



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ”**

Τίτλος ΜΔΕ

Εξόρυξη δεδομένων σε δεδομένα ναυτιλίας

Από / by

Ιωάννα Φανουρία Ισαάκογλου

Ioanna Fanouria Isaakoglou

Υποβάλλεται

για την εκπλήρωση των προϋποθέσεων λήψης

Μεταπτυχιακού Διπλώματος

στην ειδίκευση «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

του ΠΜΣ “Πληροφοριακά Συστήματα & Υπηρεσίες”

στο

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Φεβρουάριος 2024

Επιβλέπων/Επιβλέπουσα: Φιλιππάκης Μιχαήλ

Ακαδημαϊκή Θέση: Καθηγητής

Submitted

in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of “ADVANCED INFORMATION SYSTEMS”

at the

UNIVERSITY OF PIRAEUS

February 2024

Thesis Supervisor: Filippakis Michael

Title: Professor

Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Κάτοχος όλων των δικαιωμάτων

University of Piraeus,. All rights reserved.

Συγγραφέας / Author Ιωάννα Φανουρία Ισαάκογλου/ Ioanna Fanouria Isaakoglou

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή/Φοιτήτριας: Ισαάκογλου Ιωάννα Φανουρία

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας: Εξόρυξη δεδομένων σε
δεδομένα ναυτιλίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία υποβάλλεται ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Πληροφοριακά Συστήματα & Υπηρεσίες” του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς και εγκρίθηκε στις 26/11/2023 από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων/ουσα (Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς) Φιλιππάκης Μιχαήλ,
Καθηγητής

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Δημοσθένης Κυριαζής, Καθηγητής

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Ανδρέας Μενύχτας, Επίκουρος Καθηγητής

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο/Η Ιωάννα Φανουρία Ισαάκογλου γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Εξόρυξη δεδομένων σε δεδομένα ναυτιλίας» αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει, έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την

κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Επιπλέον δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει αξιολογηθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου. Σε κάθε περίπτωση, αναληθούς ή ανακριβούς δηλώσεως, υπόκειμαι στις συνέπειες που προβλέπονται τις διατάξεις που προβλέπει η Ελληνική και Κοινοτική Νομοθεσία περί πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ο/Η ΔΗΛΩΝ/ΟΥΣΑ

Ονοματεπώνυμο: Ιωάννα Φανουρία Ισαάκογλου

Αριθμός Μητρώου: AM2045

Υπογραφή:



Εξόρυξη δεδομένων σε δεδομένα ναυτιλίας

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική μελετάμε τις εκπομπές ρύπων των πλοίων. Συγκεκριμένα ξεκινάμε με μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών όσον αφορά τα συστήματα AIS και τις εκπομπές των ρύπων, στη συνέχεια δημιουργούμε ένα σύστημα μοντελοποίησης και πρόβλεψης εκπομπών ρύπων μέσω πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης τα δεδομένα του ποιου τα λαμβάνουμε μέσω συστημάτων AIS. Τέλος ελέγχουμε την αξιοπιστία του συστήματος με διάφορες μεθόδους σφαλμάτων και στατιστικών στοιχείων.

Abstract

In this diploma thesis we study the emissions of ships. Specifically, we start with a literature review of the research on AIS systems and pollutant emissions, then we create a system for modeling and predicting pollutant emissions through multiple linear regression data of who receives them through AIS systems. Finally, we check the reliability of the system with various methods of errors and statistics.

Περιεχόμενα

Πίνακας εικόνων.....	10
Εισαγωγή	12
Δομή.....	15
Στόχοι διπλωματικής.....	16
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή στα δεδομένα AIS.....	16
1.1 Τύπο AIS	17
1.2 Η χρήση του AIS	19
Κεφάλαιο 2 ^ο Παγκόσμιος στόλος και παράμετροι κίνησης.....	20
2.1 Είδη πλοίων.....	27
2.2 Μέγεθος πλοίων	33
2.3 Εκπομπές ρύπων	35
2.4 Αντίσταση	40
2.5 Προπέλεις.....	44
2.6 Πρόβλεψη ισχύος	46
2.7 Απόδοση πρόωσης.....	46
Κεφάλαιο 3 ^ο Μοντέλα ισχύς και κατανάλωση καυσίμου στα πλοία.....	47
3.1 Πρόβλεψη ισχύος με χρήση εμπειρικών μεθόδων	47
3.2 Κατανάλωση καυσίμου	48
3.3 Εκπομπές γενικά και στη ναυτιλία	54

Κεφάλαιο 4 ^ο Μεθοδολογία έρευνας	54
4.1 Συλλογή δεδομένων	55
Κεφάλαιο 5 ^ο Αποτελέσματα έρευνας	59
5.1 Περιγραφική ανάλυση.....	60
5.2 Αποτελέσματα κατανάλωσης και καύσης	61
5.3 Ανάλυση συσχέτισης μεταβλητών	62
5.4 Γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης	65
5.5 Έλεγχος καταλληλότητας μοντέλου	67
5.5.1 Q-Q Plot	67
5.5.2 R^2	68
5.5.3 RSE.....	69
5.6 Πρόβλεψη κατανάλωσης CO ²	69
Κεφάλαιο 6 ^ο Συμπεράσματα.....	72
Αναφορές	74
Παράρτημα.....	74
Υπολογισμός καύσης & καυσαερίων.....	76

Πίνακας εικόνων

Figure 1 Ρυθμός ανάπτυξης του παγκόσμιου εμπορίου μέσω της ναυτιλίας και του παγκόσμιου ακαθάριστου εθνικού προϊόντος	13
Figure 2 Ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου ανά τύπο εμπορεύματος με δείκτη το 1990 για τα έτη 1990-2019	14
Figure 3 Αριθμός πλοίων ανά κατηγορία.....	25
Figure 4 Αριθμός πλοίων ανά οικονομία	26
Figure 5 Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην φορτίου	27
Figure 6 πετρελαιοφόρα	28
Figure 7 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	29
Figure 8 Ταχύτητα σχεδιασμού για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (MAN Diesel & turbo, 2011).	30
Figure 9 RO-RO	31
Figure 10 AHTS/PSV	32
Figure 11 Economic impact for marine diesel engines	36
Figure 12 Τυπικά εύρη αποδοτικότητας των εκπομπών CO ₂ των πλοίων σε σχέση με οδικές και σιδηροδρομικές	37
Figure 13 Συνολική αντίσταση ρυμούλκησης πλοίου (MAN Diesel & turbo, 2011).	43
Figure 14 Προπέλα πλοίου.....	45
Figure 16 Καμπύλη SFC	50

Figure 17 κατανομή της χρήσης τύπου καυσίμου στη ναυτιλία από το 2007 έως το 2011	52
Figure 18 Συνδυασμός καυσίμων κινητήρων/τύπος πλοίων	53
Figure 19 σχέση λειτουργίας κινητήρα με απόδοση	54
Figure 20 Περιοχή μελέτης	56
Figure 21 κυματισμός περιοχής	57
Figure 22 Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου	58

Εισαγωγή

Ο κλάδος των θαλάσσιων μεταφορών έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον κλάδο των μεταφορών στο σύνολό του μετά την ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου, και έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη της οικονομίας των κρατών . Ο συνολικός όγκος του διεθνούς θαλάσσιου εμπορίου αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, η ναυτιλία είναι σημαντική για το παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο και η ποσότητα των φορτίων που μεταφέρονται αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες.

Η σχέση που παρατηρείται μεταξύ του ρυθμού αύξησης του παγκόσμιου ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (GDP) και της ανάπτυξης των ναυτιλιακών μεταφορών στο επόμενο Διάγραμμα και αντικατοπτρίζει τη σημασία της ναυτιλίας με την παγκόσμια οικονομία



Figure 1 Ρυθμός ανάπτυξης του παγκόσμιου εμπορίου μέσω της ναυτιλίας και του παγκόσμιου ακαθάριστου εθνικού προϊόντος

Η ανάπτυξη κάθε κατηγορίας πλοίων τα τελευταία 30 χρόνια σε σύγκριση με το 1990 αποτυπώνεται στο επόμενο Διάγραμμα .

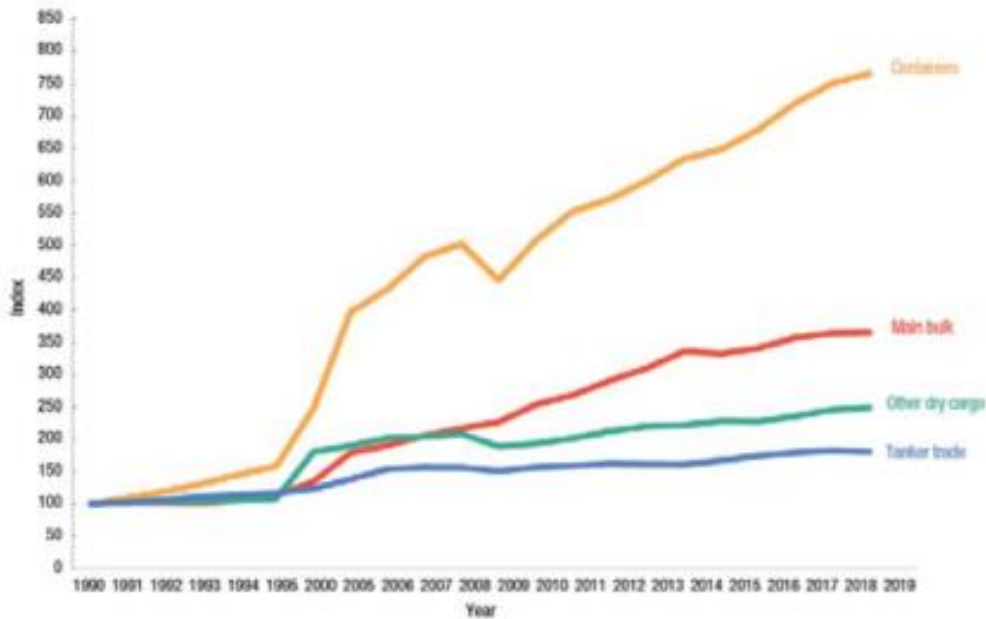


Figure 2 Ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου ανά τύπο εμπορεύματος με δείκτη το 1990 για τα έτη 1990-2019

Ο αυξημένος όγκος των θαλάσσιων μεταφορών καταναλώνει τεράστια ποσότητα καυσίμων και καθώς η τιμή των καυσίμων συνεχίζει να αυξάνεται, οι εταιρείες που εκμεταλλεύονται πλοία αντιμετωπίζουν τεράστια οικονομική πίεση. Στην πραγματικότητα, το κόστος καυσίμων για τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 58% και το 78% του συνολικού λειτουργικού κόστους, αντίστοιχα (Ballou, 2013). Μια άλλη παρενέργεια του σημαντικού όγκου των θαλάσσιων μεταφορών είναι η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τα πλοία. Κατά συνέπεια, η υπερθέρμανση του πλανήτη και διάφορα ζητήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν εμφανιστεί. Οι παγκοσμίως εκτιμώμενες εκπομπές άνθρακα από τα πλοία, το 2019, ήταν περίπου 938 εκατομμύρια τόνοι, αντιπροσωπεύοντας το

2,6% των παγκόσμιων συνολικών εκπομπών άνθρακα (Bagoulla & Guillotreau, 2020). Εάν δεν ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου, αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% έως 250% έως το 2050 (IMO, 2014). Η βιβλιογραφία αποδεικνύει επίσης ότι τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τα πλοία περιλαμβάνουν κυρίως SO₂, NO_x, CO₂ που είναι βλαβερές για το περιβάλλον. Για όλα τα παραπάνω θεωρούμε σημαντικό να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πραγματικού χρόνου που μπορεί να προβλέψει την κατανάλωση καυσίμων

Δομή

Η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε 6 κεφάλαια.

- Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύουμε τις βασικές έννοιες όπως τα δεδομένα AIS και τον ρόλο των συστημάτων αυτών στα πλοία
- στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάμε τον παγκόσμιο στόλο και τις παραμέτρους που επηρεάζουν την κίνηση των πλοίων όπως το μέγεθος των πλοίων, τις εκπομπές την πρόβλεψη ισχύς και άλλα.
- στο τρίτο κεφάλαιο μελετάμε τα μοντέλα ισχύς και κατανάλωσης καυσίμου στα πλοία.
- στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε τη μεθοδολογία της έρευνας και τη συλλογή δεδομένο
- στο πέμπτο κεφάλαιο ερευνούμε την κατανάλωση καυσίμου, την περιγραφική ανάλυση των δεδομένων που έχουμε βρει καθώς και την ανάλυση συσχέτισης των μεταβλητών και τέλος εφαρμόζουμε μια πολλαπλή

ανάλυση παλινδρόμησης καθώς και ελέγχουμε την καταλληλότητα του μοντέλου με βάση τα δεδομένα και τέλος, γίνεται η πρόβλεψη κατανάλωσης διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με την εξίσωση παλινδρόμησης που έχουμε βρει

- τέλος στο έκτο κεφάλαιο είναι τα συμπεράσματα της διπλωματικής.

Στόχοι διπλωματικής

Σε αυτή τη μελέτη, ερευνούμε την κατανάλωση καυσίμων πλοίων. Για τη διαδικασία πρόβλεψης, διάφορες παράμετροι που σχετίζονται με το πλοίο, όπως το φορτίο ή μέση ταχύτητα, το μήκος του πλοίου καθώς και η ιπποδύναμη του κινητήρα συλλέγονται από δεδομένα συστημάτων AIS. Το σύνολο δεδομένων εκτελείτε σε R, Matlab και excel. Η επιτυχία της εκτίμησης αξιολογείται με μετρήσεις σφάλματος.

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή στα δεδομένα AIS

Το Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης (AIS) είναι ένα σύστημα επικοινωνίας που εισήχθη το 2002, για να ενισχύσει: την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα. την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας· και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος (ΔΝΟ, 2003). Τα μηνύματα μεταξύ των πλοίων, και με

έναν σταθμό βάσης στην ξηρά, λαμβάνονται είτε από πλοία και χερσαίους σταθμούς και δορυφόρους. Το AIS χρησιμοποιεί ένα σύστημα πολύ υψηλής συχνότητας (VHF). Ένα καθορισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας με συγκεκριμένες πληροφορίες μεταδίδεται από το πλοίο, το οποίο διαιρείται σε στατικά δεδομένα και δυναμικά δεδομένα που σε εισαγωγικό πλαίσιο δεν χρειάζεται να αναλυθεί περισσότερο. Τον τελευταίο καιρό έχουν εκτοξευθεί ειδικοί δορυφόροι, οι οποίοι λαμβάνουν μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων AIS και έχουν ευρύτερη κάλυψη. Αυτό ονομάζεται S-AIS.

