικές μηχανές έχουν συντελεστή φορτίου 0.6

Εφαρμόζοντας τον τύπο : $Energy_{e,p} = MCR_e \cdot LF_e \cdot T_p$

Όπου : **MCR** = η μέγιστη συνεχής ονομαστική ισχύς (kW),

e = ο κινητήρας για τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί,

LF = ο συντελεστής φορτίου λειτουργίας (Load Factor),

p = η φάση λειτουργίας,

T = ο χρόνος λειτουργίας (hr).

Δρομολόγιο	Λειτουργική φάση (h)		Κύριες Μηχανές			Βοηθ.Μηχανές		
			Ισχύς (kW)	Συντ. φορτίου	Ενέργεια (kWh)	Ισχύς (kW)	Συντ. φορτίου	Ενέργεια (kWh)
27/10/2019	Ελλιμενισμός	18:40	57.600	0	0	38.400	0,45	322.444,8
	Ελιγμοί	00:30	57.600	0,2	5.760	38.400	0,6	11.520
	Πορεία	00:20	57.600	0,2	3.801,6	38.400	0,6	7603,2
Σύνολο					9.561,6			341.568

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ποσότητα καυσίμου που παράγεται από τη συγκεκριμένη ενέργεια χρησιμοποιώντας τον τύπο :

$$FCe = Energy_e \cdot SFOC_e$$

Όπου: Energy : η απαιτούμενη ενέργεια σε κιλοβατώρες (kWh),

Διπλωματική εργασία

e: ο κινητήρας για τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί,

SFOC: η ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα.

Οπότε είμαστε σε θέση να παρουσιάσουμε τον παρακάτω πίνακα :

Δρομολόγιο	Λειτουργική φάση (h)		Κύριες Μηχανές			Βοηθ.Μηχανές				
			Συντ. φορτίου	SFOC (gr/kWh)	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)	Συντ. φορτίου	SFOC (gr/kWh)	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)
24/10/2018	Ελλιμενισμός	18:40	0	0	0	0	0,45	193,78	322.444,8	62,483
	Ελιγμοί	00:30	0,2	213,43	5.760	1,229	0,6	181,16	11.520	2,086
	Πορεία	00:20	0,2	213,43	3801,6	0,811	0,6	181,16	7.603,2	1,377
Σύνολο					9.561,6	2,04			341.568	65,946

Πίνακας 6.6 : Ενέργεια και καύσιμα λειτουργικών φάσεων δρομολογίων “ MEIN SCHIFF 6

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπών

Αέριος ρύπος	Συντελεστής εκπομπών (g ρύπου / kWh)	
	LSFO	MGO/MDO
NO _x Wartsila 12V46F6(600rpm) Wartsila8L46F(600rpm)	44 x 600 ^{-0.23} =10,103640	44 x 600 ^{-0.23} =10,103640
SO _x	$SFOC_{gfuel/kwh} * 0,029326$	$SFOC_{gfuel/kwh} * 0,001955$
PM	1,35-(SFOC * 0,00151)	1,35-(SFOC * 0,00022)
	Συντελεστής εκπομπών (g ρύπου / g καυσίμου)	
CO ₂	3,114	3,206

Πίνακας 6.7: Συγκεντρωτικός πίνακας τύπων για τον υπολογισμό συντελεστών εκπομπών

Τα μοντέλα μηχανών που έχουμε στο συγκεκριμένο παράδειγμα(Wartsila 12V46F, Wartsila 8L46F) έχουν σαν έτος κατασκευής το 2014 αμφότερα, οπότε ανήκουν στο IMO tier II άρα σύμφωνα με το τύπο (5.8γ. ii) :

$$NO_{x(g/kwh)}=44 * n^{-0,23}$$

Δρομολόγιο	Κύριες Μηχανές				Αέριοι ρύποι			
	Συντ. φορτίου	SFOC (gr/kWh)	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)	CO ₂ (t)	SO _x (t)	NO _x (t)	PM (t)
27/10/2019	0,2	213,43	9.561,6	2,04	0,63	0,06	0,097	0,099

Πίνακας 6.8: Υπολογισμένοι αέριοι ρύποι κύριων μηχανών πλοίου “ MEIN SCHIFF 6 ”

Δρομολόγιο	Βοηθητικές μηχανές				Αέριοι ρύποι			
	Συντ. φορτίου	SFOC (gr/kWh)	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)	CO ₂ (t)	SO _x (t)	NO _x (t)	PM (t)
27/10/2019	0,45	193,78	322.444,8	62,483	200,320	0,122	3,257	0,421
	0,6	181,16	19123,2	3,463	11,102	1,226	0,193	0,025
Σύνολο			341.568	65,946	211,422	1,348	3,45	0,446

Πίνακας 6.9: Υπολογισμένοι αέριοι ρύποι βοηθητικών μηχανών πλοίου “MEIN SCHIFF 6”

