



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Χανιά 2016

Εκπομπές αέριων ρύπων σε λιμένες της Μεσογείου



Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Μοσχόπουλος

Επιβλέπων:

Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Ιούλιος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της μελέτης και του υπολογισμού των επιπτώσεων της αέριας μόλυνσης στα λιμάνια από την παρουσία και τις δραστηριότητες των πλοίων. Τα πλοία επηρεάζουν σημαντικά την αέρια ρύπανση, αν και σε μικρότερα ποσοστά από άλλα μέσα μεταφοράς. Οι αέριοι ρύποι συντελούν αρνητικά στην ποιότητα του περιβάλλοντος σε ανησυχητικά μεγάλο βαθμό. Αυτό συμβαίνει διότι εκτός από τους άμεσους κινδύνους που παρουσιάζονται για την ανθρώπινη υγεία, συντελούν και στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) έχει υιοθετήσει περισσότερες από 25 βασικές Συμβάσεις για τη ναυτική ασφάλεια, πρόληψη ρύπανσης, ευθύνη και αποζημίωση, καθώς και ένα μεγάλο αριθμό αυτοτελών υποχρεωτικών και μη κωδίκων. Αυτά τα νομικά κείμενα πέτυχαν να μειώσουν δραστικά τη ρύπανση από τα πλοία και αποδεικνύουν την δέσμευση του Οργανισμού και της ναυτιλιακής βιομηχανίας για την προστασία του περιβάλλοντος

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αναλυτικές μεθοδολογίες υπολογισμών της αέριας ρύπανσης εντός κάποιων λιμένων καθώς και η περιγραφή των εν δυνάμει ρυπογόνων δραστηριοτήτων τους. Τα λιμάνια που μελετώνται είναι τα εξής: Αργοστόλι (Κεφαλονιά, Ελλάδα), Μπάρι και Βενετία (Ιταλία), Βαλεαρίδες νήσοι (Ισπανία) Dubrovnik και Split (Κροατία).

Τέλος προτείνονται βιώσιμες εναλλακτικές και δράσεις για την μείωση της αέριας μόλυνσης εντός των λιμένων.

ABSTRACT

This current dissertation was written in terms of the study of the effects of airborne pollution in ports from the presence and the activities of vessels. Ports have an important - although small relative to other modes of transport - turnout in air pollution balance, but which does not cease to be appreciable because of its constant observed increase in traffic year after year. The gaseous pollutants negatively contribute to the quality of the environment at high extent. This can be attributed not only to the direct health hazards effect but also to their contribution to the enhancement of the greenhouse effect.

The International Maritime Organization (IMO) has adopted more than 25 core conventions on maritime safety, pollution prevention, liability and compensation, as well as a large number of independent and non-mandatory codes. These instruments have managed to drastically reduce pollution from ships and demonstrate the commitment of the Organization and the shipping industry for environmental protection.

In the current work methodologies for detailed calculations of air pollution in ports and a description of their potentially polluting activities, are presented.

The ports that are being studied are: Argostoli (Kefalonia, Greece), Bari and Venice (Italy), Balearic Islands (Spain) Dubrovnik and Split (Croatia).

Finally, viable alternatives and actions for the reduction of airborne pollution in ports are proposed.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας επιθυμώ να εκφράσω πρώτα από όλα τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδωνα για την ανάθεση του θέματος και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της παρούσας Εργασίας, καθώς και τα μέλη Σ.Ε.Π. της Τριμελούς μου Επιτροπής, κ. Πουλιέζο Αναστάσιο και κ. Κονσολάκη Μιχαήλ.

Τέλος, 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 το χρονικό διάστημα της φοιτητικής μου διαδρομής και παραμονής μου στα Χανιά .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΡΥΠΟΙ	7
1.1 Πηγές εκπομπών αέριων ρύπων	7
1.1.1 Διοξείδιο του Θείου (SO ₂).....	9
1.1.2 Οξείδια του Αζώτου (NO _x).....	10
1.1.3 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)	12
1.1.4 Αιωρούμενα σωματίδια (PM - Particulate Matter)	15
1.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....	22
2.1 Πρωτόκολλο ΚΥΟΤΟ	28
2.1.1 Περιεχόμενο του πρωτοκόλλου του Κιότο.....	30
2.2 Διεθνής σύμβαση MARPOL παράρτημα VI	31
2.2.1 Παράρτημα VI, Tier I	32
2.2.2 Παράρτημα VI, Tier II και III	33
2.2.2.1 Περιοχές ελέγχου των εκπομπών.....	34
2.2.2.2 Κανόνες εκπομπών NO _x	35
2.2.2.3 Κανόνες εκπομπών SO _x	36
2.2.2.4 Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου και Ενεργειακή Απόδοση.....	39
2.2.2.5 Λοιπές Προβλέψεις	39
2.2.2.6 Συμμόρφωση	39
2.2.2.7 Μέσα ελέγχου εκπομπής αερίων ρύπων.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΛΟΙΩΝ	41
3.1 Τύποι Πλοίων	42
3.1.1 Φορτηγά Πλοία (Cargo Ships).....	42
3.1.2 Επιβατηγά Πλοία (Passenger Ships)	47

3.1.3	Πλοία Βοηθητικής Ναυτιλίας (Auxiliary Ships)	50
3.1.4	Ειδικού Προορισμού Πλοία (Special Purpose Ships)	51
3.2	Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας Πλοίων	51
3.2.1	Κύρια Συστήματα.....	52
3.2.2	Βοηθητικά Συστήματα.....	56
3.2.3	Λειτουργικές περίοδοι.....	59
3.2.4	Καύσιμα.....	64
3.2.4.1	<i>Ορυκτά Καύσιμα.....</i>	<i>65</i>
3.2.4.2	<i>Καύσιμα Βιομάζας</i>	<i>67</i>
3.2.4.3	<i>Προϊόντα Αποβλήτων.....</i>	<i>68</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		69
4 ΛΙΜΑΝΙΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ.....		69
4.1.1	Αργοστόλι	69
4.1.2	Μπάρι.....	72
4.1.3	Βενετία.....	73
4.1.4	Βαλεαρίδες νήσοι	76
4.1.4.1	<i>Λιμάνι Ibiza.....</i>	<i>76</i>
4.1.4.2	<i>Λιμάνι Mahon.....</i>	<i>77</i>
4.1.5	Dubrovnik.....	79
4.1.6	Split	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		82
5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ		82
5.1	Αναλυτική μέθοδος υπολογισμού	82
5.1.1	Υπολογισμός εκπομπών : Λέβητες	84
5.1.2	Δεδομένα υπολογισμού	84
5.1.3	Στάδια υπολογισμού.....	88
5.2	Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού.....	91
5.3	Οι βασικές διαφορές: “Αναλυτικής” - “Απλοποιημένης” μεθόδου	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	94
6 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ.....	94
6.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	94
6.2 Παραδοχές.....	95
6.3 Δεδομένα - Ανάλυση	95
6.4 Συνοπτικά αποτελέσματα	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	104
7 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΜΠΑΡΙ	104
7.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	104
7.2 Παραδοχές.....	105
7.3 Δεδομένα - Ανάλυση	105
7.4 Συνοπτικά αποτελέσματα	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	115
8 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΒΕΝΕΤΙΑΣ.....	115
8.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	115
8.2 Παραδοχές.....	116
8.3 Δεδομένα - Ανάλυση	116
8.4 Συνοπτικά αποτελέσματα	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	125
9 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΒΑΛΕΑΡΙΔΩΝ ΝΗΣΩΝ (IBIZA).....	125
9.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	125
9.2 Παραδοχές.....	126
9.3 Δεδομένα - Ανάλυση	126
9.4 Συνοπτικά αποτελέσματα	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	135
10 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΒΑΛΕΑΡΙΔΩΝ ΝΗΣΩΝ (MAHON).....	135
10.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	135
10.2 Παραδοχές.....	136

10.3	Δεδομένα - Ανάλυση	136
10.4	Συνοπτικά αποτελέσματα	144
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11		145
11	ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ DUBROVNIK.....	145
11.1	Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	145
11.2	Παραδοχές.....	146
11.3	Δεδομένα - Ανάλυση	146
11.4	Συνοπτικά αποτελέσματα	154
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12		155
12	ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ SPLIT.....	155
12.1	Κίνηση πλοίων στο λιμάνι.....	155
12.2	Παραδοχές.....	156
12.3	Δεδομένα - Ανάλυση	156
12.4	Συνοπτικά αποτελέσματα	165
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13		166
13	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	166
13.1	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	166
13.2	ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	168
13.4	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο	169
13.4.1	LNG ως καύσιμο πλοίων.....	169
13.4.2	Διαθεσιμότητα LNG	170
Βιβλιογραφία		173

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα λιμάνια αποτελούν έναν πολύ σημαντικό και καίριο παράγοντα στα διεθνή δίκτυα μεταφορών, μεταξύ των εναέριων και οδικών μεταφορών. Η λειτουργία τους, λόγω και της ραγδαίας επισκευσιμότητάς τους αλλά και της φύσης των δρώμενων που λαμβάνουν χώρα σε αυτά, έχει πλέον συνεισφέρει αρνητικά στο περιβάλλον παρουσιάζοντας πολλαπλές επιπτώσεις σε αυτό, τόσο από τα πλοία τα οποία το χρησιμοποιούν αλλά και από παρεμφερείς δραστηριότητες που εκτυλίσσονται στην άμεση και έμμεση περιοχή ενός λιμανιού. Στην περιοχή την οποία περικλείει ένα λιμάνι συντελούνται διαφορετικές δραστηριότητες οι οποίες και μεταβάλουν αρνητικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας εντός του λιμανιού. Αρχικά στο Κεφάλαιο 1 λοιπόν γίνεται συζήτηση για τους πιθανούς ρύπους από τις θαλάσσιες μεταφορές καθώς και για τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 αναφέρεται η νομοθεσία και οι Ευρωπαϊκοί κανονισμοί. Δραστηριότητες όπως η πλεύση των πλοίων εντός του λιμένα, η αποθήκευση και η διαχείριση φορτίων και επιβατών, συνεργεία, εργασίες συντήρησης των πλοίων αλλά και των εξοπλισμών τους, η πιθανή διάλυση μετά τη λειτουργική ηλικία ενός πλοίου σύμφωνα με την νομοθεσία, ο ανεφοδιασμός με καύσιμα, η βυθοκόρηση - αναμόρφωση του λιμένα και η απομάκρυνση των υλικών που προκύπτουν, οι διάφορες κατασκευές και ανακατασκευές εντός του περιβάλλοντος χώρου του λιμανιού (όπως συντήρηση ή και ανέγερση κτιριακών υποδομών), μετακινήσεις και δραστηριότητες οχημάτων καθώς και η περισυλλογή των απορριμμάτων παρουσιάζουν ποικίλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον εναέριο όγκο ενός λιμανιού, στο θαλασσινό νερό και κατ' επέκταση στους θαλάσσιους οργανισμούς και μικροοργανισμούς, στο έδαφος, τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, τη χερσαία χλωρίδα και πανίδα και τέλος και στον άνθρωπο.

Η εφαρμογή μιας πολιτικής στα λιμάνια η οποία θα είναι επαρκής και τεχνοοικονομικά εφαρμόσιμη θα πρέπει να αποτελείται από νομοθεσίες και κανονισμούς οι οποίοι δε θα περιορίζουν άμεσα τις δραστηριότητες εντός τους αλλά θα ενσωματώνουν σταδιακά τις περιβαλλοντικές αρχές σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων του και των λειτουργιών του. Οποιαδήποτε μεταβολή προς την καλύτερη περιβαλλοντικά διαχείριση του λιμανιού θα πρέπει επίσης να συνοδεύεται από οικονομικά κριτήρια ώστε να είναι ολοκληρωμένη και βιώσιμη.

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 2 επιπλέον η ύπαρξη αρκετά μεγάλου πλήθους μελετών από διεθνείς φορείς οι οποίες τονίζουν την αναγκαιότητα να ληφθούν άμεσα δραστικά μέτρα ώστε να μειωθούν οι εκπομπές αερίων ρύπων παγκοσμίως, μαρτυρά την σοβαρότητα του προβλήματος. Η ενεργειακά αποδοτική διαχείριση του έργου της ναυτιλίας δεν αποτρέπει την συμβολή της στην αέρια ρύπανση, η συμμετοχή μάλιστα της οποίας μελετάται ενδελεχώς τα τελευταία χρόνια από την παγκόσμια

επιστημονική κοινότητα. Άμεση προτεραιότητα φορέων όπως ο IMO (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός) αλλά και άλλων με κανονιστική αρμοδιότητα, αποτελεί η εξεύρεση μέτρων ώστε να περιοριστούν επαρκώς οι αέριοι ρύποι στα λιμάνια.

Παγκοσμίως η κλιματική αλλαγή, της οποίας οι συνέπειες είναι παραπάνω από εμφανής στις μέρες μας, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα, το οποίο χρήζει άμεσης αντιμετώπισης και επίλυσης. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου επιδεινώνεται από την έκλυση των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και όζον O₃) τα οποία δημιουργούνται και από τις διάφορες δραστηριότητες των πλοίων εντός του χώρου των λιμένων. Επιπροσθέτως ατμοσφαιρικοί αέριοι ρύποι (διοξείδιο του θείου SO₂, οξείδια του αζώτου NO_x, οι διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις VOCS και τα πρωτογενή αιρούμενα σωματίδια PM) δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις σε περιβάλλον αλλά και στην υγεία των κατοίκων γύρω από την ευρύτερη περιοχή του λιμένα. Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια οδηγία ή κανονιστικό πλαίσιο όπου να θέτονται όρια για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία.

Η έκλυση των αερίων ρύπων από τα πλοία αλλά και γενικά από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε ένα λιμάνι (θαλάσσιες και μη) οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην καύση ορυκτών καυσίμων (και κυρίως υδρογονανθράκων) για την κίνηση πλοίων και οχημάτων αλλά και την ηλεκτροπαραγωγή εγκαταστάσεων αλλά και πλοίων. Επίσης μεγάλο ρόλο παίζει και ο τύπος του πλοίου όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 3. Κάθε τύπος πλοίου πρέπει να πληροί και ορισμένες προδιαγραφές.

Στο Κεφάλαιο 4 δίνονται τα λιμάνια υπό μελέτη της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Τα λιμάνια τα οποία μελετώνται είναι το Αργοστόλι, το Μπάρι, το λιμάνι της Βιέννης, των Βαλαερίδων νήσων, Dubrovnik και Split. Η ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθείται για τους υπολογισμούς αναφέρεται στο Κεφάλαιο 5. Ενώ στα Κεφάλαια 6,7, 8, 9, 10, 11 και 12 δίνονται τα αποτελέσματα της μελέτης για κάθε λιμάνι μαζί με τις αντίστοιχες παραδοχές που έγιναν για τους υπολογισμούς. Τέλος, στο Κεφάλαιο 13 και 14 παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα με κάποιες βελτιώσεις, προτάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΡΥΠΟΙ

1.1 Πηγές εκπομπών αέριων ρύπων

Στην περιοχή την οποία περικλείει ένα λιμάνι συντελούνται διαφορετικές δραστηριότητες οι οποίες και μεταβάλλουν αρνητικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας εντός του λιμανιού. Συναντώνται δε σε αρκετά διακριτά μεταξύ τους στάδια, τα οποία και παραθέτονται αμέσως [2]:

1. Είσοδος των πλοίων εντός του λιμένος
2. Πλεύση και ελιγμοί εντός του λιμένος
3. Λειτουργικές ανάγκες πλοίων κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης, όπως
 - i. Ηλεκτροδότηση
 - ii. Θέρμανση, κλιματισμός
 - iii. Ψύξη των μηχανών
 - iv. Φόρτωση και εκφόρτωση
4. Διάφορες εργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται εντός των λιμανιών, στα πλαίσια συντήρησης, οι οποίες περιλαμβάνουν αρκετές εργασίες οι οποίες εκλύουν ρύπους, όπως:
 - i. Απομάκρυνση βαφών
 - ii. Ηλεκτροσυγκολλήσεις
 - iii. Απομάκρυνση και αντικατάσταση επιβλαβών για το περιβάλλον υλικών (πχ υλικά που περιέχουν μόλυβδο και βαρέα μέταλλα)

Την κυριότερη πηγή ρύπανσης αποτελούν οι εκπομπές καυσαερίων των πλοίων, στις οποίες καταναλώνεται ορυκτό καύσιμο, το οποίο για οικονομικούς κυρίως λόγους αποτελείται από βαρύ μαζούτ, καύσιμο το οποίο περιέχει σε υψηλή περιεκτικότητα θείο (σε ποσοστά ακόμη και 90% μεγαλύτερα από βενζίνη ή συμβατικό πετρέλαιο). Οι κύριοι αέριοι ρύποι από τη χρήση βαρέως μαζούτ είναι οι παρακάτω [2]:

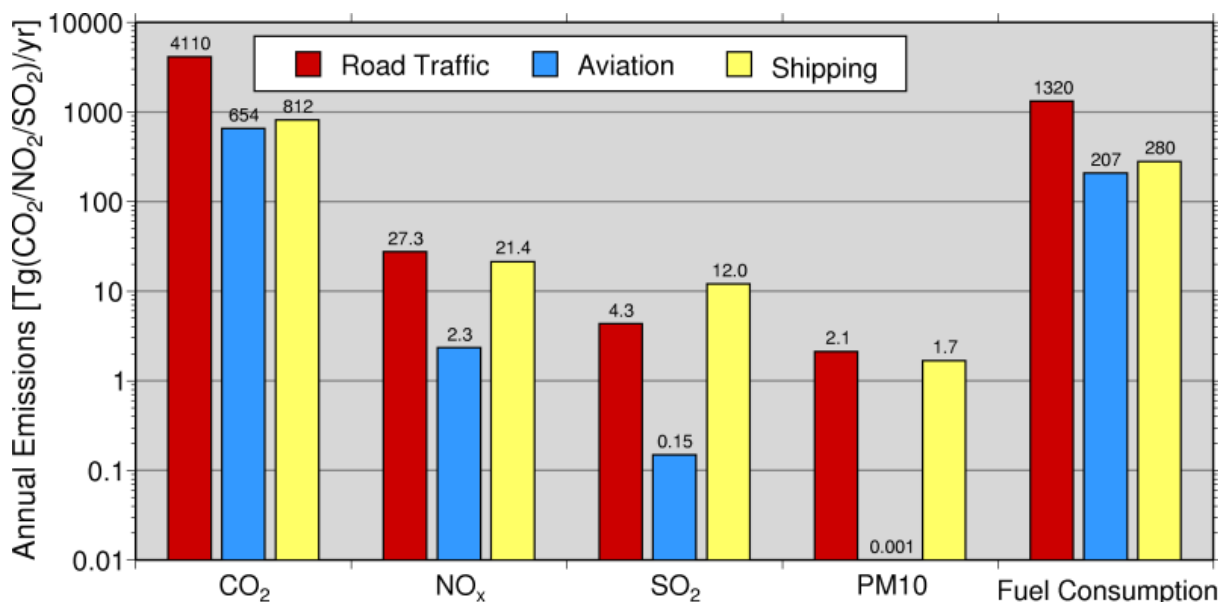
- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)
- Διοξείδιο του Θείου (SO_2)

- Οξείδια του Αζώτου (NO_x: NO₂)
- Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC)
- Πρωτοβάθμια αιωρούμενα σωματίδια (PM: PM₁₀ και PM_{2.5})
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αλλά και τα υπόλοιπα πλοία τα οποία χρησιμοποιούν συμβατικά ορυκτά καύσιμα (diesel) εκλύουν ακριβώς τους ίδιους ρύπους αλλά σε διαφορετικές ποσότητες. Η εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι άμεσα συνδεδεμένη με διάφορους παράγοντες του πλοίου και των μηχανών του που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου, όπως το σχήμα της γάστρας (του πυθμένα του πλοίου), η τραχύτητα του κύτους, το φορτίο του, η παλαιότητα των μηχανών αλλά και η κατάσταση λειτουργικότητάς τους, καθώς και εξωγενείς παράγοντες όπως ο χρόνος παραμονής στο αγκυροβόλιο και οι διάφοροι αναγκαίοι ελιγμοί κατά την παραμονή στο λιμάνι.

Εξίσου υπεύθυνες για την αέρια ρύπανση θεωρούνται και οι βοηθητικές μηχανές ενός πλοίου, όπως για παράδειγμα στα κρουαζιερόπλοια, καθώς οι βοηθητικές μηχανές είναι υπεύθυνες για την συνεχή κάλυψη σε ενέργεια όλου του πλοίου ώστε να είναι διαθέσιμες οι παροχές φιλοξενίας των επιβατών καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι.

Γενικότερα ο τομέας της ναυτιλίας όπως φαίνεται και στην Εικ. 1.1 συμβάλλει σημαντικά στην εκπομπή αέριων ρύπων.

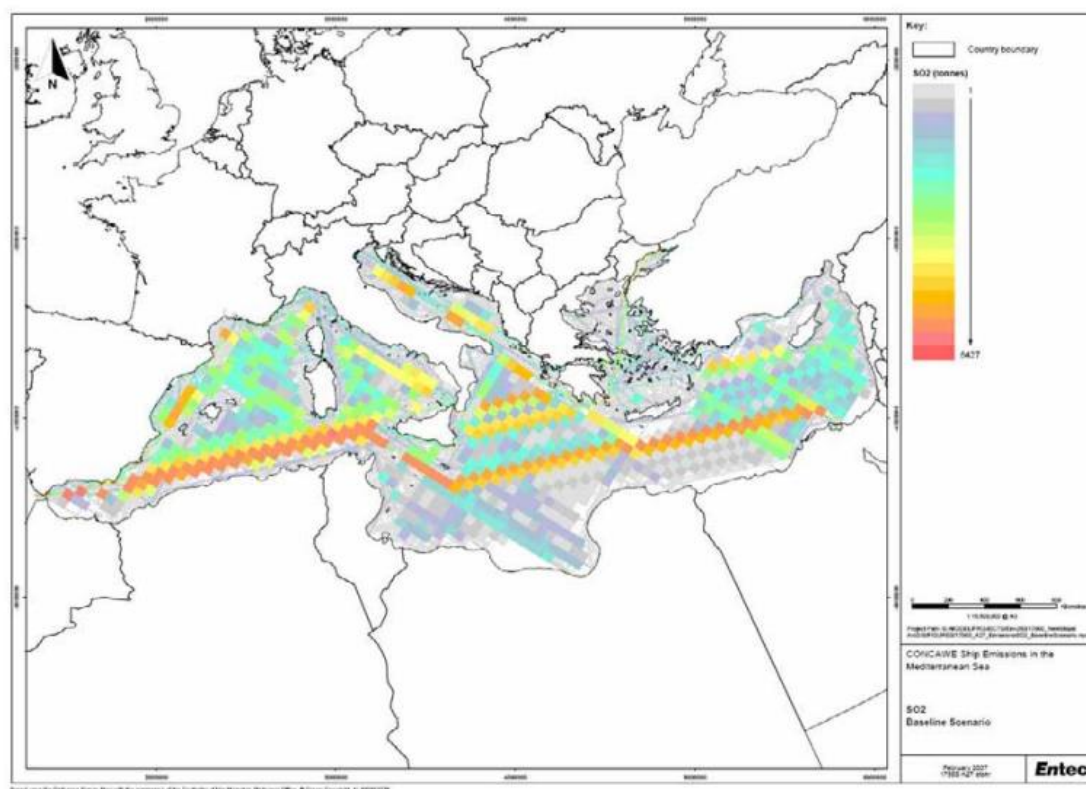


Εικόνα 1.1. Συγκριτικές εκπομπές καυσαερίων του έτους 2000 [3].

Στις παρακάτω υποενότητες θα αναλυθούν τα διάφορα είδη αερίων ρύπων όπου συναντούμε στα λιμάνια αλλά και τις επιπτώσεις αυτών σε υγεία και περιβάλλον. γίνεται αναφορά και σύντομη ανάλυση σε κάθε είδος αερίων σωματιδίων.

1.1.1 Διοξείδιο του Θείου (SO_2)

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) αποτελεί έναν από του κυριότερους ρύπους των αστικών περιοχών άρα και των λιμανιών. Συναντάται σε αέρια μορφή, χωρίς χρώμα και με αρκετά δυσάρεστη οσμή.



Εικόνα 1.2. Εκπομπές διοξειδίου του θείου πάνω από τη Μεσόγειο θάλασσα [4].

Μετατρέπεται σε θειώδες οξύ καθώς διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO_3 , το οποίο και δημιουργεί μέσω χημικών ενώσεων το θειικό οξύ H_2SO_4 , που αποτελεί το επικίνδυνο συστατικό της λεγόμενης όξινης βροχής. Όντας εύκολα διαλυτό, απορροφάται εύκολα από τα υγρά στο ανώτερο κυρίως μέρος του αναπνευστικού συστήματος και προκαλεί την έκκριση βλέννας, και σε μικρότερο ποσοστό στο κατώτερο αναπνευστικό. Συνδυαζόμενο με καπνό και αιωρούμενα σωματίδια – με τα οποία και συνήθως συνυπάρχει – μεταφέρεται στους πνεύμονες. Ο συνδυασμός των παραπάνω ουσιών οδηγεί στον έντονο ερεθισμό των πνευμόνων αλλά και σε σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης [4].

Η πηγή προέλευσής του παρατηρείται κυρίως κατά την καύση του καυσίμου (στερεού ή υγρού) όταν αυτό περιέχει επαρκή ποσότητα θείου. Το διοξείδιο του θείου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στην αναπνοή ατόμων με άσθμα αλλά και ατόμων που δραστηριοποιούνται στο ύπαιθρο (πχ αθλητές κλπ). Έκθεση με μικρή διάρκεια ατόμων που πάσχουν από άσθμα, σε υψηλά σχετικά επίπεδα, κατά τη διάρκεια μεσαίας δραστηριότητας, είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία των πνευμόνων, όπως δύσπνοια, πόνο στο στήθος και λαχάνιασμα. Παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις SO_2 , αν συνδυαστούν και με υψηλά ποσοστά αιωρούμενων σωματιδίων (PM) προκαλεί αναπνευστικές παθήσεις, σοβαρές μεταβολές στη φυσιολογία των πνευμόνων και επιδείνωση καρδιαγγειακών παθήσεων – αν υπάρχουν, καθώς και άσθμα, βρογχίτιδα και καρδιακή ανεπάρκεια. Ομάδες αυξημένου κινδύνου αποτελούν άτομα με καρδιαγγειακές και χρόνιες παθήσεις πνευμόνων, παιδιά και ηλικιωμένοι.

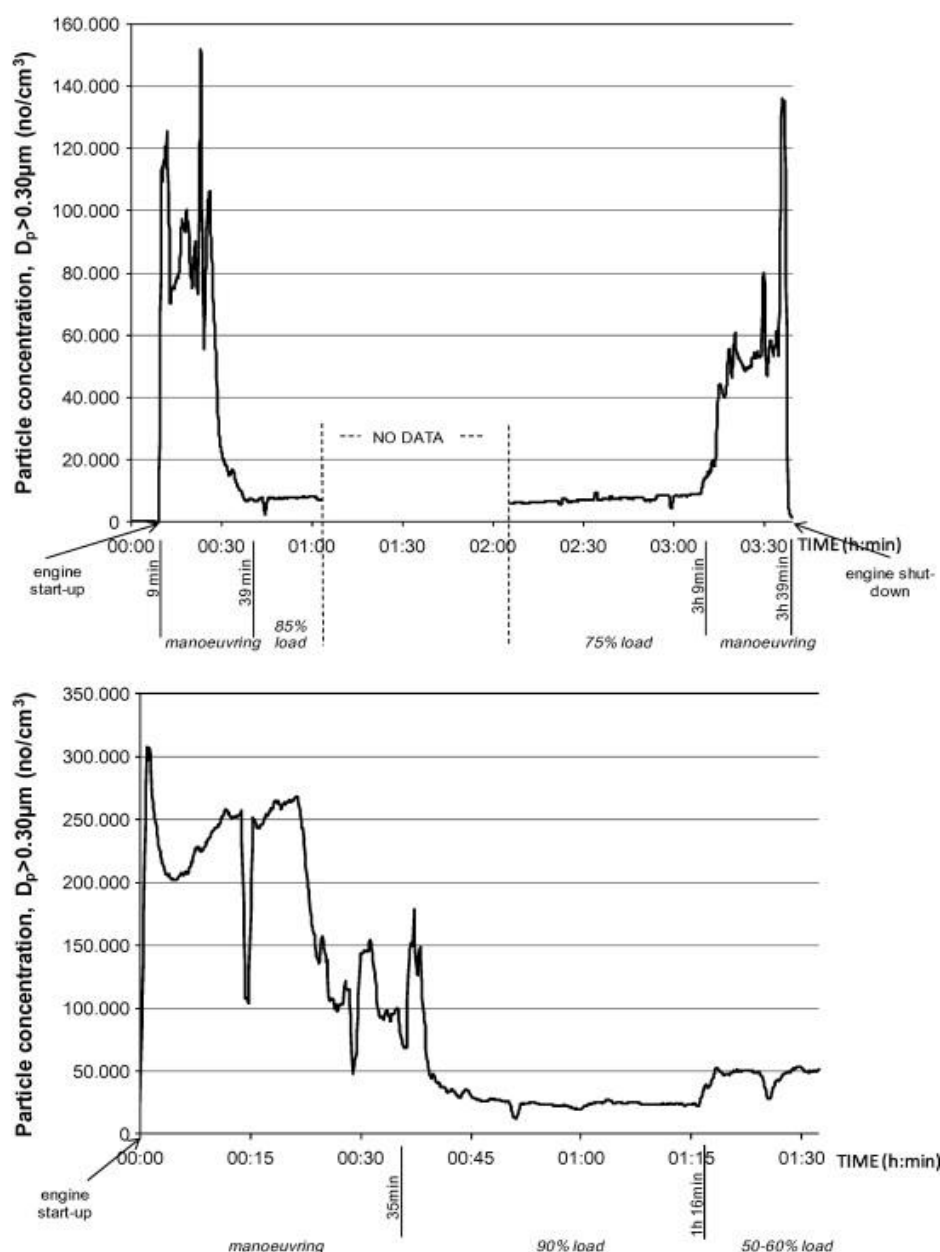
Όταν το διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου συνδυαστούν, αποτελούν προϋπόθεση εμφάνισης όξινης βροχής, η οποία προκαλεί αύξηση της οξύτητας του εδάφους και των νερών καθώς και την επιτάχυνση της διάβρωσης των κτιρίων και αρχαίων μνημείων (ιδίως των μαρμάρινων). Αποτελεί τέλος πρόδρομο των σωματιδίων PM 2.5, τα οποία προκαλούν σημαντικά προβλήματα στην υγεία.

1.1.2 Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Όταν αναφερόμαστε σε Οξείδια του Αζώτου εννοούμε το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) τα οποία και εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα ως αέρια ρύπανση. Το άζωτο αποτελεί το 78% της ατμόσφαιρας και κατά την καύση σε μηχανές εσωτερική καύσεως αλλά και λέβητες, δημιουργεί μέσω χημικής ένωσης οξείδια του αζώτου. Η κυριότερη χημική ένωση που συναντάται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) [5].

Η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου είναι τόσο υψηλή όσο η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η καύση της καύσιμης ύλης. Έτσι θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι μειώνοντας τη θερμοκρασία καύσης θα λύναμε το πρόβλημα της εκπομπής μονοξειδίου του αζώτου. Όμως καύση σε μεγάλη θερμοκρασία συνεπάγεται και μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης της μηχανής (ή του λέβητα), οπότε λόγω της μείωσης του βαθμού απόδοσης και της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης – όπως συνεπάγεται – η μείωση θερμοκρασίας καύσης δεν αποτελεί λύση.

Στην Εικ. 1.3 απεικονίζονται σχηματικά οι εκπομπές αερίων ρύπων οξειδίων του αζώτου κατά το μανουβράρισμα πλοίων. Όπως απεικονίζεται η μεγαλύτερη εκπομπή παρατηρείται στην εκκίνηση της μηχανής (μανούβρα) κατά μέσο όρο στα πρώτα τριάντα πέντε λεπτά.

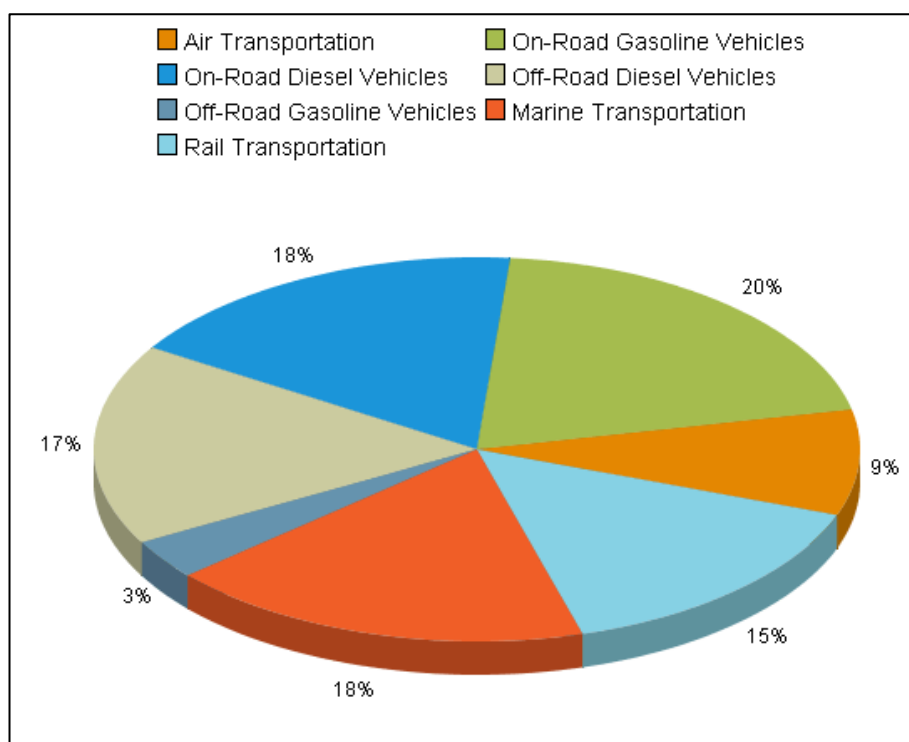


Εικόνα 1.3. Απεικόνιση των αιρούμενων σωματιδίων οξειδίων του αζώτου από ελιγμούς πλοίων [5].

Το μονοξείδιο του αζώτου συναντάται σε αέρια μορφή άχρωμο και άοσμο. Σε αντίθεση το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) έχει έντονη μυρωδιά και κόκκινο –κίτρινο προς καστανό χρώμα. Σε συνδυασμό με αιωρούμενα σωματίδια μειώνει τη φωτεινότητα στην ατμόσφαιρα και δημιουργεί την λεγόμενη «φωτοχημική αιθαλομίχλη». Μικρής διάρκειας έκθεση – μικρότερης από 3 ώρες – σε διοξείδιο του αζώτου είναι πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργία του αναπνευστικού και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νοσημάτων (πχ παιδικό άσθμα). Μεγαλύτερης διάρκειας έκθεση στο αέριο δύναται να προκαλέσει ευαισθησία στο αναπνευστικό και σε σοβαρές και μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων.

Όσον αφορά στο περιβάλλον, τα οξείδια του αζώτου είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση πολλών αρνητικών επιπτώσεων, όπως σημαντικές αλλαγές στην σύσταση της βλάστησης υδροβιότοπων και χερσαίων εκτάσεων, όξινη βροχή, αύξηση οξύτητας εδάφους, αύξηση τοξινών διαφόρων ειδών ψαριών κλπ. Άλλο ένα πρόβλημα από την υπερβολική ποσότητα οξειδίων του αζώτου στα αποθέματα των γλυκών υδάτων αποτελεί το φαινόμενο του ευτροφισμού, κατά το οποίο το νερό υπερφορτώνεται από θρεπτικά συστατικά. Τα πλεονάσματα σε άζωτο επιβαρύνουν έτσι την ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Στην Εικ. 1.4 δίνονται οι πηγές εκπομπής οξειδίων του αζώτου από τον τομέα των μεταφορών. Όπως φαίνεται τα φορτηγά μαζί με τα πλοία συμμετέχουν σε ποσοστό 40 και 32%, αντίστοιχα στη συνολική εκπομπή οξειδίων του αζώτου.



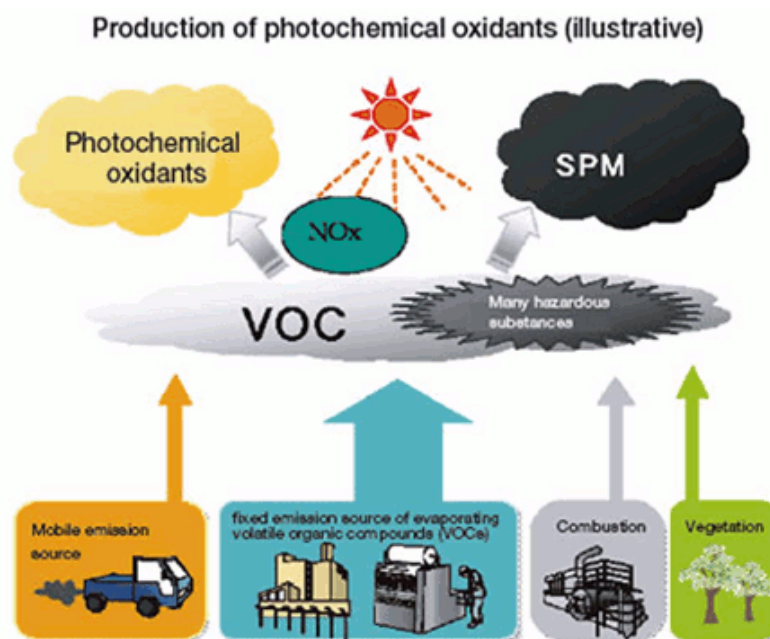
Εικόνα 1.4. Πηγές εκπομπής οξειδίων του αζώτου με το αντίστοιχο ποσοστό συμμετοχής αυτών [6].

1.1.3 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds -VOCs) αποτελούνται από οργανικές χημικές ουσίες με υψηλή πίεση ατμών σε θερμοκρασία δωματίου. Αποτέλεσμα της χαμηλής πίεσης ατμών αποτελεί το χαμηλό σημείο βρασμού, το οποίο προκαλεί μεγάλες ποσότητες μορίων να εξατμιστούν ή να εξαχνωθούν από την υγρή ή την στερεή μορφή τους και να αναμιχθούν στον αέρα. Για παράδειγμα η φορμαλδεΐδη, η οποία εξατμίζεται από τα διάφορα χρώματα, παρουσιάζει σημείο ζέσεως μόνο -19°C . Σύμφωνα με την ορολογία στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ως

VOC χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε οργανική ένωση της οποίας το αρχικό σημείο βρασμού είναι μικρότερο ή ίσο από τους 250°C μετρούμενο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση 101,3 kPa.

Πτητικές ενώσεις παρουσιάζονται σε πολλά και καθημερινά προϊόντα και υλικά (φυσικά ή και τεχνητά). Τα περισσότερα αρώματα ή μυρωδιές είναι αποτέλεσμα πτητικών ενώσεων. Καθώς αρκετές VOCs διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην φύση, όπως η επικοινωνία μεταξύ των φυτών, άλλες είναι άκρως επικίνδυνες για το περιβάλλον καθώς και για την υγεία. Οι ανθρωπογενείς εκλύσεις VOCs ρυθμίζονται νομικά από την ΕΕ (ιδίως σε κλειστούς χώρους όπου οι συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές) Καθώς οι συγκεντρώσεις σε πτητικές ενώσεις είναι συνήθως χαμηλές αλλά και κυρίως επειδή τα συμπτώματα αργούν να εμφανιστούν δεν είναι εύκολο να υπολογιστούν οι επιπτώσεις στην υγεία σε μελέτες. Συνήθως ενώ δεν είναι έντονα τοξικές, επιδεινώνουν παράγοντες υγείας όπως το άσθμα, πνευμονοπάθειες κλπ. ενώ είναι υπεύθυνες για ορισμένους τύπους καρκίνου όπως και για αναπαραγωγικές διαταραχές. Επιπλέον, όσον αφορά το περιβάλλον, συνεισφέρουν στην αύξηση του ποσού του όζοντος στην ατμόσφαιρα επιδεινώνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.5. Πηγές παραγωγής πτητικών οργανικών ουσιών [7].

Στην Ευρώπη, για το 2004, το συνολικό ποσό των VOCs που εκλύθηκε στο περιβάλλον από την παραγωγή αλλά και εφαρμογή χρωμάτων και καθαρισμό εργαλείων, υπολογίστηκε σε 550.000 tn. Λόγω των ανωτέρω δεδομένων η ΕΕ αποφάσισε την μείωση των πτητικών ενώσεων και έτσι συνέταξε την Οδηγία 2004/42/EK στην οποία καθορίζονται όρια στους διαλύτες των χρωμάτων και σε βερνίκια αλλά και σε διάφορα άλλα προϊόντα. Κάθε προϊόν που τηρεί τα όρια της κατηγορίας του, είναι προϊόν με χαμηλές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Low VOC).

Η Οδηγία της ΕΕ προέβλεπε δύο φάσεις προσαρμογής των παραγωγών στις χαμηλότερες ποσότητες: μία από 1-1-2007 και μία από 1-1-2010 Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες από τις κυριότερες πτητικές ενώσεις που μπορεί να συναντήσουμε σε περιβάλλον εργασιών ενός πλοίου και εντός λιμένος.

Βενζόλιο. Μία πτητική ένωση η οποία είναι γνωστή ως καρκινογόνα για τον άνθρωπο. Εκλύεται από τα καύσιμα και παρατηρείται στις εκπομπές καυσαερίων. Υπάρχουν βέβαια και φυσικές πηγές όπως εκρήξεις ηφαιστειών και πυρκαγιές δασών. Συχνά χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλαστικών, ρητινών και συνθετικών ινών. Το γεγονός ότι εξατμίζεται γρήγορα σε συνδυασμό με το υψηλότερο βάρος του από τον αέρα το καθιστά ικανό να συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο (πχ πόλεις). Ικανό να μολύνει τα τρόφιμα και το νερό αν εισαχθεί στο πεπτικό σύστημα μπορεί να οδηγήσει εμετό, ζάλη, υπνηλία, ταχυκαρδία καθώς και σε θάνατο (σε υψηλές συγκεντρώσεις).

Χλωριούχο μεθυλένιο. Το μεθυλενοχλωρίδιο είναι άλλη μια πτητική ένωση η οποία είναι εξαιρετικά επικίνδυνη για τους ανθρώπους. Συναντάται σε διαλυτικά κόλλας και σε ψεκαζόμενα χρώματα και έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί καρκίνο στα ζώα. Στο ανθρώπινο σώμα, το μεθυλενοχλωρίδιο μετατρέπεται σε μονοξείδιο του άνθρακα και ένα.

Μερικές VOCs, όπως το **στυρένιο** και το **λιμονένιο**, μπορεί να αντιδράσουν με οξείδια του αζώτου ή με το όζον για την παραγωγή νέων προϊόντων οξείδωσης και δευτερογενών πτητικών ενώσεων, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει αισθητά συμπτώματα ερεθισμού στον αναπνευστικό σύστημα. Άλλες επιπτώσεις στην υγεία περιλαμβάνουν τα μάτια, τη μύτη και ερεθισμό του λαιμού, πονοκεφάλους, απώλεια συντονισμού, ναυτία, και βλάβη στο ήπαρ, τους νεφρούς, και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Μερικές πτητικές ενώσεις υπάρχουν υπόνοιες ή είναι γνωστό ότι προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο.

Βασικά σημεία ή συμπτώματα που σχετίζονται με την έκθεση σε πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνουν επιπεφυκίτιδα, τη μύτη και δυσφορία στο λαιμό, πονοκέφαλος, αλλεργική αντίδραση του δέρματος, δύσπνοια, ναυτία, έμετος, αιμορραγία από τη μύτη, κόπωση, ζάλη.

Η ικανότητα των οργανικών χημικών ουσιών να προκαλούν επιδράσεις στην υγεία ποικίλλει σημαντικά από εκείνες που είναι πολύ τοξικές, σε εκείνες που δεν είναι ακόμα γνωστές οι επιπτώσεις στην υγεία. Όπως και με άλλους ρύπους, η έκταση και η φύση της επίδρασης στην υγεία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του ύψους της έκθεσης και το χρονικό διάστημα που εκτίθεται κάποιος σε αυτές. Προς το παρόν, δεν γνωρίζουμε πολλά για το τι μπορεί να προκύψει στην υγεία από τα επίπεδα των οργανικών που βρίσκονται συνήθως στα σπίτια.

1.1.4 Αιωρούμενα σωματίδια (PM - Particulate Matter)

Τα αιωρούμενα σωματίδια δημιουργούνται όταν εκπομπές οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου, σκόνες και βαρέα μέταλλα - οι οποίες προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων - συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα και αθροίζονται.

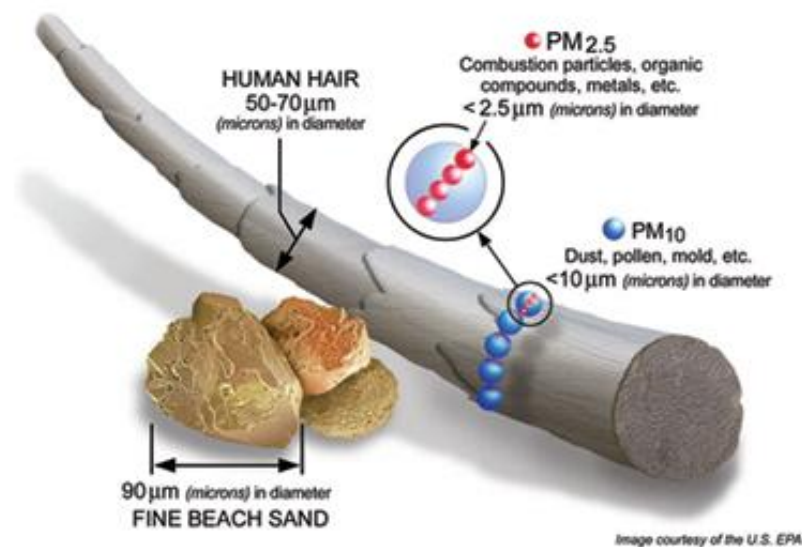
Θεωρούνται υπεύθυνα για πολλές ασθένειες, όπως άσθμα και καρδιακή ανεπάρκεια. Αποτελούν μια ιδιαίτερα σύνθετη μορφή ρύπου, που αποτελείται από μεγάλο αριθμό εξαιρετικά μικρών σωματιδίων που διαφέρουν μεταξύ τους στην σύσταση στο μέγεθος και στο σχήμα τους. Τα αιωρούμενα σωματίδια που συναντάμε στα καυσαέρια συνήθως περιέχουν τις παρακάτω ουσίες οι οποίες προέρχονται από την ατελή καύση ή από διάφορες προσμίξεις - ακαθαρσίες - στα καύσιμα και στα λιπαντικά [8]:

- Αιθάλη (soot)
- Οξείδια μετάλλων
- Θεϊκά άλατα

Ανάλογα με τη διάμετρό τους τα σωματίδια εμφανίζουν και διαφορετική επικινδυνότητα για τον άνθρωπο. Σωματίδια διαμέτρου από 5μm έως 10μm είναι δυνατόν να εισπνευσθούν από τον άνθρωπο αλλά κατακρατούνται από το ρινικό σύστημα. Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 5μm δύναται να εισχωρήσουν μέσω της αναπνοής στους πνεύμονες, φράζοντας σταδιακά τις αναπνευστικές διόδους. Σωματίδια με ακόμη μικρότερη διάμετρο, 1 με 2μm παρατηρήθηκε ότι φράζουν τις αναπνευστικές κυψελίδες στους πνεύμονες, δημιουργώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα.

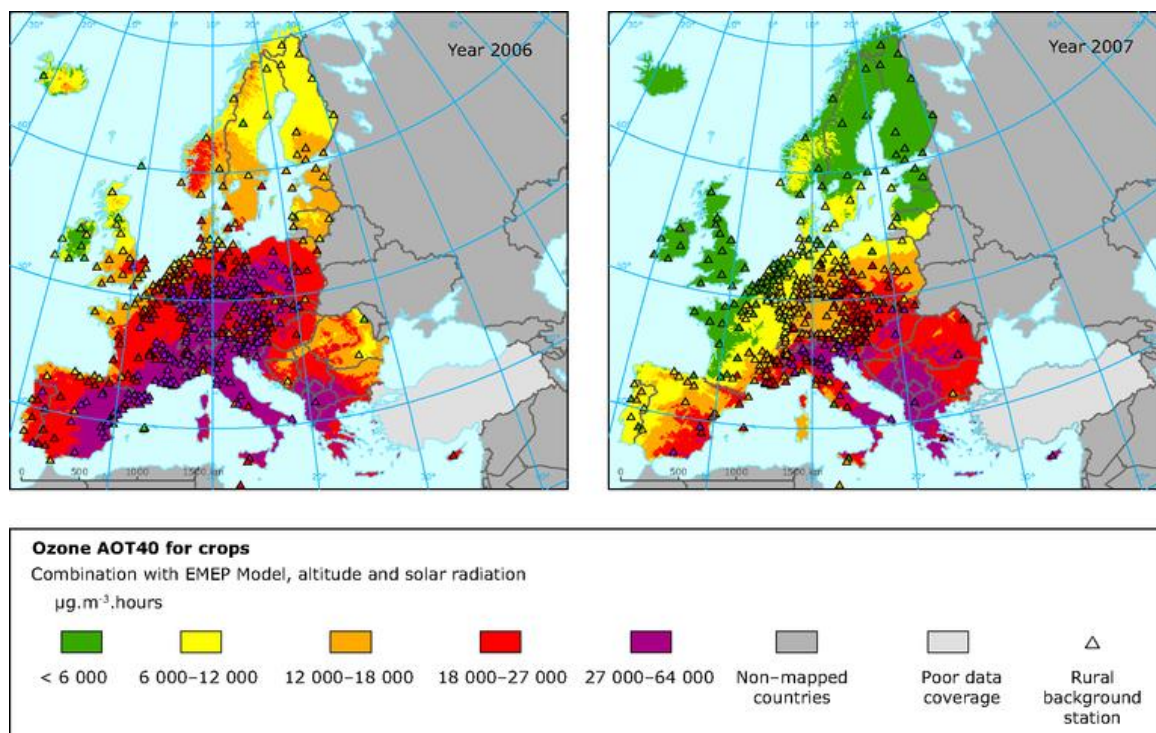
Λόγω της διαφορετικής επικινδυνότητάς τους οφειλόμενη στα διαφορετικά μεγέθη τους τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιήθηκαν από την νομοθεσία σε:

- PM₁₀: σωματίδια τα οποία είναι εισπνεόμενα με διάμετρο 2,5μm < 10μm
- PM_{2.5}: σωματίδια τα οποία η διάμετρός τους είναι <2,5μm και βρίσκονται σε πηγές όπως τα καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης, πυρκαγιές κλπ.



Εικόνα 1.6. Σχηματική απεικόνιση του μεγέθους του προβλήματος των αιρούμενων σωματιδίων [9].

Λόγω της μεγάλης επικινδυνότητας που παρουσιάζουν για την υγεία τα PM έχουν γίνει αρκετές μελέτες και δημοσιεύσεις γι' αυτά. Εκπέμπονται κυρίως από τα οχήματα, τα πλοία και τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και από φυσικές πηγές όπως χώμα, θάλασσα κλπ. Προκαλούν καρδιαγγειακές αλλά και αναπνευστικές δυσλειτουργίες αλλά και είναι υπεύθυνες για εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα. Σύμφωνα με διαφορετικές έρευνες υποστηρίζεται ότι αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ σε ποσά της τάξης των 10 mgr/m³, είναι ικανή να οδηγήσει σε συνολική αύξηση της θνησιμότητας του πληθυσμού κατά 0,5%, ενώ παράλληλα μέσω της επιδείνωσης της υγείας από αναπνευστικά προβλήματα και καρδιαγγειακές νόσους θα οδηγηθούμε σε αύξηση των νοσοκομειακών εισαγωγών σε ποσοστό περίπου 0,5% - 1%. Σε μεγαλύτερη κλίμακα επικινδυνότητας βρίσκονται τα PM_{2.5} καθώς για αύξηση εκπομπής της τάξης του 1mgr/m³ η θνησιμότητα θα αυξηθεί σε ποσοστά έως και 1,6% ετησίως. Η Εικ. 1.7 παρακάτω απεικονίζει την προσπάθεια που γίνεται για μείωση των σωματιδίων από όλες τις πηγές εκπομπής τους.



Εικόνα 1.7. Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων των PM_{10} στην Ευρώπη για τα έτη 2006 και 2007 [10].

1.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει χαρακτηριστεί ως ο "σιωπηλός δολοφόνος" των αερίων ρύπων. Κανένα άλλο αέριο δεν συνδυάζει τόσο μεγάλη τοξικότητα με μια τόσο μη ανιχνεύσιμη δράση. Οι τοξικές ιδιότητες του CO είναι γνωστές από την αρχαιότητα καθώς η χρήση ξύλου (κάρβουνου) για θέρμανση σε μη καλά αεριζόμενους χώρους προκαλούσε ζαλάδες, δύσπνοια και τέλος οδηγούσε σε θάνατο.

Ο Κλαύδιος Γαληνός (129-199 μ.Χ.) είχε οδηγηθεί στην υπόθεση ότι οι δηλητηριώδεις ατμοί από μισοαναμμένες φωτιές μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση στην σύσταση του αέρα εντός του χώρου. Σε μετέπειτα εποχές, το 1940, το μονοξείδιο του άνθρακα των καυσαερίων ειδικά μετασκευασμένων αυτοκινήτων (των διαβόητων "**Gaswagen**") χρησιμοποιήθηκε από το ναζιστικό καθεστώς της Γερμανίας στα πλαίσια ομαδικής "**ευθανασίας**" χιλιάδων κρατούμενων. (https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_van)

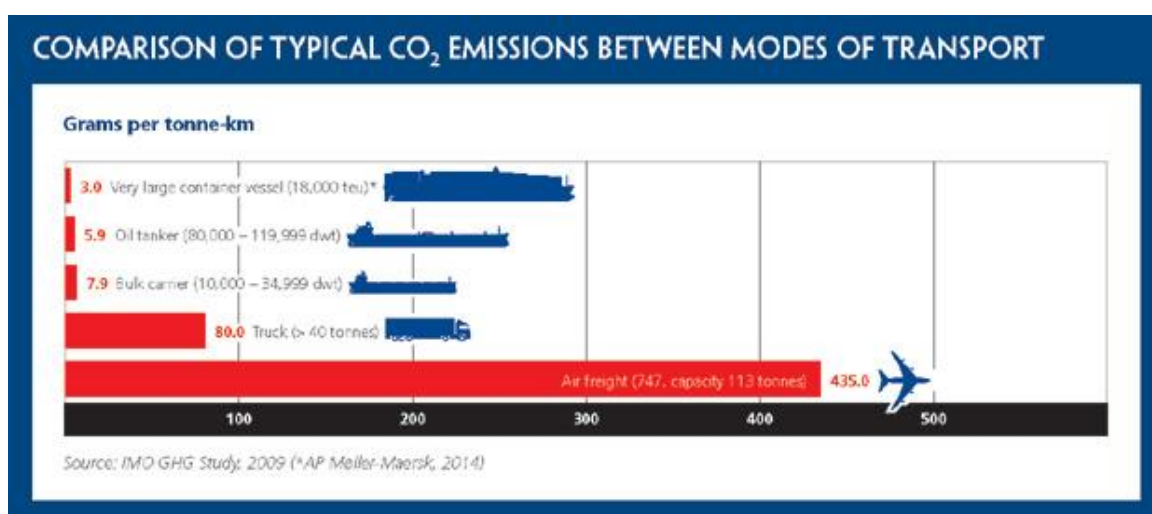
Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει χαρακτηριστεί ως **σιωπηλός δολοφόνος** (silent killer), επειδή είναι ένα **τελείως άοσμο αέριο** και τα αρχικά συμπτώματα της δηλητηρίασης που προκαλεί, συχνά συγχέονται με εκείνα ενός απλού κρυολογήματος. Είναι ένα αέριο το οποίο μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί στα σπίτια που θερμαίνονται με την καύση οργανικών υλικών (ξύλων, κάρβουνου) σε περιπτώσεις κακής συντήρησης των απαγωγών των αερίων καύσης ή κάποιων διαρροών. Πολλές

περιπτώσεις δηλητηριάσεων έχουν συμβεί σε κλειστά γκαράζ, όταν αφήνεται σε λειτουργία η μηχανή των αυτοκινήτων. Στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι κάθε χρόνο κατά μέσον όρο 500 άτομα χάνουν τη ζωή τους εξαιτίας του [11].

Στην Ελλάδα, λόγω της στροφής μεγάλης μερίδας του πληθυσμού - λόγω οικονομικής κρίσης - στην θέρμανση με τζάκια και ξυλόσομπες, pellets ή ακόμα και με διάφορα υποπροϊόντα ξύλου, το θέμα με την μείωση των ρύπων του μονοξειδίου του άνθρακα επανήλθε στην επικαιρότητα. Δυστυχώς ή έλλειψη γνώσης και συνείδησης κινδύνου αλλά και η ομολογουμένως άσχημη οικονομική κατάσταση αρκετών νοικοκυριών επιδείνωσε αρκετά τα 3 τελευταία χρόνια την συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα.

Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, σε πολλές χώρες της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, χρησιμοποιούνταν μία μίξη CO και άλλων καυσίμων αερίων ως καύσιμο για τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Τα αέρια προς καύση παράγονταν σε μια μονάδα προσαρμοσμένη στο αυτοκίνητο, γνωστή ως gazogen (γεννήτρια αερίου), στην οποία λάμβανε χώρα ένα είδος αυτοσυντηρούμενης πυρολυτικής καύσης ξύλου ή κάρβουνου. Για να επιτευχθεί η ατελής καύση εισαγόταν περιορισμένη ποσότητα αέρα έτσι ώστε το εξερχόμενο αέριο να είναι πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα. Το παραγόμενο αέριο μίγμα μαζί και με το ατμοσφαιρικό άζωτο αφού περνούσε από βασικό καθαρισμό για την προστασία του κινητήρα από πισσώδεις ουσίες τροφοδοτούσε απευθείας την μηχανή με αποτελέσματα εξίσου ικανοποιητικά με αυτά των υγρών καυσίμων [11].

Στην Εικ. 1.8 γίνεται μια σύγκριση των διαφόρων τύπων μεταφοράς και δίνεται το αντίστοιχο ποσοστό εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Συνολικά, λοιπόν τα πλοία συμμετέχουν κατά 20% στις συνολικές εκπομπές, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό.



Εικόνα 1.8. Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από διάφορες πηγές στις μεταφορές [12].

Οι επιδράσεις για την υγεία είναι άκρως επικίνδυνες και ανησυχητικές. Η τοξική του δράση στον ανθρώπινο οργανισμό οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί και συνδέεται με σταθερούς δεσμούς με την αιμοσφαιρίνη, εμποδίζοντας τον οργανισμό να προσλάβει οξυγόνο. Καθώς δεν προκαλεί κατά την εισπνοή του κάποιον ερεθισμό και σε συνδυασμό με την απώλεια οποιασδήποτε οσμής (σε αντίθεση με άλλα τοξικά αέρια όπως υδρόθειο, χλώριο, υδροκυάνιο) δεν αφήνει περιθώρια στον άνθρωπο να αντιληφθεί την παρουσία του και να απομακρυνθεί από τον χώρο, οδηγώντας έτσι σε μεγάλη πιθανότητα θνησιμότητας από την εισπνοή του.

Στατιστικές δείχνουν ότι στις ΗΠΑ 500 άτομα κατά μέσο όρο κάθε χρόνο πεθαίνουν από εισπνοή και δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα. Στην Ελλάδα, παλιότερα (αλλά και δυστυχώς και στις μέρες μας μετρώντας θύματα λόγω κρίσης) η χρήση των μαγκαλιών για τη θέρμανση των φτωχότερων νοικοκυριών ήταν αρκετά μεγάλη. Αποτέλεσμα ήταν μεγάλος αριθμός δηλητηριάσεων και θανάτων από CO, καθώς στα μαγκάλια έκαιγαν ατελώς κάρβουνα ή πηρήνα ελιάς η οποία σε συνδυασμό με τον κακό αερισμό των χώρων λόγω του κρύου οδηγούσε σε μεγάλη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στον χώρο.

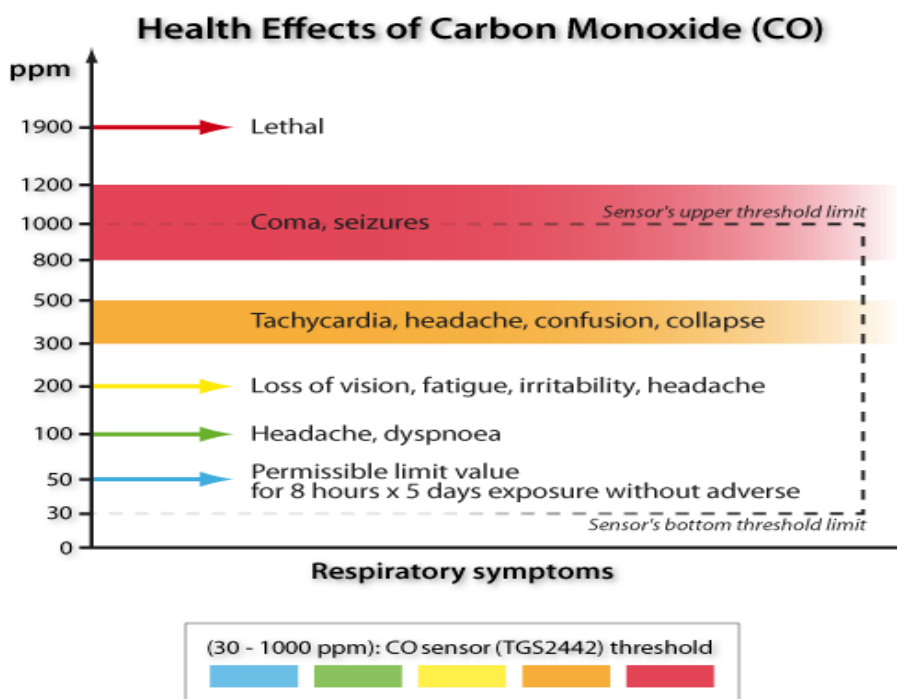
Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης του ανθρώπου από το CO κατά σειρά εμφάνισής τους είναι: Κεφαλαλγία (πονοκέφαλος), ναυτία και ίλιγγος (ζάλη), καταρροή, δύσπνοια, εξάντληση, ταχυκαρδία, πόνος στο στήθος, λιποθυμία, θάνατος από ασφυξία. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των σταδίων και η ταχύτητα διαδοχής τους, καθώς και η ικανότητα της ποσότητας που μπορεί να οδηγήσει σε θνησιμότητα του ατόμου, εξαρτάται προφανώς από την συγκέντρωση του CO αλλά και από τον χρόνο έκθεσης σε αυτό.

Καθώς τις περισσότερες εκπομπές σε μονοξείδιο του άνθρακα τις παρατηρούμε χειμερινούς μήνες, λόγω των συστημάτων θέρμανσης, οπότε και σημειώνονται οι περισσότερες δηλητηριάσεις, δυστυχώς τα αρχικά συμπτώματα της δηλητηρίασης αυτής μπερδεύονται συχνά με αυτά των διάφορων εποχικών ιώσεων. Ευάλωτες ομάδες αποτελούν - όπως είναι αναμενόμενο - ηλικιωμένοι, οι πάσχοντες από καρδιοαναπνευστικές παθήσεις και τα παιδιά.

Το ποσοστό της αιμοσφαιρίνης το οποίο έχει μετατραπεί σε καρβοξυαιμοσφαιρίνη (Hb CO) μέσω της ένωσης με τον μονοξείδιο του άνθρακα καθορίζει τον βαθμό δηλητηρίασης του ατόμου. Όσο μεγαλύτερο τόσο μικρότερη η παροχή οξυγόνου στο άτομο αυτό και κατά συνέπεια τόσο πιο βαριά τα συμπτώματα.

Λόγω της κοντινότερης σχέσης του μονοξειδίου του άνθρακα με την αιμοσφαιρίνη από το οξυγόνο, αέρας που περιέχει μόλις 0,1% CO κατ' όγκο είναι ικανός να οδηγήσει σε δέσμευση πάνω από την μισή ποσότητα αιμοσφαιρίνης / καρβοξυαιμοσφαιρίνη. Έτσι ποσότητα αέρα με 0,1% συγκέντρωση σε μονοξείδιο του άνθρακα έχει ίδια τάση σύνδεσης όση ποσότητα αέρα με 20% οξυγόνο [13].

Στην παρακάτω Εικόνα παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπτώματα ενός θύματος από δηλητηρίαση CO και η αντιστοιχία σε διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης με τα επίπεδα κορεσμού στο αίμα σε Hb CO, Εικ. 1.9.



Εικόνα 1.9. Ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα και συμπτώματα ανάλογα με την ποσότητα του μονοξειδίου [14].

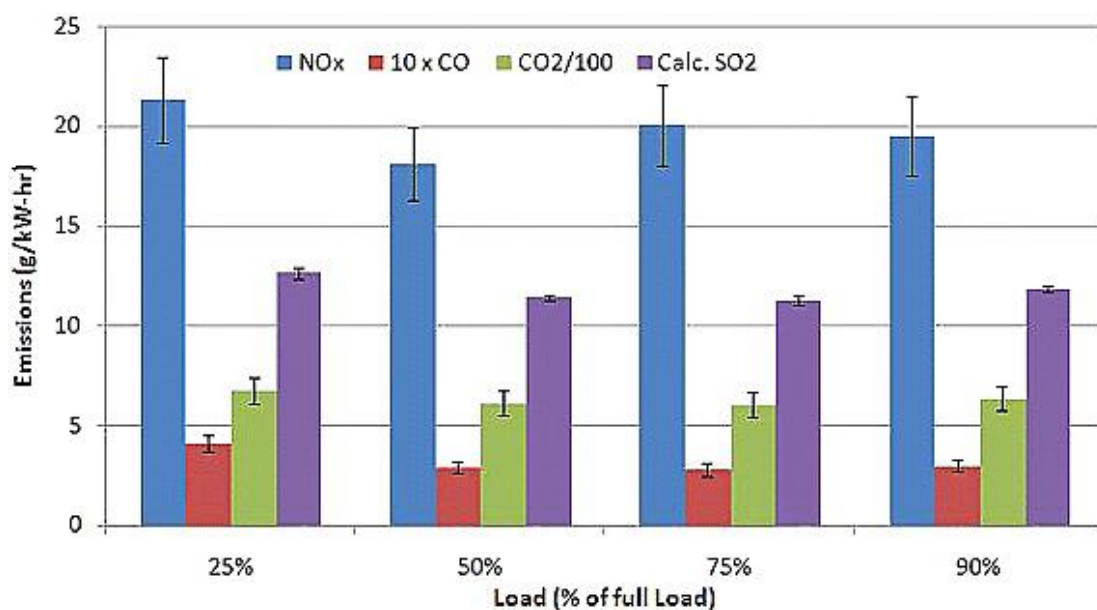
Σε γενικές γραμμές, επίπεδα σε Hb CO της τάξεως του 15-20% θεωρούνται ως κάποιο βαθμό εντός των ανεκτών ορίων για την ανθρώπινη υγεία. Πάνω από αυτά τα όρια αρχίζουν να εμφανίζονται πολύ σοβαρά προβλήματα υγείας.

Η μονιμότητα των επιδράσεων από την παρουσία Hb CO στο αίμα λόγω της εισπνοής μονοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από τα ποσοστά της δεσμευμένης αιμοσφαιρίνης:

- Ποσοστό <40%: Τα συμπτώματα υποχωρούν και εξαλείφονται χωρίς την ανάγκη θεραπείας, με την προϋπόθεση ότι το θύμα απομακρυνθεί από το τοξικό περιβάλλον και εισπνεύσει άμεσα καθαρό αέρα.
- Ποσοστό 40%<60%: Το θύμα επέρχεται σε κωματώδη κατάσταση και χρήζει επείγοντως άμεσης χορήγησης καθαρού οξυγόνου.

- Ποσοστό >60%: Το θύμα υποφέρει από έντονη υποξία, στέρηση δηλαδή οξυγόνου, και είναι πολύ κοντά στα όρια του θανάτου. Μοναδικές πιθανότητες επιβίωσης είναι η άμεση παροχή καθαρού ή “υπερβαρικού” οξυγόνου, το οποίο αποτελείται από οξυγόνο υπό πίεση 2-3 atm σε ειδικό θάλαμο.

Η ναυτιλία παίζει σημαντικό ρόλο στις παγκόσμιες εκπομπές οξειδίων του άνθρακα, τα οποία σε συνδυασμό μεταξύ τους (μονοξείδιο και διοξείδιο) αλλά και με πτητικές ενώσεις επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά συμβάλλουν αρνητικά στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Εικ. 1.10).



Εικόνα 1.10. Ποσοστό αερίων εκπομπών συμπεριλαμβανομένου μονοξειδίου του άνθρακα [15].

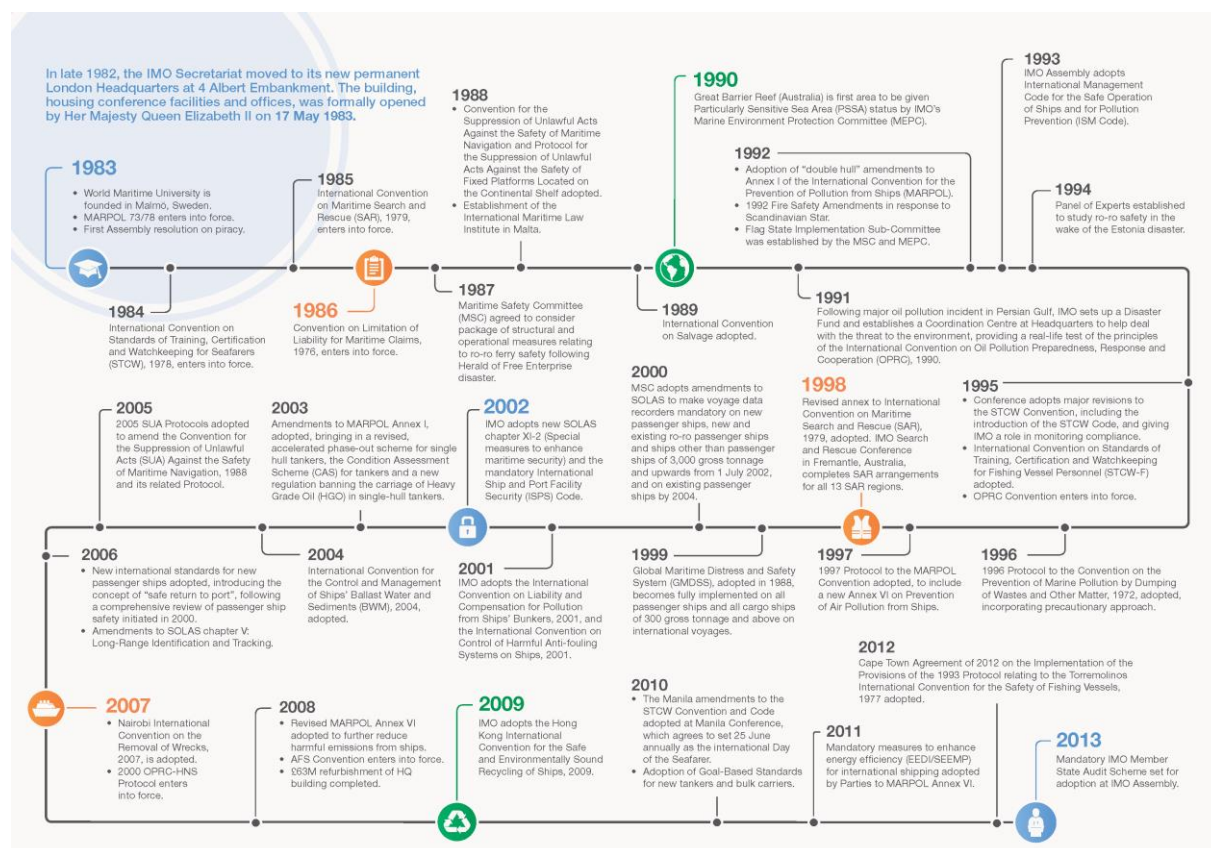
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Υπάρχει ένα ολόκληρο πλαίσιο νομοθεσίας γύρω από την ρύπανση του περιβάλλοντος από την Ναυτιλία. Αρμόδια όργανα για τη θέσπιση αυτών των νόμων είναι:

- Διεθνής οργανισμοί - International Maritime Organization (IMO)
- Φορείς με κανονιστική αρμοδιότητα (πχ Ευρωπαϊκή Επιτροπή)
- Μεμονωμένα κράτη

Τον σημαίνοντα νομοθετικό ρόλο για την παγκόσμια ναυτιλία τον έχει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), όπως ανακινείται και από τη τριακονταετή συμμετοχή του στη Διεθνή ναυτιλιακή νομοθεσία (Εικ. 2.1).