Οι κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση AIS παρέχονται από τη SOLAS. Διευκρινίζει μεταξύ άλλων ότι τα πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 300 τόνων που εκτελούν διεθνείς πλόες, τα φορτηγά πλοία χωρητικότητας 500 κόρων ολικής χωρητικότητας και άνω που δεν εκτελούν διεθνείς πλόες, καθώς και όλα τα επιβατηγά πλοία που ναυπηγήθηκαν μετά το 2002, θα πρέπει να διαθέτουν σύστημα AIS (ΔΝΟ, 2003). Μέχρι τις 31 Μαΐου του 2013, τα πλοία άνω των 18 μέτρων έπρεπε επίσης να έχουν εγκατεστημένο το AIS κατηγορίας Α. Αυτό επρόκειτο αργότερα να εφαρμοστεί σε όλα τα πλοία άνω των 15 μέτρων μέχρι τις 31 Μαΐου. 2014 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).. Η κάλυψη θα εξαρτηθεί κυρίως από το ύψος της κεραίας, ενώ το γύρω γεωγραφικό τοπίο και τα ύψη συμβάλλουν επίσης όσον αφορά την εμβέλεια.

1.1 Τύπο AIS

Υπάρχει το AIS κατηγορίας A και του εξοπλισμού κατηγορίας B. Η κατηγορία A αναφέρει αυτόνομα τη θέση του πλοίου κάθε 2-10 δευτερόλεπτα. Αυτό θα εξαρτηθεί από την ταχύτητα και την πορεία του σκάφους. Η αναφορά είναι λιγότερο συχνή όταν είναι αγκυροβολημένη, μόνο κάθε τρία λεπτά. Οι στατικές πληροφορίες του σκάφους και οι σχετικές πληροφορίες με το ταξίδι και αναφέρονται κάθε 6 λεπτά. Η κατηγορία A μπορεί επίσης να αποστέλλει πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια, μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα, ηλεκτρονική μετάδοση και άλλες πληροφορίες για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Ο εξοπλισμός κατηγορίας B μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μαζί με όλους τους σταθμούς βάσης AIS, αλλά δεν πληροί όλα τα πρότυπα απόδοσης που έχει υιοθετήσει ο IMO. Όσο για αυτή την κατηγορία το πλοίο πρέπει να αναφέρει κάθε τρίτο λεπτό ή λιγότερο όταν είναι αγκυροβολημένο. Όσον αφορά τη θέση τους τα μηνύματα αποστέλλονται λιγότερο συχνά και σε χαμηλότερη ισχύ. Τα στατικά δεδομένα αναφέρονται κάθε 6 λεπτά. Μπορούν να λαμβάνουν μόνο μηνύματα που σχετίζονται με την ασφάλεια (Navcen, 2016)

Συνολικά το AIS περιέχει 27 διαφορετικούς τύπους μηνυμάτων που μπορούν να μεταδοθούν. Από στατικά δεδομένα δίνονται πληροφορίες όπως ο προορισμός και τα χαρακτηριστικά του πλοίου, ενώ οι δυναμικές λεπτομέρειες πλοήγησης δεδομένων, η ταχύτητα και τα δεδομένα από αισθητήρες είναι μερικά από τα βασικά δεδομένα (Maritime & Coastguard Agency, 2016).

1.2 Η χρήση του AIS

Με την εισαγωγή της υποχρεωτικής υποβολής εκθέσεων AIS το 2002. Το AIS εισήχθη κυρίως ως σύστημα για την αποφυγή συγκρούσεων. Ωστόσο, σήμερα υπάρχουν αρκετοί τρόποι χρήσης του AIS. Επιπλέον, πρόσθετες πληροφορίες μπορούν επίσης να προστεθούν σε ένα μήνυμα AIS. Αξίζει να αναφερθεί και που είναι σχετικό με την μοντελοποίηση της διπλωματικής ότι έχει γίνει μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου και έχει χρησιμοποιηθεί το AIS ως εργαλείο για την εκτίμηση των παγκόσμιων απογραφών εκπομπών από τη ναυτιλία. Η υποχρεωτική υποβολή εκθέσεων AIS έχει οδηγήσει σε σημαντικά βελτιωμένες εκτιμήσεις εκπομπών από τη ναυτιλία. Η θαλάσσια κυκλοφορία είναι ένα από τα πολλά μέρη όπου μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες σχετικά με τα πλοία μέσω του AIS (Smith , et al., 2014)

Η κίνηση από το AIS μπορεί να μελετηθεί σε πολλούς ερευνητικούς τομείς όπου χρησιμοποιείται το AIS. Μερικά από αυτά είναι : Μελέτη των θαλάσσιων τηλεπικοινωνιών που αφορά τις παραμέτρους αποτελεσματικότητας και διάδοσης και, δεύτερον μπορούμε χαρακτηριστικά να αναφέρουμε, προσομοίωση των κινήσεων των πλοίων με σκοπό τη συμβολή στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και την αντιμετώπιση κρίσιμων συμβάντων.

Επιπλέον, άλλα παραδείγματα είναι ο σχεδιασμός διαδραστικών πληροφοριακών συστημάτων, ο σχεδιασμός βάσεων δεδομένων που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και η στατιστική επεξεργασία της κίνησης των λιμένων με

εφαρμογές στην επιχειρησιακή έρευνα. Πρόσθετα παραδείγματα που δίνονται και από τον IMO είναι ο σχεδιασμός μοντέλων για τον εντοπισμό της προέλευσης συμβάντων που σχετίζονται με τη ρύπανση και που θα αντλήσουμε από εκεί μερικά στοιχεία στο ερευνητικό μέρος, ο σχεδιασμός αποτελεσματικών αλγορίθμων για την αξιολόγηση της θαλάσσιας διαδρομής και για τον προσδιορισμό του εκτιμώμενου χρόνου άφιξης των πλοίων. Τα τελευταία παραδείγματα που δίνονται είναι η συσχέτιση των πληροφοριών που συλλέγονται με τα δεδομένα καιρού (Smestad, 2015).

Κεφάλαιο 2^ο Παγκόσμιος στόλος και παράμετροι κίνησης

Από τότε που η πρώτη αποστολή στάλθηκε δια θαλάσσης πριν από περισσότερα από 5.000 χρόνια, η ναυτιλία βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της παγκόσμιας ανάπτυξης. Τα ταξίδια του Κολόμβου, του Ντίαζ και του Μαγγελάνου άνοιξαν τους θαλάσσιους δρόμους του κόσμου και ο άνθρωπος έφτιαξε υπερδεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και πολύπλοκους στόλους πλοίων που μεταφέρουν έναν τόνο αγαθών κάθε χρόνο για όλους στον κόσμο. Η τεράστια ναυτιλιακή έκρηξη του 2004 έχει μετατρέψει ολόκληρη τη βιομηχανία σε λίγο περισσότερο από ένα χρόνο, καθιστώντας τους επενδυτές της έναν από τους πλουσιότερους ανθρώπους στον κόσμο. Να αναφέρουμε το Handysize είναι ένας αρχιτεκτονικός όρος του ναυτικού για μικρά πλοία

μεταφοράς χύδην φορτίου ή δεξαμενόπλοια με φέρουσα ικανότητα όχι μεγαλύτερη από 50.000 τόνους (Marine Study, 2015).

Το μικρό τους μέγεθος επιτρέπει στα πλοία αυτά να εισέρχονται σε μικρότερα λιμάνια για την παραλαβή αγαθών και επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εξοπλισμένα με γερανούς, μπορούν συχνά να φορτώνουν και να εκφορτώνουν φορτίο σε λιμάνια που δεν διαθέτουν γερανούς ή άλλα συστήματα χειρισμού φορτίων. Σε σύγκριση με τους μεγάλους μεταφορείς χύδην φορτίου, το Handysize μεταφέρει περισσότερους τύπους φορτίου. Τα εύχρηστα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου ασχολούνται κυρίως με τη μεταφορά μικρών φορτίων χύδην φορτίων και σιτηρών, αλλά μπορούν επίσης να μεταφέρουν σιδηρομετάλλευμα και άνθρακα. Τα μεταφερόμενα αγαθά είναι συνήθως φθηνά και έχουν χαμηλές απαιτήσεις για την ταχύτητα παράδοσης. Επί του παρόντος, περισσότερο από το 50% των παγκόσμιων αποστολών σιτηρών διεκπεραιώνονται από σκάφη Handysize, επειδή οι εσωτερικές διαδρομές μεταφοράς εξάγονται ως επί το πλείστον από ανεπτυγμένες χώρες σε μη ανεπτυγμένες χώρες (Turbo & MAN, 2011)

Τα μικρά φορτία χύδην περιλαμβάνουν κυρίως σιδηρομετάλλευμα νικελίου, και τσιμέντου, χάλυβα, λιπάσματα, μέταλλευμα μαγγανίου, θείο, αλάτι, βωξίτη, ζάχαρη, οπτάνθρακα πετρελαίου και δασικά προϊόντα. Κρίνοντας από έναν μόνο τύπο αγαθών, έχουν μικρό αντίκτυπο στην παγκόσμια αγορά αποστολής χύδην ξηρού φορτίου. Ωστόσο, εάν όλα τα φορτία χύδην συνδυάζονται, ο αντίκτυπος και ο ρόλος τους δεν μπορούν να αγνοηθούν. Αυτά τα φορτία είναι ευρέως καταναμεμημένα και μικρού όγκου. Τα εύχρηστα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου κατασκευάζονται κυρίως από ναυπηγεία στην Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα, την Κίνα,

το Βιετνάμ, τις Φιλιππίνες και την Ινδία, αν και άλλες χώρες έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάσουν τέτοια πλοία. Οι πιο συνηθισμένοι μεταφορείς χύδην φορτίου έχουν τώρα περίπου 32,000 μετρικούς τόνους φορτίου κατά τη διάρκεια ενός βυθίσματος περίπου 10 μέτρων (33 πόδια) και έχουν 5 αμπάρια φορτίου με υδραυλικά καλύμματα καταπακτής και από 4 έως 30 τύπους γερανών για τη διακίνηση φορτίων.

Είναι εύχρηστο ότι έχουν επίσης πυλώνες που επιτρέπουν τη στοίβαξη του ξύλου στο κατάστρωμα. Παρά τις πρόσφατες παραγγελίες για νέα πλοία, τα πλοία αυτά εξακολουθούν να είναι τα υψηλότερα στη μέση ηλικία των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου. Στην πραγματικότητα, η αγορά πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου έχει εξελιχθεί σε μεγάλη κλίμακα.

Με τη βελτίωση των λιμανιών παγκοσμίως τα τελευταία 20 χρόνια, έχει προκύψει μια νέα γενιά μεγάλων 40.000-6.000 dwt Handy bulk carriers,. Το «κέντρο» της αγοράς τώρα είναι τα bulk carrier τύπου Panamax με 60.000 έως 100.000 DWTs και μεταφέρει άνθρακα, σιτηρά, βωξίτη και φορτία χύδην. Αυτά τα πλοία ονομάζονται πλοία Panamax επειδή μπορούν να περάσουν από τη διώρυγα του Παναμά, αλλά τα μεγαλύτερα πλοία στην περιοχή είναι πολύ μεγάλα για να το κάνουν, τουλάχιστον μέχρι να επεκταθούν τα κανάλια. Στο άλλο άκρο, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου 100.000 έως 300.000 dwt εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το εμπόριο σιδηρομεταλλεύματος και άνθρακα. Υπάρχουν πολλές ανταλλαγές μεταξύ αυτών των ομίλων μεγάλης κλίμακας, και η τελική επιλογή είναι να γίνει μια αντιστάθμιση μεταξύ του κόστους και της ευελιξίας του φορτίου: τα μικρά

πλοία είναι ευέλικτα αλλά ακριβά, ενώ τα μεγάλα πλοία γίνονται φθηνότερα και άκαμπτα στις κινήσεις τους (Marine Study, 2015).

Το βασικό σχεδιαστικό χαρακτηριστικό είναι η ικανότητα των γερανών να εισέρχεται στα αμπάρια φορτίου και στον εξοπλισμό διακίνησης φορτίου. Η διατήρηση του σχεδιασμού είναι σημαντική επειδή αγαθά όπως ο άμμος μπορούν εύκολα να μεταφερθούν και, εάν αφεθούν ανεξέλεγκτα, μπορούν να ανατραπούν πάνω από το πλοίο. Για να αποφευχθεί αυτό, οι μεταφορείς χύδην φορτίου έχουν συνήθως μια αυτόματη δεξαμενή κοπής στην οποία η επάνω πλευρική δεξαμενή είναι κεκλιμένη έτσι ώστε το κοκκώδες φορτίο να μπορεί να φορτωθεί. Σήμερα, τα περισσότερα πλοία μετακινούνται εντός περιφερειακών εμπορικών οδών. Τα πλοία αυτά είναι σε θέση να ταξιδεύουν σε μικρούς λιμένες με περιορισμούς μήκους και σχεδίου και έλλειψη υποδομών διακίνησης φορτίων. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μικρών χύδην φορτίων και είναι σύνηθες να αποστέλλεται σε δέματα διαφορετικών εμπορευμάτων.

Η τιμή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η παγκόσμια πολιτική, η οικονομία και οι τιμές του πετρελαίου. Ως αποτέλεσμα, η αγορά είναι ασταθής και έχει υψηλούς κινδύνους. Ταυτόχρονα, η διεθνής αγορά ναυτιλίας χύδην ξηρού φορτίου είναι μια απόλυτα ανταγωνιστική αγορά. Σε αυτή την αγορά, ο επιχειρηματικός στόχος της ναυτιλιακής εταιρείας είναι να επιτύχει το υψηλότερο ποσό απόδοσης με την ελάχιστη επένδυση ελαχιστοποιώντας παράλληλα τους κινδύνους. Τα εύχρηστα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου αποτελούν σημαντικό μέρος της διεθνούς αγοράς αποστολής χύδην ξηρού φορτίου και καταλαμβάνουν ένα ορισμένο ποσοστό στα διεθνή συστήματα μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου.

Σε σύγκριση με τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου Capesize και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου του panamax, ο όγκος των φορτίων που διακινούνται από τα Handysize είναι σχετικά μικρός, αλλά οι τύποι αγαθών που μεταφέρουν είναι αρκετοί. Τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου Capesize και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου Panamax μεταφέρουν κυρίως χύδην φορτία όπως σιδηρομετάλλευμα, άνθρακα και σιτηρά (Marine Study, 2015).

Αυτοί οι τύποι φορτίου είναι σχετικά σταθεροί στις περιοχές προσφοράς και στα μέρη προσφοράς και ζήτησης, και έχουν ορισμένες απαιτήσεις για το βύθισμα του λιμένα και άλλες συνθήκες. Η διαδρομή αυτών των δύο τύπων πλοίων είναι βασικά σταθερή. Τα Handysize χύδην φορτίου είναι πιο ελαστικά όσον αφορά το φορτίο και τα δρομολόγια λειτουργίας τους είναι επίσης πιο ευέλικτα.