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κρουαζιερόπλοιών για το έτος 2019

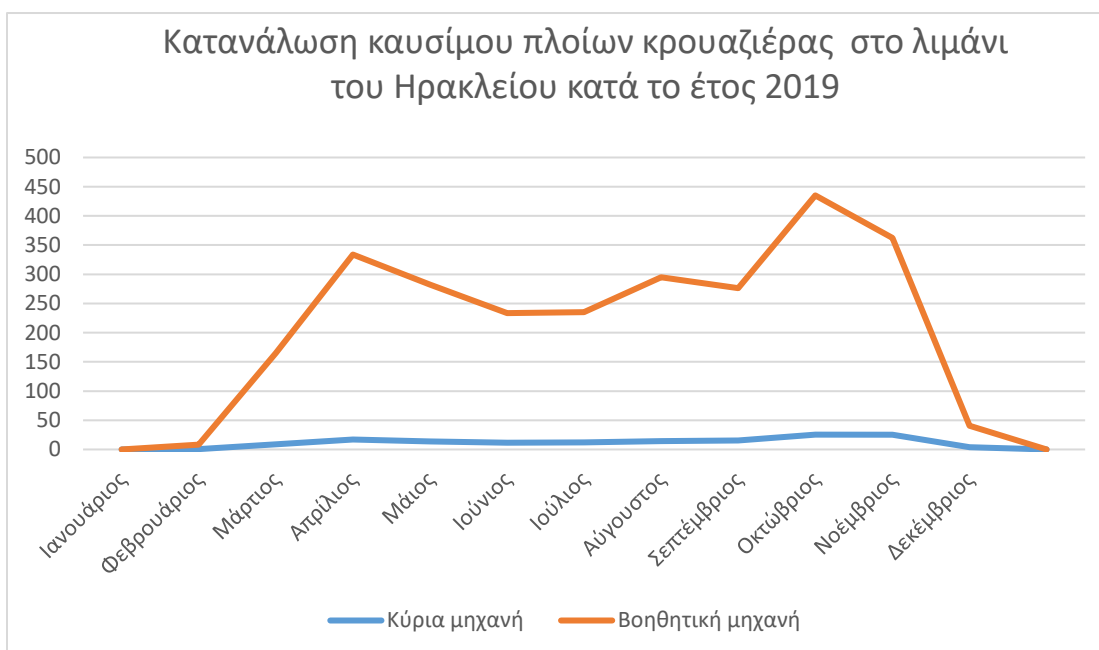
Αφού παραθέσαμε το παράδειγμα για το κρουαζιερόπλοιο “MEIN SCHIFF 6” εφαρμόζουμε την ίδια μέθοδο υπολογισμού και για τα υπόλοιπα κρουαζιερόπλοια, Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε για το έτος 2019 σε επίπεδο μήνα:

Μήνας	Δρομολόγια	Διάρκεια Παραμονής (h)	Ελιγμοί		Κύριες μηχανές		Βοηθητικές μηχανές	
			Αφ/Αν	Πορεία	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)	Ενέργεια (kWh)	Καύσιμο (t)
Ιανουάριος	0	0:00	0:00	0:00	0	0	0	0
Φεβρουάριος	1	7:30	0:30	0:20	4.060,0	0,815	40.455,0	7,516
Μάρτιος	10	105:35	5:00	3:20	43.253,3	8,751	819.582,8	156,402
Απρίλιος	23	266:40	11:30	7:40	84.726,5	16,926	1.674.645,5	316,972
Μάιος	21	223:15	10:30	7:00	67.945,3	13,914	1.392.729,9	268,223
Ιούνιος	18	174:45	9:00	6:00	57.482,3	11,737	1.168.309,5	221,630

Υπολογισμός αέριων ρύπων κρουαζιερόπλοιών στο λιμάνι του Ηρακλείου | Ιωάννης Κονσολάκης

Ιούλιος	17	165:50	8:30	5:40	58.131,0	11,950	1.178.560,1	223,164
Αύγουστος	20	208:45	10:00	6:40	70.591,0	14,433	1.489.365,0	280,315
Σεπτέμβριος	23	102:00	5:30	3:40	76.062,0	15,496	1.348.118,9	260,745
Οκτώβριος	35	113:00	6:00	4:00	124.951,3	25,410	2.137.933,6	409,621
Νοέμβριος	31	38:14	2:00	1:20	121.026,3	25,074	1.758.221,5	337,391
Δεκέμβριος	5	10:00	0:30	0:20	18.023,3	3,805	195.456,0	36,979
Σύνολο	204	2129:04	102:00	68:00	726.252,5	148,31	13.203.377,6	2519

Εικόνα 6.10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κρουαζιερόπλοιών για το έτος 2019 (Ελιγμοί, Καύσιμο, Ενέργεια)



Εικόνα 6.2: Γραφική αναπαράσταση κατανάλωσης καυσίμου κύριων και βοηθητικών μηχανών.