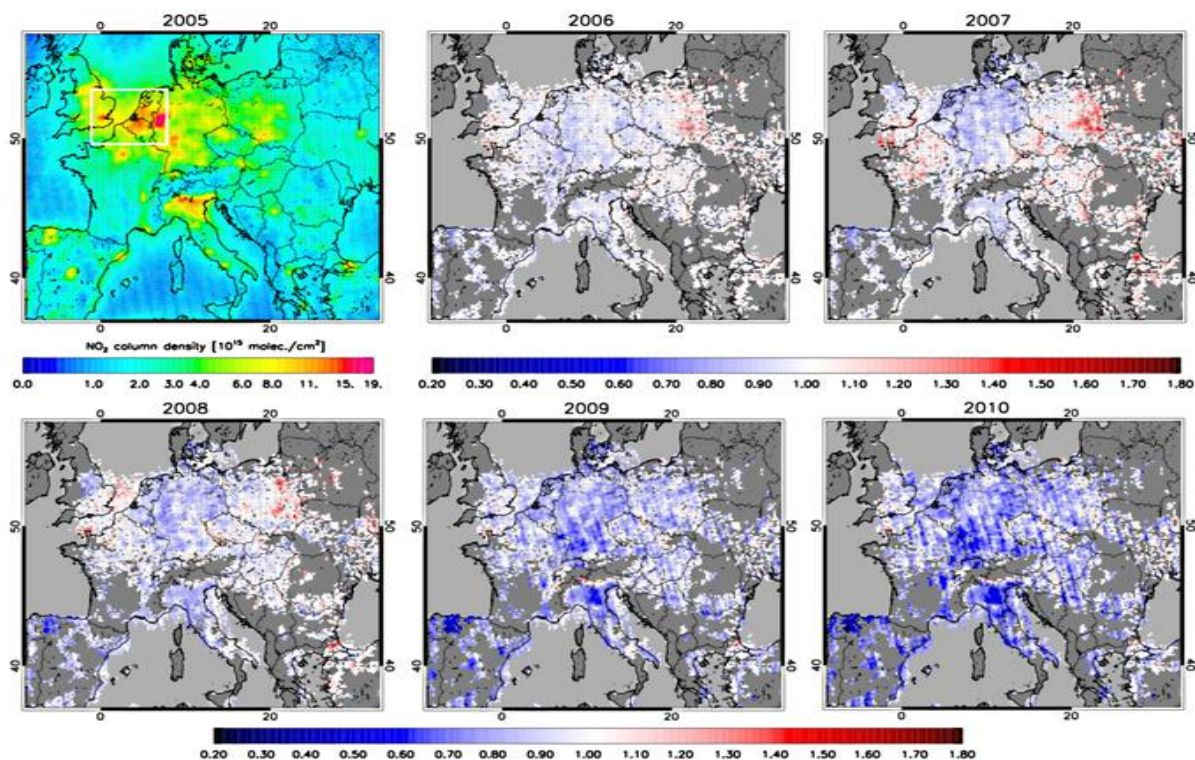


Εικόνα 2.1. 30 χρόνια παρουσίας του IMO στην παγκόσμια ναυτιλιακή νομοθεσία [70].

Ο IMO είναι υπεύθυνος για την ασφάλεια στα πλοία και για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από την ανθρωπογενή ρύπανση στα πλαίσια της ναυτιλίας. Λειτουργεί υπό την αιγίδα του ΟΗΕ και νομοθετεί πολλές και ιδιαίτερα αυστηρές προδιαγραφές παρουσιάζοντας αυξημένες δυνάμεις για τις χώρες μέλη του ΟΗΕ. Υπάρχουν δύο εκδόσεις κανονισμών, η SOLAS (Safety Of Life At Sea) και η MARPOL. Η SOLAS αναφέρεται στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας ενώ η δεύτερη έχει ως αντικείμενο την προστασία των θαλασσών από την ρύπανση. Οι κανονισμοί αυτοί ανανεώνονται τακτικά και είναι υποχρεωτικοί για όλα τα ναυτιλιακά γραφεία και ακόμη περισσότερα για τα ναυπηγικά γραφεία τα οποία υποχρεώνονται να τηρούν τους κανονισμούς κατασκευής που τους ορίζουν οι δύο αυτές εκδόσεις [16].

Προτεραιότητα που έχει τεθεί λόγω των κανονισμών από τον IMO αποτελεί η μείωση των εκπομπών NO_x από την καύση στις μηχανές των πλοίων, εξακολουθώντας όμως να υπάρχει το σημαντικό πλεονέκτημα της μείωσης του λειτουργικού κόστους. Παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία NO_x στα καυσαέρια αποτελούν η υψηλή θερμοκρασία, η συγκέντρωση του οξυγόνου καθώς και ο χρόνος παραμονής εντός του κυλίνδρου του καυσίμου. Λεπτομερέστερα καύση μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος η οποία πραγματοποιείται σε χαμηλής ταχύτητας δίχρονο κινητήρα, παράγει μεγαλύτερα ποσοστά NO_x σε σχέση με ένα τετράχρονο κινητήρα υψηλής ταχύτητας και ανάλογης απόδοσης. Κρίνεται παράλληλα απαραίτητη και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων (πχ μεθανόλη) [17].

Όπως φαίνεται και στην Εικ. 2.2 έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος τα τελευταία χρόνια όσον αφορά την μείωση των ποσοστών NO_x:



Εικόνα 2.2. Γραφική παράσταση των εκπομπών NO_x στην Ευρώπη από πλοία από το 2005 έως το 2010 [18].

Μέσω της βελτίωσης τεχνικά των πλοίων (κατασκευαστικά και λειτουργικά) μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Ο IMO, από το 2000 έχει συντάξει μελέτες πάνω στις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών GHGs, στοχεύοντας στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού αλλά και της διαχείρισης των πλοίων. Πρακτικές οι οποίες προτείνονται παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αποδοτικότερη σχεδίαση της γάστρας για νεότευκτα σκάφη 5-20%
- Βελτιωμένες προπέλες 5-10%
- Βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης στους νέους κινητήρες 10-12%
- Καινοτόμα συστήματα πρόωσης 5%
- Ηλεκτρονική διαχείριση τροφοδοσίας καυσίμου 2-3%
- Έγχυση καυσίμου σε υψηλή πίεση 1-2%
- Αναβάθμιση των υπερσυμπιεστών 5-77%
- Τακτική συντήρηση γάστρας 3-5%
- Χρήση MDDO αντί για HHFO 4-5%
- Βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων πλοίων 5-40%
- Σταθερό φορτίο στους κινητήρες (στροφές/ λεπτό) 0-2%

- Βέλτιστη τοποθέτηση προπέλας και πηδαλίων 0-2%
- Μειωμένος χρόνος αναμονής στα λιμάνια, βελτίωση της διαχείρισης των φορτίων 1-7%

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων δεν είναι και πολύ ακριβή. Επίσης αν εφαρμοστούν οι περισσότερες από αυτές τις βελτιώσεις ακολουθούνται από ένα αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος, είτε αναφερόμαστε σε νεότευκτα πλοία είτε σε μετασκευασμένα.

Κατά την είσοδό του το πλοίο σε περιοχή ελέγχου των εκπομπών διοξειδίου του θείου SO₂ (SECA) θα πρέπει να καταγράφονται κάποια δεδομένα τα οποία αφορούν την ποσότητα του πετρελαίου σε κάθε δεξαμενή, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από το 1,5% του καθαρού βάρους σε θείο, την ημερομηνία εισαγωγής του καυσίμου, την ώρα και τη θέση του πλοίου κατά την τροφοδότηση με καύσιμο. Οι εγγραφές αυτές σημειώνονται στα ημερολόγια ή της γέφυρας ή του μηχανοστασίου των πλοίων.

Συγκεκριμένα για τα πλοία που εισέρχονται σε περιοχή SECA θα πρέπει να τηρούν τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Το καύσιμο πετρέλαιο να μην περιέχει θείο σε μεγαλύτερη ποσότητα από το 1,5% κ.β.
2. Θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων, εγκεκριμένο και πιστοποιημένο, σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης, συμπεριλαμβανομένων των κύριων αλλά και των βοηθητικών μηχανών πρόωσης. Με αυτόν τον τρόπο θα πρέπει να οδηγούμαστε σε μειωμένες εκπομπές οξειδίων του θείου. Συνολικά το βάρος των εκπομπών διοξειδίου του θείου δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 6 gr/kWh
3. Θα πρέπει να έχει τεθεί σε εφαρμογή οποιαδήποτε άλλη εξίσου αποτελεσματική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών των οξειδίων του θείου, η οποία θα είναι ικανή να περιορίζει τις εκπομπές στα προαναφερθέντα όρια. Για τον έλεγχο ο προμηθευτής του καυσίμου θα πρέπει να αναγράφει αυτά τα όρια στο δελτίο παράδοσης του καυσίμου και αυτό θα πρέπει να αρχειοθετείται από το πλήρωμα του πλοίου και να είναι διαθέσιμο σε οποιαδήποτε αρμόδια αρχή το ζητήσει.

Στο MARPOL παράρτημα VI προτάθηκαν τροποποιήσεις σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία και τον Απρίλιο του 2008 η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO τις ενέκρινε [19]. Οι βασικές τροποποιήσεις εντοπίζονται στην σταδιακή μείωση των εκπομπών των οξειδίων του θείου των πλοίων, θέτοντας νέα όρια στις εκπομπές αρχικά στο 3,5% από το ήδη ισχύον όριο του 4,5% και σταδιακή μείωση του ορίου κάθε χρόνο μέχρι το 2020 ως το 0,5% υπό τον όρο ότι θα έχει εκπονηθεί μελέτη σκοπιμότητας ως το 2018. Τα αντίστοιχα όρια σε περιοχές SECA θα πρέπει να έχουν μειωθεί στο 1% και σταδιακά στο 0,1% έως το 2015 [20].

Αναλύοντας την ελληνική νομοθεσία, εναρμονιζόμενη με την διεθνή, προκύπτουν τα παρακάτω: Κύριες Μηχανές:

- Πριν την άφιξη σε διάστημα 2 ωρών από το λιμάνι και 2 ώρες μετά από τον απόπλου υποχρεούνται τα πλοία να χρησιμοποιούν $LSFOO < S=1,5\%$
- Σε απόσταση 3 ναυτικών μιλίων από την κοντινότερη στεριά θα πρέπει να χρησιμοποιούν $LSFO < S=1,5\%$

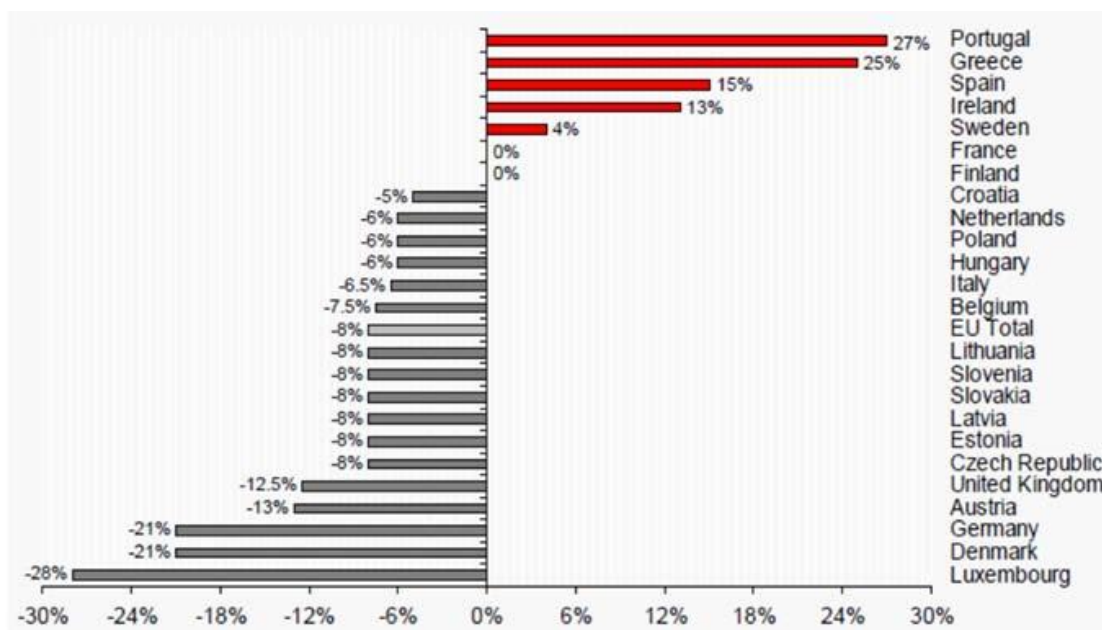
Για τους Ηλεκτροκινητήρες:

- Αν ένα πλοίο παραμένει περισσότερες από 4 ώρες στο λιμάνι πρέπει υποχρεωτικά να χρησιμοποιεί MGO καθ' όλη τη διάρκεια παραμονής του.
- Υποχρεωτικά κάθε πλοίο 2 ώρες πριν την αναχώρηση και 2 ώρες πριν την άφιξη πρέπει να χρησιμοποιεί MGO για τις ηλεκτρομηχανές και τα boilers με περιεκτικότητα σε θείο $MGO < S=0,1$

Για τις Ηλεκτρομηχανές:

- Κάθε πλοίο που παραμένει περισσότερες από 4 ώρες σε λιμάνι, υποχρεωτικά πρέπει να χρησιμοποιεί MGO καθ' όλη τη διάρκεια παραμονής του.
- Κάθε πλοίο 2 ώρες πριν τον κατάπλου και 2 ώρες πριν το απόπλου υποχρεούται να χρησιμοποιεί MGO στις ηλεκτρομηχανές και τα boilers με περιεκτικότητα θείου $MGO < S=0,1$

Η Ευρωπαϊκή Ένωση παίζοντας πρωταγωνιστικό ρόλο και κινητήρια δύναμη στις παγκόσμιες διαβουλεύσεις για την κλιματική αλλαγή, εργάστηκε ενεργά στην ανάπτυξη της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και το πρωτόκολλο του Κιότο. Στις 29 Απριλίου 1998 υπογράφηκε το πρωτόκολλο από την ΕΕ και επικυρώθηκε τον Μάιο του 2002. Η συνολική προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών γενικά για το σύνολο της ΕΕ διαμορφώθηκε στο 8%, όμως κάθε κράτος μέλος της εμφάνιζε διαφορετικές υποχρεώσεις έναντι στον κανονισμό όπως παρακάτω:



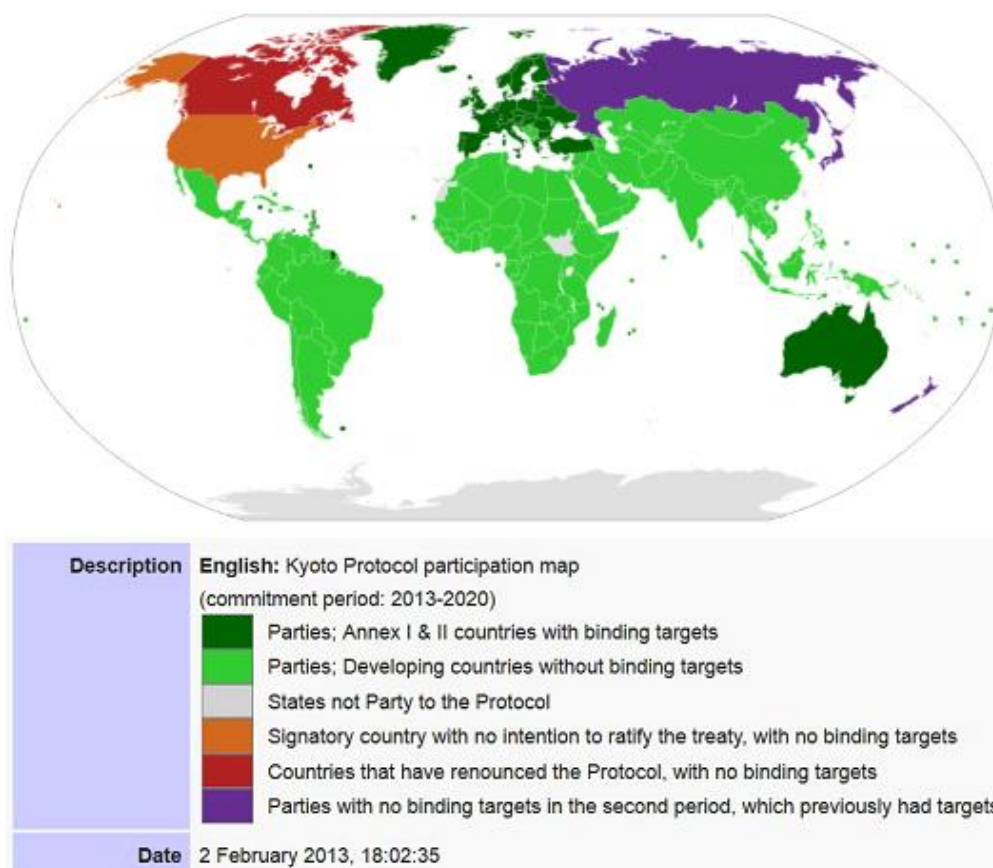
Εικόνα 2.3. Στόχοι μείωσης εκπομπών εντός ΕΕ για την περίοδο 2008-2013 [21].

Δέσμευση της ΕΕ αποτελεί η μείωση των αέριων εκπομπών της κατά 20% σχετικά με εκείνες του 1990, δέσμευση η οποία αποτελεί στόχο της στρατηγικής της ανάπτυξης για το 2020 και έχει μπει σε ισχύ μέσω νομοθεσιών και κανονισμών. Πρωτοβουλίες που ληφθήκαν από την ΕΕ για τον παραπάνω στόχο είναι οι εξής:

- Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την αλλαγή του Κλίματος (European Climate Change Program – ECCP), το οποίο εμπεριέχει πολλά μέτρα και πολιτικές
- Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU Emissions Trading System/Scheme –EU ETS), το οποίο αναφέρεται στην μείωση των εκπομπών στον βιομηχανικό και ενεργειακό τομέα
- Καθιέρωση νομοθεσίας για την αύξηση παραγωγής και κατανάλωση από ΑΠΕ κατά 20% έως το 2020
- Τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων της ΕΕ, αλλά και διάφορων εξοπλισμών καθώς και συσκευών
- Την μείωση των εκπομπών ρύπων στα καινούρια αυτοκίνητα
- Ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών για τη δέσμευση και αποθήκευση του άνθρακα (Carbon Capture and Storage – CCS) των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

2.1 Πρωτόκολλο KYOTO

Το πρωτόκολλο του Κιότο έρχεται να διαδεχτεί την σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές και αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές διεθνείς νομοθετικές διατάξεις για την μείωση των επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή. Περιέχει όλες τις συμφωνίες στις οποίες έχουν δεσμευτεί όλες οι εκβιομηχανισμένες χώρες για την μείωση και περιορισμό εκπομπών αερίων ρύπων οι οποίοι συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο επιδεινώνει την υπερθέρμανση του πλανήτη.



Εικόνα 2.4. Χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κιότο στην περίοδο 2013 – 2020 [1].

Στις 4 Φεβρουαρίου 1991, όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έλαβαν μέρος στις διαπραγματεύσεις για την δημιουργία της σύμβασης-πλαίσιου των Ηνωμένων Εθνών σχετικά με την κλιματική αλλαγή, η οποία και είχε εγκριθεί στις 9 Μαΐου 1992 στην Νέα Υόρκη. Η σύμβαση-πλαίσιο επικυρώθηκε από την ΕΚ με την απόφαση 94/69/ΕΚ 15/12/1993 και η οποία τέθηκε σε εφαρμογή από τις 21/03/1994 [22].

Η σύμβαση-πλαίσιο συνέβαλε σημαντικά στη θέσπιση βασικών αρχών για τη καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα δίνει τον ορισμό της αρχής των «κοινών αλλά διαφοροποιημένων αρμοδιοτήτων». Συνέβαλε όμως και στην μεγαλύτερη

ευαισθητοποίηση του κόσμου σε παγκόσμια κλίμακα, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή και τα προβλήματα που απορρέουν από αυτήν. Στο περιεχόμενό της δεν αναφέρεται τόσο σε ποσοτικές και με λεπτομέρεια ανά χώρα δεσμεύσεις για την μείωση των αέριων ρύπων που επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα κράτη που συμμετείχαν στην σύμβαση αποφάσισαν στην πρώτη συνεδρίαση, η οποία και έλαβε χώρα στο Βερολίνο τον Μάρτιο του 1995, να καταλήξουν σε ένα Πρωτόκολλο το οποίο να περιλαμβάνει συγκεκριμένα μέτρα μείωσης των αερίων ρύπων για την περίοδο μετά το 2000. Το Πρωτόκολλο αυτό θα αφορούσε όλες τις εκβιομηχανισμένες χώρες. Μετά από μακροχρόνιες συνεδριάσεις, θεσπίστηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο στις 11/12/1997 και εγκρίθηκε από τα μέλη της UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) το 1997, ενώ τέθηκε σε εφαρμογή το 2005 [22].

Το Πρωτόκολλο υπογράφηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα στις 29/04/1998, ενώ τον Δεκέμβριο του 2001, επιβεβαιώθηκε η θέληση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο, από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Laeken, πριν από την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την αειφόρο ανάπτυξη, που θα λάμβανε χώρα στο Γιοχάνεσμπουργκ, από τις 26 Αυγούστου έως και τις 4 Σεπτεμβρίου του 2002. Για να καταστεί εφικτός αυτός ο στόχος τα κράτη μέλη όφειλαν να παραδώσουν τα σχετικά επικυρωτικά έγγραφα ταυτόχρονα με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, καθώς εγκρίθηκε το Πρωτόκολλο στο όνομα της Κοινότητας, προτού την 1^η Ιουνίου του 2002 [22].

Στο Παράρτημα II της απόφασης του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου ορίζονται οι δεσμεύσεις οι οποίες αναφέρονται στον περιορισμό και στην μείωση των αέριων ρύπων, οι οποίες είχαν συμφωνηθεί από την Κοινότητα και τα κράτη-μέλη της για το διάστημα της πρώτης περιόδου (2008-2012). Σύμφωνα με αυτές τις δεσμεύσεις οι συνολικές εκπομπές όλων των ανεπτυγμένων κρατών μελών όφειλαν να μειωθούν σε ποσοστό τουλάχιστον 5% μέσα στην περίοδο 2008-2012, συγκρινόμενες με αυτές της χρονιάς 1990. Η δεύτερη περίοδος δέσμευσης αφορά τις δεσμεύσεις για την περίοδο 2013-2020. Το 2012 το Πρωτόκολλο του Κιότο τροποποιήθηκε ώστε να προστεθεί και η δεύτερη περίοδος δέσμευσης, αλλά από τον Ιανουάριο του 2013 δεν έχει τεθεί σε νομική ισχύ [22].

2.1.1 Περιεχόμενο του πρωτοκόλλου του Κιότο

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνονται μέτρα και δεσμεύσεις για την μείωση των εξής αερίων ρύπων (αερίων του θερμοκηπίου) [23]:

- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)
- Μεθάνιο (CH_4)
- Πρωτοξείδιο του αζώτου (N_2O)
- Υδροφθοράνθρακες (HFC)
- Υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC)
- Εξαφθοριούχο θείο (SF_6)

Καθώς περιλαμβάνει δεσμεύσεις και ποσοτικοποιημένους στόχους για τον περιορισμό και την μείωση των αερίων ρύπων που επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το Πρωτόκολλο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Σύμφωνα με το παράρτημα I της σύμβασης πλαισίου όλα τα κράτη μέλη, δηλαδή οι εκβιομηχανισμένες χώρες, υποχρεούνται να δεσμευτούν συλλογικά ώστε να προχωρήσουν σε μείωση των εκπομπών των αερίων ρύπων, ώστε να επιτευχθεί συνολική μείωση των εκπομπών στις ανεπτυγμένες χώρες της τάξης του 5% το λιγότερο σε σύγκριση με αυτές του 1990, στην περίοδο 2008-2012. Στο Παράρτημα II του Πρωτοκόλλου του Κιότο παρέχονται ποσοτικές δεσμεύσεις τις οποίες οφείλουν να τηρήσουν τα κράτη-μέλη της σύμβασης.

Δέσμευση των κρατών μελών τα οποία είχαν προσχωρήσει στην ΕΕ πριν το 2004 αποτελεί η συλλογική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της τάξης του 8%, την περίοδο 2008-2012. Τα κράτη που γίνανε μέλη μετά το 2004 δεσμεύονται στην μείωση των οικείων εκπομπών αερίων ρύπων κατά 8%, εξαιρουμένης της Πολωνίας και της Ουγγαρίας που αλλάζει το ποσοστό σε 6%, καθώς και της Μάλτας και της Κύπρου, χώρες οι οποίες δεν εμφανίζονται στο Παράρτημα I της σύμβασης πλαισίου [23].

Όσο για την περίοδο πριν το 2008, δέσμευση των κρατών μελών αποτελεί η σημείωση προόδου στην υλοποίηση των δεσμεύσεών τους το πολύ μέχρι και το 2005. Υποχρεούνται επιπλέον στην προσκόμιση οποιονδήποτε σχετικών αποδεικτικών ανά πάσα στιγμή.

Για την επίτευξη των στόχων που έχουν δεσμευτεί να τηρήσουν τα κράτη-μέλη, το Πρωτόκολλο παρουσιάζει μια σειρά από μέτρα:

- Την ενίσχυση και η θέσπιση εθνικών πολιτικών για την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων μέσω της αύξησης της ενεργειακής αποτελεσματικότητας, την βελτίωση και προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κλπ.
- Την συνεργασία με όλα τα μέλη κράτη της σύμβασης μέσω ανταλλαγής πληροφοριών και εμπειριών και προώθησης του συντονισμού των εθνικών πολιτικών εκδίδοντας άδειες εκπομπής και δημιουργώντας κατάλληλους μηχανισμούς ανάπτυξης.

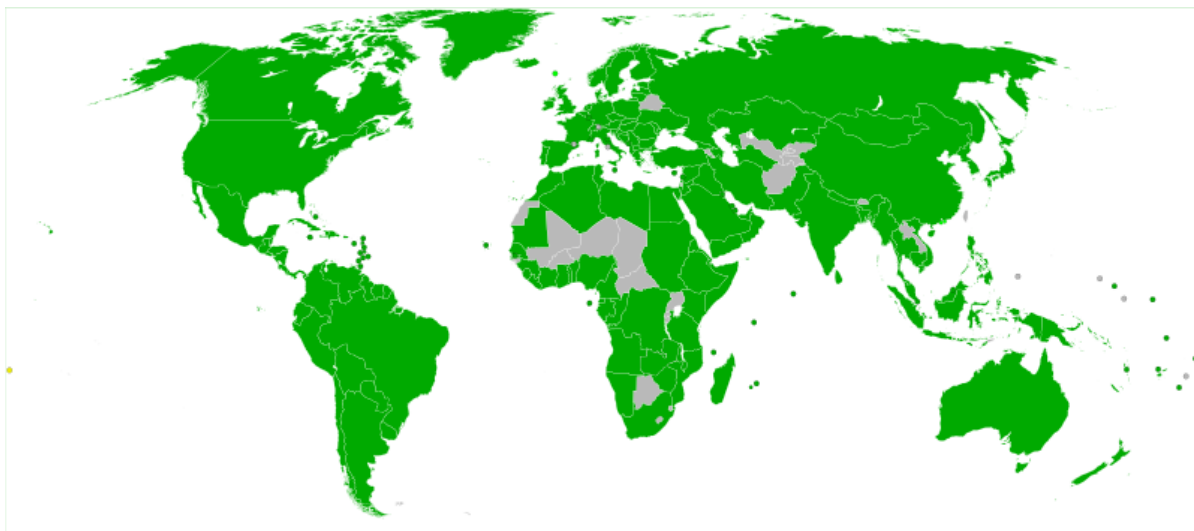
Σε διάστημα ενός έτους το πολύ μετά την πρώτη περίοδο δεσμεύσεων, τα συμβαλλόμενα μέλη προχωρούν σε θέσπιση εθνικού συστήματος υπολογισμού των εκπομπών που προκαλούνται από ανθρώπινη δραστηριότητα, αλλά και της απορρόφησης από τις φυσικές αποθήκες- απορρυπαντές, πχ τα δάση, οι οποίες δεν υπολογιζόταν στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Η δεύτερη περίοδος δεσμεύσεων είχε χρονικό περιθώριο ελέγχου ως προς την εφαρμογή μέχρι και το 2005.

Το Πρωτόκολλο τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, όταν και επικυρώθηκε από την Ρωσία και αφού είχε επικυρωθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2002. Υπήρξαν όμως και αρκετές εκβιομηχανισμένες χώρες (όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Αυστραλία κα) οι οποίες αρνήθηκαν να συνυπογράψουν στην επικύρωση του Πρωτοκόλλου [23].

2.2 Διεθνής σύμβαση MARPOL παράρτημα VI

Ενώ το Πρωτόκολλο του Κιότο αναφέρεται γενικά στου αέριους ρύπους οι οποίο εκλύονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, δεν εξειδικεύει τις προτάσεις και τις δεσμεύσεις σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Συγκεκριμένα για την ρύπανση της ατμόσφαιρας λόγω της δραστηριότητας της ναυσιπλοΐας, σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι ευθύνη του Διεθνούς Οργανισμού Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization - IMO) μέσω της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανση από Πλοία (MARPOL: Marine Pollution International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) και το παράρτημα VI [24].

Ο IMO συστάθηκε από τον ΟΗΕ για να προωθήσει την ασφάλεια στην ναυσιπλοΐα και στη θάλασσα γενικότερα. Ιδρύθηκε στην Γενεύη το 1948 και τέθηκε σε λειτουργία το 1958, όταν δηλαδή τέθηκε σε ισχύ και η σύμβασή του. Αποτελείται από 167 κράτη μέλη και συνεργαζόμενες χώρες.



Εικόνα 2.5. Ο χάρτης συνεργαζόμενων κρατών μελών του IMO [25].

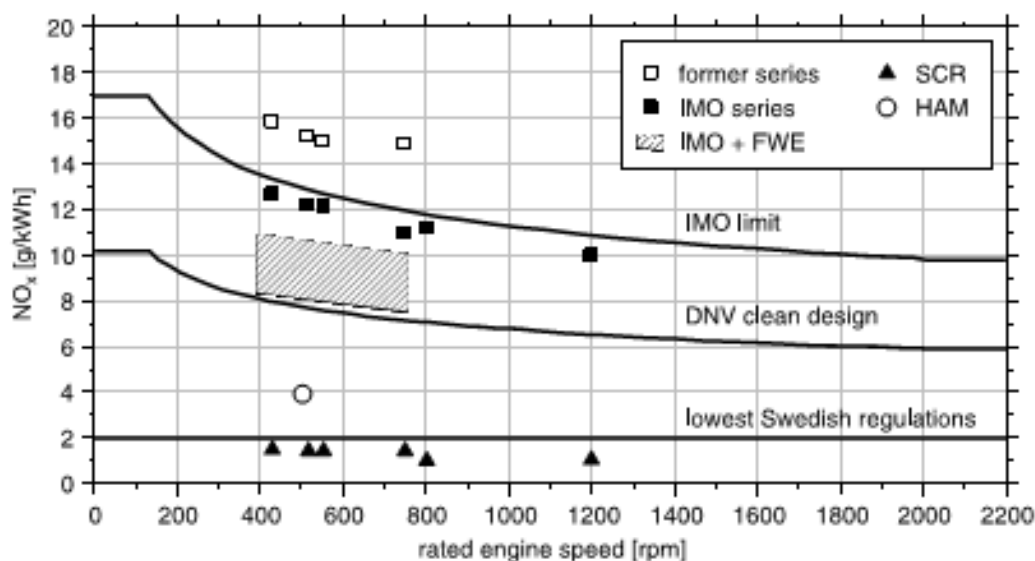
Στην σύμβαση MARPOL περιέχονται όλοι οι κανονισμοί για τα όρια και τις υποχρεώσεις των πλοίων για την προερχόμενη από αυτά ρύπανση. Αργότερα, τον Σεπτέμβριο του 1997, υπήρξε μια τροποποίηση στην σύμβαση MARPOL στην οποία προστέθηκε το «Πρωτόκολλο του 1997». Το προστιθέμενο Πρωτόκολλο περιλαμβάνει το πολύ σημαντικό παράρτημα VI το οποίο τιτλοφορείται: «Κανονισμοί για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα από πλοία» και στο οποίο αναφέρονται περιορισμοί εκπομπών κύριων αερίων ρύπων που εκπέμπονται στα καυσαέρια των πλοίων, τα οξείδια του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Επίσης εισάγει απαγορεύσεις στις σκόπιμες εκπομπές επιβλαβών, για την ατμόσφαιρα και το όζον, αερίων ρύπων.

Στο Παράρτημα VI καθορίζονται τα όρια των εκπομπών που επιβάλλονται στην παγκόσμια ναυσιπλοΐα και αναγράφονται ως Tier I, Tier II και Tier III. Το Tier I εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο Παράρτημα VI στην έκδοση του 1997. Τα υπόλοιπα δύο Tier II και III, γίνανε μέρος του Παραρτήματος μετά από έγκριση των τροπολογιών του Παραρτήματος το 2008.

2.2.1 Παράρτημα VI, Tier I

Στο Πρωτόκολλο του 1997 της MARPOL, περιλαμβάνεται το παράρτημα VI, το οποίο και μπαίνει σε εφαρμογή έναν χρόνο μετά την αποδοχή του από 15 χώρες μέλη και με μεγαλύτερη από το 50% της «παγκόσμιας ναυτιλιακής δυναμικότητας». Τα 15 κράτη μέλη ήταν τα εξής: Μπαχάμες, Μπαγκλαντές, Μπαρμπάντος, Δανία, Γερμανία, Ελλάδα, Λιβερία, Νήσοι Μάρσαλ, Νορβηγία, Παναμάς, Σιγκαπούρη, Ισπανία, Σουηδία, Βανουάτου και τέλος 15^ο μέλος η Σαμόα τον Μάιο του 2004. Το ποσοστό της παγκόσμιας ναυτιλιακής δυναμικότητας με αυτά τα κράτη μέλη έφτανε στο 54,57% και έτσι μπήκε σε εφαρμογή το Παράρτημα VI στις 19 Μαΐου 2005 [26].

Στην Εικ. 2.6 δίνεται το παράδειγμα εκπομπών οξειδίων του αζώτου με βάση τις στροφές της μηχανής και με σημεία απεικονίζονται οι στόχοι της IMO.



Εικόνα 2.6. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου με βάση την ταχύτητα στροφής της μηχανής και σύγκριση με τους στόχους της IMO [27].

Η εφαρμογή του αφορά - αναδρομικά - τους νεοκατασκευασθέντες κινητήρες εσωτερικής καύσης, ισχύος πάνω από 130kW οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε πλοία κατασκευασμένα μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2000. Επίσης ισχύει και για τα πλοία εκείνα που έχουν υποστεί μετασκευή μετά τον Ιανουάριο του 2000. Επεκτείνεται δε και στους ρύπους που εκλύονται από τις σταθερές καθώς και για τις πλωτές εξέδρες και πλατφόρμες για γεωτρήσεις. Οι μετρούμενοι ρύποι στην παραπάνω περίπτωση αποτελούνται μόνο από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες των γεωτρήσεων και όχι από τους ρύπους λόγω εξερεύνησης ή ελέγχου ορυκτών. Στα προαναφερθέντα όρια το μεγαλύτερο κομμάτι των κατασκευαστών μηχανών εσωτερικής καύσης για πλοία συμμορφώθηκε ήδη από το 2000.

2.2.2 Παράρτημα VI, Tier II και III

Τον Οκτώβριο του 2008 εισήχθησαν και εγκρίθηκαν τα Tier II και Tier III στο Παράρτημα VI. Σύμφωνα με αυτά διαμορφώνονται, αναθεωρούνται και ορίζονται οι παρακάτω κανόνες και απαιτήσεις:

- Απαιτήσεις για νέα, πιο ποιοτικά καύσιμα, μετά τον Ιούλιο του 2010
- Κανόνες για τις εκπομπές σε NO_x των νέων κινητήρων (Tier II-III)

- Κανόνες για τις εκπομπές σε NO_x των υφισταμένων κινητήρων πριν το 2000 (Tier I)

Το νέο ανανεωμένο Παράρτημα VI μπαίνει σε ισχύ τον Ιούλιο του 2010. Έως και τον Οκτώβριο του 2008 είχε επικυρωθεί ήδη από 53, μαζί και των ΗΠΑ, αντιπροσωπεύοντας έτσι το 81,88% της παγκόσμιας ναυτιλιακής δυναμικότητας.

2.2.2.1 Περιοχές ελέγχου των εκπομπών

Κατηγοριοποιώντας τους κανόνες εκπομπών αερίων ρύπων και τις απαιτήσεις στην ποιότητα των καυσίμων υλών, δημιουργήθηκαν δύο διακριτές κατηγορίες με γεωγραφικό γνώμονα:

- Κανόνες και απαιτήσεις που αφορούν την παγκόσμια ναυτιλιακή επιφάνεια
- Κανόνες και απαιτήσεις με αυστηρότερα κριτήρια οι οποίοι εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (ECA). Σε αυτές τις περιοχές δύναται να θεσπιστούν διαφορετικά όρια στους ρύπους οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων, μόνο με πρόταση από ένα μέλος κράτος της σύμβασης MARPOL.

Περιοχές που έχουν ενταχθεί στις περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών είναι:

- Η Βαλτική Θάλασσα (έλεγχος ως προς τα οξείδια του θείου, έγκριση: 1997 ισχύς από: 2005)
- Η Βόρεια Θάλασσα (έλεγχος ως προς τα οξείδια του θείου, έγκριση: 2005 ισχύς από: 2006)
- Την Ελεγχόμενη Περιοχή Βορείου Αμερικής, η οποία περιλαμβάνει σχεδόν το σύνολο των ακτών των Ηνωμένων Πολιτειών και το Καναδά. (έλεγχος ως προς τα οξείδια του αζώτου και του θείου, έγκριση: 2010 ισχύς από: 2012)
- Την Ελεγχόμενη Περιοχή της Καραϊβικής - ΗΠΑ στην οποία συμπεριλαμβάνεται το Πουέρτο Ρίκο και οι Παρθένοι Νήσοι (έλεγχος ως προς τα οξείδια του αζώτου και του θείου, έγκριση: 2011 ισχύς από: 2014)

Οι τροποποιήσεις που γίνανε το 2011 στο Παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL, προσέθεσαν νέα αυστηρά μέτρα στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και εισήγαγαν το κεφάλαιο 4 στο Παράρτημα VI, το οποίο αναφέρεται στους «Κανονισμούς για την Ενεργειακή Απόδοση στα Πλοία».

2.2.2.2 Κανόνες εκπομπών NO_x

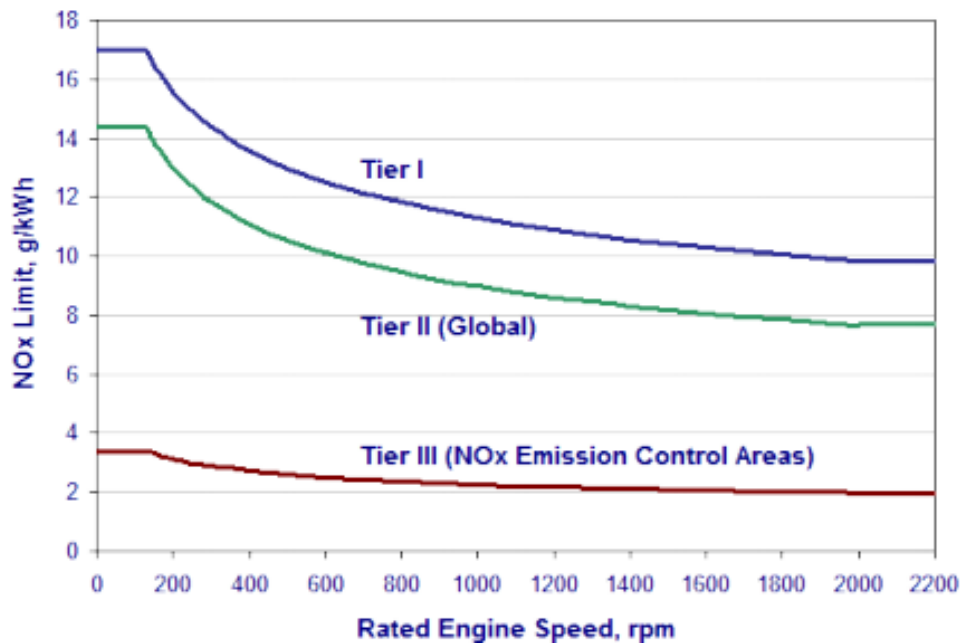
Σύμφωνα με το κεφάλαιο 4 καθορίζονται οι επιτρεπτές τιμές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) οι οποίες κατηγοριοποιούνται αναλόγως με την μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του στροφαλοφόρου της μηχανής (n σε rpm) και αναφέρεται σε κινητήρες diesel.

- Σύμφωνα με το Tier I (έτος κατασκευής πριν το 2000)
 - 17.0 gr / kWh NO_x για n < 130 rpm
 - $45.0 \times n^{-0.2}$ gr / kWh NO_x για 130 < n ≤ 2000 rpm
 - 9.8 gr / kWh NO_x για n ≥ 2000 rpm

Το Tier I βρίσκει εφαρμογή στους υφιστάμενους κινητήρες σε πλοία με έτος κατασκευής μεταξύ Ιανουάριο 1990 και Δεκέμβρη 1999 και διαθέτουν μετατόπιση κυλίνδρου μεγαλύτερη ή ίση από 90 ltr / κύλινδρο καθώς και ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη ή ίση από 5000 kW.

- Σύμφωνα με το Tier II (έτος κατασκευής μεταξύ 2000 και 2011)
 - 14.4 gr / kWh NO_x για n < 130 rpm
 - $44.0 \times n^{-0.23}$ gr / kWh NO_x για 130 < n ≤ 2000 rpm
 - 7.7 gr / kWh NO_x για n ≥ 2000 rpm
- Σύμφωνα με το Tier III (έτος κατασκευής μεταξύ 2011 και 2016)
 - 14.4 gr / kWh NO_x για n < 130 rpm
 - $44.0 \times n^{-0.23}$ gr / kWh NO_x για 130 < n ≤ 2000 rpm
 - 7.7 gr / kWh NO_x για n ≥ 2000 rpm

Το Tier III εφαρμόζεται μόνο σε Περιοχές Ελεγχόμενων Εκπομπών (ECAs), ενώ τα υπόλοιπα έχουν παγκόσμια ισχύ. Τα αποτελέσματα για την μείωση των εκπομπών τα οποία θέτει το Tier III προγραμματίζεται να φανούν από την αύξηση της απόδοσης και της ποιότητας κατά τον κύκλο της καύσης των κινητήρων. Διάφοροι παράμετροι που πιστεύεται ότι θα συμβάλλουν σε αυτόν τον στόχο και μελετώνται αποτελούν η πίεση και ο ρυθμός παροχής καυσίμου, ο συγχρονισμός παροχής, η περιοχή ροής, ο χρονισμός των βαλβίδων καθώς και ο όγκος του θαλάμου καύσης. Για την πραγματοποίηση των ελέγχων κατά Tier III ενδέχεται να απαιτηθούν εξειδικευμένες τεχνικές όπως επαγωγή νερού, καταλυτική αναγωγή κλπ.



Εικόνα 2.7. MARPOL Παράρτημα VI: Όρια εκπομπών NO_x [27].

Ο τρόπος ελέγχου των μηχανών περιλαμβάνει δοκιμές σε διάφορους κύκλους σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 8178, οι οποίοι πραγματοποιούνται με δυναμόμετρα και την μηχανή σε σταθερή κατάσταση. Οι κύκλοι που χρησιμοποιούνται από το ISO 8178 είναι οι E2 και E3 για μηχανές πρόωσης, ο D2 για τις βοηθητικές μηχανές σταθερής ταχύτητας και ο C1 για τους βοηθητικούς κινητήρες μεταβαλλόμενης ταχύτητας και κινητήρες φορτίων.

Στο Tier III η χρήση του κανόνα «να μην ξεπεραστούν» (not to exceed - NTE) οι απαιτήσεις του Πρωτοκόλλου τίθεται υπό συζήτηση. Όρια NTE με συντελεστή πολλαπλασιασμού 1,5 βρίσκουν εφαρμογή στις εκπομπές NO₂ σε οποιοδήποτε σημείο φόρτισης του κινητήρα στους κύκλους E2 και E3. Οι έλεγχοι θα πρέπει να διενεργούνται χρησιμοποιώντας καύσιμα από διυλισμένο πετρέλαιο, αν και στην πραγματικότητα χρησιμοποιούνται διάφορα καύσιμα.

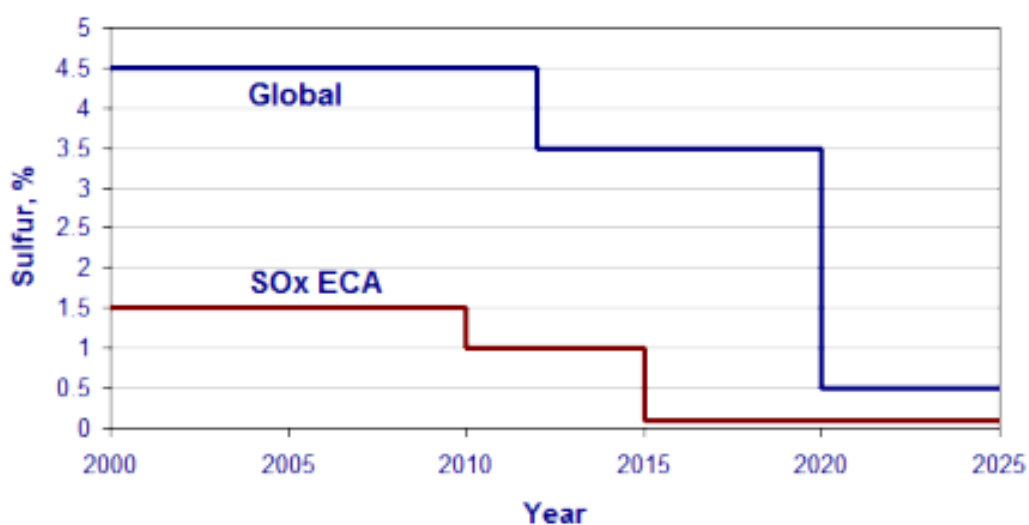
2.2.2.3 Κανόνες εκπομπών SO_x

Το Παράρτημα VI θεσμοθετεί όρια για τους αέριους ρύπους λαμβάνοντας υπόψη την συγκέντρωση θείου στην ποσότητα των καυσίμων. Κατά αυτόν τον τρόπο λαμβάνει μέτρα για την μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) και κατ' επέκταση για την μείωση των εκπομπών αιρούμενων σωματιδίων, καθώς δεν υπάρχουν σαφή ανώτατα όρια για αυτές τις εκπομπές. Για την μέτρηση των εκπομπών οξειδίων του θείου υπάρχουν εξειδικευμένες μέθοδοι υπολογισμού οι οποίες υπολογίζονται στις περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (SO_x ECA ή αλλιώς SECA).

Επιτρέπεται η χρήση μαζούτ (HFO) αλλά πάντα υπό την προϋπόθεση ότι είναι μέσα στα όρια των εκπομπών οξειδίων του θείου που ισχύει κάθε φορά. Παρακάτω παρουσιάζονται τα όρια για τις εκπομπές οξειδίων του θείου καθώς η χρονολογία εφαρμογής τους:

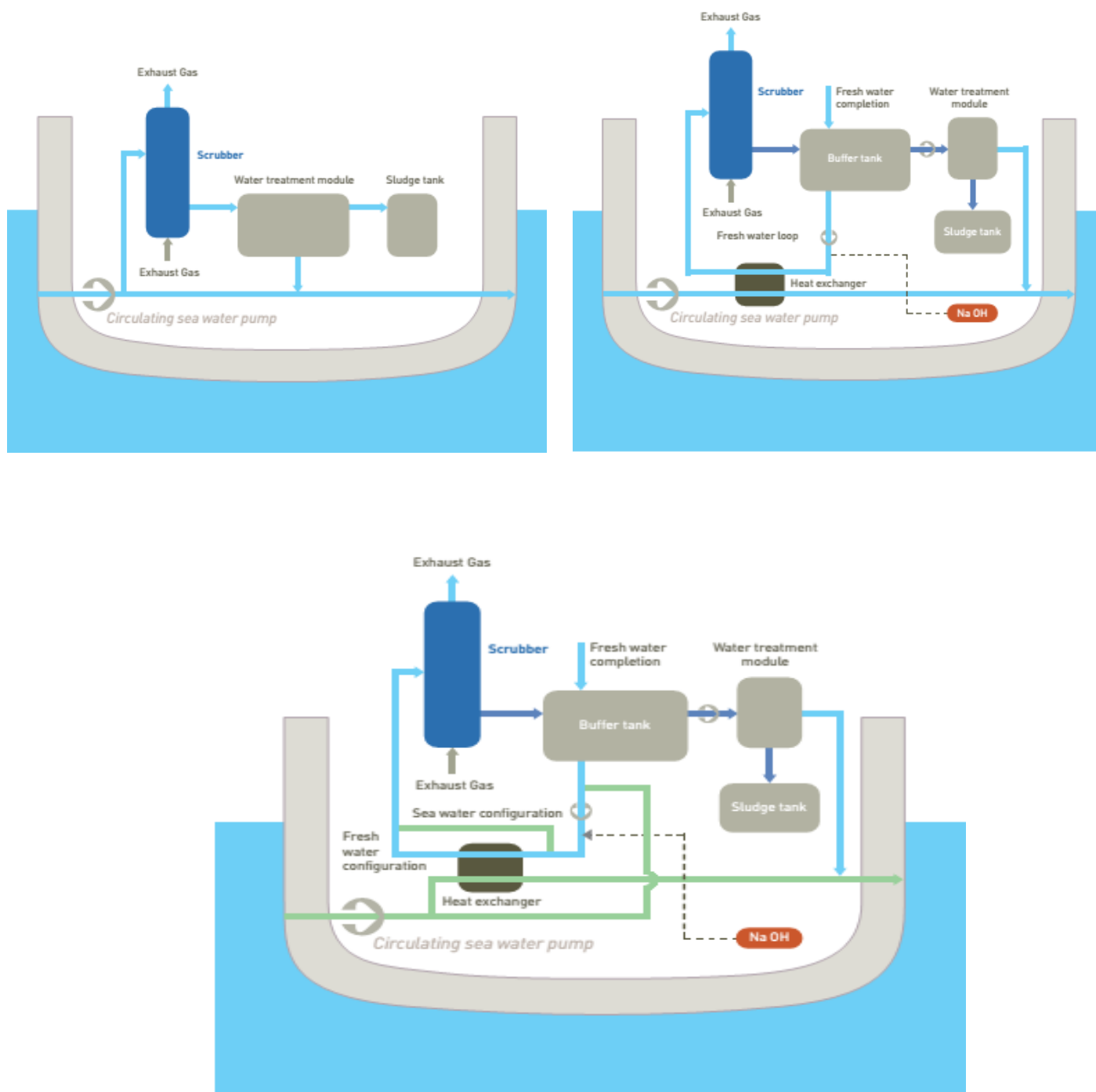
- Έτος 2000:
 - Περιοχές εντός SECA: 1.5%
 - Παγκοσμίως : 4.5%
- Έτος 2010:
 - Περιοχές εντός SECA: 1.0%
 - Παγκοσμίως : 4.5%
- Έτος 2012:
 - Περιοχές εντός SECA: 1.5%
 - Παγκοσμίως : 3.5%
- Έτος 2015:
 - Περιοχές εντός SECA: 0.1%
 - Παγκοσμίως : 3.5%
- Έτος 2020:
 - Περιοχές εντός SECA: 0.1%
 - Παγκοσμίως : 0.5%

Εναλλακτικά προτείνεται το έτος 2025 ως έτος ολοκλήρωσης εφαρμογής των παραπάνω ορίων αντί του 2020, απόφαση που θα τεθεί υπό συζήτηση στην αναθεώρηση του Παραρτήματος το 2018.



Εικόνα 2.8. MARPOL Παράρτημα VI: Όρια εκπομπών SO_x [28].

Εναλλακτικές πρακτικές, όπως για παράδειγμα scrubbers, για την μείωση των εκπομπών SO_x , επιτρέπονται τόσο σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών όσο και παγκοσμίως. Στην Εικ. 2.9 δίνονται κάποιες από τις περιπτώσεις με scrubbers.



Εικόνα 2.9. Συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ενέργειας [29].

Έτσι αντί για να χρησιμοποιηθούν καύσιμα στα πλοία με εκπομπές SO_x 1.5% σε περιοχές SECA, δύναται να εγκαταστήσουν οποιοδήποτε εγκεκριμένο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων και έτσι να μειώσουν τις εκπομπές στα επιτρεπτά όρια κάτω δηλαδή από 6 gr/kWh, όπως ισχύει για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2) [30].

2.2.2.4 Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου και Ενεργειακή Απόδοση

Η σύμβαση MARPOL με το κεφάλαιο 4 του Παραρτήματος VI, δημιουργεί δύο σημαντικούς κανονισμούς οι οποίοι θεσμοθετούν πρότυπα για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων:

- i. Energy Efficiency Design Index (EEDI)
- ii. Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)

Σύμφωνα με τον EEDI, ο οποίος έχει ισχύ στα νεοκατασκευασθέντα πλοία, καθορίζεται ένα ελάχιστο όριο ενεργειακής απόδοσης το οποίο πρέπει να πληρούν τα πλοία. Οι κατασκευάστριες εταιρείες αφήνονται ελεύθερες στον τρόπο με τον οποίον θα φτάσουν τον στόχο αυτής της ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε τεχνολογία επιθυμούν. Ο SEEMP, ο οποίος ισχύει για όλα τα πλοία, ανεξαρτήτου έτους κατασκευής, καθορίζει μηχανισμούς ώστε οι χειριστές των πλοίων να βελτιώσουν την ενεργειακή του απόδοση.

Οι παραπάνω κανονισμοί οφείλονται να ακολουθούνται από όλα τα πλοία με ολική χωρητικότητα 400 τόνων και άνω, με ημερομηνία ισχύος από τον Ιανουάριο του 2013. Μεταβατικές περίοδοι και ελαστικότητα στην εφαρμογή τους υπάρχουν αρχικά για διάστημα μέχρι και 6,5 χρόνια μετά από την ισχύ. Ο IMO έχει την δυνατότητα να παρακάμψει την εφαρμογή του κανονισμού EEDI αν το κρίνει απαραίτητο για κάποια νέα πλοία, για παράδειγμα αυτά που βρίσκονται ακόμη υπό κατασκευή.

2.2.2.5 Λοιπές Προβλέψεις

Στο Παράρτημα VI προβλέπεται ρητά η απαγόρευση εκπομπής αερίων ρύπων που βλάπτουν την ατμόσφαιρα και το όζον, όταν αυτές γίνονται εσκεμμένα, όπως για παράδειγμα οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs και Halons). Απαγορεύονται οποιεσδήποτε εγκαταστάσεις περιέχουν ανάλογες ουσίες εντός του πλοίου, εκτός από αυτές που περιέχουν υδροχλωροφθοράνθρακες και οι οποίες επιτρέπονται ως τις αρχές του 2020. Επίσης υπάρχει ρητή απαγόρευση καύσης εντός του πλοίου κάποιων αντικειμένων και υποπροϊόντων, όπως μολυσμένα υλικά και υλικά που περιέχουν PCBs.

2.2.2.6 Συμμόρφωση

Για τη συμμόρφωση των πλοίων με τους κανονισμούς του Παραρτήματος VI ορίζονται και διενεργούνται τακτικοί έλεγχοι και έρευνες. Μετά το τέλος της έρευνας εκδίδεται στο πλοίο το απαραίτητο «Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης της Ρύπανσης Ατμόσφαιρας», με ισχύ 5 χρόνων.

Κατά το «Τεχνικό Κώδικα NO_x» αυτός ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συμμόρφωση του πλοίου είναι ο φορέας εκμετάλλευσης κάθε φορά και όχι ο κατασκευαστής.

2.2.2.7 Μέσα ελέγχου εκπομπής αερίων ρύπων

Σύμφωνα με το παράρτημα VI κάθε πλοίο με συνολική χωρητικότητα 400 tn και άνω θα πρέπει ν υπόκειται στις εξής επιθεωρήσεις:

- Αρχική επιθεώρηση πριν την λειτουργία του πλοίου ή πριν την έκδοση του αρχικού πιστοποιητικού και η οποία θα διασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός και τα συστήματα θα είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο Παράρτημα
- Περιοδικές επιθεωρήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα τα οποία ορίζονται από την Αρμόδια Αρχή και τα οποία δε θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 5 χρόνια.
- Ενδιάμεσες επιθεωρήσεις (τουλάχιστον μία κατά τη διάρκεια ισχύος του πιστοποιητικού).

Σε περίπτωση πλοίου με χωρητικότητα μικρότερη των 400tn, η Αρχή οφείλει να πάρει κατάλληλα μέτρα ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με το Παράρτημα. Επιθεωρήσεις σε μηχανικά μέρη ώστε να ελέγχεται συμμόρφωση με τον κανονισμό θα πρέπει να διενεργείται σύμφωνα με τον κανονισμό του Τεχνικού Κώδικα NO_x.

Ο εξοπλισμός θα πρέπει να συντηρείται και να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές οι οποίες υποδεικνύονται από τους κανονισμούς. Για οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή ατύχημα το οποίο επιδρά αρνητικά στην αποτελεσματικότητα του πλοίου θα πρέπει ο Πλοίαρχος ή η πλοιοκτήτρια εταιρεία να το αναφέρει άμεσα στις αρμόδιες αρχές και στον διορισμένο επιθεωρητή.

Στον κανονισμό 6 του Παραρτήματος αναφέρονται οι προδιαγραφές των πλοίων και τα διαστήματα των επιθεωρήσεων όσον αφορά την ρύπανση του αέρα. Σύμφωνα με αυτό εκδίδεται ένα Πιστοποιητικό Ρύπανσης του Αέρα μετά από κάθε επιθεώρηση σύμφωνα με τα παραπάνω. Έτσι απαγορεύονται εγκαταστάσεις που περιέχουν ουσίες που καταστρέφουν το όζον σε όλα τα πλοία, εκτός και αν περιέχουν HCFCs οι οποίοι και επιτρέπονται μέχρι το 2020.

Οι λειτουργίες των μηχανών diesel στα πλοία επιτρέπονται όταν συμμορφώνονται με το Παράρτημα όταν υπάρχει σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων - εγκεκριμένο από την Αρχή - το οποίο να οδηγεί σε αέριους ρύπους εντός των προαναφερθέντων ορίων, ή οποιαδήποτε άλλη εγκεκριμένη μέθοδος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΛΟΙΩΝ

Η ιστορία των θαλάσσιων μεταφορών κάνει την εμφάνισή της στην αρχαιότητα με το «μονόξυλο». Στη συνέχεια με τα χρόνια οι θαλάσσιες μεταφορές εξελίχτηκαν ώστε στις μέρες μας να αποτελούν μια τεράστια οικονομική και κοινωνική δύναμη. Παρατηρώντας την πορεία του πλοίου ιστορικά μέσα από την ιστορία των θαλάσσιων μεταφορών, διαπιστώνουμε την ολοένα και μεγαλύτερη τεχνολογική του εξέλιξη η οποία πάντα συμβάδιζε με τις νέες ανακαλύψεις κάθε εποχής. Οι σπουδαιότερες αλλαγές και σημεία πάνω στα οποία εντοπίζονται οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις τους είναι η μορφή τους, το μέγεθός τους και ο ειδικός εξοπλισμός τους. Ευνόητο είναι και το γεγονός ότι κατά μεγάλο ποσοστό οι διαφοροποιήσεις τους σε πολλές κατηγορίες και τύπους υποβοηθήθηκε από την τεράστια βιομηχανική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών, με τα ποικίλα διαθέσιμα προϊόντα και υλικά, όπως πρώτες ύλες, λειτουργικά υλικά, καύσιμα κλπ.

Στη δημιουργία των διάφορων τύπων πλοίων συντέλεσαν διάφοροι λόγοι , όπως ανθρώπινες ανάγκες, η βιομηχανική ανάπτυξη, η εξέλιξη της τεχνολογίας, οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη της ναυτιλίας κλπ. Η κατάταξή τους μπορεί να γίνει με τα εξής κριτήρια [31]:

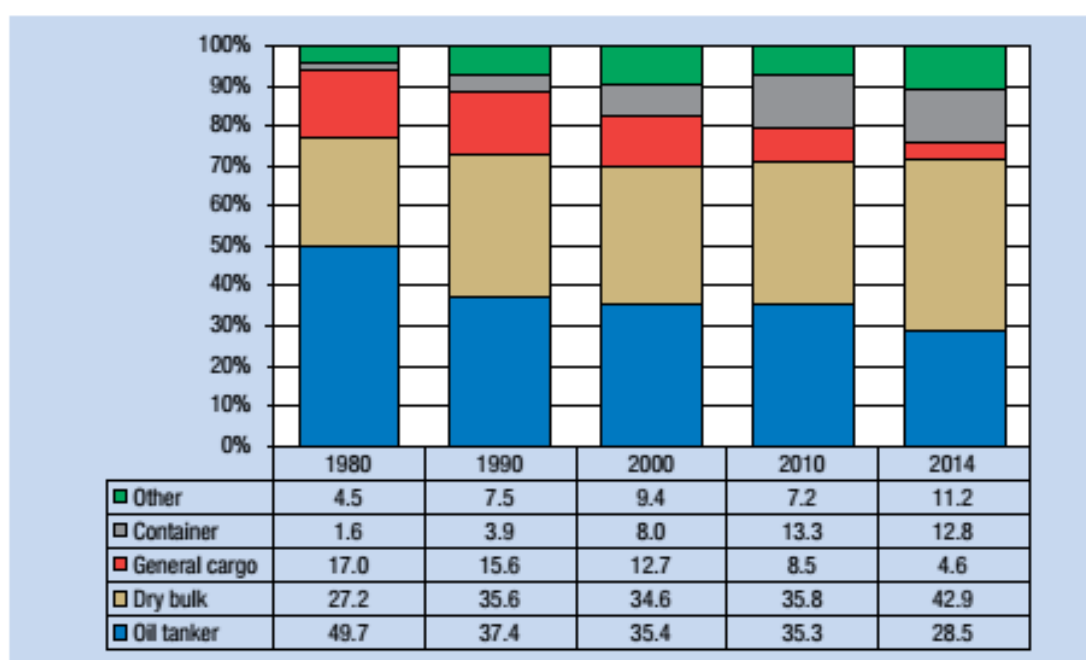
- υλικό κατασκευής
- είδος και περιοχή μεταφορών
- μέσο πρόωσης
- σκοπός εξυπηρέτησης

3.1 Τύποι Πλοίων

Γενικά μπορούμε να κατατάξουμε τα εμπορικά πλοία σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- Φορτηγά Πλοία
- Επιβατηγά Πλοία
- Πλοία Βοηθητικής Ναυτιλίας
- Ειδικού Προορισμού Πλοία

Σύμφωνα με τα στοιχεία της παγκόσμιας ναυτιλίας το μεγαλύτερο ποσοστό πλοίων αποτελούν τα φορτηγά και μάλιστα αυτά που μεταφέρουν ξηρό φορτίο (dry bulk) (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1. Ποσοστό πλοίων με βάση τον τύπο τους από το 1980 έως το 2014 [32].

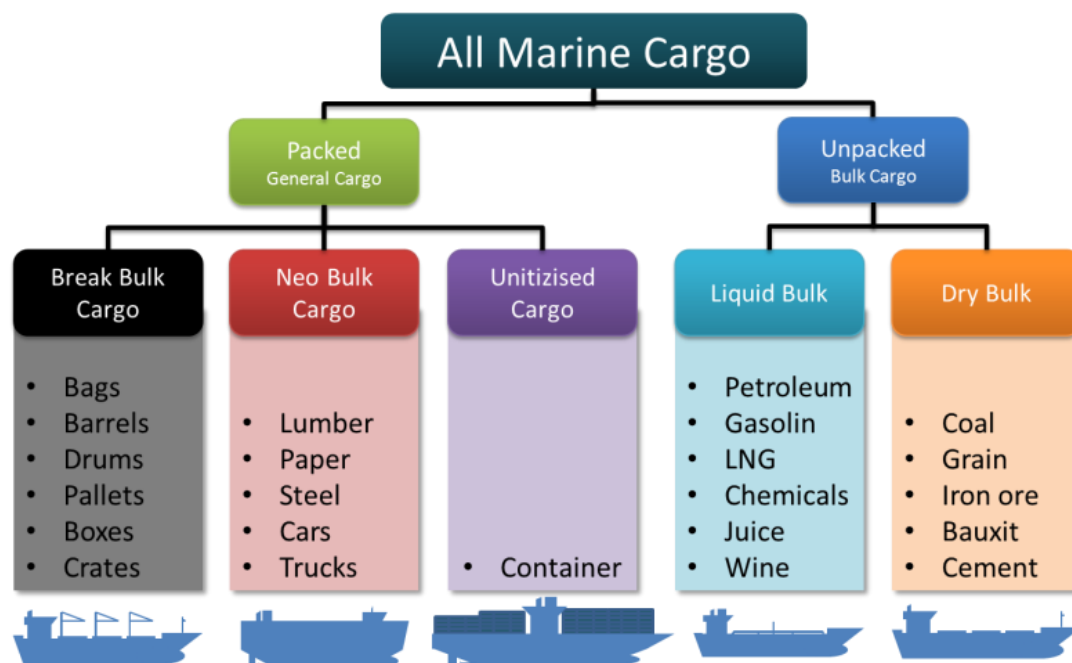
3.1.1 Φορτηγά Πλοία (Cargo Ships)

Τα Φορτηγά πλοία είναι πλοία τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφερθούν διάφορα φορτία τα οποία μπορεί να είναι σε στερεή (χύμα ή τυποποιημένα), υγρή / υγροποιημένη και μικτή μορφή (στερεή και υγρή) και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των πλοίων που χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες μεταφορές. Έτσι όταν αναφερόμαστε σε Φορτηγό πλοίο αναφερόμαστε σε πλοίο που μεταφέρει μόνο φορτία όλων των ειδών και σε οποιαδήποτε μορφή, αλλά όχι επιβάτες [33].

Στην πράξη τα φορτηγά πλοία χωρίζονται και σε μικρότερες επιμέρους κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη τα εξειδικευμένα φορτία που δύναται να μεταφέρουν, τον τρόπο

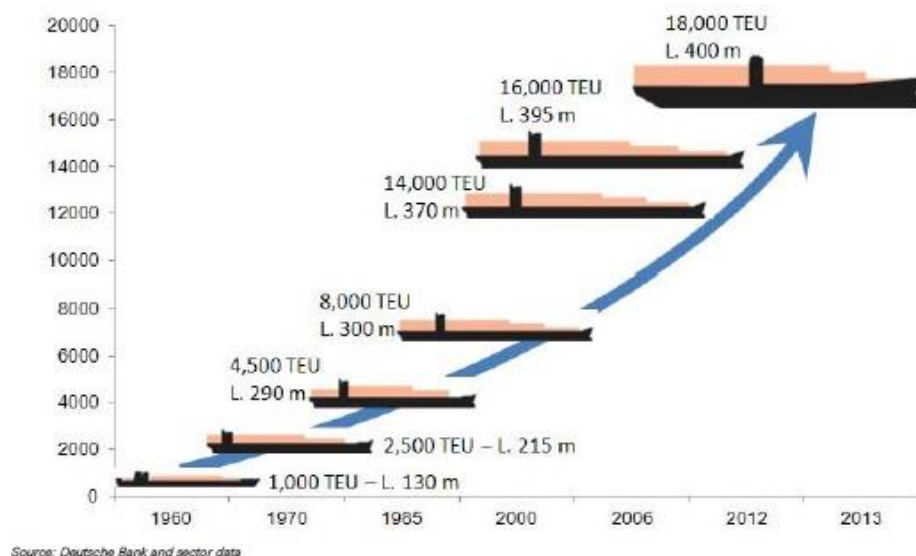
εκμετάλλευσης, αλλά και την κατασκευή τους εν γένει. Στην πράξη αυτά τα πλοία (τα πλοία μεταφοράς αγαθών όπως λέγονται) διακρίνονται σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες (Εικ. 3.2):

- Φορτηγά πακεταρισμένου φορτίου (packed or general cargo)
- Φορτηγά μη πακεταρισμένου φορτίου (Unpacked)



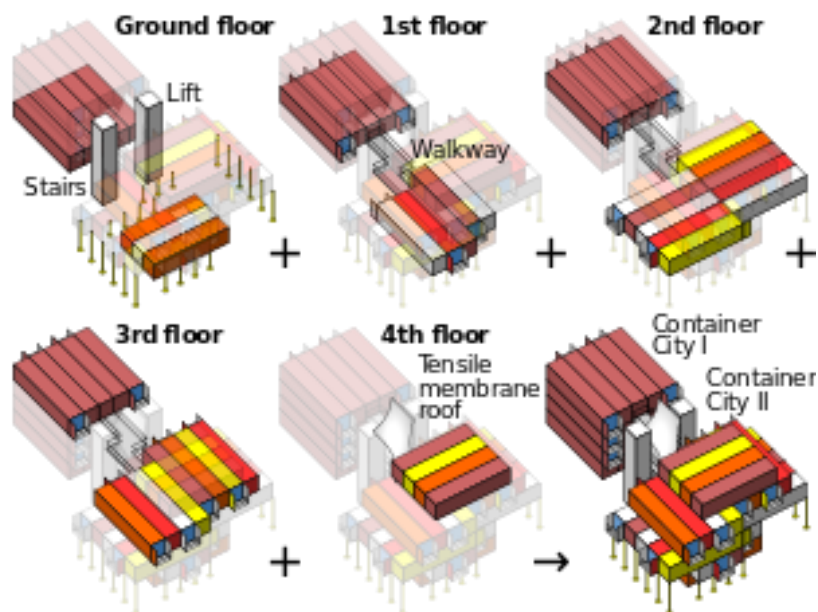
Εικόνα 3.2. Κατηγοριοποίηση Φορτηγών Πλοίων [34].

Στα σύγχρονα φορτηγά πλοία συναντάμε ένα κύριο κατάστρωμα με υπερυψωμένο πρόστεγο ενώ στην πρόμνη τοποθετημένες βρίσκονται οι υπερκατασκευές και το μηχανοστάσιο, πλην κάποιων εξαιρέσεων όπως φορτηγά πλοία για ειδικές μεταφορές όπως αυτοκινήτων, ζώων κλπ. Αυτά τα πλοία έχουν συνήθως τις υπερκατασκευές τους και τη γέφυρα στο μπροστινό μέρος. Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι το μέγεθος των φορτηγών πλοίων από το 1960 έως το 2013 είναι 200 φορές πιο μεγάλο, όπως αντικατοπτρίζεται στην Εικ. 3.3.



