

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ  
ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΛΟΙΩΝ  
ΤΗΣ ΠΟΝΤΟΠΟΡΟΥ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ,  
ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ**

**ΚΑΡΑΚΑΤΣΟΥΛΗ ΑΦΡΟΔΙΤΗ**

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Ναυτιλιακό Τμήμα του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στη Ναυτιλία.

**Πειραιάς, Σεπτέμβριος 2019**

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί προϊόν αποκλειστικά δικής μου εργασίας, ενώ για όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται οι αντίστοιχες αναφορές.

**UNIVERSITY OF PIRAEUS**

**DEPARTMENT OF MARITIME STUDIES**



**MASTER PROGRAM IN MARITIME STUDIES**

**ESTIMATION OF THE CONSUMPTION  
AND COST OF FUEL FOR MERCHANT  
SHIPPING BY VESSEL'S TYPE AND SIZE.**

**By  
KARAKATSOULI AFRODITI**

Master Thesis submitted to the Department of Maritime Studies of the University of Piraeus in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Maritime Studies.

**Piraeus, Greece, September 2019**

I declare responsibly that this thesis is a product of my own work only, and all references used are the references cited.

# Αφιέρωση

*Στην οικογένειά μου*

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε ορισμένους ανθρώπους, η συμβολή των οποίων ήταν πολύτιμη για την εκπόνηση τις παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Διονύσιο Πολέμη, για την καθοδήγηση και υποστήριξή του.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω στους καθηγητές Γεώργιο Βλάχο και Αλέξανδρο Αρτίκη που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στον κύριο Αθανάσιο Πετραλιά, ο οποίος στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μου. Νιώθω υποχρεωμένη για την καθοριστική του βοήθεια στην Τράπεζα της Ελλάδος, από όπου είχα πρόσβαση στα πραγματικά δεδομένα των πλοίων που χρησιμοποίησα.

Τέλος ευχαριστώ ειλικρινά, τους γονείς μου για την ηθική τους υποστήριξη και τους ευγνωμονώ που στέκονται πάντα δίπλα μου και μου δίνουν δύναμη να συνεχίσω να προσπαθώ για το καλύτερο.

# **Εκτίμηση της κατανάλωσης και του κόστους καυσίμων πλοίων της ποντοπόρου ναυτιλίας, ανά τύπο και μέγεθος πλοίου**

**Σημαντικοί όροι : οικονομετρική μέθοδος, εκτίμηση συντελεστών ανεξάρτητων μεταβλητών, πολλαπλή παλινδρόμηση, εξαρτημένη μεταβλητή, ποντοπόρος ναυτιλία, κατανάλωση ναυτικών καυσίμων, κόστος (\$/μετρικό τόνο), τύπος πλοίου.**

## **Περίληψη**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει την οικονομετρική εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων, καθώς και το κόστος της, για συγκεκριμένους τύπους πλοίων της ποντοπόρου ναυτιλίας, με τη χρήση πραγματικών μετρήσεων και δεδομένων των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν στο υπόδειγμα.

Τα δεδομένα των μεταβλητών προκύπτουν από τις βάσεις δεδομένων της Lloyd's List και της Fairplay και αφορούν τη χωρητικότητα του πλοίου (deadweight), το βύθισμα του (draft), την ιπποδύναμη της μηχανής (Power bhp ihp shp max), την ταχύτητα (speed), το έτος ναυπήγησης τους (year of built), για τους μήνες Δεκέμβριο 2016, Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο 2017. Αφορούν μετρήσεις για 472 πλοία, εκ των οποίων 200 είναι φορτηγά ξηρού φορτίου (bulkers), 200 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships) και 72 δεξαμενόπλοια (tankers).

Κατά την έναρξη του πονήματος γίνεται αναφορά στην έννοια και τη σημασία ύπαρξης και άνθισης της ποντοπόρου ναυτιλίας και των τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται. Γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την κατανάλωση των καυσίμων και μοντέλων που έχουν χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό. Εν συνεχεία, δίνεται ο ορισμός της οικονομετρίας, ο ορισμός της πολλαπλής παλινδρόμησης και της εκτίμησης των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών. Αναφερόμενοι στην οικονομετρική ανάλυση, παρουσιάζονται το οικονομετρικό υπόδειγμα, που δημιουργήθηκε για το σκοπό της παρούσας μελέτης στο στατιστικό πρόγραμμα Eviews, όλα τα στάδια της ανάλυσης που αφορούν τον καθορισμό των μεταβλητών που απαρτίζουν το παρόν υπόδειγμα, την παρουσίαση των περιγραφικών στατιστικών με χρήση διαγραμμάτων και γραφικών παραστάσεων ανά τύπο πλοίου. Αναλύεται η διαφοροποίηση της κατανάλωσης για κάθε μία μεταβλητή.

Στη συνέχεια γίνεται διατύπωση και παρουσίαση των οικονομετρικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση και γίνεται έλεγχος των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της κατανάλωσης.

Χρησιμοποιούνται οι εκτιμημένοι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών του οικονομετρικού μοντέλου που δημιουργήθηκε, για να υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμων και μετά το κόστος της, για το δείγμα των πλοίων που διαθέτουμε, με πραγματικά δεδομένα, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, για τους μήνες Δεκέμβριο 2016 με Μάρτιο 2017, ημερησίως και για το σύνολο της χρονικής περιόδου των δεδομένων.

Τέλος, καταλήγουμε σε συμπεράσματα για την κατανάλωση των καυσίμων ανά τύπο πλοίου και τις κύριες μεταβλητές που την επηρεάζουν, από τα δείγματα της βιβλιογραφίας που παρουσιάζονται, καθώς και από το παρόν οικονομετρικό μοντέλο.



# **Estimation of the consumption and cost of fuel for merchant shipping by vessel's type and size**

**Keywords: econometric method, independent variable coefficient estimation, multiple regression, dependent variable, merchant shipping, marine fuel consumption, cost (\$ / metric ton), vessel type.**

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to present the econometric estimation of fuel consumption, as well as its cost for the certain types of merchant shipping vessels, using actual measurements of the variables to be used in the model.

Our variable data is derived from the Lloyd's List and Fairplay data bases for deadweight, draft, power, speed, year of built, for the months of December 2016, January, February, and March 2017. They refer to 472 vessels, 200 of which are bulk carriers, 200 containerships and 72 tankers.

At the beginning, reference is made to the meaning and the importance of the existence of merchant shipping and the types of ships used. The bibliography on fuel consumption and models used for this purpose is reviewed. In addition, is presented the definition of econometrics, the definition of multiple regression and the estimation of the variables used. Referring to the econometric analysis, we present the econometric model created for the purpose of the present study, in Eviews statistical program, all the stages of the analysis concerning the determination of the variables used in this model. Then, there is the presentation of the descriptive statistics using graphs by type of ship and the analysis of the variation in consumption for each variable.

Then, there is a presentation of the econometric techniques used for the assessment are presented and the results of the consumption assessment.

Finally, the estimated coefficients of the independent variables of the econometric model are used, that was created to calculate fuel consumption and then its cost for the sample of ships we have, with real data, under real operating conditions for December 2016 until March 2017, daily and for the entire time period of the data.

In conclusion, are presented the fuel consumption by type of ship and the main variables affecting it, from the literature samples presented, as well as from the present econometric model.

# Περιεχόμενα

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	19
1.1. Ελλάδα & ποντοπόρος ναυτιλία: Μια σχέση απόλυτης συνύπαρξης.....	19
1.2 Παγκόσμια οικονομική κρίση - Ελληνική οικονομία & ποντοπόρος ναυτιλία .....	20
1.3 Ναυτιλιακά καύσιμα .....	25
1.4 Η ποντοπόρος ναυτιλία στο νέο παγκόσμιο eco-οικονομικό τοπίο .....	27
1.4.1 Οι διαμετακομιστικές ροές του παγκόσμιου εμπορίου και η Ελλάδα.....	27
1.4.2. Νέες ενεργειακές στρατηγικές.....	28
<b>2.ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ</b> .....	32
2.1. Μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση/υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων.....	34
2.1.1. Κατηγοριοποιήσεις με βάση τον τύπο πλοίου και τη λειτουργία του.....	35
2.1.2. Benford 1981.....	39
2.1.3. Hagiwara 1989, Hagiwara & Spaans, 1987.....	40
2.1.4. Energy and Environmental Analysis (EEA), 2000.....	40
2.1.5. Harries & Hinnenthal, 2004.....	41
2.1.6. Munk, 2006.....	42
2.1.7 Eljardt, 2006.....	42
2.1.8. Øyvind Endresen, et al., 2007.....	43
2.1.9.Eljardt, Greitsch, Mazza, 2009.....	46
2.1.10. Theo Notteboom ,Pierre Cariou, 2009.....	47
2.1.11. Shao & Zhou, 2011.....	48
2.1.12. Tadeusz Borkowski, Lech Kasyk και Przemysław Kowalak, 2011.....	49
2.1.13. Gehnke, 2014.....	50
2.1.14.Tyson M. Halford, 2015.....	51
2.1.15. Dario Bocchetti, Antonio Lepore, Biagio Palumbo, Luigi Vitiello, 2015.....	53
2.2 Νεότερες προσεγγίσεις .....	54
2.2.1. Bialystocki, Dimitris Konovessis, 2016 .....	55
2.2.2 D. Konovessis , K. Ramesh, S.K. Thong & You,2016 .....	56
2.2.3. Ailong Fan, Xinping Yan, Richard Bucknall, Qizhi Yin, Rui Song 2017.....	59

<b>3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	63
<b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	64
4.1. Εξειδίκευση υποδείγματος.....	64
4.2 Εκτίμηση του υποδείγματος .....	64
4.3 Έλεγχος του υποδείγματος.....	65
<b>5.ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	71
5.1 Bulkers .....	71
5.2 Containerships.....	76
5.3 Tankers .....	81
<b>6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ</b> .....	86
6.1.Bulkers .....	86
6.2 Containerships.....	92
6.3. Tankers .....	98
<b>7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ</b> .....	104
7.1 Bulkers .....	105
7.2 Containerships.....	107
7.3 Tankers .....	109
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	111
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	114

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Εισροές συναλλάγματος στην Ελλάδα από τη Ναυτιλία ....σελ	22
Πίνακας 2: Στόλος Ευρωπαϊκής Ένωσης σε dwt (πλοία>1.000GT)....σελ	23
Πίνακας 3: Οι 10 μεγαλύτεροι στόλοι ποντοπόρων πλοίων .....	σελ 24
Πίνακας 4: Πίνακας καταγραφής στοιχείων έρευνας για τους λόγους παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμων ποντοπόρων πλοίων .....	σελ 33
Πίνακας 5: Η κατηγοριοποίηση των Booz- Allen.....σελ	36
Πίνακας 6: Κατανάλωση καυσίμου βασικού κινητήρα για τα ποντοπόρα πλοία άνω των 100 GT.....σελ	45
Πίνακας 7: Συγκριτικός πίνακας μελετών καταγραφής κατανάλωσης καυσίμων ποντοπόρων πλοίων (Øyvind Endresen, et al., 2007:13)...σελ	46
Πίνακας 8: Κατανάλωση καυσίμου (Tyson M. Halford ) 2015.....σελ	48
Πίνακας 9: Ανεξάρτητες μεταβλητές για συνθήκες λειτουργίας ενός ταξιδιού.(DarioBocchetti,A.Lepore,B.Palumbo,L.Vitiello 2015).....σελ	53
Πίνακας 10 : Καμπύλη κατανάλωσης καύσιμων – ταχύτητας (knots), (N.Bialystocki, D.Konovessis, 2016).....σελ	55
Πίνακας 11: Διάγραμμα σύγκρισης πραγματικών και προσομοιωμένων αποτελεσμάτων (A.Fan,X.Yan,R.Bucknall,Yin,RuiSong(2017).....σελ	61
Πίνακας 12: Bulkers περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών.....σελ	70
Πίνακας 13: Containerships: περιγραφικά στατιστικά μεταβλητών.....σελ	75
Πίνακας 14: Tankers: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών.....σελ	80
Πίνακας 15: Bulkers: Στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους.....σελ	104
Πίνακας 16: Containership: Στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους.....σελ	106
Πίνακας 17: Tankers: Στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους.....σελ	108

## Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Bulkers: Ιστογράμματα των μεταβλητών.....σελ	71
Γράφημα 2: Bulkers: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης.....σελ	73
Γράφημα 3: Containerships: Ιστογράμματα των μεταβλητών.....σελ	76
Γράφημα 4: Containerships: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης.....σελ	78
Γράφημα 5: Tankers: Ιστογράμματα των μεταβλητών.....σελ	81
Γράφημα 6: Tankers: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης.....σελ	83
Γράφημα 7: : Παρατηρούμενες και εκτιμούμενες τιμές για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Bulkers. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.....σελ	90
Γράφημα 8: Παρατηρούμενες και εκτιμούμενες τιμές για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Containership. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.....σελ	96
Γράφημα 9: Παρατηρούμενες και εκτιμούμενες τιμές για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Tankers. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.....σελ	102
Γράφημα 10: Bulkers: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους.....σελ	105
Γράφημα 11: Containership: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους	σελ107
Γράφημα 12: Tankers: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους.....σελ	109

## Κατάλογος τύπων

Τύπος 1: Αλγόριθμος υπολογισμού κατανάλωση καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στην ΕΕΑ.....σελ	41
Τύπος 2: Αλγόριθμος υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμων από τους Øyvind Endresen, et al., 2007.....σελ	43
Τύπος 3: Αλγόριθμος υπολογισμού μέσου όρου αριθμού πλοίων (Øyvind Endresen, et al., 2007).....σελ	44
Τύπος 4: Αλγόριθμος υπολογισμού μέσου όρου ωρών πλεύσης ετησίως (Øyvind Endresen, et al., 2007).....σελ	44
Τύπος 5: Συνάρτηση υπολογισμού κόστους καυσίμων (Theo Notteboom, Pierre Cariou, 2009).....σελ	47
Τύπος 6: Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμων κύριας μηχανής, δεδομένης ταχύτητας (gr/day).....σελ	48
Τύπος 7: Κατανάλωση καυσίμου δεδομένου containership (λίτρα) (Tyson M. Halford , 2015).....σελ	52
Τύπος 8: Συνάρτηση πολλαπλής παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε στο τρέχων μοντέλο εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου. Dario Bocchetti, Antonio Lepore, Biagio Palumbo, Luigi Vitiello , 2015 .....σελ	54
Τύπος 9: Κατανάλωση καυσίμων πλοίου (A.Fan, X. Yan, R. Bucknall, Q. Yin, R. Song (2017) ).....σελ	60

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Ελλάδα & ποντοπόρος ναυτιλία:

#### Μια σχέση απόλυτης συνύπαρξης

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας καθόριζε ανέκαθεν ένα αναπτυξιακό μοντέλο προσανατολισμένο στην καθιέρωση της ναυτιλίας σαν κύριο κλάδο απασχόλησης και βιοπορισμού των κατοίκων της. Στα πρόσφατα χρόνια οι γεωπολιτικές ανακατατάξεις και η τελική διαμόρφωση της ευρύτερης λεκάνης της Μεσογείου, καθιέρωσε την Ελλάδα σαν τη νοτιοανατολική ακριτική περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κύρια πύλη εισόδου των εμπορευμάτων από την Άπω Ανατολή. Σε μια ευαίσθητη γεωστρατηγικά περιοχή με την αστάθεια που παρουσιάζεται στην ανατολική περιοχή της Ασίας (Τουρκία- Παλαιστίνη) και της Βόρειας Αφρικής και με ήδη ανεπτυγμένο ελληνικό εμπορικό και τουριστικό στόλο, ο ναυτιλιακός τομέας παρέχει στην Ελλάδα τεράστιες δυνατότητες οικονομικής ανάπτυξης.

Παρά την παγκόσμια οικονομική ύφεση των τελευταίων χρόνων – από την οποία ιδιαίτερα έχει υποφέρει η χώρα μας με συνέπειες σε όλα τα πεδία της οικονομίας- η Ελληνόκτητη Ποντοπόρος Ναυτιλία συνεχίζει να είναι πρώτη στον κόσμο όντας ανταγωνιστική και ευέλικτη. Η ποιότητα του υπό ελληνική ιδιοκτησία στόλου, καθορίζει την άριστη ποιότητα υπηρεσιών που παρέχει. Έλληνες ιδιοκτήτες ελέγχουν το μεγαλύτερο ποσοστό του στόλου με μεγάλη μεταφορική ικανότητα, 17,7 περίπου, της παγκόσμιας χωρητικότητας που υπερτερεί επίσης και σε σχέση με την ηλικία των πλοίων. Ανταγωνιστικές μεταφορικές υπηρεσίες, με τα πιο σύγχρονα και μεγαλύτερης χωρητικότητας πλοία, καθιστούν τον ελληνόκτητο ποντοπόρο στόλο ιδιαίτερα ελκυστικό και ανταγωνιστικό. Με ένα μέσο μέγεθος πλοίου περίπου 63.500 dwt (2012) σε σχέση με το μέσο μέγεθος των 24.600 dwt (2012) και (22.250 dwt αν εξαιρέσουμε τα ελληνόκτητα), το ποσοστό διαφοροποίησης κυμαίνεται περίπου στις 2,85 φορές, με συνέπεια τα ελληνόκτητα πλοία να μεταφέρουν το μεγαλύτερο μερίδιο του διεθνούς εμπορίου μακρινών αποστάσεων. Αυτή η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου εμπορευμάτων καθώς και το νεαρό της ηλικίας και η κατασκευή των πλοίων, τα καθιστούν προτιμητέα από τους παγκόσμιους εμπορικούς κολοσσούς.

## 1.2 Παγκόσμια οικονομική κρίση - Ελληνική οικονομία & ποντοπόρος ναυτιλία

Με εισροές 13 με 19 δις ετησίως στην ελληνική οικονομία, η ποντοπόρος ναυτιλία καλύπτει περίπου το 7% του ΑΕΠ<sup>1</sup>. Ο αριθμός ατόμων που απασχολούνται έμμεσα και άμεσα, φτάνει περίπου τα 3.000 άτομα με μεγάλες δυνατότητες αύξησης αυτού του αριθμού αν αξιοποιηθούν οι ιδιαίτερες ευκαιρίες που παρουσιάζονται λόγω αλλαγών σε γεωπολιτικά και γεωστρατηγικά ζητήματα. (βλ Brexit, κατάσταση στη Μ. Ανατολή, Τουρκία, Ρωσία, αλλαγές στην πολιτική κατάσταση των ΗΠΑ, οικονομικές κινήσεις της Κίνας, σταθερός ρυθμός ανάπτυξης σε οικονομίες της Ασίας, ύφεση της οικονομίας στη Λατινική Αμερική κλπ), στην ανάπτυξη του τουρισμού και στην ναυπηγοεπισκευαστική.<sup>2</sup>

Παρά τη συρρίκνωση της παγκόσμιας εμπορικής δραστηριότητας, η ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου έφτασε περίπου το 2,6% για το έτος 2016. Ο παγκόσμιος ποντοπόρος στόλος αυξήθηκε κατά 3% περίπου, το χαμηλότερο ποσοστό από το 2003, με σταθερή δραστηριότητα στη διάλυση πλοίων - ειδικά για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μέσο όρο ηλικίας διάλυσης τα 18 χρόνια - που αντιστάθμισε τις παραδόσεις νεότευκτων πλοίων. Το ίδιο διάστημα, ο ρυθμός ανάπτυξης του στόλου υπό ευρωπαϊκή πλοιοκτησία και διαχείριση παρουσιάζεται σημαντικά χαμηλότερος σε σχέση με τους ανταγωνιστικούς της ΕΕ, όπως για παράδειγμα, της Ασίας. Τα έσοδα στους περισσότερους τομείς της ναυτιλίας ήταν υπό πίεση με δύο σημαντικούς σταθμούς το 2016, την πτώση του δείκτη Baltic Dry σε ιστορικό χαμηλό 290 μονάδων και την κατάρρευση της Hanjin Shipping στον τομέα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πρώτη σε ένα βάθος 30 χρόνων. Η ναυλαγορά των πετρελαιοφόρων το 2016, εξαιτίας του περιορισμού των εμπορικών συναλλαγών παγκοσμίως, σημείωσε επίσης πτώση σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Τέλος, ο τομέας

---

<sup>1</sup> Στοιχεία από την έκθεση του Ναυτικού Επιμελητηρίου της Ελλάδος 25.09.2014 & της Ετήσιας Έκθεσης της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών 2016-2017

<sup>2</sup> International Monetary Fund (IMF), World Economic Outlook, Ιανουάριος 2017



μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συμπίεστηκε περαιτέρω, προκαλώντας συγχωνεύσεις στον κλάδο. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η μείωση των εσόδων και η ελαχιστοποίηση των παραγγελιών για νέα πλοία.<sup>3</sup>

Το 2016 σημειώθηκε το χαμηλότερο επίπεδο των τελευταίων 30 χρόνων, (τόσο αριθμητικώς όσο και από άποψη χωρητικότητας) στις παραγγελίες πλοίων, με μια πτώση της τάξης του 71%. Η μοναδική εξαίρεση ήταν οι παραγγελίες κρουαζιερόπλοιων και επιβατηγών πλοίων. Αντιθέτως, η αγορά μεταχειρισμένων πλοίων σε τομείς όπου η ναυλαγορά βρισκόταν στο κατώτερό της σημείο, σημείωσε αύξηση κατά 24%, όπως για παράδειγμα η αγορά πλοίων ξηρού χύδην φορτίου.<sup>4</sup>

Καθώς η οικονομική κρίση παρατείνονταν, η οικονομική αβεβαιότητα δημιούργησε ένα ζοφερό περιβάλλον για επενδύσεις στη χώρα και οι περιορισμοί στη διακίνηση κεφαλαίων είχαν καταστροφικές συνέπειες για το ισοζύγιο πληρωμών. Ιδιαίτερο πλήγμα δέχτηκαν τα έσοδα σε ξένο συνάλλαγμα από τη ναυτιλία όταν επιβλήθηκαν για πρώτη φορά οι περιορισμοί στη διακίνηση κεφαλαίων τον Ιούλιο του 2015 που συνεχίστηκαν και το 2016. Οι εισροές στο ισοζύγιο πληρωμών από την παροχή ναυτιλιακών υπηρεσιών μειώθηκαν το πρώτο εξάμηνο του 2016 κατά 42,42% σε σχέση με το αντίστοιχο διάστημα του 2015 αγγίζοντας τα 3,60 δισεκατομμύρια ευρώ.

Παρά το γεγονός ότι μεγάλος αριθμός ναυτιλιακών επιχειρήσεων αναγκάστηκε εξαιτίας των περιορισμών στις κινήσεις κεφαλαίων να μεταφέρει έσοδα των πλοίων στο εξωτερικό, προκειμένου να είναι σε θέση να εκπληρώσουν έγκαιρα και αποτελεσματικά τις διεθνείς οικονομικές τους υποχρεώσεις, οι εισροές ξένου συναλλάγματος στο διάστημα Ιουλίου-Δεκεμβρίου 2016 έφτασαν τα 4,22 δισεκατομμύρια ευρώ σημειώνοντας αύξηση σχεδόν 20% σε σχέση με το αντίστοιχο διάστημα του 2015 που ήταν 3,54 δισεκατομμύρια ευρώ.