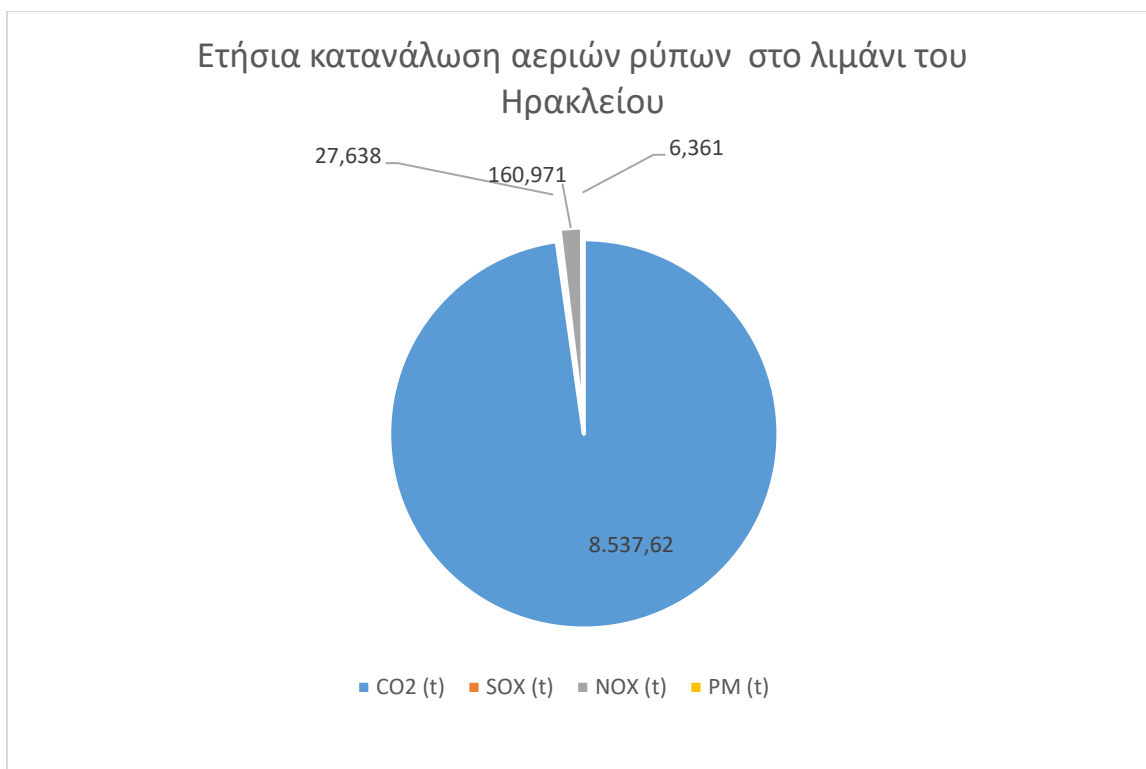
Από το παραπάνω παρατηρούμε τη μεγάλη διαφορά στη κατανάλωση καυσίμου μεταξύ κύριων και βοηθητικών μηχανών και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν συνεχώς τόσο κατά τη διάρκεια των ελιγμών όσο και κατά τη

παραμονή του κρουαζιερόπλοιου στο λιμάνι , και σε υψηλό φορτίο. Αντίθετα οι κύριες μηχανές λειτουργούν σε χαμηλό φορτίο και κατά κύριο λόγο στη διάρκεια των ελιγμών.

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία με το παράδειγμα παραπάνω υπολογίζουμε και τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται .

Μήνας	Αέριοι ρύποι			
	CO ₂ (t)	SO _x (t)	NO _x (t)	PM (t)
Ιανουάριος	0	0	0	0
Φεβρουάριος	26,633	0,244	0,557	0,048
Μάρτιος	528,675	2,478	9,570	0,532
Απρίλιος	1.068,919	3,357	20,404	0,784
Μάιος	903,251	1,625	17,785	0,447
Ιούνιος	747,096	1,599	15,168	0,420
Ιούλιος	752,676	2,248	15,448	0,532
Αύγουστος	943,636	3,399	19,418	0,779
Σεπτέμβριος	884,201	2,350	15,910	0,561
Οκτώβριος	1.392,370	4,975	22,458	1,115
Νοέμβριος	1.159,755	4,614	21,520	0,994
Δεκέμβριος	130,403	0,750	2,732	0,150
Σύνολο	8.537,615	27,638	160,971	6,361

Πίνακας 6.11: εκπομπές αέριων ρύπων πλοίων κρουαζιέρας στο λιμάνι Ηρακλείου Κρήτης για τα έτος 2019



Εικόνα 6.3: Σύνολο αέριων εκπομπών πλοίων κρουαζιέρας στο λιμάνι Ηρακλείου Κρήτης για το έτος 2019