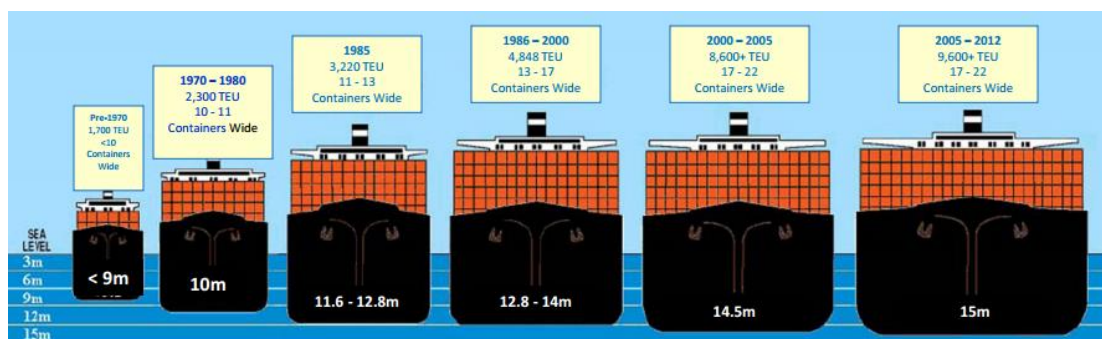
Εικόνα 3.3. Η εξέλιξη του μεγέθους των φορτηγών πλοίων από το 1960 έως το 2013 [35].

Σχετικά με τη δομή των φορτηγών πλοίων, τα αμπάρια στα φορτηγά πλοία είναι μεγάλα και αρκετά υπερυψωμένα από το κατάστρωμα, για την διευκόλυνση της γρήγορης φορτοεκφόρτωσης με μηχανικά μέσα. Τα σύγχρονα φορτηγά στην πλειονότητά τους διαθέτουν και δικά τους φορτοεκφορτωτικά μέσα, όπως γερανούς, κρένια και μπίγες. Εσωτερικά του σκάφους και κυρίως στο επάνω μέρος των αμπαριών, αμέσως κάτω από το βασικό κατάστρωμα, τα φορτηγά είναι εξοπλισμένα με δεξαμενές έρματος, επιπλέον των διπυθμένων, των οποίων η χρησιμότητα εκτός των άλλων είναι και για το ανέβασμα του κέντρου βάρους του πλοίου, με θετική επίπτωση στη βελτίωση της ευστάθειάς του σε περιπτώσεις όπου αυτό φορτώνεται με πολύ βαριά φορτία. Η αρχιτεκτονική γενικότερα ενός φορτηγού πλοίου παίζει ρόλο όχι μόνο για να βοηθήσει το πλοίο να ισορροπήσει, αλλά και για τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων [33].



Εικόνα 3.4. Τρόπος τοποθέτησης φορτίων σε φορτηγό πλοίο [36].

Παράλληλα με το μέγεθος του πλοίου που προαναφέρθηκε, άλλαξε ταυτόχρονα και το μέγεθος των φορτίων και κατά συνέπεια και η υποδύναμη και κατανάλωση καυσίμου (Εικ.3.5).



Εικόνα 3.5. Η εξέλιξη του μεγέθους της δεξαμενής αποθήκευσης φορτηγών πλοίων από το 1960 έως το 2013 [35].

Τα φορτηγά πλοία που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τις θαλάσσιες μεταφορές χύμα υγρών φορτίων ονομάζονται «Δεξαμενόπλοια». Τα συνηθέστερα φορτία αυτών των πλοίων αποτελούν το πετρέλαιο και παράγωγά του, χημικά, υγροποιημένα αέρια, λιπαντικά, λάδια κλπ. Τα Δεξαμενόπλοια αποτελούν ειδική κατηγορία φορτηγού πλοίου, καθώς είναι ειδικά κατασκευασμένα για τη φόρτωση και μεταφορά υγρών φορτίων (χύμα). Όπως και τα Φορτηγά πλοία, έτσι και τα Δεξαμενόπλοια διαθέτουν και αυτά ένα κύριο κατάστρωμα, χωρίς πρόστεγο συνήθως, και στο πρυμναίο μέρος τους συναντάμε το μηχανοστάσιο και τις

υπερκατασκευές. Σε παλιότερα πλοία συναντάμε σπανίως πρόστεγο στην πλώρη και τις υπερκατασκευές στην μέση. Τα αμπάρια διαθέτουν πολύ μικρά ανοίγματα, μικρής διαμέτρου και χαμηλού ύψους από το κατάστρωμα που μοιάζουν περισσότερο με ανθρωποθυρίδες (καθώς κυρίως γι' αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούνται).

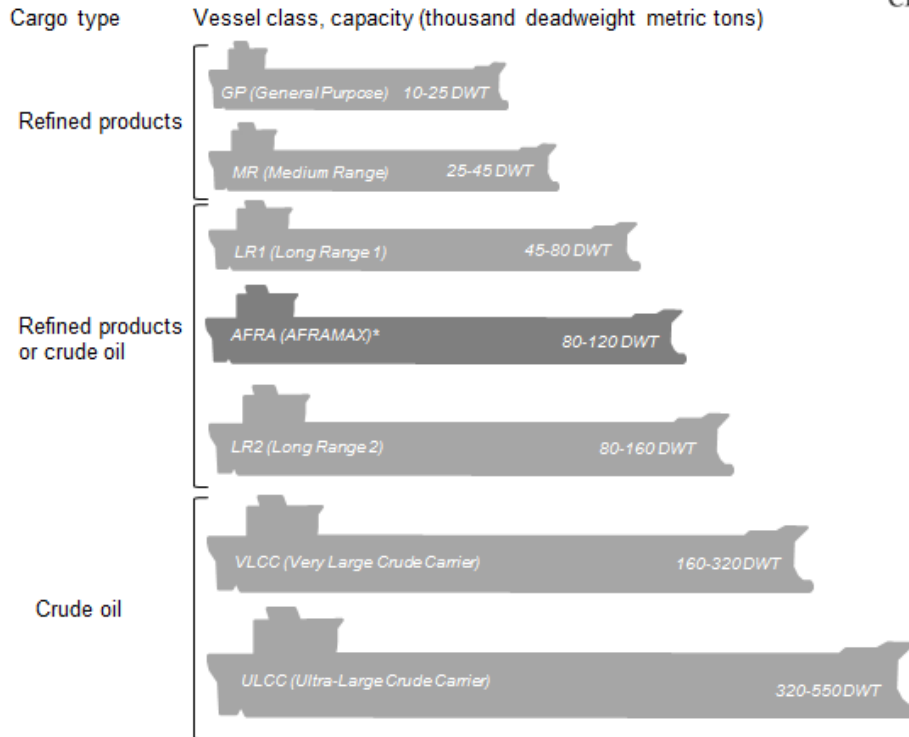
Χαρακτηριστικό του κύριου καταστρώματος αποτελεί το πλήθος των σωληνώσεων που διατρέχουν όλο το μήκος του αποθηκευτικού χώρου, οι οποίες χρησιμεύουν για τις ανάγκες της φορτοεκφόρτωσης των εμπορευμάτων. Στα δεξαμενόπλοια δε θα συναντήσουμε δεξαμενές έρματος, ούτε καν υπό την μορφή διπυθμένων, όπως συναντώνται στα Φορηγά πλοία. Όταν χρειαστούν έρμα τον ρόλο τους αναλαμβάνουν συγκεκριμένες δεξαμενές φορτίου, οι οποίες έχουν πλυθεί πρώτα και έχουν απομακρυνθεί τα τυχόν κατάλοιπα των εμπορευμάτων τους.

Ακόμη ένα χαρακτηριστικό που συναντάμε στα σύγχρονα Δεξαμενόπλοια αποτελεί το γεγονός ότι τα αμπάρια τους δεν εκτείνονται έως και το εξωτερικό κέλυφος του πλοίου, αλλά αφήνουν ένα διάκενο 0,70m - 1,20m, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο έναν κενό χώρο ανάμεσα στην εξωτερική λαμαρίνα των αμπαριών και σ' αυτήν του πλοίου. Η χρησιμότητα αυτού του διακένου είναι μεγάλη καθώς δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο ένα «στεγανό σύγκρουσης» το οποίο προστατεύει από διαρροές το υγρό φορτίο του πλοίου σε περιπτώσεις προσάραξης ή και σύγκρουσης.

Με βάση τη χωρητικότητά τους τα δεξαμενόπλοια κατηγοριοποιούνται ως εξής (Εικ. 3.6):

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| • Μέχρι 2500 tn dwt: | Μικρό δεξαμενόπλοιο |
| • 2500tn – 4000tn dwt : | Μεσαίο δεξαμενόπλοιο |
| • 4000tn – 10000tn dwt: | Συμβατικό |
| • 10000tn – 25000tn dwt: | Μεγάλο |
| • 25000tn – 80000tn dwt: | Υπερδεξαμενόπλοιο (Super Tanker) |
| • 80000tn – 130000tn dwt: | Μαμούθ (Mammoth Tanker) |
| • 130000tn – 200000tn dwt: | Γιγαντιαίο (Giant Tanker) |
| • 200000tn – 300000tn dwt: | VLCC (Very Large Crude Carrier) |
| • 300000tn και πάνω dwt: | ULCC (Ultra Large Crude Carrier) |

Average Freight Rate Assessment (AFRA) Scale - Fixed



Εικόνα 3.6. Κατηγοριοποίηση δεξαμενόπλοιων με βάση το μέγεθός τους [37].

3.1.2 Επιβατηγά Πλοία (Passenger Ships)

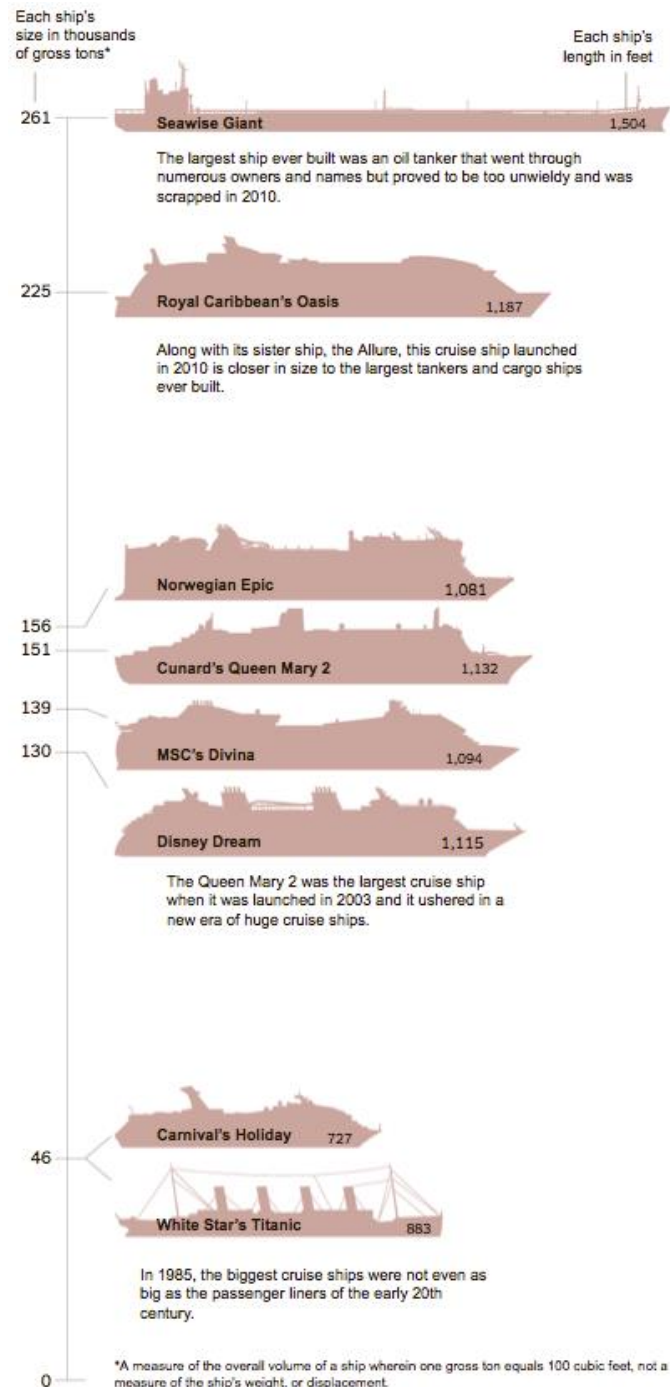
Επιβατηγά χαρακτηρίζονται τα πλοία τα οποία μεταφέρουν κυρίως επιβάτες, ενώ παράλληλα είναι διαμορφωμένα κατάλληλα ώστε να μπορούν να μεταφέρουν και μικροποσότητες - σε σχέση με τα Φορτηγά - εμπορευμάτων αλλά και οχήματα σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους [38].

Τα επιβατηγά πλοία ονομάζονται και «ακτοπλοϊκά μικρής, μέσης και μεγάλης ακτοπλοΐας και κατηγοριοποιούνται σε:

- Επιβατηγά κλειστών θαλασσών
- Υπερωκεάνια (Transocean ships)

Τα Υπερωκεάνια αποτελούν κατηγορία επιβατηγού πλοίου τα οποία είναι ικανά να διαπλεύσουν τους ωκεανούς. Περίπου το 1840 έχουμε την εμφάνιση των πρώτων υπερωκεάνιων που διέπλεαν τον Ατλαντικό, με αποκορύφωμα της χρυσής τους εποχής από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα ως και τα μέσα του 20^{ου}. Ιστορικά τα πλοία αυτής της κατηγορίας είναι συσχετισμένα με τις εποχές του ακραίου μεταναστευτικού φαινομένου (για αυτό πολλές φορές τα συναντάμε και σαν «μεταναστευτικά ποντοπόρα πλοία»). Με την ραγδαία

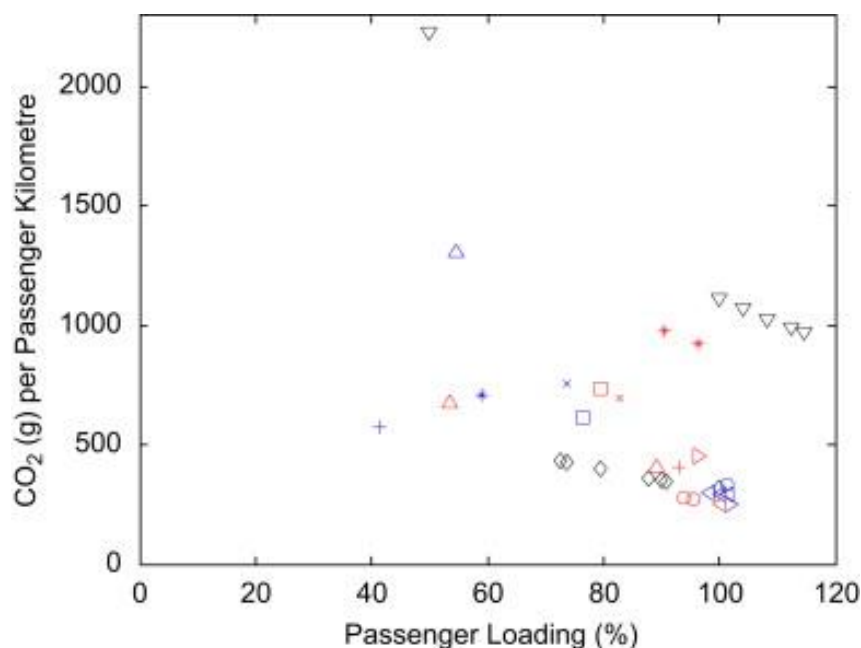
εξέλιξη των αεροπορικών συγκοινωνιών άρχισε η παρακμή της εποχής των υπερωκεανίων, τα οποία - από τη δεκαετία του 70' και μετά - άρχισαν σταδιακά να αποσύρονται από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα γραμμών και να μετατρέπονται σε ποντοπόρα κρουαζιερόπλοια, εξυπηρετώντας ένα ιδιαίτερα επικερδή κλάδο που επικρατεί και στις μέρες μας στον τουρισμό.



Εικόνα 3.7. Εξέλιξη μεγέθους κρουαζιερόπλοιων από το 1985 μέχρι το 2010 [39].

Παρά ωστόσο την προαναφερόμενη παρακμή το μέγεθος τους συνέχιζε να αυξάνει από τότε που εμφανίστηκαν, όπως δίνεται στην Εικ. 3.7. Θα πρέπει λοιπόν να σημειωθεί ότι ταυτόχρονα με το μέγεθος αυξήθηκε και η κατανάλωση καυσίμου καθώς και οι εκπομπές αερίων ρύπων.

Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη σε δεκαοχτώ διαφορετικά κρουαζιερόπλοια έδειξε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των επιβατών τόσο αυξάνεται το διοξείδιο του άνθρακα [40].



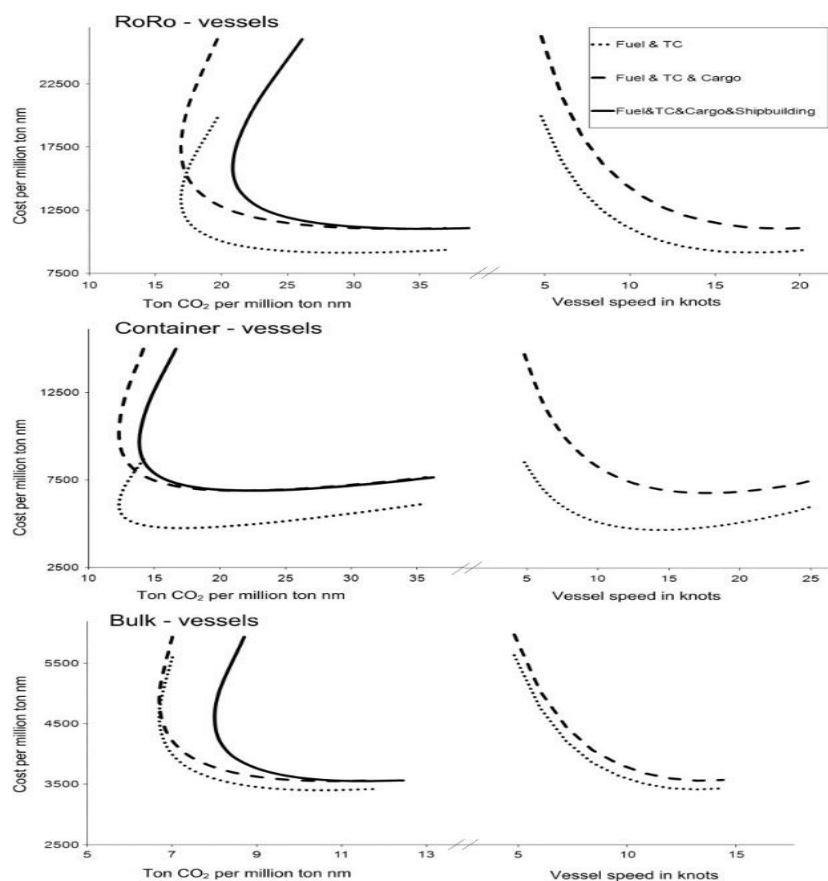
Εικόνα 3.8. Ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα συναρτήσει ποσοστού επιβατών για 18 διαφορετικά υπερωκεάνια [40].

Περαιτέρω διαχωρισμός των επιβατηγών πλοίων μπορεί να γίνει σύμφωνα με κάποια κριτήρια όπως η χρονική διάρκεια του ταξιδιού σύμφωνα με την οποία διακρίνουμε αυτά που εκτελούν μικρά δρομολόγια εντός ημέρας και αποκαλούνται «ημερόπλοια» και σε αυτά που εκτελούν δρομολόγια όλο το 24ωρο και διαθέτουν κατάλληλο εξοπλισμό (καμπίνες κλπ). Επίσης σύμφωνα με τα δρομολόγια διακρίνουμε τα συγκοινωνιακών γραμμών (passenger liners), εσωτερικού ή εξωτερικού, και σε πλοία περιήγησης τα λεγόμενα κρουαζιερόπλοια (cruise ships). Τέλος κρίνοντας από τον εξοπλισμό τους και το πόσο σύγχρονος είναι διακρίνουμε τα Επιβατηγά κλασσικού τύπου (έχουν σχεδόν εξαλειφθεί), τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά (passenger.car ferries), τα Ferry boats, και σύγχρονα ταχύπλοα όπως τα Hovercrafts, και τα δικάρινα (Catamarans).

3.1.3 Πλοία Βοηθητικής Ναυτιλίας (Auxiliary Ships)

Τα πλοία Βοηθητικής Ναυτιλίας αποτελούνται από πλοία καθώς και από πλωτές κατασκευές οι οποίες είναι κατασκευασμένες για χρήση σε ορισμένες περιοχές, όπως ποτάμια ή λίμνες καθώς και για υποβοηθούν και να εξυπηρετούν ανάγκες και λειτουργίες των υπολοίπων πλοίων.

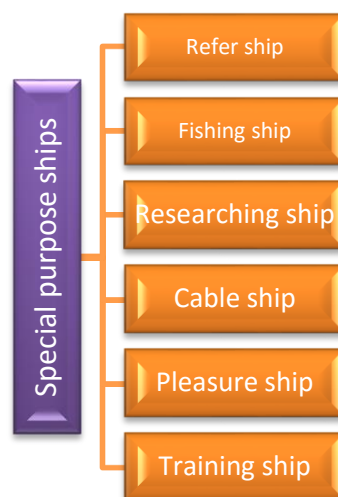
Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα Ρυμουλκά, τα Ναυαγοσωστικά, οι Πλοηγίδες (Pilot ships), οι Φορτηγίδες, οι Πλωτές Δεξαμενές, Γερανοί κλπ. Τα πλοία αυτής της κατηγορίας δεν μεταφέρουν φορτία αλλά ούτε και επιβάτες και συνήθως χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν την ομαλή και ασφαλή διέλευση για τα άλλα πλοία. Όλα τα παραπάνω είδη πλοίων έχουν το πλεονέκτημα ότι κινούνται σε σχετικά μικρότερες ταχύτητες με αποτέλεσμα να εκπέμπουν και χαμηλότερες τιμές αερίων ρύπων [16].



Εικόνα 3.9.Κόστος και εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα σε χαμηλές ταχύτητες [41].

3.1.4 Ειδικού Προορισμού Πλοία (Special Purpose Ships)

Στην κατηγορία των πλοίων Ειδικού Προορισμού συγκαταλέγονται αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται για εξειδικευμένες εργασίες όπως αλιεία, τοποθέτηση καλωδίων, ερευνητικά πλοία, αναψυχή κλπ. Δημιουργήθηκαν λόγω της αυξημένης ανάγκης για γρήγορες μεταφορές και λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας η οποία δημιούργησε εξειδικευμένες απαιτήσεις στις θαλάσσιες μεταφορές και κατασκευές (Εικ. 3.10).



Εικόνα 3.10. Κατηγοριοποίηση πλοίων Ειδικού Προορισμού [16].

3.2 Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας Πλοίων

Τα συστήματα τροφοδοσίας που διαθέτουν τα ποντοπόρα πλοία εξυπηρετούν τις ανάγκες του πλοίου αφενός μεν για την κίνησή του αφετέρου δε για όλες τις υπόλοιπες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό και απαιτούν ενέργεια. Χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τις λειτουργίες που εξυπηρετούν:

1. Στα συστήματα πρόωσης που παρέχουν την κίνηση στο πλοίο
2. Στα βοηθητικά συστήματα τροφοδοσίας που παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την διάρκεια των λειτουργιών του πλοίου

3. Στους βοηθητικούς λέβητες που παρέχουν ζεστό νερό και ατμό για χρήσεις στους χώρους των κινητήρων καθώς και για τις ανέσεις του πληρώματος

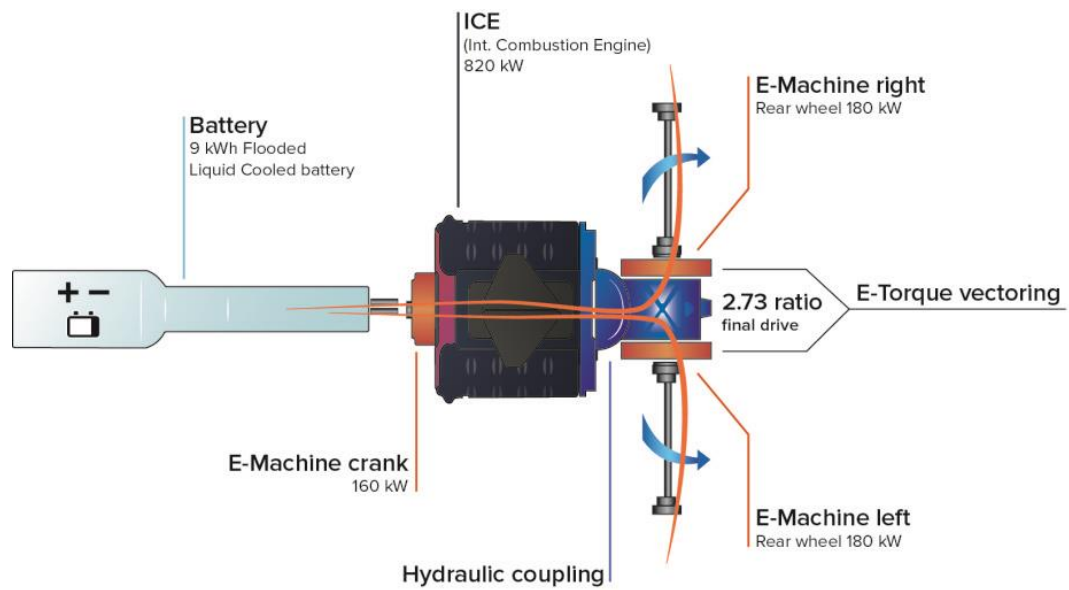
3.2.1 Κύρια Συστήματα

Οι μηχανές στα πλοία χωρίζονται σε δύο τύπους, τις κύριες μηχανές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την κίνηση του πλοίου κατά τη διάρκεια της πλοήγησης και των ελιγμών εντός του λιμένα, και στις βοηθητικές μηχανές οι οποίες λειτουργούν ως γεννήτριες και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για όλες τις αναγκαίες λειτουργίες του πλοίου. Ανάμεσα στις παραπάνω λειτουργίες συνυπάρχουν τα επιμέρους τμήματα των συστημάτων τα οποία λειτουργούν διαφορετικά ανάλογα με την λειτουργία κάθε φορά του πλοίου.

Μόλις τα τελευταία χρόνια οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες έχουν αρχίσει να κάνουν αισθητά την εμφάνισή τους σε κρουαζιερόπλοια της γραμμής αντί για τους κινητήρες Diesel, καθώς εμφανίζουν πλεονεκτήματα όπως μικρότερα επίπεδα θορύβου, λιγότερες δονήσεις, μικρότερο βάρος και μέγεθος, καθώς και κατά πολύ χαμηλότερες εκπομπές NO_x. Δυστυχώς όμως ο αριθμός των πλοίων γραμμής που έχει αντικαταστήσει τους ντιζελοκινητήρες με αεριοστρόβιλους είναι πολύ περιορισμένος. Ο τρόπος με τον οποίον πραγματοποιείται η πρόωση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τέσσερις βασικού τύπους:

1. Πρόωση με απευθείας μετάδοση κίνησης (direct-drive):

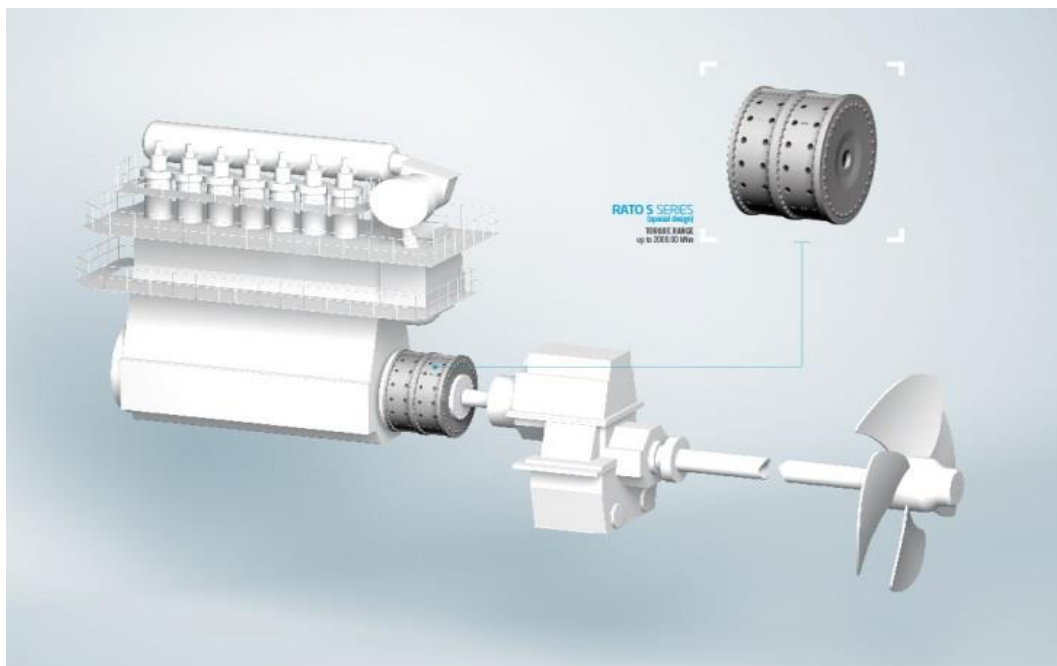
Αυτό το σύστημα πρόωσης παρουσιάζει υψηλή ονομαστική ισχύ και χαμηλές στροφές κινητήρα, ο οποίος και είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον άξονα της προπέλας, παρουσιάζοντας σχέση μετάδοσης 1:1. Το συναντάμε συνήθως σε πλοία που μεταφέρουν container, χύδην φορτίο, ψυγεία και πλοία τύπου RoRo (Roll on - Roll off).



Εικόνα 3.11. Σύστημα με απευθείας μετάδοση κίνησης [42].

2. Πρόωση με μετάδοση μέσω μειωτήρα στροφών (gear drive):

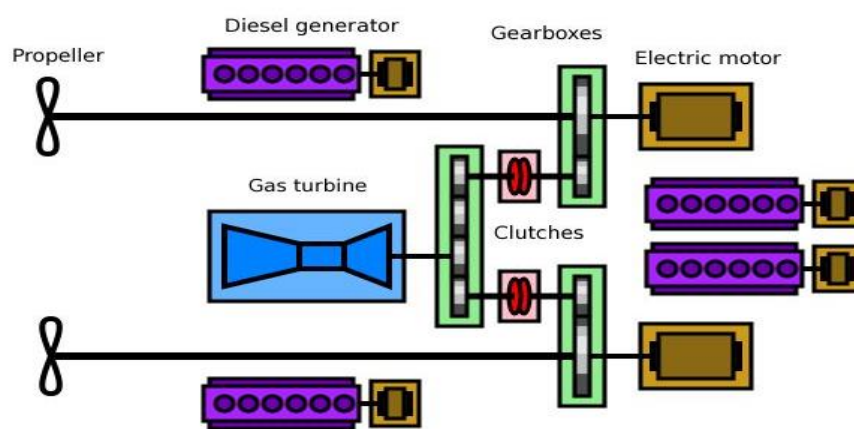
Στο συγκεκριμένο σύστημα ο αριθμός των στροφών της προπέλας είναι μικρότερος από αυτές του κινητήρα, γεγονός το οποίο επιτυγχάνεται μέσω μιας διάταξης γραναζιών, τον μειωτήρα στροφών. Έτσι παρουσιάζεται μέση έως και υψηλή ονομαστική ισχύς και αυξημένη ροπή στον άξονα μετάδοσης.



Εικόνα 3.12. Σύστημα μετάδοσης μέσω μειωτήρα στροφών [43].

3. Πρόωση με Diesel - electric κινητήρες:

Το ντιζελοηλεκτρικό σύστημα αποτελεί ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης το οποίο αποτελείται από ένα ή και περισσότερους κινητήρες μέσης έως και υψηλής ονομαστικής ισχύος στις μεσαίες στροφές κινητήρα. Η μηχανή εσωτερικής καύσης συνδέεται με μια διάταξη παραγωγής ηλεκτρικού φορτίου η οποία στην συνέχεια καλύπτει και τις ανάγκες σε ρεύμα για τον ηλεκτροκινητήρα πρόωσης.

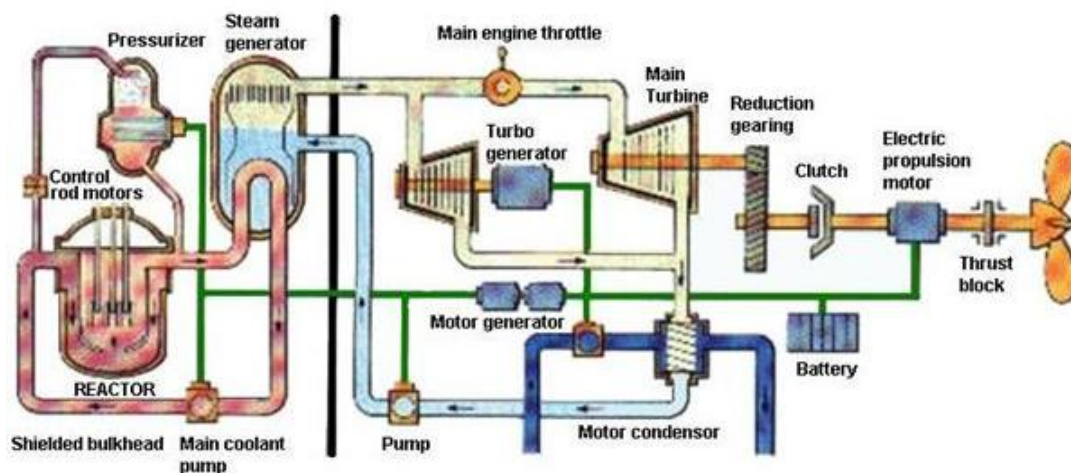


Εικόνα 3.13. Σύστημα πρόωση με Diesel - electric κινητήρες [44].

Και εδώ η προπέλα έχει χαμηλότερες στροφές από αυτές του κινητήρα. Τα υβριδικά αυτά συστήματα απαντώνται κυρίως στα επιβατηγά πλοία, όπως κρουαζιερόπλοια, στα οποία οι ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι αυξημένες λόγω και των υπόλοιπων υπηρεσιών που παρέχουν, καθώς και σε δεξαμενόπλοια.

4. Πρόωση με λέβητες ατμού και μειωτήρα στροφών (steam powered/gear drive):

Σε αυτό το σύστημα υπάρχουν εγκατεστημένοι λέβητες οι οποίοι παράγουν την απαραίτητη ποσότητα ατμού κατάλληλης πίεσης, ο οποίος μέσω ενός ατμοστροβίλου μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε κινητική. Η κινητική ενέργεια του ατμοστροβίλου μεταδίδεται στον άξονα μετάδοσης και στην προπέλα κατ' επέκταση μέσω ενός μειωτήρα στροφών. Έτσι οδηγούμαστε σε σύστημα πρόωσης με υψηλές στροφές αεροστροβίλου και χαμηλές της προπέλας ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος.



Εικόνα 3.14. Σύστημα πρόωσης με λέβητες ατμού και μειωτήρα στροφών [45].

Ακόμη μία κατηγοριοποίηση που μπορεί να γίνει στα μέσα πρόωσης είναι αυτή που είναι σύμφωνα με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Έτσι έχουμε τις μηχανές **χαμηλών στροφών** με ταχύτητες περιστροφής ως και 350rpm, στις μηχανές **μεσαίων στροφών** με ταχύτητες περιστροφής ως και 1500rpm και τις μηχανές **υψηλών στροφών** με ταχύτητες περιστροφής ως και 5000rpm περίπου.

Οι συνηθέστεροι τύποι κινητήρων παρουσιάζονται παρακάτω με τους κωδικούς τους

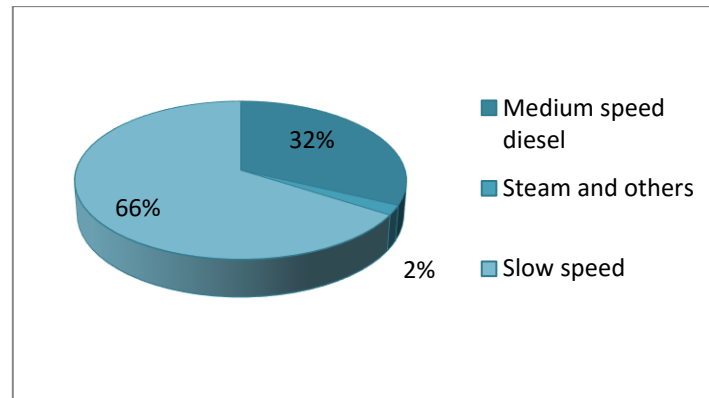
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ
SE	STEAM TURBINES/ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ
HS	HIGH SPEED DIESEL ENGINES/ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΝΤΙΖΕΛ
MS	MEDIUM SPEED DIESEL ENGINES/ΜΕΣΑΙΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΝΤΙΖΕΛ
SS	SLOW SPEED DIESEL ENGINES/ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΝΤΙΖΕΛ
GT	GAS TURBINES/ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ
PC	INBOARD DIESEL ENGINES-PLEASURE CRAFT/ΣΚΑΦΗ ΑΝΑΨΥΧΗΣ

Εικόνα 3.15. Κύριοι τύποι κινητήρων [46].

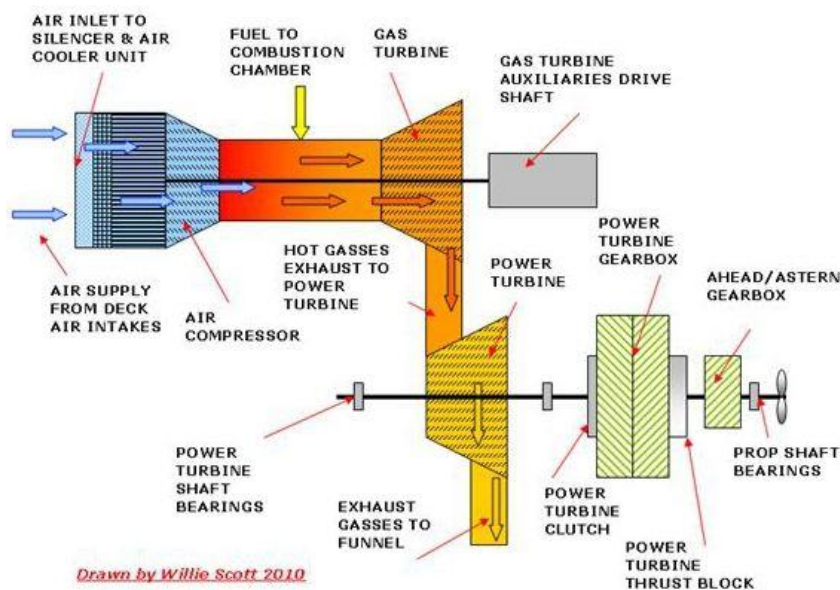
Το μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων παγκοσμίως χρησιμοποιεί ναυτικούς κινητήρες Diesel χαμηλών στροφών τόσο για την κίνηση όσο και για τα βοηθητικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση αυτή προς τους κινητήρες Diesel εξηγείται λόγω του χαμηλού κόστους των καυσίμων σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ καθώς και λόγω των υψηλών βαθμών απόδοσης που παρουσιάζονται σε αυτού του τύπου τους κινητήρες. Μικρότερα σε μέγεθος ποντοπόρα πλοία είναι εφοδιασμένα για την κίνησή τους με μεσαίων στροφών ντιζελομηχανές, ενώ σε άλλα στα οποία η ταχύτητα είναι υψίστης σημασίας (όπως επιβατηγά ή πολεμικά) βρίσκουμε εγκατεστημένους αεριοστροβίλους ή ατμοστροβίλους.

Καθώς όμως οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν χαμηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις ντιζελομηχανές τα πλοία τα οποία είναι εφοδιασμένα με στροβίλους είναι αρκετά λίγα.

Όπως παρουσιάζεται παρακάτω, στοιχεία από το 1997 δείχνουν ότι το 98% του παγκόσμιου στόλου ήταν εξοπλισμένο με μηχανές Diesel και μόνο το 2% με άλλου τύπου μηχανές.



Εικόνα 3.16. Κατηγοριοποίηση παγκοσμίου στόλου σύμφωνα με τον τύπο του κινητήρα [47].



Εικόνα 3.17. Κινητήρας Diesel πλοίου [47].

3.2.2 Βοηθητικά Συστήματα

Την απαραίτητη ενέργεια την οποία χρειάζεται ένα πλοίο, καθώς και το πλήρωμα αλλά και οι επιβάτες του, εκτός από την ενέργεια που απαιτείται για το σύστημα πρόωσης, την παράγουν τα βοηθητικά συστήματα τροφοδοσίας ή αλλιώς οι βοηθητικοί κινητήρες. Οι

απαιτήσεις σε συμπληρωματική ενέργεια η οποία απαιτείται σε κάθε πλοίο εξαρτάται από τις διαφορετικές λειτουργίες του πλοίου. Μία επιπρόσθετη λειτουργία που καλούνται να επιτελέσουν τα βοηθητικά συστήματα είναι η αντικατάσταση της λειτουργίας κάποιου κύριου συστήματος που έχει υποστεί μηχανική βλάβη ή έχει καταστεί εν γένει μη λειτουργικό. Παίζουν δηλαδή και εφεδρικό ρόλο στην τροφοδότηση ενέργειας των συστημάτων πρόωσης.

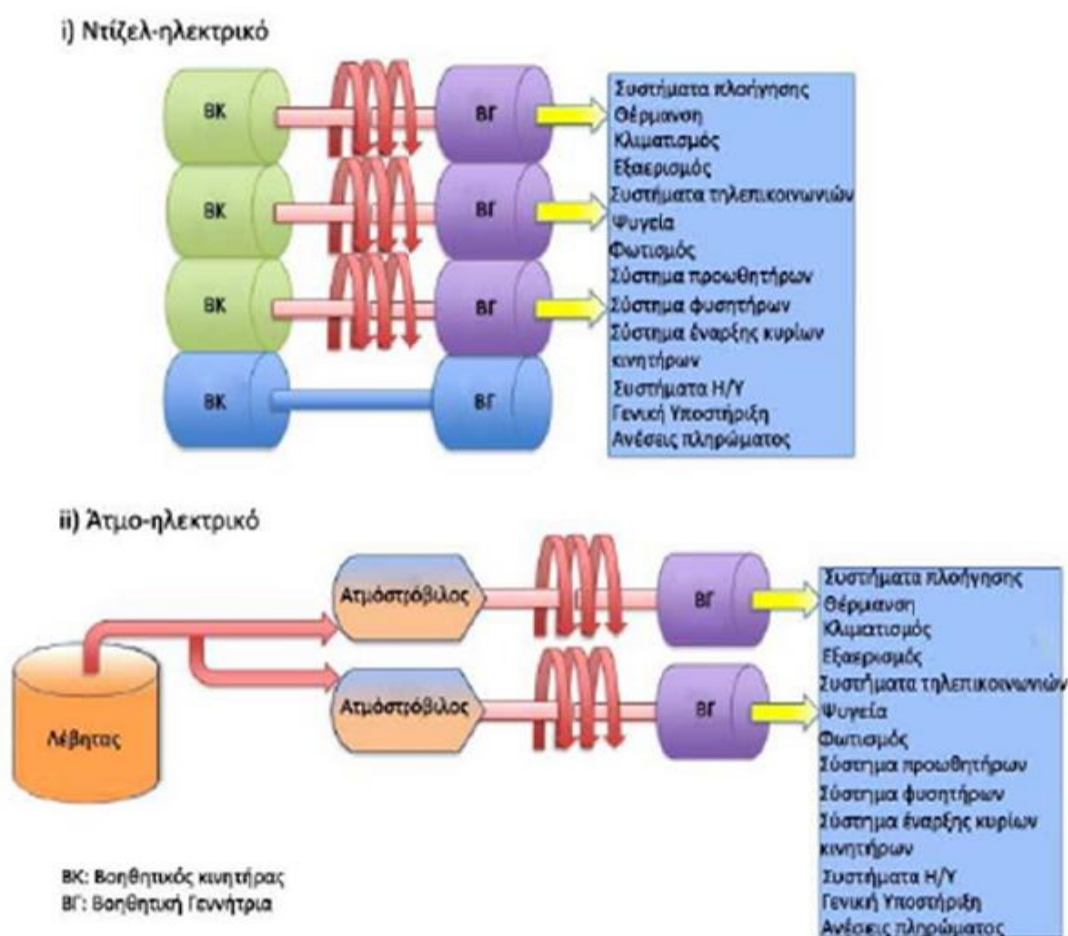
Τα πλοία που διαθέτουν συστήματα πρόωσης άμεσης κίνησης αλλά και συστήματα με μειωτήρες στροφών χρησιμοποιούν τα βοηθητικά συστήματα με κατάλληλη διαμόρφωση, παρόμοια με αυτή του υβριδικού συστήματος πρόωσης, με τη διαφορά ότι η ενέργεια που παράγεται προωθείται σε χρήσεις οι οποίες απαιτούν ενέργεια για το πλοίο, το φορτίο του και τους επιβάτες-πλήρωμα. Τα πλοία που διαθέτουν υβριδικό σύστημα πρόωσης κάνουν χρήση του ίδιου και για τις διάφορες ενεργειακές απαιτήσεις του πλοίου πέραν της πρόωσης. Την επιπρόσθετη αυτή ανάγκη σε ενέργεια αρκετά πλοία την καλύπτουν με μεγάλες μηχανές παραγωγής ατμού, στις οποίες εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ατμού μέσω ατμοστροβίλων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι επιπρόσθετες αυτές καταναλώσεις μπορεί να χρειάζονται για τα συστήματα πλοήγησης καθώς και για τις τηλεπικοινωνίες του πλοίου, για τον φωτισμό, τα ψυγεία, τα συστήματα ψύξης και αερισμού, καθώς και για τις ανέσεις του πληρώματος και των επιβατών. Τροφοδοτούν επίσης και τα συστήματα προωθητήρων, φυσητήρων αλλά και έναρξης των κύριων συστημάτων πρόωσης.

Οι λέβητες αποτελούν σημαντικές διατάξεις στη βασική λειτουργία ενός πλοίου, ιδιαιτέρως των δεξαμενόπλοιων. Τα πλοία αυτά τα οποία μεταφέρουν φορτία, όπως διάφορα είδη πετρελαίου, έρχονται αντιμέτωπα με την υπερθέρμανση του φορτίου τους κατά τη διάρκεια της παραμονής τους, και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών από τους λέβητες, χρήζοντάς τους ύψιστης σημασίας για την ασφάλεια του πλοίου. Η λειτουργία τους είναι να εκμεταλλεύονται την καταναλισκόμενη ενέργεια από την καύση των καυσίμων και να παράγουν ατμό ο οποίος στη συνέχεια τροφοδοτεί τα συστήματα θέρμανσης του χώρου φόρτωσης αλλά και τους χώρους στέγασης του πληρώματος. Επιπρόσθετοι λέβητες και συστήματα αξιοποίησης της διαφεύγουσας θερμότητας - οι λεγόμενοι οικονομητήρες - μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένοι σε ένα πλοίο οι οποίοι είναι επιφορτισμένοι με την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης αλλά και ατμού. Οι διαφορά μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων είναι ότι οι λέβητες είναι διατάξεις οι οποίες χρησιμοποιούν κυρίως υπολειμματικό πετρέλαιο για την παραγωγή ζεστού νερού και ατμού για χρήση στα διάφορα συστήματα καύσης, για την ενεργειακή τροφοδοσία των αντλιών σε πλοία όπως τα

δεξαμενόπλοια, αλλά και για την θέρμανση των χώρων του πληρώματος αλλά και των φορτίων, ενώ οι οικονομητήρες κάνουν χρήση της περισσευούμενης παραγόμενης θερμικής ενέργειας από τα κύρια συστήματα πρόωσης και έτσι επιτυγχάνουν την παραγωγή του πρόσθετου απαιτούμενου ζεστού νερού χρήσης ή του ατμού.

Ο συνηθέστερος αριθμός λεβήτων που συναντάμε σε ένα πλοίο, όπως τα δεξαμενόπλοια, είναι δύο ή τρεις, αριθμός ο οποίος εξαρτάται από τις λειτουργικές ανάγκες του πλοίου σε ατμό. Συνήθως κατά τη διάρκεια της πλεύσης ο ένας βρίσκεται σε λειτουργία και σε ποσοστό λειτουργίας περίπου 50% της ονομαστικής του ισχύος για την επαρκή κάλυψη των θερμικών φορτίων του πλοίου.



Εικόνα 3.18. Λειτουργία βοηθητικών Συστημάτων [48].

3.2.3 Λειτουργικές περιόδους

Τα ποντοπόρα πλοία ανάλογα με τις κινήσεις που πραγματοποιούν όσον αφορά τη θέση και την απόστασή τους σε σχέση με την λιμενική περιοχή, έχουν διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας κινητήρων. Οι τρεις κύριοι τρόποι λειτουργίας είναι η λειτουργία σε πλεύση (transit), κατά τους ελιγμούς (manoeuvring) και στην αναμονή (hotelling), όπως περιγράφεται παρακάτω:

- Πλεύση: Κατά αυτόν τον τρόπο, το πλοίο πλέει στον ανοιχτό ωκεανό. Τυπικά ισχύουν τα παρακάτω:
 - Το πλοίο πλέει στην κανονική ταχύτητα πλεύσης
 - Οι κινητήρες πρόωσης λειτουργούν στην υψηλότερη ισχύς τους
 - Οι βοηθητικοί λέβητες δε λειτουργούν
 - Υψηλά επίπεδα κατανάλωσης καυσίμου
- Ελιγμοί: Κατά αυτόν τον τρόπο, το πλοίο πλέει εντός των ορίων του λιμανιού που είτε το προσεγγίζει είτε αναχωρεί από αυτό. Η απόσταση των ελιγμών από το λιμάνι αλλάζει και καθορίζεται από τη γεωγραφική διαμόρφωση του λιμανιού κάθε φορά. Τυπικά:
 - Το πλοίο πραγματοποιεί τους ελιγμούς με τη χαμηλότερη δυνατή ταχύτητα.
 - Οι κινητήρες πρόωσης λειτουργούν στη χαμηλότερη ισχύς τους.
 - Οι βοηθητικοί κινητήρες λειτουργούν στη μέγιστη ισχύς τους.
 - Οι βοηθητικοί λέβητες λειτουργούν.
 - Η κατανάλωση καυσίμου είναι πολύ χαμηλή όσον αφορά το σύστημα πρόωσης, είναι υψηλότερη για τις βοηθητικές μηχανές και χαμηλή για τους λέβητες.
- Παραμονή στο λιμάνι: Κατά αυτό το τρόπο, το πλοίο είναι αγκυροβολημένο σε ένα λιμάνι.
Τυπικά:
 - Το πλοίο δεν κινείται.
 - Οι κινητήρες πρόωσης είναι εκτός λειτουργίας.
 - Η λειτουργία των βοηθητικών κινητήρων γίνεται σε υψηλή ισχύ σε πλοία όπως RoRos, γενικού φορτίου, μεταφοράς αυτοκινήτων κλπ. Η λειτουργία τους είναι απαραίτητη για να διατηρείται ο κύριος κινητήρας ζεστός για άμεση αναχώρηση και για τις διάφορες λειτουργίες εξυπηρέτησης του πληρώματος.

Τα πλοία με την είσοδό τους στο λιμάνι υποχρεούνται να σταματήσουν και στην συνέχεια να πλευρίσουν μέσω κατάλληλων ελιγμών - σε κοντινή απόσταση και σχεδόν παράλληλα με τον κρηπιδότοιχο - και με αργή ταχύτητα την προκαθορισμένη θέση στάθμευσής τους. Ταυτόχρονα γίνεται πρόσδεση του πλοίου με σχοινιά στις δέστρες του κρηπιδότοιχου και τραβώντας τα με τα βαρούλκα του πλοίου έρχεται στην τελική του θέση όπου και προσδένεται. Κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού του το πλοίο αφού περάσει την είσοδο του λιμανιού και έως ότου αυτό πάρει την τελική του θέση, χρειάζονται διάφορες διαδικασίες οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις φάσεις.

- Σε πρώτη φάση το πλοίο περνάει την είσοδο του λιμανιού και σταματάει σε μια συγκεκριμένη θέση, επάνω στην πορεία εισόδου του.
- Σε δεύτερη φάση εκτελεί ορισμένους αναγκαίους ελιγμούς και με χαμηλή ταχύτητα πλησιάζει σε παράλληλη θέση στον κρηπιδότοιχο του λιμανιού, όπου και πλευρίζει.
- Σε τρίτη και τελική φάση μετά την πλευρίσή του, προσδένεται στις δέστρες του λιμανιού.

Για να εκτελεστούν όλες αυτές οι κινήσεις και να επιτευχθεί η πρόσδεση του πλοίου, χρειάζεται αυτό να διανύσει μια προκαθορισμένη διαδρομή μέσα στο λιμάνι η οποία εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως:

- από την ταχύτητα του πλοίου
- από το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου
- από τη δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το πλοίο προς τα πίσω (ανάποδα)
- από την ένταση και τη διεύθυνση των ανέμων
- από την ταχύτητα και τη διεύθυνση των ρευμάτων
- από την ταχύτητα και διεύθυνση των κυμάτων.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ
C	Cruising
M	Manoeuvring
H	Hotelling
T	Tanker offloading
A	Auxiliary generators
RSZ	Reduced Speed Zone

Εικόνα 3.19. Καταστάσεις λειτουργίας πλοίων [49].

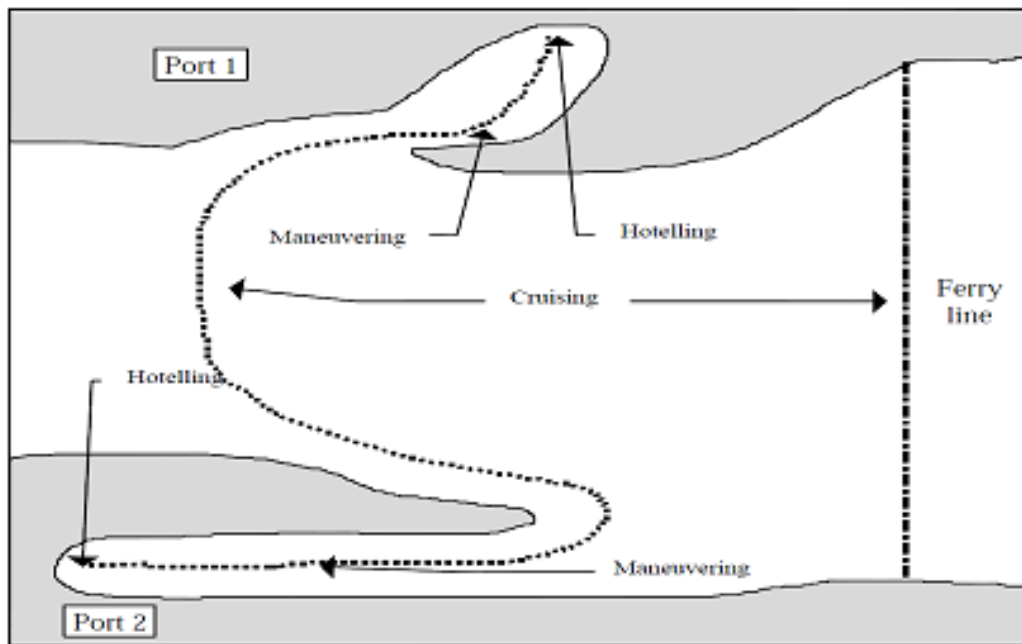
Οι τρεις φάσεις εισόδου των πλοίων σε λιμάνι, εκτός των διαφορετικών διακριτών διαδικασιών που λαμβάνουν σε αυτές χώρα, παρουσιάζουν και διαφορές όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμων και κατ' επέκταση στην εκπομπή αερίων ρύπων εντός του λιμένα. Θα μπορούσαμε να διακρίνουμε δύο φάσεις κατά τις οποίες η διαφορά στην κατανάλωση είναι αρκετά ευδιάκριτη:

- Φάση παραμονής στο λιμάνι (hotelling mode)
- Φάση πλεύσης (cruising mode)

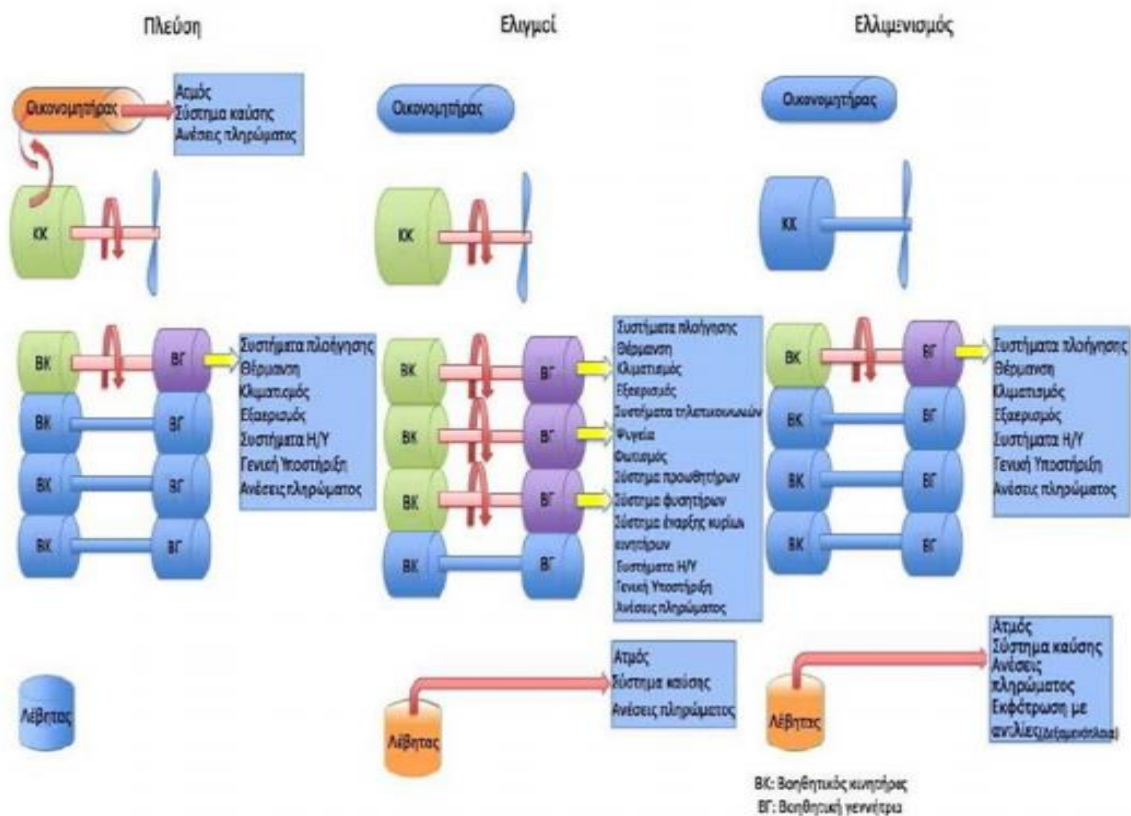
Κατά την άφιξη του στο λιμάνι ένα πλοίο δεν σταματάει να καταναλώνει καύσιμα καθ' όλη τη διάρκεια παραμονής του στην αποβάθρα (hotelling mode). Ως εκ τούτου συνεχίζει και εκπέμπει αέριους ρύπους όλο το διάστημα κατά το οποίο παραμένει εντός λιμανιού. Η συνέχιση της λειτουργίας των συστημάτων του πλοίου είναι αναγκαία ώστε να διατηρηθούν βασικές του λειτουργίες όπως παραγωγή ηλεκτρισμού για την κάλυψη αναγκών σε ηλεκτροδότηση, θέρμανση-κλιματισμό, αερισμό κλπ.

Όπως είναι φανερό, η κατανάλωση, άρα και η εκπομπή ρύπων, τόσο κατά την φάση παραμονής στο λιμάνι αλλά και κατά την πλεύση του, επηρεάζεται καθοριστικά και σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του πλοίου. Συγκεκριμένα, τα επιβατηγά καθώς και τα οχηματαγωγά πλοία δεν παρουσιάζουν τόσο υψηλά ποσοστά εκπομπών κατά το hotelling mode καθώς και κατά το manoeuvring mode (φάση ελιγμών), όσο κατά τη διάρκεια της πλεύσης τους προς και από το λιμάνι. Σε αντίθεση, τα κρουαζιερόπλοια παρουσιάζουν υψηλές εκπομπές αερίων ρύπων καθώς επιβάλλεται η συνεχής λειτουργία των λεβήτων και των βοηθητικών μηχανών κατά την παραμονή τους στο λιμάνι, αυξάνοντας την κατανάλωση καυσίμων. Οι εκπομπές αυτές χρήζουν ξεχωριστής εκτίμησης για κάθε φάση λειτουργίας, προκειμένου να πετύχουμε ένα αξιόπιστο ερευνητικό αποτέλεσμα.

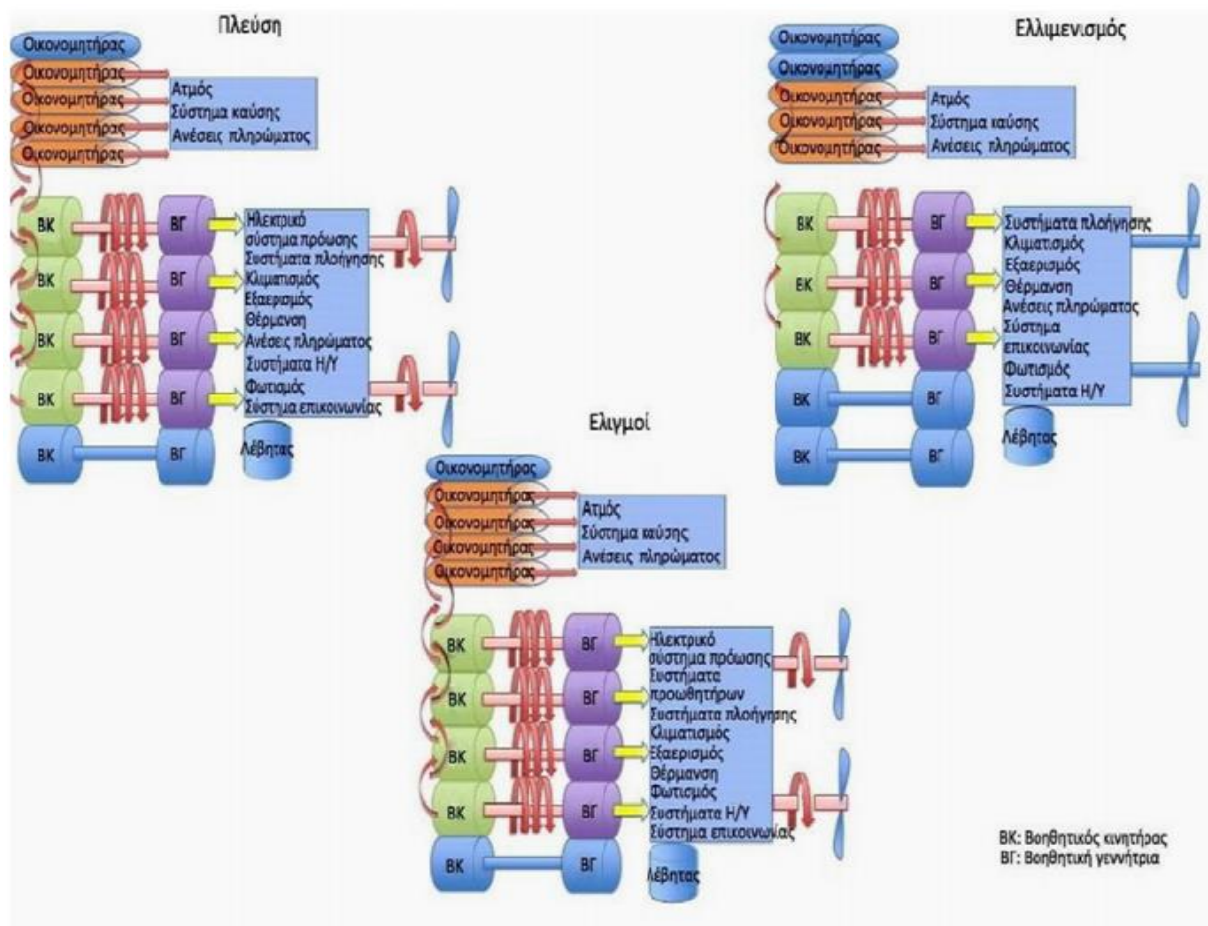
Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά ο τρόπος λειτουργίας βοηθητικών και κύριων κινητήρων σε κάθε φάση λειτουργίας των πλοίων. Με μπλε απεικονίζονται οι μη λειτουργικές διατάξεις.



Εικόνα 3.20. Γραφική αναπαράσταση των καταστάσεων λειτουργίας [49].



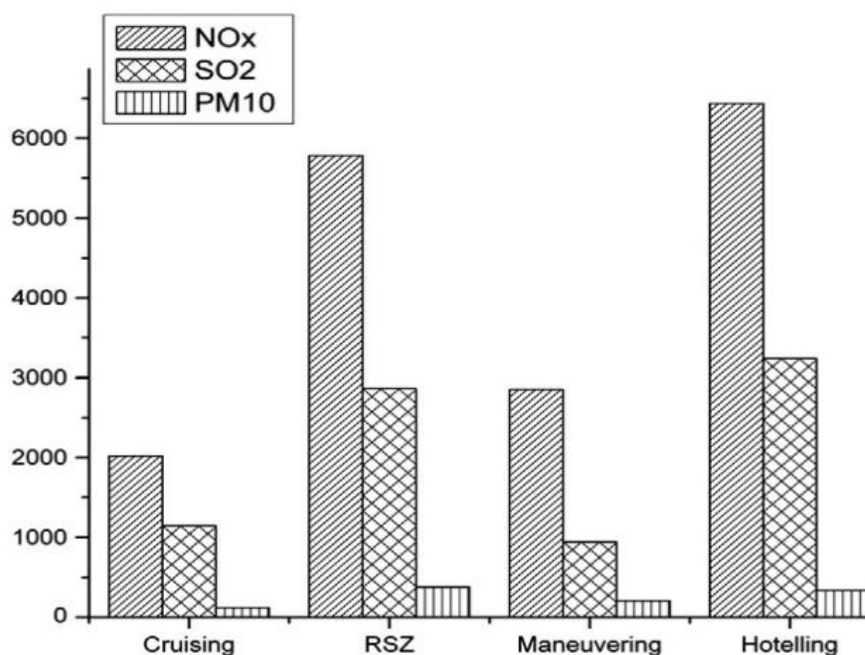
Εικόνα 3.21. Βασικές λειτουργίες που εκτελούν οι κύριοι κινητήρες [50].



Εικόνα 3.22. Λειτουργίες που εκτελούν οι βοηθητικοί κινητήρες [51].

Όπως έχει παρατηρηθεί από έρευνες και μελέτη των εκπομπών των αερίων ρύπων το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών παρατηρείται στην φάση παραμονής των πλοίων εντός του λιμένα. Η διάρκεια ελλιμενισμού μπορεί να ποικίλλει από κάποιες ώρες έως και μέρες. Οι θέσεις παραμονής των πλοίων σε κάθε λιμάνι δεν είναι συγκεκριμένες για κάθε πλοίο και καθορίζονται από τις αρμόδιες λιμενικές αρχές σε συνεννόηση με τους καπετάνιους των πλοίων που εισέρχονται στο λιμάνι, καθώς επίσης και από το μέγεθος της κίνησης εντός του λιμανιού και των καιρικών συνθηκών.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου. Σύμφωνα με αυτό κατά τη διάρκεια πλεύσης, ελιγμών και χαμηλής ταχύτητας οι αέριοι ρύποι είναι λιγότεροι από την φάση παραμονής (hotelling mode) για όλους τους αέριους ρύπους.



Διάγραμμα 3.1. Εκπομπές πλοίων σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας [27].

3.2.4 Καύσιμα

Μέχρι και τις μέρες μας ελάχιστη σημασία είχε δοθεί στην οικολογική διαχείριση των μεγάλων ποντοπόρων πλοίων, τις τεράστιες αυτές θαλάσσιες κατασκευές που καταναλώνουν βαρύ πετρέλαιο - μαζούτ, το πλέον ρυπογόνο καύσιμο, καθώς κατά την καύση του εκλύει ενώσεις του θείου στα καυσαέρια. Καθώς το μέγιστο μέλημα κατασκευαστών αλλά και πλοιοκτητών ήταν παλιότερα η οικονομικότερη και πιο γρήγορη λύση, την οποία εξυπηρετεί άριστα το μαζούτ, δε είχε δοθεί ποτέ παλιότερα έμφαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των θαλάσσιων ταξιδιών. Με την ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης παγκοσμίως και την ενίσχυσή της μέσω νομοθεσιών (πρωτόκολλο Κιότο, MARPOL 73/78) άρχισε να ζητείται λύση για την αντιμετώπιση των αερίων ρύπων και στα πλοία. Διάφορες πρακτικές για την πιο οικολογική αντιμετώπιση των θαλάσσιων ταξιδιών περιλαμβάνουν την μείωση της ταχύτητας στα ταξίδια με αποτέλεσμα τη χαμηλότερη κατανάλωση, τον καλύτερο προγραμματισμό των λειτουργιών που εκτελούνται σε αυτά καθώς και η χρήση καυσίμων πιο φιλικών προς το περιβάλλον.

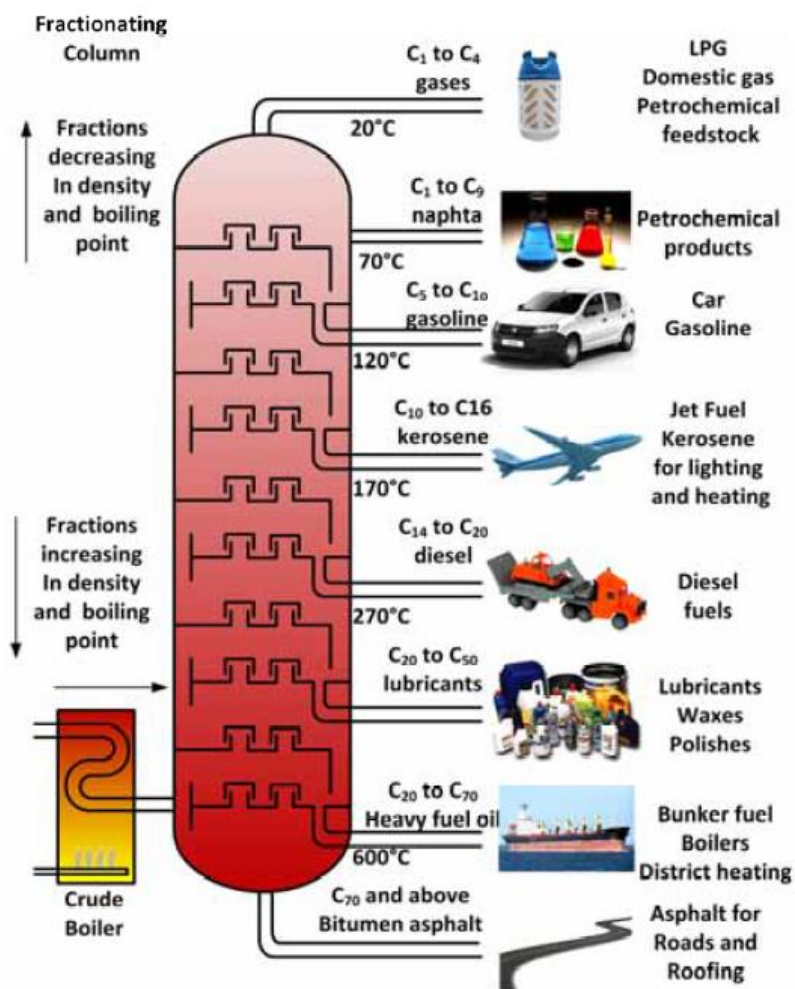
Πρακτικές και μελέτες για την μείωση των αέριων ρύπων υπάρχουν - και σε μεγάλη έκταση - για τις χερσαίες δραστηριότητες, όμως αυτές δεν μπορούν να επεκταθούν ολοκληρωτικά και να ενστερνιστούν από τους κατασκευαστές πλοίων λόγω των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζονται στις θαλάσσιες μεταφορές, με πρώτο και κυριότερο τη διαφορετική χρήση καυσίμου. Στις περισσότερες - εάν όχι σε όλες - τις περιπτώσεις τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από την ναυσιπλοΐα αποτελούνται από υπολείμματα της διαδικασίας παραγωγής προϊόντων διύλισης καλύτερης ανώτερης ποιότητας, οπότε και έχουμε εμφάνιση διαφορετικών ρύπων από άλλους ρυπογόνους παράγοντες. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν τα ίδια καύσιμα για την ναυσιπλοΐα με αυτά για παράδειγμα των χερσαίων μεταφορικών μέσων, οι εκπομπές σε CO₂ θα αυξανόταν κατακόρυφα καθώς θα έπρεπε να δαπανηθεί μεγάλο μέρος ενέργειας για την παραγωγή τους κατά τη διύλιση.