Να αναφέρουμε εδώ ότι ο παγκόσμιος στόλος εμπορευματοκιβωτίων είναι περίπου το 65% του παγκόσμιου στόλου συνολικά. Περίπου το 90% όλων των μεταφορών μεταφέρονται με διεθνή ναυτιλία. Ο επόμενος πίνακας αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ του στόλου φορτίου και του συνολικού παγκόσμιου στόλου

παγκόσμιου στόλου φορτίου	57, 829
Συνολικός Παγκόσμιος Στόλος	88, 483

Πηγή <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/>

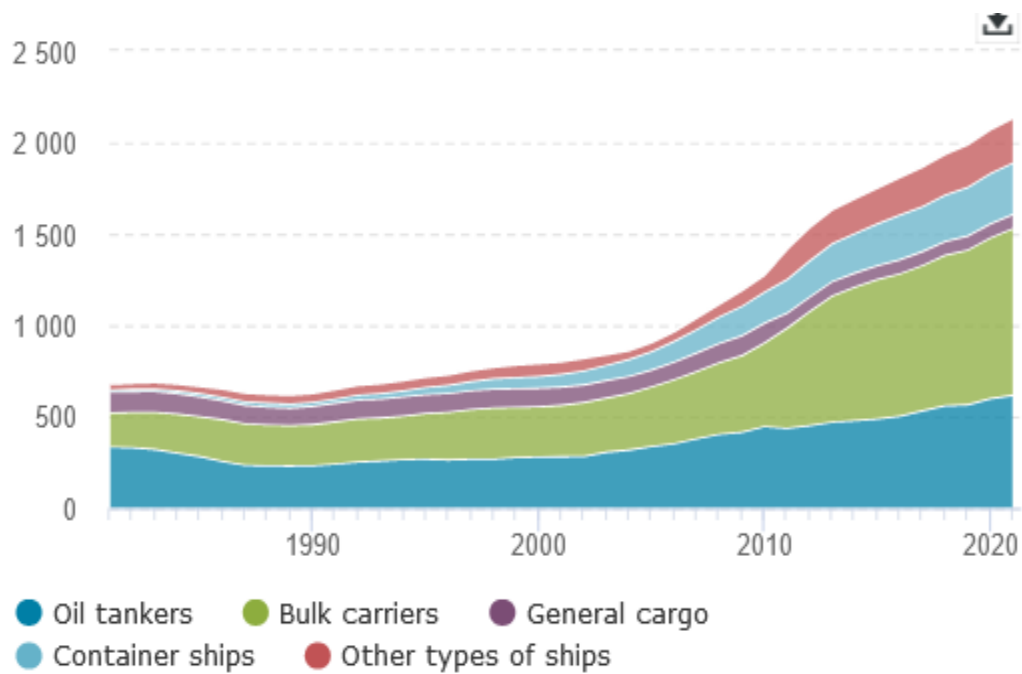


Figure 3 Αριθμός πλοίων ανά κατηγορία

Πηγή Πηγή <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/>

Group of economies	2016				2021			
	Tonnage		Vessels		Tonnage		Vessels	
	Total (Millions of dwt)	Share in world (Percentage)	Total (Thousands)	Share in world (Percentage)	Total (Millions of dwt)	Share in world (Percentage)	Total (Thousands)	Share in world (Percentage)
World	1 811	100.0	92	100.0	2 135	100.0	100	100.0
Developed economies	423	23.3	29	31.4	454	21.3	29	29.2
Developing economies	1 384	76.4	61	66.5	1 676	78.5	69	69.2
Developing economies: Africa	237	13.1	6	6.9	326	15.3	8	7.9
Developing economies: America	452	25.0	16	17.6	458	21.5	16	16.1
Developing economies: Asia and Oceania	695	38.4	39	42.0	892	41.8	45	45.2
Selected groups								
Developing economies excluding China	1 307	72.2	57	61.9	1 568	73.5	62	62.5
Developing economies excluding LDCs	1 151	63.6	55	59.8	1 358	63.6	62	62.2
LDCs	233	12.9	6	6.6	318	14.9	7	7.0
LLDCs	5	0.3	1	1.2	3	0.1	1	1.1
SIDS (UN-OHRLLS)	451	24.9	14	15.0	533	25.0	14	14.2
HIPCs (IMF)	227	12.5	5	5.8	313	14.7	6	6.5
BRICS	107	5.9	9	10.0	141	6.6	12	12.3
G20	535	29.5	45	48.9	615	28.8	50	50.5

Figure 4 Αριθμός πλοίων ανά οικονομία

Πηγή <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/>

και τα παραπάνω σχήματα αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους πλοίων και το μέγεθος του στόλου σε αυτήν την κατηγορία.



2.1 Είδη πλοίων

Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην φορτίου

Τα bulk carrier μεταφέρουν φορτία χύδην φορτίου, όπως σιτηρά, άνθρακας, μετάλλευμα και τσιμέντο. Πρόκειται για περίπου 10000 πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, τα οποία ταξινομούνται σε κατηγορίες μεγέθους. Η ταχύτητα σχεδιασμού είναι συνήθως μεταξύ 13-15 κόμβων (MAN Diesel & turbo, 2013)



Figure 5 Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην φορτίου

Τα πετρελαιοφόρα

Τα πετρελαιοφόρα έχουν σχεδιαστεί για μεταφορά πετρελαίου. Σύμφωνα με τους MAN Diesel & turbo (2011) υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πετρελαιοφόρων: τα

δεξαμενόπλοια αργού και τα δεξαμενόπλοια πετρελαίου, τα οποία μεταφέρουν μη επεξεργασμένο πετρέλαιο σε διυλιστήριο και το διυλισμένο πετρέλαιο σε σημείο κοντά σε αγορές κατανάλωσης, αντίστοιχα. Τα πετρελαιοφόρα καθορίζονται από το μέγεθος. Η ταχύτητα σχεδιασμού είναι συνήθως μεταξύ 13-16 κόμβων (MAN Diesel & turbo, 2013)



Figure 6 πετρελαιοφόρα

Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια και μετρώνται σε ισοδύναμη μονάδα είκοσι ποδιών (TEU). Ο στόλος των εμπορευματοκιβωτίων περιλαμβάνει περίπου 1000 πλοία και η ταχύτητα σχεδιασμού είναι μεταξύ 15-25 κόμβων (MAN Diesel & Turbo, 2011).



Figure 7 Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

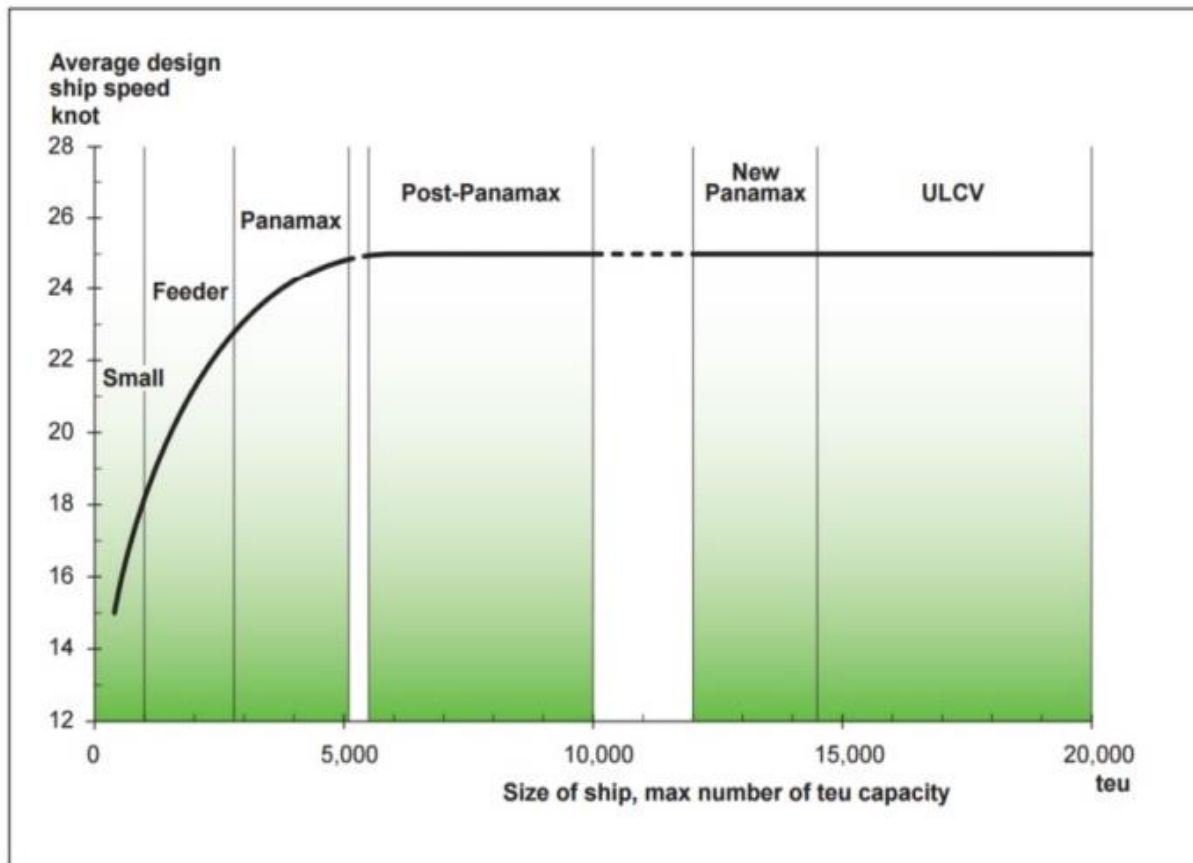


Figure 8 Ταχύτητα σχεδιασμού για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (MAN Diesel & turbo, 2011).

RO-RO

Τα πλοία RO-RO έχουν το όνομά τους από Roll on-Roll off και μεταφέρουν τροχοφόρα φορτία, όπως αυτοκίνητα και τρένα.



Figure 9 RO-RO

Υπεράκτια (AHTS/PSV) σκάφη



Figure 10 AHTS/PSV

Είδος πλοίου	Αριθμός πλοίων
Πλοία πολλαπλών χρήσεων και φορτίων	15106
Πλοίο μεταφοράς φορτίου χύδην	
Panamax	1021
Capsize	845
Πετρελαιοφόρα (<10.000 dwt)	7350
Πετρελαιοφόρα (>10.000 dwt)	
Sub panamax	5604

Aframax	4501
ULCC&VLCC	521
Suezmax	214
Panamax	305
Offshore(AHTS/PSV)	510
Container ships	
Sub Panamax	1580
Post Panamax	2360
Panamax	1705
Ro-Ro πλοία	7027
LPG Carriers	1985
LNG Carriers	2031
Άλλα	

Πίνακας 1 <https://www.statista.com/>

2.2 Μέγεθος πλοίων

Ο παρακάτω πίνακας διαιρεί τα μεγέθη των πλοίων σε μικρότερες ομάδες όσον αφορά τη χωρητικότητα.

Πλοίο	Cap Χωρητικότητας	Μονάδα χωρητικότητας
-------	-------------------	----------------------

Πλοίο μεταφοράς φορτίου χύδην	0 - 9,999 10,000–34,999 35,000–59,999 60,000–99,999 100,000–199,999 200,000–+	DWT
Δεξαμενόπλοιο μεταφοράς χημικών προϊόντων	0-4,999 5,000–9,999 10,000–19,999 20,000–+	DWT
Κρουαζιερόπλοιο	0 - 1,999 2,000–9,999 10,000–59,999 60,000–99,999 100,000–+	GT
Πλοίο - μόνο για επιβάτες	2,000-+	GT
Πλοίο γενικού φορτίου	0 - 4,999 5,000–9,999 10,000–+	DWT
Πλοίο υγροποιημένου αερίου	0 - 49,999 50,000–199,999 200,000–+	Κυβικά μέτρα

Πετρελαιοφόρο	0 - 4,999	DWT
	5,000–9,999	
	10,000–19,999	
	20,000–59,999	
	60,000–79,999	
	80,000–119,999	
	120,000–199,999	
	200,000–+	
Άλλα δεξαμενόπλοια μεταφορά υγρών στοιχείων	0-+	DWT

Πίνακας 2 Τύπος και μεγέθη σκαφών (Smith et al., 2014).

2.3 Εκπομπές ρύπων

Γενικότερα ο τομέας της ναυτιλίας όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα συμβάλλει σημαντικά στην εκπομπή αέριων ρύπων.

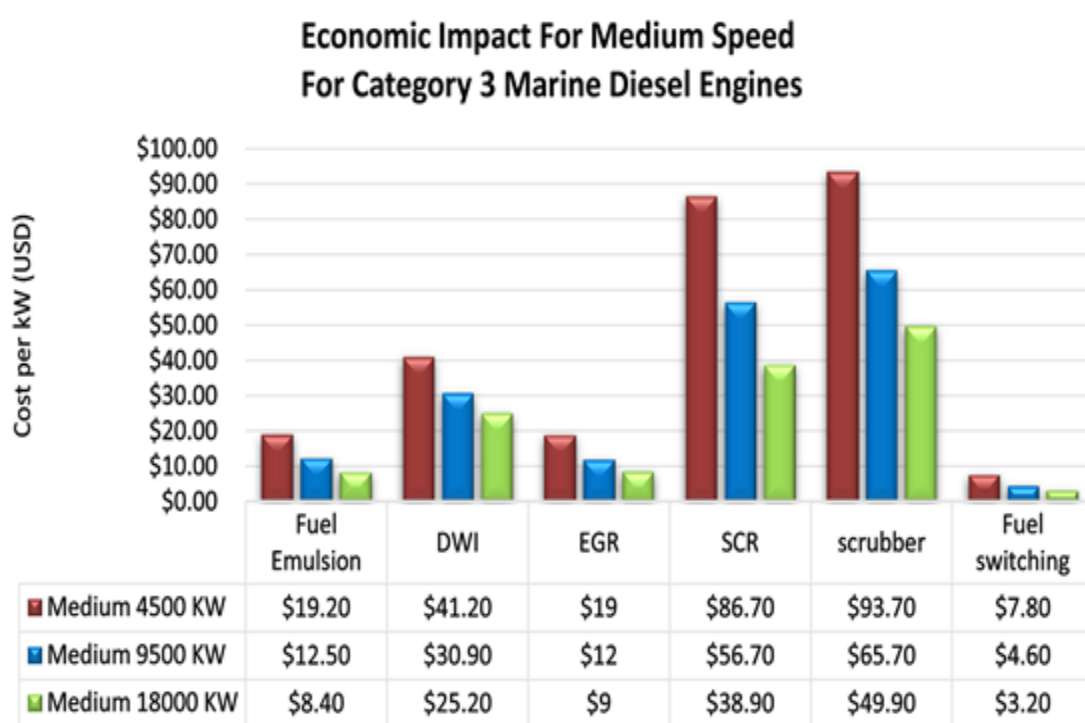


Figure 11 Economic impact for marine diesel engines

Πηγή <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/84924/LL--M-Thesis-Final-1-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά τόνο εμπορεύματος και χιλιόμετρο (g CO₂ / t*km) είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με τις οδικές ή σιδηροδρομικές μεταφορές όπως παρουσιάζεται στο επόμενο Διάγραμμα .