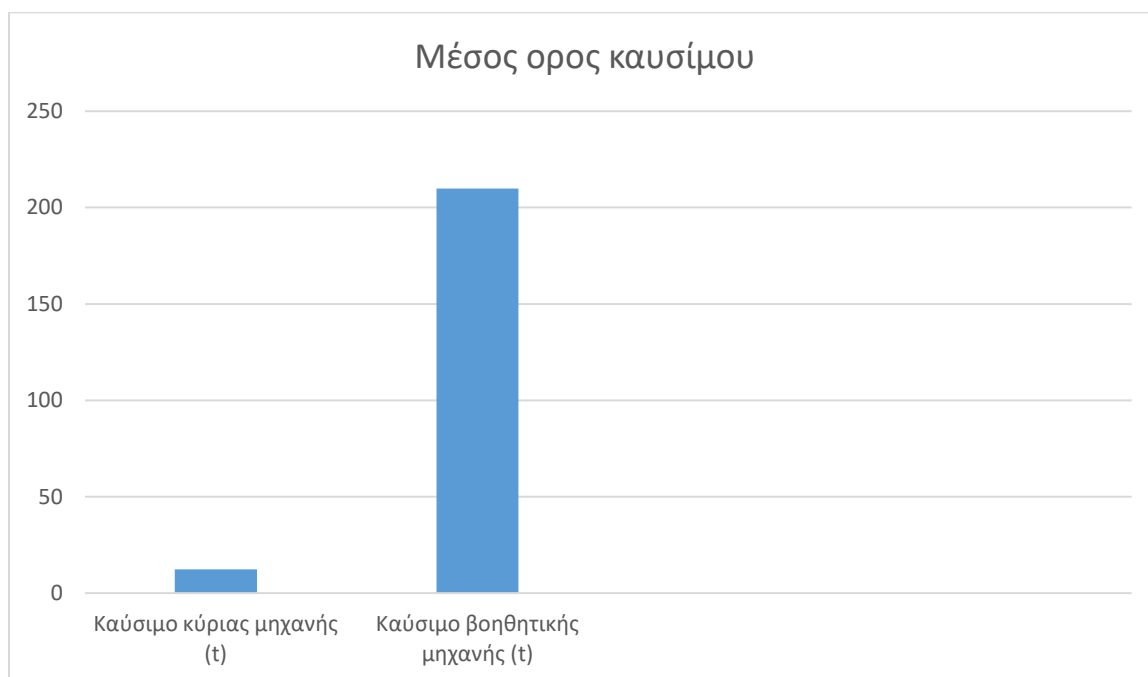
Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε τη μεγάλη κατανάλωση και εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα καθώς σε σύγκριση με τα υπόλοιπα τρία αέρια(SO_x,NO_x,PM) κατέχει ποσοστό 98%.

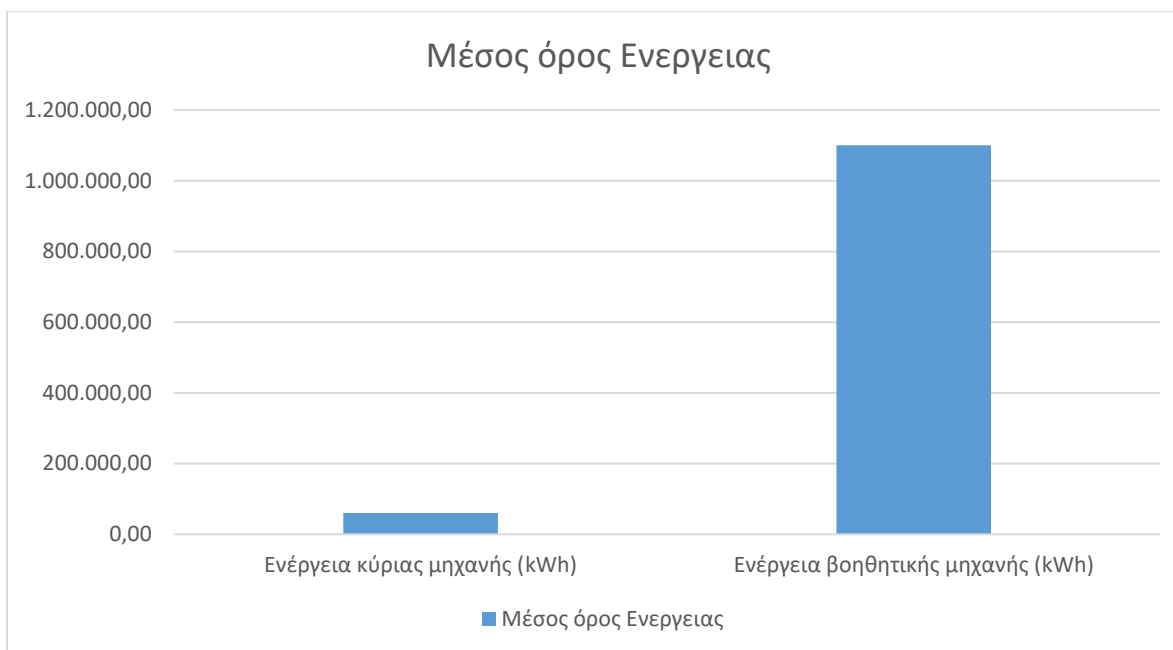
Στο παρακάτω πίνακα παραθέτουμε τις μέσες τιμές κάποιων μεγεθών που μελετήσαμε στη παρούσα εργασία για πιο ρεαλιστική εξαγωγή συμπερασμάτων.