3.2.4.1 Ορυκτά Καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα συναντώνται σε στερεή αλλά και σε υγρή και αέρια μορφή. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα παρακάτω:

Το αργό πετρέλαιο και τα υποπροϊόντα του (βενζίνη, πετρέλαιο Diesel, κηροζίνη, νάφθα) είναι ορυκτά καύσιμα σε υγρή μορφή. Αποτελούνται από πολλές χημικές ενώσεις με επικρατέστερες αυτών τους υδρογονάνθρακες, όπως φαίνεται και στην Εικ. 3.24.

Το πετρέλαιο Diesel αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων με 14 έως 20 άτομα άνθρακα σε κάθε μόριο. Μπορούμε να το συναντήσουμε ως ελαφρύ Diesel (gas-oil), το οποίο χρησιμοποιείται σε πολύστροφες μηχανές (το λεγόμενο πετρέλαιο κίνησης) καθώς και σε εγκαταστάσεις θέρμανσης (πετρέλαιο θέρμανσης), και ως βαρύ πετρέλαιο Diesel (heavy diesel oil, HDO), το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης μεσαίων και χαμηλών στροφών αλλά και στους λέβητες των πλοίων.



Εικόνα 3.23. Καύσιμα παράγωγα διύλισης πετρελαίου [52].

Το Marine Diesel Oil (MDO) είναι μίγμα πετρελαίου ντίζελ και μαζούτ, το οποίο περιέχει υδρογονάνθρακες με πάνω από 20 άτομα άνθρακα σε κάθε μόριο. Η χρήση του συναντάται κυρίως σε μεγάλους κινητήρες χαμηλών στροφών και σε λέβητες πλοίων.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ
BFO	Bunker Fuel Oil
MDO	Marine Diesel Oil
MGO	Marine Gas Oil
GF	Gasoline Fuel
HFO	Heavy Fuel Oil

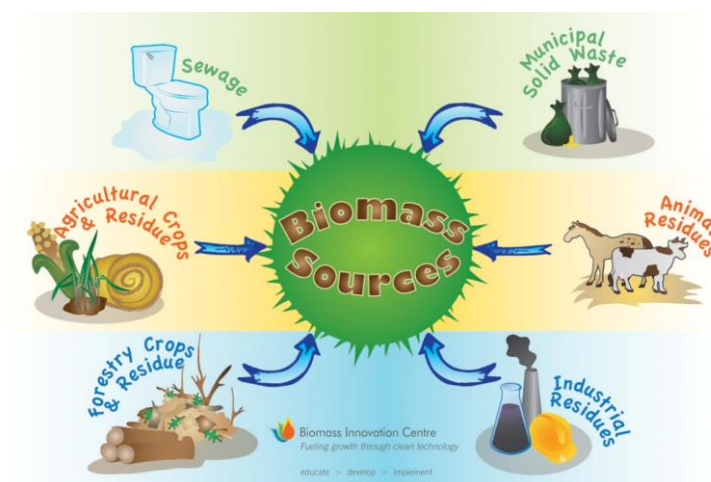
Πίνακας 3.1. Τύποι καυσίμων Diesel [53].

Ο γαιάνθρακας και τα διάφορα παράγωγά του ανήκουν στα στερεά ορυκτά καύσιμα. Αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία στερεών υλικών τα οποία έχουν απολιθωθεί και είναι κυρίως φυτικής προέλευσης. Διαφορετικά είδη γαιανθράκων περιέχουν διαφορετικές ποσότητες άνθρακα και διαφέρουν τόσο στη θερμογόνο δύναμή τους αλλά και στην περιεκτικότητά τους σε τέφρα, θείο και άλλων συστατικών. Βάση των παραπάνω διακρίνουμε την εξής ταξινόμηση: Λιγνίτης, Υποασφαλτούχος άνθρακας, Ασφαλτούχος άνθρακας και Ανθρακίτης. Η παραπάνω ταξινόμηση έγινε από το νεότερο σχηματισμένο μέχρι τον παλιότερο (άρα και από το λιγότερο θερμιδικά αποδοτικό έως το ισχυρότερο).

Το φυσικό αέριο συναντάται είτε σε υγρή είτε σε αέρια μορφή, αναλόγως τις ενώσεις που περιέχει. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και αναλόγως με τις ενώσεις που έχει αλλάζει και η περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Σε υγρή μορφή το φυσικό αέριο αποτελείται από το αιθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο. Το ακατέργαστο φυσικό αέριο δεν περιέχει υδρογονάνθρακες αλλά αποτελείται από CO_2 , άζωτο, ευγενή αέρια και υδρόθειο.

3.2.4.2 Καύσιμα Βιομάζας

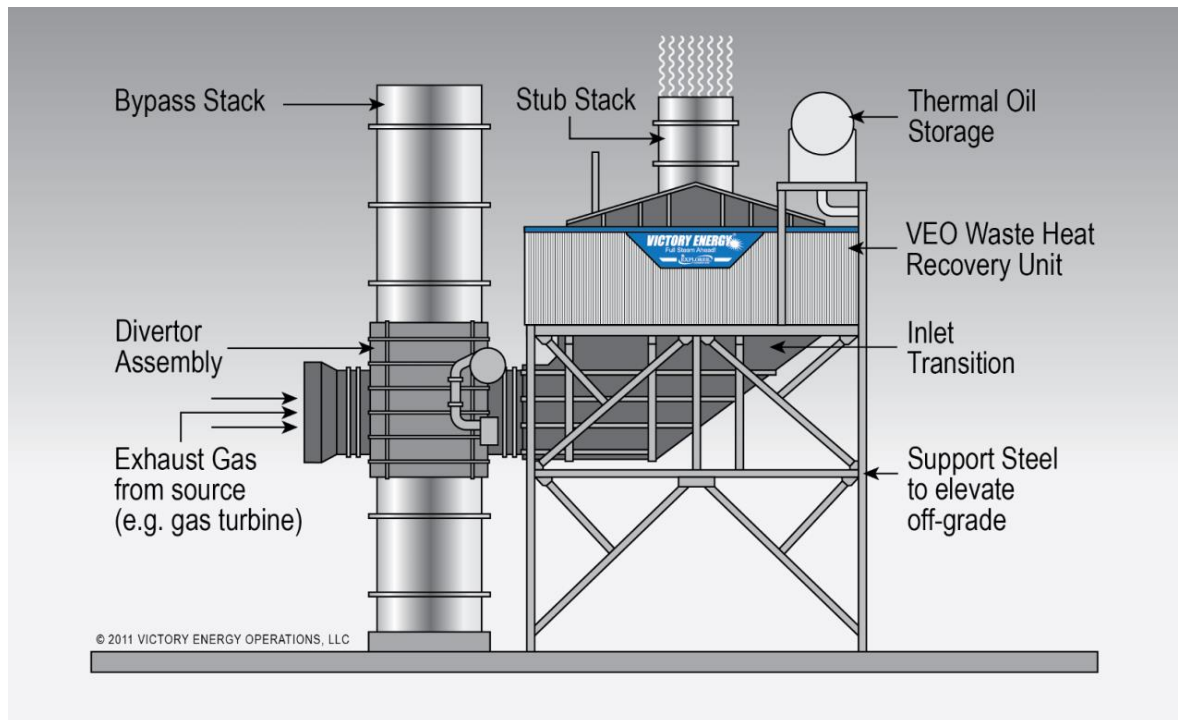
Εκτός από τα ορυκτά καύσιμα, τα καύσιμα μπορεί να προέρχονται και από υλικά βιομάζας ή φυτικά υλικά (π. χ. ξύλο, οργανικά υπολείμματα, υπολείμματα συγκομιδής από καλλιέργειες). Η χημική σύνθεση και η διαδικασία καύσης τους, είναι παρόμοια με αυτή των ορυκτών καυσίμων. Όμως η προέλευση του άνθρακα των δύο τύπων καυσίμων είναι διαφορετική. Ο άνθρακας που περιέχεται στα υλικά βιομάζας είναι βιογενούς προελεύσεως, δηλαδή περιέχει πρόσφατους οργανικούς ιστούς, ενώ ο άνθρακας των ορυκτών καυσίμων έχει παγιδευτεί σε γεωλογικούς σχηματισμούς για χιλιετίες. Θεωρείται ότι η καύση των βιοκαυσίμων δεν συμβάλλει στην ποσότητα των αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 3.24. Πηγές Βιομάζας [54].

3.2.4.3 Προϊόντα Αποβλήτων

Τα προϊόντα από τα απόβλητα σε στέρεα, υγρή και αέρια μορφή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης. Τέτοιου είδους καύσιμα μπορεί να είναι χρησιμοποιημένα λάδια κινητήρων, αστικά στέρεα απόβλητα, αέρια από υγειονομική ταφή και αέρια υποπροϊόντα. Οι εκπομπές από τα καύσιμα αποβλήτων συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό των εκπομπών και των τριών αερίων του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.25. Τυπική διάταξη παραγωγής ενέργειας από απόβλητα [55].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 ΛΙΜΑΝΙΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ

4.1.1 Αργοστόλι

Η πόλη του Αργοστολίου παρουσιάζει φυσικό προσανατολισμό προς το λιμάνι και εκτείνεται από Νότο προς Βορρά με επίμηκες σχήμα, αμφιθεατρικά κτισμένη με θέα προς τη λιμνοθάλασσα του Κουτάβου. Διαθέτει φυσικό λιμάνι με άνοιγμα πάνω από μισό μίλι, με επιφάνεια 3,14 km² και μέγιστο βάθος 11-13 m. Το μεγαλύτερο άνοιγμα βρίσκεται μεταξύ του ΒΑ άκρου της χερσονήσου και του απέναντι Κόκκινου Βράχου, 2/3 του μιλίου, ενώ το στενότερο σημείο που βρίσκεται η πόλη και έχει μήκος 1/3 του μιλίου.



Εικόνα 4.1. Αποψη από το Αργοστόλι [56].

Ο κόλπος του Αργοστολίου διαιρείται από τη γέφυρα του Δε Βοσσέτ σε δύο άνισα μέρη, το λιμάνι και τον Κούταβο, ο οποίος είναι μια αβαθής λιμνοθάλασσα (μέγιστο βάθος τρία μέτρα).

Κατά την περίοδο της βενετοκρατίας τα Επτάνησα γενικά δεν παρουσιάζουν αξιόλογη δική τους ναυτιλιακή κίνηση, αλλά μόνο εμπορική, με εξαίρεση βέβαια την Κεφαλονιά και την Ιθάκη. Ιδιαίτερα ξεχωρίζει η Κεφαλονιά. Οι κάτοικοι του νησιού χαρακτηρίζονται ως επιχειρηματικοί, τολμηροί και τραχείς. Η φύση του χαρακτήρα τους αποδίδεται στο γεγονός

ότι στο νησί αυτό δημιουργήθηκε ένας σκληρός πυρήνας από τους καταδιωγμένους Ρουμελιώτες αποίκους και από τους Έλληνες και Αλβανούς Stradioti, που με τις οικογένειές τους είχαν εγκατασταθεί κατά καιρούς εδώ μετά την Άλωση.

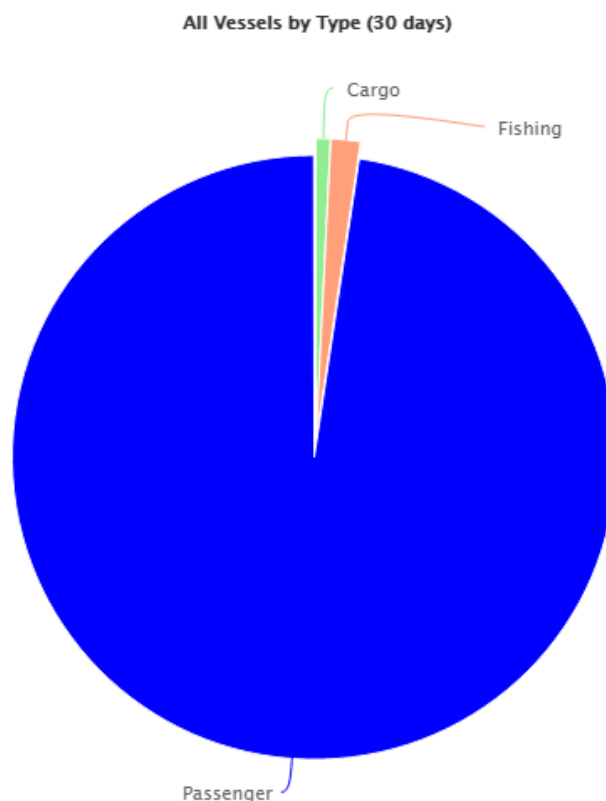
Πολύ νωρίς ακόμη, στο πρώτο μισό του 16^{ου} αιώνα, ανάμεσα στους Έλληνες ναυτικούς (πλοιοκτήτες και πλοιάρχους), που συναντάμε σε ναυτιλιακές δραστηριότητες, επισημαίνονται και ορισμένοι, που παρά το γεγονός ότι δεν προσδιορίζεται η καταγωγή τους - εκτός από κάποιο Γαινούσο Megalla, στον οποίον σημειώνεται η κεφαλληνιακή καταγωγή του - από το επώνυμό τους υποθέτουμε ότι ήταν Κεφαλονίτες.

Από τα μέσα του 16^{ου} αιώνα και μετά βασικό προϊόν της Κεφαλονιάς που εξάγεται είναι η σταφίδα. Η μεταφορά της σταφίδας γίνεται στην αρχή με τα αγγλικά καράβια της Levant Company, που είχε ιδρυθεί στο Λονδίνο το 1583, καθώς οι βενετικές αρχές απαγόρευαν στους Επτανήσιους την άσκηση του εξωτερικού εμπορίου. Από τα τέλη όμως του 17^{ου} αιώνα, όταν ο εμπορικός ανταγωνισμός ανάμεσα στην Αγγλία και τη Γαλλία γίνεται οξύτερος, ιδιαίτερα κατά τον 18^ο αιώνα, φαίνεται ότι η σταφίδα μεταφέρεται στην Αγγλία με καράβια της βενετοκρατούμενης Ανατολής. Ο αγγλογαλλικός ανταγωνισμός, ευνόησε την ανάπτυξη της ναυτιλίας και του εξαγωγικού εμπορίου των ελληνικών χωρών και έδωσε στην Κεφαλονιά την ευκαιρία να αναπτύξει από τις αρχές κιόλας του 18^{ου} αιώνα ναυτιλιακές και εμπορικές δραστηριότητες [56].

Στις μέρες μας το λιμάνι μπορεί να δεχθεί ένα επιβατικό πλοίο και θεωρητικά μέχρι τρία φορτηγά, αναλόγως το μέγεθός τους. Το καλοκαίρι εκτελούνται δύο δρομολόγια ημερησίως ενώ τον χειμώνα ένα. Μία δεύτερη εσωτερική γραμμή εκτελείται με προορισμό το Ληξούρι. Τακτικά δρομολόγια για εμπορικό πλοίο δεν υπάρχουν. Το ποσοστό της επιβατικής σε σχέση με την εμπορική κίνηση είναι 70-30 αντιστοίχως, αλλά η σχέση μεταξύ επιβατηγών και εμπορικών πλοίων είναι 50-50. Από Ιούλιο έως και Αύγουστο, περίπου 100 θαλαμηγοί επισκέπτονται το λιμάνι, αριθμός ο οποίος είναι σχεδόν πάντα σταθερός κάθε χρόνο.

Το λιμάνι χαρακτηρίζεται τουριστικό περισσότερο και τρίτο σε σημασία σε σχέση με εκείνα της Σάμης και του Πόρου. Το λιμάνι διαθέτει επιβατική και εμπορική αποβάθρα, καθώς επίσης ‘μπαστούνι’ για την προσάραξη κρουαζιερόπλοιων. Το ‘μπαστούνι για τα κρουαζιερόπλοια περιλαμβάνει τρία μέρη. Το πρώτο, είναι ο χώρος προσάραξης κρουαζιερόπλοιων με μήκος 260 μέτρα. Αποτελείται από τρεις νησίδες. Η μεγάλη κεντρική έχει μήκος 66,80 μέτρα και πλάτος 14 μέτρα, ενώ οι άλλες δύο, έχουν μήκος 16,8 μέτρα και πλάτος 14 μέτρα οι οποίες φέρουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό τροφοδοσίας και λιμενικής εξυπηρέτησης. Οι νησίδες έχουν πρόσβαση προς την ξηρά, όπου κατασκευάστηκε κτίριο εξυπηρέτησεων μέσω ενός διαδρόμου γέφυρας πρόσβασης, μήκους 171,50 μ. και πλάτους

8,00 μ. Στην κατασκευή λειτουργούν επίσης πλήρη δίκτυα H/M εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης των προσεγγιζόντων σκαφών . Μπορεί να δεχθεί ένα επιβατικό πλοίο και θεωρητικά μέχρι τρία φορτηγά ανάλογα το μέγεθος τους. Το ποσοστό της επιβατικής κίνησης σε σχέση με την εμπορική είναι 70%-30% αντιστοίχως, αλλά η σχέση επιβατικών και εμπορικών πλοίων είναι μοιρασμένη 50% . Την περίοδο, από τις αρχές Ιουλίου έως τα τέλη Αυγούστου, περίπου εκατό θαλαμηγοί επισκέπτονται το λιμάνι. Ο αριθμός τους είναι σχεδόν πάντα σταθερός κάθε χρόνο, με μια εξίσου ισόρροπη διακύμανση 50 θαλαμηγών ανά μήνα. Ο αριθμός των νηολογημένων πλοίων είναι 600 και τα λεμβολόγια αναφέρουν έναν αριθμό 1.500 βαρκών.



Εικόνα 4.2. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στο Αργοστόλι.

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com για το λιμάνι του Αργοστολίου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.2., διαπιστώνουμε ότι σχεδόν όλος ο όγκος της κίνησης των πλοίων αποτελείται από επιβατηγά (97,62%) και μόλις ένα 0,79% από φορτηγά πλοία (bulk cargo) (στοιχεία Φεβρουάριος 2013)

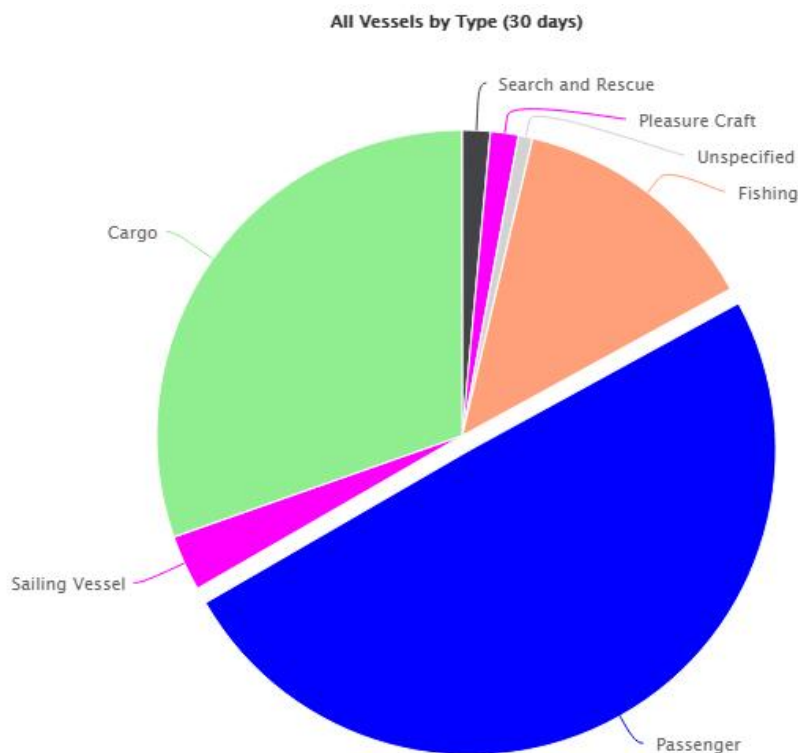
4.1.2 Μπάρι

Το Μπάρι (Bari) αποτελεί την πρωτεύουσα της επαρχίας του Μπάρι καθώς και της περιφέρειας της Απουλίας. Ως το δεύτερο σημαντικότερο οικονομικό κέντρο στην Νότια Ιταλία μετά την Νάπολη το λιμάνι του είναι το κέντρο της οικονομίας του.



Εικόνα 4.3. Άποψη από το λιμάνι του Μπάρι.

Το λιμάνι του Μπάρι, στο οποίο το διάστημα 1999 – 2002 έγιναν πολύ μεγάλα έργα υποδομής που συνέβαλαν στην περαιτέρω ανάπτυξή του, αποτελεί κόμβο ακτοπλοϊκής σύνδεσης μεταξύ των λιμανιών της Πάτρας, της Ηγουμενίτσας αλλά και λιμανιών της Μέσης Ανατολής, της Αλβανίας, του Μαυροβουνίου και του Ντουμπρόβνικ της Κροατίας [57]. Το 2012 περίπου 2 εκατομμύρια επιβάτες περάσανε από το λιμάνι, από τους οποίους 650.000 προερχόμενοι από κρουαζιερόπλοια. Υπάρχουν δύο διαφορετικά λιμάνια στην πόλη του Μπάρι, το ένα δίπλα στην παλιά πόλη – το Παλιό Λιμάνι – το οποίο χρησιμοποιείται από μικρά σκάφη και για αλιευτικά, και το Νέο Λιμάνι το οποίο εξυπηρετεί μεγάλα επιβατηγά πλοία, με μοντέρνες υποδομές και εξοπλισμό, προσφέροντας λύση ελλειμνισμού μικρής αλλά και μεγάλης διάρκειας.



Εικόνα 4.4. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στο Μπάρι.

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.4., βλέπουμε ότι το 49,63% των πλοίων είναι επιβατηγά, και το 30,37% φορτηγά (στοιχεία Φεβρουάριος 2013).

Ιστορικά το λιμάνι αναφέρεται ήδη από το 181 π.Χ. και αποτελούσε πιθανότατα το κύριο λιμάνι της περιοχής κατά τα αρχαία χρόνια καθώς και το κύριο αλιευτικό της κέντρο [57].

4.1.3 Βενετία

Στρατηγικά τοποθετημένο στην κορυφή της Αδριατικής Θάλασσας στην διασταύρωση των κύριων ευρωπαϊκών μεταφορικών οδών και των Αυτοκινητοδρόμων της Θάλασσας (Motorways of the Sea – MoS), το λιμάνι της Βενετίας είναι ικανό να ενεργήσει ως η ευρωπαϊκή πύλη για τα ρεύματα συναλλαγών προς και από την Ασία. Λόγω της θέσης του ενεργεί ως το κύριο σημείο εισόδου σε μια τεράστια περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης – συμπεριλαμβανομένων και της βορειοανατολικής Ιταλίας, της Αυστρίας – όπως η Ανατολική Ευρώπη και μερικές από τις πιο δυναμικές αγορές της Ευρωπαϊκής Ένωσης [58].



Εικόνα 4.5. Το λιμάνι της Βενετίας

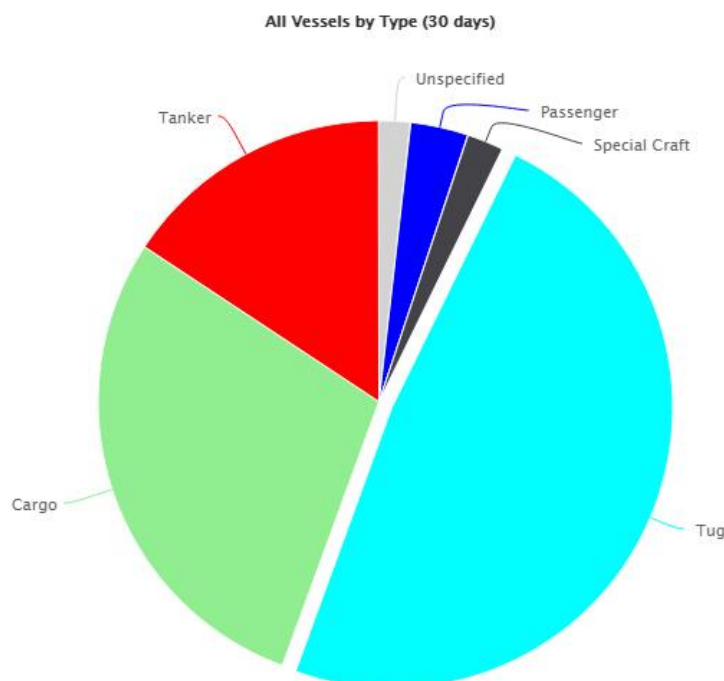
Το λιμάνι είναι επίσης τοποθετημένο στην διασταύρωση των τριών κύριων Ευρωπαϊκών Διαδρόμων:

- Σκανδιναβίας - Μεσογείου
- Μεσογείου Θάλασσας
- Αδριατικής Βαλτικής

Αποτελεί επίσης το βορειότερο άκρο των θαλάσσιων αρτηριών που διασχίζουν την Ανατολική Μεσόγειο και συνδέει την Κεντρική Ευρώπη με την Βόρεια Αφρική και την Μέση Ανατολή. Το λιμάνι της Βενετίας είναι επίσης το βορειότερο άκρο της τις θαλάσσιες αρτηρίες που διασχίζουν την Ανατολική Μεσόγειο και συνδέστε την Κεντρική Ευρώπη με τη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή.

Χαρακτηρίζεται ως ένα από τα μεγάλα ευρωπαϊκά λιμάνια για το ειδικά και κοινά φορτία, καθώς και ένα από τα κύρια λιμάνι στην Αδριατική όσον αφορά τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων (containers) που διακινούνται. Επιπλέον, κατατάσσεται ως το πρώτο λιμάνι φιλοξενίας κρουαζιερόπλοιων στη Μεσόγειο αφού φιλοξενεί 2 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως. Έχοντας ηγετικό ρόλο σε πολλά τμήματα της θαλάσσιας κυκλοφορίας, είναι το μόνο λιμάνι στην Ιταλία που μπορεί και παρέχει σύνδεση σε εμπορικές μεταφορές με φορτηγίδες κατά μήκος του ποταμού Πάδου. Κατά την περίοδο σχεδιασμού 2008-2011 το λιμάνι επένδυσε 870.000.000€ από τα οποία 367 εκατομμύρια διατεθήκαν για την ενίσχυση

των υφιστάμενων λιμενικών υποδομών, 174 εκατομμύρια για επεκτάσεις των εγκαταστάσεων, 52 εκατομμύρια για την βελτίωση των συνδέσεων με τις οδικές και σιδηροδρομικές οδούς, 277,5 εκατομμύρια για τη βυθοκόρηση καναλιών του λιμένα και την αποκατάσταση και τη διήθηση της ιλύος.



Εικόνα 4.6. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στην Βενετία

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.6., φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό πλοίων εντός του λιμανιού καταλαμβάνουν τα ρυμουλκά (tug boats) με 48,34% , ενώ ακολουθούν τα φορτηγά πλοία σε ποσοστό 28,70% και τα δεξαμενόπλοια με 15,71%. Τα ποσοστά για τα επιβατηγά είναι χαμηλά (2,11%) λόγω της περιόδου διαθέσιμων δεδομένων (στοιχεία Φεβρουάριος 2013) όπου και υπάρχει μικρή σχετικά τουριστική κίνηση.

Οι Αρχές του λιμανιού είναι πολύ ευαισθητοποιημένες σε περιβαλλοντικά θέματα και έχουν πραγματοποιηθεί αλλά και δεσμευτεί πολλά έργα για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μια αξιοσημείωτη μείωση των εκπομπών CO₂ επιτυγχάνεται με την επιλογή της Βενετίας ως σημείου ελλιμενισμού και όχι ενός βόρειου ευρωπαϊκού λιμανιού για τη μεταφορά φορτίου μεταξύ της Άπω Ανατολής και της Κεντρικής Ευρώπης.

Η ιστορία της Βενετίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ιστορία του λιμανιού της, την πηγή της καλλιτεχνικής μεγαλείο και τον πλούτο της.

4.1.4 Βαλεαρίδες νήσοι

Οι Βαλεαρίδες Νήσοι είναι σύμπλεγμα έντεκα νήσων στα ανατολικά της Ισπανίας στην Μεσόγειο, και σε διάταξη από ΝΔ. προς ΒΑ., οι οποίες συναποτελούν μια από τις 17 αυτόνομες κοινότητες (Περιφέρειες) της χώρας. Σημαντικότερες εξ αυτών είναι οι εξής τέσσερις, η Μαγιόρκα, η Μενόρκα, η Ίμπιζα και η Φορμεντάρα. Πρωτεύουσά τους είναι η Πάλμα επί της Μαγιόρκας, που είναι και η μεγαλύτερη νήσος. Η συνολική τους έκταση φθάνει περίπου τα 4.992 τ.χλμ και ο πληθυσμός τους περίπου 1.100.000 κατοίκους (2011) [59].

4.1.4.1 Λιμάνι Ibiza

Η Ίμπιζα (Ibiza ή Eivissa) είναι η μεγαλύτερη από τις νήσους Πιτυούσες που ανήκουν στο αρχιπέλαγος και την ομώνυμη αυτοδιοικούμενη περιφέρεια των Βαλεαρίδων Νήσων. Έχει εμβαδόν 572 km² και πληθυσμό 133.702 κατοίκων (2013). Το λιμάνι της Ίμπιζα διαθέτει αποβάθρες για τα εμπορεύματα και τους επιβάτες και χώρο για κρουαζιερόπλοια, καθώς και 1400 θέσεις ελλιμενισμού για σκάφη αναψυχής.

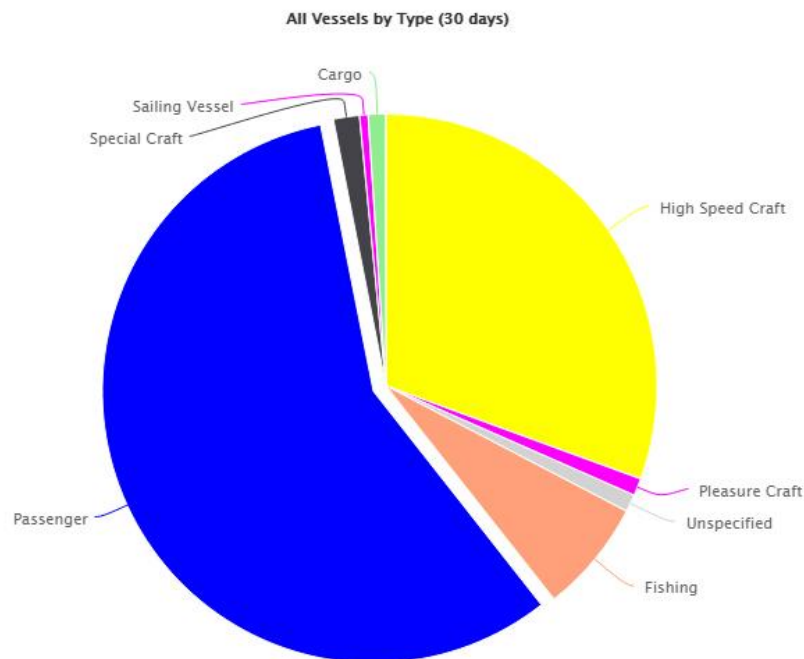


Εικόνα 4.7. Το λιμάνι της Ibiza

Αποτελεί ένα μικρό σε μέγεθος λιμάνι, όπου μπορεί να φιλοξενήσει πλοία έως και 150m σε μήκος και διαθέτει γερανούς για την φόρτωση-εκφόρτωση των πλοίων στις αποβάθρες του [60].

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8., διαπιστώνουμε ότι το 57,51% των πλοίων στο λιμάνι είναι επιβατικά,

ενώ τα φορτηγά αποτελούν μόλις το 1,55%. Υπάρχει όμως ένας μεγάλος αριθμός ταχυπλόων εντός του λιμένα σε ποσοστό 30,57% (στοιχεία Φεβρουάριος 2013).



Εικόνα 4.8. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στην Ibiza.

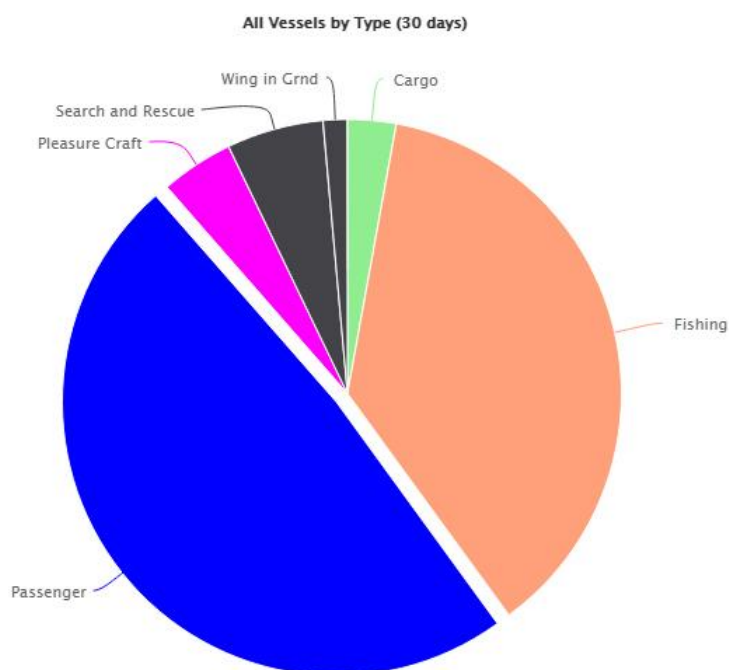
4.1.4.2 Λιμάνι Mahon

Η Mahon είναι πρωτεύουσα του νησιού της Μενόρκα και βρίσκεται στην ανατολική ακτή του νησιού. Διαθέτει ένα από τα μεγαλύτερα φυσικά λιμάνια του κόσμου με 5km μήκος και 900m πλάτος. Η είσοδος στο λιμάνι αποτελεί εξιοθέατο λόγω των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της [61].



Εικόνα 4.9. Το λιμάνι της Mahon

Στο κέντρο του λιμανιού υπάρχουν δύο νησιά με κτίρια του 18^{ου} αιώνα. Διαθέτει έντονη δραστηριότητα μέσω τακτικών επισκέψεων από κρουαζιερόπλοια, φορτηγά πλοία και σκάφη αναψυχής.



Εικόνα 4.10. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στην Mahon

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.10., διαπιστώνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων στο λιμάνι της Mahon είναι επιβατηγά (48,57%) και ακολουθούν σε μεγάλο ποσοστό τα ψαράδικα (37,14%), με τα φορτηγά πλοία να κατέχουν μόνο ένα 2,86% (στοιχεία Φεβρουάριος 2013)

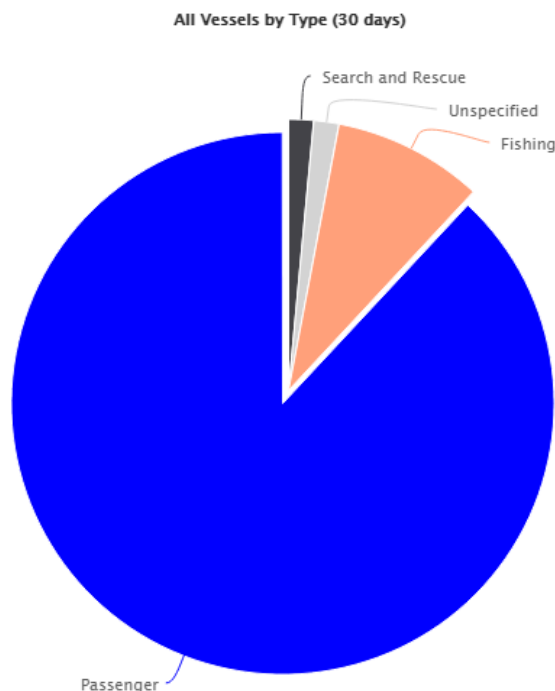
4.1.5 Dubrovnik

Το λιμάνι του Dubrovnik αποτελεί ένα πολύ δημοφιλή προορισμό κρουαζιερόπλοιων (όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.12) και ταυτόχρονα την πύλη για πάνω από ένα εκατομμύριο επιβατηγά πλοία ετησίως. Βρίσκεται στον όρμο του Gruz, 2 χιλιόμετρα από την παλιά πόλη του Dubrovnik και γι αυτό ονομάζεται Gruz Harbour από τους ντόπιους, στην Ανατολική ακτή της νότιας Κροατίας [62].



Εικόνα 4.11. Άποψη του λιμανιού του Dubrovnik.

Τα πλοία για να το προσεγγίσουν πρέπει να κινηθούν πρώτα νοτιοδυτικά μέσω του “Velika Vrata” και στην συνέχεια να περάσουν νότια από το νησί Daksa.



Εικόνα 4.12. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στο Dubrovnik.

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην Εικ. 4.12., αντιλαμβανόμαστε ότι το λιμάνι αποτελεί ένα εξειδικευμένο επιβατικό και τουριστικό λιμάνι για κρουαζιερόπλοια καθώς τα επιβατικά πλοία αποτελούν το 88,06% των πλοίων στο λιμάνι ενώ απουσιάζουν τα φορτηγά πλοία. (στοιχεία Φεβρουάριος 2013) Σύμφωνα με τις επίσημες Αρχές του λιμανιού μπορεί να δεχθεί έως και 3 μεγάλα κρουαζιερόπλοια και 2 μεσαίου μεγέθους.

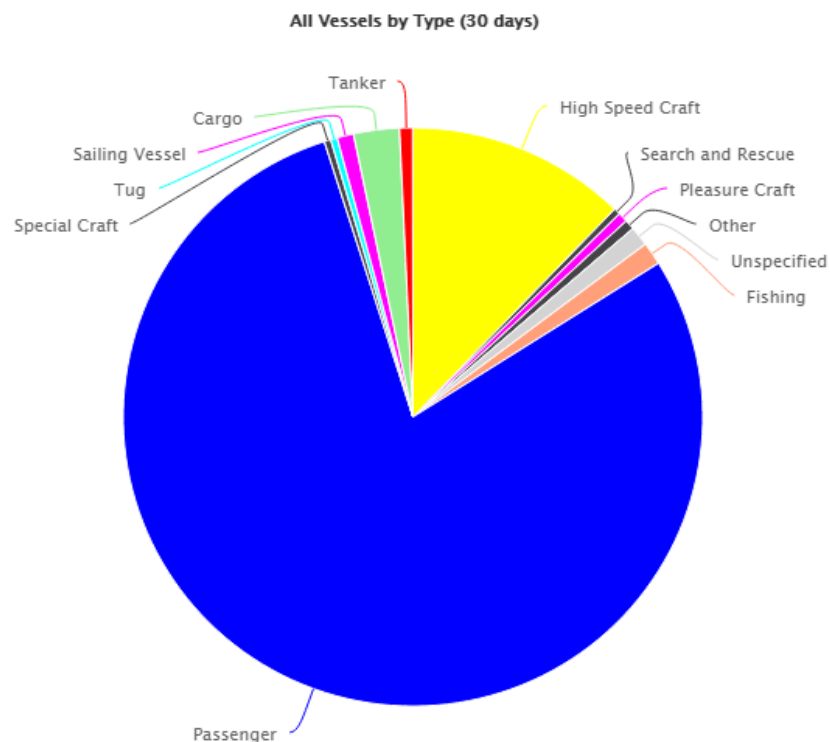
4.1.6 Split

Το λιμάνι του Split βρίσκεται στην κεντρική Δαλματία, στην πόλη Split, στην Κροατία. Αρχικά ήταν μια θέση εμπορικών συναλλαγών που είχε ιδρυθεί από Έλληνες αποίκους του νησιού Vis (αρχαία Ίσσα) και στην συνέχεια καταλήφθηκε από Ρωμαίους [62].



Εικόνα 4.13. Άποψη του λιμανιού του Split.

Από το 2011, το λιμάνι κατατάσσεται ως το μεγαλύτερο επιβατικό λιμάνι στην Κροατία και το τρίτο μεγαλύτερο στην Μεσόγειο, με ετήσιο όγκο επιβατών περίπου 4 εκατομμύρια. Μέχρι το 2010, στο λιμάνι του Split καταγράφηκαν 18.000 αφίξεις πλοίων ετησίως. Στις μέρες μας έχει προγραμματιστεί επένδυση στις υποδομές του λιμανιού, ώστε να αυξηθεί ο όγκος της δυνατής φιλοξενίας σε 7 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως.



Εικόνα 4.14. Ποσοστό πλοίων ανά τύπο στο Split.

Από τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα στο marinetraffic.com, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.12., τα περισσότερα πλοία που επισκέπτονται τον λιμένα είναι επιβατηγά (78,98%) ενώ διαθέτει ρυμουλκά πλοία (0,37%), φορτηγά πλοία (2,56%), δεξαμενόπλοια (12,25%) και τέλος έναν ικανοποιητικό αριθμό ταχυπλόων της τάξης του 12,25% (στοιχεία Φεβρουάριος 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη μελέτη των αερίων ρύπων από τα πλοία και την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων τους χρειάζεται προσδιορισμός πρώτα απ' όλα των παραγόντων και των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν από τα υπολογιστικά εργαλεία, όπως τον τύπο του πλοίου και του φορτίου που μεταφέρει, τα συστήματα τροφοδοσίας ενέργειας, τους κινητήρες, και των διαφορετικών τρόπων λειτουργίας τους ανάλογα με την περιοχή πλεύσης. Ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων που έχουμε διαθέσιμα διακρίνονται δύο μεθοδολογίες υπολογισμού, η λεπτομερής και η απλοποιημένη.

5.1 Αναλυτική μέθοδος υπολογισμού

Η αναλυτική μέθοδος υπολογισμού των αερίων ρύπων πρέπει να χρησιμοποιείται όταν έχουμε στη διάθεσή μας λεπτομερή και επαρκή δεδομένα σχετικά με:

- Την κίνηση των πλοίων εντός του λιμένα
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών (ονομαστική ισχύς, μέγεθος κλπ)
- Χρησιμοποιούμενα καύσιμα
- Χρονική διάρκεια λειτουργικών καταστάσεων κατά τον ελλιμενισμό

Εφαρμόζοντας την αναλυτική μέθοδο στα ποντοπόρα πλοία υπολογίζουμε τους ρύπους για ένα ταξίδι, αθροιζόμενους με αυτούς των καταστάσεων λειτουργίας τους. Έτσι για ένα ταξίδι οι εκπομπές υπολογίζονται ως εξής:

$$E_{trip} = E_{hotelling} + E_{manoeuvring} + E_{cruising}$$

Σύμφωνα με τα συλλεγόμενα δεδομένα μπορούμε να διακρίνουμε δύο υποκατηγορίες μεθοδολογιών:

- 1) **Με γνωστή την κατανάλωση καυσίμου σε κάθε περίοδο λειτουργίας:** Έχοντας γνωστά τα δεδομένα για την κατανάλωση κάθε πλοίου και μηχανής για τη κάθε κατάσταση λειτουργίας τους, υπολογίζουμε τους ρύπους από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{trip}(i,j,m) = \sum (FC_{j,m,p} * EF_{i,j,m,p})$$

, όπου

E_{trip} : οι αέριες εκπομπές σε ένα πλήρες ταξίδι (tn)

FC: η κατανάλωση καυσίμου (tn)

EF: συντελεστής εκπομπών (kg/kW)

i: τύπος αερίων ρύπων (NO_x, CO₂, PM)

j: τύπος κινητήρα (αργής/ μεσαίας/ υψηλής ταχύτητας diesel, ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος)

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

p: οι διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου (cruising, maneuvering, hotelling).

- 2) **Με άγνωστη την κατανάλωση καυσίμου:** Σε περίπτωση που δεν έχουμε διαθέσιμα δεδομένα για την κατανάλωση καυσίμου, τότε χρησιμοποιούμε την ονομαστική Ισχύ του κινητήρα κάθε πλοίου για τον υπολογισμό, ως εξής:

$$E_{trip}(i,j,m) = \sum (T_p \sum (P_e * LF_e * EF_{e,i,j,m,p}))$$

, όπου

E_{trip} : οι εκπομπές αερίων ρύπων σε ένα πλήρες ταξίδι (tn)

EF: συντελεστής εκπομπής ρύπων (kg/kW)

LF: συντελεστής φορτίου κινητήρα (load factor, %)

P: ονομαστική ισχύς μηχανής (kW)

T: χρόνος (hr)

e: κατηγορία κινητήρα (κύριος, βοηθητικός, λέβητας)

i: τύπος αερίων ρύπων

j: τύπος κινητήρα

m: τύπος καυσίμου

p: οι διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου

Προκειμένου να απλοποιηθεί η διαδικασία υπολογισμού των αερίων ρύπων, καθώς υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που αυξάνουν την πολυπλοκότητα των υπολογισμών,

δύναται να χρησιμοποιήσουμε μία ενιαία εξίσωση υπολογισμού για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές κατά τη φάση των ελιγμών (maneuvering) και μία διαφορετική εξίσωση για τη φάση της παραμονής (hotelling). Έτσι έχουμε:

Για την φάση ελιγμών:

$$E_M = T_M * \{(ME * LF_{ME} * EF_{ME}) + (AE * LF_{AE} * EF_{AE})\} * 10^{-6}$$

,όπου T_M ο χρόνος πραγματοποίησης ελιγμών σε ώρες και

και για τη φάση της παραμονής στο λιμάνι:

$$E_B = T_B * \{(ME * LF_{ME} * EF_{ME}) + (AE * LF_{AE} * EF_{AE})\} * 10^{-6}$$

,όπου T_B ο χρόνος παραμονής σε ώρες

5.1.1 Υπολογισμός εκπομπών : Λέβητες

Για τους λέβητες που βρίσκονται εγκατεστημένοι εντός των πλοίων, οι αέριοι ρύποι υπολογίζονται βάση του ρυθμού κατανάλωσης του καυσίμου αλλά και τον χρόνο λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα έχουμε:

$$E_b = F * T * EF$$

,όπου

E_b : οι εκπομπές από τα boiler (gr)

F : ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (tn/hr)

T : ο χρόνος λειτουργίας (hr)

EF : ο συντελεστής αερίων εκπομπών ρύπων (gr/tn)

5.1.2 Δεδομένα υπολογισμού

Τα παρακάτω δεδομένα είναι απαραίτητα ώστε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση των αερίων ρύπων:

- **Μέγιστη ονομαστική ισχύς**

Η μέγιστη ονομαστική ισχύς ενός κινητήρα δίδεται από τον κατασκευαστή του και ορίζεται μέσα από πιστοποιημένες δοκιμές που έχει διεξάγει ο ίδιος. Η Lloyd's Power value αποτελεί μια τιμή ονομαστικής ισχύος η οποία χρησιμοποιείται συχνά όταν αναφερόμαστε σε ονομαστική ισχύ κινητήρα πλοίου. Μετρίεται σε kW και δίδεται στην υψηλότερη ισχύ (ή στο 83% της μέγιστης ισχύος συνηθέστερα για λόγους οικονομίας) ενός κινητήρα, για ένα μέσο φορτίο, σε θαλάσσιες συνθήκες.

- **Συντελεστής φορτίου**

Ο συντελεστής φορτίου είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας του κινητήρα σε μια δεδομένη ταχύτητα κινητήρα με συγκεκριμένη συνεχόμενα μέγιστη ονομαστική ισχύ. Για τις ταχύτητες πλεύσης ο συντελεστής φορτίου του συστήματος πρόωσης για τους κύριους κινητήρες ορίζεται στο 83%. Σε χαμηλότερες ταχύτητες για τον προσδιορισμό του συντελεστή φορτίου για το σύστημα πρόωσης, στηριζόμαστε στην θεωρία που αναφέρει ότι το φορτίο του κινητήρα πρόωσης είναι ανάλογο της ταχύτητας του πλοίου εις την τρίτη. Ο συντελεστής του κινητήρα πρόωσης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$LF = \left(\frac{\text{Πραγματική Ταχύτητα}}{\text{Μέγιστη Ταχύτητα}} \right)^3$$

Είναι πολύ πιθανό σε ορισμένες περιπτώσεις ο συντελεστής φορτίου να υπερβεί το 83% της μέγιστης ονομαστικής του ισχύος, το οποίο συμβαίνει όταν το πλοίο πλέει ταχύτερα από την μέγιστη ταχύτητα πλεύσης λόγω ευνοϊκών συνθηκών αέρα. Γι' αυτόν τον λόγο υπάρχει ένα άνω όριο στον συντελεστή φορτίου ώστε να μην υπερβαίνει ποτέ το 100%.

Ο συντελεστής φορτίου είναι διαφοροποιημένος για τους βοηθητικούς κινητήρες. Κριτήρια για αυτήν τη διαφοροποίηση είναι ο τύπος του πλοίου και η κατάσταση λειτουργίας. Οι συντελεστές αυτοί θα πρέπει να δίδονται ξεχωριστά για κάθε πλοίο που εισέρχεται στο λιμάνι, εκτός αν ακολουθηθεί η απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού οπότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πίνακες οι οποίοι παραθέτουν τον συντελεστή φορτίου ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την κατάσταση λειτουργίας του.

Activity	Summer engine load factors				Rest of year engine load factor			
	Cruise ships		Passenger ships		Cruise ships		Passenger ships	
	ME	AE	ME	AE	ME	AE	ME	AE
Manouvering	0.2	0.75	0.2	0.75	0.2	0.6	0.2	0.6
At-berth	0	0.6	0	0.45	0	0.4	0	0.3

Πίνακας 5.1. Συντελεστής φορτίου κινητήρα για πλοία

- **Συντελεστής εκπομπών αερίων ρύπων**

Οι συντελεστές εκπομπών αποτελούν τιμές οι οποίες παίρνουν διαφορετική τιμή ανάλογα με το είδος του κινητήρα αλλά και ανάλογα με το καταναλισκόμενο καύσιμο. Έτσι έχουμε συντελεστή εκπομπών για κινητήρες diesel (διαφορετικό για τους κινητήρες χαμηλών στροφών -EF_{SSD}- και για αυτούς μεσαίων και υψηλών - EF_{MSD}), τους αεριοστροβίλους (EF_{GT}), για τους ατμοστροβίλους (EF_{ST}), και αναλόγως το

καύσιμο EF_{RO}, EF_{MDO}, EF_{MGO}. Ο προσδιορισμός τους πραγματοποιείται με βάση την ονομαστική ισχύ και το επίπεδο ελέγχου εκπομπών του κινητήρα, το οποίο εξαρτάται από το έτος κατασκευής του κινητήρα (U. S. EPA, 2009). Ανάλογα με το έτος κατασκευής του κινητήρα προσδιορίζεται και το επίπεδο ελέγχου των εκπομπών, καθώς τα νεότερα μοντέλα εμφανίζουν μεγαλύτερο επίπεδο ελέγχου εκπομπών με πιο αποτελεσματικές μεθόδους ελέγχου των καυσαερίων. Ο συντελεστής εκπομπής για τα οξείδια του αζώτου NO_x, εξαρτάται από τον τύπο των κινητήρων των πλοίων ενώ ο συντελεστής εκπομπής για το διοξείδιο του θείου SO₂ εξαρτάται από την περιεκτικότητα του θείου που υπάρχει στα καύσιμα. Από τον κανονισμό τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις βοηθητικές μηχανές πρέπει να είναι μικρής περιεκτικότητας σε θείο από αυτά που χρησιμοποιούνται για τις κύριες μηχανές.

Τύπος κινητήρα/ Τύπος καυσίμου		Συντελεστής αέριων εκπομπών		
Κύρια μηχανή	HSD/MDO	9.6	4.5	0.9
	MSD/LSFO	11.2	6.6	2.4
	GT/MDO	2.9	6.4	0.5
	ST/LSFO	1.7	9.6	2.4
Βοηθητική μηχανή	MSD/LSFO	14.7	6.5	0.8
	MSD/MDO	13.9	4.3	0.3
	GT/MDO	5.7	5.8	0.1
	ST/LSFO	2.1	8.7	0.1

Πίνακας 5.2. Συντελεστές εκπομπής για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές για λειτουργίες εντός λιμένα.

- **Χρόνος λειτουργίας**

Για τον προσδιορισμό των δραστηριοτήτων των πλοίων είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τον χρόνο λειτουργίας κάθε κινητήρα ή λέβητα σε κάθε κατάσταση λειτουργίας. Η είσοδος σε μία ζώνη, η οποία αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη λειτουργία του κινητήρα, προσδιορίζεται από το χρονικό διάστημα που κινείται στην ζώνη αυτή. Έτσι ο χρόνος λειτουργίας υπολογίζεται από την σχέση:

$$A_{ct} = \frac{\text{Απόσταση (ναυτικά μίλια)}}{\text{Πραγματική Ταχύτητα του πλοίου (κόμβοι)}}$$

Διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες χρόνων λειτουργίας:

Χρόνος πλεύσης

Η ταχύτητα στην λειτουργία πλεύσης γενικά ορίζεται στο 94% της μέγιστης ταχύτητας πλεύσης. Η απόσταση από το θαλάσσιο όριο της καταγραφής μέχρι και την ζώνη μειωμένης ταχύτητας ή τον μόλο του λιμένα, σε συνδυασμό και με την ταχύτητα πλεύσης προσδιορίζουν τον χρόνο λειτουργίας του πλοίου σε πλεύση. Για λεπτομερή υπολογισμό των ρύπων οι ταχύτητες και οι χρόνοι θα πρέπει να υπολογίζονται, ενώ για τον απλοποιημένο υπολογισμό μπορούν να ληφθούν αντιπροσωπευτικές τιμές.

Χρόνος ελιγμών

Ο χρόνος λειτουργίας σε αυτή την κατάσταση υπολογίζεται από την απόσταση που διανύει το πλοίο από τον μόλο μέχρι το σημείο πλευρίσματος του πλοίου. Οι μέσες ταχύτητες ελιγμών κυμαίνονται από 3 μέχρι 8 κόμβους ανάλογα με την κατεύθυνση και τον τύπο του πλοίου. Οι χρόνοι των ελιγμών εξαρτώνται από την θέση πλευρίσματος και την διαδρομή προσέγγισης στο τελικό σημείο, καθώς και στις απαιτήσεις του πλοίου σε ελιγμούς. Οι ταχύτητες ελιγμών μπορούν να προσδιορισθούν από τους πλοηγούς του κάθε πλοίου.

Χρόνος Αναμονής

Ο χρόνος αναμονής είναι ο χρόνος όπου το πλοίο βρίσκεται αραγμένο στο λιμάνι και δεν εκτελεί περαιτέρω κινήσεις. Προσδιορίζεται από τον χρόνο μεταξύ της άφιξης και της αναχώρησής του αφαιρώντας τον απαιτούμενο χρόνο για ελιγμούς. Στον λεπτομερή τρόπο υπολογισμού μπορούμε να διαχωρίσουμε τους χρόνους όπου το πλοίο βρίσκεται αγκυροβολημένο αλλά δεν έχει πλευρίσει το λιμάνι και στον χρόνο που βρίσκεται πλευρισμένο (σε παραβολή). Επίσης πρέπει να γίνεται διαχωρισμός των πλοίων που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από τις χερσαίες εγκαταστάσεις του λιμανιού και αυτών που δεν χρησιμοποιούν τα συστήματα τροφοδοσίας του λιμανιού.

- **Ζώνη Μειωμένης Ταχύτητας**

Στην Ζώνη Μειωμένης Ταχύτητας τα πλοία υποχρεούνται να κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτήν της ταχύτητας πλεύσης, αλλά μεγαλύτερη από αυτήν της ταχύτητας με την οποία εκτελούν ελιγμούς. Γενικά κυμαίνεται μεταξύ 9 και 12 κόμβων και αποτελεί την μέγιστη δυνατή ταχύτητα για λόγους ασφαλείας καθώς το πλοίο πλησιάζει αρκετά προς το λιμάνι και αρχίζει να πλευρίζει. Τα όρια της ζώνης μειωμένης ταχύτητας τελειώνουν στην

είσοδο του λιμανιού. Σε ορισμένα λιμάνια η ζώνη αυτή ορίζεται και για περιβαλλοντικούς λόγους καθώς έτσι μειώνεται η εκπομπή αερίων ρύπων από τα ποντοπόρα πλοία. Η ταχύτητα σε αυτήν τη ζώνη υπολογίζεται από τους πλοηγούς των πλοίων και επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες όπως:

Συνθήκες κυκλοφορίας: Οι συνθήκες κυκλοφορίας στο λιμάνι δύναται να αναγκάσουν τα πλοία να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες από τις επιτρεπόμενες.

Ρεύματα: Τα διάφορα θαλάσσια ρεύματα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα πλεύσης καθώς και τον συντελεστή φορτίου. Έτσι για τα πλοία που κινούνται αντίθετα στο ρεύμα η πραγματική τους ταχύτητα υπολογίζεται ως το άθροισμα της πραγματικής τους ταχύτητας και της ταχύτητας του ρεύματος.

Οι Καιρικές συνθήκες: Οι δυνατοί άνεμοι δυσκολεύουν την εκτέλεση ελιγμών αλλά και την πλεύριση των πλοίων στα λιμάνια. Επίσης σε περίπτωση βροχής ή ομίχλης έχουμε συνθήκες μειωμένης ορατότητας με αποτέλεσμα την κίνηση των πλοίων σε αισθητά χαμηλότερες ταχύτητες, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η όλη διαδικασία του ελλιμενισμού, έχοντας ως συνέπεια την αύξηση των αερίων ρύπων.

- **Πρόγραμμα άφιξης πλοίων εντός λιμένος**

Ο πλοηγός ενός πλοίου είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό του πλοίου με το ρυμουλκό και την τήρηση του προγράμματος παραβολής. Έχει την ευχέρεια ανάλογα με τα χρονικά όρια να αυξήσει ή να ελαττώσει ταχύτητα ώστε να τηρηθεί το πρόγραμμα.

5.1.3 Στάδια υπολογισμού

Για τον αναλυτικό υπολογισμό των αερίων ρύπων απαιτούνται τα παρακάτω στάδια, έχοντας ως δεδομένη την ονομαστική ισχύ του κινητήρα:

1. *Καταγραφή δεδομένων:*

Τα δεδομένα που χρειάζεται να συλλέξουμε είναι το λιμάνι αναχώρησης, το λιμάνι άφιξης καθώς και η ώρα αναχώρησης και άφιξης για κάθε πλοίο σε διάστημα ενός έτους ή έστω ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος του έτους, ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα και το επιθυμητό αποτέλεσμα ακρίβειας του υπολογισμού.

2. *Καθορισμός της διαδρομής και απόστασης πλεύσης:*

Τα δεδομένα για την απόσταση σε ναυτικά μίλια της εκτελούμενης διαδρομής των πλοίων μεταξύ λιμανιών μπορούμε να τα έχουμε διαθέσιμα είτε μέσω των GIS

συστημάτων των πλοίων, είτε αν αυτά δεν είναι διαθέσιμα από τυποποιημένους πίνακες με τις αποστάσεις μεταξύ των κυριότερων λιμανιών.

3. *Υπολογισμός του συνολικού χρόνου πλεύσης:*

Είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο συνολικός χρόνος πλεύσης των πλοίων εντός του λιμανιού, ανά κατηγορία, τύπο καυσίμου καθώς και τύπο κινητήρα, σε σχέση με την απόσταση και την μέση ταχύτητα πλεύσης μέσω της εξίσωσης:

$$T = \frac{\text{Απόσταση}}{\text{Πραγματική Ταχύτητα}}$$

είτε κάνοντας χρήση της ώρας αναχώρησης και της ώρας άφιξης στο λιμάνι. Η τελική επιλογή του τρόπου προσδιορισμού έγκειται στην αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων.

4. *Κατηγοριοποίηση των πλοίων αναλόγως την ισχύ:*

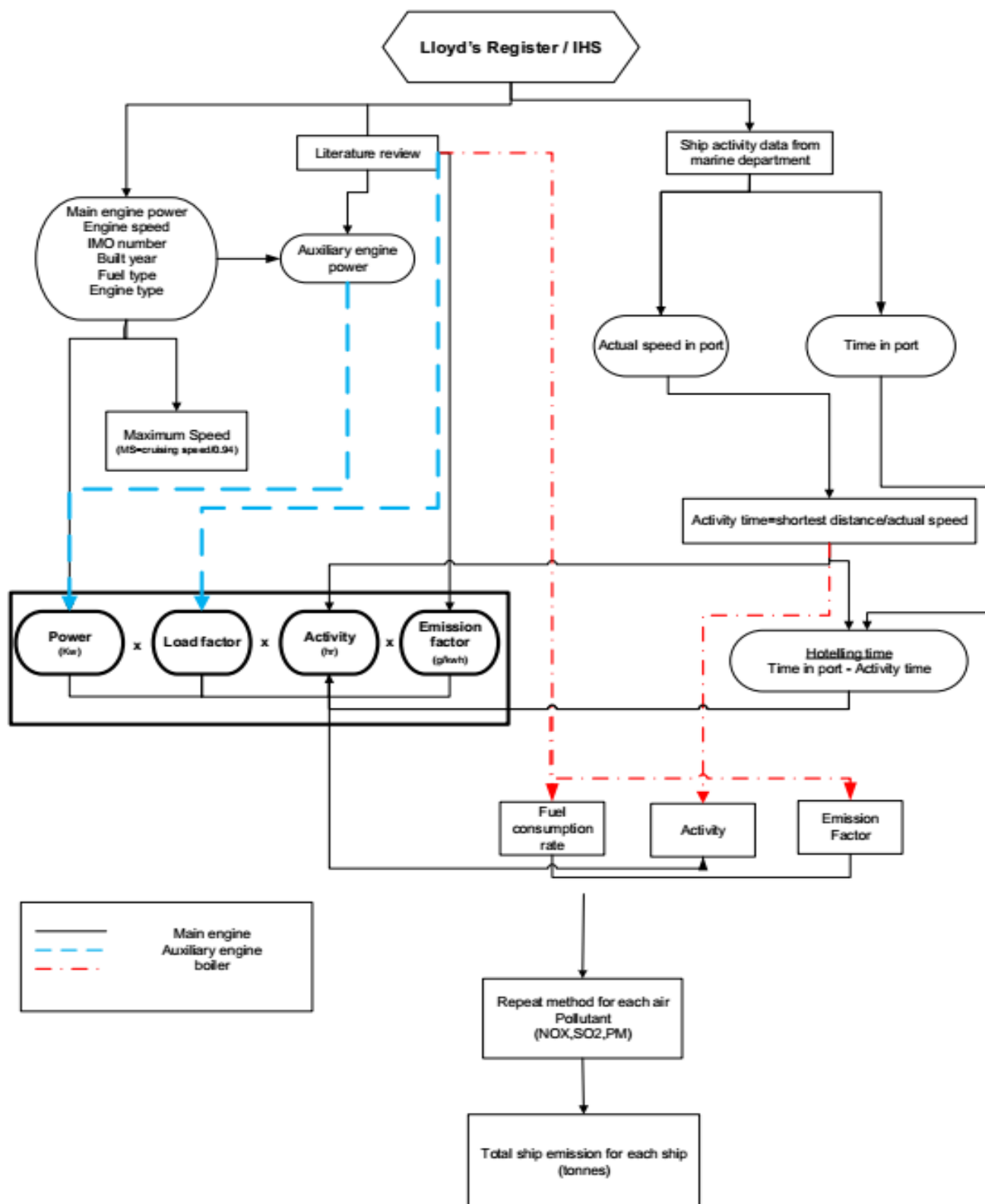
Χαρακτηρίζουμε το κάθε πλοίο ανά κατηγορία ανάλογα με την ονομαστική του ισχύ, ή αν αυτή είναι άγνωστη, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και το καύσιμο. Καθώς, όπως διαπιστώνουμε, οι βάσεις δεδομένων αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι για την συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών για τον υπολογισμό, χρειαζόμαστε έγκυρες πηγές. Η εγγραφή στην βάση δεδομένων της Lloyd's προσφέρει σημαντικές λεπτομερείς πληροφορίες για όλες τις εθνικές και διεθνείς θαλάσσιες κινήσεις των πλοίων με βάρος άνω των 100 tn.

5. *Υπολογισμός του απαιτούμενου χρόνου αγκυροβόλησης και ελιγμών:*

Για τον υπολογισμό του χρόνου πραγματοποίησης ελιγμών επιβάλλεται να καθοριστεί η διαδρομή που εκτέλεσε το πλοίο από το σημείο εισόδου στο λιμάνι μέχρι τη θέση αγκυροβόλησης και στην συνέχεια να διαιρεθεί με την μέση ταχύτητα που ανέπτυξε αυτό. Συνήθως, η μέση ταχύτητα που αναπτύσσουν τα πλοία κατά την είσοδό τους στο λιμάνι υπολογίζεται στους 5 κόμβους και κατά την έξοδό τους στους 8 κόμβους. Ο χρόνος παραμονής στο αγκυροβόλιο βρίσκεται εύκολα από τα διαθέσιμα δεδομένα του λιμανιού.

6. *Προσδιορισμός συντελεστών εκπομπών αερίων:*

Ο προσδιορισμός των συντελεστών εκπομπών αερίων ρύπων μπορεί να γίνει γνωρίζοντας την ονομαστική ισχύ του κινητήρα και το επίπεδο ελέγχου των εκπομπών του.



Εικόνα 5.1. Διάγραμμα Αναλυτικής μεθόδου υπολογισμού αερίων ρύπων [65].

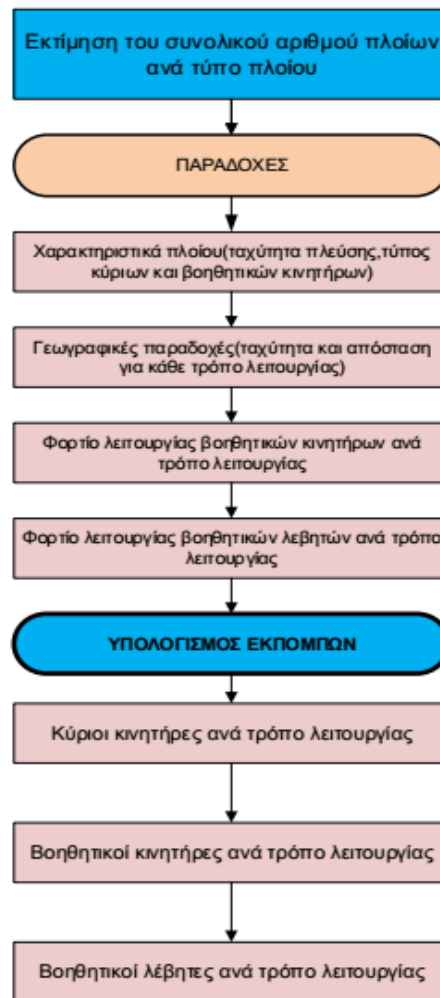
Για την εύρεση των τιμών κατανάλωσης καυσίμου ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα σε συγκεκριμένη ταχύτητα πλεύσης αλλά και διάρκεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον Πίνακα 5.3. ο οποίος είναι αποτέλεσμα μελέτης στις ελληνικές θάλασσες σε μία μέση απόσταση 350 ναυτικών μιλίων.

Αριθμός πλοίων	Ταχύτητα πλεύσης (knots)	Χρόνος πλεύσης (h)	Ημερήσια κατανάλωση καυσίμου (tons)	Συνολική κατανάλωση καυσίμου	
				HFO	MDO
Container (10114)	20,2	17,3	83,4	601.948	6.080
Bulk carriers (10709)	13,8	25,4	28,7	318.771	6.505
Tankers (13684)	13,8	25,4	35,5	508.978	5.141
General cargo (14279)	16,5	20,2	20,7	236.337	12.439
Cruise (10709)	25,3	13,8	87,2	429.559	107.390
Σύνολο 59 495				2.095,593	137.555

Πίνακας 5.3. Κατανάλωση καυσίμου από την διεθνή ναυτιλία στα ελληνικά λιμάνια [67] .

5.2 Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού

Η απλοποιημένη μέθοδος χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις όταν είναι γνωστά λίγα στοιχεία για τις κινήσεις των πλοίων εντός του λιμανιού, όπως στατιστικά στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου, η ισχύς του κινητήρα κλπ.



Εικόνα 5.2. Βήματα υπολογισμού αερίων ρύπων με την απλοποιημένη μέθοδο [66].

Σύμφωνα με αυτήν την απλοποιημένη προσέγγιση βασιζόμαστε σε παραδοχές, μέσες τιμές και δημοσιευμένα δεδομένα από άλλα λιμάνια. Συνιστά μια πολύ βασική μεθοδολογία στην οποία κύρια δεδομένα της είναι οι ώρες άφιξης και αναχώρησης των πλοίων και ο τύπος τους ή στην καλύτερη η κατανάλωση του κάθε πλοίου.

Οι παραδοχές και μέσες τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

- Η ταχύτητα των πλοίων
- Η απόσταση πλεύσης
- Ο χρόνος παραβολής
- Ο τύπος των συστημάτων πρόωσης
- Τα βοηθητικά συστήματα τροφοδοσίας
- Οι λέβητες
- Οι διαφορετικές φάσεις λειτουργίας

- Ο τύπος και οι προδιαγραφές του κύριου κινητήρα

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να υπολογίσουμε ή να εκτιμήσουμε τον αριθμό και των τύπο των πλοίων που έχουν επισκεφτεί το συγκεκριμένο λιμάνι κατά την χρονική περίοδο που μελετάμε. Από προηγούμενες απογραφές στο ίδιο λιμάνι θα είναι δυνατόν να εκμαιεύσουμε δεδομένα όπως μέσες τιμές συντελεστών φορτίου για τους βοηθητικούς κινητήρες και τους λέβητες, σε σχέση και με τον τύπο του κάθε πλοίου.

Τέλος, με βάση τα δεδομένα αυτά μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη ενέργεια και με εφαρμογή του κατάλληλου συντελεστή εκπομπών από τον Πίνακα 5.4 να γίνει ο υπολογισμός των εκπομπών για κάθε τύπο πλοίου.

ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	NO _x	CO	CO ₂	VOC	PM	SO _x
Steam turbines/BFO engines	6.98	0.431	3.200	0.085	2.50	20s
Steam turbines/MDO engines	6.25	0.6	3.200	0.5	2.08	20s
Highspeed diesel engines	7.0	9	3.200	3.00	1.5	20s
Medium speed diesel engines	5.7	7.4	3.200	2.4	1.2	20s
Slow speed diesel engines	8.7	7.4	3.200	2.4	1.2	20s
Gas turbines	1.6	0.5	3.200	0.2	1.1	20s

Πίνακας 5.4. Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή εκπομπής αερίων ρύπων για την απλοποιημένη μέθοδο.