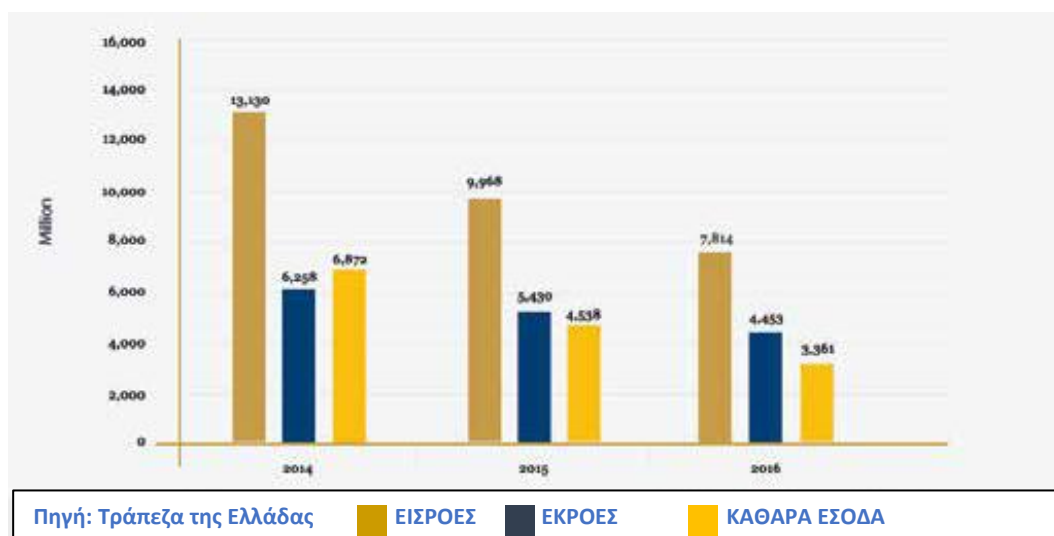
---

<sup>3</sup> IHS Maritime & Trade/World Shipping Encyclopedia, Ιανουάριος 2017

<sup>4</sup> Eurostat, Ιούλιος 2016 (στοιχεία 2014)

Οι εισροές στο ισοζύγιο πληρωμών κατά το 2016 από τη ναυτιλία, άγγιξαν τα 7,81 δισεκατομμύρια ευρώ, με ποσοστό μείωσης 22% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του 2015 που έφτασαν τα 9,97 δισεκατομμύρια ευρώ (Πίνακας 1). Τα δύο τελευταία χρόνια (2015-2016) οι εισροές εσόδων από τη ναυτιλία μειώθηκαν κατά 29,4% σε σχέση με τα έτη 2013-2014, λόγω των περιορισμών στη διακίνηση κεφαλαίων.

Πίνακας 1: Εισροές συναλλάγματος στην Ελλάδα από τη Ναυτιλία \* σε εκ. ευρώ



Παρά το παγκόσμιο αρνητικό κλίμα, τις εγχώριες δυσμενείς συνθήκες και την παράταση της οικονομικής κρίσης, η ναυτιλία συνεχίζει να παραμένει μαζί με τον τουρισμό ο κινητήριος μοχλός της ελληνικής οικονομίας έχοντας σε μια συνολική για τα έτη 2007 – 2016 θεώρηση- ένα σημαντικό προβάδισμα 16% εισροών στο ισοζύγιο πληρωμών (136 δις ευρώ) έναντι του τουρισμού (117 δις ευρώ).<sup>5</sup>

Η ναυτιλιακή βιομηχανία απασχολούσε, σύμφωνα με τα στοιχεία της ετήσιας έκθεσης Ελλήνων εφοπλιστών για το 2016- 2017, περίπου 200.000 άτομα. Παρά τις δυσμενείς οικονομικές συνθήκες παγκοσμίως

<sup>5</sup> Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) Μάρτιος 2017

αλλά και στην Ελλάδα, η Ελληνική ναυτιλία διατήρησε την ηγετική της θέση σε διεθνές επίπεδο.

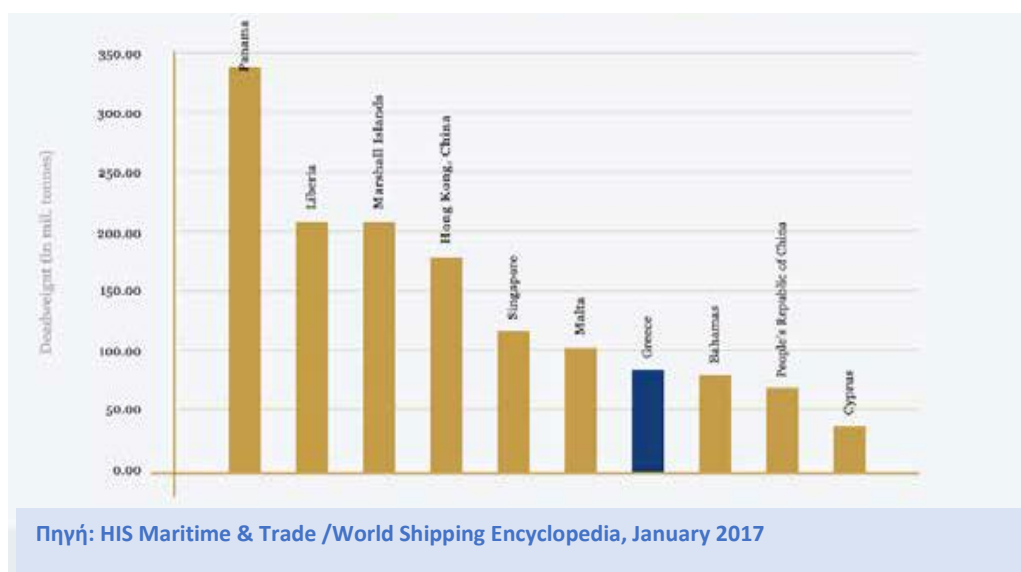
Ο υπό ελληνική ιδιοκτησία και διαχείριση στόλος τον Ιανουάριο του 2017 ανέρχονταν σε 4.585 πλοία (χωρητικότητας άνω των 1.000 gt), με συνολική χωρητικότητα 342,75 εκατομμυρίων τόνων *deadweight* (dwt) – καταγράφοντας αύξηση σχεδόν 0,5% σε σχέση με το 2015 – αντιπροσωπεύοντας το 19,19% του παγκόσμιου στόλου σε dwt και το 48,29% του συνολικού στόλου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Στόλος Ευρωπαϊκής Ένωσης σε dwt (πλοία άνω των 1.000 GT σε κίνηση)



Το 2016, 759 πλοία (άνω των 1.000 gt) με συνολική χωρητικότητα 42,38 εκατομμυρίων gt βρίσκονταν υπό ελληνική σημαία.

Πίνακας 3: Οι 10 μεγαλύτεροι στόλοι ποντοπόρων πλοίων (σε dwt) με καταγραφή σημαίας (καταγράφονται τα πλοία χωρητικότητας άνω των 1.000 GT)



Η ελληνική σημαία κατέχει την έβδομη θέση διεθνώς (Πίνακας 3) και τη δεύτερη στην ΕΕ (σε dwt). Ειδικότερα, ο ελληνόκτητος στόλος ελέγχει το 27,76% του παγκόσμιου στόλου δεξαμενοπλοίων, το 21,53% του παγκόσμιου στόλου φορτηγών πλοίων ξηρών χύδην φορτίων και το 15,94% του παγκόσμιου στόλου πλοίων μεταφοράς χημικών και παράγωγων προϊόντων πετρελαίου.

Το ηλικιακό προφίλ των υπο ελληνική σημαία πλοίων το 2016 ήταν 13,2 έτη και του στόλου ελληνικής ιδιοκτησίας 11,3 έτη. Την ίδια στιγμή ο μέσος όρος ηλικίας του παγκόσμιου στόλου ήταν 14,6 έτη. Η Ελλάδα καταγράφεται στη Λευκή Λίστα STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping International Convention for Seafarers*) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (*International Maritime Organization - IMO*) και η ελληνική σημαία περιλαμβάνεται στη Λευκή Λίστα του *Paris Memorandum of Understanding (Paris MOU)*. Ο Ελληνικός ποντοπόρος στόλος είναι ένας από τους πιο ασφαλείς στόλους παγκοσμίως σημειώνοντας ένα από τα μικρότερα ποσοστά εμπλοκής -μόλις 0,76% του στόλου - σε μικρά ναυτικά ατυχήματα το 2016.(ΕΛΣΤΑΤ,2017)

Ο Ελληνόκτητος στόλος παίζει κομβικό ρόλο στο διεθνές εμπόριο και τη μεταφορά ενέργειας παγκόσμια αποτελώντας τον μεγαλύτερο διεθνή εμπορικό, "cross-trading" στόλο στον κόσμο και παίζοντας καθοριστικό

ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη της ΕΕ, η οποία βασίζεται στη ναυτιλία για τη μεταφορά του 75% του διεθνούς της εμπορίου.

### 1.3. Ναυτιλιακά καύσιμα

Τα ναυτιλιακά καύσιμα σύμφωνα με το σχετικό ISO 8217 διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: **πετρέλαιο diesel** και **μαζούτ**. Πρόκειται για δύο εντελώς διαφορετικές ως προς τις φυσικές ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους κατηγορίες καυσίμων. Παρόλα αυτά για λειτουργικούς ή οικονομικούς λόγους στις προωσθήριες εγκαταστάσεις με μηχανές diesel χρησιμοποιούνται καύσιμα των δύο κατηγοριών είτε εναλλάξ, είτε σε μείγματα.

Η χρήση των καυσίμων αυτών επηρεάζει την ποιότητα ανάφλεξης στους κινητήρες diesel. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970 χρησιμοποιούταν ο αριθμός και ο δείκτης κετανίου (CCI-Calculated Cetane Index) Για τον προσδιορισμό του υπάρχουν άμεσοι ή μηχανικοί και έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι.

Το 1982 έγινε η πρώτη προσπάθεια θέσπισης ορίων για τα ναυτιλιακά καύσιμα και θεωρήθηκε ακόμα μεγαλύτερη η σημασία της ποιότητας ανάφλεξης. Ένα χρόνο μετά ο A.P. Zeelenberg<sup>6</sup> μετά από μια ολοκληρωμένη σειρά πειραμάτων διατύπωσε μιας μαθηματική σχέση η οποία συνδέει την αρωματικότητα των καυσίμων με τη ποιότητα ανάφλεξης τους. Έτσι καθιερώθηκε ένα νέο ποιοτικό εργαλείο για τον χαρακτηρισμό της ανάφλεξης, ο *δείκτης αρωματικότητας* (CCAI-Calculated Carbon Aromaticity Index).<sup>7</sup>

Τα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές των ναυτιλιακών καυσίμων καθορίζονται σύμφωνα με κανονισμούς A.S.T.M (*American Society Testing material*), BSS(*British Standard Specification*), ISO 8217 2010, CIMAC H-55 και τα εγχειρίδια κατασκευαστών μηχανών. Η ποιότητα του καυσίμου και η επεξεργασία του, μέχρι και την έγχυση του στο θάλαμο καύσης αποτελούν

---

<sup>6</sup> Τσόγκας, Ι., 2013 *Πετρέλαιο και ναυτιλιακά καύσιμα*, Διπλωματική Εργασία στο ΠΜΣ του Παν. Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

<sup>7</sup> Anderson, M., Salo, K. & Fridell, E. (2015). Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship. *Environmental Science & Technology*, 49(20), pp.12568-12575.

το σημαντικότερο παράγοντα για την σύσταση των προϊόντων που προκύπτουν από την καύση του, δηλαδή τις εκπομπές του πλοίου στο περιβάλλον.

Το πετρέλαιο μαζούτ ή αλλιώς *residual fuel oil* (RO), είναι βαρύτερο από όλα τα κλάσματα πετρελαίου και απαιτεί προθέρμανση για να έχει σωστή ροή στις δεξαμενές. Αποτελεί την πρώτη ύλη επίσης για την παραγωγή λιπαντικών. Πρόκειται για μέρος του φυσικού πετρελαίου (περίπου 50%) και σε σχέση με το diesel, είναι χαμηλότερης ποιότητας. Περιέχει πλήθος ρύπων όπως διοξείδιο του θείου. Παρά τα μειονεκτήματά του, αποτελεί το φθηνότερο υγρό καύσιμο της αγοράς.

Άλλες κατηγορίες καυσίμων που προκύπτουν από προσμίξεις των δύο κύριων κατηγοριών είναι: το IFO (*Intermediate fuel oil*), έχοντας μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πετρέλαιο μαζούτ.(98% κατάλοιπα πετρελαίου μαζούτ και 2% από απόσταγμα πετρελαίου diesel).

Το *residual fuel* χρησιμοποιείται για την καύση της κύριας μηχανής (*main engine*), ενώ το πετρέλαιο *distillate fuel* (diesel) χρησιμοποιείται για τις βοηθητικές μηχανές (*auxiliary engines*). Σε αντιστοιχία με τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω το *residual fuel oil* που προορίζεται για την κύρια μηχανή και αναμιγνύεται ελαφρώς με πετρέλαιο diesel είναι συνήθως το IFO ή MFO ή HFO, ενώ το IFO υποκατηγοριοποιείται ανάλογα με το κινηματικό ιξώδες του το οποίο μετράται σε *centistokes* (cSt).