	Μέσος όρος
Αριθμός επιβατών	1689
Διάρκεια παραμονής στο λιμάνι (hh:mm)	10:19
Ελιγμοί (hh:mm)	0:30
Πορεία (hh:mm)	0:20
Καύσιμο κύριας μηχανής (t)	12,359

Καύσιμο βοηθητικής μηχανής (t)	209,91
Ενέργεια κύριας μηχανής (kWh)	60.521,04
Ενέργεια βοηθητικής μηχανής (kWh)	1.100.281,46

Πίνακας 6.12 : Μέσες τιμές υπολογισμένων μεγεθών κρουαζιερόπλοιών για το Λιμάνι του Ηρακλείου το έτος 2019 .





Εικονα6.5: Μέσος όρος παραγόμενης ενέργειας κύριων & βοηθητικών μηχανών.

6.4 Σύγκριση εκπομπών αέριων Ηρακλείου με το λιμάνι της Σούδας

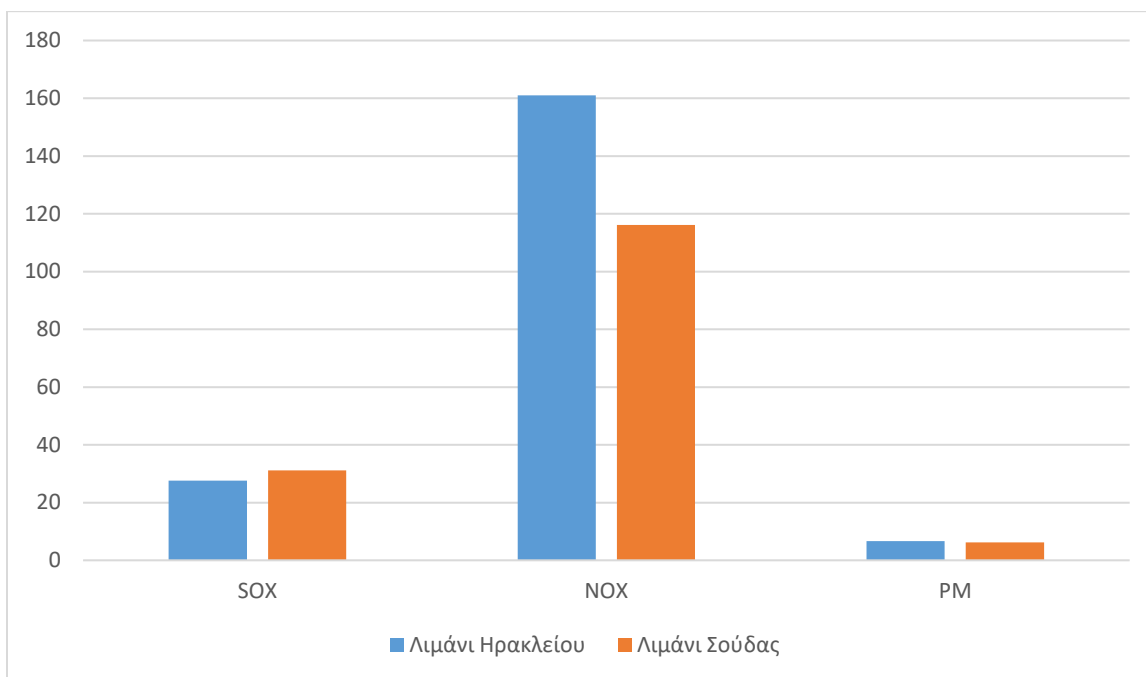
Το λιμάνι της Σούδας εξυπηρετεί πλοία εσωτερικού, από και προς Πειραιά, καθώς και πλοία εξωτερικού, εμπορικά ή κρουαζιερόπλοια. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Λιμενικού Ταμείου Χανίων την περίοδο 2010-2019 στη Σούδα αφίχθηκαν 671 πλοία, ενώ ο αριθμός των επιβατών έφτασε το 1.234.715. Ως η καλύτερη χρονιά της δεκαετίας καταγράφηκε το 2019, καθώς στη Σούδα αφίχθηκαν 132 κρουαζιερόπλοια και 265.956 επιβάτες. (https://www.ethnos.gr/ellada/82451_hania-dekaetia-anodoy-gia-tin-kroyaziera-sto-limani-tis-soydas, 2020)