5.3 Οι βασικές διαφορές: “Αναλυτικής” - “Απλοποιημένης” μεθόδου

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων υπολογισμού είναι ότι στην απλοποιημένη μέθοδο:

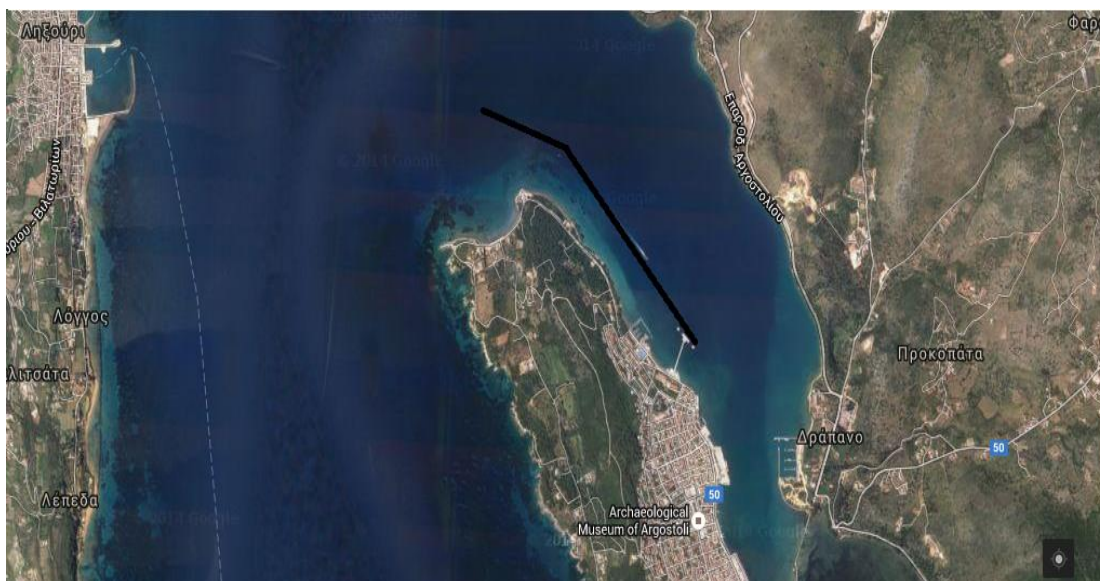
1. Δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές από τη φάση πλεύσης και παραμονής (cruising and hotelling mode)
2. Απουσιάζουν οι εκπομπές των βοηθητικών γεννητριών παραγωγής ρεύματος καθώς ούτε και των βοηθητικών πλοίων (ρυμουλκά κλπ)
3. Δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές κατά την φόρτωση και εκφόρτωση του πλοίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ

6.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 6.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα του Αργοστολίου από τη στιγμή που εισέρχονται στο λιμάνι έως και την στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: $D = 0,5\text{km}$.



Εικόνα 6.1. Πορεία εντός του λιμένα του Αργοστολίου προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned} T_{\text{ελιγμών}} &= D/u_{\text{actual, In}} + D/u_{\text{actual, out}} + T_{\text{maneu. to dock}} + T_{\text{maneu. to undock}} = \\ &= 0,50(\text{km})/9,26(\text{km/h}) + 0,50(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{0,238\text{hr}} \end{aligned}$$

6.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι του Αργοστολίου για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

6.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι του Αργοστολίου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αερίων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

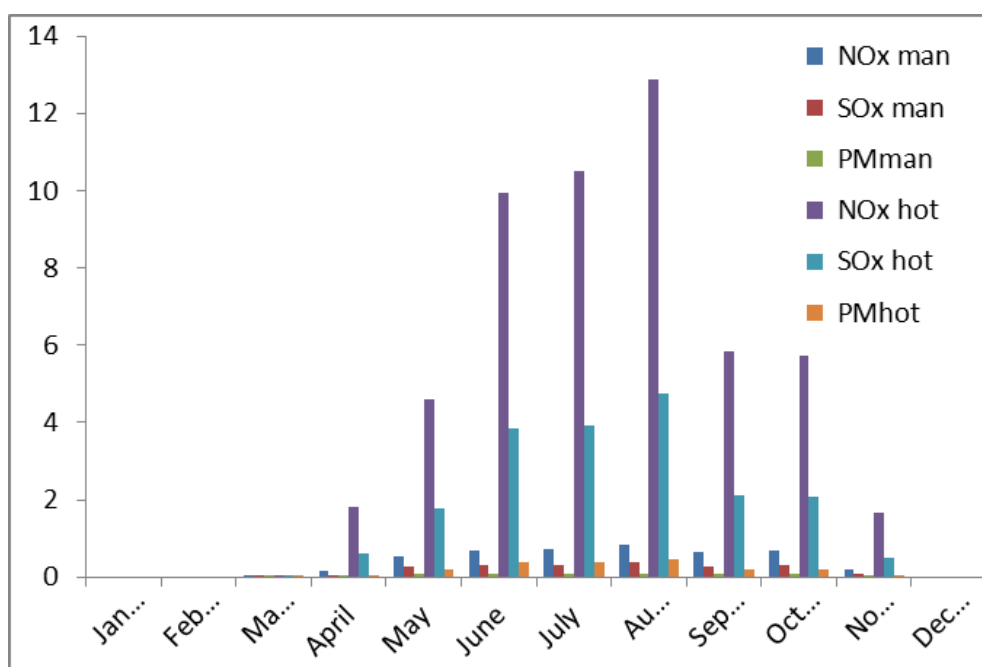
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO _{x man}	0,00	0,00	0,01	0,16	0,54	0,67	0,71	0,83	0,63	0,67	0,18	0,00	4,40
SO _{x man}	0,00	0,00	0,00	0,06	0,26	0,30	0,32	0,38	0,29	0,31	0,07	0,00	1,99
PM _{man}	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	0,02	0,00	0,46
NO _{x hot}	0,00	0,00	0,05	1,83	4,59	9,94	10,52	12,87	5,86	5,71	1,67	0,00	53,02
SO _{x hot}	0,00	0,00	0,02	0,60	1,79	3,83	3,91	4,74	2,11	2,08	0,52	0,00	19,59
PM _{hot}	0,00	0,00	0,00	0,05	0,19	0,40	0,39	0,47	0,20	0,20	0,04	0,00	1,93

Πίνακας 6.1. Τιμές αερίων ρύπων στο λιμάνι του Αργοστολίου.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	0	0	1	4	12	14	15	17	15	18	4	0	100
Time in Port	0	0	6	32	86	94	109	124	110	126	27	0	712

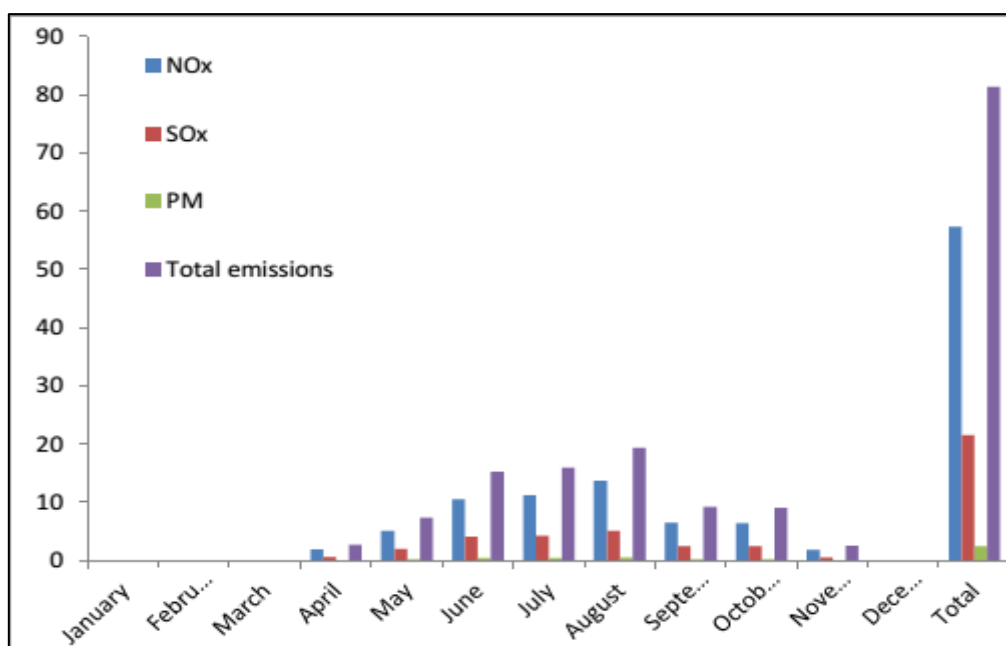
Πίνακας 6.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους.

Στο **Διάγραμμα 6.1** που ακολουθεί παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

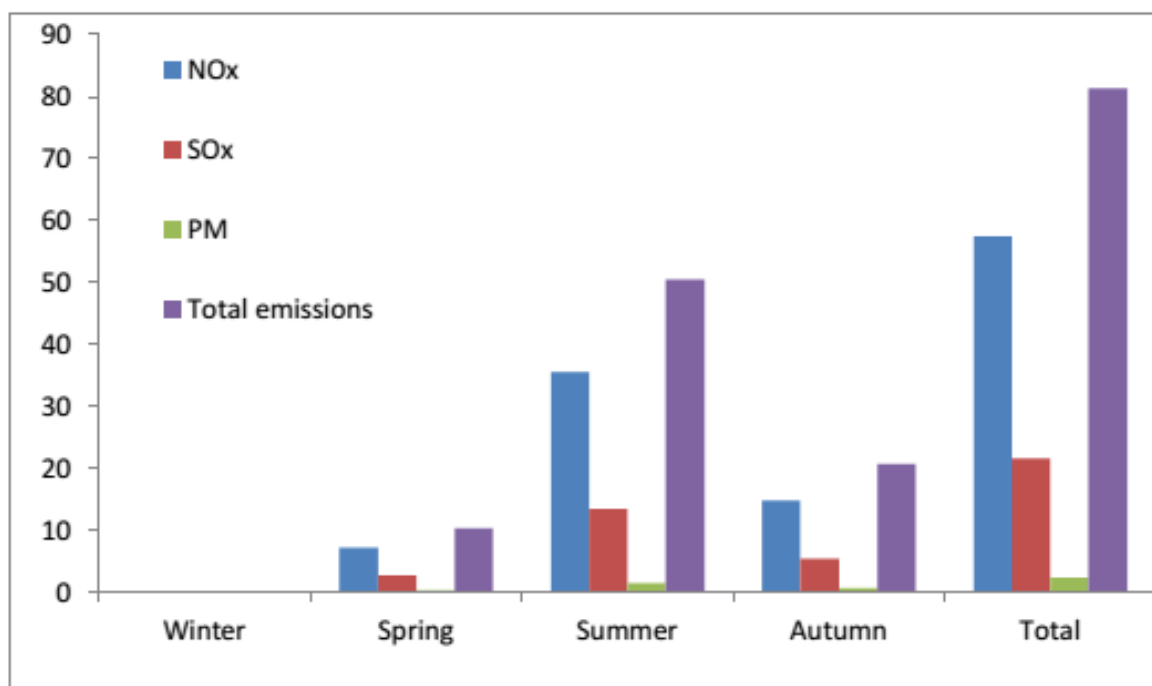


Διάγραμμα 6.1 Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

Το σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:



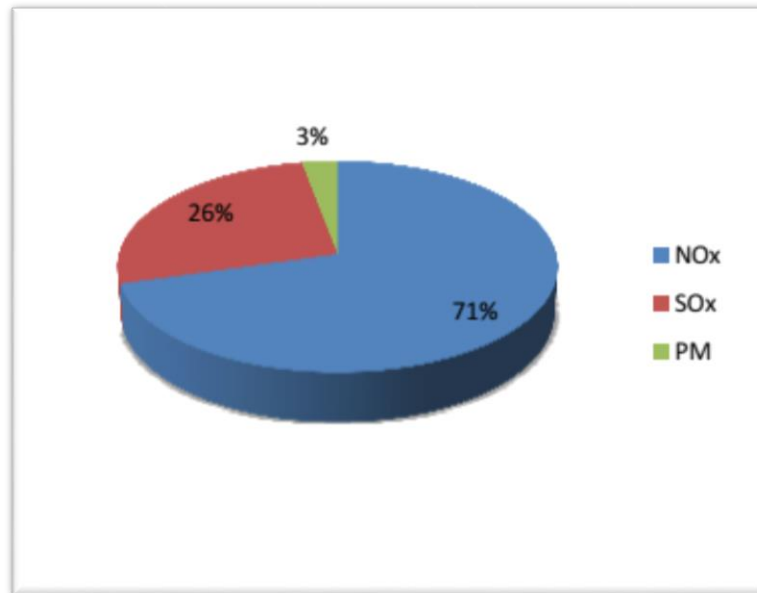
Διάγραμμα 6.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



Διάγραμμα 6.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

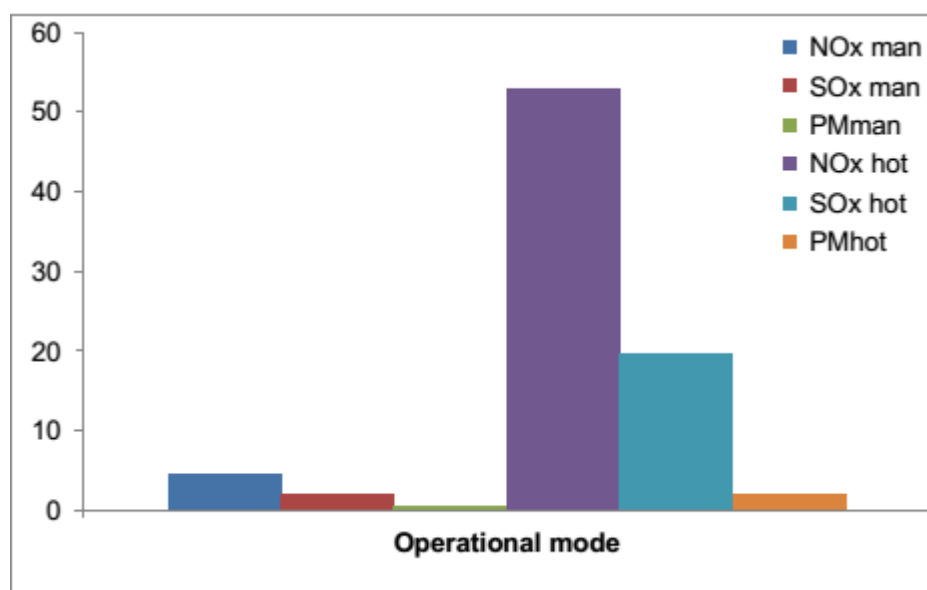
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 71,0% και ακολουθούν τα οξείδια του

θείου (SO_x) με ποσοστό 26,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 3%.



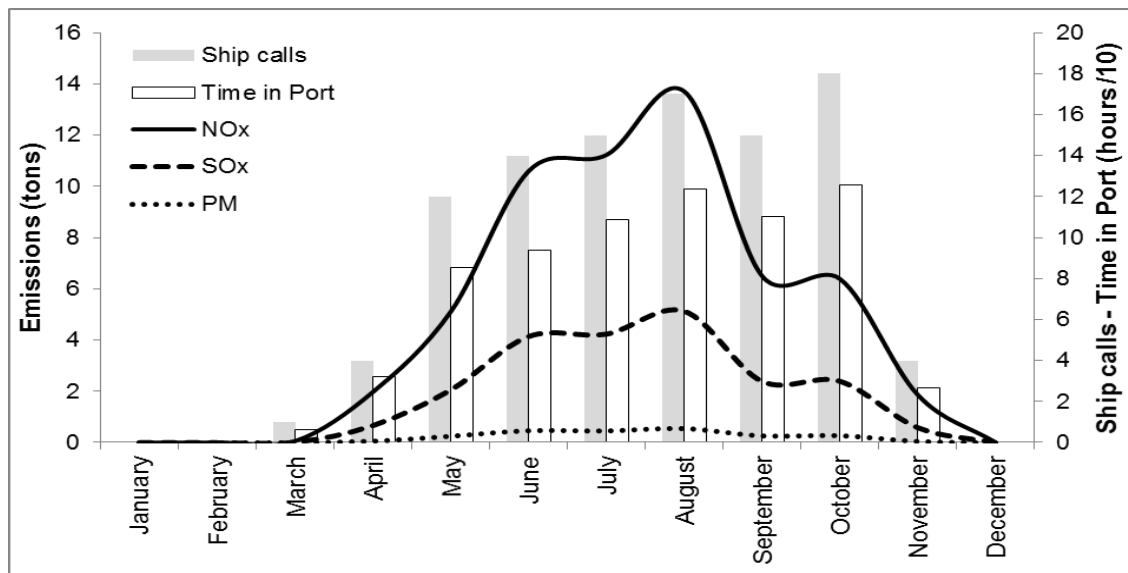
Διάγραμμα 6.4. Ποσοστώση αερίων ρύπων για το λιμάνι του Αργοστολίου.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

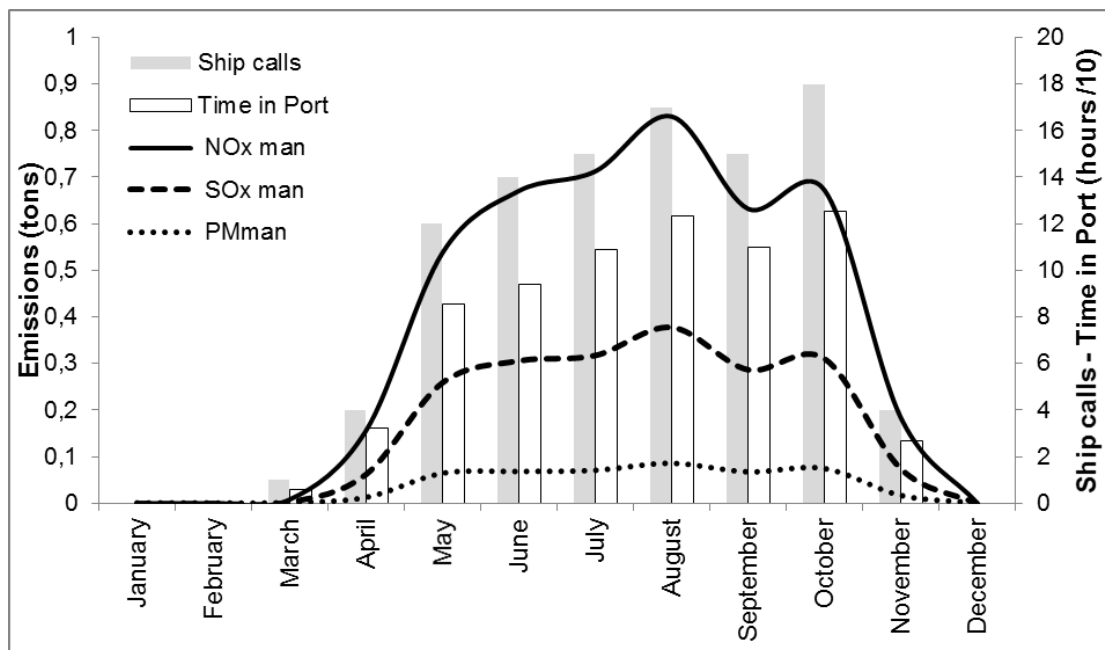


Διάγραμμα 6.5. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

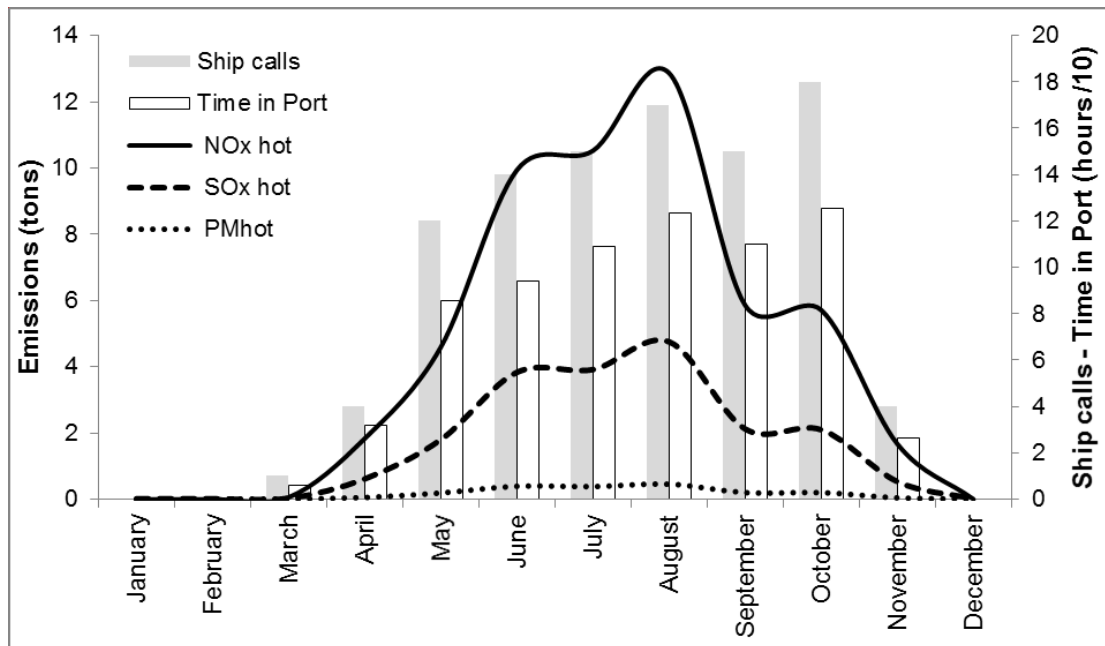
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαιτέρως των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και **δωδεκαπλασιάζονται** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



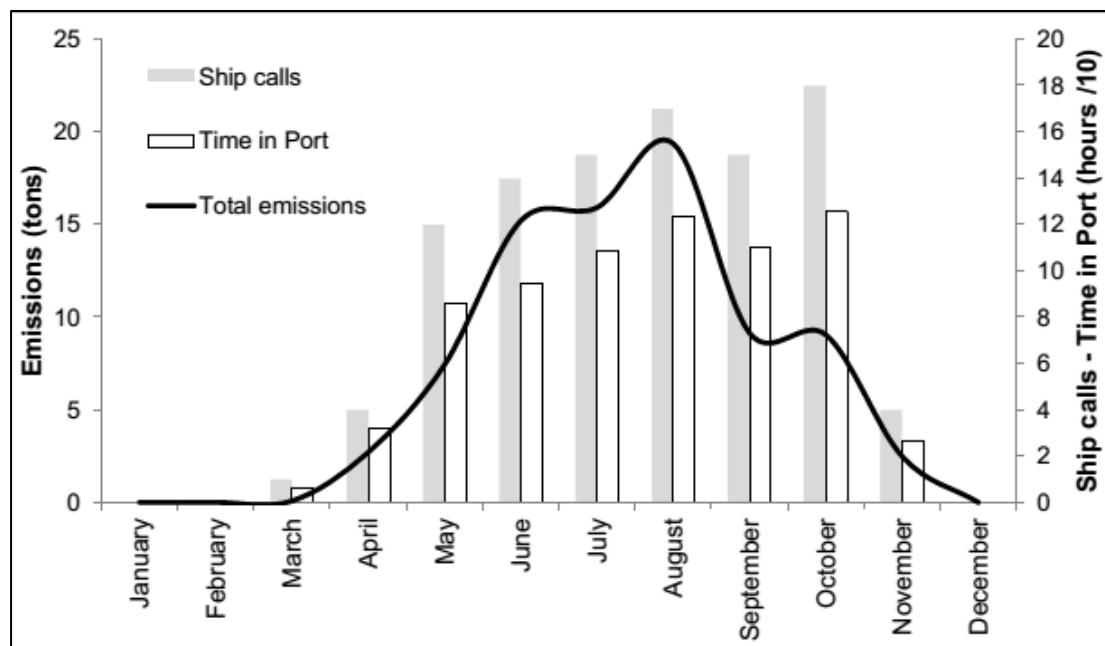
Διάγραμμα 6.6. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



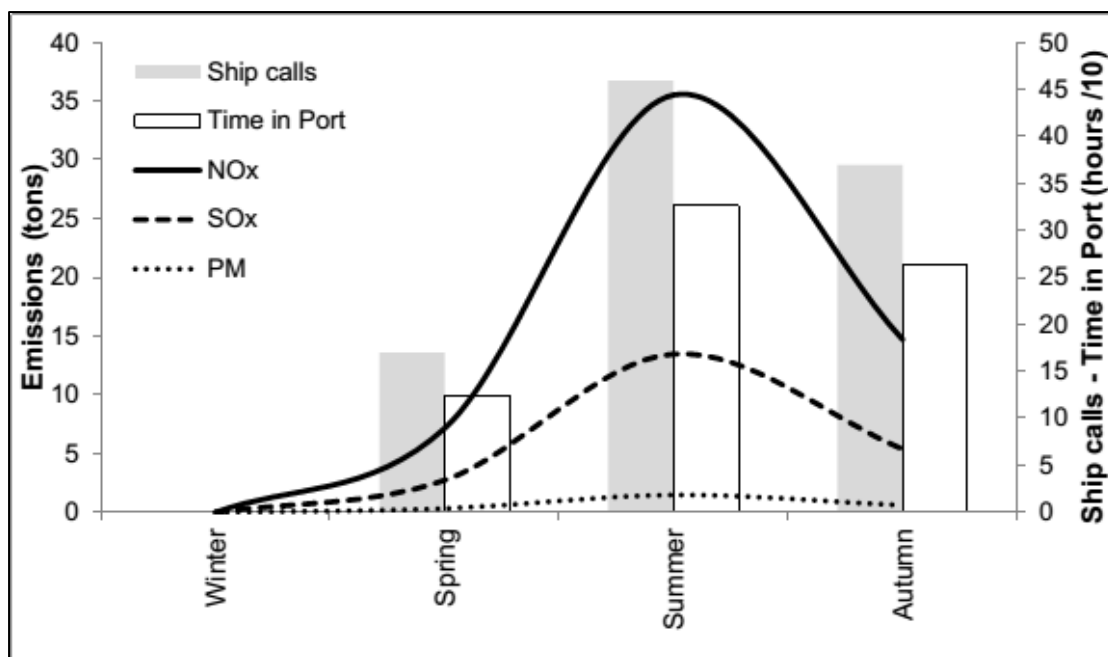
Διάγραμμα 6.7. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



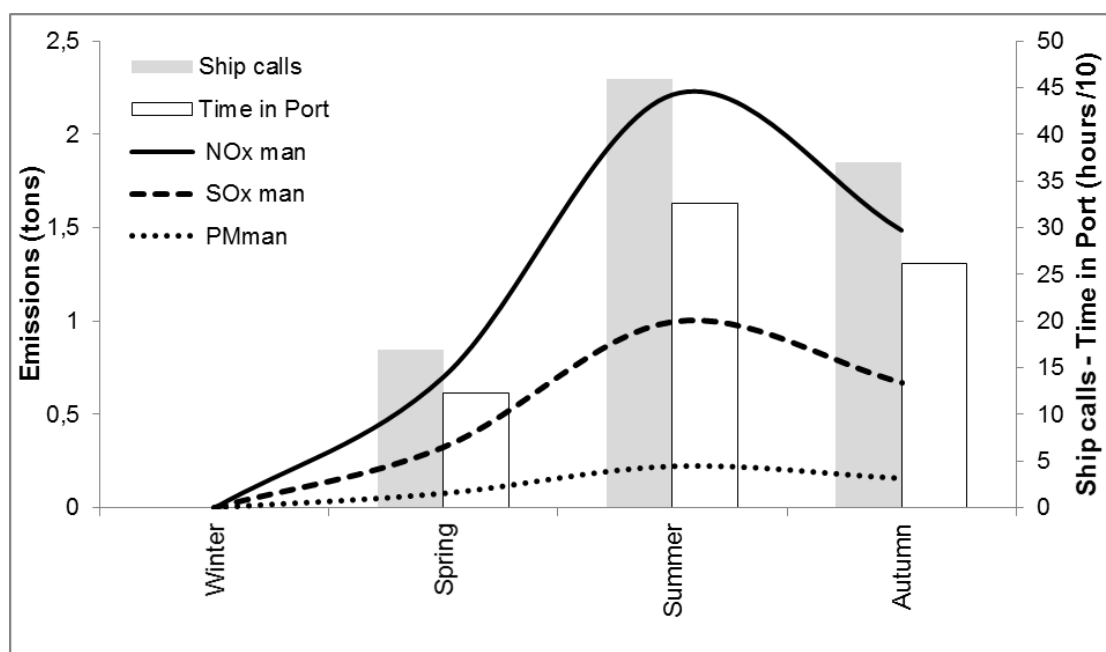
Διάγραμμα 6.8. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



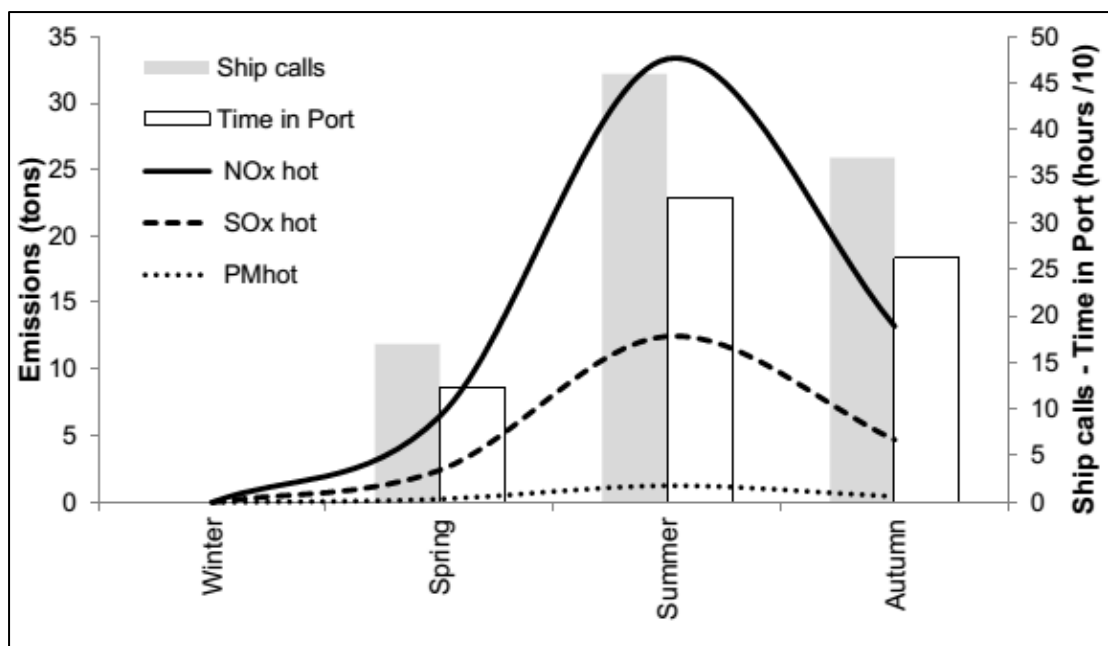
Διάγραμμα 6.9. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα



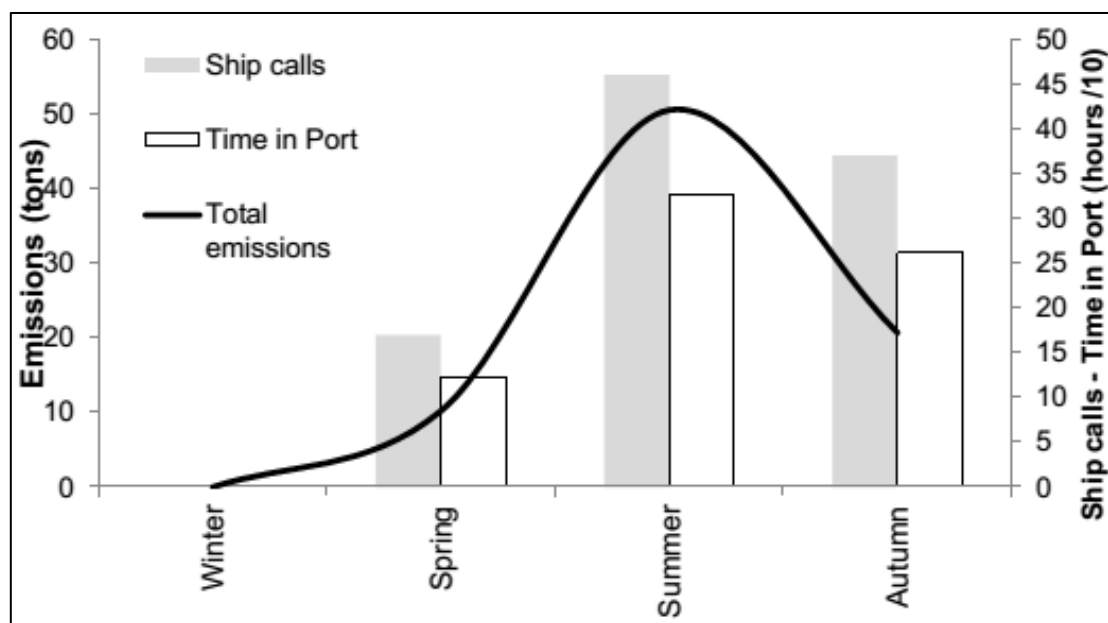
Διάγραμμα 6.10. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 6.11. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 6.12. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 6.13. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 6.6 έως και 6.13 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν

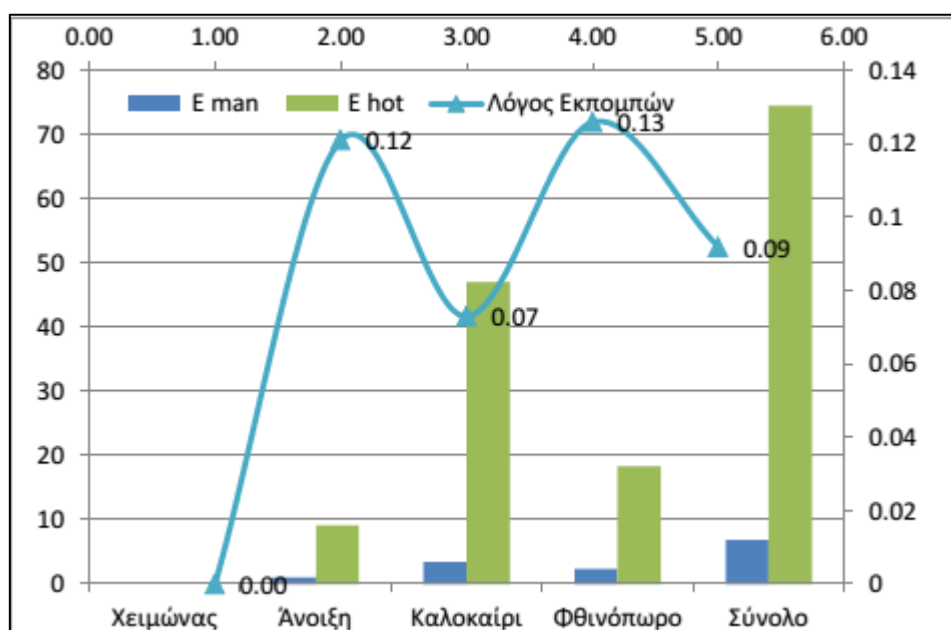
επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

6.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Winter	Spring	Summer	Autumn	Total
NO _x	0,00	7,17	35,54	14,72	57,43
SO _x	0,00	2,74	13,48	5,37	21,59
PM	0,00	0,32	1,48	0,59	2,39
Total emissions	0,00	10,22	50,50	20,69	81,40

Πίνακας 6.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι του Αργοστολίου.



Διάγραμμα 6.14. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 6.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι του Αργοστολίου επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 11 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode από ότι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

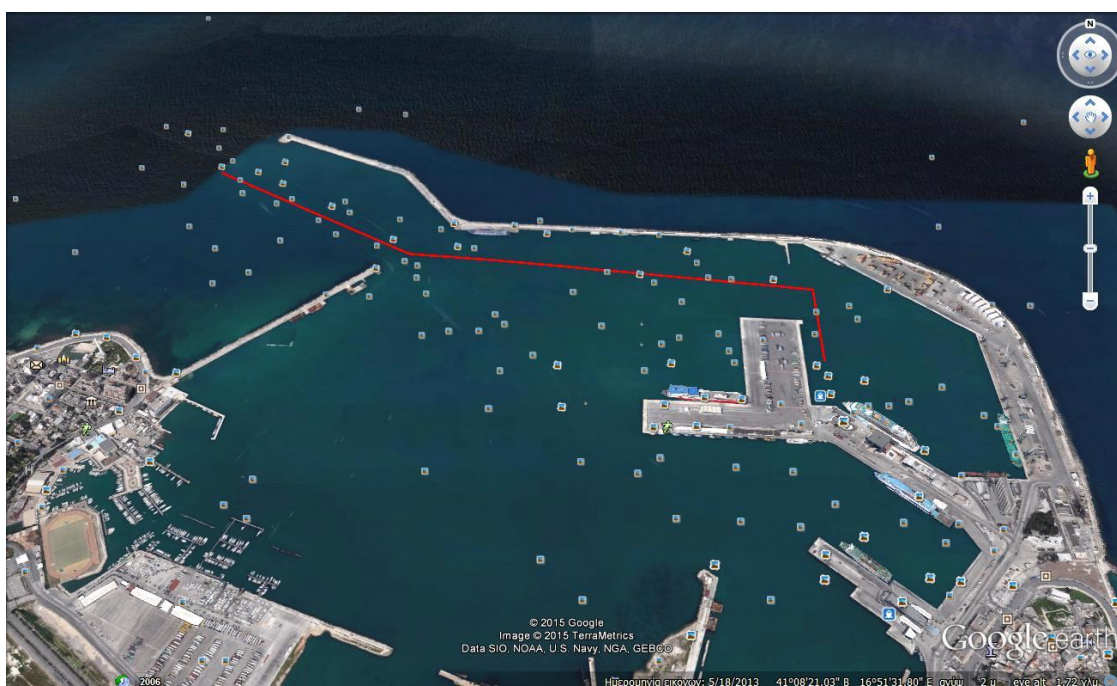
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΜΠΑΡΙ

7.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 7.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα του Bari, από τη στιγμή που εισέρχονται στο λιμάνι έως και την στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος:

D = 2,1km.



Εικόνα 7.1. Πορεία εντός του λιμένα του Bari προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$T_{\text{ελιγμών}} = D/u_{\text{actual, in}} + D/u_{\text{actual, out}} + T_{\text{maneuver, to dock}} + T_{\text{maneuver, to undock}} = \\ 2,10(\text{km}) / 9,26(\text{km/h}) + 2,10(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{0,519 \text{ hr}}$$

7.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι του Bari για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Το προτεινόμενο φορτίο κύριου και βοηθητικού κινητήρα πλοίων κρουαζιέρας για δραστηριότητες εντός του λιμένα, δηλαδή για ελιγμούς και για παραγωγή ενέργειας σε θέση αγκυροβολίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του υπόλοιπου χρόνου, δείχνονται στον Πίνακα 5.1. Οι συντελεστές εκπομπών που αντιστοιχούν στη λειτουργία των κύριων και βοηθητικών κινητήρων με συγκεκριμένα καύσιμα, κατά τη διάρκεια ελιγμών σε λιμάνι και σε θέση αγκυροβολίας, φαίνονται στον Πίνακα 5.2. Η ταχύτητα που εισέρχεται το κρουαζιερόπλοιο στο λιμάνι θεωρήθηκε ότι είναι 5 κόμβοι (9,26km/h) και η ταχύτητα που εξέρχεται είναι 8 κόμβοι (14,82km/h). Επίσης θεωρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων, διαθέτουν diesel-ηλεκτρική διάταξη για τον κύριο κινητήρα. Οι κύριες μηχανές, δίνουν κίνηση στο πλοίο κατά τη πλοήγηση και κατά τους ελιγμούς και οι βοηθητικές του παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες. Κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού τα πλοία δεν σβήνουν καθόλου τις βοηθητικές μηχανές τους (ηλεκτρομηχανές) οι οποίες είναι συνεχώς σε λειτουργία.

7.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι του Bari κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αέριων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

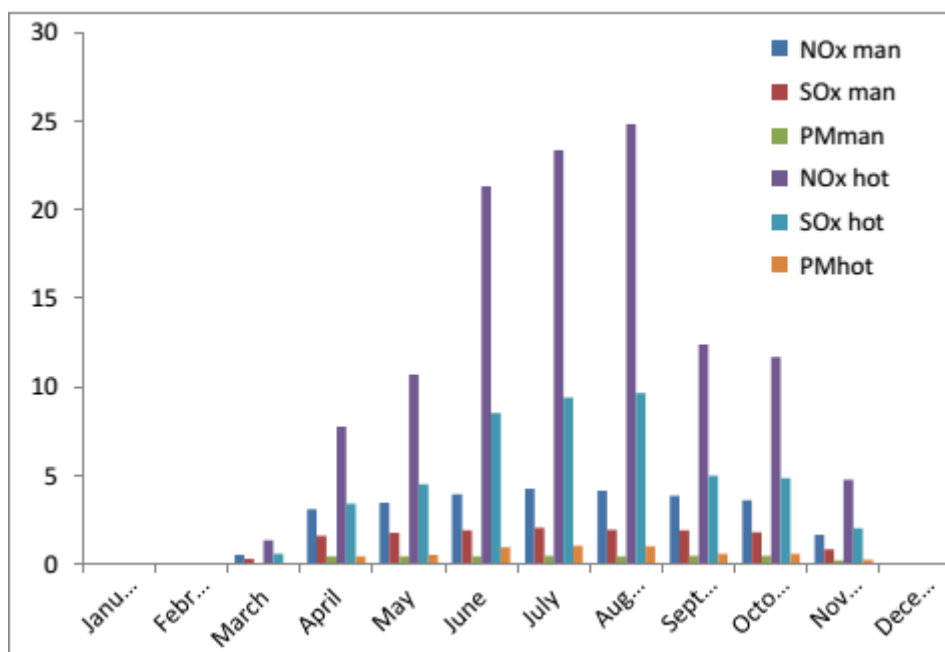
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO_x man	0,00	0,00	0,52	3,12	3,47	3,94	4,24	4,13	3,87	3,62	1,66	0,00	28,57
SO_x man	0,00	0,00	0,27	1,59	1,74	1,90	2,05	1,95	1,90	1,81	0,83	0,00	14,04
PM_{man}	0,00	0,00	0,07	0,41	0,44	0,44	0,47	0,44	0,47	0,45	0,21	0,00	3,38
NO_x hot	0,00	0,00	1,31	7,77	10,70	21,33	23,34	24,85	12,39	11,67	4,76	0,00	118,13
SO_x hot	0,00	0,00	0,58	3,38	4,50	8,53	9,40	9,64	4,99	4,83	2,01	0,00	47,87
PM_{hot}	0,00	0,00	0,07	0,41	0,53	0,94	1,05	1,02	0,55	0,56	0,24	0,00	5,36

Πίνακας 7.1. Μετρήσεις αέριων ρύπων στο λιμάνι του Bari

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	0	0	3	19	23	20	22	21	25	28	10	0	171
Time in Port	0	0	15	99	145	109	125	119	153	189	55	0	1009

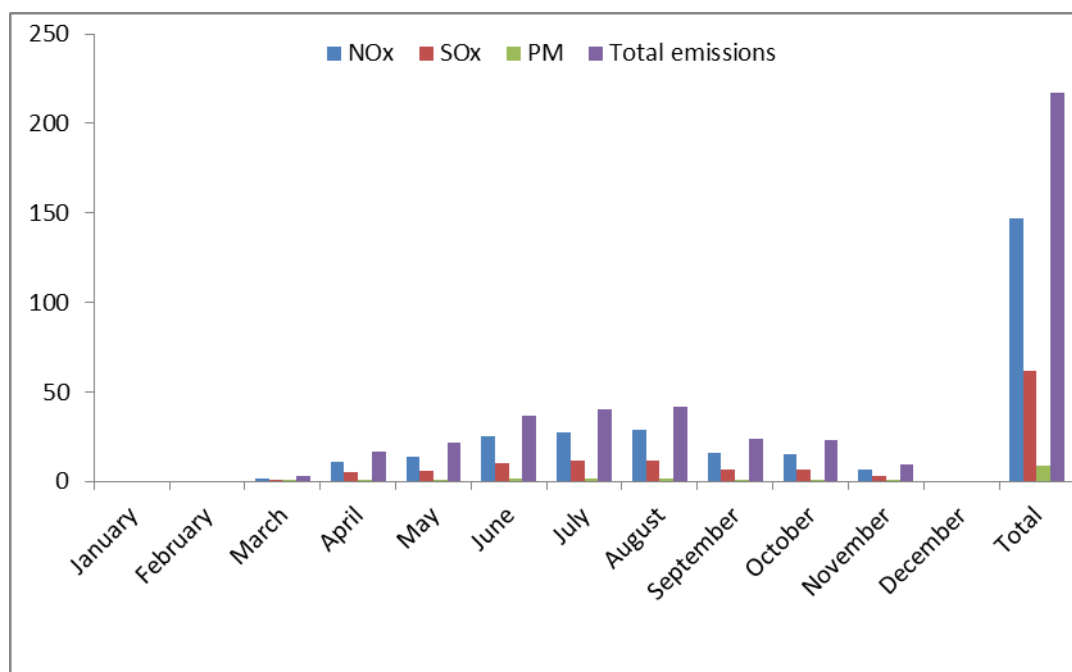
Πίνακας 7.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους

Στο **Διάγραμμα 7.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

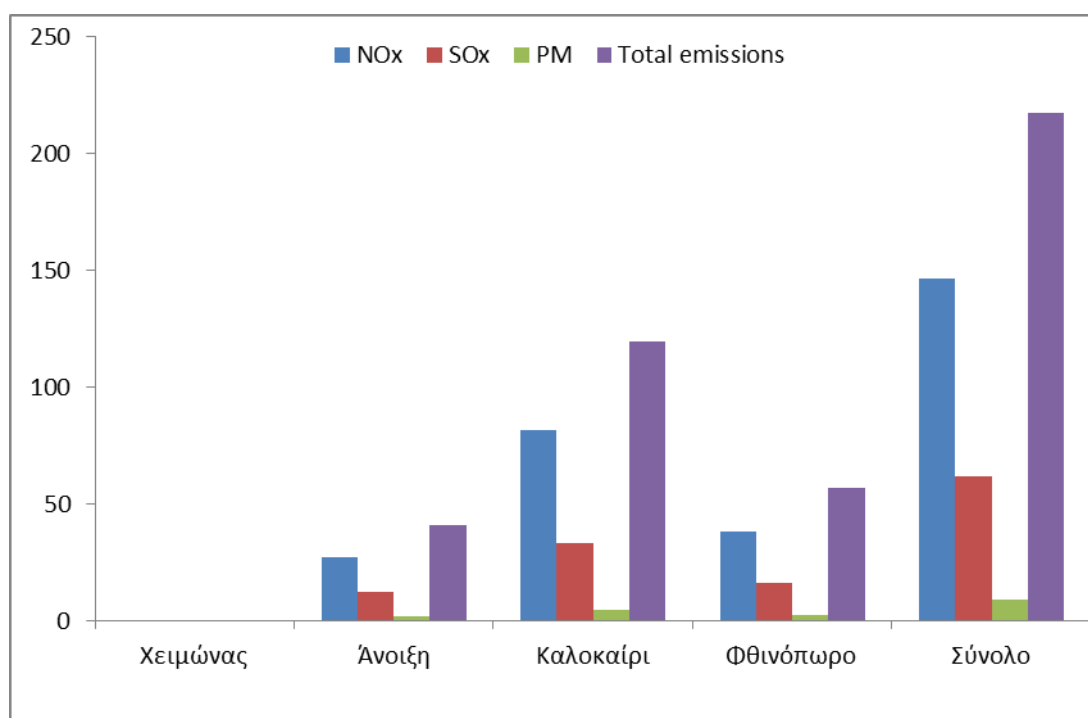


Διάγραμμα 7.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

Το σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:



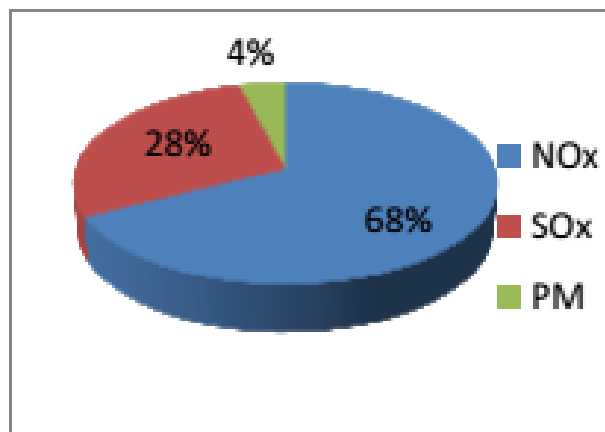
Διάγραμμα 7.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



Διάγραμμα 7.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

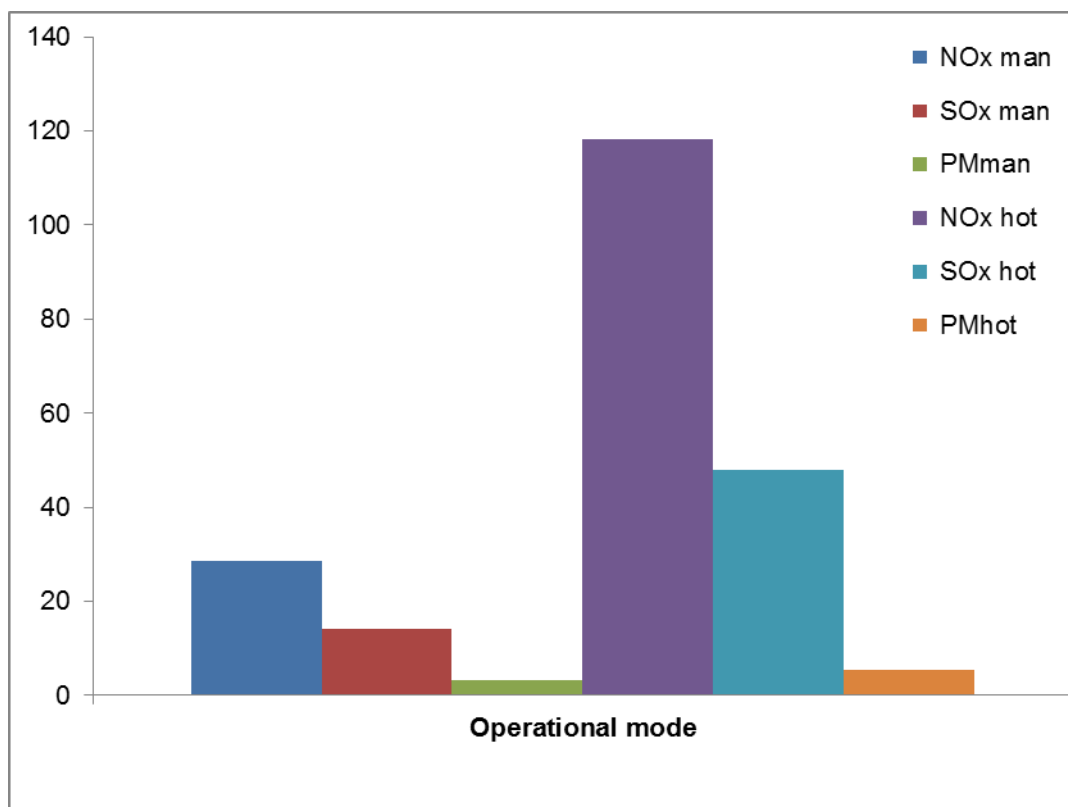
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 68,0% και ακολουθούν τα οξείδια του

θείου (SO_x) με ποσοστό 28,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 4%.

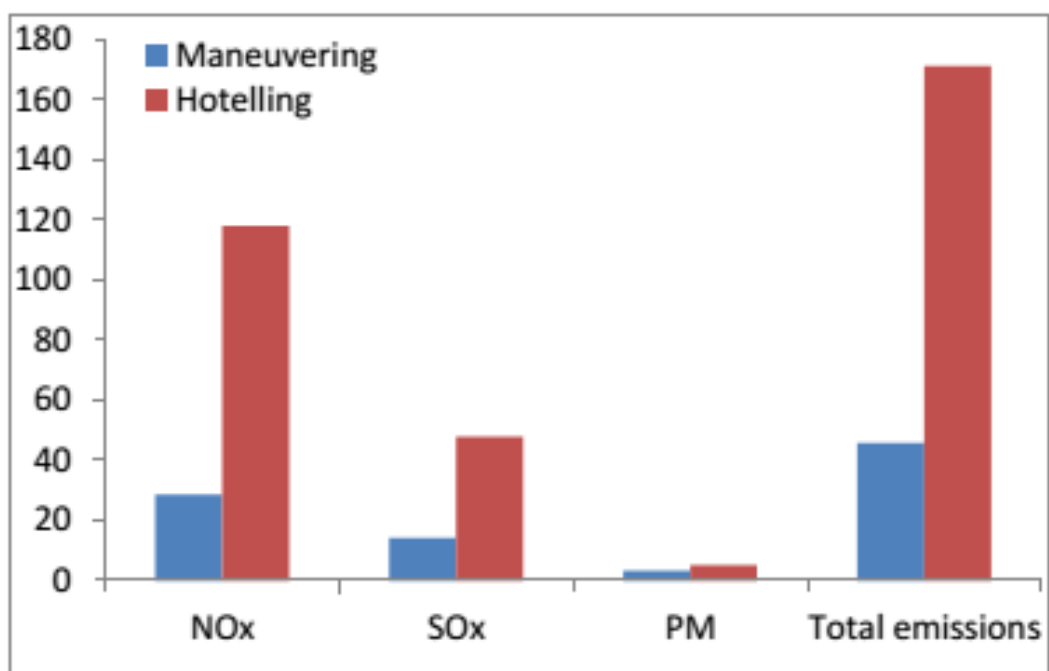


Διάγραμμα 7.4. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι του Μπάρι.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

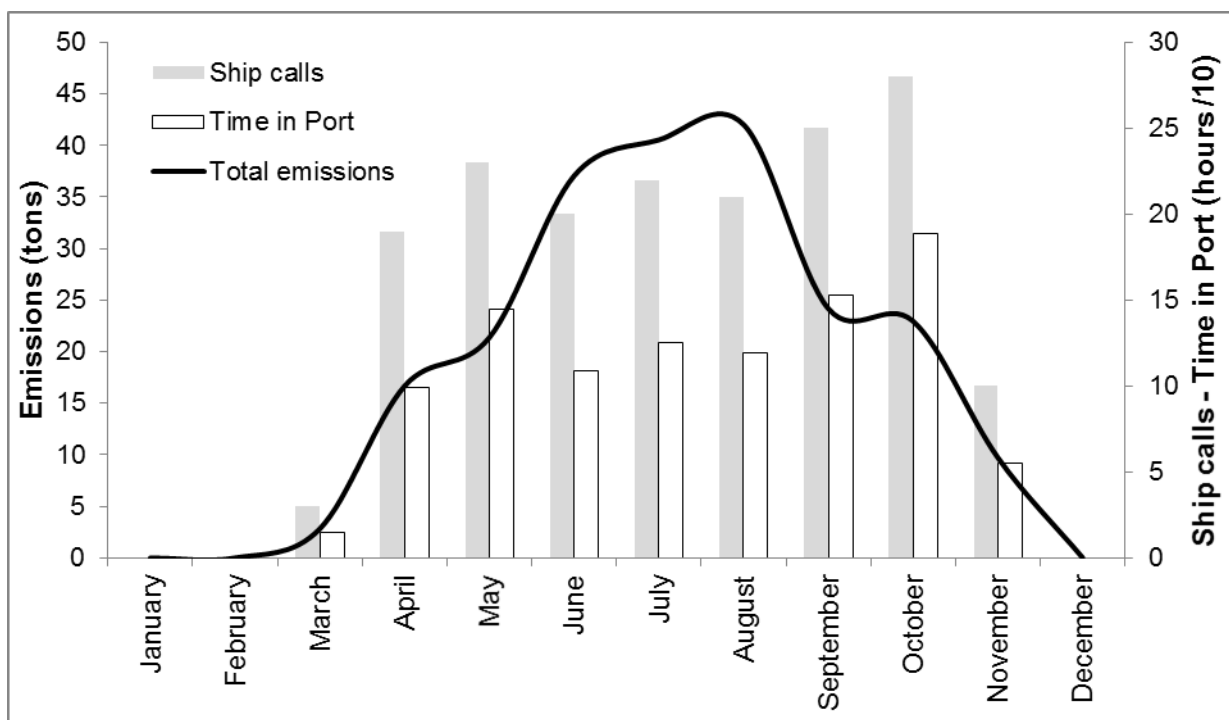


Διάγραμμα 7.5. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

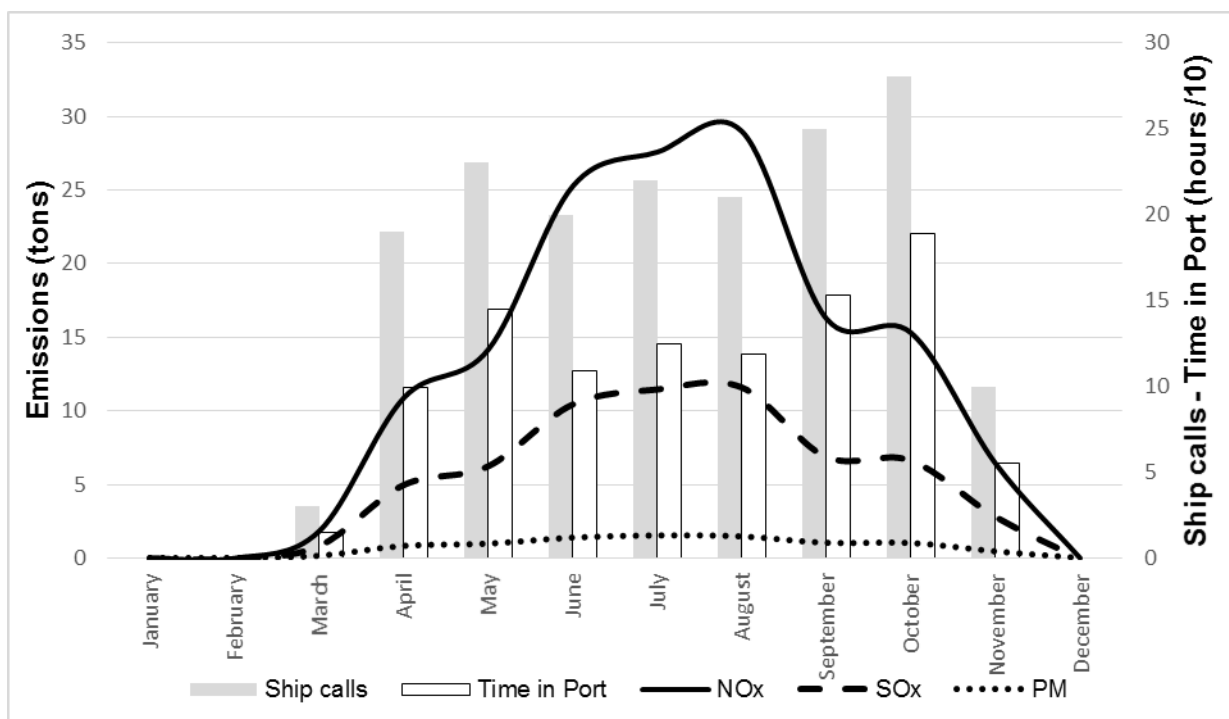


Διάγραμμα 7.6. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

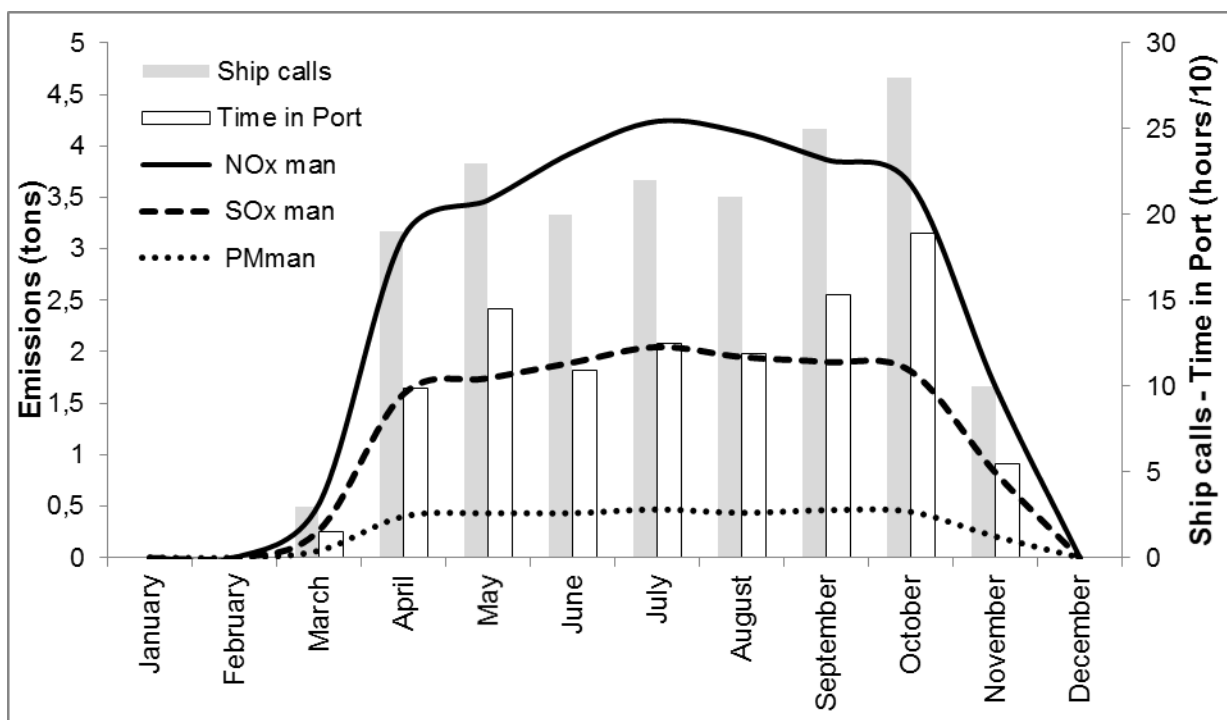
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαιτέρως των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και **τετραπλασιάζονται** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



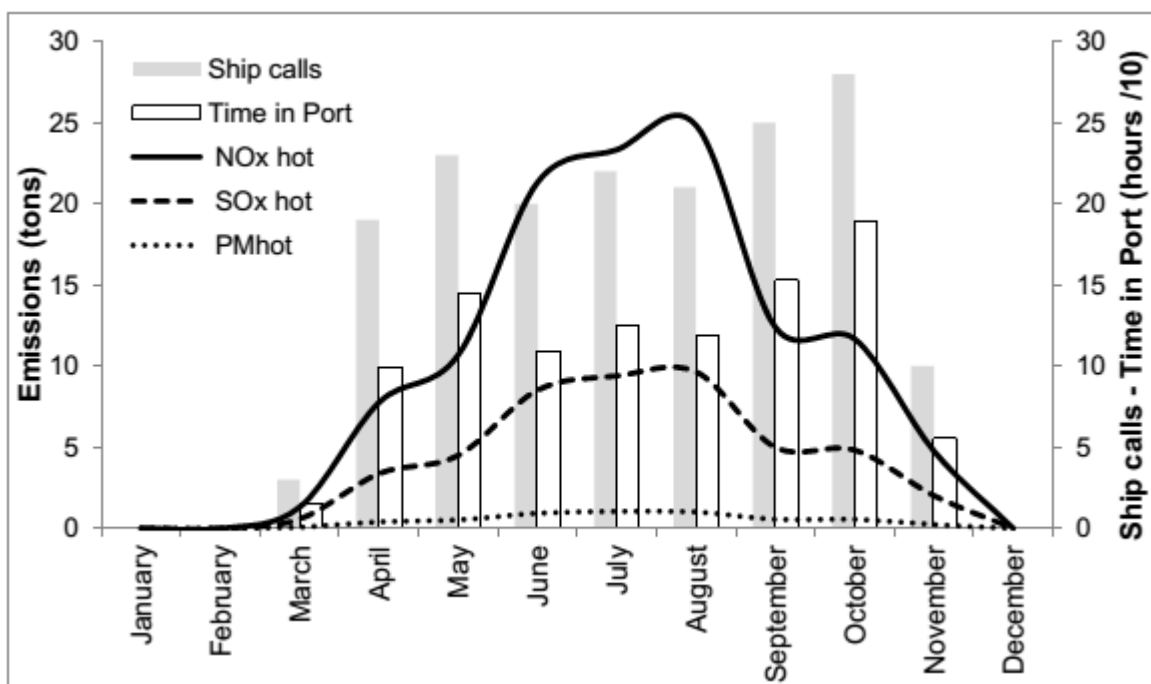
Διάγραμμα 7.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



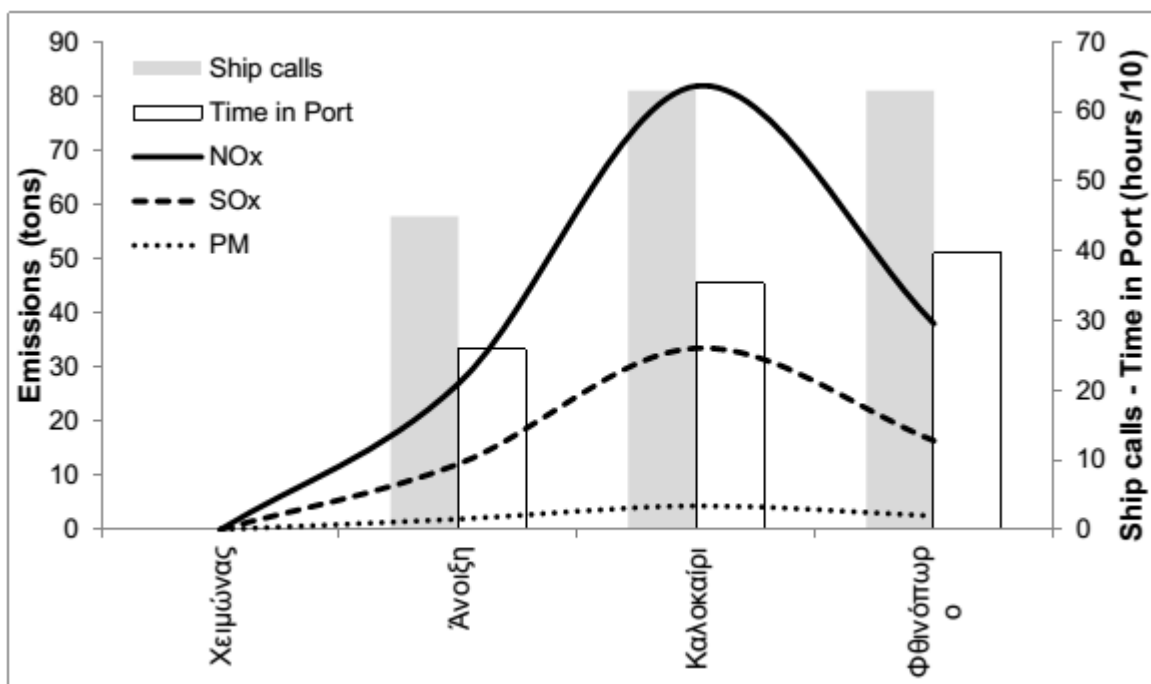
Διάγραμμα 7.8. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



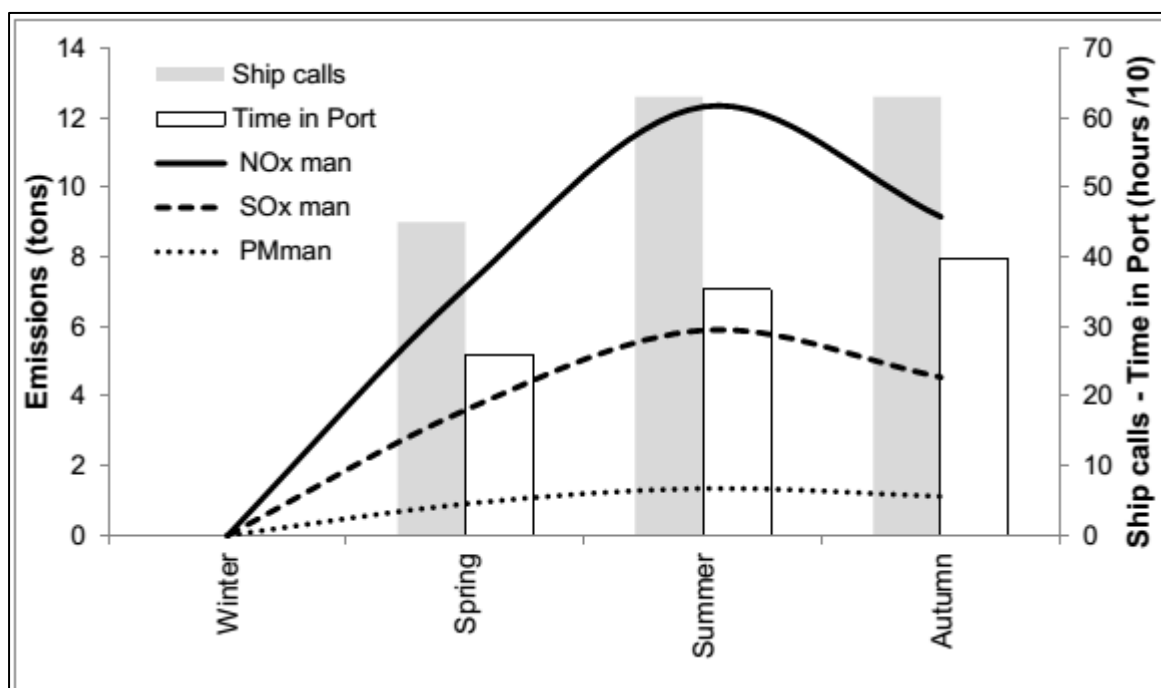
Διάγραμμα 7.9. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



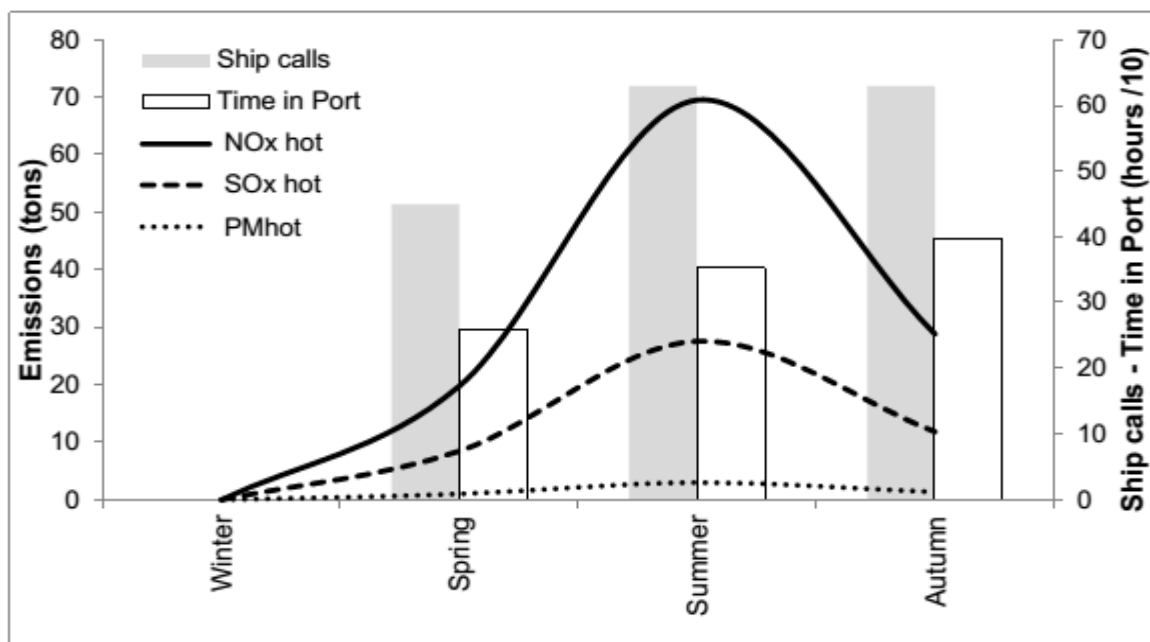
Διάγραμμα 7.10. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



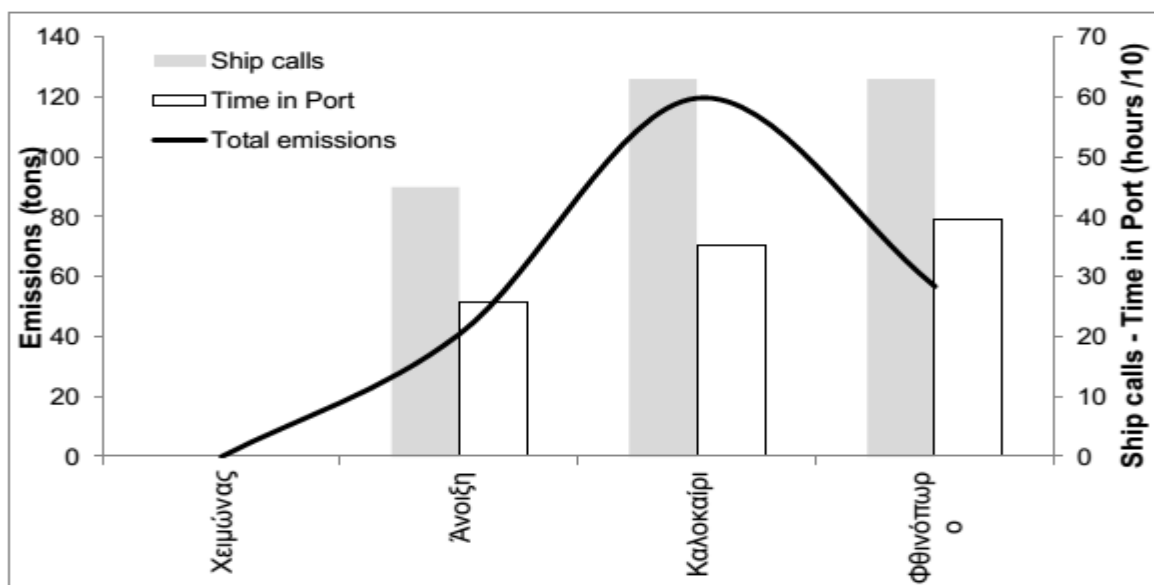
Διάγραμμα 7.11. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 7.12. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 7.13. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 7.14. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 7.6 έως και 6.13 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των

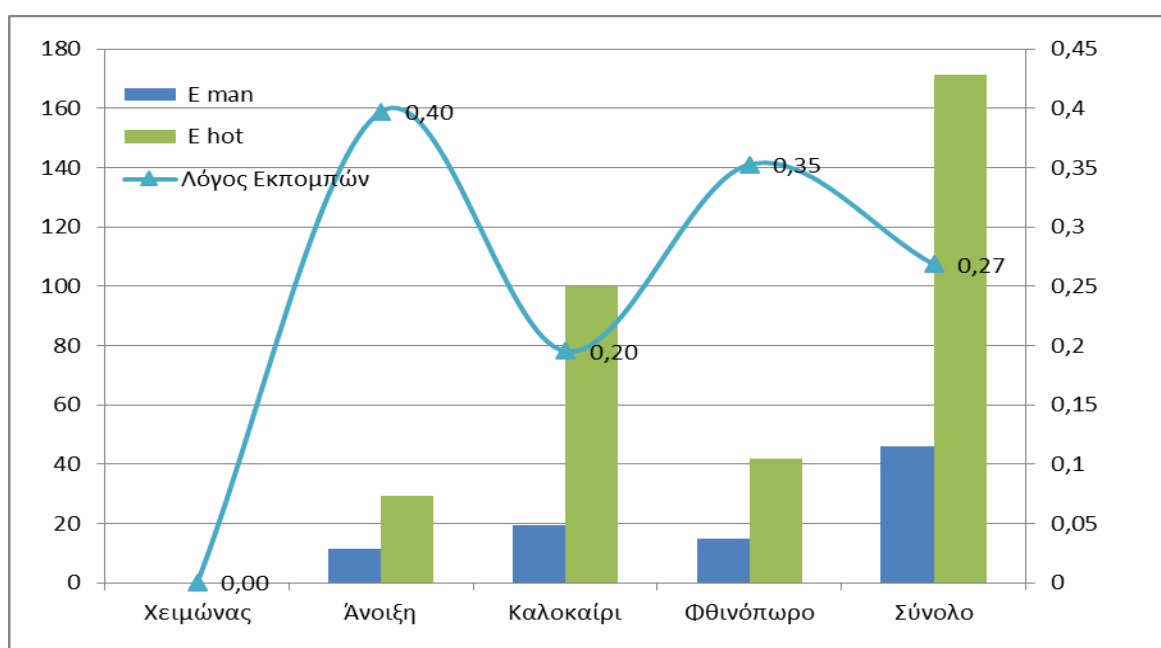
ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

7.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	0,00	26,89	81,83	37,98	146,70
SO_x	0,00	12,07	33,46	16,38	61,91
PM	0,00	1,92	4,35	2,48	8,74
Total emissions	0,00	40,88	119,65	56,83	217,35

Πίνακας 7.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι του Bari.