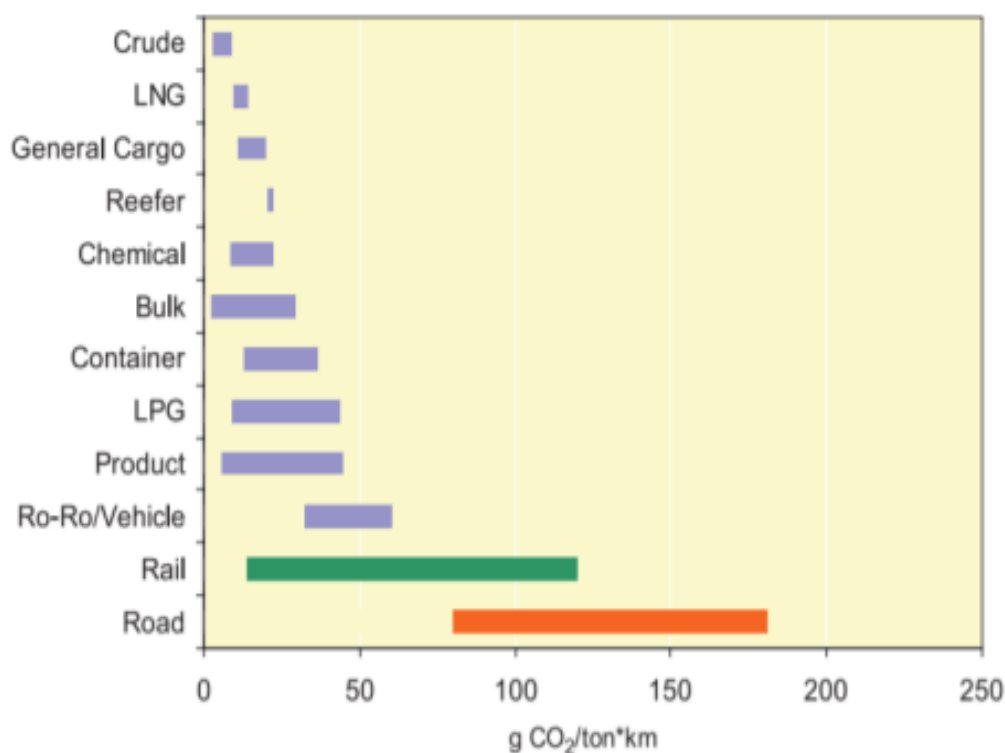


Figure 12 Τυπικά εύρη αποδοτικότητας των εκπομπών CO₂ των πλοίων σε σχέση με οδικές και σιδηροδρομικές

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι από τα πλοία προέρχονται γενικά από τη μηχανή του πλοίου και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται επί του πλοίου. Ως εκ τούτου, υπάρχουν κύριοι τομείς είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση (δηλαδή οι εκπομπές καυσαερίων. Ο 2ος τομέας για τα αέρια του θερμοκηπίου, οι απαιτήσεις έχουν εγκριθεί στο 62ο MEPC και τέθηκαν σε ισχύ το 2013. Το παράρτημα VI κεφάλαιο III της σύμβασης MARPOL έχει προσδιορίσει τα ακόλουθα ως τους κύριους τύπους ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλούνται από πλοία:

- Κανονισμός 12 – Εκπομπές από ουσίες που καταστρέφουν το όζον από ψυκτικές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό πυρόσβεσης.

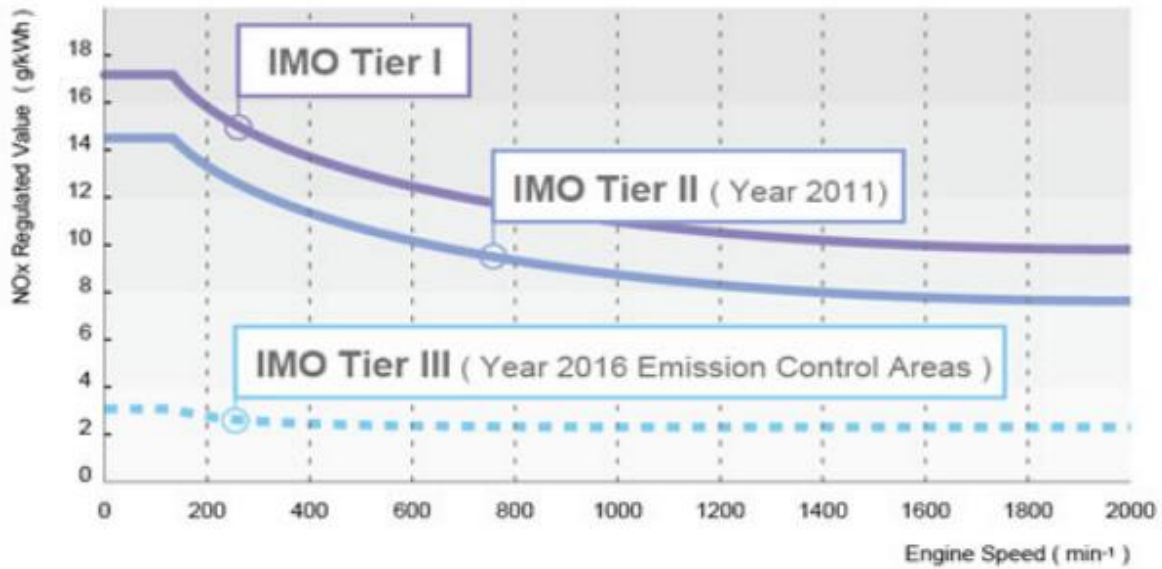
- Κανονισμός 13 – Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) από κινητήρες ντίζελ.
- Κανονισμοί 14 – Εκπομπές οξειδίου του θείου (SO_x) από πλοία.
- Κανονισμός 15 – Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από δεξαμενές φορτίου πετρελαιοφόρων.
- Κανονισμός 16 – Εκπομπές από αποτεφρωτήρες πλοίων.
- Κανονισμός 18 – Ποιότητα μαζούτ.

Αυτοί οι κανονισμοί ισχύουν μόνο για πλοία 400 κόρων και άνω και το πλοίο πρέπει να φέρει διεθνές πιστοποιητικό πρόληψης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (πιστοποιητικό ΙΑΡΡ). Για πλοία που έχουν χωρητικότητα μικρότερη από την αναφερόμενη χωρητικότητα, η Αρχή μπορεί να θεσπίζει κατάλληλα μέτρα για τη συμμόρφωση του. Εκτός από τους κανονισμούς του παραρτήματος , υπάρχουν δύο εγκύκλιοι ΜΕΡC σχετικά με το «Δελτίο παράδοσης καυσίμων και δειγματοληψία μαζούτ» και την «Κοινοποίηση στον Οργανισμό σχετικά με λιμένες ή τερματικούς σταθμούς όπου πρόκειται να ρυθμιστούν οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC)», οι οποίες ρυθμίζουν τις ποιότητες και τις προμήθειες των καυσίμων και τις ΠΟΕ. Οι δύο αυτές εγκύκλιοι εκδόθηκαν για να βοηθήσουν στην εφαρμογή του παραρτήματος της MARPOL.

Από αυτές, ο αντίκτυπος των εκπομπών NO_x είναι κυρίως στην ποιότητα του αέρα. Αν και το CO₂ δεν έχει αναγνωριστεί στη MARPOL ως είδος ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παράγεται από πλοία, η IPCC είχε εκτιμήσει ότι η ναυτιλία συμβάλλει περίπου στο 1,8% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ (Turbo & MAN, 2011). Αναγνωρίζοντας τον αντίκτυπο και τη συμβολή του CO₂ από τα πλοία,

στην σύνοδο της MEPC που πραγματοποιήθηκε από τις 11 έως τις 17 Ιουλίου 2011, εγκρίθηκαν μέτρα για τη βελτίωση της απόδοσης των πλοίων προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, δηλαδή eEDI και SEEMP. Ωστόσο, μέτρα όπως το EEOI εξακολουθούν να βρίσκονται στο τραπέζι των συζητήσεων και της αξιολόγησης από την ομάδα εμπειρογνομόνων.

Η δέκατη έβδομη σύνοδος της Συνέλευσης του ΔΝΟ έλαβε την απόφαση να συγκαλέσει διεθνή διάσκεψη των μερών της MARPOL 73/78 από τις 15 έως τις 26 Σεπτεμβρίου 1997. Η διάσκεψη ενέκρινε τροποποιήσεις της διεθνούς σύμβασης του 1973 για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, όπως τροποποιήθηκε από το πρωτόκολλο του 1978. Δημιουργήθηκε ένα νέο παράρτημα VI για τη ρύθμιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Εγκρίθηκαν επίσης συνολικά οκτώ ψηφίσματα, εκ των οποίων το ψήφισμα 2 προβλέπει τον τεχνικό κώδικα για τον έλεγχο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από κινητήρες ντίζελ πλοίων (τεχνικός κώδικας NOx). Ο τεχνικός κώδικας αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών NOx από τους κινητήρες ντίζελ πλοίων σε φάσεις. Η αρχική φάση εισήχθη από το έτος 2000. Οι απαιτήσεις για τους κινητήρες της βαθμίδας III ισχύουν στο ΕΕΣ από το έτος 2016. Ο ακόλουθος πίνακας περιγράφει το χρονοδιάγραμμα για την εφαρμογή των διαφόρων βαθμίδων για τον κινητήρα ντίζελ πλοίων σε νέα πλοία.



2.4 Αντίσταση

Στη μηχανική ρευστών η αντίσταση είναι η αντίθετη δύναμη σε ένα κινούμενο αντικείμενο σε σχέση με ένα περιβάλλον αντικείμενο. Η αντίσταση μπορεί να βρεθεί από τις βασικές αρχές της πρόωσης του πλοίου.

Η συνολική αντίσταση μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη. Αντοχή στην τριβή, υπολειμματική αντίσταση και αντίσταση αέρα.

Αυτό μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω έτσι ώστε η εξίσωση συνολικής αντίστασης να είναι:

$$R_T = R_V + R_W + R_A + R_{others}$$

Πού:

R_T = Συνολική αντίσταση

R_V = Αντοχή ιξώδους

R_W = Αντίσταση δημιουργίας κυμάτων

R_A = συσχέτιση

R_{others} = (Αντίσταση αέρα, βολβώδους πλώρης, πρύμνη κλπ)

Αντοχή στο ιξώδες

Η ιξώδης αντίσταση είναι η κυρίαρχη δύναμη αντίστασης για πλοία χαμηλής ταχύτητας, όπως χύδην φορτία, και δεξαμενόπλοια, όπου αντιπροσωπεύει μεταξύ 70% και 90% της συνολικής αντίστασης (MAN Diesel & Turbo, 2011). Η ιξώδης αντίσταση γίνεται κυρίως από αντοχή στην τριβή.

$$R_F = C_F * \frac{1}{2} * \rho * S * V^2$$

Πού:

R_F = Αντίσταση τριβής

C_F = Συντελεστής τριβής

S = Βρεγμένη επιφάνεια κύτους(επιφάνεια βρεχάμενων)

$V = \text{Ταχύτητα πλοίου}$

Υπολειμματική αντίσταση

Η υπολειμματική αντίσταση είναι η αντίσταση που δημιουργείτε από τα κύματα. Η υπολειμματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας δοκιμές μοντέλων. Η ταχύτητα του πλοίου είναι ο κύριος παράγοντας για το πόσο σημαντική είναι η υπολειμματική αντίσταση. Σε ένα ταχύπλοο πλοίο αντιπροσωπεύει από το 8% - 25% της συνολικής αντίστασης, ενώ σε ένα άλλο ταχύπλοο πλοίο θα μπορούσε να είναι έως και 40% - 60%. Επιπλέον, αν είναι ρηχά θα επηρεάσει την κρούση από την υπολειμματική αντίσταση. Ωστόσο, υποθέτοντας ότι το βάθος του θαλασσινού νερού είναι 10 φορές μεγαλύτερο από το βύθισμα του πλοίου, η εναπομένουσα αντίσταση δεν θα επηρεαστεί.

$$R_R = C_R * \frac{1}{2} * \rho * S * V^2$$

Πού:

R_R = Υπολειμματική αντίσταση

C_R = Συντελεστής αντίστασης

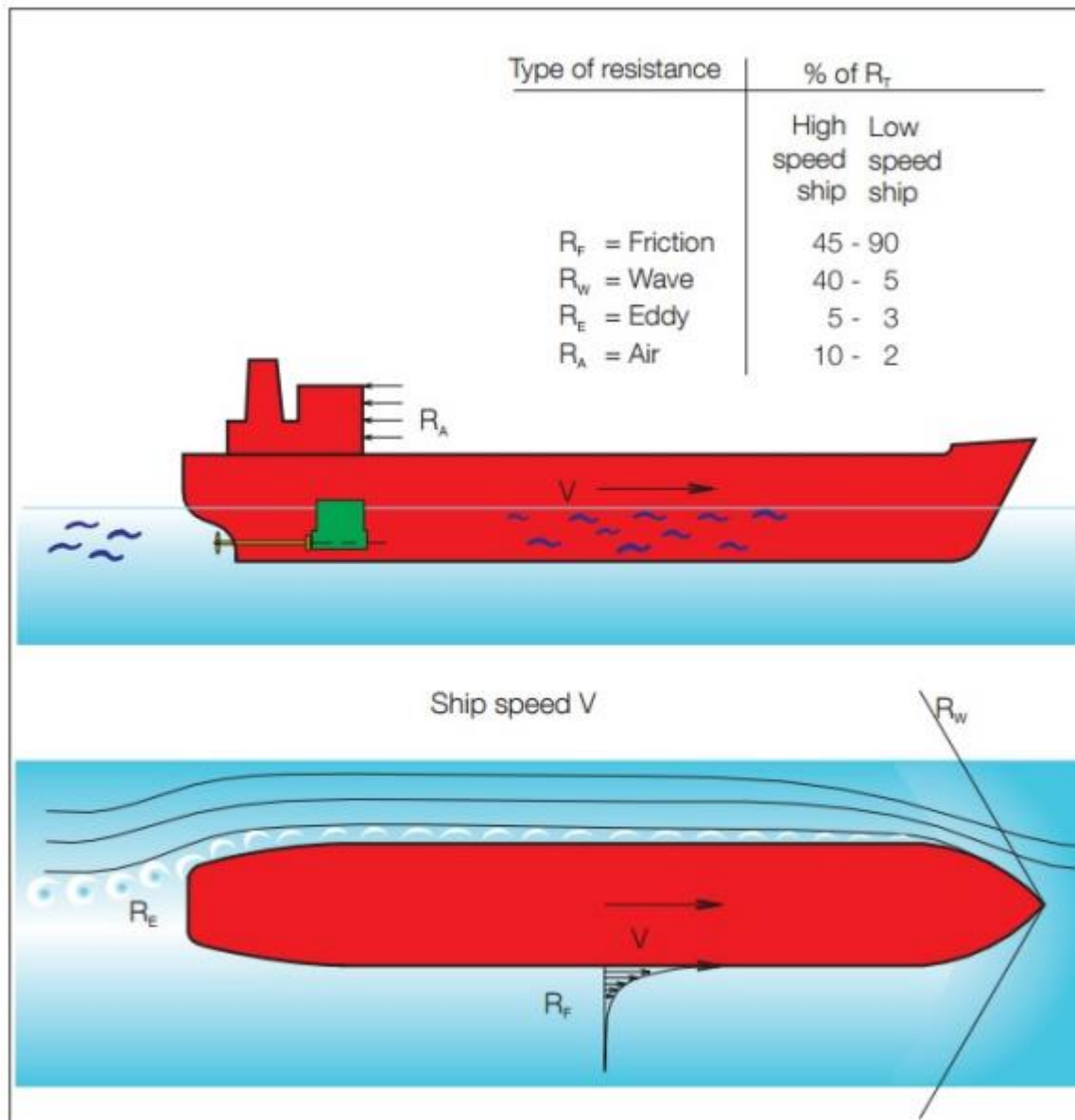


Figure 13 Συνολική αντίσταση ρυμούλκησης πλοίου (MAN Diesel & turbo, 2011).