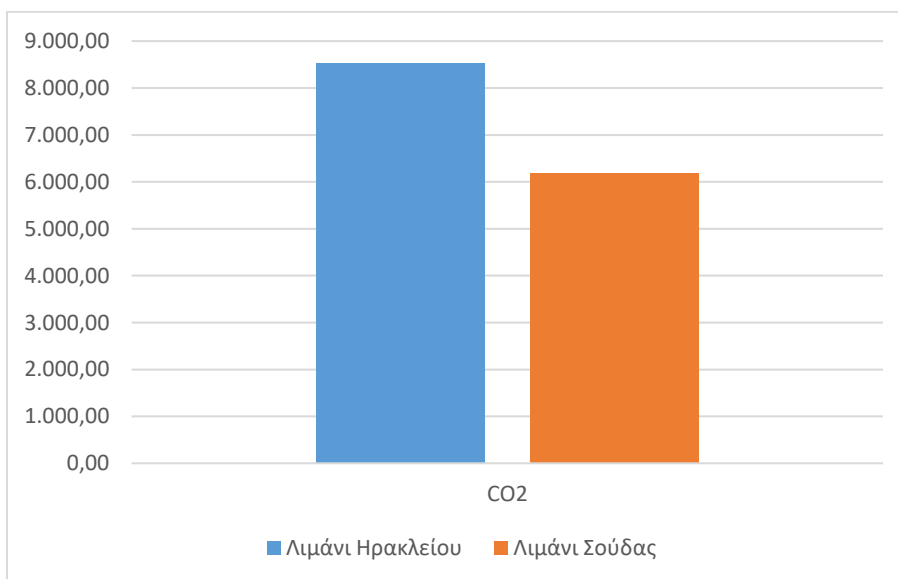
Εικόνα 6.6 :Το λιμάνι της Σούδας

Η σύγκριση, θα περιοριστεί στα κρουαζιερόπλοια της Σούδας και του Ηρακλείου αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το λιμάνι της Σούδας και αυτά που προέκυψαν από την υπολογιστική μέθοδο που εφαρμόστηκε στο Ηράκλειο προκύπτει το παρακάτω γράφημα :

Υπολογισμός αέριων ρύπων κρουαζιερόπλοιών στο λιμάνι του Ηρακλείου | Ιωάννης Κονσολάκης



Εικόνα 6.7 :Σύγκριση εκπομπών αερίων ρύπων λιμανιών Ηρακλείου & Σούδας (SOx,NOx ,PM)



Εικόνα 6.8 :Σύγκριση εκπομπών αερίων ρύπων λιμανιών Ηρακλείου & Σούδας (CO₂)

	Λιμάνι Ηρακλείου	Λιμάνι Σούδας
Αριθμός κατοίκων (Απογραφή 2011)	140.730	108.642*
Αριθμός αφίξεων κρουαζιερόπλοιών	204	132
Συνολικές εκπομπές (σε τόνους)	8.733	6.347
Ποσότητα ρύπων ανά πληθυσμό (τόνοι/1000 κατοίκους)	6,20	5.84

Πίνακας 6.13: Συγκριτικός πίνακας Ηρακλείου -Σούδας (έτος 2019)

*Ο πληθυσμός που υπολογίστηκε για το λιμάνι της Σούδας αναφέρεται στο σύνολο του ενιαίου Καλλικρατικού Δήμου Χανίων.

6.5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εφαρμογής για τον υπολογισμό αέριων εκπομπών στο λιμάνι του Ηρακλείου και της σύγκρισης που έγινε παραπάνω με το λιμάνι της Σούδας όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα και την σύγκριση τους, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα :

- 1) Με βάση τον υπολογισμό των αέριων εκπομπών για το λιμάνι της Σούδας, εκπέμπονται συνολικά 6.347 τόνοι (CO₂,NO_x, SO_x,PM) για το έτος 2019. (Δουνδουλάκης, 2020)
- 2) Με βάση τον πληθυσμό των δυο περιοχών, ένας κάτοικος Ηράκλειου δέχεται μεγαλύτερη επιβάρυνση στην υγεία του (6,20 τόνους/1000 κατοίκους) και αυτό επιδεινώνεται αν συνυπολογίσουμε και την εγγύτητα της πόλεως του Ηρακλείου

- με το λιμάνι. Σε αντίθεση με το λιμάνι της Σούδας που απέχει 7 χλμ. από την πόλη των Χανίων.
- 3) Το λιμάνι του Ηρακλείου το 2019 δέχθηκε 204 κρουαζιερόπλοια ενώ η Σούδα 134.Επίσης το Λιμάνι του Ηρακλείου επιβαρύνθηκε με 2000 σχεδόν τόνους καυσίμου απ' ό,τι το Λιμάνι της Σούδας
 - 4) Σύμφωνα με την υπολογιστική μέθοδο οι μήνες που έχουμε τη πιο μεγάλη κατανάλωση καυσίμου είναι οι φθινοπωρινοί (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος) καθώς τότε κορυφώνεται η κίνηση κρουαζιερόπλοιων. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν συνυπολογίσουμε και τις πολλές αφίξεις στο Αεροδρόμιο Ν. Καζαντζάκης ιδίως από χώρες της Κεντρικής Ευρώπης, που ξεκινούν το πρόγραμμα της κρουαζιέρας τους από το λιμάνι του Ηρακλείου.