Οι τύποι με την ευρύτερη χρήση στη ναυτιλία, είναι το IFO 380 cSt και το IFO 180 cSt. Εννοείται ότι όσο πιο πολλούς βαθμούς έχει το καύσιμο, τόσο πιο παχύρευστο και δύσκολο ως προς την καύση του θα είναι, με συνέπεια να είναι απαραίτητη η προθέρμανση της μηχανής



## 1.4 Η ποντοπόρος ναυτιλία στο νέο παγκόσμιο οικονομικό τοπίο

### 1.4.1 Οι διαμετακομιστικές ροές του παγκόσμιου εμπορίου και η Ελλάδα

Στα νέα οικονομικά δεδομένα της παγκοσμιοποίησης, σαν κυριότερη «συναλλαγματική μονάδα» θα μπορούσαμε να ορίσουμε το χρόνο. Εφόσον η πρόσβαση στις παγκόσμιες αγορές είναι ελεύθερη και η παραγωγή ενός προϊόντος μπορεί να γίνει χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από την έδρα της εταιρίας που το πατρνάρει, ο χρόνος είναι ο συντελεστής αύξησης του κέρδους. Κάθε αργοπορία βλάπτει. Οι Hummels και Schaur («*Time as a Trade Barrier*»)<sup>8</sup> (Ιανουάριος 2012) υποστήριξαν ότι η καθυστέρηση μιας ημέρας στην παράδοση ενός φορτίου αυξάνει το κόστος των μεταφερομένων αγαθών κατά 0.6% έως 2.3% αναλόγως με το εμπόρευμα. Η παγκοσμιοποίηση, και κυρίως η μετατροπή της Κίνας σε παγκόσμια εργοστασιακή βάση, έκανε προφανές ότι οι εμπορευματικές ροές θα άλλαζαν ριζικά και η κίνηση προϊόντων από την Κίνα στην Ευρώπη μέσω της Μεσογείου θα αύξανε με αλματώδεις ρυθμούς.

Η Ελλάδα φαίνεται να έχει τη δυνατότητα να οργανώσει τις συνθήκες για να παίξει ένα σημαντικό ρόλο σε όλη αυτή την πορεία ανάπτυξης. Για

---

<sup>8</sup> Hummels, David L., and Georg Schaur. 2013. "Time as a Trade Barrier." *American Economic Review*, 103 (7): 2935-59.

τουλάχιστον 15 χρόνια το NEE προωθεί την ιδέα του Πειραιά σαν διαμετακομιστικό κέντρο της Ανατολικής Μεσογείου. Συνδέοντας την ανάπτυξη και το σημαντικό ρόλο που μπορεί να παίξει ο Πειραιάς με την ανάγκη περατώσεως της σιδηροδρομικής σύνδεσης Θριασίου-Ικονίου, ένα έργο του οποίου η κατασκευή κράτησε 20 χρόνια. Ο Πειραιάς μειώνει τον μεταφορικό χρόνο κατά το λιγότερο κατά 4 ημέρες για φορτία προς και από την Άπω Ανατολή με προορισμό την Ανατολική Ευρώπη δια θαλάσσης. Η άκρως αυτή συμφέρουσα λύση που μπορεί να προσφέρει ο Πειραιάς οφείλεται κυρίως στη γεωγραφική θέση της Ελλάδας στην Μεσόγειο, αλλά προϋποθέτει αποτελεσματική και ανταγωνιστική σιδηροδρομική σύνδεση με την υπόλοιπη Ευρώπη.

#### **1.4.2. Νέες ενεργειακές στρατηγικές**

Καθώς η επιστημονική έρευνα προχωρά και η παγκόσμια κοινότητα κινητοποιείται για την προστασία του περιβάλλοντος, το ενεργειακό μίγμα στη ναυτιλία φαίνεται να εγκαταλείπει το «αμαρτωλό» παρελθόν των πετρελαιοκηλίδων αν και η εισαγωγή κάθε νέας πηγής ενέργειας γίνεται με σχετικά χαμηλούς ρυθμούς, γεγονός λογικό αφού απαιτείται κάθε φορά η ωρίμανση της κάθε τεχνολογίας και να δοθεί η δυνατότητα ανάπτυξης αντίστοιχων υποδομών. Προς το παρόν το προβάδισμα σε αυτό το ενεργειακό μίγμα (πέρα από τα πετρελαϊκά καύσιμα) φαίνεται να καταλαμβάνει το LNG (*Anderson et al., 2015; Daskalakis et al., 2015*)<sup>9,10</sup> με κινητήριες δυνάμεις τη τεχνολογία, τους κανονισμούς και την αυξανόμενη διαθεσιμότητα με την ανάπτυξη των υποδομών. Ωστόσο η εισαγωγή του LNG στη ναυτιλία εντάσσεται στη προσπάθεια βελτιστοποίησης της διαχείρισης των ορυκτών καυσίμων. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός IMO αποφάσισε από το 2016 να επιβάλλει την εφαρμογή χρήσης ναυτιλιακού καυσίμου μικρής περιεκτικότητας σε θείο 0,5%, για όλα ανεξαιρέτως τα πλοία από την 1η Ιανουαρίου 2020.

---

<sup>9</sup> Daskalakis I, Chatzinikolaou S., Ventikos N.P. (2015), "Platform for assessing ship emissions from a life cycle perspective", *Technologies, Operations, Logistics and Policies towards meeting 2050 emission targets* (SCC 2015), Glasgow, UK, Osman et al. (eds), Vol. 1, pp. 113-122

<sup>10</sup> Anderson, M., Salo, K. & Fridell, E. (2015). Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship. *Environmental Science & Technology*, 49(20), pp.12568-12575.



Η Επιτροπή Προστασίας Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO παρουσίασε μελέτη το 2016 αναφέροντας πως θα υπάρχει επαρκής κάλυψη των απαιτήσεων της αγοράς στο συγκεκριμένο καύσιμο, τονίζοντας την προσπάθεια του IMO να διασφαλίσει ότι η διεθνής ναυτιλία θα γίνει με τη βοήθεια της τεχνολογίας πιο φιλική προς το περιβάλλον, διασφαλίζοντας την προστασία του και την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Σύμφωνα με στοιχεία του IMO η χρήση καυσίμου μικρής περιεκτικότητας σε θείο 0,5% από το 2020 θα επηρεάσει μέχρι και 70.000 πλοία. Σε περίπτωση που πλοιοκτήτριες εταιρείες δεν θελήσουν να χρησιμοποιήσουν το συγκεκριμένο καύσιμο, σύμφωνα με το νέο κανονισμό, θα πρέπει να τοποθετήσουν ειδικούς καταλύτες στις εξόδους καυσαερίων των πλοίων ή να προχωρήσουν σε μετατροπές για τη χρήση LNG ανεβάζοντας κατά πολύ το κόστος των αλλαγών. Πάντως και στην περίπτωση της χρήσης καυσίμου μικρής περιεκτικότητας σε θείο 0,5% αναμένεται να ανέβει σημαντικά το λειτουργικό κόστος ενός πλοίου κατά 25% περίπου, αυξάνοντας κατά πολύ το κόστος μεταφοράς εμπορευμάτων και ακτοπλοϊκών εισιτηρίων.

Η παγκόσμια κατανάλωση καυσίμων του εμπορικού στόλου ανέρχεται σήμερα στους 330 εκατομμύρια τόνους ετησίως (DNV-GL, 2014)<sup>11</sup>. Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ένας από τους αποδοτικότερους τρόπους μεταφοράς από άποψη κατανάλωσης καυσίμων με εκτιμώμενη απαίτηση 2-3 grams καυσίμου ανά τόνο ανά km και αντίστοιχα σχετικά χαμηλές εκπομπές ρύπων.

Ωστόσο, ενισχύουν σημαντικά τις εκπομπές GHG (*greenhouse gas*) και στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε περιοχές επιβαρυμένες από άποψη θαλάσσιας κυκλοφορίας. Οι νέοι κανονισμοί επιδρώντας αυξητικά στις τιμές των παραγώγων πετρελαίου δημιουργούν την ανάγκη αξιοποίησης της τεχνολογίας για την εισαγωγή και ευρεία χρήση στις θαλάσσιες μεταφορές των εναλλακτικών καυσίμων.

---

<sup>11</sup> DNV-GL, 2014. Alternative fuels for shipping

Τα εναλλακτικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται ή μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν στη ναυτιλία περιλαμβάνουν τα: Liquefied Natural Gas (LNG), Liquefied Petroleum Gas (LPG), Methanol and Ethanol, Di-Methyl Ether (DME), Synthetic Fuels (Fischer-Tropsch), Biodiesel, Biogas, Cold Ironing (Shore-to-ship power), Hydrogen, Nuclear Fuel.<sup>12</sup>

Ο τομέας εξηλεκτρισμού των πλοίων αποδεικνύεται μέσα από τις πρόσφατες εξελίξεις πολλά υποσχόμενος για την αποδοτικότερη διαχείριση της απαιτούμενης για τη ναυτιλία ενέργειας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό, δίνουν τη δυνατότητα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο χερσαίο δίκτυο να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε ελλιμενισμένα πλοία και φόρτιση μπαταριών σε πλήρως ηλεκτρικά ή υβριδικά πλοία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας σε πλοία με συχνή μεταβολή στην απαίτηση ισχύος (π.χ. ρυμουλκά) και σε παράκτιες εφαρμογές λόγω αυξημένης προσβασιμότητας (*offshore service vessels, berthing operations, auxiliary systems*). Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του πλήρως ηλεκτροκίνητου ferry Ampere στη Νορβηγία.

Μια άλλη εναλλακτική πηγή καυσίμων για τη ναυτιλία είναι τα βιοκαύσιμα, κύρια πηγή των οποίων είναι οι βρώσιμες και μη βρώσιμες καλλιέργειες, τα διάφορα παραπροϊόντα της γεωργίας και βιομηχανίας, τα οργανικά απόβλητα και η άλγη (algae). Ειδικά η τελευταία, επειδή αναπτύσσεται στο νερό, δε λειτουργεί ανταγωνιστικά ως προς τις εκτάσεις καλλιέργειας με τις βρώσιμες καλλιέργειες. Συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση εκπομπών GHG, τα βιοκαύσιμα, επιβαρύνουν πολύ λιγότερο το θαλάσσιο περιβάλλον καθώς βιοδιασπώνται πολύ γρηγορότερα σε περίπτωση διαρροής. Μπορούν να αναμιχθούν με συμβατικά καύσιμα και να χρησιμοποιηθούν σε συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης.<sup>13</sup>

Καθώς η παραγωγή βιοκαυσίμων βρίσκεται ακόμη στα αρχικά της στάδια, η εξασφάλιση ικανοποιητικής παροχής βιοκαυσίμων, παραμένει ακόμη μία πρόκληση. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα της έρευνας είναι ενθαρρυντικά αν και η εκτεταμένη χρήση τους στη ναυτιλία φαίνεται να είναι ακόμη μακριά.

---

<sup>12</sup> European Commission JRC, 2016. *Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways*.

<sup>13</sup> Βεντικός, Ν., Ράκας, Δ., Ξιφαράς, Κ., 2017, Εναλλακτικά καύσιμα και ναυτιλία, *Maritime Economies*, 31.01.2017

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι μεγάλης κλίμακας δοκιμές διεξάγει το πολεμικό ναυτικό των ΗΠΑ ("*Green Strike Force*" programme).<sup>14</sup>

Άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας αξιοποιήσιμες από τη ναυτιλία είναι οι κυψέλες καυσίμου (διατάξεις για τη μετατροπή της χημικής ενέργειας του υδρογόνου σε ηλεκτρική). Άλλα καύσιμα που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι το LPG (μίγμα προπανίου και βουτανίου), Methanol, Ethanol και Di-Methyl Ether (DME) τα οποία μειώνουν τις εκπομπές NOX και δεν περιέχουν θείο.



---

<sup>14</sup> Βεντικός, Ν., κα 2017, ο.π.

## 2.ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σε μια απλοποιημένη θεώρηση, η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμων και η ανάλυση απόδοσης του καυσίμου, είναι τα κλειδιά που ο ιδιοκτήτης του πλοίου ή ο χειριστής του πρέπει να αξιοποιήσει για να εκτιμήσει το κόστος του ναύλου και κατά συνέπεια το κέρδος της επιχείρησης.