Αντίσταση του αέρα

Δίνεται από τον τύπο

$$R_A = C_{AA} * \frac{1}{2} \rho * S * V^2$$

Όπου

R_A = αντίσταση αέρα

C_{AA} = συντελεστής αντίστασης

2.5 Προπέλες

Τα πλοία χρησιμοποιούν παραδοσιακά προπέλες για πρόωση. Αυτές μπορεί να είναι είτε σταθερές είτε έλικες βήματος και κανονικά το πλοίο έχει μία ή δύο έλικες για να μετακινήσει το πλοίο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τύπων προπελών και η εφαρμογή τους εξαρτάται από το σκοπό σχεδιασμού των πλοίων. Η προπέλα περιέχει από 2 έως 6 πτερύγια (z). Παρά το γεγονός ότι οι λιγότερες «λεπίδες» δίνουν μεγαλύτερη απόδοση, συνήθως ο αριθμός λεπίδας είναι 4 ή ακόμα και 5 και 6 για μεγαλύτερους τύπους σκαφών. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη αντοχής των πτερυγίων κατά την εφαρμογή μεγάλων φορτίων (MAN Diesel & Turbo, 2011). Η ισχύς ώσης που παρέχεται από την έλικα στο νερό δίνεται από την ώση της έλικας στο νερό με δεδομένη ταχύτητα, V_A .

$$Ισχύς \acute{\omega}σης = \frac{P_E}{H} = V_a * T$$

όπου: H είναι η απόδοση της γάστρας του πλοίου.

Η απόδοση της έλικας, μπορεί να βρεθεί μέσω μιας δοκιμής νερού που πραγματοποιείται σε μια δεξαμενή ρυμούλκησης. Η δοκιμή μετρά την ώση, τη ροπή και την ταχύτητα προώθησης με σταθερό ρυθμό περιστροφής. Αυτό εκφράζεται με αδιάστατες σταθερές που στην παρούσα φάση δεν χρειάζεται να τις αναλύσουμε



Figure 14 Προπέλα πλοίου

Πηγή <https://e-nautilia.gr/elikes-tis-wartsila-se-ellinika-tanker/>

Αξίζει να αναφερθεί ότι η τριβή της γάστρας δημιουργεί μια ζώνη ς γύρω από αυτή που με την σειρά της μειώνει την ταχύτητα του πλοίου.

2.6 Πρόβλεψη ισχύος

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού του πλοίου, η πρόβλεψη ισχύος για το πλοίο μπορεί να προσεγγιστεί για μια δεδομένη μορφή πλοίου και τους συντελεστές αντίστασης. Επιπλέον, μπορούν να υπολογιστούν τα δεδομένα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης αποτελεσματικής ισχύος. Η αποτελεσματική ισχύς είναι η ισχύς που απαιτείται για την έλξη του πλοίου μέσω του νερού.

$$\text{Ισχύς ή } P_E = V * R_T$$

2.7 Απόδοση πρόωσης

Η απόδοση πρόωσης είναι ένα μέτρο της συνολικής απώλειας ισχύος από τον κινητήρα πρόωσης στο νερό. Αυτό εκφράζεται με συντελεστές απόδοσης

$$\text{Απόδοση} = A * B * \Gamma * \Delta * E$$

οπού:

A = Απόδοση προπέλας

B = Απόδοση άξονα

Γ = Απόδοση γάστρας

Δ = Απόδοση έλικα προπέλας

E = Σχετική περιστροφική απόδοση προπέλας

Κεφάλαιο 3^ο Μοντέλα ισχύος και κατανάλωση καυσίμου στα πλοία.

3.1 Πρόβλεψη ισχύος με χρήση εμπειρικών μεθόδων

Υπάρχουν διάφορες εμπειρικές μέθοδοι για την προσέγγιση της πρόβλεψης ισχύος. Κυρίως εμπειρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντίστασης της γάστρας του πλοίου στα αρχικά στάδια των φάσεων σχεδιασμού.. Γνωστές εμπειρικές μέθοδοι για την πρόβλεψη της αντίστασης είναι οι Holtrop-Menn, Guldhammer, Lap - Keller, Series-60, Hollenbach και MARINTEK's Formula. Ο επόμενος πίνακας είναι η απόκλιση μεταξύ των δοκιμών μοντέλου και των προσεγγίσεων εμπειρικής αντίστασης και δείχνει την αριθμητική διαφορά μεταξύ των μεθόδων (Steen, 2011).

Holtrop-Mennen

Το Holtrop-Mennen είναι μια μέθοδος υπολογισμού της προωθητικής ισχύος των πλοίων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας βασικές διαστάσεις της γάστρας. Η συνολική αντίσταση του πλοίου βρίσκεται μέσω γραμμικής παλινδρόμησης.

Εμπειρικά έγινε χρησιμοποιώντας έναν εκτεταμένο αριθμό μοντέλων δοκιμών και δοκιμαστικών μέτρων (Holtrop & Mennen, 1982). Από το Holtrop-Mennen εκτιμάται η αποτελεσματική ισχύς (PE) και η αντίσταση RT (Holtrop & Mennen, 1982).

Guldhammer and Harvald

Μια μέθοδος υπολογισμού της ισχύς πλοίων αναπτύχθηκε από τους Guldhammer και Harvald το 1974 (Guldhammer & Harvald, 1974). Το μοντέλο τους χρησιμοποιεί σχετικά λίγες παραμέτρους (Kristensen & Lützen, 2012). Η αντίσταση προσεγγίζεται με μια συνάρτηση χρησιμοποιώντας μόνο τρεις παραμέτρους.

3.2 Κατανάλωση καυσίμου

Το κόστος των καυσίμων αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο μέρος των εξόδων για ένα ταξίδι. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν επίσης άμεση συνέπεια της ποσότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Ως εκ τούτου, η κατανάλωση καυσίμων δίνεται ιδιαίτερη προσοχή από όλους όσους ενδιαφέρονται για τη ναυτιλία.

Ένα μέτρο για το πόση χρήση του κινητήρα καυσίμου ανά παραγόμενη ισχύ ονομάζεται ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC). Το SFC είναι το μέτρο της

απόδοσης καυσίμου για κινητήρες στα πλοία. Το SFC ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα και τα φορτία στο σκάφος. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή του SFC σε σύγκριση με την ισχύ του κινητήρα.

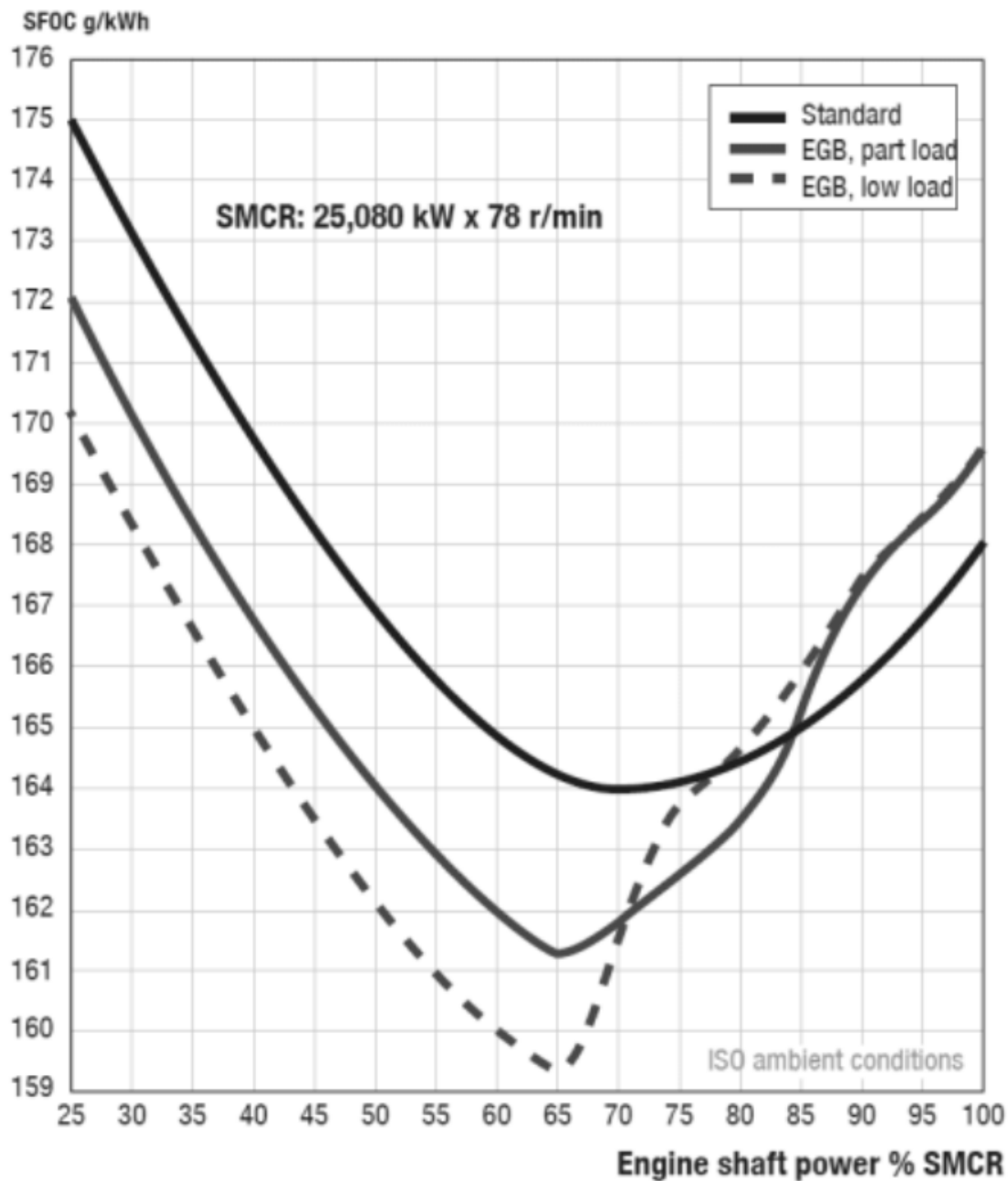


Figure 15 Καμπύλη SFC

Πηγή https://www.researchgate.net/figure/SFOC-curves-of-the-diesel-engine-tuning-methods-EGB-left-VT-middle-ECT-right_fig31_330141210

Πιθανοί παράγοντες επιρροής για το SFC είναι ο τύπος κινητήρα, ο τύπος καυσίμου και κ.α (Μαρακογιάννη, Παπαευθυμίου & Ζοπονίδης, 2016).

$$SFC = \frac{r}{P}$$

πού:

- r είναι ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου σε γραμμάρια ανά δευτερόλεπτο (g/s)
- P είναι η ισχύς που παράγεται σε Watt
- ω είναι οι στροφές του κινητήρα σε ακτίνια ανά δευτερόλεπτο (rad/s)
- τ είναι η ροπή του κινητήρα σε newton μέτρα (N·m)

Το SFC εξαρτάται από το μέγεθος και το φορτίο του τύπου κινητήρα και το έτος κατασκευής (καθώς οι κινητήρες έχουν γίνει πιο αποτελεσματικοί), το οποίο θα συζητηθεί στις επόμενες σελίδες.

Οι τύποι καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι: Πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων (MGO), Ναυτιλιακό πετρέλαιο ντίζελ (MDO), IFO, Μαζούτ πλοίων (MFO) και Βαρύ μαζούτ (HFO).. Μια κατανομή της χρήσης τύπου καυσίμου στη ναυτιλία από το 2007 έως το 2011 (δεν έχουν βρεθεί πιο νέα στοιχεία) μπορεί να βρεθεί στον επόμενο πίνακα .

Fuel type	2007	2008	2009	2010	2011
MDO	71	73	77	64	73
HFO	258	258	245	256	244
All fuels	329	331	321	319	318
Fuel type	2007	2008	2009	2010	2011
MDO	22%	22%	24%	20%	23%
HFO	78%	78%	76%	80%	77%
All fuels	100%	100%	100%	100%	100%

Figure 16 κατανομή της χρήσης τύπου καυσίμου στη ναυτιλία από το 2007 έως το 2011

Πηγή https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_7_-_Affordable_and_clean_energy

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου με συνδυασμό τύπου κινητήρα και τύπου καυσίμου παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

MEs AT SEA	NO _x	SO ₂	CO ₂	HC	specific fuel consumption
Engine type / Fuel type					
SSD / MGO	17.0	0.9	588	0.6	185
SSD / MDO	17.0	3.7	588	0.6	185
SSD / RO	18.1	10.5	620	0.6	195
MSD / MGO	13.2	1.0	645	0.5	203
MSD / MDO	13.2	4.1	645	0.5	203
MSD / RO	14.0	11.5	677	0.5	213
HSD / MGO	12.0	1.0	645	0.2	203
HSD / MDO	12.0	4.1	645	0.2	203
HSD / RO	12.7	11.5	677	0.2	213
GT / MGO	5.7	1.5	922	0.1	290
GT / MDO	5.7	5.8	922	0.1	290
GT / RO	6.1	16.5	970	0.1	305
ST / MGO	2.0	1.5	922	0.1	290
ST / MDO	2.0	5.8	922	0.1	290
ST / RO	2.1	16.5	970	0.1	305

Figure 17 Συνδυασμός καυσίμων κινητήρων/τύπος πλοίων

Πηγή (Han, 2019)

Οι κινητήρες σε ένα πλοίο εκτίθενται σε διαφορετικά φορτία κατά τη διάρκεια διαφορετικών λειτουργιών. Ο επόμενος πίνακας είναι μια υπόθεση που έγινε από τους Whall et al. (2002) σχετικά με τις κατανομές φορτίου κατά τη διάρκεια διαφορετικών λειτουργιών.