Διάγραμμα 7.15. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 7.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι του Μπάρι επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 3,7 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ότι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ ΒΕΝΕΤΙΑΣ

8.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 8.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα του Bari, από τη στιγμή που εισέρχονται εντός του λιμένα έως τη στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: **D = 13,5km.**



Εικόνα 8.1. Πορεία εντός του λιμένα της Βενετίας προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Τελιγμών} &= D/u_{\text{actual, in}} + D/u_{\text{actual, out}} + T_{\text{maneuver, to dock}} + T_{\text{maneuver to undock}} = \\ &= 13,50(\text{km})/9,26(\text{km/h}) + 13,50(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{2,519\text{hr}}\end{aligned}$$

8.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων NO_x , SO_2 και $\text{PM}_{2.5}$ που περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι της Βενετίας για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

8.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι της Βενετίας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αερίων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

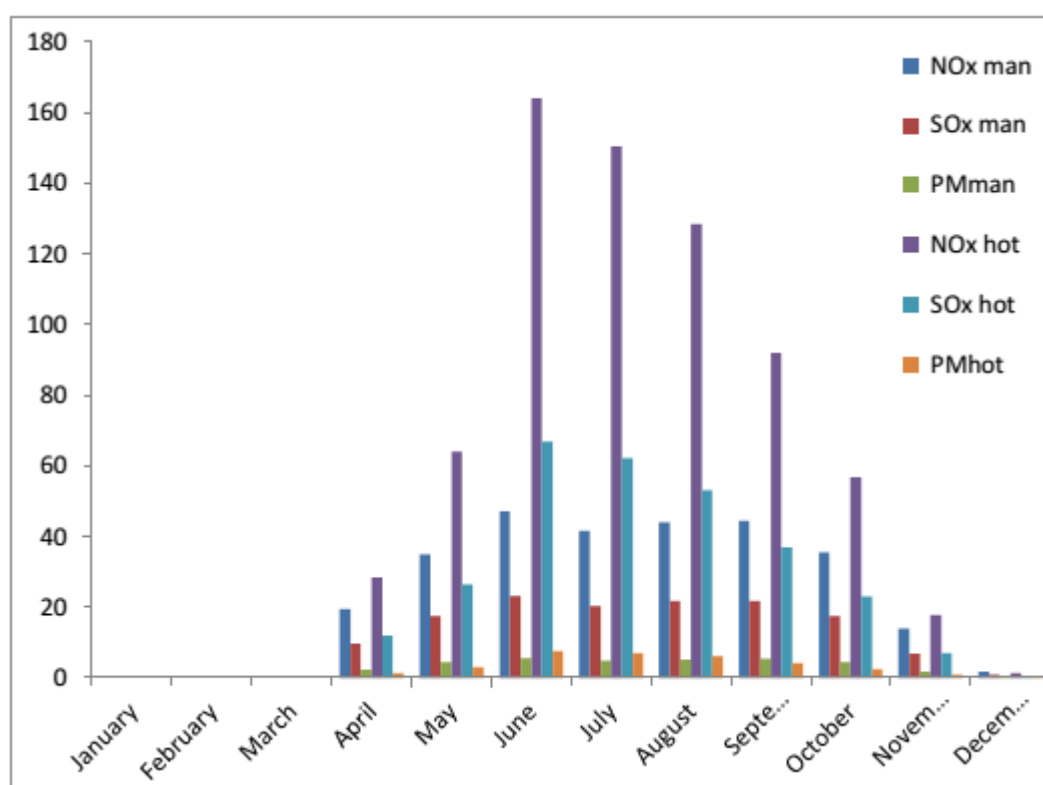
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
$\text{NO}_{x\text{ man}}$	0,00	0,00	0,00	19,51	34,95	47,10	41,71	44,04	44,52	35,59	13,94	1,79	283,15
$\text{SO}_{x\text{ man}}$	0,00	0,00	0,00	9,67	17,57	23,12	20,33	21,66	21,80	17,65	6,93	0,92	139,65
PM_{man}	0,00	0,00	0,00	2,40	4,43	5,50	4,84	5,16	5,38	4,45	1,77	0,23	34,16
$\text{NO}_{x\text{ hot}}$	0,00	0,00	0,00	28,47	64,03	164,22	150,54	128,49	92,05	56,82	17,83	1,48	703,92
$\text{SO}_{x\text{ hot}}$	0,00	0,00	0,00	11,87	26,54	66,96	62,19	53,13	37,00	22,94	7,08	0,66	288,37
PM_{hot}	0,00	0,00	0,00	1,37	3,05	7,57	7,12	6,11	4,12	2,58	0,77	0,08	32,78

Πίνακας 8.1. Μετρήσεις αερίων ρύπων στο λιμάνι της Βενετίας

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	0	0	0	34	67	75	69	73	81	67	21	2	489
Time in Port	0	0	0	453	1260	1509	1456	1315	1530	1262	290	16	9089

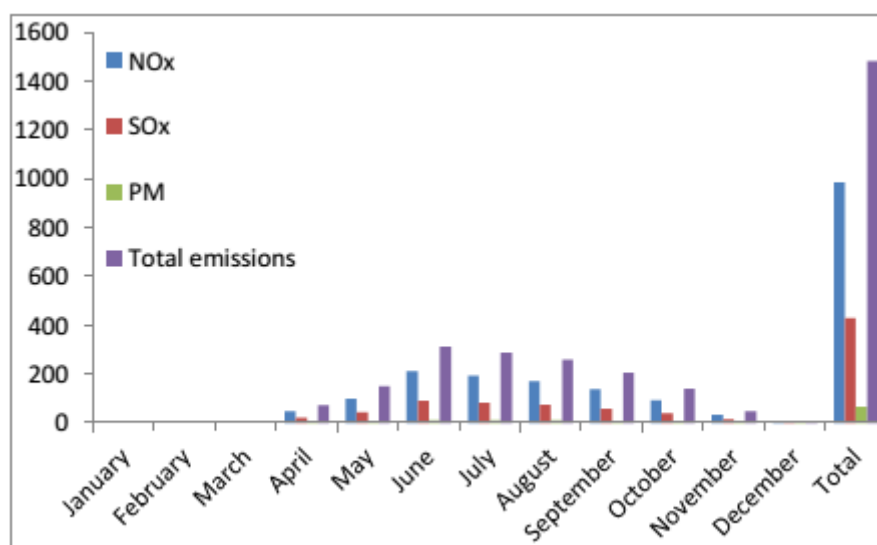
Πίνακας 8.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους.

Στο **Διάγραμμα 8.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

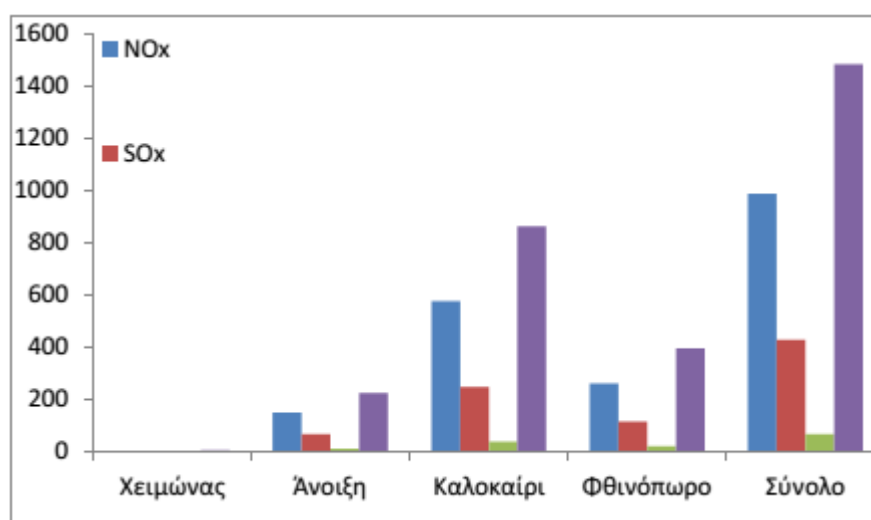


Διάγραμμα 8.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

Το σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο και ανά μήνα δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:

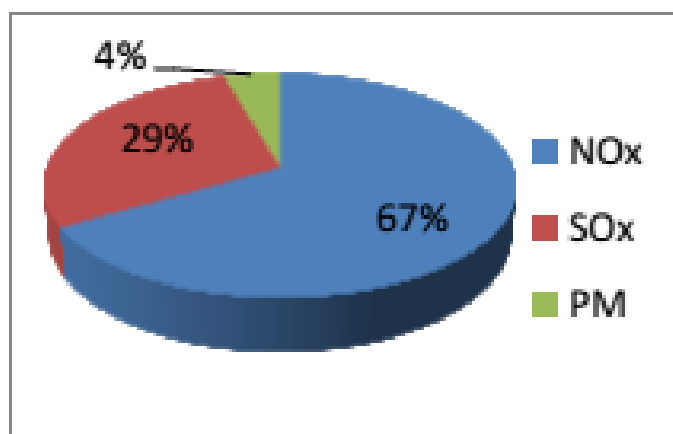


Διάγραμμα 8.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



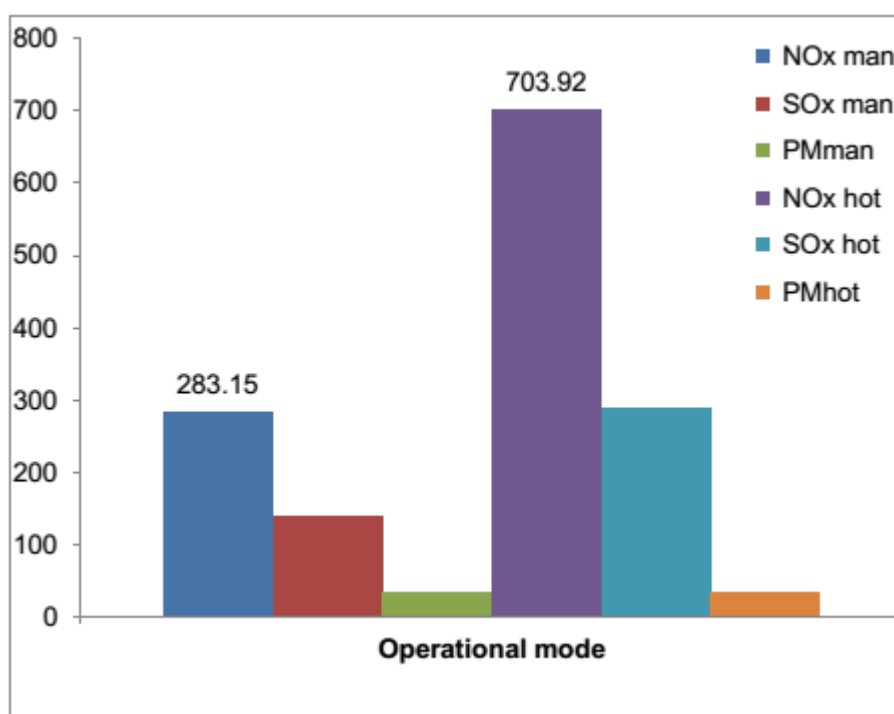
Διάγραμμα 8.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 67,0% και ακολουθούν τα οξείδια του θείου (SO_x) με ποσοστό 29,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 4%.

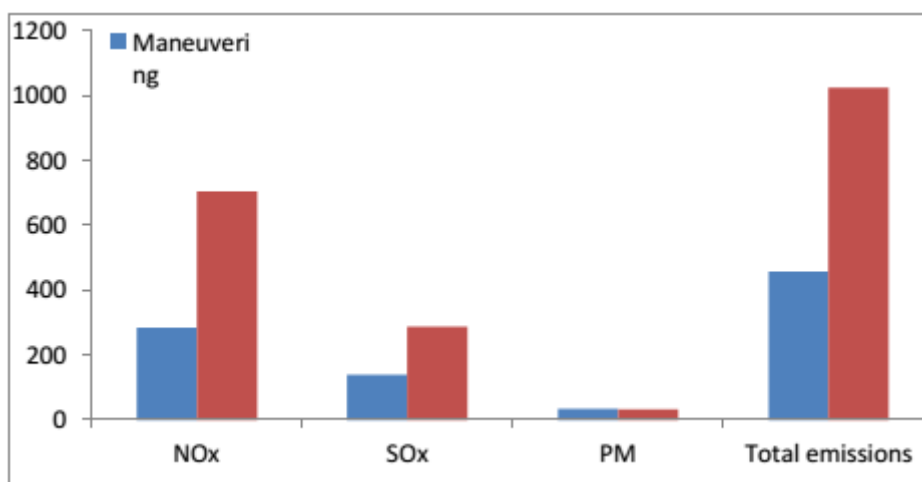


Διάγραμμα 8.2. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι της Βενετίας.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

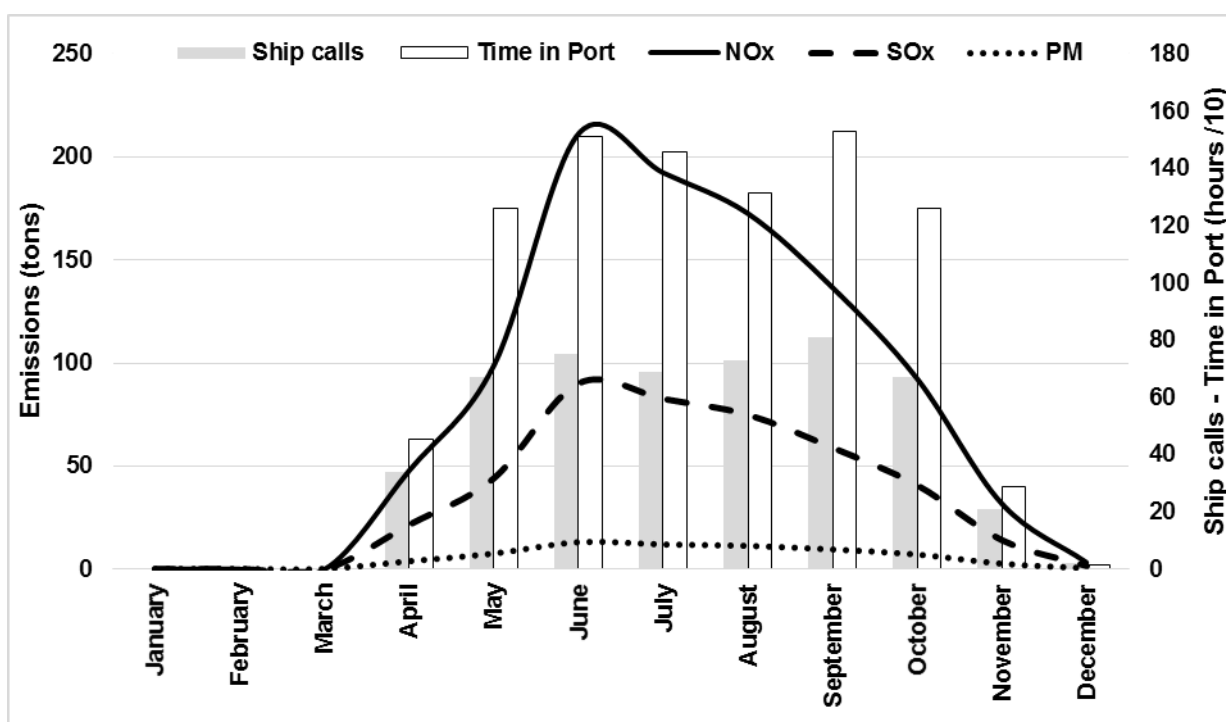


Διάγραμμα 8.5. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

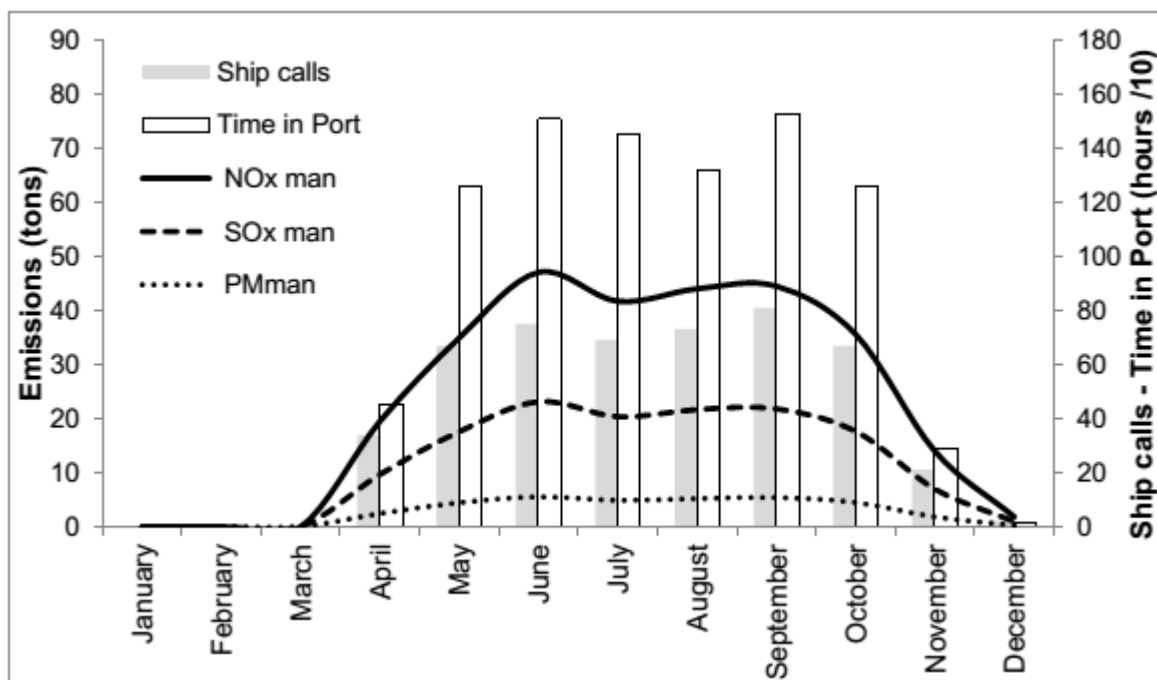


Διάγραμμα 8.6. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

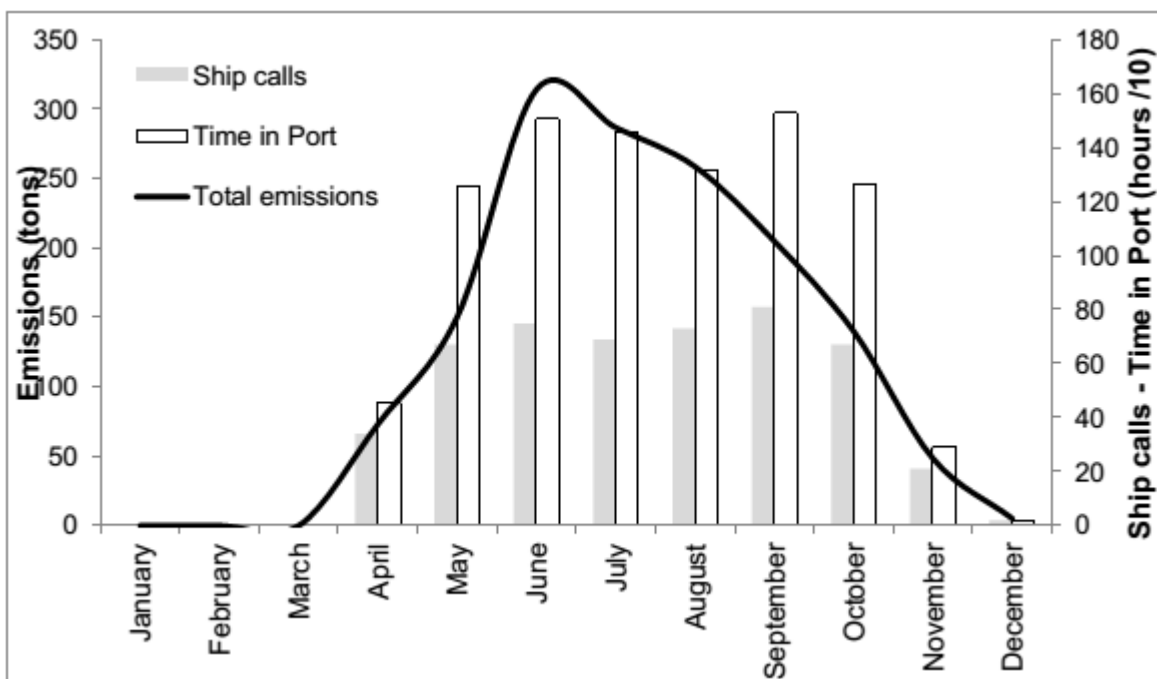
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαίτερος των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και **τριπλασιάζονται σχεδόν** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



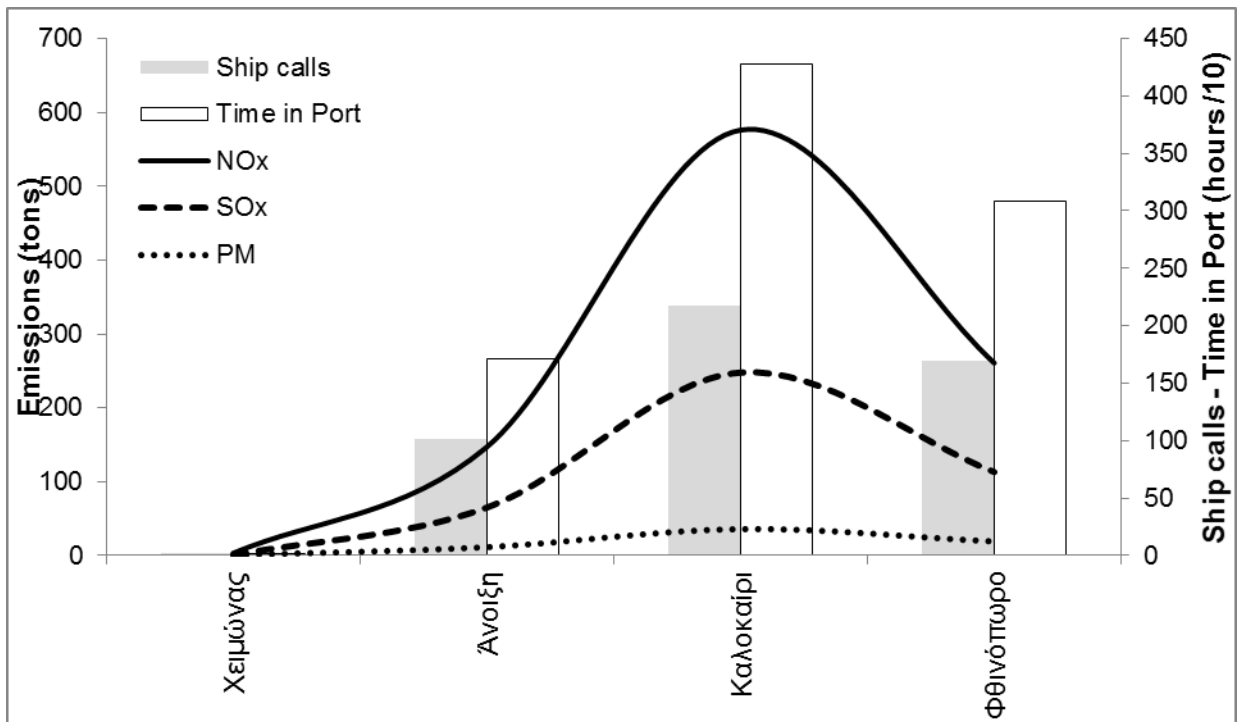
Διάγραμμα 8.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



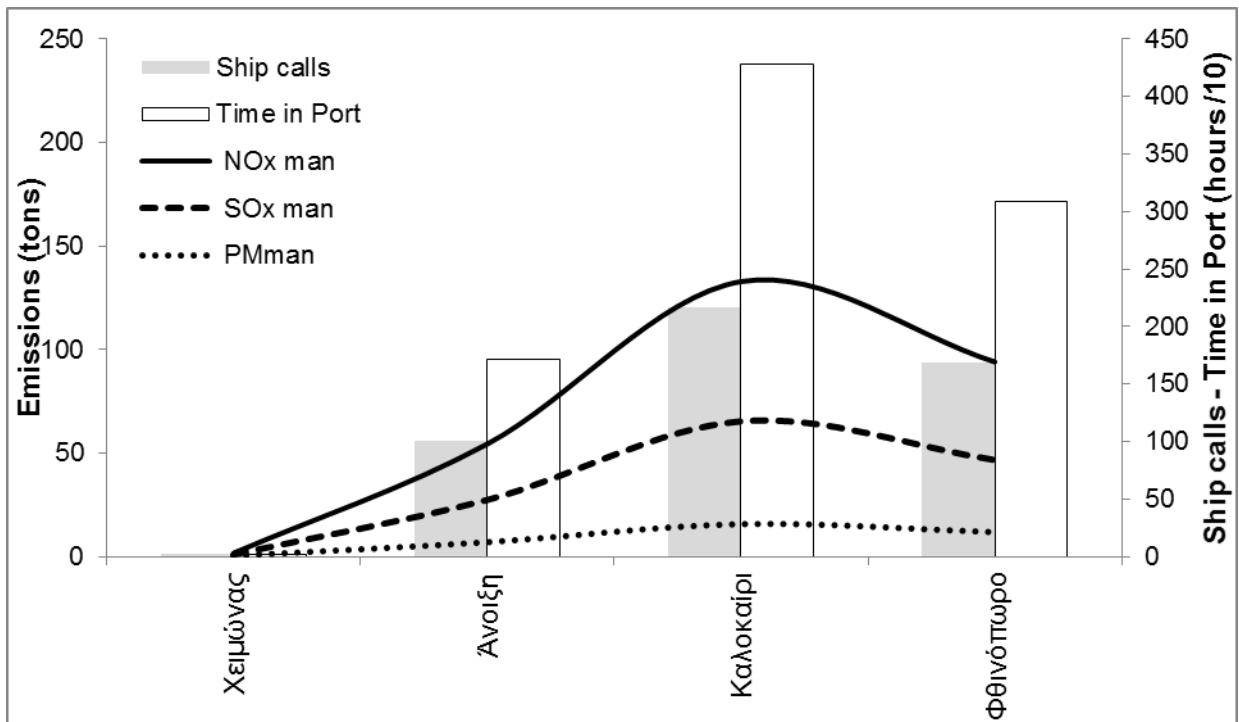
Διάγραμμα 8.8. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



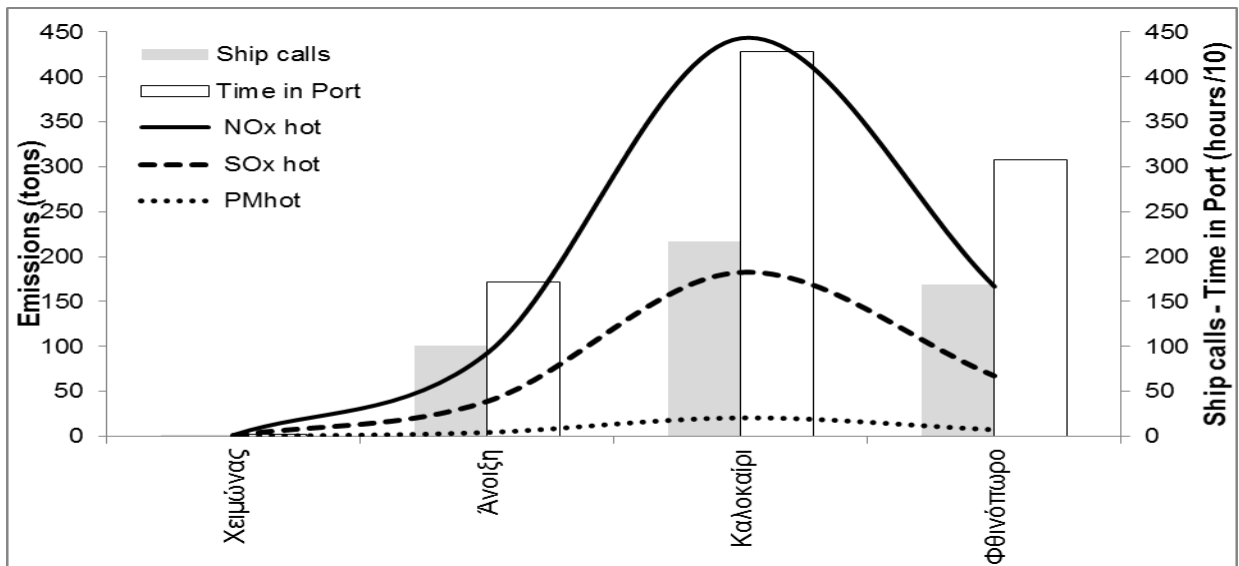
Διάγραμμα 8.9. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



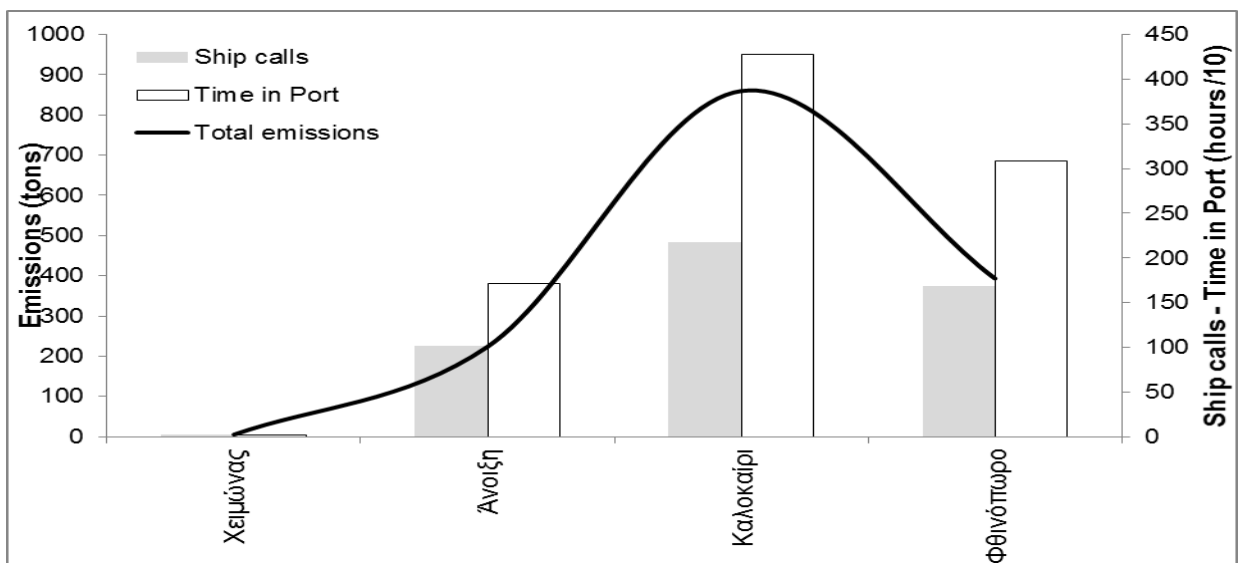
Διάγραμμα 8.10. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 8.4. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 8.5. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 8.6. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 7.6 έως και 6.13 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν

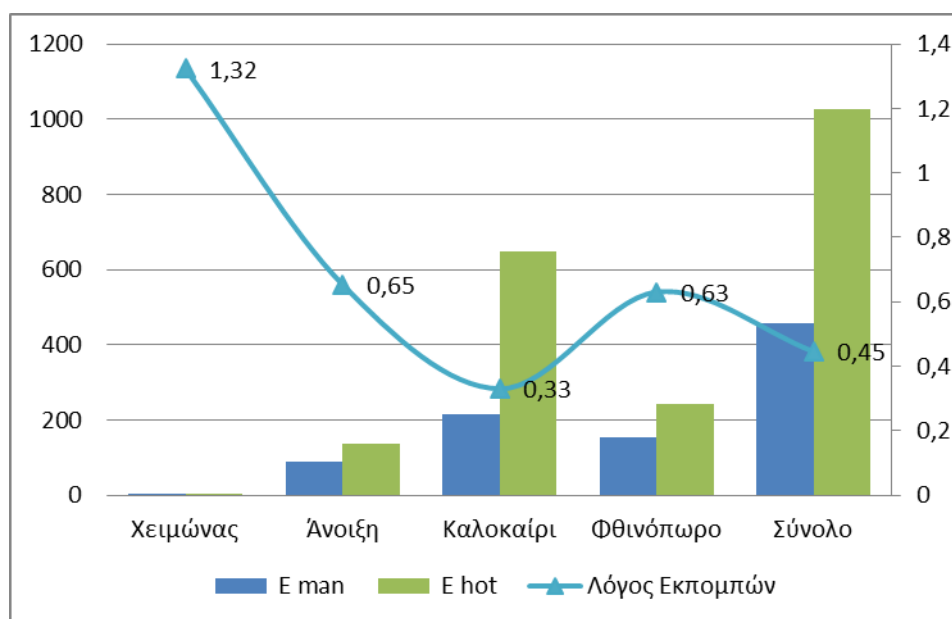
επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

8.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	3,27	146,95	576,09	260,76	987,08
SO_x	1,57	65,65	247,40	113,40	428,02
PM	0,31	11,25	36,30	19,07	66,94
Total emissions	5,16	223,86	859,79	393,22	1482,03

Πίνακας 8.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι της Βενετίας.



Διάγραμμα 8.7. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 8.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι της Βενετίας επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 2,25 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ό,τι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΒΑΛΕΑΡΙΔΩΝ ΝΗΣΩΝ (IBIZA)

9.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 9.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα της Ibiza, από τη στιγμή που εισέρχονται εντός του λιμένα έως τη στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: **D = 1,5km.**



Εικόνα 9.1. Πορείες εντός του λιμένα της Ibiza προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Τελιγμών} &= D/u_{\text{actual, in}} + D/u_{\text{actual, out}} + T_{\text{maneu. to dock}} + T_{\text{maneu. to undock}} = \\ &= 1,50(\text{km})/9,26(\text{km/h}) + 1,50(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{0,41hr} \end{aligned}$$

9.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι της Ibiza για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

9.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι της Ibiza κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αέριων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

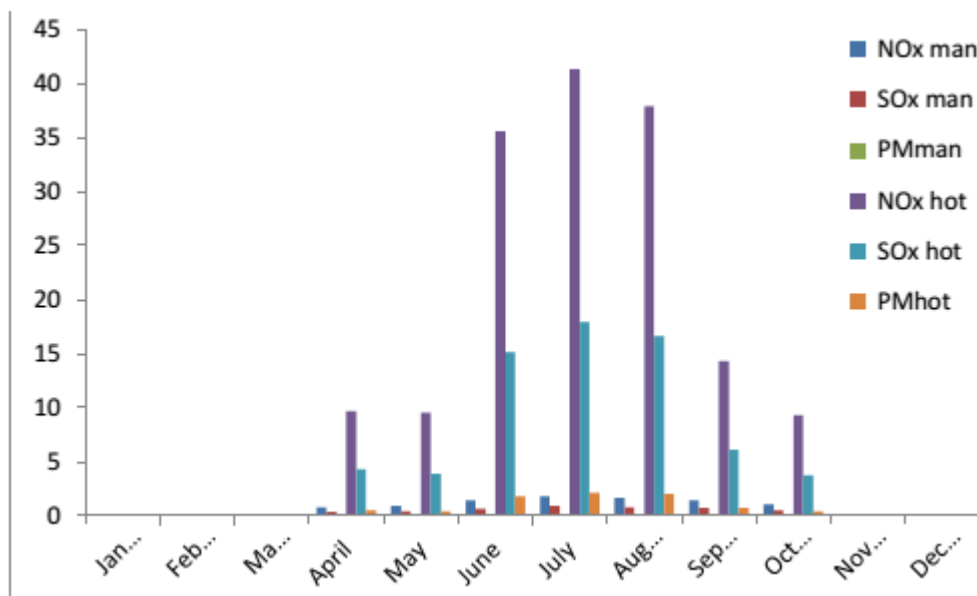
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO_x man	0,00	0,00	0,00	0,78	0,94	1,47	1,79	1,66	1,44	1,09	0,04	0,00	9,21
SO_x man	0,00	0,00	0,00	0,39	0,46	0,70	0,89	0,83	0,71	0,50	0,02	0,00	4,50
PM_{man}	0,00	0,00	0,00	0,10	0,11	0,16	0,21	0,20	0,18	0,11	0,00	0,00	1,07
NO_x hot	0,00	0,00	0,00	9,71	9,55	35,61	41,39	37,94	14,29	9,36	0,21	0,00	158,07
SO_x hot	0,00	0,00	0,00	4,32	3,88	15,18	17,95	16,66	6,16	3,77	0,06	0,00	67,98
PM_{hot}	0,00	0,00	0,00	0,53	0,43	1,80	2,16	2,04	0,74	0,42	0,01	0,00	8,13

Πίνακας 9.1. Μετρήσεις αέριων ρύπων στο λιμάνι της Ibiza.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	0	0	0	13	13	14	16	15	18	18	1	0	108
Time in Port	0	0	0	207	198	257	305	263	248	206	15	0	1698

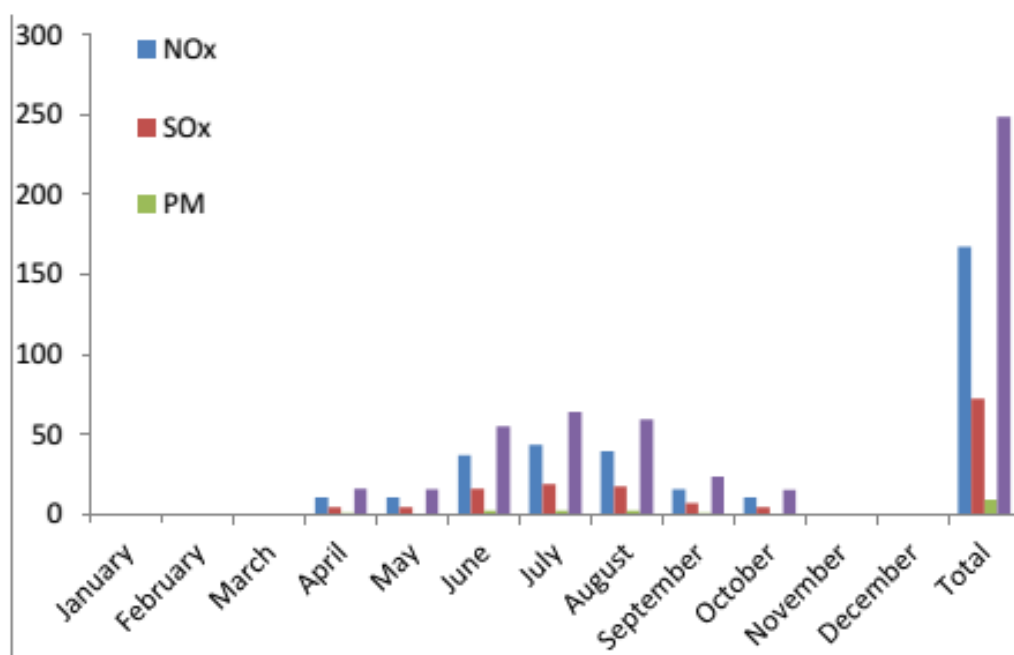
Πίνακας 9.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους.

Στο **Διάγραμμα 9.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

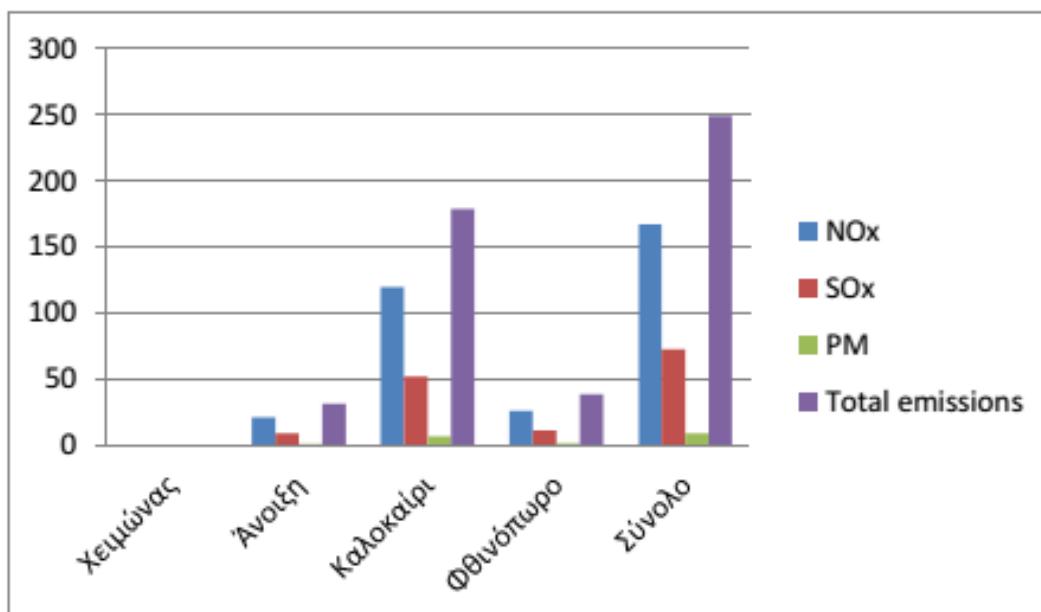


Διάγραμμα 9.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

Το σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:

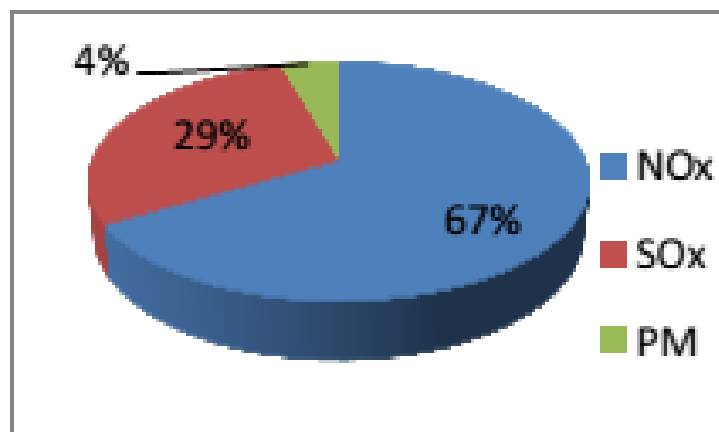


Διάγραμμα 9.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



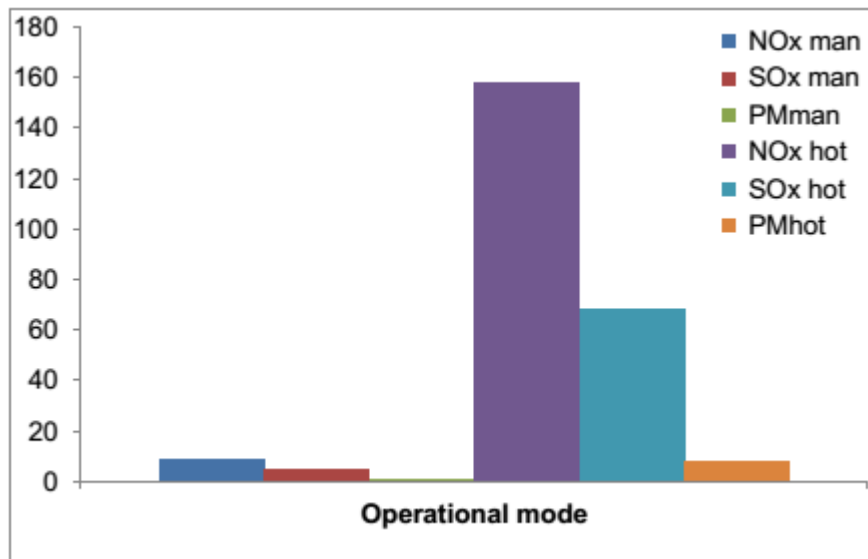
Διάγραμμα 9.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 67,0% και ακολουθούν τα οξείδια του θείου (SO_x) με ποσοστό 29,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 4%.

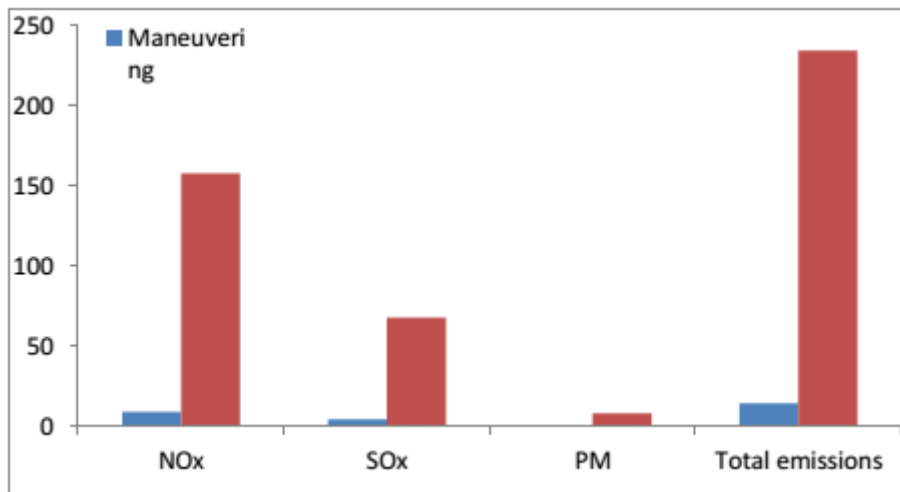


Διάγραμμα 9.4. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι της Ibiza.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

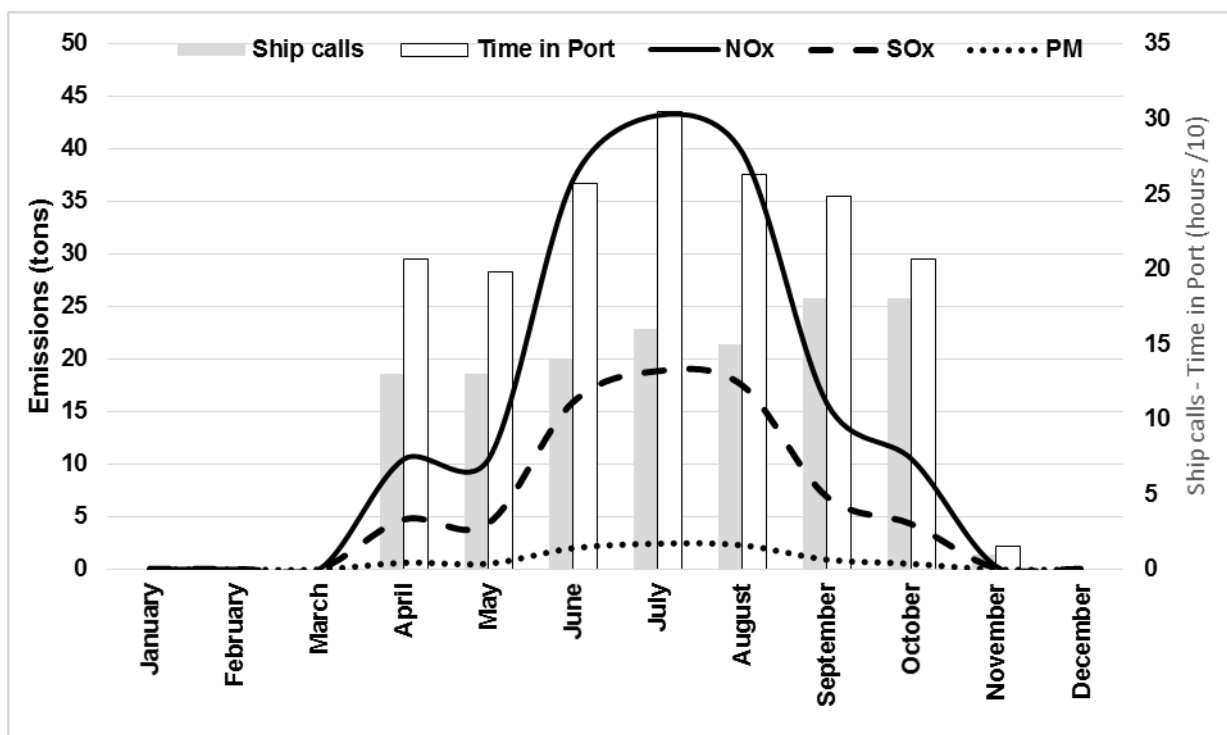


Διάγραμμα 9.5. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

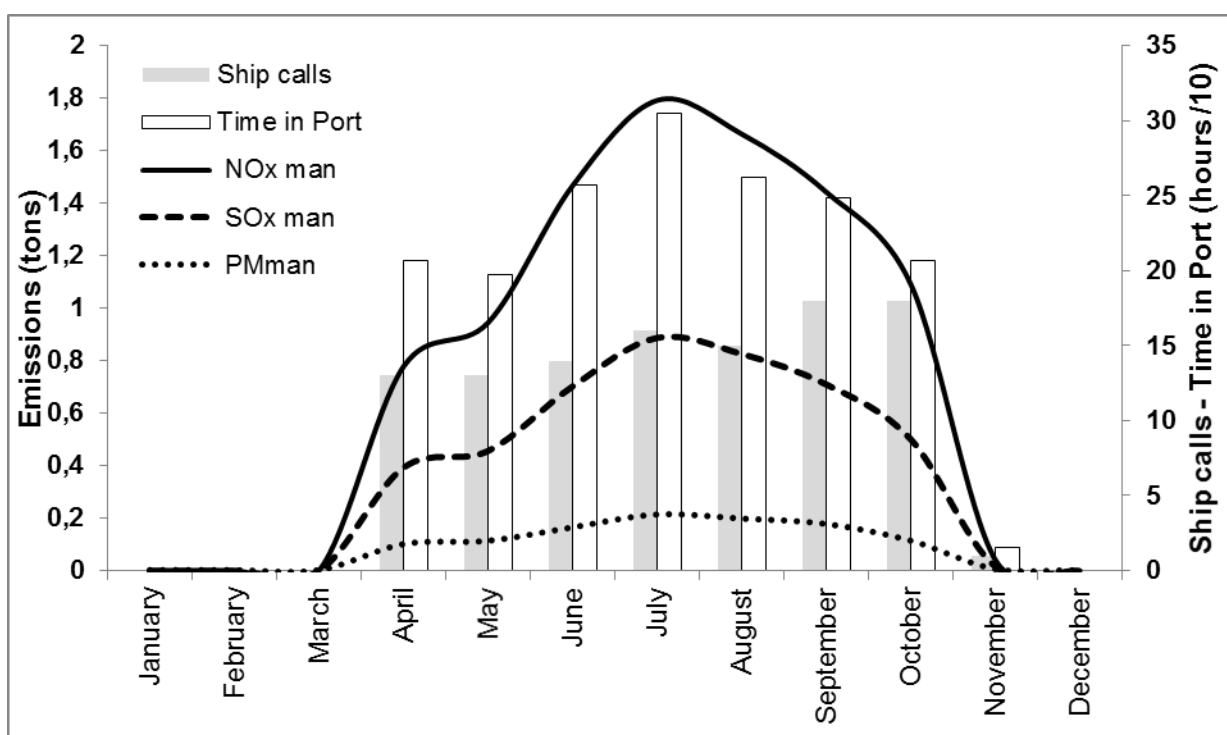


Διάγραμμα 9.6. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

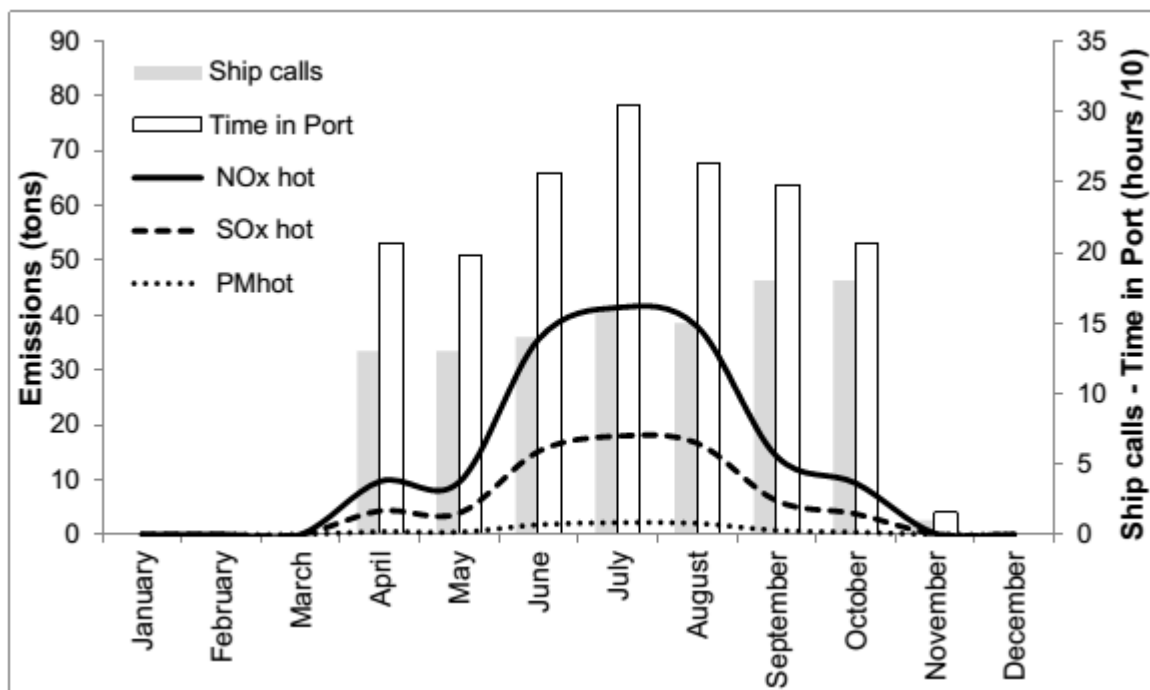
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαιτέρως των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι αυξάνονται **16 φορές** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



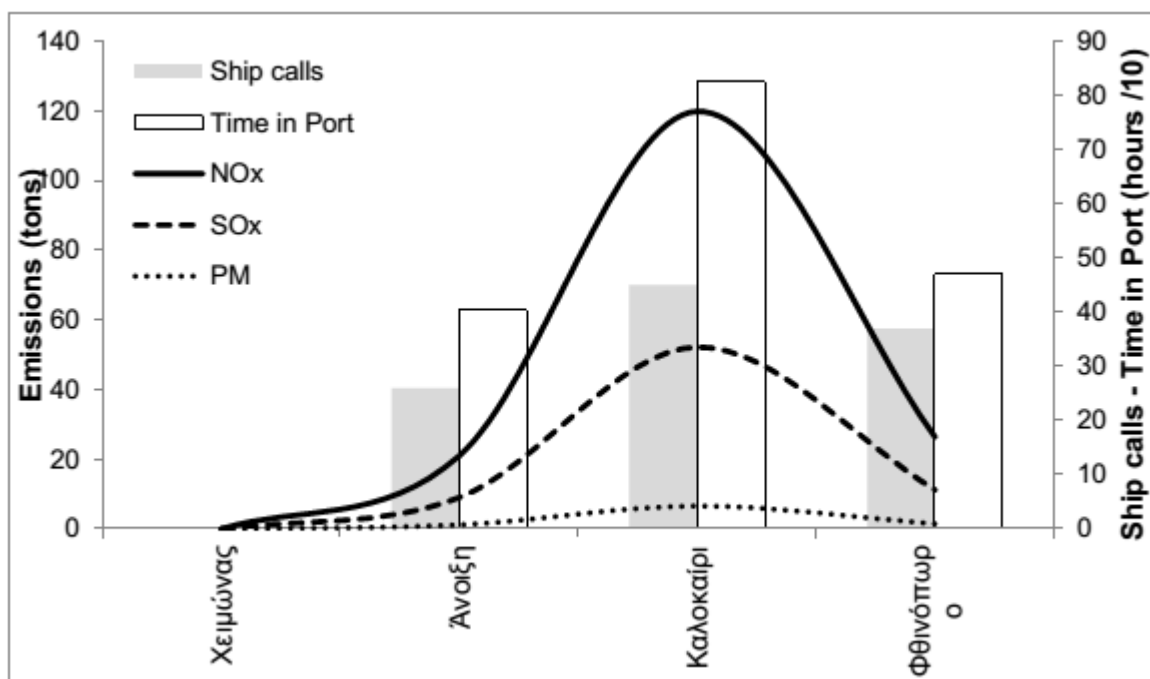
Διάγραμμα 9.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



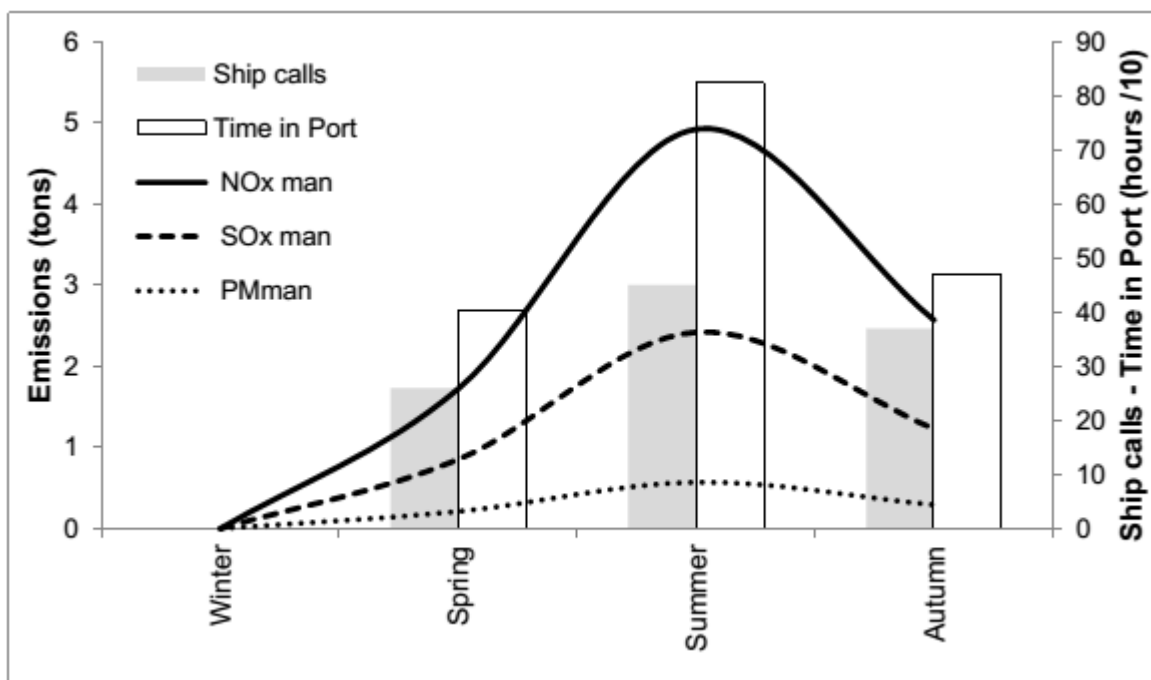
Διάγραμμα 9.8. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



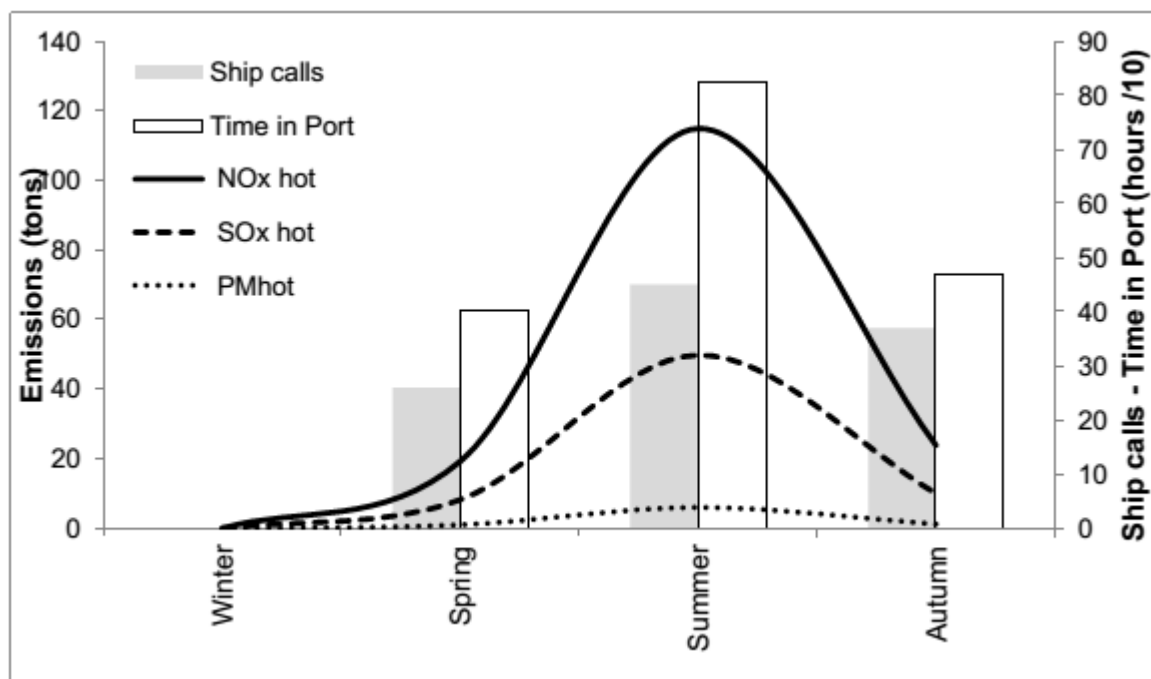
Διάγραμμα 9.9. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



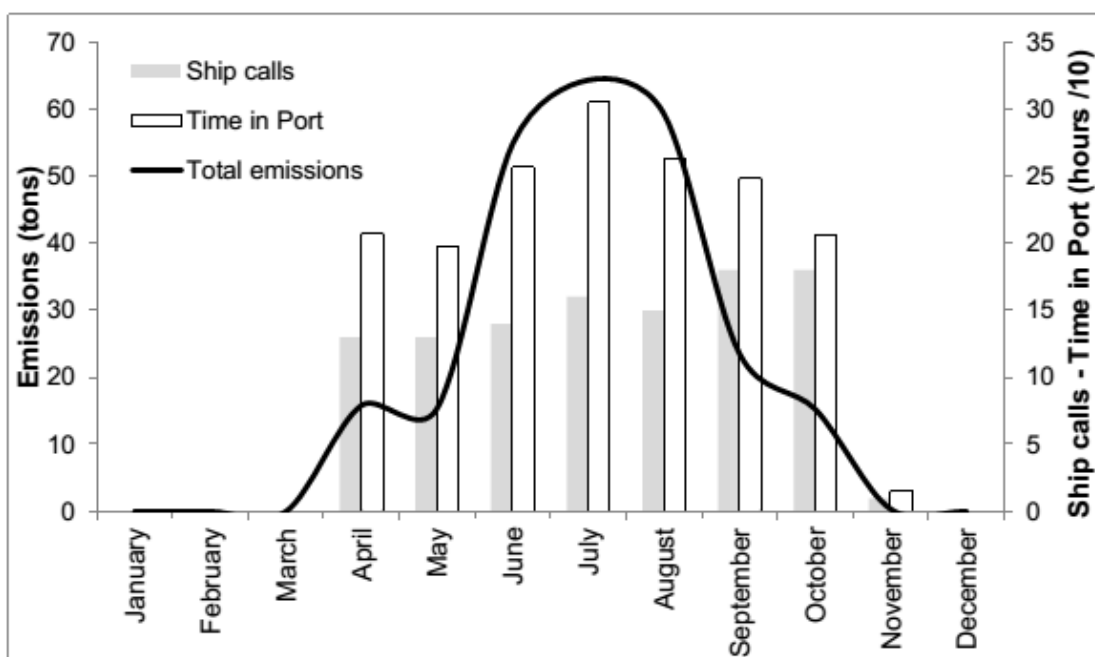
Διάγραμμα 9.10. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 9.5. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 9.6. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 9.13. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.

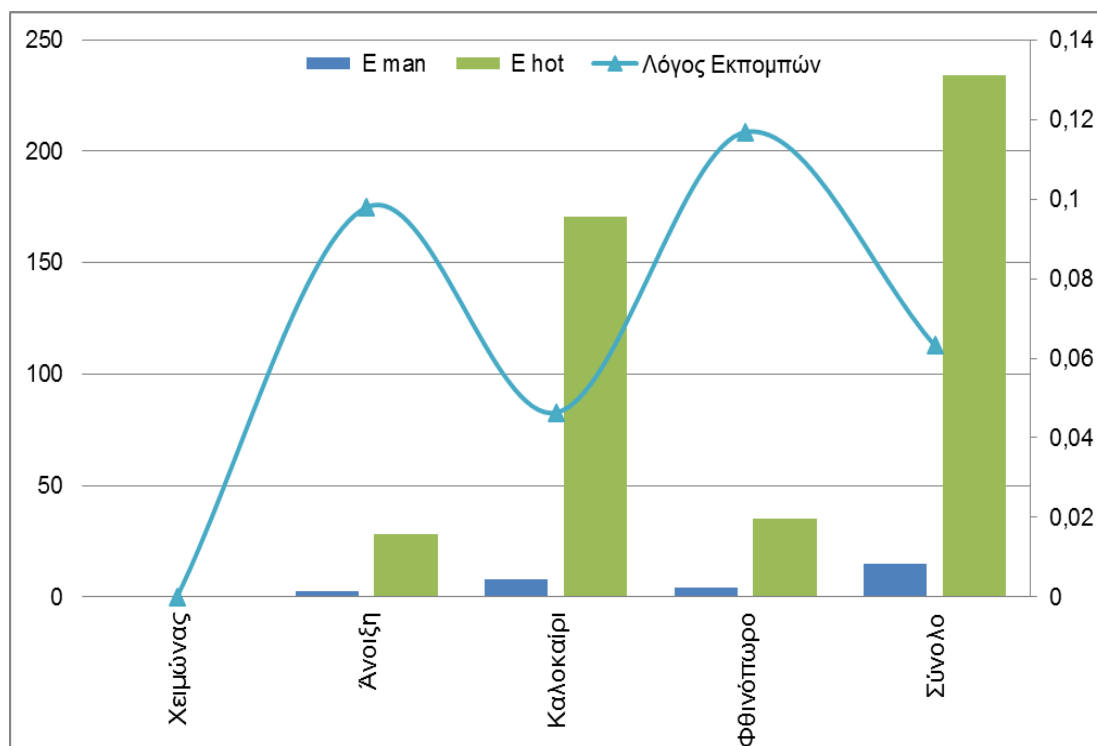
Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 9.6 έως και 9.12 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

9.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	0,00	20,99	119,86	26,43	167,28
SO_x	0,00	9,05	52,20	11,23	72,48
PM	0,00	1,17	6,57	1,46	9,21
Total emissions	0,00	31,21	178,63	39,12	248,97

Πίνακας 9.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι της Ibiza.