Οι διαδικασίες παρακολούθησης και ανάλυσης του κόστους καυσίμων από τις ίδιες τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις είναι μια συνήθης πρακτική εδώ και δεκαετίες. Ωστόσο, η σταδιακή αύξηση της τιμής των καυσίμων απαιτεί μια πιο εξελιγμένη και πολυεπίπεδη πρακτική στον τομέα αυτό, ώστε να εξασφαλίσουν το μέγιστο κέρδος απόδοσης. Η διαπίστωση αυτή, οδήγησε ήδη εδώ και αρκετά χρόνια στην προσπάθεια διατύπωσης αλγορίθμων για την ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης και τάσεων. Επιπρόσθετα, τα οικονομικά δεδομένα δημιούργησαν ευνοϊκό περιβάλλον για τη γέννηση εταιρειών που κατασκευάζουν τεχνολογίες που μπορούν να μειώσουν από κατασκευής του πλοίου ή να βελτιώσουν την ήδη υπάρχουσα δομή του πλοίου, ως προς την κατανάλωση καυσίμων. Τέλος, ένα άλλο πεδίο εφαρμογής της παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμων είναι η αξιολόγηση παρεμβάσεων ενεργειακής απόδοσης από εξωτερικούς αξιολογητές. Πολλές δημοσιεύσεις (Alvik et al., 2010<sup>15</sup>; Buhaug et al., 2009<sup>16</sup>) υποστηρίζουν πως υπάρχουν πολλοί τρόποι για να αυξηθεί η αποδοτικότητα κατανάλωσης καυσίμων των ποντοπόρων πλοίων που δεν έχουν αξιοποιηθεί στο έπακρο. Έτσι, ενώ είναι γνωστό ότι υπάρχουν μοντέλα και δεδομένα για να αναλυθούν και να αξιολογηθούν με ενεργειακές παρεμβάσεις (με όποιο οικονομικό κόστος και κέρδος αυτές αντιπροσωπεύουν), υπάρχουν ταυτόχρονα ενδείξεις ότι η αξιοπιστία των πληροφοριών που παρέχουν δεν είναι πάντα αδιάβλητη. (Isabelle Rojon et al,2014)

---

<sup>15</sup> Alvik,S., Eide, M., Oyvind, E, Hoffman,P, Longva,T., (2010) *Pathways to low carbon shipping: Abatement potential towards 2030*, Hovik, Norway: Det Norske Veritas,AS (DNV)

<sup>16</sup> Buhaug, Ø., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D. S., Lee, D., Lindstad, H.,Markowska, A. Z., Mjelde, A., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J. J. & Yoshida, K. (2009) *Second IMO GHG Study 2009*. London, UK: International Maritime Organization (IMO) Διαθέσιμο στο: [http://www5.imo.org/SharePoint/blastDataHelper.asp/data\\_id%3D27795/GHGStudyFINAL.pdf](http://www5.imo.org/SharePoint/blastDataHelper.asp/data_id%3D27795/GHGStudyFINAL.pdf)

Σε έρευνα που διεξήγαγαν οι Isabelle Rojon (et al,2014), διαπιστώθηκε πως το 92% των συμμετεχόντων παρακολουθούσε την κατανάλωση καυσίμων.

Οι λόγοι παρακολούθησης όπως καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα, είχαν να κάνουν στην πλειοψηφία τους με τη διερεύνηση δυνατοτήτων μείωσης τους κόστους κατανάλωσης καυσίμων και βελτιστοποίησης ενεργειακής απόδοσης. (97%), την επίτευξη οικονομικών στόχων (67%) την τήρηση κανονισμών χειρισμού διεθνών οργανισμών (51%) την ικανοποίηση συνθηκών βιωσιμότητας της επιχείρησης ( 48%), να ικανοποιήσουν απαιτήσεις πελατών και ναυλωτών (31%), να ικανοποιήσουν νομικές απαιτήσεις (19%), να αντιμετωπίσουν απαιτήσεις μετόχων κα επενδυτών (16%) να αντιμετωπίσουν ανταγωνιστές (9%) ενώ υπάρχει και ένα ποσοστό 10% για άλλους λόγους.

**Πίνακας 4: Πίνακας καταγραφής στοιχείων έρευνας για τους λόγους παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμων ποντοπόρων πλοίων (Isabelle Rojon et al,2014)(n=94)**



## 2.1. Μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση/υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων

Όλες οι δημοσιεύσεις συμφωνούν ότι από τις πρώτες προσπάθειες εμπειρικών στατιστικών αναλύσεων μέχρι τη διατύπωση τύπων υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπής καυσαερίων, διανύθηκε μια μεγάλη διαδρομή που περιλάμβανε παγκόσμια συνεργασία, διεπιστημονική προσπάθεια και ιδεολογικές διαπραγματεύσεις με παγκόσμιους και τοπικούς επιστημονικούς και επαγγελματικούς φορείς.

Η ναυτιλιακή δραστηριότητα έχει αυξηθεί αλματωδώς από τον 20<sup>ο</sup> αιώνα και αποτελεί σήμερα έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμων και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Τα στοιχεία όμως που έχουμε στη διάθεσή μας για να μελετήσουμε τους δείκτες κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπής καυσαερίων είναι γενικά περιορισμένα με την ύπαρξη ελάχιστων δημοσιεύσεων πριν το 1950 και τον εντοπισμό σημαντικών διαφοροποιήσεων σε όσες διαθέτουμε για τις επόμενες δεκαετίες μέχρι το 2000. Οι Øyvind Endresen et al, 2007 μελέτησαν την ιστορική εξέλιξη της έρευνας στον τομέα αυτό διαχωρίζοντας τις προσεγγίσεις που έχουν καταγραφεί σε αυτές που βασίζονται στις καταγραφές που είναι βασισμένες στην προμήθεια καυσίμων για τον υπολογισμό εκπομπών CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> από το 1925 έως το 2002 και σε αυτές που βασίζονται στην κατηγοριοποίηση των πλοίων από το 1970 έως το 2000. Οι Eyring et al. (2005)<sup>17</sup> έχουν υποστηρίξει ότι οι καταγραφές που βασίζονταν στη δραστηριότητα των πλοίων από το 1950 μέχρι το 1992 ήταν αρκετά απλοποιημένες.

Από το 1992 και μετά, διαφορετικές προσεγγίσεις και θεωρητικές αναλύσεις έχουν εφαρμοστεί για να εκτιμήσουν τόσο την κατανάλωση καυσίμων όσο και την παραγωγή εκπομπών του SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>. Δυστυχώς προκύπτουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις καταγραφές που προέκυψαν από αυτές. Ανάμεσα στους λόγους που συμβαίνει αυτό, οι Øyvind Endresen et al. (2007) υποστηρίζουν πως είναι η αξιοπιστία των στατιστικών πωλήσεων ναυτιλιακών καυσίμων (Corbett & Koehler, 2003, 2004; Eyring et al., 2005;

---

<sup>17</sup> Eyring, V., H. W. Köhler, J. van Aardenne, and A. Lauer (2005), Emissions from international shipping: 1. The last 50 years, J. Geophys. Res., 110, D17305, doi:10.1029/2004JD005619

Endresen et al., 2003<sup>18</sup>, 2004, 2005) αφού οι στατιστικές με βάση τη δραστηριότητα των πλοίων παρουσιάζουν την κατανάλωση καυσίμων σημαντικά πιο αυξημένη (Corbett, Koehler 2003, Eyring et al., 2005). Υπάρχει λοιπόν σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στις καταγραφές πωλήσεων καυσίμων και στους υπολογισμούς της κατανάλωσης καυσίμων όπως δηλώνονται από τις αναφορές πληρωμάτων, που άλλοι ερευνητές αποδίδουν στην απόκρυψη στοιχείων πωλήσεων (Corbett and Koehler, 2003<sup>19</sup>; Eyring et al., 2005) και άλλοι στην αλλαγή της κατασκευής, τεχνολογίας και δραστηριοτήτων του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου που δεν παραμετροποιείται επαρκώς στα μοντέλα στατιστικής που έχουν σαν βάση της δραστηριοποίηση των πλοίων.

Έτσι σε νεώτερες προσεγγίσεις (Øyvind Endresen et al. 2007, Bialystocki, Konovessis 2016, Fan, Yan, Bucknall, Yin, Song 2017 ) γίνεται προσπάθεια να παραμετροποιηθούν καλύτερα οι παραπάνω παράγοντες και να ληφθεί υπόψη η επίδρασή τους στην κατανάλωση καυσίμων με σκοπό τον καλύτερο σχεδιασμό και χειρισμό των πλοίων, ώστε να επιτευχθεί το μικρότερο κόστος για τις ναυτιλιακές εταιρείες και η μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος όσο αφορά στις εκπομπές εναέριων ρύπων.

### ***2.1.1. Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο πλοίου και με βάση τη λειτουργία του.***

Η βιβλιογραφία παρουσιάζει συγκεκριμένες κατηγοριοποιήσεις που διαφοροποιούνται μεταξύ τους στα χαρακτηριστικά που παίρνουν υπόψη τους και στην ομαδοποίηση.

---

<sup>18</sup> Endresen, Ø., E. Sørge<sup>o</sup>rd, J. K. Sundet, S. B. Dalsøren, I. S. A. Isaksen, T. F. Berglen, and G. Gravir (2003), Emission from international sea transportation and environmental impact, J. Geophys. Res., 108(D17), 4560, doi:10.1029/2002JD002898.

<sup>19</sup> Corbett, J. J., and H. W. Koehler (2003), Updated emissions from ocean shipping, J. Geophys. Res., 108(D20), 4650, doi:10.1029/2003JD003751.

### **Κατηγοριοποιήσεις με βάση τον τύπο πλοίων**

Το 1991 δημοσίευση των Booz – Allen<sup>20</sup> κατηγοριοποιεί τα ποντοπόρα πλοία σε τέσσερις τύπους:

- Τα κοντέινερ (containerships)
- Τα πετρελαιοφόρα (tankers) και πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers)
- Τα πλοία μεταφοράς εμπορευμάτων/ αυτοκινήτων/ RORO/ και τα ποντοπόρα tugs
- Τα επιβατικά και κρουαζιερόπλοια

Στη συνέχεια, κάθε κατηγορία διαχωρίζεται σε υποκατηγορίες βάρους ανά 25.000 καθαρού βάρους (deadweight ton (DWT) ) και ένας μέσος όρος ισχύος συνδέεται με κάθε υποκατηγορία βάρους για κάθε κατηγορία πλοίων. Στη προσέγγισή τους ωστόσο η ισχύς δε διαφοροποιείται στις κατηγορίες των πλοίων , εκτός από τα tankers και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου(bulk carriers) για τα οποία χαρακτηρίζεται μεγαλύτερη από αυτή των άλλων πλοίων. Αυτό θέτει υπό αμφισβήτηση τη μελέτη των Booz-Allen, καθώς τα tankers και τα bulk carriers , έχουν συνήθως μικρότερη ισχύ για δεδομένο νεκρό βάρος (deadweight).

Πίνακας 5: Η κατηγοριοποίηση των Booz- Allen

Type	DWT (x1000) Range	Horsepower
(1) Tankers & Bulk Carriers	0-25	16862
	25-50	35742
	50-75	59342
	75-100	80582
	100+	104182
(2) All Others*	0-25	8560
	25-50	11920
	50-75	16120
	75-100	19900
	100+	24100

Οι Booz-Allen χρησιμοποιούν τρεις κατηγορίες για τα πλοία: α. τα containers, β. τα πλοία γενικών μεταφορών (εμπορευμάτων, οχημάτων κλπ)/RORO/ποντοπόρας ναυτιλίας και γ. επιβατικά και κρουαζιερόπλοια. Ωστόσο όλα χρησιμοποιούν την ίδια σχέση HP/DWT.