	% load of MCR for ME operation	% of time all MEs operating	% of electric power from shaft generators	% load of MCR for AE operation
at sea	80	100	50	30
in port (tankers-using pumps ^{a)})	20	100	0	60
in port	20	5	0	40
manoeuvring ^{b)}	20	100	0	50

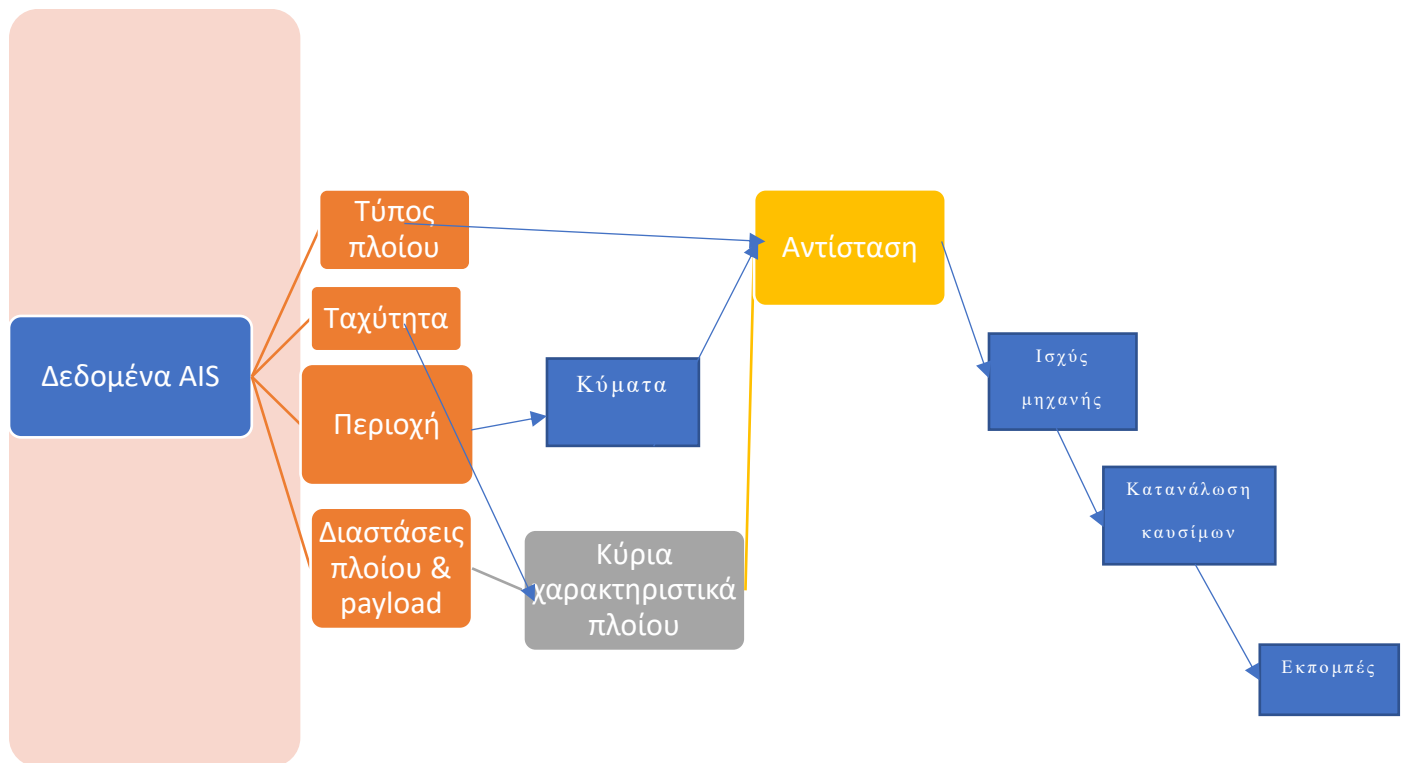
Figure 18 σχέση λειτουργίας κινητήρα με απόδοση

Πηγή (Whall et al., 2002)

3.3 Εκπομπές γενικά και στη ναυτιλία

Κεφάλαιο 4^ο Μεθοδολογία έρευνας

Ο στόχος αυτής της διατριβής είναι να γίνει μια απλοποίηση του υπολογισμού των εκπομπών. Τα δεδομένα από το AIS παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου εκτός από τα μηνύματα που σχετίζονται με τη θέση και το ταξίδι. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται με μεθόδους πρόβλεψης ισχύος. Επιπλέον, αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Από την κατανάλωση καυσίμων, οι εκπομπές θα προκύπτουν και θα συγκεντρώνονται σε έναν υπολογισμό των παγκόσμιων εκπομπών των πλοίων. Ένα περιγραφικό διάγραμμα συνολικής ροής για το μοντέλο μας βρίσκεται στο επόμενο σχήμα



4.1 Συλλογή δεδομένων

Όλα τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από τη βάση του <https://www.vesselfinder.com/el> από το διάστημα 1/8/2022 ως και 31/8/2022 .

Τα χαρακτηριστικά που έχουμε συλλέξει από το AIS είναι τα ακόλουθα

- Τύπος πλοίου
- Ταχύτητα πλοίου (μέση ταχύτητα)
- Payload (DWT)
- Βύθισμα

- Ισχύς μηχανής (HP)
- Ηλικία

Ως περιοχή επιλέξαμε την διαδρομή rotterdam -Gulf of Mexico



Figure 19 Περιοχή μελέτης

Επίσης όσο αφορά τα κύματα τα δεδομένα τα λάβαμε από την εφαρμογή www.windy.com

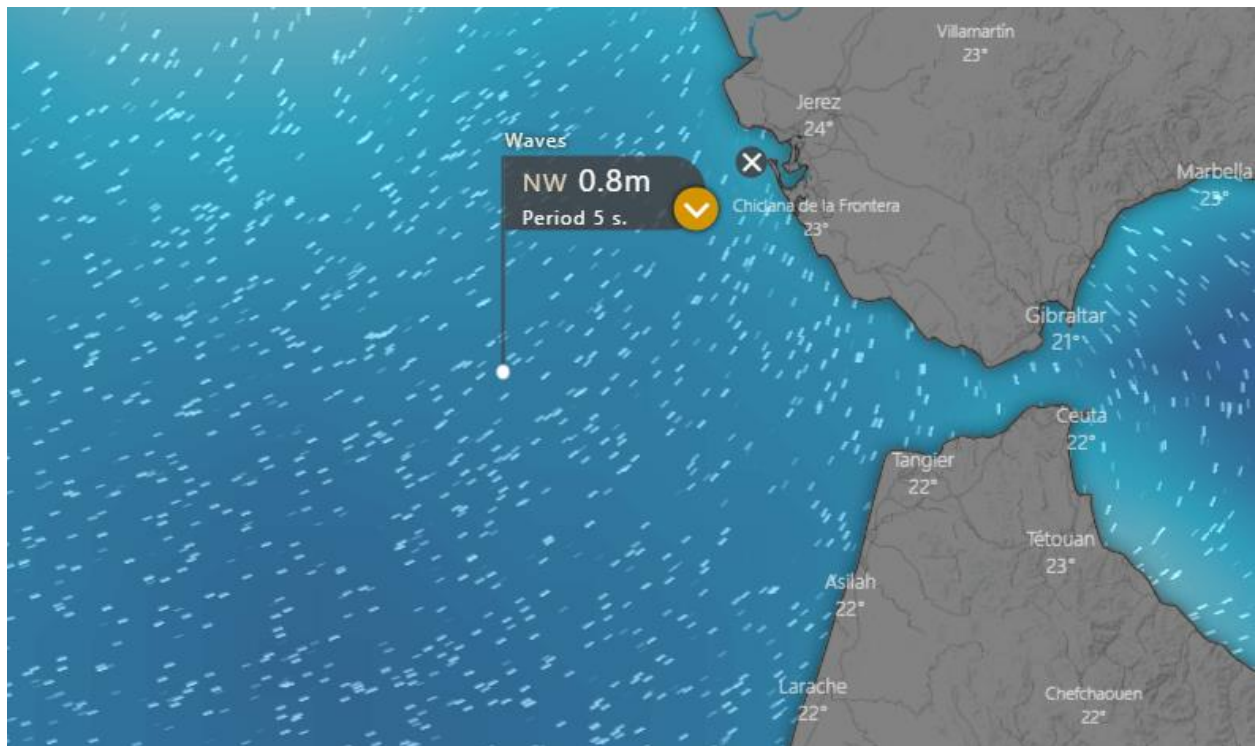


Figure 20 κυματισμός περιοχής

Δεδομένα πλοίων

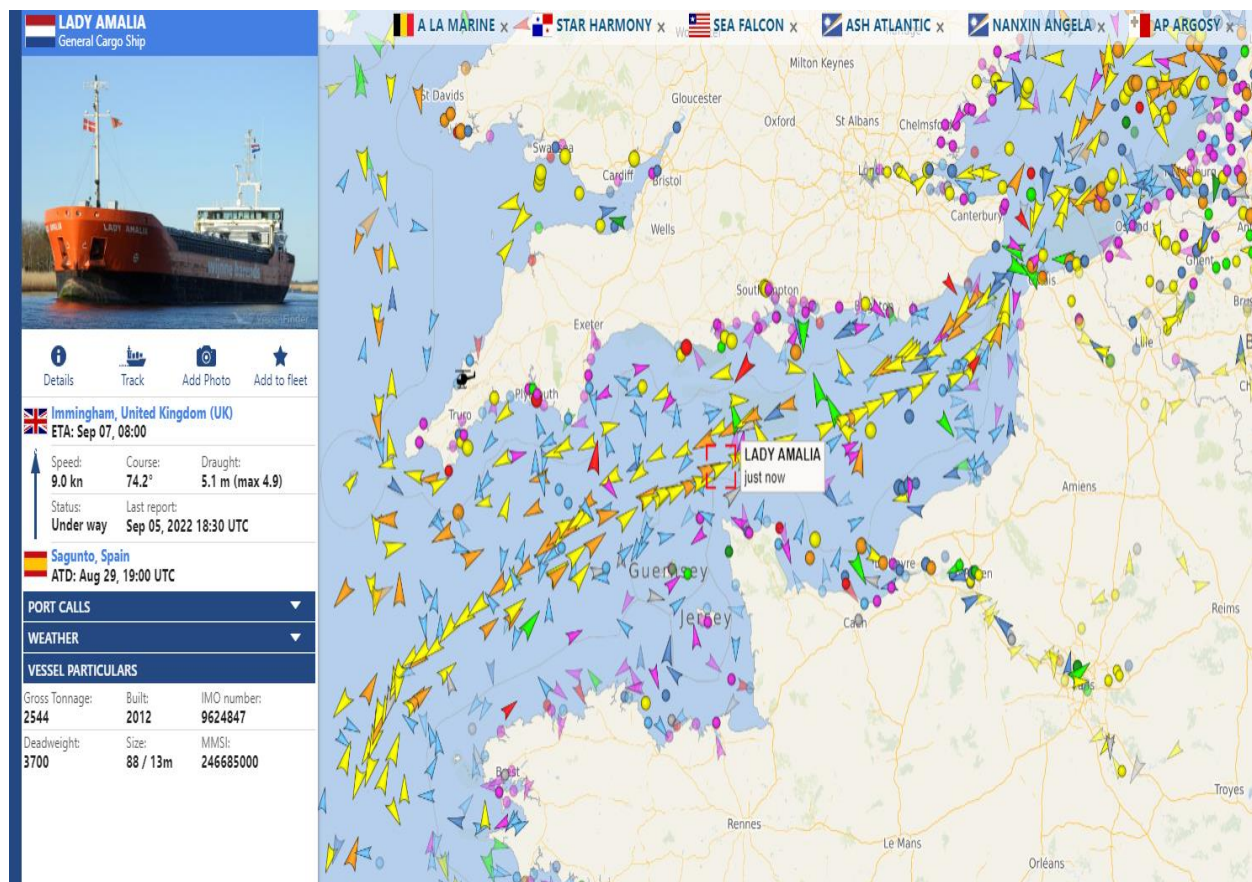


Figure 21 Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου

Τέλος τον υπολογισμό των καυσαιρίων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό από το Πανεπιστήμιο Αθηνών

<http://martrans.org/emis/>

SELECT SHIP TYPE

Dry Bulk Carrier

SELECT SHIP SIZE

Handysize BC

Medium Speed Engine

ROUTE

US Gulf-Rotterdam

TRIP DISTANCE

3539 nm

6568 km

PAYLOAD (tonnes)

25000

DWT (tonnes)

27000

OPERATIONAL DETAILS

STATE	TIME (days)	SPEED (knots)	FUEL OIL		DIESEL OIL	
			S %	Consumption (tonnes/day)	S %	Consumption (tonnes/day)
SEA LADEN	11.34	13	3.5	24	1.5	0
SEA BALLAST	11.34	13	3.5	24	1.5	0
PORT (loading,discharging)	4		3.5	4.5	1.5	0

EMISSIONS

	CO2	SO2	NOx
ROUNDTrip EMISSIONS KG PER tonne TRANSPORTED	71.32	1.57	1.28
ROUNDTrip EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-MILE	20.15	0.45	0.36
ROUNDTrip EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-KM	10.86	0.24	0.20

SHOW/HIDE DETAILED RESULTS

CALCULATE

DETAILED RESULTS

TOTAL BALLAST-LADEN DISTANCE	nm	7,078.00				
LADEN tonne-MILES	tonne*nm	88,475,000.00				
TIME IN PORT	days	4.00				
TRIP DURATION	SEA-LADEN	days	11.34	EMISSIONS		
TRIP DURATION	SEA-BALLAST	days	11.34	CO2	SO2	
TOTAL RTRIP DURATION		days	26.69	tonnes	tonnes	tonnes
CONSUMPTION FO	SEA LADEN	tonnes	272.23	862.97	19.06	15.52
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
CONSUMPTION FO	SEA BALLAST	tonnes	272.23	862.97	19.06	15.52
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
CONSUMPTION FO	PORT	tonnes	18.00	57.06	1.26	1.03
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL FUEL CONSUMPTION	SEA	tonnes	544.46	1,725.94	38.11	31.03

Κεφάλαιο 5^ο Αποτελέσματα έρευνας

5.1 Περιγραφική ανάλυση

Τα πλοία υπό μελέτη είναι τα ακόλουθα

α/α	όνομα πλοίου
1	IBERIAN BULKER
2	ARIETTA LILY
3	SPAR URSA
4	JUDD
5	AFRICAN JOSEPH R
6	YASA UNITY
7	PLUTUS
8	APOLLON
9	FEDERAL SPEY
10	KOCIEWIE
11	ARIETTA LILY
12	FEDERAL SPEY
13	AP ARGOSY
14	NANXIN ANGELA
15	ASH ATLANTIC
16	SEA FALCON
17	STAR HARMONY
18	SYROS ISLAND

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Μέση ταχύτητα	18	7.70	14.20	11.8278	1.70701

Valid N (listwise)	18				
-----------------------	----	--	--	--	--

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Payload	18	13900.00	205000.00	63955.5556	41060.26020
Μήκος	18	140.00	300.00	201.1667	37.26258
Πλάτος	18	22.00	500.00	56.0000	110.84913
Βύθισμα	18	4.50	14.00	9.8167	2.46797
Ισχύς μηχανής	18	8500.00	16000.00	11877.7778	2428.39951
Ηλικία σκάφους	18	5.00	24.00	10.8889	5.46528
Κυματισμός	18	.50	1.20	.8167	.25952
Valid N (listwise)	18				

Η μέση ταχύτητα ήταν στα 11.28 kts ενώ το Payload στα 63955 DWT. Η ισχύς μηχανής στους 11877 HP , η ηλικία του σκάφους 10.88 χρόνια και το βύθισμα στα 9.8 μ.