Διάγραμμα 9.7. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 9.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι της Ibiza επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 15,76 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ότι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΒΑΛΕΑΡΙΔΩΝ ΝΗΣΩΝ (MAHON)

10.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 10.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα της Mahon, από τη στιγμή που εισέρχονται εντός του λιμένα έως τη στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: **D = 1,1km.**



Εικόνα 10.1. Πορείες εντός του λιμένα του Mahon προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Τελιγμών} &= D/v_{\text{actual,in}} + D/v_{\text{actual,out}} + T_{\text{maneuver to dock}} + T_{\text{maneuver to undock}} = \\ &= 1,10(\text{km})/9,26(\text{km/h}) + 1,10(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{0,34hr}\end{aligned}$$

10.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αερίων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι του Mahon για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

10.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι του Mahon κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αερίων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

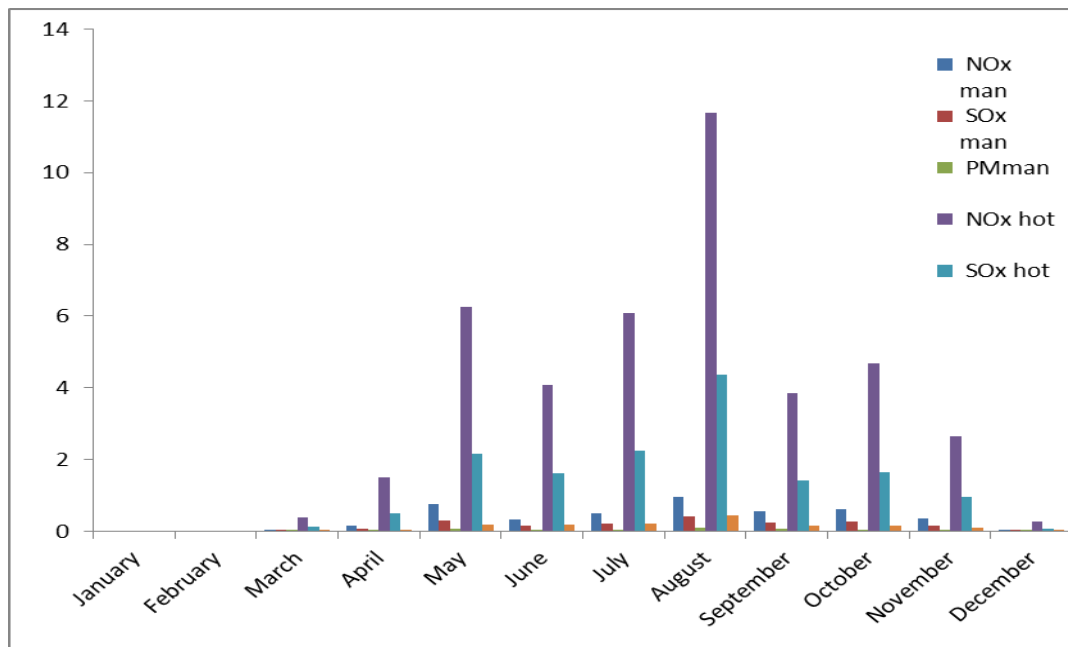
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO _x man	0,00	0,00	0,05	0,17	0,75	0,34	0,50	0,95	0,56	0,61	0,35	0,03	4,32
SO _x man	0,00	0,00	0,02	0,06	0,31	0,15	0,22	0,42	0,25	0,26	0,16	0,01	1,86
PM _{man}	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,03	0,04	0,09	0,06	0,05	0,04	0,00	0,39
NO _x hot	0,00	0,00	0,40	1,51	6,25	4,09	6,09	11,67	3,84	4,67	2,64	0,27	41,43
SO _x hot	0,00	0,00	0,12	0,49	2,16	1,62	2,26	4,37	1,43	1,64	0,97	0,08	15,14
PM _{hot}	0,00	0,00	0,01	0,04	0,19	0,18	0,22	0,44	0,14	0,15	0,09	0,01	1,47

Πίνακας 10.1. Μετρήσεις αερίων ρύπων στο λιμάνι του Mahon

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	0	0	1	5	19	7	10	19	13	15	11	1	101
Time in Port	0	0	7	47	158	53	76	154	101	123	90	9	817

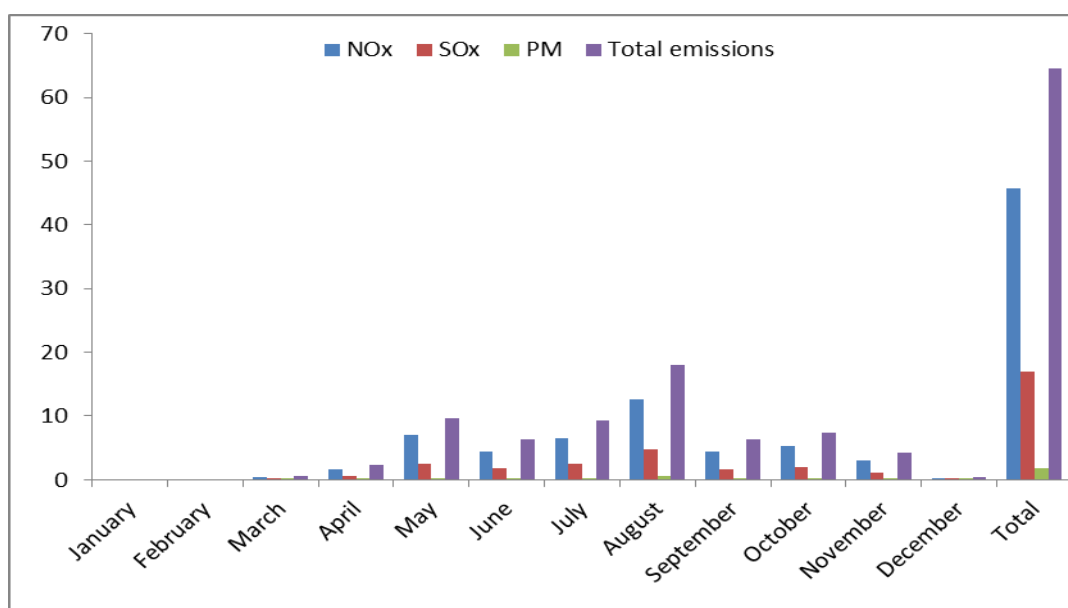
Πίνακας 10.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους

Στο **Διάγραμμα 10.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

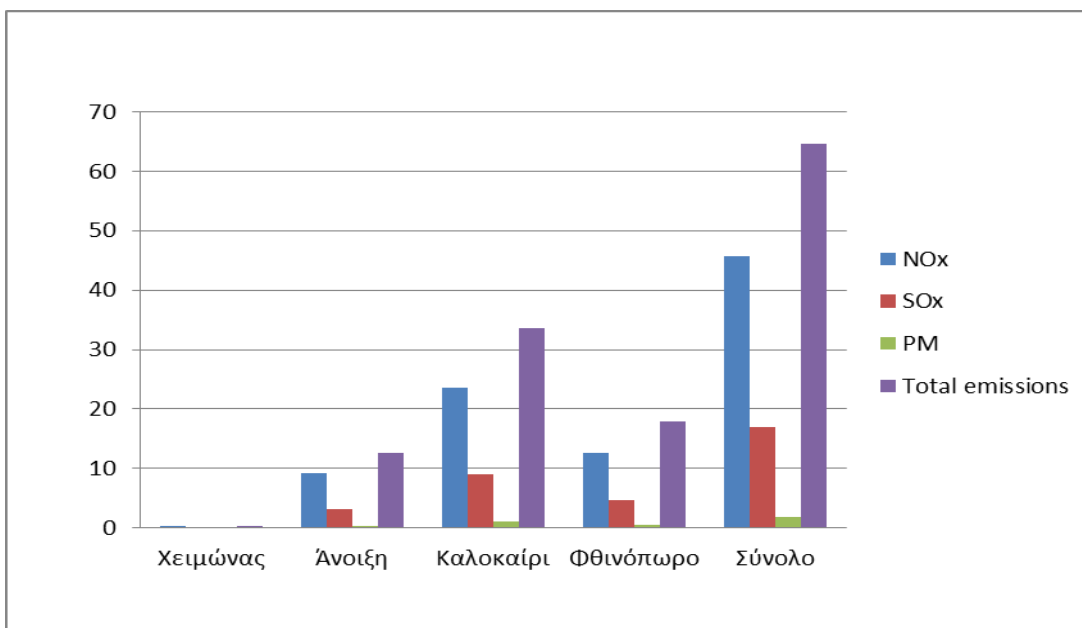


Διάγραμμα 10.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

Το Σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο και ανά μήνα δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:

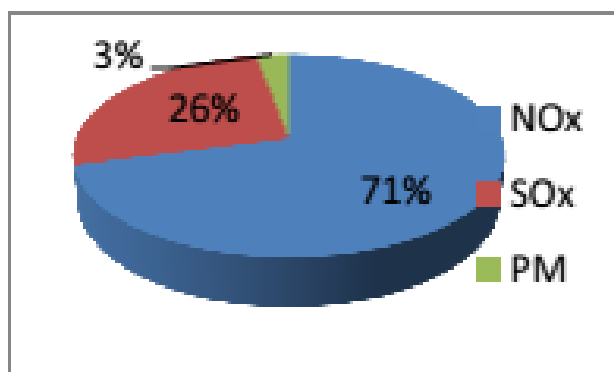


Διάγραμμα 10.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



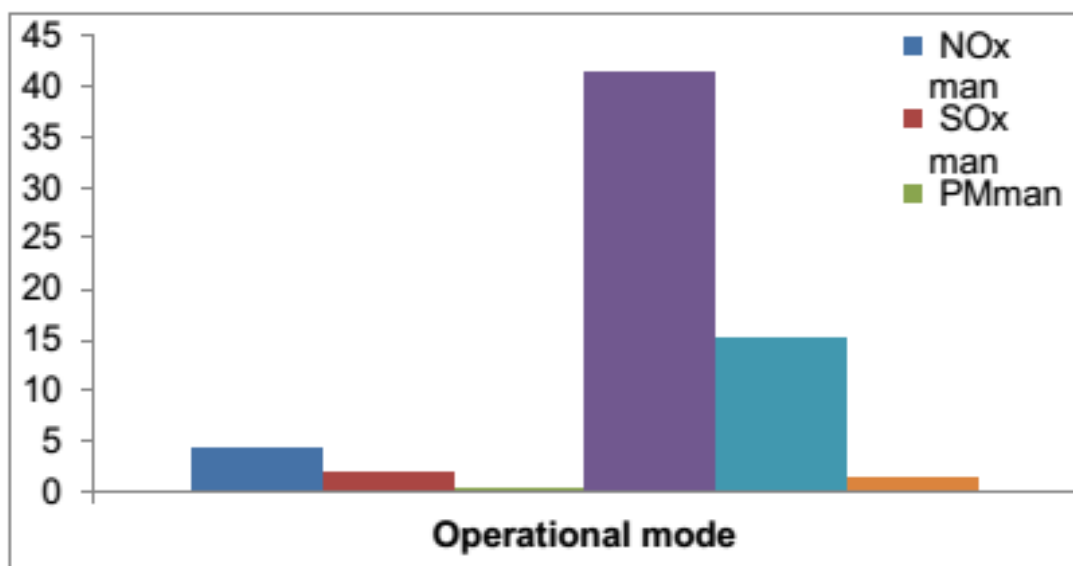
Διάγραμμα 10.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 68,0% και ακολουθούν τα οξείδια του θείου (SO_x) με ποσοστό 28,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 4%.

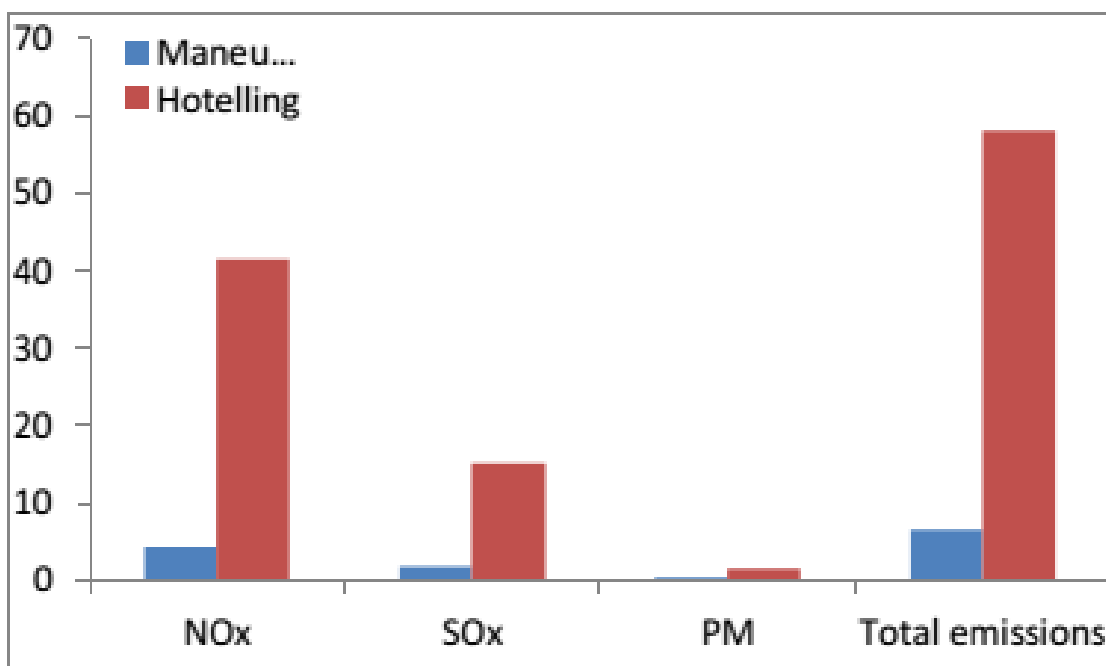


Διάγραμμα 10.4. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι του Mahon.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

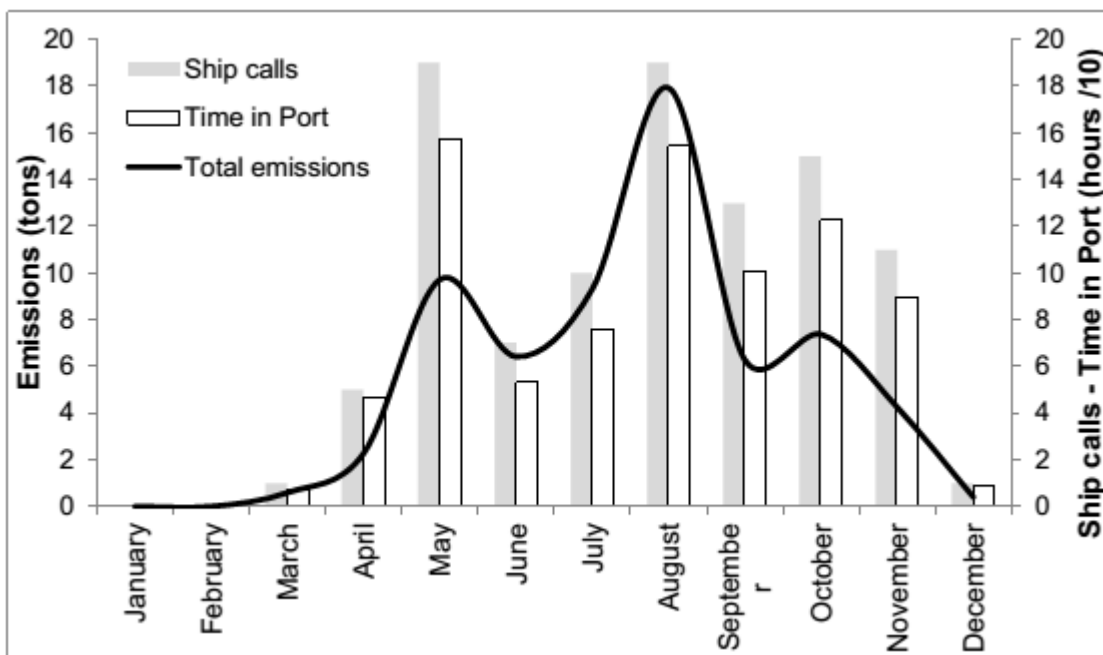


Διάγραμμα 10.5. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

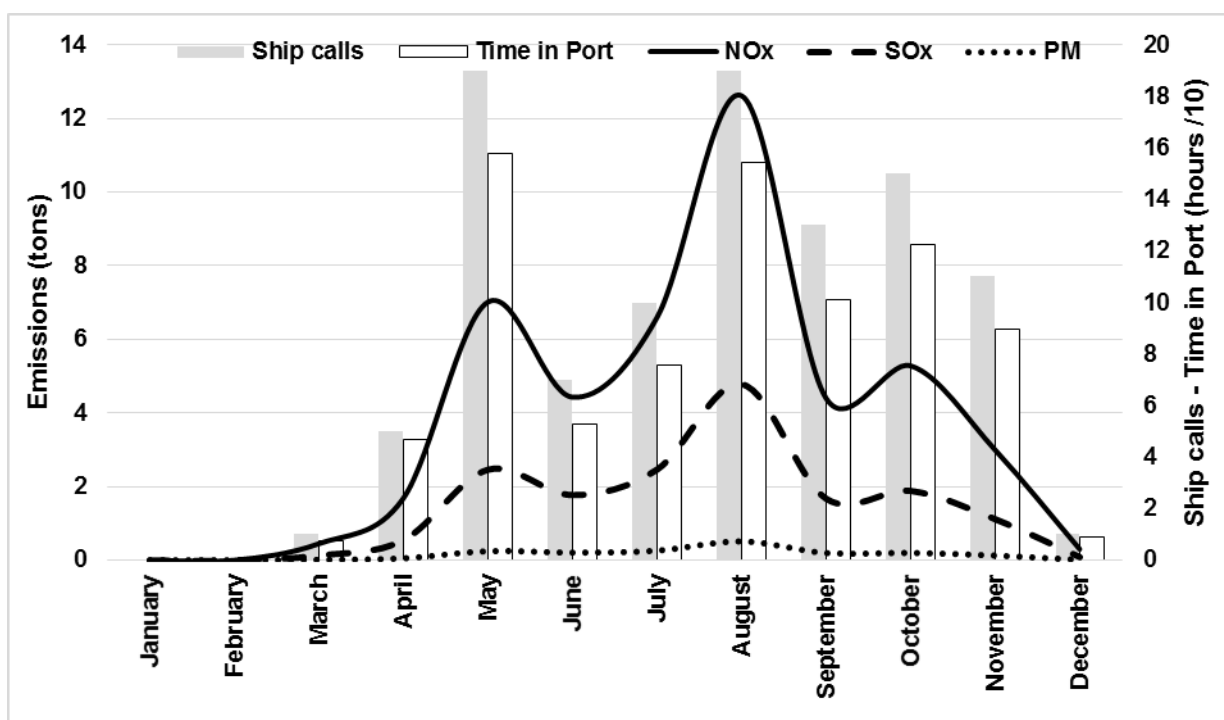


Διάγραμμα 10.6. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

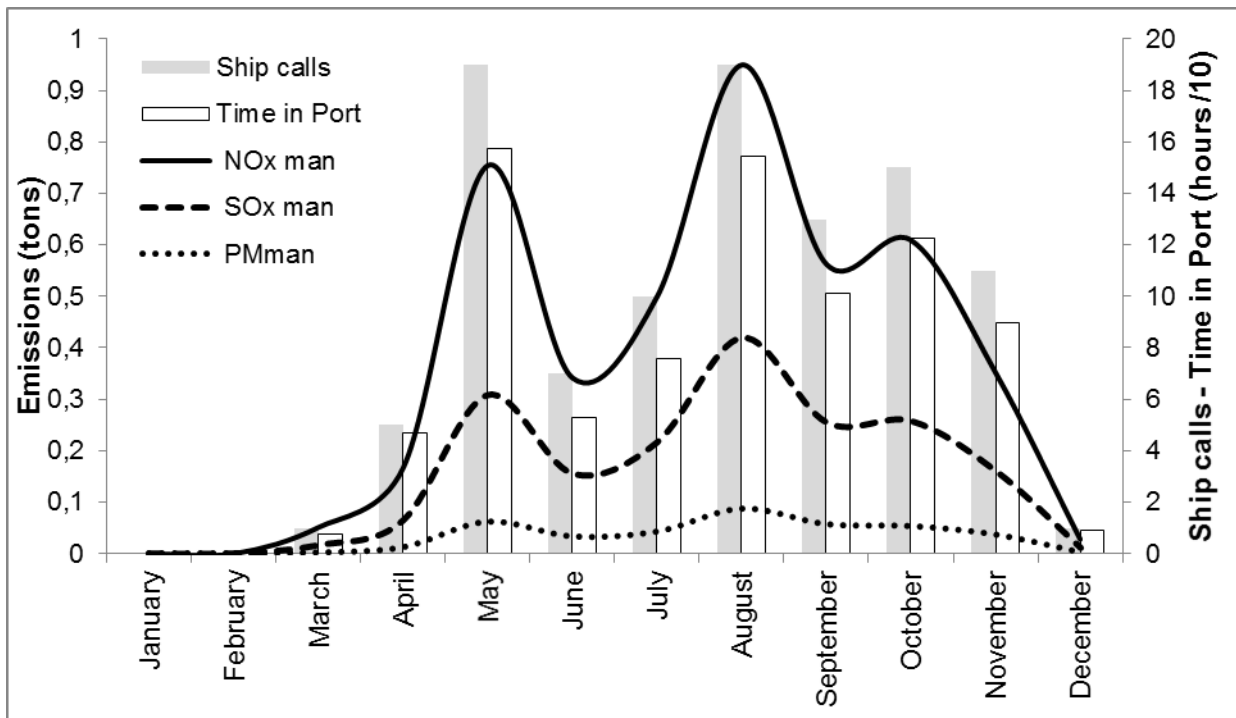
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαιτέρως των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και **οκταπλασιάζονται** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



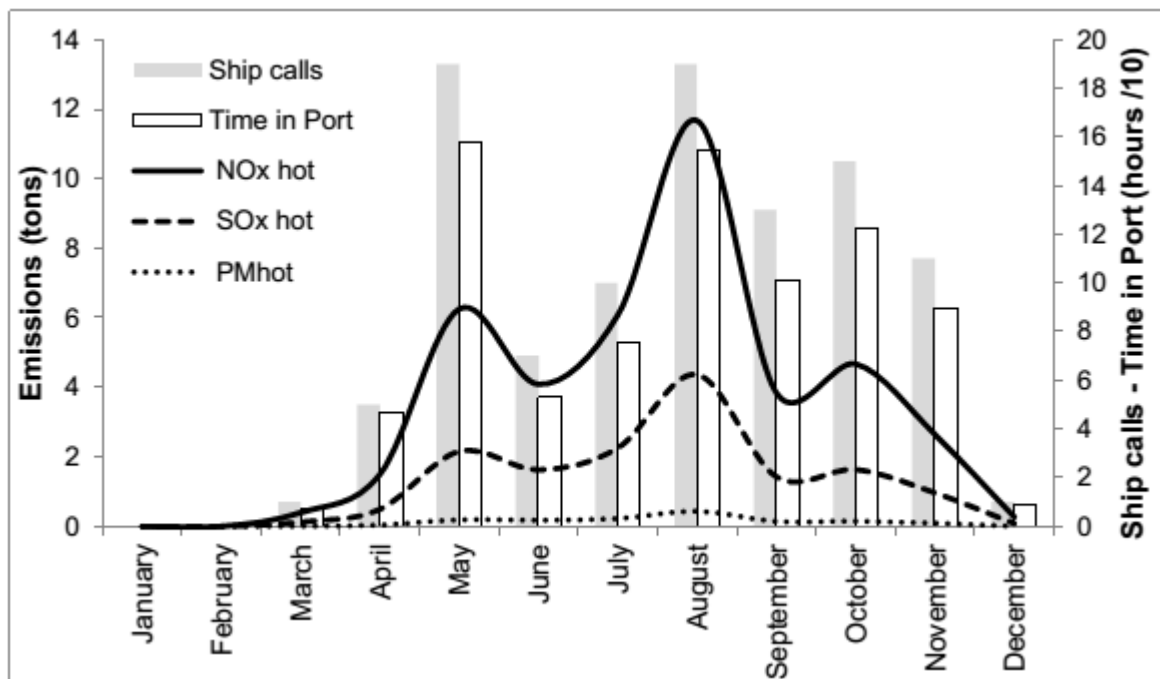
Διάγραμμα 10.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



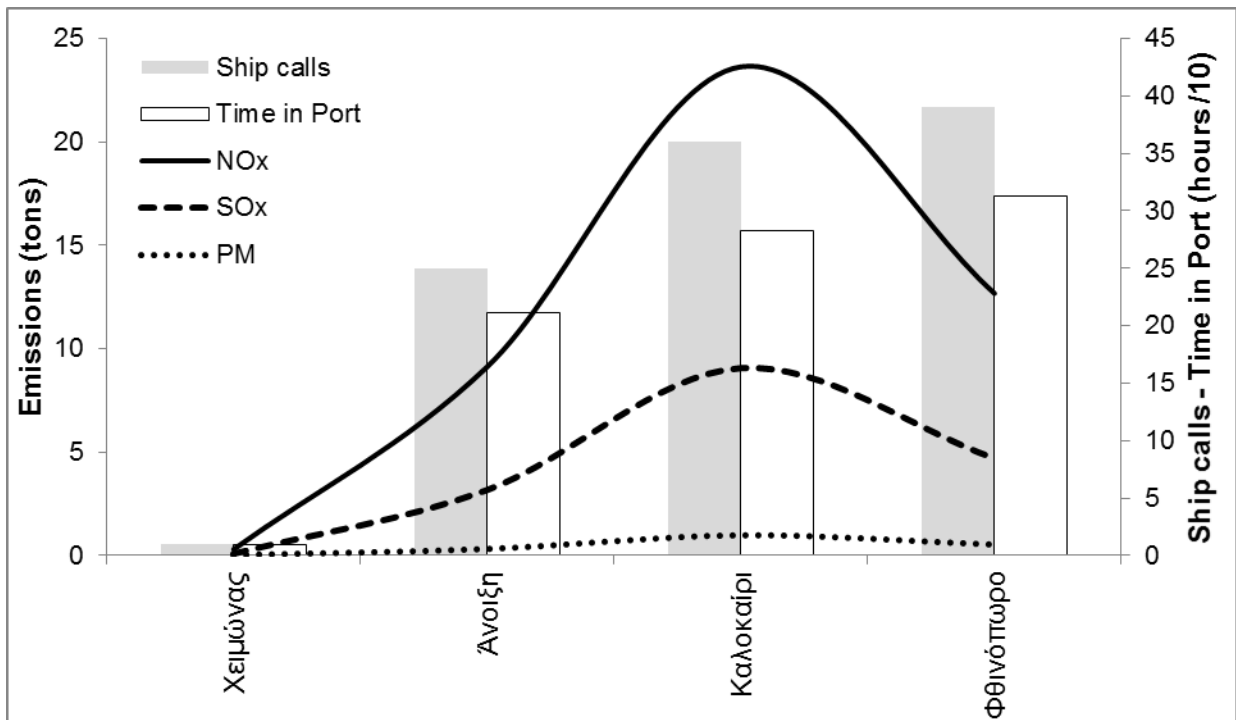
Διάγραμμα 10.8. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



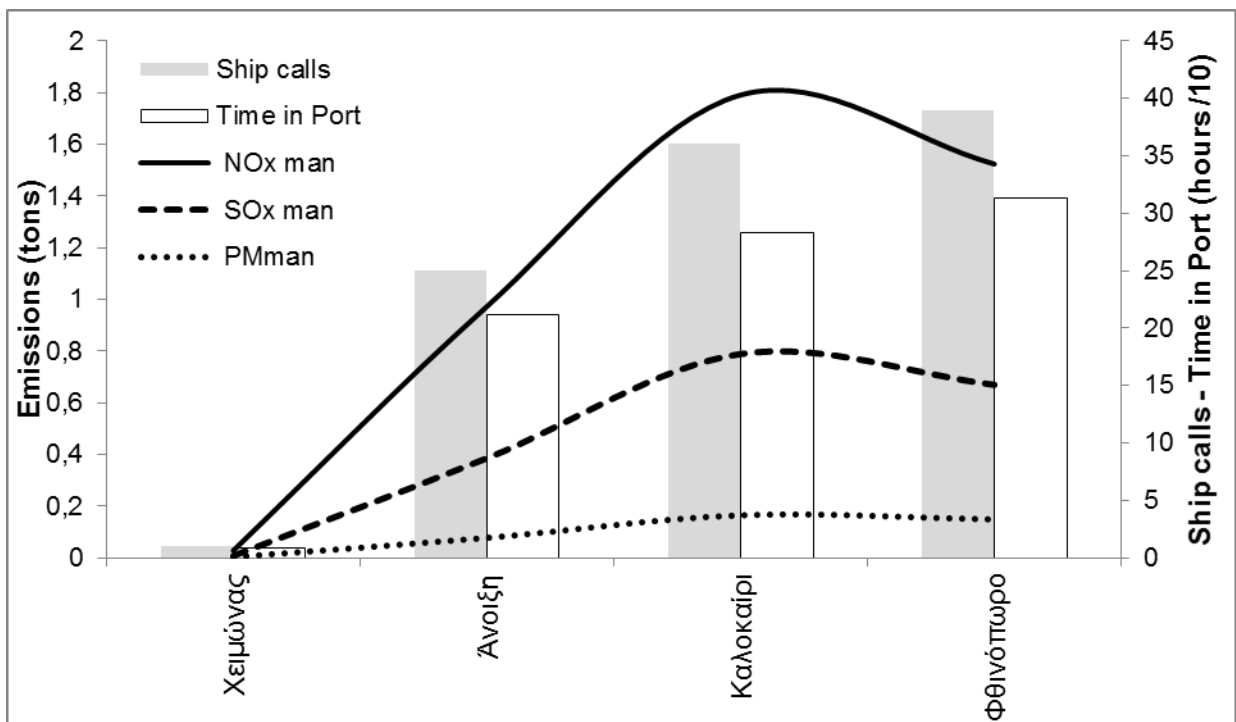
Διάγραμμα 10.9. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



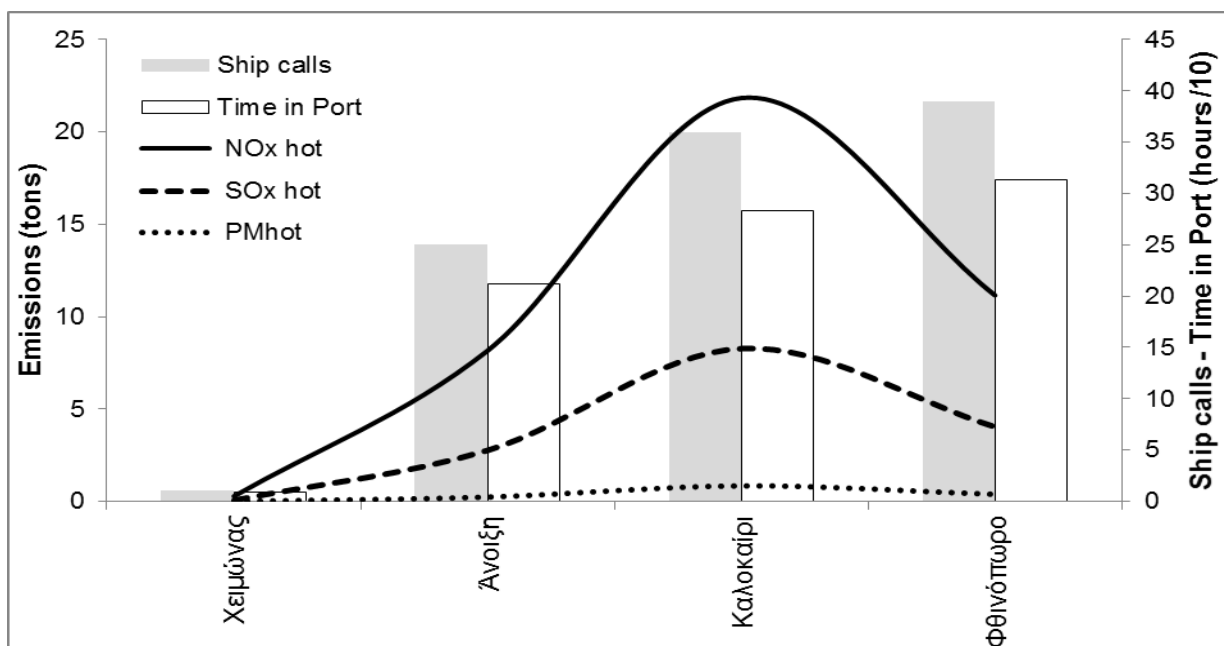
Διάγραμμα 10.10. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



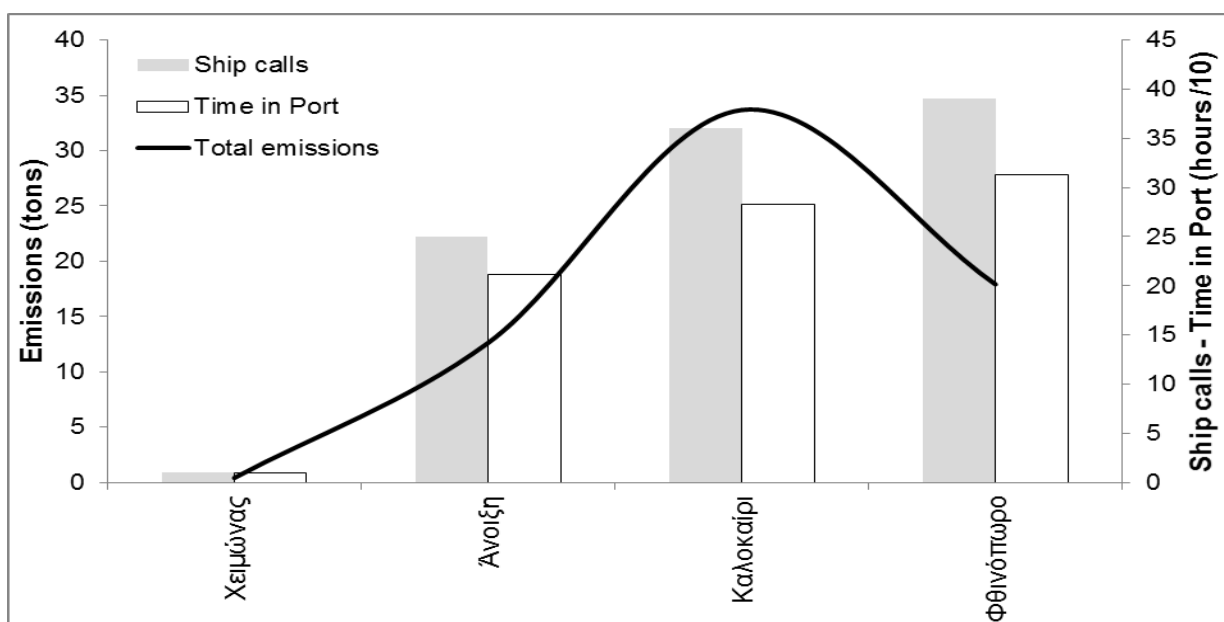
Διάγραμμα 10.5. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 10.6. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 10.7. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 10.8. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 10.6 έως και 10.13 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν

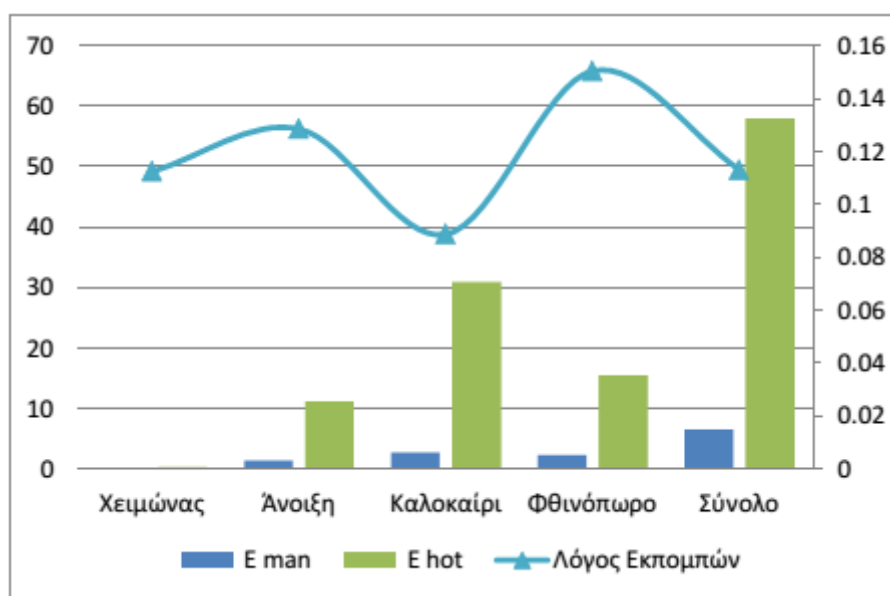
επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - το οποίο και είναι αναμενόμενο.

10.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	0,30	9,13	23,64	12,68	45,75
SO_x	0,09	3,16	9,04	4,70	16,99
PM	0,01	0,32	1,01	0,53	1,86
Total emissions	0,40	12,61	33,68	17,91	64,60

Πίνακας 10.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι του Mahon.



Διάγραμμα 10.9. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 10.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι του Mahon επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 15,76 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ότι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

11 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ DUBROVNIK

11.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 11.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα της Dubrovnik, από τη στιγμή που εισέρχονται εντός του λιμένα έως τη στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: **D = 0,6km.**



Εικόνα 11.1. Πορείες εντός του λιμένα του Dubrovnik προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Τελιγμών} &= D/v_{\text{actual,in}} + D/v_{\text{actual,out}} + T_{\text{maneuver to dock}} + T_{\text{maneuver to undock}} = \\ &= 0,6 \text{ (km)}/9,26 \text{ (km/h)} + 0,6 \text{ (km)}/14,816 \text{ (km/h)} + 0,15 \text{ (hr)} = \mathbf{0,26 \text{ hr}}\end{aligned}$$

11.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αερίων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι του Dubrovnik για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

11.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι του Dubrovnik κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αερίων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

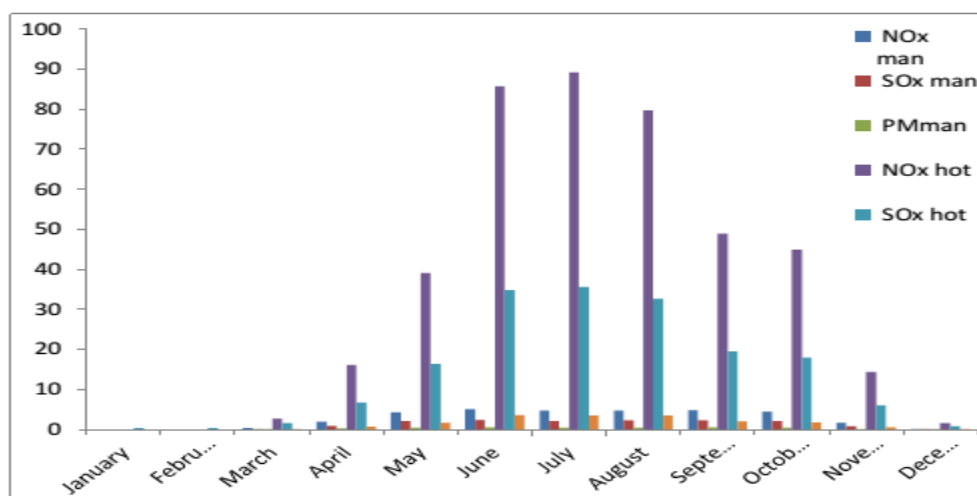
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO_x man	0,00	0,00	0,33	1,95	4,30	4,99	4,69	4,74	4,83	4,53	1,68	0,14	32,17
SO_x man	0,00	0,00	0,17	0,94	2,11	2,36	2,15	2,25	2,31	2,16	0,80	0,05	15,29
PM_{man}	0,00	0,00	0,04	0,23	0,52	0,55	0,49	0,52	0,56	0,52	0,19	0,01	3,62
NO_x hot	0,00	0,00	2,67	16,18	39,07	85,78	89,18	79,71	48,93	44,90	14,43	1,61	422,46
SO_x hot	0,38	0,40	1,63	6,77	16,37	34,85	35,65	32,71	19,55	17,96	6,04	0,81	173,12
PM_{hot}	0,00	0,00	0,13	0,70	1,69	3,56	3,52	3,47	2,01	1,81	0,61	0,03	17,54

Πίνακας 11.1. Μετρήσεις αερίων ρύπων στο λιμάνι του Dubrovnik.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	3	6	11	38	95	97	100	86	114	97	32	8	687
Time in Port	125	174	266	474	1220	1272	1451	1094	1460	1240	360	130	9266

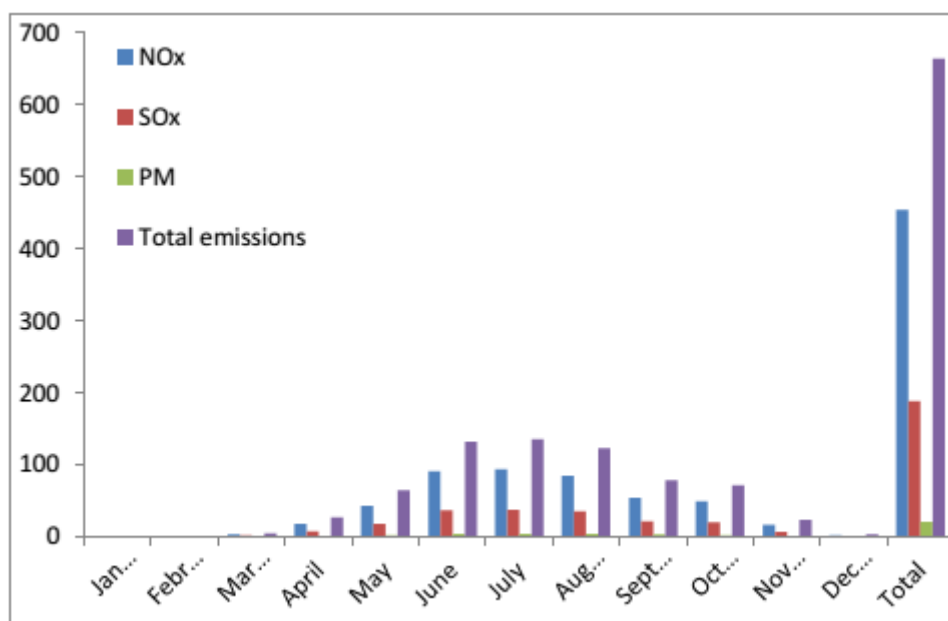
Πίνακας 11.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους.

Στο **Διάγραμμα 11.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.

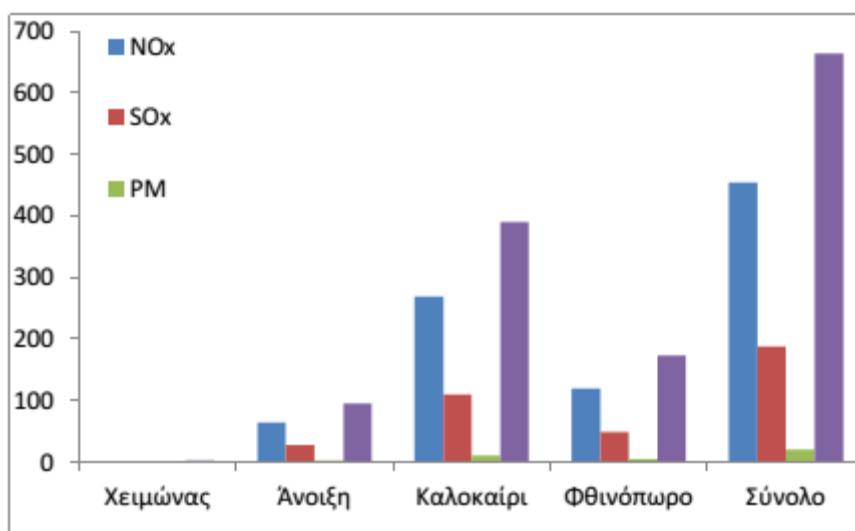


Διάγραμμα 11.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

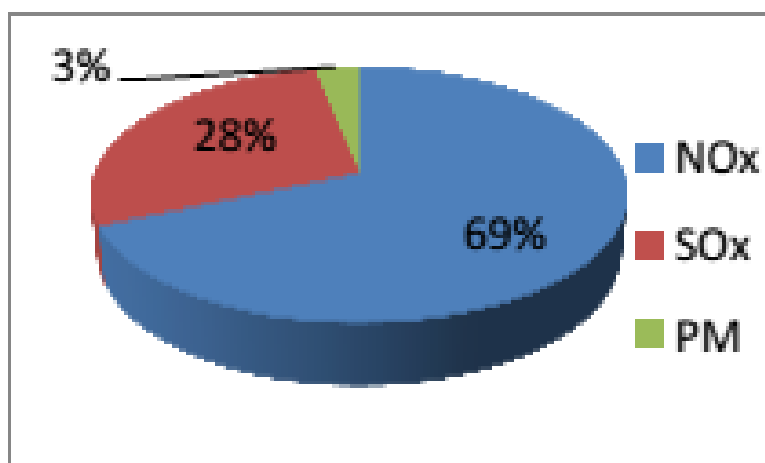
Το σύνολο των αερίων ρύπων ανά αέριο ρύπο δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 11.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.

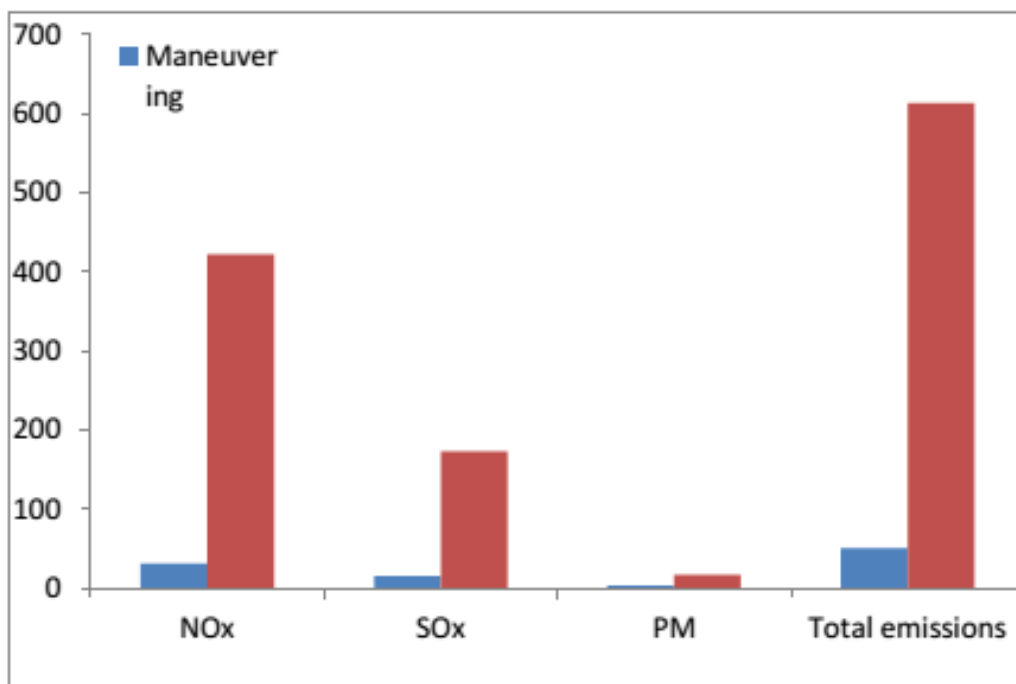


Διάγραμμα 11.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

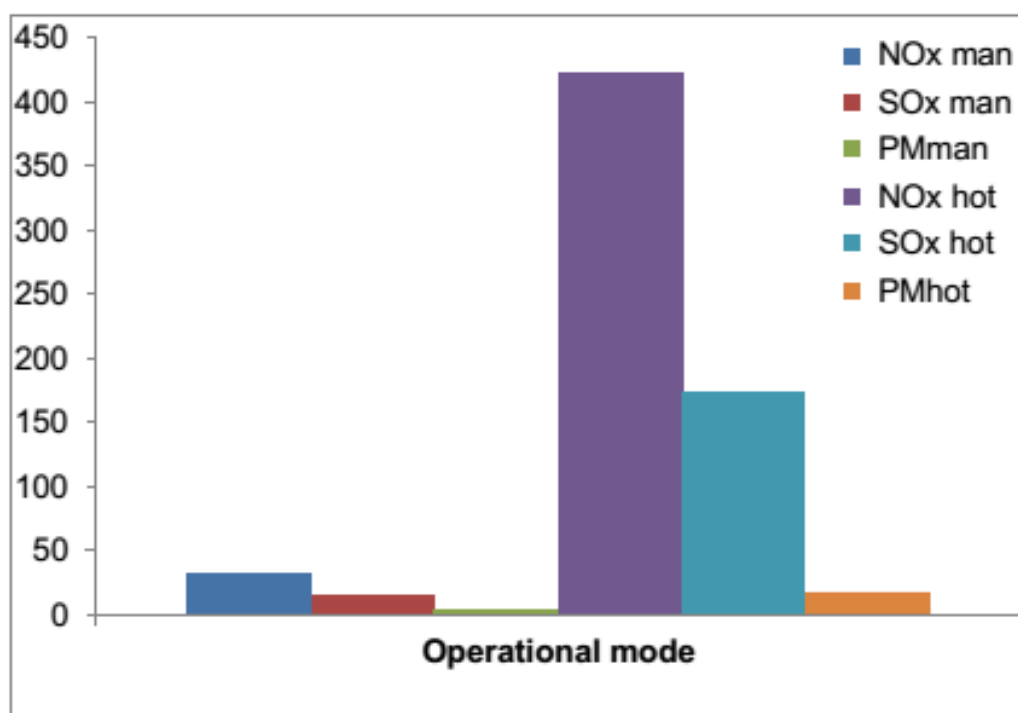


Διάγραμμα 11.4. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι του Dubrovnik.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

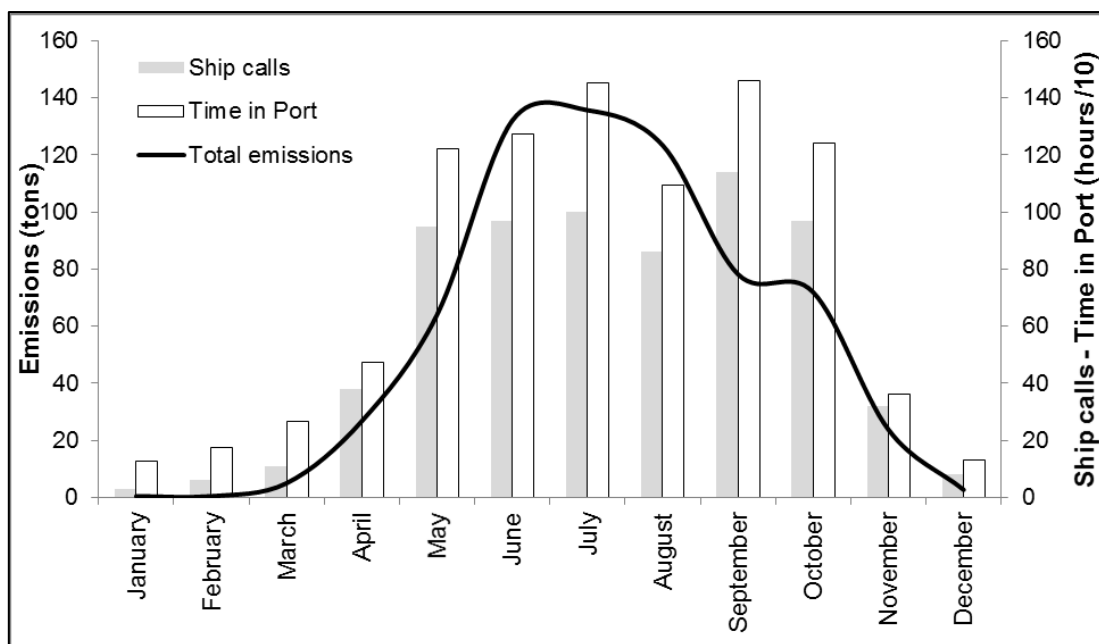


Διάγραμμα 11.5. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

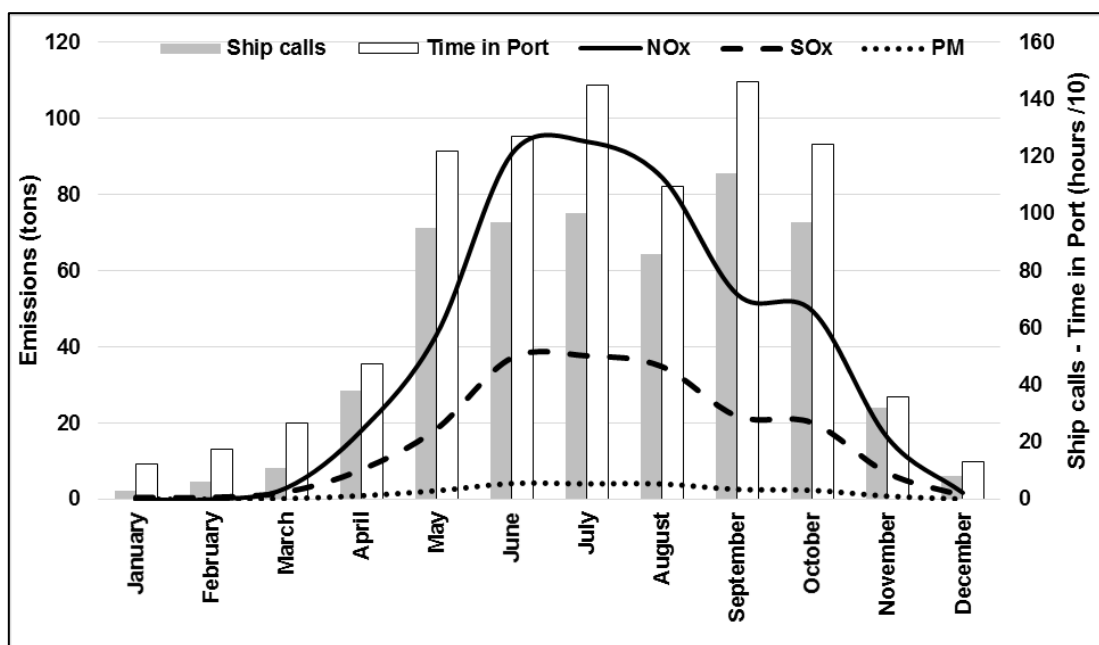


Διάγραμμα 11.6. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

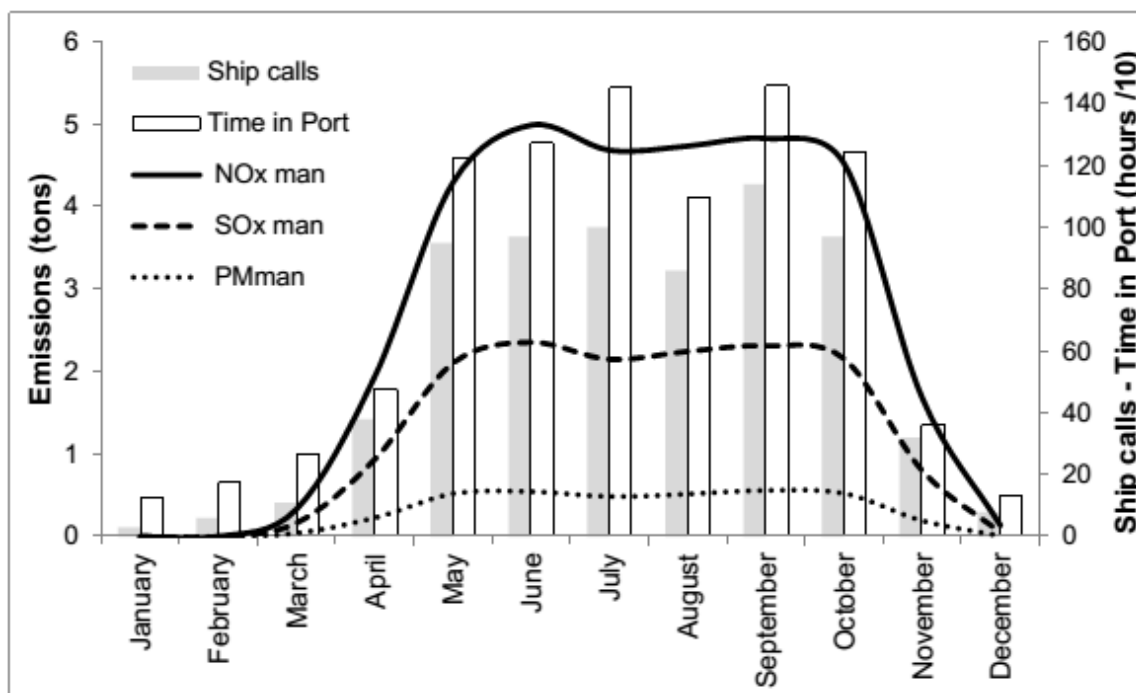
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαίτερος των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και δωδεκαπλασιάζονται σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



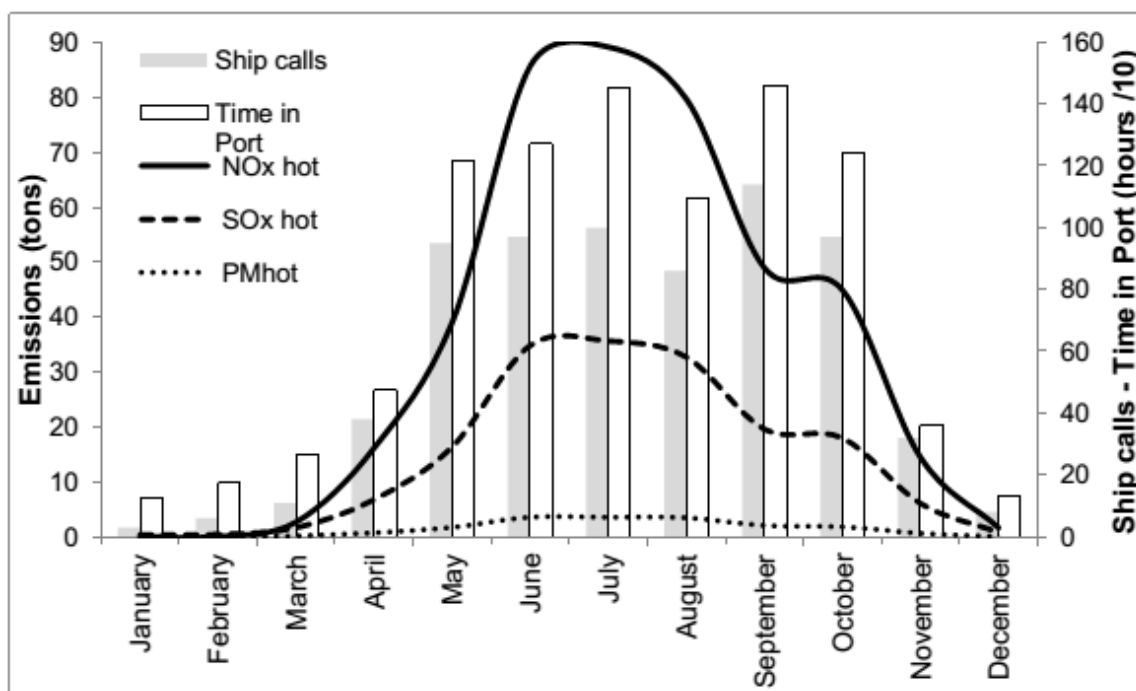
Διάγραμμα 11.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



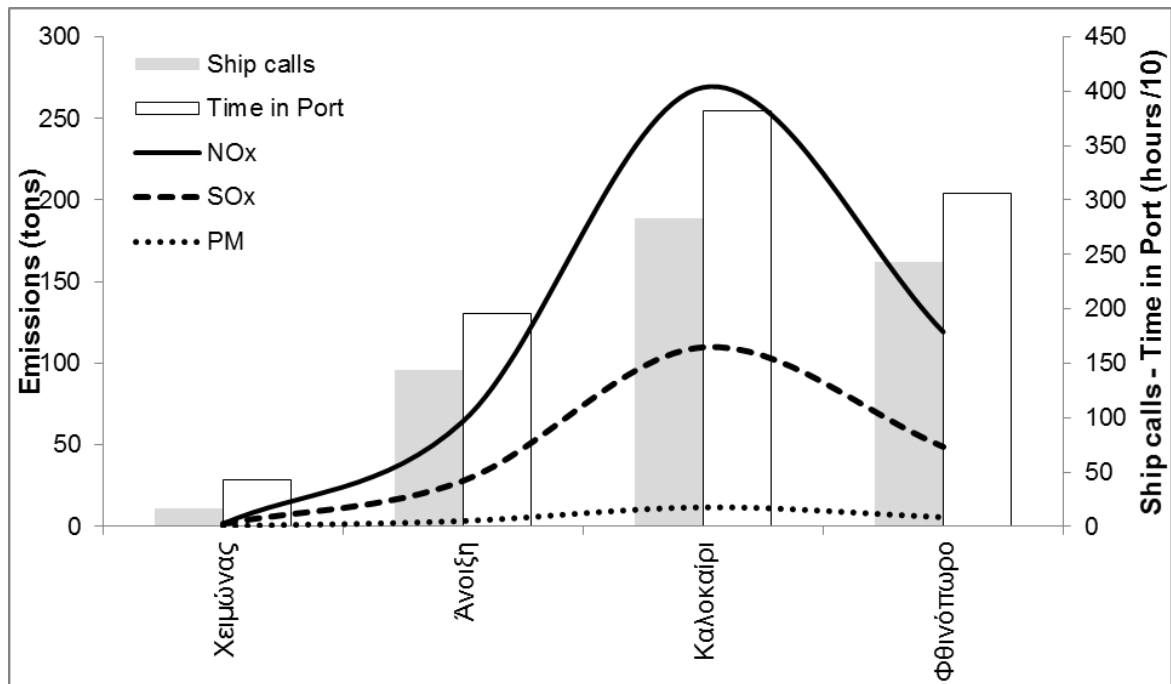
Διάγραμμα 11.8. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



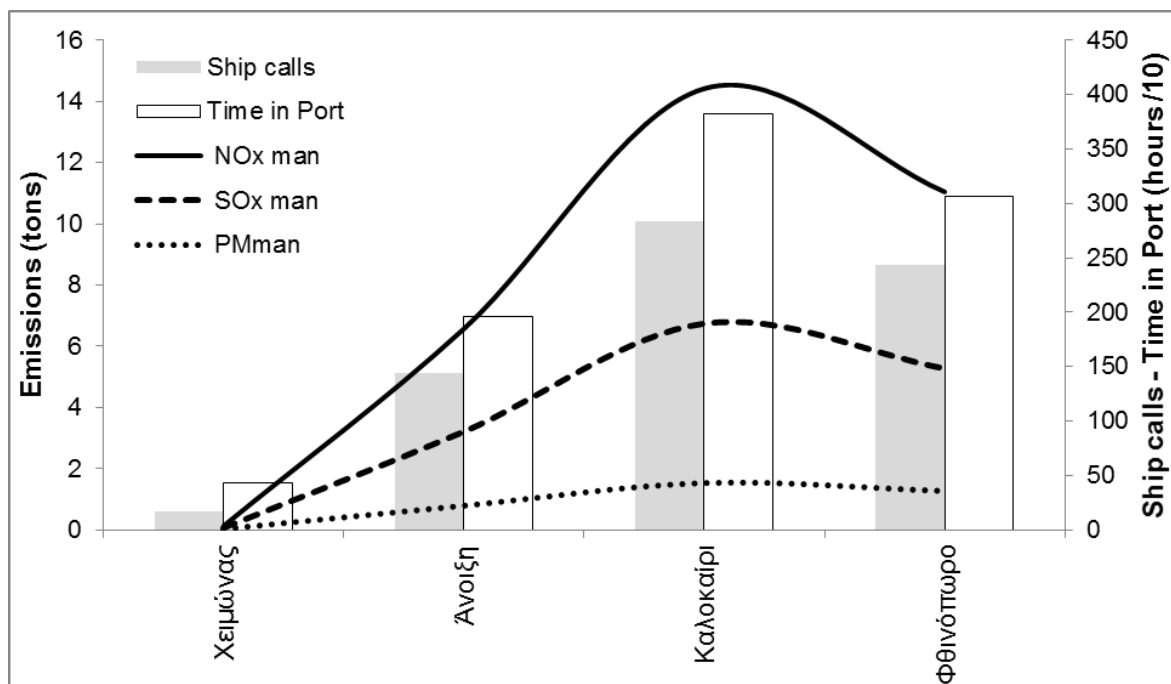
Διάγραμμα 11.9. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



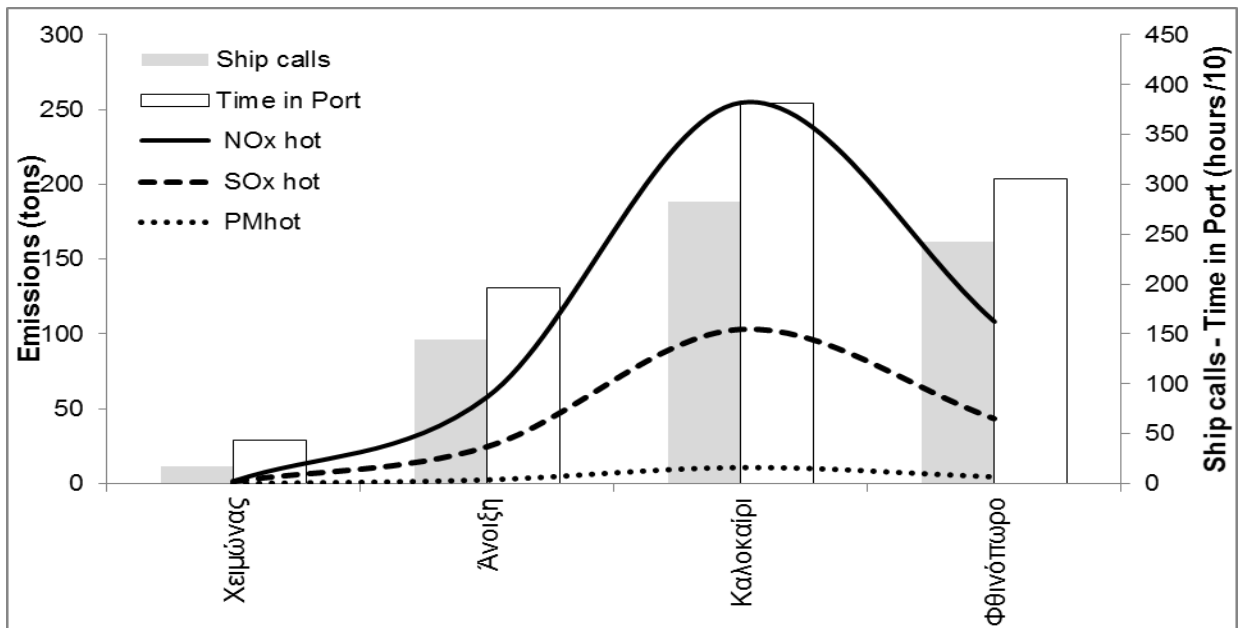
Διάγραμμα 11.10. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



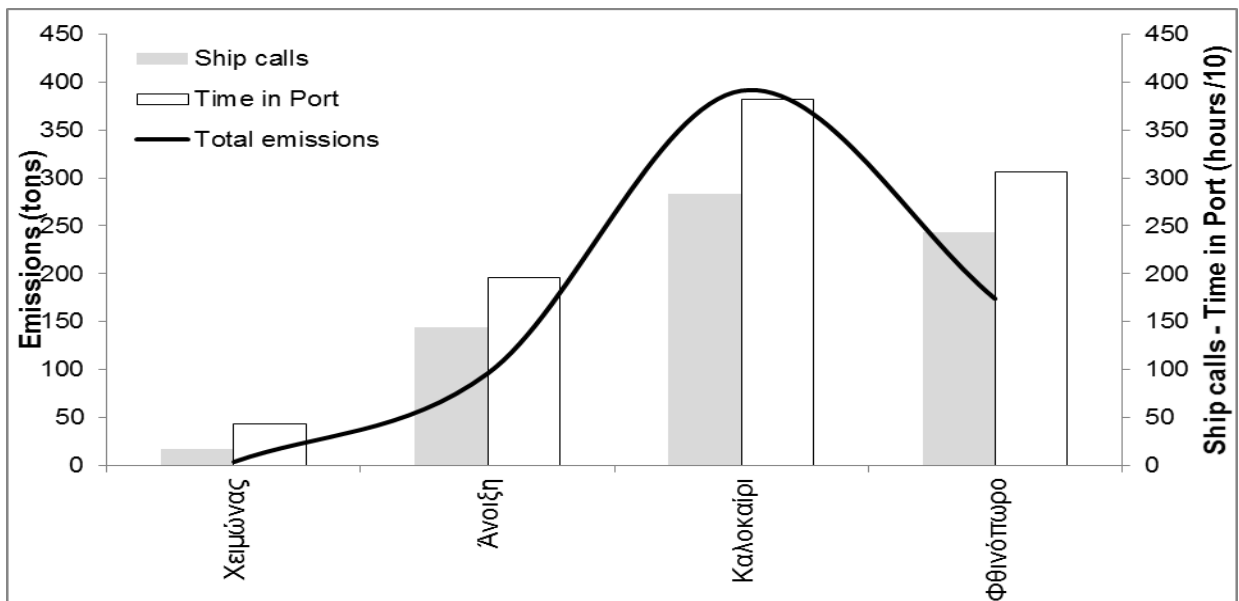
Διάγραμμα 11.11. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 11.12. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 11.13. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 11.14. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 11.6 έως και 11.14 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν

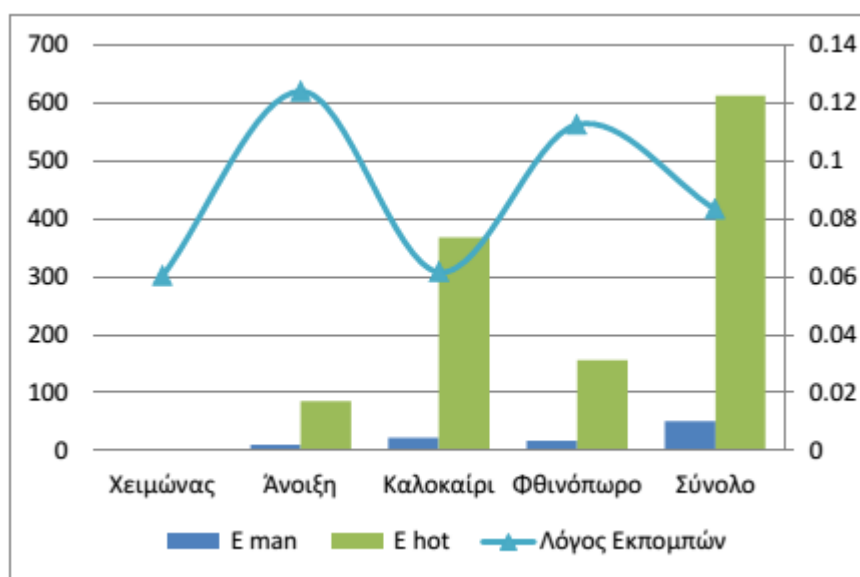
επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

11.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	1,74	64,50	269,09	119,31	454,64
SO_x	1,65	27,97	109,96	48,83	188,40
PM	0,04	3,30	12,10	5,71	21,16
Total emissions	3,43	95,77	391,15	173,85	664,20

Πίνακας 11.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι του Dubrovnik.



Διάγραμμα 11.15. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 11.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι του Dubrovnik επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 12 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ό,τι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

12 ΜΕΛΕΤΗ ΛΙΜΑΝΙΟΥ SPLIT

12.1 Κίνηση πλοίων στο λιμάνι

Στην Εικόνα 7.1, απεικονίζεται η διαδρομή και οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται από τα κρουαζιερόπλοια στον λιμένα του Split, από τη στιγμή που εισέρχονται εντός του λιμένα έως τη στιγμή που εξέρχονται. Η πορεία που εκτελούν τα κρουαζιερόπλοια κατά τον ελλιμενισμό τους φαίνεται στην παρακάτω αεροφωτογραφία και έχει συνολικό μήκος: **D = 1,5km.**



Εικόνα 12.1. Πορείες εντός του λιμένα του Split προς τα σημεία πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων.