<sup>20</sup> Inventory of Air Pollutant Emissions from Marine Vessels, Final Report, prepared by Booz-Allen & Hamilton for the California Air Resources Board, Revised March 1991



Η μελέτη της Acurex<sup>21</sup> (1996) για την SCAQMD χρησιμοποιεί επίσης ένα σχήμα κατηγοριοποίησης συνδέοντας το βάρος μεταφοράς (*deadweight*) με τον τύπο του πλοίου. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα από τους Lloyds, από πλοία που ελλιμενίστηκαν στο San Pedro Bay. Η Acurex κατηγοριοποίησε τα πλοία με βάση τον τύπο και την κατηγορία σχεδιασμού, όπου:

$$\text{Κατηγορία σχεδιασμού} = (DWT)^{0.667} * (\text{Ταχύτητα δρομολογίου})^3 / 10^4$$

Η εξίσωση βασίζεται στον επιστημονικό τύπο σύνδεσης της ισχύος με την έλξη που προσπαθεί να υπερκεράσει, έχοντας σαν συντελεστές την επιφάνεια του νερού και τον κύβο της ταχύτητας. Από τα δεδομένα των Lloyds η Acurex ανέπτυξε οχτώ κατηγορίες πλοίων ως εξής:

- Μεταφορικά πλοία αυτοκινήτων
- Πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carriers)
- Κοντέινερς (containerships)
- Πλοία γενικών μεταφορών (general cargo)
- Επιβατηγά πλοία
- Πλοία μεταφοράς κατεψυγμένου φορτίου (reefer ships)
- RORO πλοία ('roll-on, roll-off,' or RORO)
- Και πετρελαιοφόρα (tankers)

Κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες χωρίστηκε σε οχτώ υποκατηγορίες με βάση το σχεδιασμό σε μια διαβάθμιση των 200. Ωστόσο, επειδή δεν είναι διαθέσιμα τα στοιχεία του αριθμού των πλοίων που συμμετείχαν στο δείγμα κάθε συνδυασμού των κατηγοριών, η εξέταση των δεδομένων καταδεικνύει σημαντική διαφοροποίηση του δείγματος, αφού σε πολλές περιπτώσεις η ισχύς (ιπποδύναμη) μειώνεται σε σχέση με την αύξηση κατηγορίας σχεδιασμού. Παρόλο που κατέδειξε ότι η κατηγοριοποίηση με βάση το σχεδιασμό μείωνε τις διασπορές της ισχύος στην τυποποίηση των πλοίων, έδειξε επίσης ότι η μείωση της διασποράς, με το καθαρό βάρος (*deadweight*)

---

<sup>21</sup> Marine Vessel Emission Inventory and Control Strategies, Final Report, prepared by Acurex Environmental Corp., for the South Coast Air Quality Management District, 1996

ως δείκτη, δεν ήταν μεγάλη. Επιπλέον, πρόκειται για μεγάλες διακυμάνσεις της ποσοστιαίας αύξησης της ισχύος για κάθε 200 τμήματα του εύρους κατηγοριοποίησης με βάση το σχεδιασμό των πλοίων, δείχνοντας έτσι σημαντική διακύμανση που δεν τεκμηριώνεται.

Η μελέτη του Arcadis (1999) για την EPA αξιοποιεί την ίδια τυποποίηση των πλοίων με την Acurex , αλλά ενσωματώνει τις ταχύτητες πλεύσης (*cruise speeds*) στην ανάλυση ανά τύπο πλοίου. Τα πλοία χύδην φορτίου, τα τάνκερ και τα εμπορικά είχαν ταχύτητες πλεύσης στο εύρος των 15-16 κόμβους, ενώ τα RORO και τα κοντέινερς είχαν ταχύτητες από 20 έως 22 κόμβους. Τα αυτοκινητοφόρα πλοία είχαν μέσο όρο 18,3 κόμβους ενώ τα επιβατηγά 19,9. Οι εκτιμήσεις αυτές φαίνεται να είναι ρεαλιστικές εκτός από την ταχύτητα των επιβατηγών, που η σχετικά χαμηλή ταχύτητα φαίνεται να επηρεάζεται από το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε καθώς τα πλοία αυτά έχουν συνήθως ταχύτητες άνω των 30 κόμβων.

### **Κατηγοριοποιήσεις με βάση τη λειτουργία**

Γενικά τα πλοία χρησιμοποιούν διαφορετικές ταχύτητες, ανάλογα με το σημείο που βρίσκονται (ταξίδι σε ανοιχτή θάλασσα, προσέγγιση σε λιμάνι, αναμονή για είσοδο, ελλιμενισμός). Τα ποντοπόρα πλοία προσεγγίζουν μια περιοχή λιμένων με ταχύτητα κρουαζιέρας, αλλά μειώνουν την ταχύτητα όταν βρίσκονται σε απόσταση λίγων μιλίων από το λιμάνι (γνωστό ως περιοχή προφύλαξης), με ταχύτητα περίπου 10 έως 12 κόμβων. Πολύ πιο κοντά στην περιοχή σύνδεσης (περίπου ένα μίλι), τα πλοία επιβραδύνουν περίπου πέντε κόμβους και, με τη βοήθεια ρυμουλκών και ελιγμών στο λιμάνι και προσεγγίζουν την αποβάθρα στην προβλήτα. Φτάνοντας στη προβλήτα, χρησιμοποιούνται μόνο βοηθητικοί κινητήρες.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση αναφέρει ομοιόμορφα αυτούς τους τέσσερις τρόπους, διότι δεν χρησιμοποιούνται και οι τέσσερις τρόποι λειτουργίας σε όλες τις αναθεωρημένες αναφορές. Στη μελέτη των Booz –Allen<sup>22</sup>, περιγράφονται αυτές οι καταστάσεις σαν *full-half-slow* και *moored mode* με αντίστοιχες ταχύτητες 80-40-10 και 0 κόμβων για τις κύριες μηχανές.

Θεωρήθηκε επίσης πως για όλα τα ποντοπόρα πλοία η βοηθητική ισχύς είναι στα 500 kW. Στη μελέτη της Acurex<sup>22</sup>, θεωρήθηκε πως κατά τη διάρκεια κανονικής πλεύσης, οι μηχανές δουλεύουν με το 80% της μέγιστης ισχύος (maximum continuous rating (MCR)). Η αργή πλεύση (slow mode) ορίστηκε στους 12 κόμβους. Η πιο πρόσφατη μελέτη της Arkadis<sup>23</sup> (πρώην Acurex) δεν διαφοροποιείται από της Acurex. Η σύνδεση όμως στη μελέτη του, του παράγοντα φορτίου με τις ταχύτητες φαίνεται να είναι πιο αξιόπιστη από την αξιοποίηση σταθερού συντελεστή φορτίου για κάθε είδος πλοίου.

Αξίζει να γίνει μία παρουσίαση παλαιότερων δημοσιεύσεων και ερευνών, είτε σε θεωρητικό, είτε σε πρακτικό - μαθηματικό επίπεδο, όπου εμμέσως ή σαφώς καταπιάνονταν με την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων για τη ναυτιλία, ακόμα και με το κόστος της.

### **2.1.2. Benford H. 1981<sup>24</sup>**

Μελέτησε ένα απλό πρόγραμμα για τη βέλτιστη διαχείριση στόλου, μίγματος πλοίων, για μία δεδομένη ποσότητα μεταφοράς. Στόχος του ήταν η εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού των διαθέσιμων πλοίων και της ταχύτητας τους, που θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν τη μεταφορά με το ελάχιστο δυνατό λειτουργικό κόστος, χωρίς τη μείωση της ποιότητας της με τη μέγιστη κερδοφορία στον ιδιοκτήτη. Παρουσίασε τη μελέτη του χρησιμοποιώντας ένα αριθμητικό παράδειγμα για τη μεταφορά μεταξύ δύο λιμανιών, υποθέτοντας ότι υπάρχει πλεονάζουσα χωρητικότητα, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στις δαπάνες από τη μη χρησιμοποίηση του συνόλου του στόλου. Χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες τιμές λίγων παρατηρήσεων για την εκτίμηση των κύριων οικονομικών χαρακτηριστικών των πλοίων και με βάση τις δεδομένες τιμές της ταχύτητας σχεδιασμού υπολογίστηκε η ετήσια μεταφορική δυνατότητα σε τόνους προϊόντος (Annual transport capacity (106 tons)), καθώς και τα ετήσια λειτουργικά κόστη ανά πλοίο (Annual

---

<sup>22</sup> Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency. Prepared for EPA under contract to Sierra Research by Energy and Environmental Analysis, February 2000

<sup>23</sup>

<sup>24</sup> Benford, H. (1981). A simple approach to fleet deployment. - Maritime Policy & Management, Volume 8, 1981, Issue 4

operational costs (\$106)). Το κόστος της κατανάλωσης των καυσίμων δεν παρουσιάστηκε ξεχωριστά, αλλά συμπεριλήφθηκε στο συνολικό λειτουργικό κόστος, του οποίου η μεταβολή ήταν ανάλογη της μεταβολής της ταχύτητας. Η προτεινόμενη μέθοδος δεν είναι σωστά μαθηματική, βασίζεται σε μία απλή υπόθεση που υπόκειται σε περιορισμούς στην εφαρμογή της.

### ***2.1.3 Hagiwara, 1989, Hagiwara & Spaans 1987*** <sup>25</sup>

Κάνοντας αναφορά σε προηγούμενες μελέτες, αξίζει να αναφερθεί η τροποποιημένη ισοχρονική μέθοδος (που υιοθετεί έναν αναδρομικό αλγόριθμο που εντοπίζει τον ελάχιστο χρόνο διέλευσης μέσω της επανειλημμένης επεξεργασίας των χρονικών καταγραφών (που ονομάζονται isochrones), τα οποία είναι τα περιφερειακά όρια της μέγιστης απόστασης από το σημείο αναχώρησης του πλοίου. Υπολογίζει επίσης την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου με την παραδοχή μίας σταθερής ταχύτητας έλικας και κατόπιν την εφαρμόζει στον ελάχιστο χρόνο μετάβασης που είχε προηγουμένως υπολογίσει. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος επηρεάζεται από την αρχική παραδοχή ότι η διαδρομή ελάχιστου χρόνου διέλευσης ισοδυναμεί με τη διαδρομή ελάχιστης κατανάλωσης καυσίμου.

### ***2.1.4. Energy and Environmental Analysis (EEA), 2000*** <sup>26</sup>

Η EPA (Environmental Protection Agency U.S.) το 2000 προχώρησε σε αναθεώρηση των οδηγιών της σχετικά με την εκπόνηση απογραφών αέριων εκπομπών. Στη μεθοδολογία, συμπεριλαμβανόταν ο υπολογισμός των αέριων εκπομπών με ειδικούς συντελεστές εκπομπών κατανάλωσης καυσίμου. Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί ήταν ανά τύπο πλοίου και κατηγορία, με τη χρήση του μοντέλου εκπομπών πλοίων DOT, το οποίο υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές του. Η μεθοδολογία είναι σχετικά απλουστευμένη στο ότι οι εκπομπές είναι καθαρά συνάρτηση της κατανάλωσης καυσίμου και όχι του φορτίου.

---

<sup>25</sup> Hagiwara H & Spaans JA. 1987. Practical weather routing of sail-assisted motor vessels. Journal of Navigation 40: 96-119.

<sup>26</sup> Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency. Prepared for EPA under contract to Sierra Research by Energy and Environmental Analysis, February 2000



### **2.1.6. Munk, 2006<sup>28</sup>**

Ο Munk, παρουσιάζει σε μελέτη του την καταγραφή της συμπεριφοράς της γάστρας του πλοίου και των αντιστάσεων που ασκεί, διότι θεωρεί πως αποτελεί ένα στοιχείο που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμων. Χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο για να συγκρίνει τα παρατηρούμενα δεδομένα ισχύος και ταχύτητας, για παρόμοιες συνθήκες του πλοίου και του καιρού, από τις οποίες προσδιορίζεται η προστιθέμενη αντίσταση. Παρουσιάζει τη μεταβολή της προστιθέμενης αντίστασης με το χρόνο, με μια απλή μέθοδο που μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί στο Excel. Παρόλα αυτά αφορά νυχτερινές καταγραφές, χωρίς να περιλαμβάνει αλλαγές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθιστώντας την μελέτη μερικώς αναξιόπιστη.

### **2.1.7. Eljardt, 2006<sup>29</sup>**

Μια ακόμη προσέγγιση που φαίνεται να έχει θεωρητικό υπόβαθρο, είναι του Eljardt, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σημαντικά στοιχεία της αντίστασης που διαμορφώνεται στην κίνηση ενός σκάφους, καταλήγει σε μια συνθήκη πλεύσης ικανή να την ελαχιστοποιήσει. Η μελέτη του παρουσιάζει δύο προσεγγίσεις, με τη δεύτερη να εστιάζει σε ένα μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών παραγόντων. Ωστόσο, η πρώτη είναι αυτή που αξιοποιήθηκε περισσότερο, καθώς είναι πιο χρήσιμη για τα πλοία ανοιχτής ναυσιπλοΐας. Ο αλγόριθμος, που είναι επεξεργασμένος σε Excel VBA και αφορά την επεξεργασία των στοιχείων ταυτόχρονα με άλλα δεδομένα όπως δίνονται από την πλοιοκτήτρια εταιρεία, ενώ τα στοιχεία βύθισης και πλοήγησης παίρνονταν από υδροστατικούς πίνακες. Οι περιορισμοί αυτής της μεθόδου είναι ότι έχει περιορισμένη εφαρμογή για τις διαφοροποιήσεις των σκαφών, καθώς τα δεδομένα πρέπει να εισαχθούν επακριβώς για κάθε μοντέλο ώστε να προκύψουν αξιόπιστα στοιχεία.