5.2 Αποτελέσματα κατανάλωσης και καύσης

	consumption	co2	so2	nox
IBERIAN BULKER	607.83	1,926.83	42.55	34.65
ARIETTA LILY	600.64	1,904.03	42.04	34.24
SPAR URSA	725.8	2,300.79	50.81	41.37
JUDD	562.46	1,783.00	39.37	32.06
AFRICAN JOSEPH R	633.48	2,008.13	44.34	36.11

YASA UNITY	612.79	1,942.54	42.9	34.93
PLUTUS	649.96	2,060.39	45.5	37.05
APOLLON	575.32	1,823.77	40.27	32.79
FEDERAL SPEY	530.9	1,682.95	37.16	30.26
KOCIEWIE	538.44	1,706.86	37.69	30.69
ARIETTA LILY	638.88	2,025.24	44.72	36.42
FEDERAL SPEY	516.45	1,637.15	36.15	29.44
AP ARGOSY	546.21	1,731.48	38.23	31.13
NANXIN ANGELA	655.66	2,078.43	45.9	37.37
ASH ATLANTIC	755.29	2,394.27	52.87	43.05
SEA FALCON	718.79	2,278.57	50.32	40.97
STAR HARMONY	937.22	2,970.99	65.61	53.42
SYROS ISLAND	546.21	1,731.48	38.23	31.13

5.3 Ανάλυση συσχέτισης μεταβλητών

Correlations

		Μέση ταχύτητα	Payload	Μήκος	Πλάτος	Ισχύς μηχανής	Ηλικία σκάφους	Κυματισμός	Consumption	CO2
Μέση ταχύτητα	Pearson Correlation	1	.199	.304	.170	.122	-.341	-.361	.920**	.980**
	Sig. (2- tailed)		.429	.219	.500	.630	.166	.141	.000	.000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Payload	Pearson Correlation	.199	1	.835**	.867**	.278	-.314	-.252	.205	.505
	Sig. (2- tailed)	.429		.000	.000	.264	.204	.313	.414	.414
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Μήκος	Pearson Correlation	.304	.835**	1	.679**	.450	-.478*	-.135	.589	.489
	Sig. (2- tailed)	.219	.000		.002	.061	.045	.592	.245	.245
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Πλάτος	Pearson Correlation	.170	.867**	.679**	1	.175	-.193	-.303	.462	.162
	Sig. (2- tailed)	.500	.000	.002		.488	.442	.221	.520	.520
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Ισχύς μηχανής	Pearson Correlation	.122	.278	.450	.175	1	.038	.317	-.117	.517
	Sig. (2- tailed)	.630	.264	.061	.488		.880	.200	.644	.644
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18

Ηλικία σκάφους	Pearson Correlation	-.341	-.314	-.478*	-.193	.038	1	.109	.344	.444
	Sig. (2- tailed)	.166	.204	.045	.442	.880		.666	.163	.163
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Κυματισμός	Pearson Correlation	-.361	-.252	-.135	-.303	.317	.109	1	.379	.279
	Sig. (2- tailed)	.141	.313	.592	.221	.200	.666		.120	.120
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Consumption	Pearson Correlation	-.980**	-.205	-.289	-.162	-.117	.344	.379	1	1.000**
	Sig. (2- tailed)	.000	.414	.245	.520	.644	.163	.120		.000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
CO2	Pearson Correlation	-.980**	-.205	-.289	-.162	-.117	.344	.379	1.000**	1
	Sig. (2- tailed)	.000	.414	.245	.520	.644	.163	.120	.000	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Παρατηρούμε θετική συσχέτιση των εκπομπών διοξειδίου στις ακόλουθες παραμέτρους

- Μέση ταχύτητα
- Payload

- Μήκος
- Ηλικία σκάφους
- Ισχύς μηχανής

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται μια από τις παραμέτρους αυτές τόσο αυξάνονται και οι εκπομπές διοξειδίου. Στις άλλες παραμέτρους ο συντελεστής συσχέτισης είναι μικρός οπότε δεν επηρεάζουν σημαντικά τις εκπομπές καταναλώσεις και στα πλαίσια της διατριβής δεν θα τις χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση και πρόβλεψη υπολογισμού εκπομπών καύσης.

5.4 Γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης

```
call:
lm(formula = co2 ~ taxyhtta + Payload + mhkos + age + hp, data = data2)

Coefficients:
(Intercept)    taxyhtta    Payload      mhkos      age
  4.107e+03   -1.889e+02   -6.232e-04    8.943e-01    2.059e+00
      hp
 -3.063e-03
```

Πρακτικά η εξίσωση είναι

$$Y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n + e$$

Που στην περίπτωση μας είναι

$$Co_2 = speed + payload + length + age + hp$$

Όπου

Co2= οι εκπομπές co2

Speed= Μέση ταχύτητα σε κόμβους

Payload=το payload του πλοίου σε τόνους

Length= Μήκος σε μέτρα

Age= Ηλικία σκάφους

Hp= Ισχύς μηχανής σε ίππους

Εφαρμόζοντας τον τύπο στην R, έχουμε

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-71.48	-42.28	-14.61	22.45	183.32

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.107e+03	2.174e+02	18.892	2.71e-10 ***
taxythta	-1.889e+02	1.159e+01	-16.290	1.51e-09 ***
Payload	-6.232e-04	8.552e-04	-0.729	0.480
mhkos	8.943e-01	1.152e+00	0.777	0.452
age	2.059e+00	4.269e+00	0.482	0.638
hp	-3.063e-03	9.263e-03	-0.331	0.747

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 75.33 on 12 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9629, Adjusted R-squared: 0.9474
F-statistic: 62.29 on 5 and 12 DF, p-value: 3.644e-08

Άρα είναι

$$Co_2 = -188,9 * speed - 0,0006232 * payload + 0,8943 * length + 2,059 * age - 0,003063 hp + 4107$$

Επίσης το διάστημα εμπιστοσύνης για κάθε μεταβλητή είναι :

	2.5 %	97.5 %
(Intercept)	3.633268e+03	4.580566e+03
taxytha	-2.141138e+02	-1.635946e+02
payload	-2.486534e-03	1.240067e-03
mhkos	-1.614859e+00	3.403539e+00
age	-7.243222e+00	1.136035e+01
hp	-2.324603e-02	1.711920e-02

5.5 Έλεγχος καταλληλότητας μοντέλου

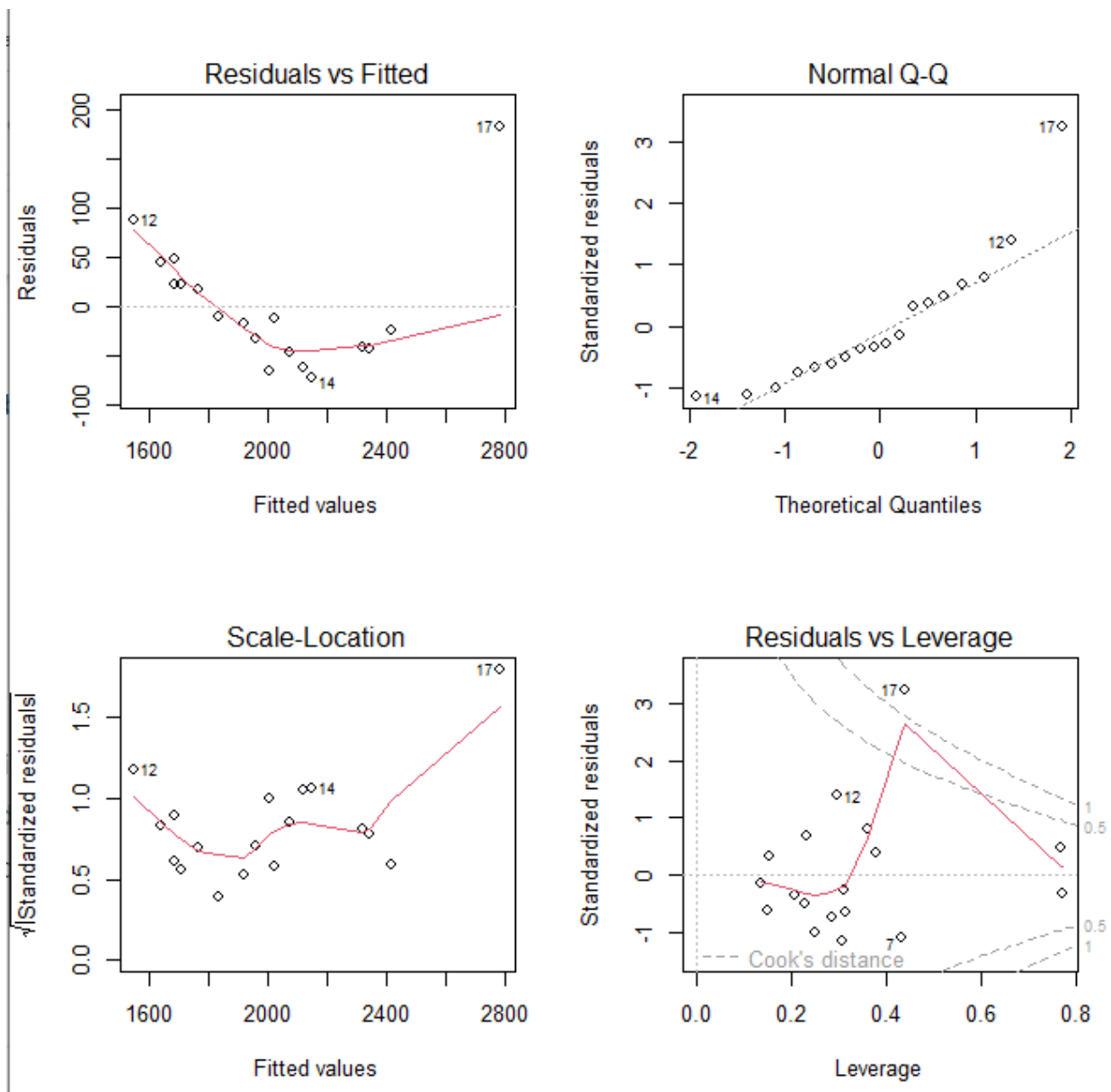
Στην παρούσα διπλωματική θα κάνουμε 3 ελέγχους καταλληλότητας και στην συνέχεια θα εξηγήσουμε περιληπτικά τι είναι αυτοί οι έλεγχοι.

1. QQ Plot
2. Συντελεστής R^2
3. Έλεγχος σφάλματος RSE

5.5.1 Q-Q Plot

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε ότι η γραμμή στο Q-Q plot είναι κοντά.

Ειδικά για να ελέγξουμε αν τα δεδομένα μας προέρχονται από την Κανονική κατανομή κάνουμε μια γραφική παράσταση των δειγματικών ποσοστημορίων ως προς τα θεωρητικά ποσοστημόρια της Κανονικής Κατανομής (QQ - PLOT). Όσο πιο κοντά στην γραμμή, που αναπαριστά τα θεωρητικά ποσοστημόρια, είναι τα σημεία, που με την σειρά τους αναπαριστούν τα δειγματικά ποσοστημόρια, τόσο καλή προσαρμογή έχουμε.



5.5.2 R^2

Συμπληρωματικά, βλέπουμε ότι ο συντελεστής R^2 είναι αρκετά υψηλός (0.9629) το οποίο επαληθεύει όπως θα δούμε στην συνέχεια ότι το μοντέλο μας προβλέπει σε ικανοποιητικό βαθμό τις εκπομπές Co_2

Residual standard error: 75.33 on 12 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9629, Adjusted R-squared: 0.9474
F-statistic: 62.29 on 5 and 12 DF, p-value: 3.644e-08

5.5.3 RSE

Η εκτίμηση RSE δίνει ένα μέτρο σφάλματος πρόβλεψης. Όσο χαμηλότερο είναι το RSE, τόσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο. Στο μοντέλο μας είναι αρκετα χαμηλό στο 0.037.

```
> sigma(test.lm)/mean(data2$co2)
[1] 0.03767711
> |
```

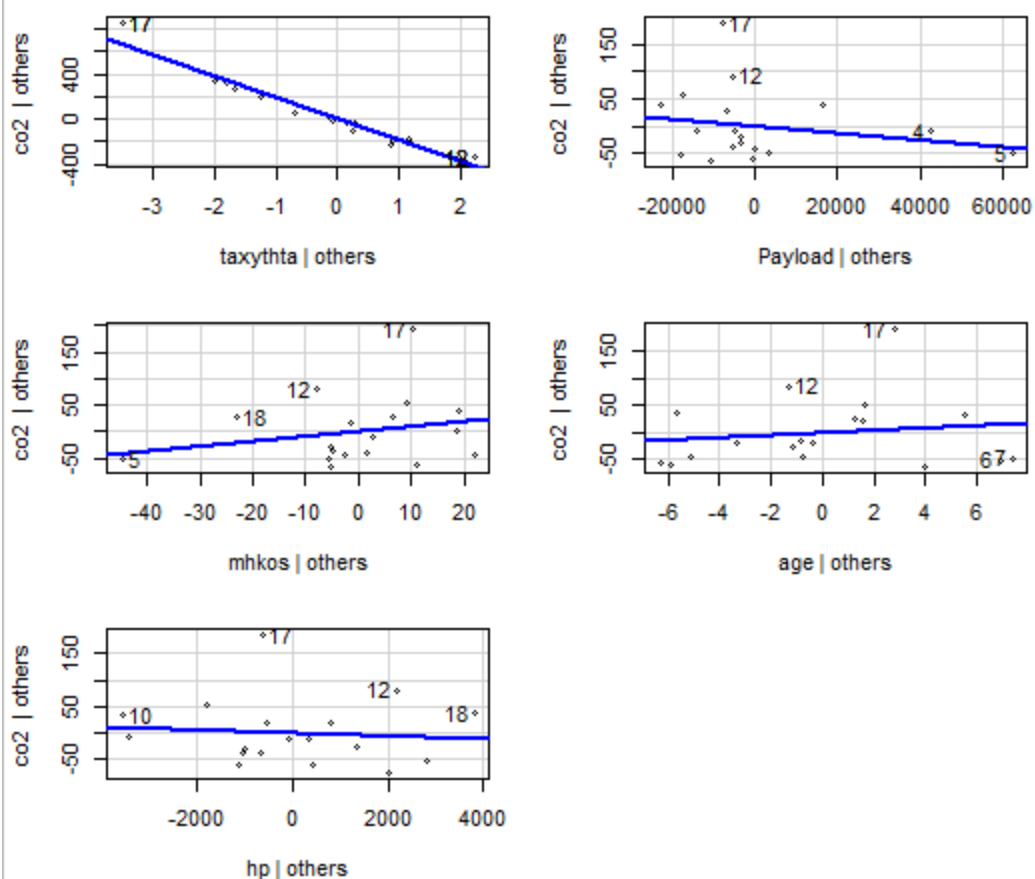
S

5.6 Πρόβλεψη κατανάλωσης CO²

Μελετήσαμε ότι έχουμε κατάλληλο μοντέλο, γνωρίζουμε την εξίσωση παλινδρόμησης, τώρα μπορούμε να κάνουμε την πρόβλεψη για την κατανάλωση