6.6 Πιθανές λύσεις του προβλήματος της αέριας ρύπανσης από κρουαζιερόπλοια στο λιμάνι.

Μερικές λύσεις που μπορούν να προταθούν επιγραμματικά είναι οι εξής:

- Χρήση νέων κινητήρων για κατανάλωση καθαρότερων καυσίμων, παρότι αυτό συντελέσει στην αύξηση του κόστους καυσίμων και στο κόστος λειτουργίας του πλοίου.
- Χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο το οποίο αποτελεί μια λύση που μειώνει τις εκπομπές ρύπων κοντά στο μηδέν.
- Περιορισμός της ταχύτητας των πλοίων στις θαλάσσιες οδούς γύρω και εντός του λιμανιού.
- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε ελλιμενισμένα πλοία τα οποία δεν χρειάζεται πλέον να κάνουν χρήση των Diesel γεννητριών τους επιτυγχάνοντας έτσι μια πολύ καλή εναλλακτική και ταυτόχρονα οικονομικά συμφέρουσα επιλογή.

Βιβλιογραφία

- Agency, E. E. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*.
- Caterpillar. (2020). *M43C*. Ανάκτηση από 07 2020 απο Caterpillar: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10752923>
- Caterpillar. (2020, 07). *MAK VM43C*. Ανάκτηση από 07 2020 απο Caterpillar:<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10752586>
- Corbett et al. (2007). *Mortality from ship emissions: a global assessment*. College of Marine and Earth Studies University of Delaware.
- De Meyer, P. M. (2008). Emissions from International shipping in the Belgian Part of the North Sea and the Belgian Seaports. *Atmospheric Environment, vol.42, Issue 1*, σσ. 196-206.
- e-nautilia.gr. (2020, 10 04). *Οδικός χάρτης κανονισμού MRV*. Ανάκτηση από <https://e-nautilia.gr/sustima-mrv-orismoi-hmerominies-efarmogi/>
- ENTEC. (2002). *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European community*. Norwich UK: Entec UK Limited, Chris Whall, David Cooper (IVL), Karen Archer, Layla Twigger, Neil Thurston, David Ockwell, Alun McIntyre, Alistair Ritchie.
- Forster, C. S. (2007). Parameterization of Convective Transport in a Lagrangian Particle Dispersion Model and Its Evaluation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology (vol 46)*, σσ. 403-422.
- Hewitt, P. G. (2010). *Conceptual Physics : International Edition*. City college of San Francisco.
- https://www.ethnos.gr/ellada/82451_hania-dekaetia-anodoy-gia-tin-kroyaziera-sto-limani-tis-soydas. (2020, 09). Ανάκτηση από Ανακτηση 09 2020 απο: https://www.ethnos.gr/ellada/82451_hania-dekaetia-anodoy-gia-tin-kroyaziera-sto-limani-tis-soydas
- IMO. (2020, 5 8). *IMO What is it*. Ανάκτηση από https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/Documents/What%20it%20is%20Oct%202013_Web.pdf
- IMO. (2020a). *MARPOL Annex I – Prevention of Pollution by Oil*. Ανάκτηση από <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/OilPollution/Pages/Default.aspx>
- IMO. (2020b, 06 <http://www.imo.org/en/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx>). *Summary of Status of Convention*.
- Juan Moreno-Gutiérrez, F. C.-G. (2015, 06 15). Methodologies for estimating shipping emissions and energy consumption: A comparative analysis of current methods. *Energy*, σσ. 603-616.