---

<sup>28</sup> Proceedings from Motorship Propulsion Conference. Fuel Conservation Through Managing Hull Resistance, Copenhagen April 26<sup>th</sup>

<sup>29</sup> Development of a fuel oil consumption monitoring system, Diploma Thesis, Technical University of Hamburg

### 2.1.8. Øyvind Endresen, et al. , 2007<sup>30</sup>

Παίρνοντας σαν έναυσμα τις διαφοροποιήσεις που προκύπτουν στις καταγραφές ανάμεσα στις μετρήσεις με βάση τις πωλήσεις καυσίμων και αυτές με βάση της δραστηριοποίηση των πλοίων, οι ερευνητές υποστηρίζουν πως κάθε προσπάθεια στατιστικής ανάλυσης βασισμένη στη δραστηριοποίηση των πλοίων πρέπει να παίρνει υπόψη της την ποικιλομορφία στις απαιτήσεις θαλάσσιων μετακινήσεων, τις αλλαγές στους τρόπους χειρισμού και τεχνολογίας που επηρεάζουν τόσο την κατανάλωση καυσίμων όσο και εκπομπών εναέριων ρύπων. Στη μελέτη τους αξιοποιούν ένα εμπλουτισμένο μοντέλο στατιστικής ανάλυσης με βάση τη δραστηριοποίηση των πλοίων. Χρησιμοποιούν ιστορικά καταγεγραμμένα δεδομένα υψηλής ανάλυσης σαν δεδομένα για να μελετήσουν την κατανάλωση καυσίμων του παγκόσμιου ποντοπόρου στόλου για πλοία άνω των 100 GT.

Εφαρμόζουν το μοντέλο τους για την περίοδο από το 1970 μέχρι το 2000, χωρίς να συμπεριλαμβάνουν τον στρατιωτικό στόλο και αξιοποιείται μόνο για τις κύριες μηχανές. Στη συνέχεια αντιπαραβάλλουν τα αποτελέσματά τους με τις καταγραφές πωλήσεων ναυτιλιακών καυσίμων ώστε να ερευνήσουν αν είναι αντιπροσωπευτικές και μπορούν να αξιοποιηθούν σαν αξιόπιστη βάση για τον υπολογισμό αέριων ρύπων. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποίησαν είναι ο εξής:

$$F_{i,s} = (b_{i,s} \cdot t \cdot p \cdot m)_{per\_ship} \cdot (n_{i,s} \cdot N)_{number\_of\_ships}$$

Τύπος 2: Αλγόριθμος υπολογισμού κατανάλωσης καυσίμων από τους Øyvind Endresen, et al., 2007

Όπου το  $F_{i,s}$  αντιπροσωπεύει το σύνολο κατανάλωση καυσίμων για συνήθη πλοία με κύρια μηχανή τύπου  $i$ , καύσιμο τύπου  $s$ , (kg fuel/year), το  $b_{i,s}$  αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για ένα μέσο πλοίο με κύρια μηχανή τύπου  $i$  που καταναλώνει καύσιμο τύπου  $s$ , (kg fuel/kWh), το  $t$  υποδηλώνει τον μέσο αριθμό ωρών ετήσιας λειτουργίας

---

<sup>30</sup> Endresen, Ø., E. Sørgeard, H. L. Behrens, P. O. Brett, and I. S. A. Isaksen (2007), A historical reconstruction of ships' fuel consumption and emissions, J. Geophys. Res., 112, D12301, doi:10.1029/2006JD007630.

στη θάλασσα , το  $p$  υποδηλώνει τη μέση ιπποδύναμη της εγκατεστημένης στο πλοίο κύριας μηχανή σε kW, το  $m$  υποδηλώνει το μέσο φορτίο μηχανής (main engine load). Το  $n_{i,s}$  υποδηλώνει το κλάσμα του μέσου όρου των πλοίων στο στόλο με κύρια μηχανή τύπου  $i$  που χρησιμοποιούν καύσιμα τύπου  $s$  και το  $N$  αντιπροσωπεύει το σύνολο των πλοίων που συμμετέχουν ενεργά στο στόλο, με βάση τις στατιστικές του παγκόσμιου ποντοπόρου στόλου από το 1970 έως το 2000 από τη Lloyd's Register of Shipping.<sup>31</sup>

Για να ορίσουν το κλάσμα του μέσου όρου των πλοίων στο στόλο με κύρια μηχανή τύπου  $i$  που χρησιμοποιούν καύσιμα τύπου  $s$  χρησιμοποιούν τον ακόλουθο τύπο:

$$n_{i,s} = \frac{D_{i,s}}{D_{1,1} + D_{2,1} + D_{2,2}},$$

Τύπος 3: Αλγόριθμος υπολογισμού μέσου όρου αριθμού πλοίων (Øyvind Endresen, et al., 2007)

Όπου  $D_{i,s}$  υποδηλώνει το συνολικό τονάζ του στόλου με μηχανή τύπου  $i$  που καταναλώνει καύσιμα τύπου  $s$  σε GT.

Για να ορίσουν τον μέσο όρο ετήσιας πλεύσης χρησιμοποιούν τον ακόλουθο τύπο:

$$t = \left( \frac{1 + \alpha}{N} \right) \cdot \left( \frac{l}{v} \right)_{\text{voyage\_time}} \cdot \left( \frac{q}{d \cdot \eta} \right)_{\text{number\_of\_voyage}},$$

Τύπος 4: Αλγόριθμος υπολογισμού μέσου όρου ωρών πλεύσης ετησίως (Øyvind Endresen, et al., 2007)

Όπου το  $q$  υποδηλώνει την ετήσια κίνηση πλοίων εμπορίου (σε τόνους/έτος), το  $l$  υποδηλώνει το μέσο μήκος ανάσυρσης (μαζί με το εμπόρευμα), [σε ναυτικά μίλια(nm)], το  $d$  υποδηλώνει το μέσο όρο τονάζ καθαρού βάρους [deadweight tonnage (Dwt)] των πλοίων στο στόλο, το  $v$  τη μέση ταχύτητα χειρισμού των πλοίων (nm/h), το  $h$  υποδηλώνει τη μέση δυνατότητα μεταφοράς φορτίου των πλοίων (σε tones /Dwt) και το  $\alpha$  τον παράγοντα έρματος, που ορίζεται σαν ο μέσος όρος ημερών σε έρμα σχετικά με τις

<sup>31</sup> (Lloyd's Register of Shipping, world fleet statistics and statistical tables, 1992 (year 1970–1992), 1995 (year 1993–1995) and 2000 (year 1996 and 2000))

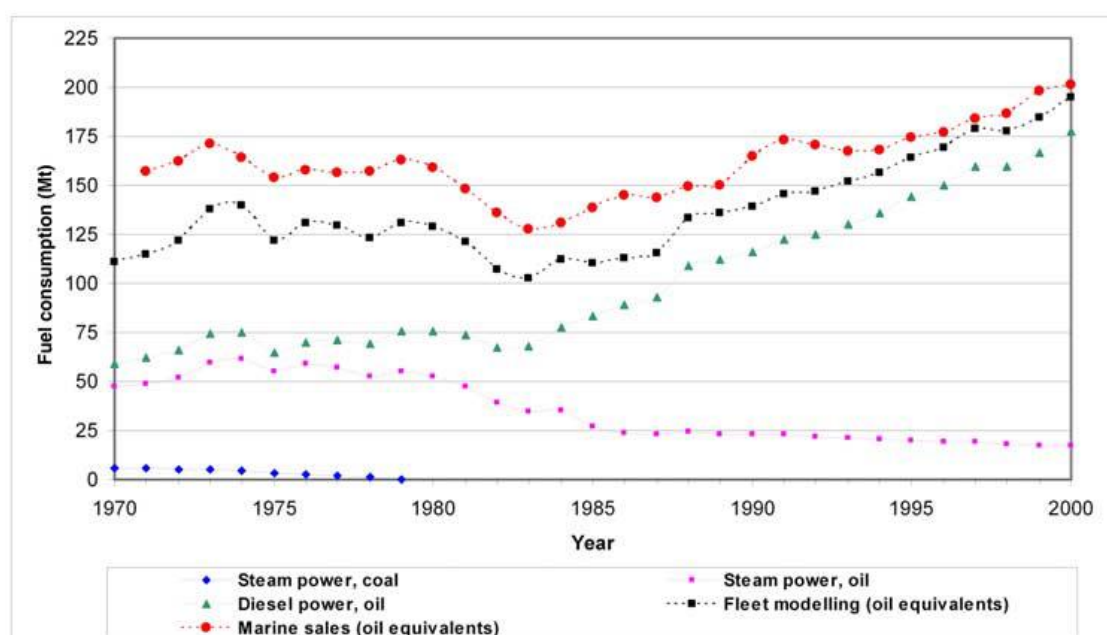


ημέρες πλεύσης με εμπόρευμα. Θεωρώντας δεδομένο ότι κυρίαρχο ρόλο στις μεταφορές παίζουν τα μεγαλύτερα πλοία, [Storford, 1997], ο μέσος όρος του παράγοντα έρματος ( $\alpha$ ) θεωρείται ότι είναι στο 0.7 (πχ οι μέρες με έρμα είναι 70% των ημερών με εμπόρευμα) για όλους τους τύπους πλοίων. Βασισμένοι στα δεδομένα της έρευνας των Endresen et al. [2003, 2004] και Corbett and Koehler [2004], οι Øyvind Endresen, et al., 2007, θεωρούν ότι το μέσο φορτίο μηχανής είναι 70% MCR, όταν συμπεριληφθούν η ωκεάνια κίνηση, η κίνηση ελλιμενισμού και η πλεύση με έρμα.

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η κατανάλωση καυσίμου διαμορφώνεται με βάση μεγάλες αλλαγές στην τεχνολογία, τη δομή του στόλου και λειτουργικούς παράγοντες.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, το μοντέλο διαφοροποιείται ανάλογα τον τύπο του κινητήρα και το καύσιμο. Η κατανάλωση καυσίμων (μαύρη γραμμή) που διαμορφώθηκε από το μοντέλο είναι λιγότερη από τις εκτιμώμενες παγκόσμιες πωλήσεις (κόκκινη γραμμή). Κατά τους Øyvind Endresen et al. (2007) οφείλεται στην έλλειψη αξιοπιστίας των στατιστικών πωλήσεων των ναυτιλιακών καυσίμων.

Πίνακας 6: Κατανάλωση καυσίμου βασικού κινητήρα για τα ποντοπόρα πλοία άνω των 100 GT, χωρισμένη στους κύριους τύπους κινητήρα και καυσίμων.



Στη μελέτη παρουσιάζεται επίσης ένας ενδιαφέρων συγκριτικός πίνακας των στατιστικών προσεγγίσεων μέχρι το 2001.

Πίνακας 7: Συγκριτικός πίνακας μελετών καταγραφής κατανάλωσης καυσίμων ποντοπόρων πλοίων (Øyvind Endresen, et al., 2007:13)

Year	This Study		<i>Eyring et al.</i> [2005]	<i>Corbett and Koehler</i> [2003]	<i>Endresen et al.</i> [2003, 2005]
	Fuel Based <sup>a</sup>	Modeled <sup>b</sup>			
1970	152	111	124 <sup>c</sup>		
1980	159	129	213 <sup>c</sup>		
1995	174	164	240 <sup>c</sup>		
2000	201	195			166 <sup>d</sup> -200 <sup>e</sup>
2001			280 <sup>f</sup>	289 <sup>g</sup>	

<sup>a</sup>Estimates based on equation (2). The coal sales converted to oil equivalents by using 1/1.416 as conversion factor [UN, 1998]. Estimates for sales to the fishing fleet (section 2.2) are included.

<sup>b</sup>Estimates based on equation (3). Cover fuel consumption by the main engines in the oceangoing civil world fleet above or equal to 100 GT. The coal consumption is converted to oil equivalents by using 1/1.416 as conversion factor [UN, 1998].

<sup>c</sup>Simplified activity-based modeling, covers oceangoing ships above or equal to 100 GT (unclear if fuel consumption by the large military ships and auxiliary engines are included).