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την πρόβλεψη ανά παράμετρο

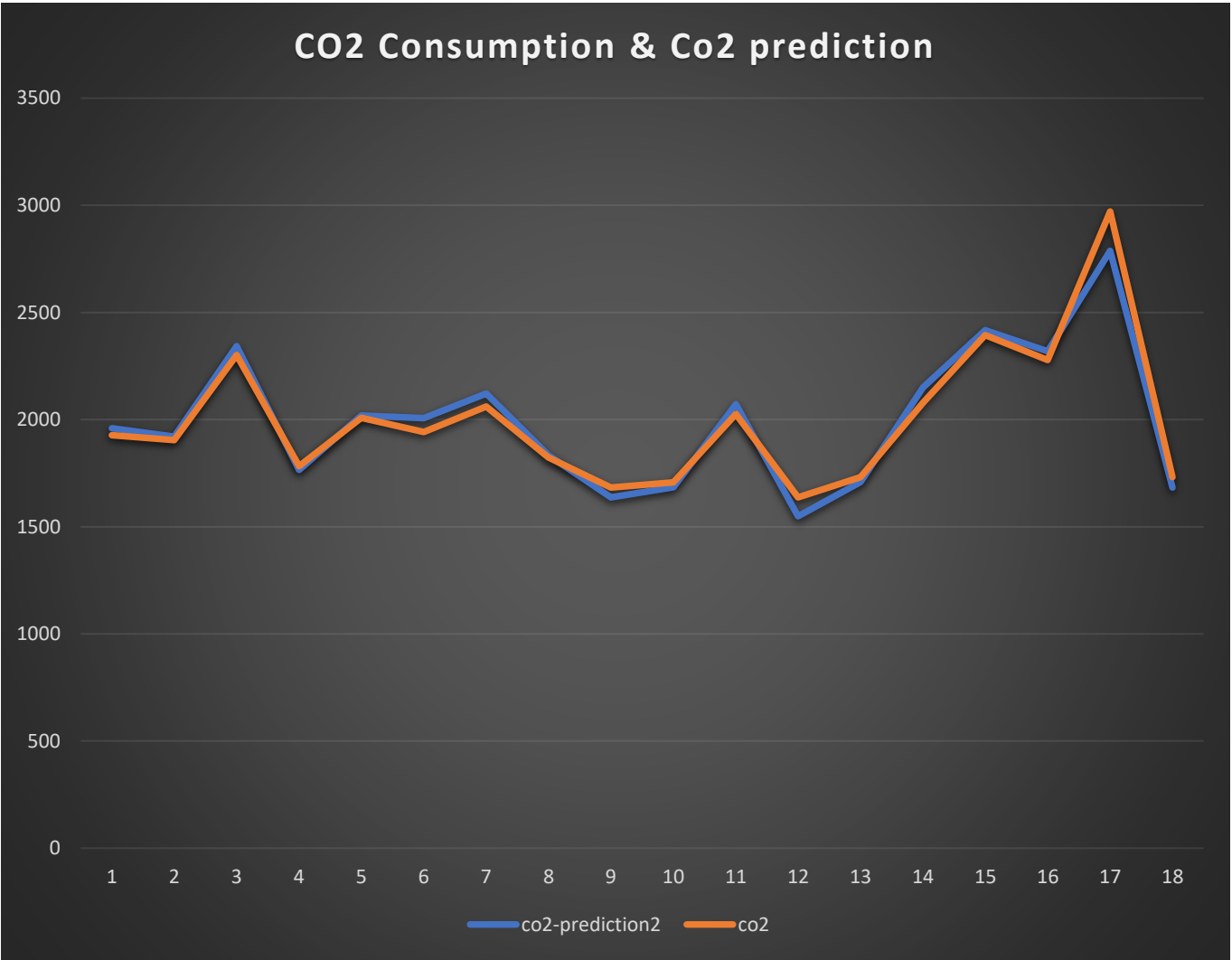
Added-Variable Plots



Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει έχουμε τα εξής

taxytha	Payload	mhkos	hp	age	co2-prediction2	co2
12	37600	180	9200	5	1959.85708	1,926.83
12.3	81700	229	8800	5	1920.74986	1,904.03
10	58000	190	10200	11	2343.1778	2,300.79
13	205000	300	13500	7	1764.8965	1,783.00
11.5	75500	140	8500	16	2019.7089	2,008.13
11.9	75000	225	12900	16	2006.9988	1,942.54
11.2	13900	142	12000	24	2122.30812	2,060.39
12.7	75600	225	12500	5	1834.08108	1,823.77
13.8	37100	190	10000	10	1636.93628	1,682.95
13.6	38900	190	8700	13	1683.75342	1,706.86
11.4	81700	229	15000	5	2071.76926	2,025.24
14.2	37100	190	14000	10	1549.12428	1,637.15

13.4	79200	229	14000	10	1708.88526	1,731.48
11.1	73600	225	16000	16	2149.49598	2,078.43
9.6	28300	169	12500	14	2417.59864	2,394.27
10.1	37100	181	9500	5	2319.05408	2,278.57
7.7	52900	188	11500	17	2787.40962	2,970.99
13.4	63000	199	15000	7	1682.9121	1,731.48



Κεφάλαιο 6^ο Συμπεράσματα

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ζωτικής σημασίας για την παγκόσμια οικονομία . Από την άλλη, τα δεδομένα για τα προβλήματα του θερμοκηπίου και την απελευθέρωση ρυπογόνων αερίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα μέσω θαλάσσιων σκαφών στον κόσμο είναι αναμφισβήτητο. Ως εκ τούτου, παρατηρείται ότι οι προσπάθειες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων τόσο από ναυτιλιακές εταιρείες όσο και από διεθνείς αρχές αυξάνονται τα τελευταία χρόνια. Στο πλαίσιο αυτό, αξίζει να αναφερθού εδώ ότι ορισμένοι δείκτες όπως το σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (SEEMP), ο δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI), ο δείκτης λειτουργίας ενεργειακής απόδοσης (EEOI) έχουν εισαχθεί στον ναυτιλιακό τομέα για τη βελτίωση της απόδοσης των πλοίων από τον IMO.

Σε αυτή τη μελέτη, η κατανάλωση καυσίμου προβλέφθηκε με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση που είναι μία από τις μεθόδους μηχανικής μάθησης. Στο πλαίσιο του σκοπού της μελέτης, ορισμένες παράμετροι που σχετίζονται με τον κινητήρα, όπως το φορτίο, μέση ταχύτητα πλοίου, ηλικία πλοίου, ιπποδύναμη μηχανής., οι οποίες επηρεάζουν την ποσότητα του καταναλωθέντος καυσίμου, λαμβάνονται υπόψη. Όλα τα δεδομένα υπολογίστηκαν με την βοήθεια συστημάτων AIS. Η ακρίβεια της διαδικασίας πρόβλεψης καθορίζεται μέσω διαφόρων μετρήσεων σφάλματος. Στην παρούσα εργασία για να υπολογίσουμε το σφάλμα της μεθόδου χρησιμοποιήσαμε το RSE το οποίο είναι αρκετά μικρό (0.037).

Η μελέτη αυτή είναι σημαντική για την παρακολούθηση και ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμων των πλοίων που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα λειτουργικά κόστη. Εκτός αυτού, αυτή η μελέτη θα μπορούσε να είναι το αρχικό βήμα για τις μελέτες διάγνωσης σφαλμάτων κινητήρα, καθώς τυχόν μη φυσιολογικές τιμές κατανάλωσης καυσίμου θα μπορούσαν να είναι ένδειξη μικρού ή μεγάλου προβλήματος στα θαλάσσια σκάφη.

Αναφορές

- Bagoulla, C., & Guillotreau, P. (2020). *Maritime transport in the French economy and its impact on air pollution: An input-output analysis.*
- Ballou, P. (2013). *Ship energy efficiency management requires a Total Solution approach.*
- IMO. (2014). *Reduction of GHG Emissions from Ships.* Final Report, MEPC 67/INF.3; .
- Marine Study. (2015). *Definitions and Ship's Dimensions.*
- Maritime & Coastguard Agency. (2016). *Automatic Identification System (AIS).*
- Navcen, A. (2016). *Types of AIS.*
- Smestad, B. (2015). *A Study of Satellite AIS Data and the Global Ship Traffic Through the Singapore Strait .*
- Smith , T., Jalkanen, J., Anderson, B., Corbett, J., Faber, J., & Hanayama, S. (2014). *Third IMO GHG study 2014.* IMO.
- Turbo, P., & MAN, D. (2011). *Basic Principles of Ship Propulsion.*

Παράρτημα

Δεδομένα

α/ α	ονομα πλοίου	Τύπος πλοίου	Ταχύτητα πλοίου (μέση ταχύτητα)	Διαστάσ εις πλοίου	Βύθι σμα	Ισχύς μηχανής (HP)	ηλικία σκάφο υς	κυμα τισμο ς	ρόπο ι (t/h)
				Μήκος	Πλάτο ς				
1	IBERIAN BULKER	Bulk carrier	12	180	30	7	9200	5	0.6 1.94
2	ARIETTA LILY	Bulk Carrier	12.3	229	33	10.8	8800	5	0.6 1.59
3	LINGBO RG	General Cargo Ship	11.6	123	14	6.7	7200	15	0.6 1.56
4	MSC MICHEL A	Container Ship	18.1	300	48	14.4	15800	6	0.6 1.98
5	SPAR URSA	Bulk Carrier	1	190	32	10.7	10200	11	0.6 1.28
6	GRANDE FLORIDA	Vehicles Carrier	19.5	200	37	8.9	7900	2	0.7 1.25
7	MSC LARA	Container Ship	13.3	203	31	8.2	9500	28	0.7 2.1
8	JUDD	Bulk Carrier	13	300	500	14	13500	7	0.5 1.59
9	AFRICA N JOSEPH R	Bulk Carrier	11.5	140	25	4.5	8500	16	0.8 1.98
10	YASA UNITY	Bulk Carrier	11.9	225	32	13.4	12900	16	0.5 1.78
11	PLUTUS	Bulk Carrier	11.2	142	22	6.8	12000	24	0.7 2.3
12	APOLLO N	Bulk Carrier	12.7	225	32	8.7	12500	5	0.9 1.56
13	FEDERAL SPEY	Bulk Carrier	13.8	190	28	9.6	10000	10	0.5 1.64
14	KOCIEWI E	Bulk Carrier	13.6	190	28	8.8	8700	13	0.9 1.84
15	MSC SIGMA F	Container Ship	11.6	148	24	6.4	8700	15	1.1 1.89
16	ASIM IMAMO GLU	General Cargo Ship	8.7	80	10	4	5600	17	0.9 1.95
17	ARIETTA LILY	Bulk Carrier	11.4	229	33	10.8	15000	5	1.2 1.65

1 8	FEDERAL SPEY	Bulk Carrier	14.2	190	28	9.6	14000	10	1.1	1.54
1 9	AP ARGOSY	Bulk Carrier	13.4	229	32	7.6	14000	10	0.9	1.95
2 0	NANXIN ANGELA	Bulk Carrier	11.1	225	32	14	16000	16	1.2	1.48
2 1	ASH ATLANTI C	Bulk Carrier	9.6	169	27	10.1	12500	14	1.1	1.87
2 2	SEA FALCON	Bulk Carrier	10.1	181	30	9.9	9500	5	1	1.54
2 3	STAR HARMO NY	Bulk Carrier	7.7	188	32	10.3	11500	17	1.1	1.76
2 4	A LA MARINE	Container Ship	9.1	171	26	8.7	9800	13	0.8	1.75
2 5	SYROS ISLAND	Bulk Carrier	13.4	199	32	10.1	15000	7	0.5	1.25

Υπολογισμός καύσης & καυσαερίων

SELECT SHIP TYPE	Dry Bulk Carrier	SELECT SHIP SIZE	Handysize BC	Medium Speed Engine
ROUTE	US Gulf-Rotterdam	TRIP DISTANCE	3539 nm	6568 km
PAYLOAD (tonnes)	25000	DWT (tonnes)	27000	

OPERATIONAL DETAILS						
STATE	TIME (days)	SPEED (knots)	FUEL OIL		DIESEL OIL	
			S %	Consumption (tonnes/day)	S %	Consumption (tonnes/day)
SEA LADEN	11.34	13	3.5	24	1.5	0
SEA BALLAST	11.34	13	3.5	24	1.5	0
PORT (loading,discharging)	4		3.5	4.5	1.5	0

EMISSIONS			
	CO2	SO2	NOx
ROUNDTrip EMISSIONS KG PER tonne TRANSPORTED	71.32	1.57	1.28
ROUNDTrip EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-MILE	20.15	0.45	0.36
ROUNDTrip EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-KM	10.86	0.24	0.20

SHOW/HIDE DETAILED RESULTS

CALCULATE

DETAILED RESULTS						
TOTAL BALLAST-LADEN DISTANCE		nm	7,078.00			
LADEN tonne-MILES		tonne*nm	88,475,000.00			
TIME IN PORT		days	4.00			
TRIP DURATION	SEA-LADEN	days	11.34	EMISSIONS		
TRIP DURATION	SEA-BALLAST	days	11.34	CO2	SO2	NOx
TOTAL RTrip DURATION		days	26.69	tonnes	tonnes	tonnes
CONSUMPTION FO	SEA LADEN	tonnes	272.23	862.97	19.06	15.52
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
CONSUMPTION FO	SEA BALLAST	tonnes	272.23	862.97	19.06	15.52
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
CONSUMPTION FO	PORT	tonnes	18.00	57.06	1.26	1.03
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL FUEL CONSUMPTION	SEA	tonnes	544.46	1,725.94	38.11	31.03