Ο χρόνος ελιγμών (hr) υπολογίστηκε ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Τελιγμών} &= D/v_{\text{actual,in}} + D/v_{\text{actual,out}} + T_{\text{maneuver to dock}} + T_{\text{maneuver to undock}} = \\ &= 1,50(\text{km})/9,26(\text{km/h}) + 1,50(\text{km})/14,816(\text{km/h}) + 0,15(\text{hr}) = \mathbf{0,41hr}\end{aligned}$$

12.2 Παραδοχές

Εφαρμόστηκε η αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων NO_x, SO₂ και PM_{2.5} που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για το λιμάνι του Split για το έτος 2013, υπολογίζοντας ξεχωριστά τις εκπομπές κάθε ρύπου κατά τη φάση των ελιγμών, αλλά και κατά τη φάση της παραμονής στο αγκυροβόλιο. Οι φορτίσεις για τον κύριο και βοηθητικό κινητήρα για την κατάσταση των ελιγμών αλλά και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, ενώ οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Κατά την είσοδο στο λιμάνι η ταχύτητα λήφθηκε ίση με 5 κόμβους (9,26 km/h) ενώ η ταχύτητα εξόδου 8 κόμβους (14,82 km/h). Τέλος θεωρήθηκε ότι οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

12.3 Δεδομένα - Ανάλυση

Τα δεδομένα για τους αέριους ρύπους που έχουμε διαθέσιμα, τα οποία και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του 2013, μας εφοδιάζουν με αναλυτικές πληροφορίες για τους ρύπους όλων των πλοίων που εισήρθαν στο λιμάνι του Split κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεδομένα ξεχωριστά το καθένα για κάθε αέριο ρύπο και κάθε λειτουργική κατάσταση συνθέτουν το σύνολο των εκπομπών αέριων ρύπων, οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

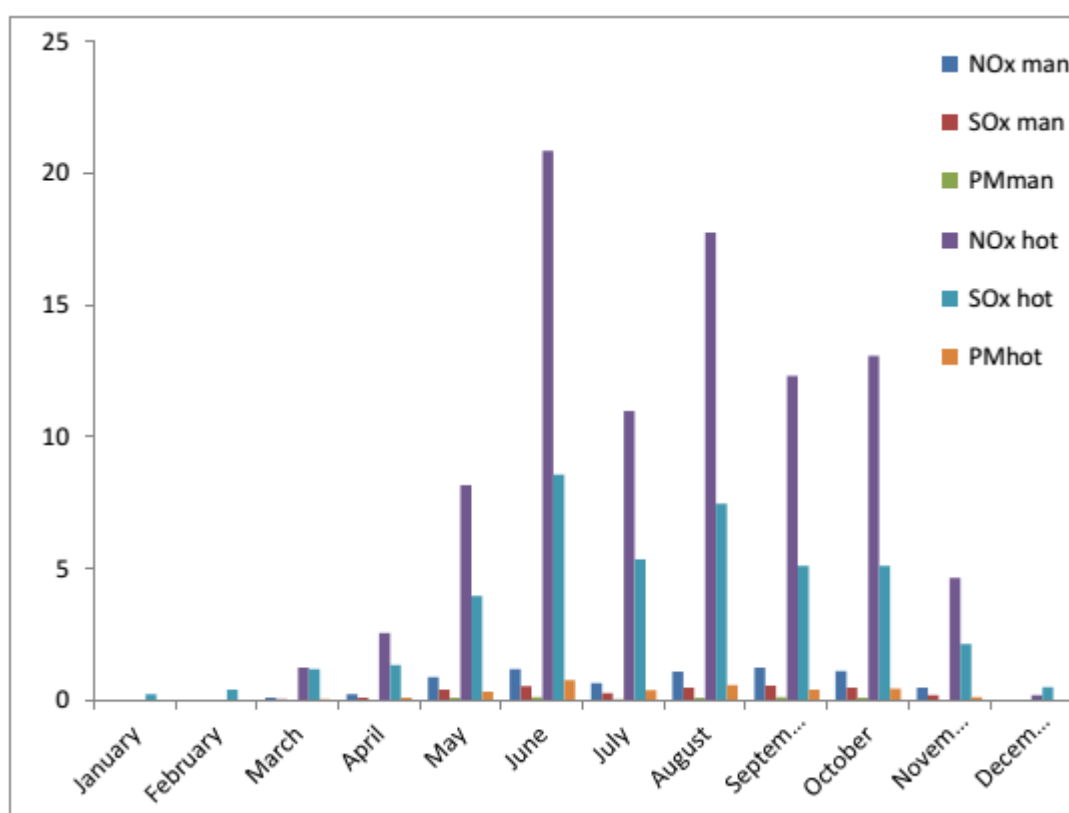
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
NO _{x man}	0,00	0,00	0,10	0,26	0,88	1,20	0,67	1,10	1,24	1,12	0,49	0,02	7,08
SO _{x man}	0,00	0,00	0,05	0,12	0,43	0,54	0,28	0,49	0,57	0,50	0,20	0,01	3,18
PM _{man}	0,00	0,00	0,01	0,03	0,11	0,12	0,06	0,11	0,14	0,12	0,04	0,00	0,74
NO _{x hot}	0,00	0,00	1,24	2,57	8,19	20,87	10,99	17,78	12,33	13,08	4,66	0,21	91,93
SO _{x hot}	0,26	0,44	1,20	1,36	3,98	8,57	5,36	7,47	5,12	5,12	2,14	0,52	41,53
PM _{hot}	0,00	0,00	0,07	0,10	0,34	0,79	0,40	0,59	0,42	0,44	0,13	0,00	3,29

Πίνακας 12.1. Μετρήσεις αέριων ρύπων στο λιμάνι του Split.

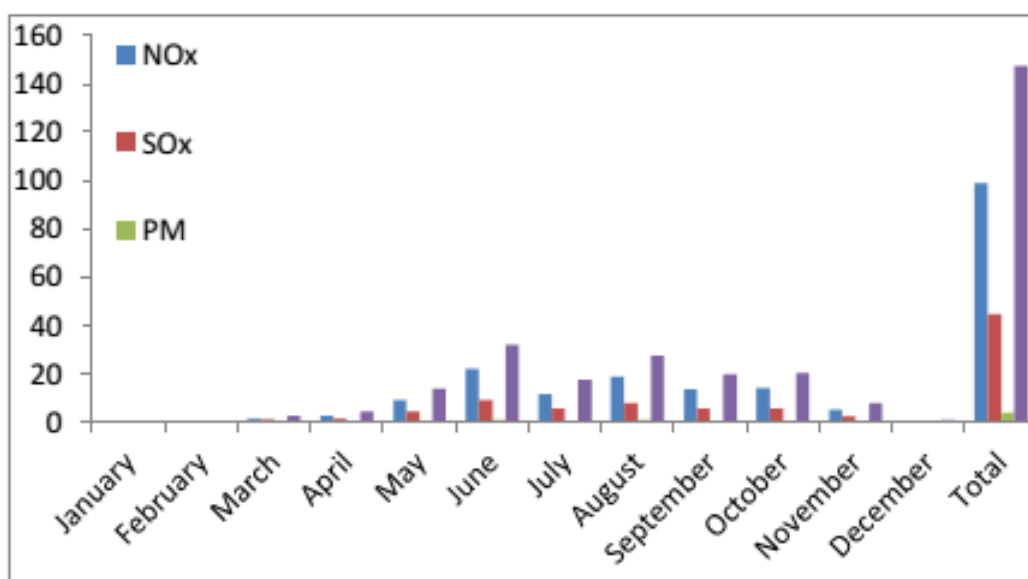
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Ship calls	2	6	6	10	28	32	26	28	35	33	12	8	226
Time in Port	85	194	304	241	472	379	481	456	507	514	347	218	4196

Πίνακας 12.2. Δεδομένα για το πλήθος των πλοίων που εισήρθαν στον λιμάνι και διάρκεια παραμονής τους.

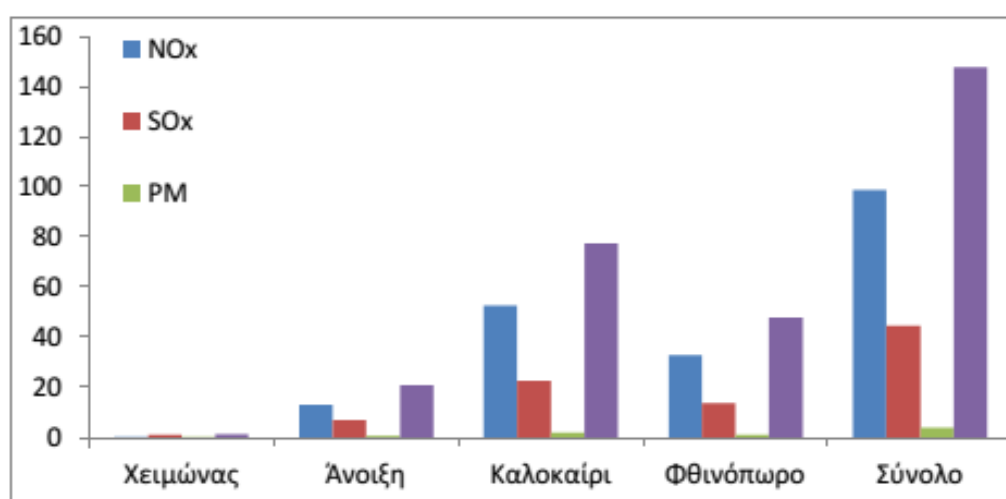
Στο **Διάγραμμα 12.1** παρουσιάζονται ανά μήνα οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM κατά τη διάρκεια των λειτουργικών φάσεων των ελιγμών και της αγκυροβόλησης και παραμονής στο λιμάνι.



Διάγραμμα 12.1. Μηνιαίες εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια των ελιγμών (man) και κατά τη διάρκεια αγκυροβόλησης (hot).

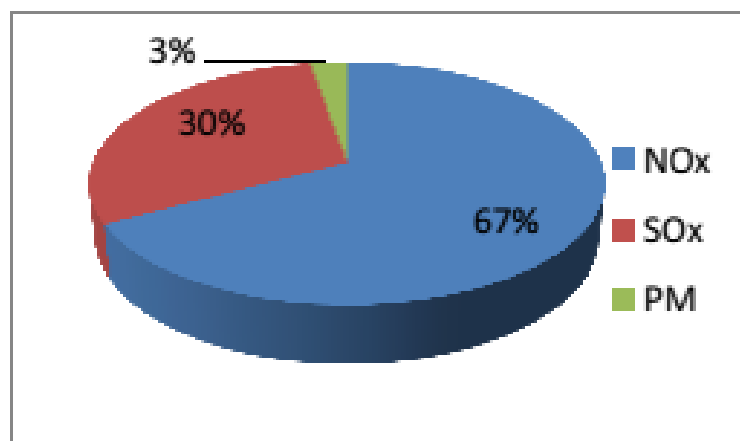


Διάγραμμα 12.2. Μηνιαίο σύνολο αερίων ρύπων.



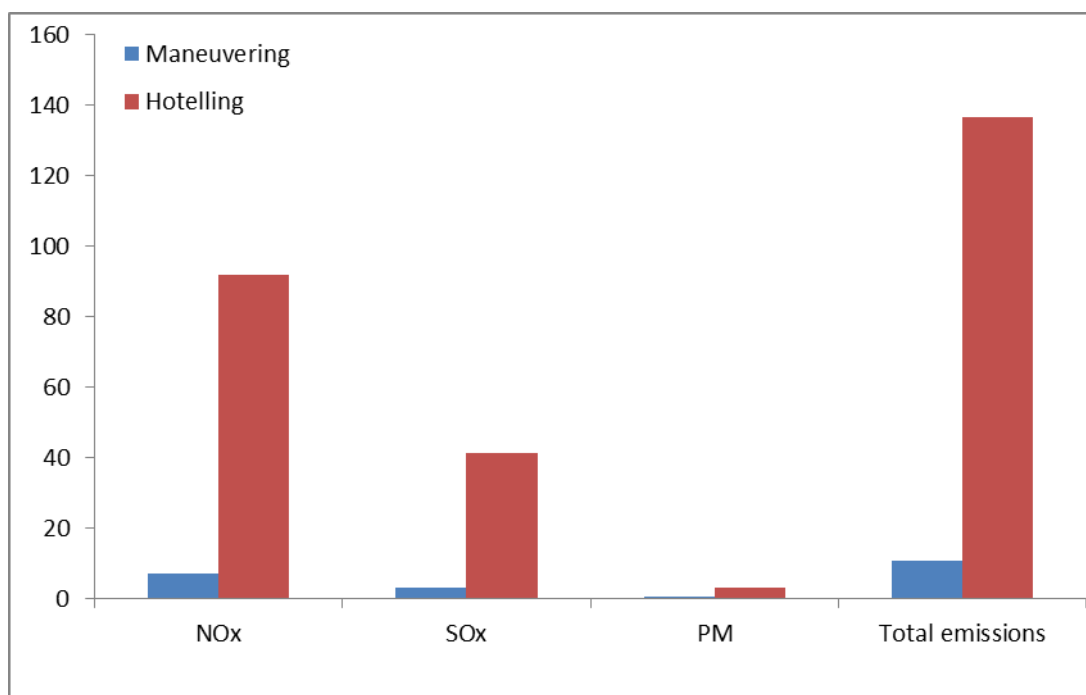
Διάγραμμα 12.3. Σύνολο αερίων ρύπων ανά εποχή.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα τον κύριο όγκο της αέριας ρύπανσης τον προκαλούν τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 68,0% και ακολουθούν τα οξείδια του θείου (SO_x) με ποσοστό 28,0% και τέλος σε μικρό ποσοστό τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με ποσοστό μόλις 4%.

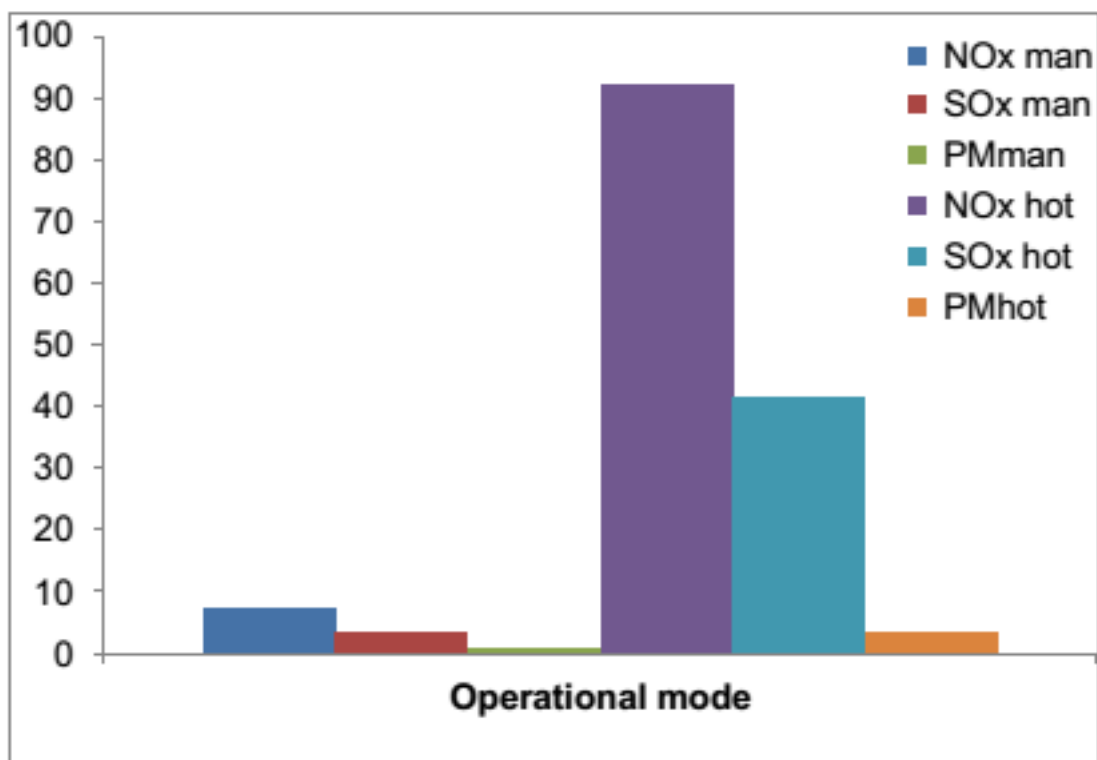


Διάγραμμα 12.4. Ποσόστωση αερίων ρύπων για το λιμάνι του Split.

Οι εποχές στις οποίες εμφανίζεται μεγαλύτερη αέρια ρύπανση, όπως είναι αναμενόμενο, είναι το καλοκαίρι και ακολουθεί το φθινόπωρο, λόγω αυξημένης τουριστικής κίνησης επιβατηγών πλοίων αλλά και των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (καύσωνας κλπ).

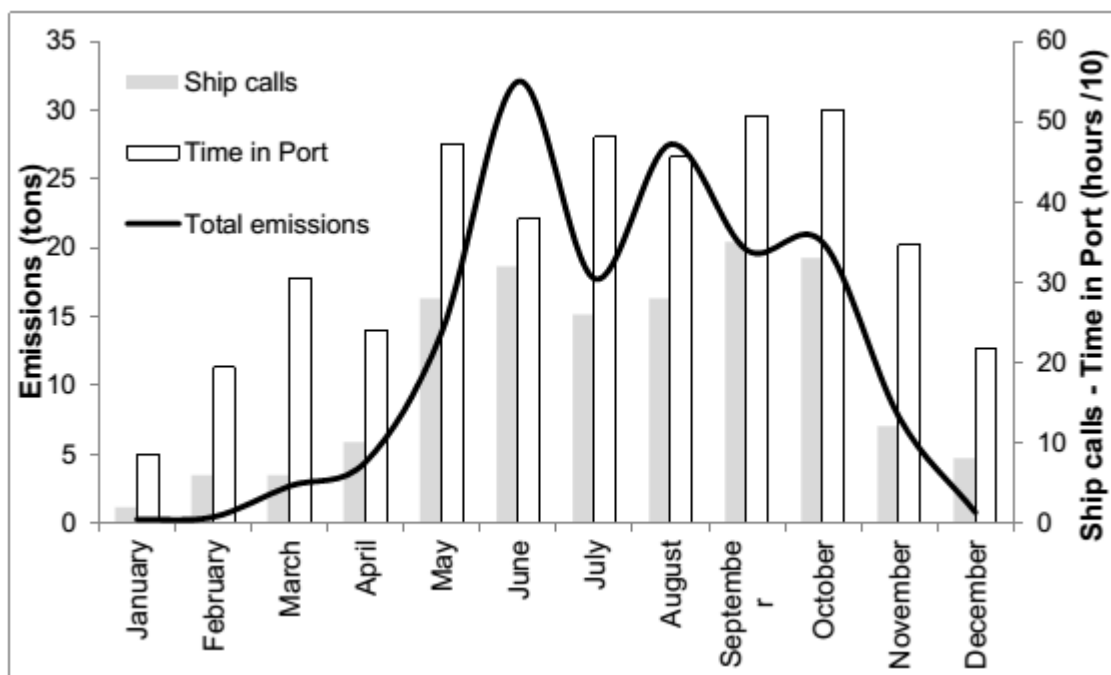


Διάγραμμα 12.5. Ετήσιο σύνολο αερίων εκπομπών.

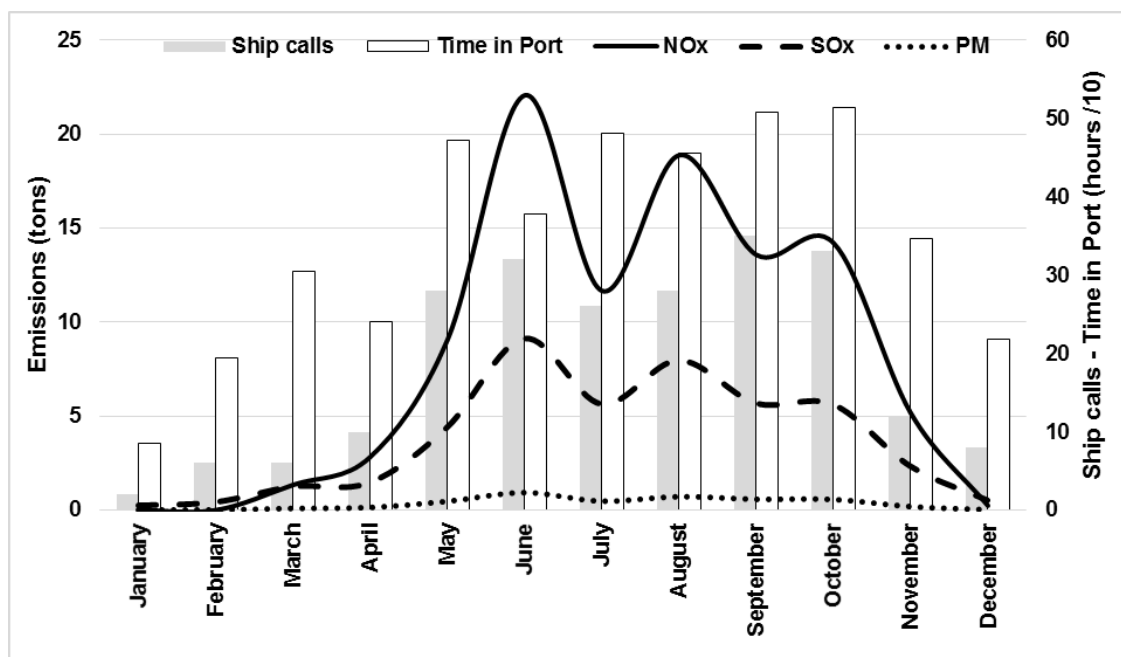


Διάγραμμα 12.6. Ετήσιο σύνολο αερίων ρύπων ανά ρύπο και ανά λειτουργική φάση.

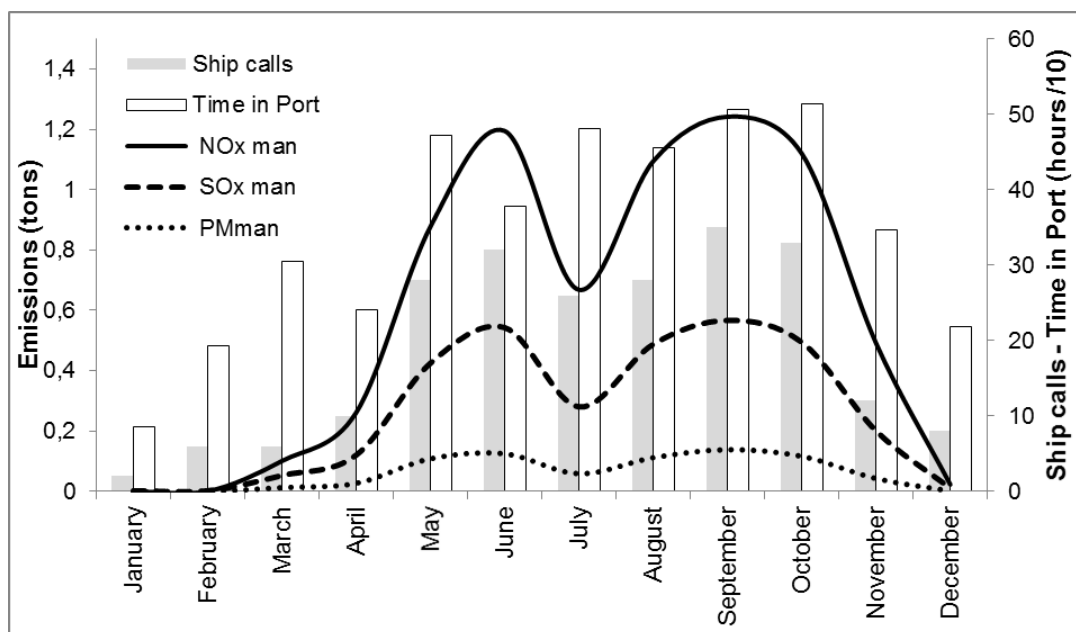
Κατά τη διάρκεια της παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode) οι αέριοι ρύποι εμφανίζονται αυξημένοι, ιδιαιτέρως των μονοξειδίων του αζώτου οι οποίοι και **δωδεκαπλασιάζονται** σε σχέση με αυτών της φάσης ελιγμών.



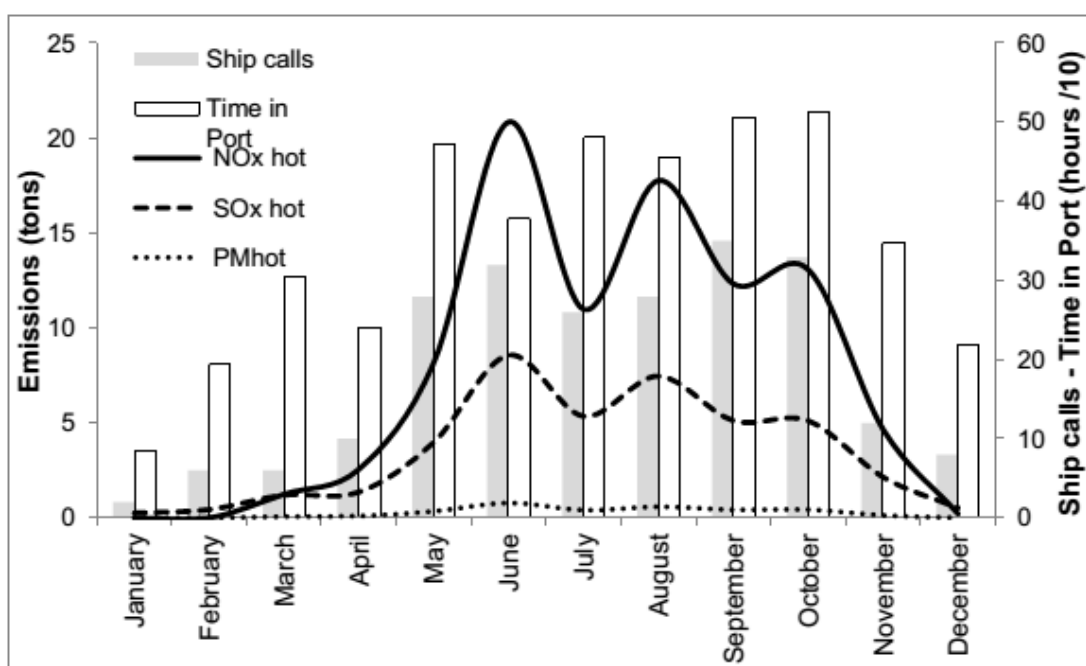
Διάγραμμα 12.7. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



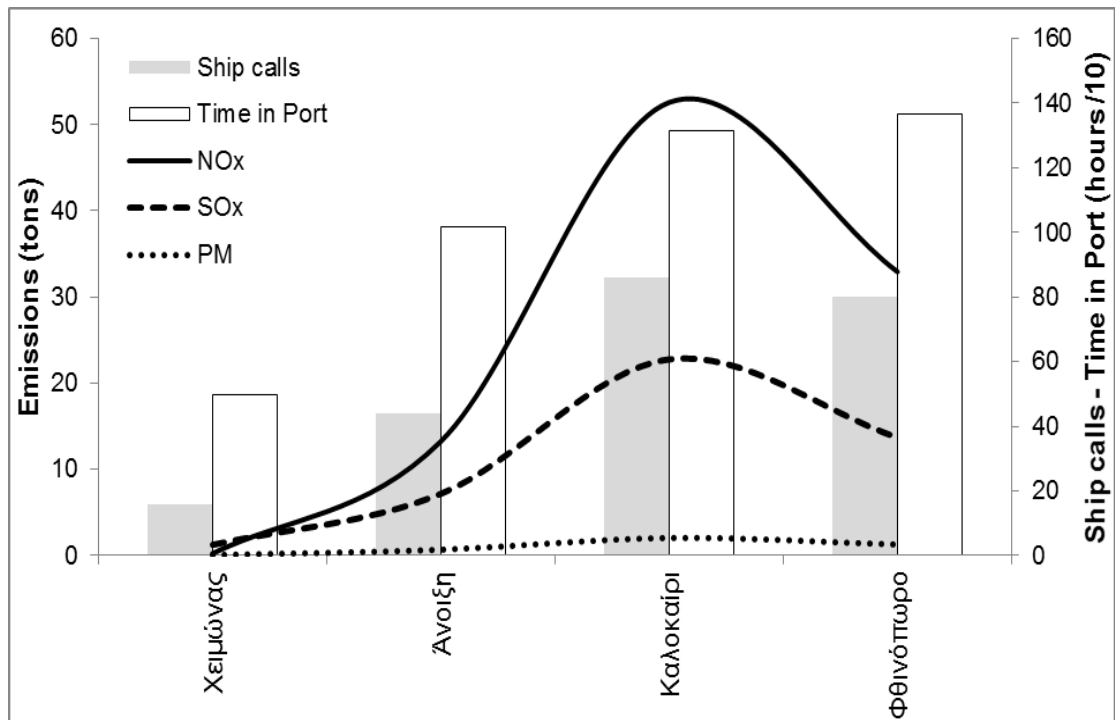
Διάγραμμα 12.8. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά μήνα.



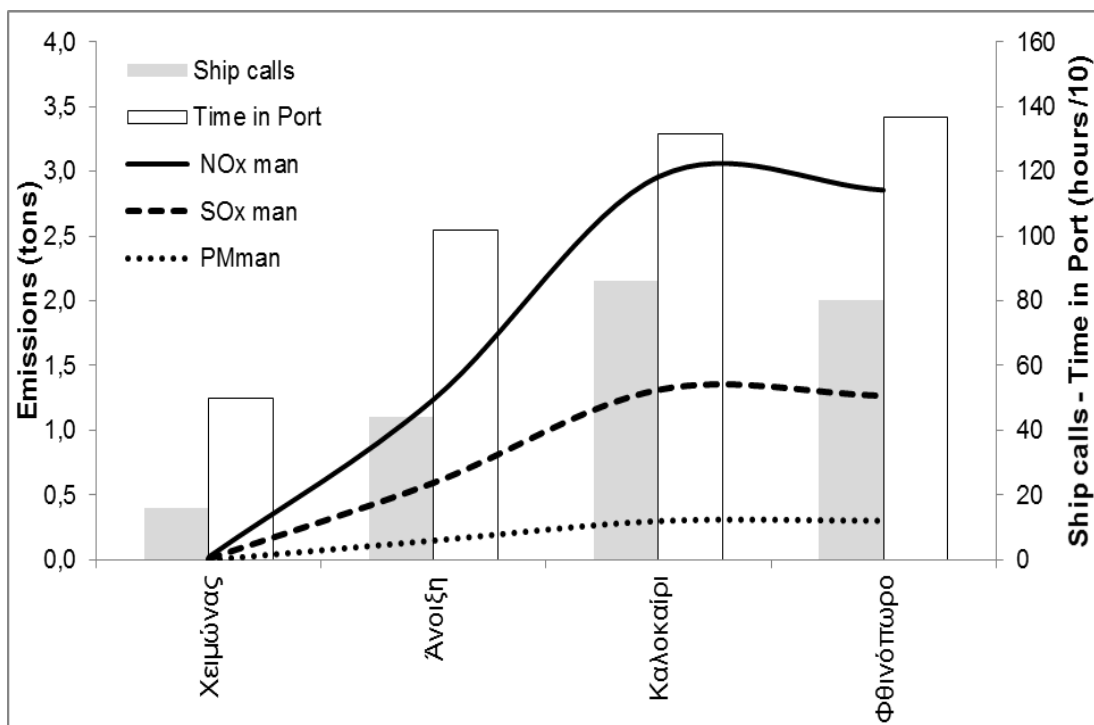
Διάγραμμα 12.9. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



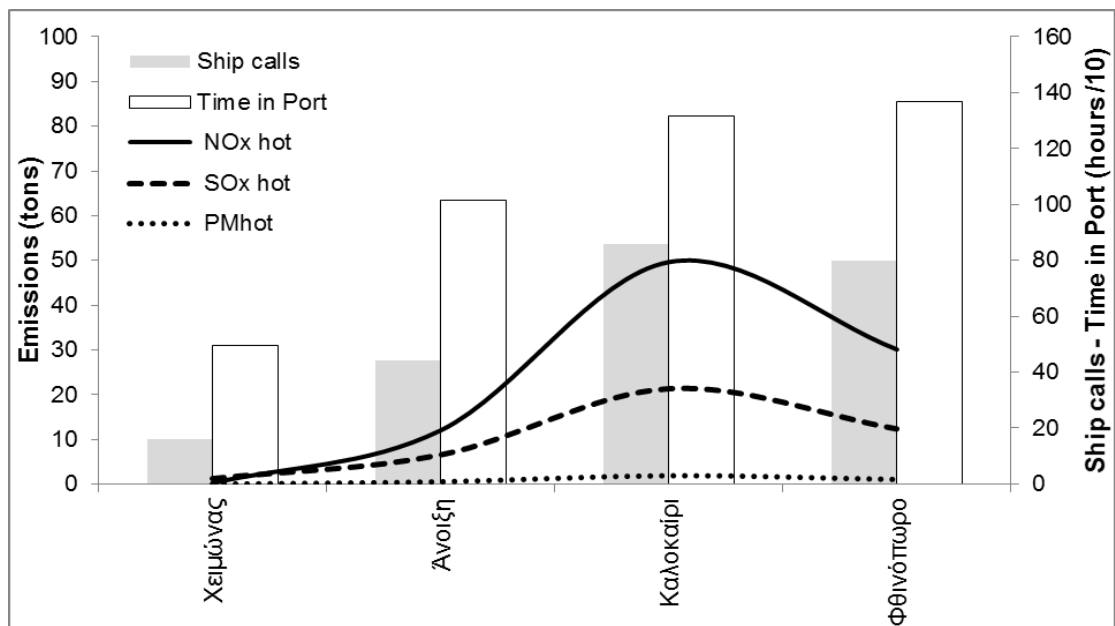
Διάγραμμα 12.10. Σχέση μηνιαίων εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



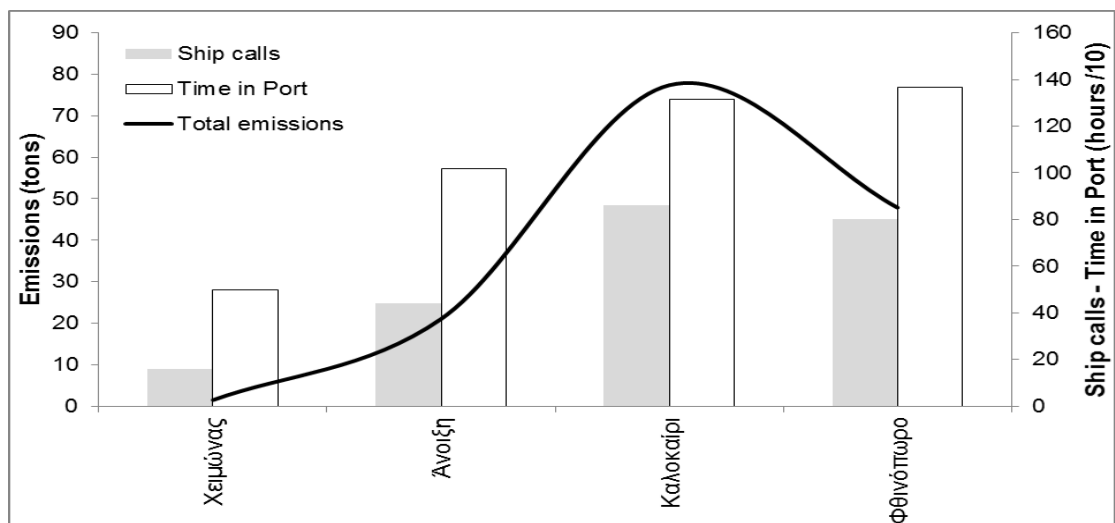
Διάγραμμα 12.11. Σχέση επιμέρους αερίων εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.



Διάγραμμα 12.12. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση των ελιγμών, με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 12.13. Σχέση εποχιακών εκπομπών κατά τη λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης (hotelling), με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι.



Διάγραμμα 12.14. Σχέση εκπομπών με το σύνολο των πλοίων και τον συνολικό χρόνο παραμονής τους στο λιμάνι ανά εποχή.

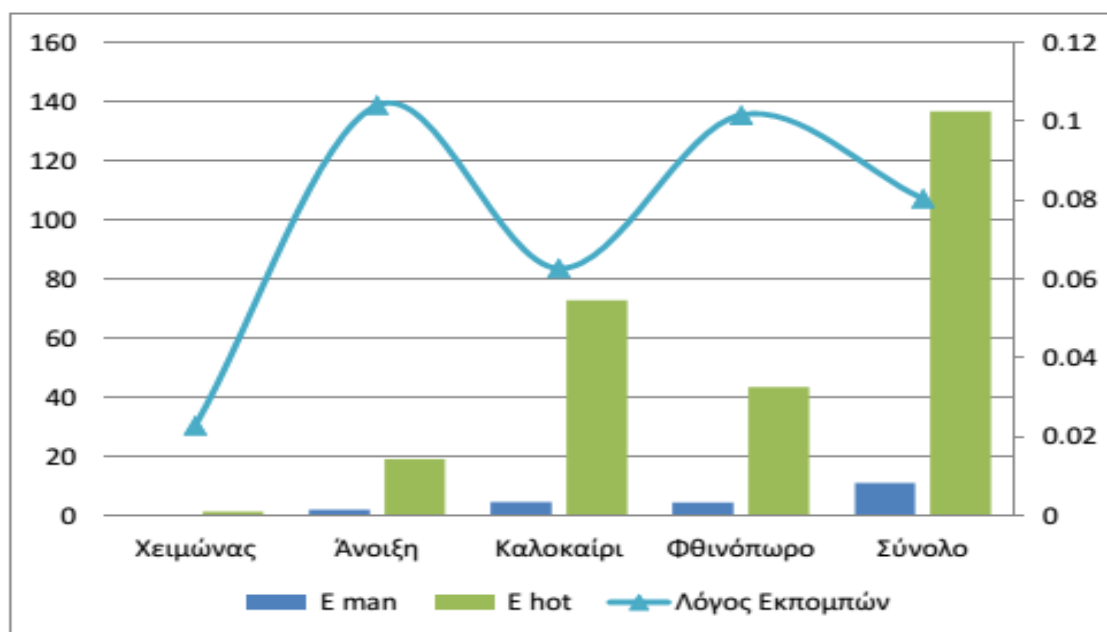
Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων 12.6 έως και 12.13 αντιλαμβανόμαστε ότι ενώ το φθινόπωρο έχουμε την ίδια επισκεψιμότητα σε πλοία αλλά και λίγο μεγαλύτερο χρόνο ελλιμενισμού με το καλοκαίρι, ωστόσο οι αέριοι ρύποι είναι αισθητά λιγότεροι από τους αντίστοιχους του καλοκαιριού. Επίσης, κατά τη λειτουργία των ελιγμών οι αέριοι ρύποι δεν φαίνεται να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και δεν επηρεάζονται σημαντικά ούτε από τον αριθμό των πλοίων αλλά και ούτε από τον χρόνο παραμονής τους - τον οποίο και είναι αναμενόμενο.

12.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναλυτική υπολογιστική μέθοδο:

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Σύνολο
NO_x	0,23	13,24	52,59	32,94	99,00
SO_x	1,22	7,14	22,71	13,64	44,71
PM	0,01	0,65	2,08	1,29	4,03
Total emissions	1,46	21,03	77,38	47,87	147,74

Πίνακας 12.3. Κατανομή αερίων ρύπων στο λιμάνι του Split.



Διάγραμμα 12.15. Σύνολο αερίων ρύπων και λόγος εκπομπών ανά λειτουργική φάση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και την ανάλυση των δεδομένων του κεφαλαίου 11.2 συμπεραίνουμε ότι στο λιμάνι του Split επικρατούν οι αέριοι ρύποι από οξείδια του αζώτου (NO_x), οι οποίοι εμφανίζονται αυξημένοι κατά τη θερινή περίοδο και εκλύονται περισσότερο κατά την λειτουργική φάση της αγκυροβόλησης και παραμονής εντός του λιμανιού (hotelling mode). Στο σύνολο του χρόνου εκλύονται 12,47 φορές πιο πολλές εκπομπές ρύπων κατά το hotelling mode απ' ό,τι κατά τη διάρκεια των ελιγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

13 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

13.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

	Αργοστόλι	Μπάρι	Βενετία	Ibiza	Mahon	Dubrovnik	Split
Αριθμός Κατοίκων	9.748	314.311	260.060	133.594	94.397	42.615	178.102
Πυκνότητα Πληθυσμού Κάτοικοι/ Km ²	64	2.709	627	233	135	1.996	2.827
Αφίξεις Κρουαζιερόπλοιων	100	171	489	108	101	687	226
Χρόνος Παραμονής	712	1.009	9.089	1.698	817	9.266	4.196
Μήκος Διαδρομής (εντός λιμένα) Km	0,5	2,1	13,5	1,5	1,1	0,6	0,7
Συνολικές Εκπομπές	81,40	217,35	1.482,03	248,97	64,60	664,20	147,74
NO _x	57,43	146,70	987,08	167,28	45,75	454,64	99,00
SO _x	21,59	61,91	428,02	72,48	16,99	188,40	44,71
PM	2,39	8,74	66,94	9,21	1,86	21,16	4,03
Ρύποι PM / Πληθυσμό (τόνοι/1000 κατοίκους)	0,00024	0,00003	0,00026	0,00007	0,00002	0,0005	0,00002

Πίνακας 13.1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά λιμάνι για το έτος 2013.

- Ο μεγαλύτερος όγκος των αερίων ρύπων αποτελείται από οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ποσοστά ως και 71%, με τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}) να κατέχουν το μικρότερο ποσοστό στην αέρια μόλυνση.
- Οι συνολικές εκπομπές ρύπων ήταν αρκετά αυξημένες κατά τους θερινούς μήνες σε σχέση με του φθινοπώρου και της άνοιξης. Τον χειμώνα οι ρύποι εντός των λιμανιών

εμφανιζόταν σε πολύ χαμηλά ποσοστά. Οι ρύποι υπολογίστηκαν αυξημένοι τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς έχουμε αυξημένη κίνηση κατά τους θερινούς μήνες αλλά κυρίως έχουμε αυξημένες ενεργειακές ανάγκες κατά την παραμονή των κρουαζιερόπλοιων στο αγκυροβόλιο, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη μέθοδο υπολογισμού των εκπομπών με τον συντελεστή φορτίου κινητήρα (κύριου και βοηθητικού). Οι συντελεστές φορτίου είναι αυξημένοι κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης οι διάφορες επίγειες δραστηριότητες οι οποίες είναι αυξημένες αυτούς τους μήνες (οχήματα εντός λιμένα κλπ.) συντελούν και αυτές στην αύξηση των ρύπων.

- Η επίδραση των λειτουργιών που επιτελεί το πλοίο έγινε παραπάνω από διακριτή μέσω της μελέτης. Κατά τη διάρκεια της αγκυροβόλησης (hotelling mode) όπου το πλοίο παραμένει δεμένο στο λιμάνι, και εκτελεί διάφορες βοηθητικές λειτουργίες αλλά και κύριες, οι αέριοι ρύποι παρουσιάζονται κατά πολύ αυξημένοι σε σχέση με την περίοδο όπου εκτελεί ελιγμούς, σχεδόν δωδεκαπλάσιοι, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι βοηθητικές λειτουργίες του πλοίου που τροφοδοτούνται από λέβητες και κινητήρες για την παραγωγή ενέργειας και ηλεκτρισμού, αποτελούν τους πλέον ρυπογόνους παράγοντες ενός πλοίου, είτε λόγω λειτουργίας τους είτε λόγω καυσίμου. Κατά την παραμονή στο αγκυροβόλιο οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν διαρκώς για να καλύψουν τις ξενοδοχειακές ανάγκες στα κρουαζιερόπλοια, καταναλώνοντας πετρέλαιο ντίζελ (Marine Diesel Oil), το οποίο δεν είναι φιλικό προς το περιβάλλον.
- Από την ανάλυση των δεδομένων δεν φαίνεται το πλήθος των πλοίων που ελλιμενίζονται να παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή αερίων ρύπων. Στα περισσότερα λιμάνια φαίνεται ότι ενώ αυξάνεται ο όγκος και ο χρόνος παραμονής των πλοίων εντός του λιμανιού το Φθινόπωρο οι αέριοι ρύποι είναι σαφώς λιγότεροι από αυτούς του καλοκαιριού. Οδηγούμαστε έτσι στο συμπέρασμα ότι η καθαυτή παρουσία του πλοίου εντός του λιμανιού δεν οδηγεί σε άμεση εκπομπή ρύπων αλλά είναι οι λειτουργίες και οι ανάγκες που καλείται να καλύψει κάθε φορά που καθορίζουν το ποσοστό των ρύπων στην ατμόσφαιρα του λιμανιού.
- Λιμάνια με αμιγώς τουριστική χρήση, όπως αυτά του Αργοστολίου και του Dubrovnik, παρουσιάζουν μεγάλο εύρος διακύμανσης μεταξύ των θερινών μηνών και του υπολοίπου χρόνου, γεγονός αναμενόμενο λόγω της τουριστικής περιόδου που περιορίζεται σε αυτούς τους μήνες κατά τους οποίους έχουμε και τον μεγάλο όγκο επισκεψιμότητάς από κρουαζιερόπλοια.

13.2 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όπως φαίνεται από την παρούσα μελέτη, οι δραστηριότητες των πλοίων εντός των λιμανιών οδηγούν στην έκλυση αερίων ρύπων επιβλαβών τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία των ανθρώπων. Αποφεύγοντας τις άσκοπες μετακινήσεις αγαθών και βελτιώνοντας την απόδοση των μεταφορών, μπορούμε να συμβάλλουμε στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία τα πλοία μπορεί να ευθύνονται για το 20-30% των τοπικών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων σε μια περιοχή.

Σύμφωνα και με άλλες μελέτες, όπως η έκθεση «The Impact of International Shipping on European Air Quality and Climate Forcing» διαπιστώνεται – μεταξύ άλλων - ότι στις ευρωπαϊκές θάλασσες οι αέριες εκπομπές είναι αρκετά μεγάλες σε σχέση με τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων ρύπων και δεδομένου αυτού, κρίνεται απαραίτητο ένα ολοκληρωμένο πανευρωπαϊκό σύστημα παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης.

Επιπροσθέτως, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, μέσω της καλύτερης απόδοσής τους, καθώς και διάφορες τεχνικές βελτιώσεις αλλά και διαφορετικές διαδικασίες λειτουργίας στα πλοία είναι ο καλύτερος τρόπος ώστε να μειωθούν η ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αέρια του θερμοκηπίου. Η μείωση της ταχύτητας των πλοίων κατά 10%, θα οδηγούσε στην μείωση των ενεργειακών τους αναγκών κατά 19% περίπου.

Παράλληλα η κατασκευή μεγαλύτερων πλοίων, αλλά και πιο αποτελεσματικών κινητήρων, καθώς και η έξυπνη διαχείριση των λειτουργιών του πλοίου και της ταχύτητάς του θα επιτύχανε μείωση κατά 50% στις εκπομπές CO₂ ως και το 2050. Η χρήση καθαρότερων καυσίμων, όπως το υδροποιημένο φυσικό αέριο κρίνεται επιτακτική και επιβάλλεται από την νομοθεσία μέσα στην περίοδο ως το 2050. Ο IMO έχει ήδη θέσει ως υποχρεωτικό στόχο όλα τα πλοία που θα κατασκευασθούν από το 2025 και στη συνέχεια, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ανήκουν στις αναπτυσσόμενες χώρες, να είναι 30% πιο αποτελεσματικά από τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί τη δεκαετία του 2000. Αυτό αφορά πάνω από το 95% του παγκόσμιου εμπορικού στόλου, σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς που τέθηκαν σε ισχύ το 2013 σε όλο τον κόσμο.

Μέτρα που στηρίζονται στις αρχές της αγοράς (Market Based Measure-MBM) θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μειωμένους αέριους ρύπους. Θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός ώστε να εφαρμόζονται οι ίδιοι κανόνες σε όλα τα πλοία, ανεξαρτήτου σημαίας.

Περίπου 70% του εμπορικού στόλου έχει νηολογηθεί σε χώρες που δεν υπόκεινται στο Πρωτόκολλο του Κιότο, αλλά καλύπτονται από πλήρεις κανόνες του IMO για την μείωση των εκπομπών CO₂.

Σύμφωνα με τον IMO το σημαντικότερο τεχνικό μέτρο για την μείωση των αερίων ρύπων είναι ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης (EEDI) για νέα πλοία. Μέσω του EEDI θα μπορούσε στα νέα πλοία να εισαχθεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης σε σχέση με την δυνατότητα μεταφορικού έργου ανά μίλι, για παράδειγμα tn/mile. Με την σταδιακή αυστηροποίησή του ο μηχανισμός αυτός θα οδηγούσε σε τεχνολογική βελτίωση των κατασκευών στα πλοία που επηρεάζουν τους ρύπους, μέσω πχ της κατανάλωσης των καυσίμων.

13.4 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied natural gas), ως αποτέλεσμα πολλών παραγόντων, κερδίζει συνεχώς έδαφος στην προτίμηση των πλοιοκτητών και των φορέων εκμετάλλευσης, ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του παραρτήματος IV στην χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

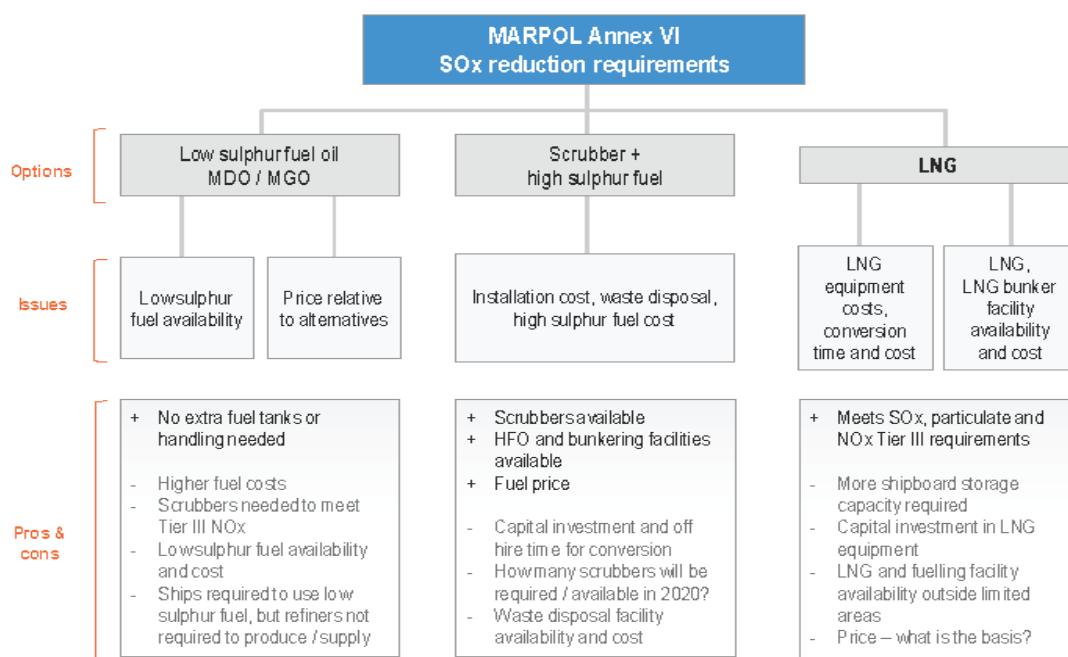
13.4.1 LNG ως καύσιμο πλοίων

Το LNG έχει χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία συστημάτων πρόωσης ντίζελ από την παράδοση του Provalys (LNG Tanker) το 2006. Σήμερα υπάρχουν 48 LNG πλοία διπλής καύσης και τριπλής καύσης ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης ντίζελ, ενώ έχουν γίνει παραγγελίες κατασκευής άλλων 85 πλοίων LNG. Η αποδεδειγμένη επιτυχία του LNG έχει οδηγήσει τους πλοιοκτήτες στην κατασκευή 30 πλοίων καύσης LNG και προς παραγγελία άλλα 30 πλοία. Οι βασικοί λόγοι που κάνουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο να φαίνεται ελκυστική εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση του παραρτήματος IV είναι οι εξής:

- Επιτρέπει στα πλοία να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του παραρτήματος IV της MARPOL, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο

συναλλαγών όσο και σε επιχειρήσεις εντός περιοχών ελέγχου ρύπων, μιας και η περιεκτικότητα του σε θείο είναι αρκετά χαμηλότερη από τις οδηγίες του παραρτήματος IV για τις περιοχές αυτές. Επιπλέον μειώνει τις εκπομπές NO_x σε επίπεδα που καλύπτει το παράρτημα IV χωρίς να απαιτούνται μεταγενέστερες μετατροπές.

- Σε ορισμένες αγορές, το κόστος του LNG και του φυσικού αερίου είναι χαμηλότερο από αυτό του πετρελαίου υψηλής περιεκτικότητας θείου, βάση της αξίας θέρμανσης.

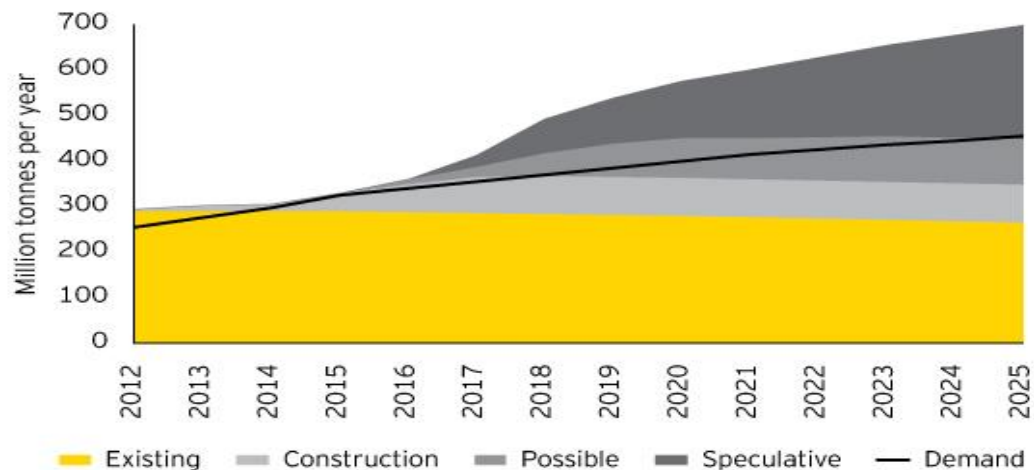


Εικόνα 13.1. Εναλλακτικές μείωσης SO_x στα επίπεδα του παραρτήματος IV της MARPOL. [66]

13.4.2 Διαθεσιμότητα LNG

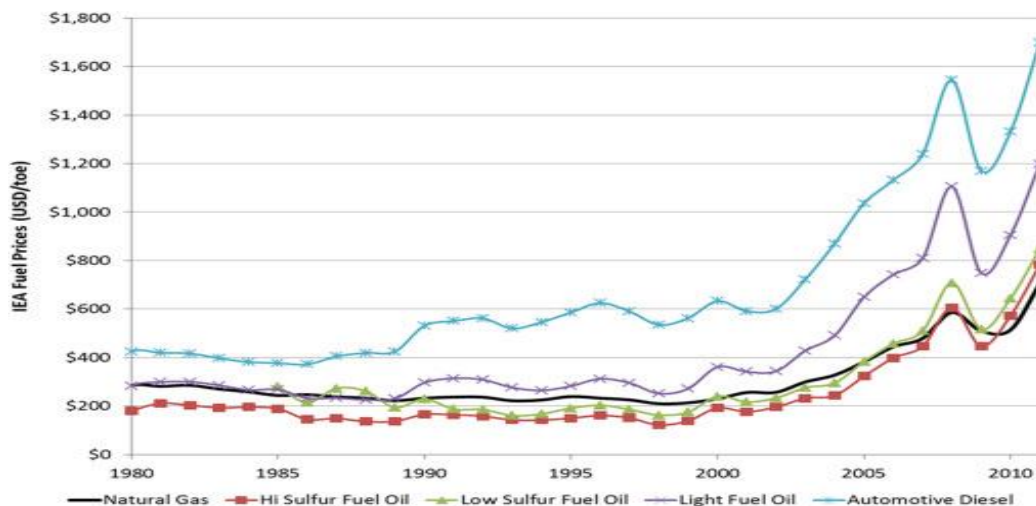
Έχουν αναφερθεί διάφορες εκτιμήσεις για την ετήσια κατανάλωση πετρελαίου για καύσιμα πλοίων. Αυτή της IEA (International Energy Agency), αναφέρει ότι η ζήτηση για το 2010 ήταν 235 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι, περιλαμβάνοντας 180 εκατομμύρια τόνους υπολειμματικών προϊόντων και 55 εκατομμύρια αποταγμένα προϊόντα. Αυτό ισοδυναμεί με 180 εκατομμύρια μετρικούς τόνους LNG, σχεδόν το 75% του παγκόσμιου εμπορίου LNG το 2012. Η παγκόσμια ζήτηση υδροποιημένου φυσικού αερίου αναμένεται να αυξάνεται περισσότερο από 5% ετησίως μέχρι το 2020. Μετά το

2020, η αύξηση της ζήτησης αναμένεται να συνεχιστεί, αν και με ελαφρώς βραδύτερο ρυθμό, καθώς οι αγορές ωριμάζουν, η ζήτηση μεταφέρεται σε πιο οικονομικά ευαίσθητους αγοραστές και ορισμένες επιδοτήσεις αφαιρούνται από τις μη OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) αγορές.



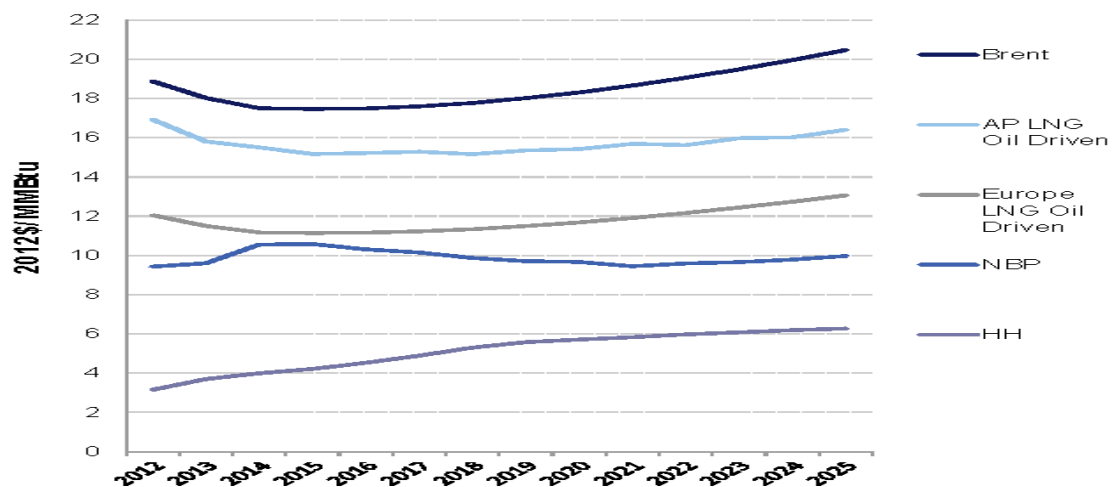
Εικόνα 13.2. Παγκόσμια ζήτηση και διάθεση σε LNG. [67]

Η παγκόσμια ζήτηση LNG έως το 2030, μπορεί ωστόσο να είναι διπλάσια από το κατ' εκτίμηση επίπεδο της ζήτησης του 2012, περίπου 250 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Η Ιαπωνία, η Νότιος Κορέα και η Ταϊβάν (συλλογικά, JKT) είναι και αναμένεται να παραμείνουν η ραχοκοκαλιά της παγκόσμιας αγοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ενώ η Κίνα και η Ινδία αναμένεται να είναι οι μεγαλύτερες πηγές κάλυψης της ζήτησης LNG. [67]



Εικόνα 13.3 Ιστορικό της παγκόσμια διακύμανσης των τιμών των καυσίμων

Η τιμή του φυσικού αερίου έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, ωστόσο το φυσικό αέριο ως καύσιμο εξακολουθεί να είναι ανταγωνιστικό έναντι των υγρών καυσίμων πετρελαίου στη ναυσιπλοΐα (Εικ. 13.3). [68]



Εικόνα 13.4 . Η πορεία των τιμών του φυσικού αερίου, του LNG και του πετρελαίου έως το 2015

Στην (Εικ. 13.4) παρουσιάζονται οι τιμές του αργού πετρελαίου (Brent), του φυσικού αερίου (Henry Hub και NBP) και του LNG (Ασία και Ευρώπη), που προβλέπονται έως το 2025. Οι χαμηλές τιμές φυσικού αερίου στις ΗΠΑ καθώς και οι τιμές του LNG στην Ευρώπη, οι οποίες κυμαίνονται κάτω από αυτές του αργού πετρελαίου, παρέχουν κίνητρα για την μετάβαση προς το υδροποιημένο φυσικό αέριο, πληρώνοντας το όριο περιεκτικότητας σε θείο 0,1% που έχει τεθεί σε ισχύ από το 2015. [66]

Βιβλιογραφία

- [1] United Nations Framework Convention on Climate Change, Kyoto Protocol, 2016, Go to: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- [2] J. Boutin, Air Pollution and Ship Emissions, Nova Science Publishers 2010.
- [3] V Eyring, J Corbett, Comparing Fuel Consumption, CO₂ and Other Emissions from International Shipping and Aircraft, Institute of Atmospheric Physics. Viewed July, 4 (2007) 2007.
- [4] Sebnem Aksoyoglu, ASH Prévôt, U Baltensperger, Contribution of Ship Emissions to the Concentration and Deposition of Pollutants in Europe: Seasonal and Spatial Variation, Air Pollution Modeling and its Application XXIV, Springer 2016, pp. 265-270.
- [5] Hulda Winnes, Erik Fridell, Emissions of NO_x and particles from manoeuvring ships, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 15 (2010) 204-211.
- [6] British Columbia, Vehicle Emissions Statistics in B.C. — Nitrogen Oxide (NO_x) Emissions from Mobile Sources, (2005). Go to: <http://www.bcairquality.ca/topics/graph-mobile-NOx.html>
- [7] Marciano Sanchez, Saritha Kamae, Kuruvilla John, Source characterization of volatile organic compounds affecting the air quality in a coastal urban area of South Texas, International journal of environmental research and public health, 5 (2008) 130-138.
- [8] E. Taylor, A. McMillan, Air Quality Management: Canadian Perspectives on a Global Issue, Springer Netherlands 2013.
- [9] United States Environmental Protection Agency, Particulate Matter, 2016, Go to: <http://www3.epa.gov/pm/basic.html>
- [10] European Union, Spatial assessment of PM₁₀ in Europe, 2016, Go to: <http://www.eea.europa.eu/publications/spatial-assessment-of-pm10-and-ozone-concentrations-in-europe-2005-1>
- [11] A.G. Spyrou, Global Climate Change and the Shipping Industry, iUniverse 2010.
- [12] International Chamber of Shipping, Comparison of CO₂ Emissions by Different Modes of Transport, 2015, Go to: <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/environmental-performance/comparison-of-co2-emissions-by-different-modes-of-transport>
- [13] Marilena Kampa, Elias Castanas, Human health effects of air pollution, Environmental pollution, 151 (2008) 362-367.

- [14] Michael J McGrath, Clíodhna Ní Scanaill, Environmental monitoring for health and wellness, Sensor technologies, Springer2013, pp. 249-282.
- [15] Harshit Agrawal, William A Welch, Svend Henningsen, J Wayne Miller, David R Cocker, Emissions from main propulsion engine on container ship at sea, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115 (2010).
- [16] Maritime, Coastguard Agency, Safety of Navigation: Implementing SOLAS Chapter V, 2002, Maritime and Coastguard Agency2002.
- [17] International Maritime Organization, IMO Guidelines on Ship Recycling, International Maritime Organization2006.
- [18] Patricia Castellanos, K Folkert Boersma, Reductions in nitrogen oxides over Europe driven by environmental policy and economic recession, Scientific reports, 2 (2012).
- [19] International Maritime Organization, Revised MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO_x Technical Code 2008, International Maritime Organization2009.
- [20] Great Britain: Parliament: House of Commons: Transport Committee, Sulphur Emissions by Ships: Sixteenth Report of Session 2010-12, Vol. 1: Report, Together with Formal Minutes, Oral and Written Evidence, Stationery Office2012.
- [21] European Environment Agency, Progress to greenhouse gas emission targets, 2015.
- [22] J. Dougill, Kyoto: A Cultural and Literary History, Signal Books2015.
- [23] E.U. von Weizsäcker, R.G. Tarasofsky, S. Oberthür, H.E. Ott, The Kyoto Protocol: International Climate Policy for the 21st Century, Springer Berlin Heidelberg2013.
- [24] E.M. Thomas-Hope, Solid Waste Management: Critical Issues for Developing Countries, Canoe Press, University of the West Indies1998.
- [25] Wikipedia, International maritime organization, 2016, Go to: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Maritime_Organization
- [26] American Bureau of Shipping, Rules for the Classification and Construction of Steel Ships, The Bureau.2013.
- [27] V Eyring, HW Köhler, A Lauer, B Lemper, Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 110 (2005).
- [28] Alexander P Burgel, Air pollution from ships: Recent developments, WMU Journal of Maritime Affairs, 6 (2007) 217-224.
- [29] Bureau Veritas, 2016, Exhaust Scrubbers, Go to: <https://www.linkedin.com/topic/scrubbers>

- [30] Paul Gilbert, From reductionism to systems thinking: How the shipping sector can address sulphur regulation and tackle climate change, *Marine Policy*, 43 (2014) 376-378.
- [31] D.J. Eyres, G.J. Bruce, *Ship Construction*, Butterworth-Heinemann 2012.
- [32] Christer Westerdahl, Maritime cultures and ship types: brief comments on the significance of maritime archaeology, *International Journal of Nautical Archaeology*, 23 (1994) 265-270.
- [33] J.M. Flammang, *Cargo Ships*, Cherry Lake Publishing 2008.
- [34] Shippipedia, Marine Cargo, 2016, Go to: <http://www.shippipedia.com/marine-cargo/>
- [35] Largest Ships in the World, Biggest container ships-industry overview, 2016, Go to: <http://www.largestships.com/biggest-container-ship/>
- [36] Wikipedia, Shipping container architecture, 2016, Go to: https://en.wikipedia.org/wiki/Shipping_container_architecture
- [37] U.S. Energy Information Administration, Oil tanker sizes range from general purpose to ultra-large crude carriers on AFRA scale, 2016, Go to: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=17991>
- [38] J. Alter, *Passenger Ships*, Cherry Lake Publishing 2008.
- [39] GeoGarage, Too big to sail? Cruise ships face scrutiny, 2016, Go to: <http://blog.geogarage.com/2013/11/too-big-to-sail-cruise-ships-face.html>
- [40] Oliver J. A. Howitt, Vincent G. N. Revol, Inga J. Smith, Craig J. Rodger, Carbon emissions from international cruise ship passengers' travel to and from New Zealand, *Energy Policy*, 38 (2010) 2552-2560.
- [41] Haakon Lindstad, Bjørn E. Asbjørnslett, Anders H. Strømman, Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds, *Energy Policy*, 39 (2011) 3456-3464.
- [42] Regera, Direct-drive, 2016, Go to: http://1hosj01irnixn8onr1zmv5s1.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/03/Illustration_Direct_Drive_v2-930x529.jpg
- [43] Vulcan, Two-Stroke Main Propulsion Drive with Reduction Gear, 2016, Go to: <http://www.vulkan.com/en-us/couplings/applications/marine-propulsion/tanker/two-stroke-main-propulsion-drive-with-reduction-gear>
- [44] Lamar Stonecypher, Diesel-Electric Marine Propulsion, 2011, Go to: <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/86300-diesel-electric-marine-propulsion/>

- [45] Lamar Stonecypher, 2011, Nuclear Propulsion System for Ships using Small Nuclear Power Plants, Go to: <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/26364-nuclear-propulsion-system-for-ships-using-small-nuclear-power-plants/>
- [46] J. Carlton, Marine Propellers and Propulsion, Butterworth-Heinemann 2012.
- [47] Kenneth Sleight, 2011, Jet Engines for Marine Propulsion, Go to: <http://www.brighthubengineering.com/naval-architecture/61952-jet-engines-for-marine-propulsion/>
- [48] Marine Engineering Study Materials, 2011, Air Motor Starting System for Auxiliary Engines on Ships, Go to: <http://marineengineeringonline.com/air-motor-starting-system-for-auxiliary-engines/>
- [49] C.H. Hughes, Handbook of Ship Calculations, Construction and Operation: A Book of Reference for Shipowners, Ship Officers, Ship and Engine Draughtsmen, Marine Engineers, and Others Engaged in the Building and Operating of Ships, BiblioLife 2015.
- [50] Operational Information, 2016, Large Marine Diesel Engines Go to: http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/air_start.htm
- [51] Kenneth Sleight, 2013, Role Of Compressed Air In Starting a Marine Diesel Engine, Go to: <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/41105-role-of-compressed-air-in-engine-starting/>
- [52] Refining, Oil and Gas Production Handbook, 2016, Go to: <http://oilandgasproductionhandbook.blogspot.gr/2014/01/refining.html>
- [53] George Totten, Fuels and Lubricants Handbook, USA, 2003.
- [54] P. Chartier, G.L. Ferrero, U.M. Henius, S. Hultberg, J. Sachau, M. Wiinblad, Biomass for Energy and the Environment, Elsevier Science 2012.
- [55] E. Dahlquist, Biomass as Energy Source: Resources, Systems and Applications, CRC Press 2013.
- [56] Ε.Δ. Παρεντης, Ιστορία της Κεφαλονιάς: Κεφαλονιά, η πολυαγαπημένη μας, Ε. Parentēs 1982.
- [57] United States. Naval Military Personnel Command, Italian port guide: Bari, Brindisi, Taranto, [Dept. of Defense], Navy Dept., Naval Military Personnel Command 1979.
- [58] F.C. Lane, Venice, A Maritime Republic, Johns Hopkins University Press 1973.
- [59] A.L. Sorensen, G. Garvey, G. Ward, J. Brown, S. Baskett, The Balearic Islands Rough Guides Snapshot Spain (includes Ibiza, Formentera, Mallorca and Menorca), Rough Guides Limited 2012.
- [60] S. Bryant, Ibiza and Formentera, New Holland Publishers, Limited 2007.

- [61] Merchant., The Importance of the Island of Minorca and Harbour of Port-Mahon, Fully and Impartially Considered. With a History and Description of Both, in a Letter from a Merchant to a Noble Lord, BiblioBazaar2010.
- [62] J. Oliver, Croatia Traveller's Dalmatia: Split to Dubrovnik: A travel guide to the coast and islands between Split and Dubrovnik, Croatia, Croatia Traveller2014.
- [63] JAMES J. CORBETT, Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong, , 2012
- [64] Carbon Footprinting for Ports Guidance Document. WPCI (World Ports Climate Initiative), 2010.
- [65] Διπλωματική Εργασία Καλλιόπης Πιτσιρίκου :Υπολογισμός αέριας μόλυνσης σε λιμάνια: η περίπτωση του λιμανιού του Ηρακλείου (Χανιά 2013)
- [66] Frederick Adamchak, Amokeye Adede, Poten & Partners, LNG AS MARINE FUEL, 2016, Go to: http://www.gastechnology.org/Training/Documents/LNG17-proceedings/7-1-Frederick_Adamchak.pdf
- [67] EY, Global LNG: New pricing ahead? LNG demand growth, 2016, Go to: <http://www.ey.com/GL/en/Industries/Oil---Gas/Global-LNG--New-pricing-ahead--LNG-demand-growth>
- [68] Heather Thomson,James J. Corbett,James J. Winebrake, Natural gas as a marine fuel, Energy Policy, Elsevier, December 2015, Go to: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515300665#s0150>
- [70] IMO,30 YEARS AT ALBERT EMBANKMENT 1983 – 201330, Go to: <http://www.imo.org>