- Larashi, L. (2018). *Στατιστική ανάλυση δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας*. Χανιά: Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- MAN. (2020). *Marine Engine Programme 2019*. Ανάκτηση από https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/4510_0017_02web.pdf
- marineinsight. (2020, 08). *Marpol index*. Ανάκτηση από <https://www.marineinsight.com/maritime-law/marpol-convention-shipping/>
- Marinetraffic. (2020). *Marinetraffic*. Ανάκτηση από 2020, από [Marinetraffic: www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com)
- Miola, A. (2010). *Regulating air emissions from ships. the state of the art on methodologies, technologies and policy options*.
- Sulzer. (2020). *Wartsila-Sulzer ZA40S*. Ανάκτηση από https://kupdf.net/download/sulzer-za40s_5ab3d7b5e2b6f575252f52ce02_pdf
- vesselregister.dnvgl.com. (2020). *Vessel register for DNV GL*. Ανάκτηση από <https://vesselregister.dnvgl.com/vesselregister/vesselregister.html>
- W46, W. (2020, 07). *Wartsila W46 product guide*. Ανάκτηση από 07 2020, από [Wartsila.com: http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/rhapsody%20de1/Wartsila%20W46.pdf](http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/rhapsody%20de1/Wartsila%20W46.pdf)
- Wartila 46F. (2020, 07). *Wartila 46F product guide*. Ανάκτηση από <https://www.wartsila.com/marine/build/marine-brochures-pardot-redirects/engines/diesel-engines/wartsila-46f-product-guide>
- Wartsila 20. (2020, 07). *Wartsila 20 product guide*. Ανάκτηση από 07 2020, από [Wartsila.com: https://www.wartsila.com/marine/build/marine-brochures-pardot-redirects/engines/diesel-engines/wartsila-20-product-guide](https://www.wartsila.com/marine/build/marine-brochures-pardot-redirects/engines/diesel-engines/wartsila-20-product-guide)
- Wartsila 38. (2020, 07). *Wartsila 38 Project Guide*. Ανάκτηση από 07 2020, από [Wartsila.com: http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/Wartsila%2038%20project%20guide.pdf](http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/Wartsila%2038%20project%20guide.pdf)
- Wartsila Vasa. (2020, 07). *Wartsila Vasa 32 project guide*. Ανάκτηση από 07 2020 από [Wartsila: https://kupdf.net/downloadFile/59ad4d60dc0d60ee73568edb](https://kupdf.net/downloadFile/59ad4d60dc0d60ee73568edb)
- Wartsila, V. (2020, 07). *Wartsila Vasa 32 project guide*. Ανάκτηση από 07 2020 από [Wartsila.com: https://kupdf.net/download/wartsila-vasa-32-project-guide_59ad4d60dc0d60ee73568edb_pdf](https://kupdf.net/download/wartsila-vasa-32-project-guide_59ad4d60dc0d60ee73568edb_pdf)
- Wartsila32. (2020, 07). *Wartsila 32 product guide*. Ανάκτηση από 07 2020 από [wartsila.com: https://www.wartsila.com/marine/build/marine-brochures-pardot-redirects/engines/diesel-engines/wartsila-32-product-guide](https://www.wartsila.com/marine/build/marine-brochures-pardot-redirects/engines/diesel-engines/wartsila-32-product-guide)
- Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engines 8th Edition*.
- www.explorecrete.com. (2020). Ανάκτηση από www.explorecrete.com.

- Δαγκίνης, & Ν. (2012). *Κατασκευαστική Εξέλιξη Συστημάτων Πλοίων*.
- Δουνδουλάκης. (2020). *Περιβαλλοντική Διαχείριση Λιμένων. Αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και πολιτικές μείωσης περιβαλλοντικών*. Πάτρα.
- Δουνδουλάκης, Ε. (2018). □ *ύγκριση μεθοδολογιών υπολογισμού εκπεμπόμενων αέριων ρύπων στη ναυτιλία*. Χανιά.
- Δουνδουλάκης, Ε. (2020). *Περιβαλλοντική Διαχείριση Λιμένων. Αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και πολιτικές μείωσης περιβαλλοντικών*. Πάτρα.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ενέργεια, κ. α. (2020, 07). *Επίσημος ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/clima/change/causes_e
- Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο. (2020, 06 04). *ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2015/757 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 29ης Απριλίου 2015*. Ανάκτηση από <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0757&from=EL>
- Ζάνης, Π. (2014). *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ*. Θεσσαλονίκη.
- IMO. (2014). *Third IMO greenhouse gas study*. London.
- Κόρτικλα Άννα Μαρία. (2015). *Ναυτιλία και Περιβάλλον*. Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Μαραγκογιάννη, Α. (2017). *Combined methodology for the quantification of emissions of gaseous pollutants by cruise ships. Estimation of induced social costs and evaluation of the environmental performance of ports*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα ΜΠΔ.
- Νερσιγιάν, Μ. (2004). *Σημειώσεις Καυσίμων-Λιπαντικών*. Πειραιάς: Κέντρο Επιμόρφωσης Στελεχών Εμπορικού Ναυτικού.
- Νικητάκος, Δ. &. (2012 Μάρτιος-Απρίλιος). *Κατασκευαστική Εξέλιξη Συστημάτων Πλοίων*.
- ΟΛΗ . (2020). Ανάκτηση από www.portheraclion.gr
- Τζανάτος, Ε. (2010). *Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus*.
- Χρέμου Ευανθία. (2013). *Μακροχρόνιες μεταβολές στις εκπομπές των αέριων ρύπων στην Ελλάδα*. Αθήνα : Διπλωματική Μεταπτυχιακή εργασία ΕΜΠ-Πανεπίστημο Πειραιώς.