<sup>d</sup>Fleet modeling, covers the world civil cargo fleet (oceangoing) above or equal to 100 GT.

<sup>e</sup>Estimated sales of marine fuel, based on IEA and EIA data.

<sup>f</sup>Detailed activity-based modeling, covers oceangoing ships above or equal to 100 GT (the civil fleet 254 Mt (includes noncargo fleet), the noncargo fleet 46.2 Mt, the military fleet 9.4 Mt (1300 navy ships), and auxiliary engines 16.3 Mt).

<sup>g</sup>Detailed activity-based modeling, covers oceangoing ships above or equal to 100 GT (the civil fleet 248 Mt (includes noncargo fleet), the noncargo fleet 45 Mt, and the military fleet 41 Mt)).

### 2.1.9. Eljardt, Greitsch και Mazza, 2009<sup>32</sup>

Παρουσίασαν το σχεδιασμό πλοίων με βάση τη λειτουργία τους, προσομοιώνοντας την κατάσταση λειτουργίας ενός υπάρχοντος ή υποθετικού πλοίου. Σύμφωνα με το σχεδιασμό τους, η απόδοση και η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να συνυπολογιστεί, ταυτόχρονα με περιβαλλοντικά δεδομένα, για τη συγκριτική αξιολόγηση διαφόρων σχεδιασμών πλοίων. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη συγκέντρωση των βέλτιστων αναφορών (noon-reports) και περιβαλλοντικών στοιχείων και με την εφαρμογή της προσομοίωσης Monte-Carlo (Sobol, 1984) για τον καθορισμό των παραμέτρων σκάφους και περιβαλλοντικών παραμέτρων του πλοίου, ώστε να αναδειχθεί το μοντέλο σκάφους που θα αποδώσει τα βέλτιστα στην ενεργειακή απόδοση και κατανάλωση καυσίμων, μειώνοντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο σπηλαίωσης στο πηδάλιο. Ωστόσο, για τα υπάρχοντα σκάφη, οι προσπάθειες που απαιτούνται για την τροποποίηση του σχεδιασμού σύμφωνα με την υψηλότερη απόδοση θα υπερέβαιναν τα οφέλη.

<sup>32</sup> Operation-Based Ship Design and Evaluation, Article January 2009, <https://www.researchgate.net/publication/255500512>

### 2.1.10. Theo Notteboom<sup>33</sup>, Pierre Cariou<sup>34</sup> 2009

Στην έρευνα τους<sup>35</sup> με θέμα τις πρακτικές επιβολής επιβαρύνσεων καυσίμων (BAF) των γραμμών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στους φορτωτές, χρησιμοποίησαν δεδομένα προηγούμενων μελετών<sup>36</sup> και πρότειναν μία φόρμουλα για το υπολογισμό του κόστους καυσίμων:

$$TFC_j = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^3 (P_m \cdot FC_{mit} + P_a \cdot FC_{ait})$$

Τύπος 5: Συνάρτηση υπολογισμού κόστους καυσίμων (Theo Notteboom, Pierre Cariou, 2009)

Όπου:

<b>TFC<sub>j</sub></b>	Total Fuel Cost for a specific service j in US\$ (Συνολικό κόστος καυσίμων για συγκεκριμένη υπηρεσία)
<b>t<sub>1</sub></b>	Time when the vessel is at sea ( Χρόνος του πλοίου στη θάλασσα)
<b>t<sub>2</sub></b>	Time when the vessel is maneuvering or transiting through canals (Χρόνος ελιγμών ή διέλευσης καναλιών)
<b>t<sub>3</sub></b>	Time when the vessel is hotelling (waiting and when at berth) (Χρόνος σε αναμονή και αγκυροβόλιο)
<b>P<sub>m</sub></b>	Bunker price for the main engine (m) (Τιμή καυσίμου για την κύρια μηχανή)
<b>P<sub>a</sub></b>	Bunker price for the auxiliary engine (a) (Τιμή καυσίμου για τη βοηθητική μηχανή)
<b>FC<sub>mit</sub></b>	Fuel consumption for main engine (m) per day for vessel i under status t (Κατανάλωση καυσίμου για την κύρια μηχανή/μέρα)
<b>FC<sub>ait</sub></b>	Fuel consumption for auxiliary engine (a) per day for vessel i under status t (Κατανάλωση για τη βοηθητική μηχανή/μέρα)

<sup>33</sup> ITMMA - University of Antwerp, Belgium

<sup>34</sup> World Maritime University, Malmo - Sweden

<sup>35</sup> Institute of Transport and Maritime Management Antwerp (ITMMA), IAME 2009 conference Copenhagen, 24-26 June 2009

<sup>36</sup> Buxton (1985); Cullinane and Khanna (1999); Endersen et al. (2003); EPA (2000); Corbett and Koehler (2003); MAN B&W Diesel A/S, 2008.

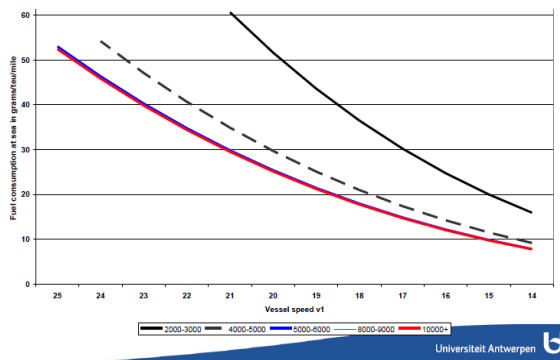
Σε ένα case study που παρουσίασαν για ένα δείγμα 2.259 Containerships, 2.530-11.660 TEU και 18-25(knots) ταχύτητα, υπολόγισαν τη συνολική κατανάλωση καυσίμων, της κύριας μηχανής γρ/μέρα, σε δεδομένη ταχύτητα και χρησιμοποίησαν τον παραπάνω τύπο ως εξής :

$$FC_{mi1} / at v_0 = 24 \cdot C \cdot e^{1.996} \cdot teu^{1.013} = 3,775 \cdot e^{1.996} \cdot teu^{1.013}$$

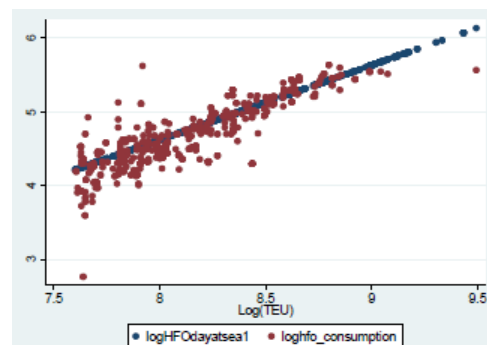
Τύπος 6: Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμων κύριας μηχανής, δεδομένης ταχύτητας (gr/day)

Συμπέραναν ότι η μείωση της ταχύτητας από την αρχική ταχύτητα κατασκευής είναι ανάλογη με την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων στη θάλασσα (grams/teu/mile) (Σχήμα 1), καθώς επίσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, διάγραμμα των λογαρίθμων της κατανάλωσης με το λογάριθμο του μεγέθους του πλοίου σε TEU .

Σχήμα 1: Κατανάλωση καυσίμων-Ταχύτητα



Σχήμα 2: Κατανάλωση καυσίμων-Μέγεθος πλοίου



### 2.1.11. Shao & Zhou, 2011<sup>37</sup>

Με τη μέθοδο του Δυναμικού Προγραμματισμού των Shao & Zhou, η προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία, γίνεται μέσω του υπολογισμού της ταχύτητας του ήρεμου ύδατος και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η μέθοδος Kwon (2008) για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες, η ταχύτητα περιστροφής της έλικας και η κατανάλωση καυσίμων και το τμήμα της διαδρομής που πραγματοποιείται , ενώ οι υπολογισμοί για χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

<sup>37</sup> Shao, Wei and Zhou, Peilin (2011) Development of a dynamic programming method for low fuel consumption and low carbon emission from shipping. In: International Conference on Technologies, Operation and Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping 2011,

Αυτή η μέθοδος, σε σύγκριση με τις τεχνικές αξιοποίησης των μετεωρολογικών προβλέψεων, φαίνεται να έχει σημαντικά πλεονεκτήματα μόνο κατά τις ημέρες με πλεύση σε παραγμένη θάλασσα, οι οποίες αν και λόγω της κλιματικής αλλαγής αυξάνονται, αποτελούν προς το παρόν μόνο το 13% των ημερών ναυσιπλοΐας. (Bialystocki & Konovessis, 2016).

#### **2.1.12. Tadeusz Borkowski, Lech Kasyk, Przemysław Kowalak <sup>38</sup>, 2011**

Στην προετοιμασία του ερευνητικού τους έργου, με στόχο την αξιολόγηση της κύριας απόδοσης των κινητήρων πρόωσης και έπειτα του υπολογισμού των εκπομπών των καυσαερίων των πλοίων πραγματοποίησαν ένα πειραματικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό εφαρμόστηκε σε πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη του. Το πλοίο, το οποίο ήταν εξοπλισμένο με σύγχρονο ηλεκτρονικό κινητήρα MAN B & W. Για το σκοπό της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της κατανάλωσης των καυσίμων του πλοίου. Χρησιμοποιήθηκε η ογκομετρική μέθοδος μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου για την εκτίμηση της ροής μάζας καυσίμου.

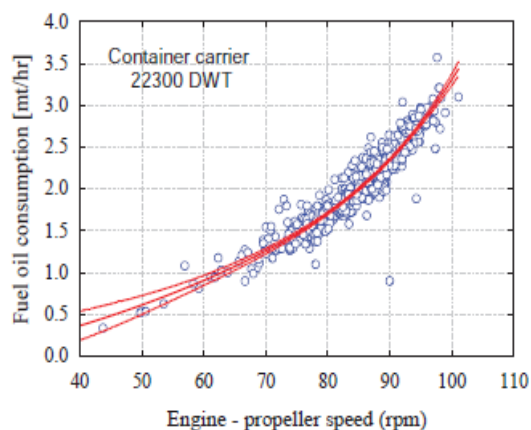
Η κατανάλωση καυσίμων υπολογίστηκε μέσω των ημερήσιων μετρήσεων του συστήματος του κινητήρα. Λόγω των τεχνικών συνθηκών, οι εκτιμήσεις της κατανάλωσης πετρελαίου καυσίμου δεν συγχρονίστηκαν ακριβώς με την πραγματική ισχύ του κινητήρα, αλλά βασίστηκαν σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (12 ώρες - ιδιότητα του συστήματος).

Το σύνολο των δεδομένων που αναλύθηκε περιλαμβάνει πάνω από 600 περιπτώσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της μέσης αλληλεπίδρασης της κατανάλωσης καυσίμου για την τυπική κατάσταση του ταξιδιού του πλοίου όπως απεικονίζεται παρακάτω στο Σχήμα 3 και Σχήμα 4, συμπεραίνοντας πως η κατανάλωση καυσίμων είναι ανάλογη της ταχύτητας και όσο αφορά την ισχύ της μηχανής, αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμων ανάλογα μέχρι κάποιο σημείο και από εκεί και πέρα, αυξάνεται αλλά όχι αναλογικά.

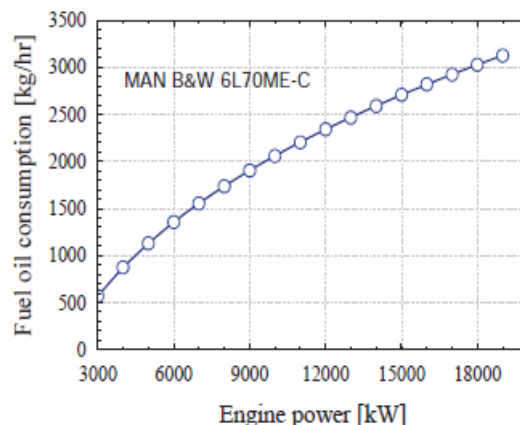
---

<sup>38</sup> Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2 2011, ASSESSMENT OF SHIP'S ENGINE EFFECTIVE POWER, FUEL CONSUMPTION AND EMISSION USING THE VESSEL SPEED, Tadeusz Borkowski, Lech Kasyk, Przemysław Kowalak

Σχήμα 3



Σχήμα 4



Στο τέλος της παρουσίασης της έρευνας συμπεραίνεται, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μετρήσεις και εκτιμήσεις που πραγματοποιήθηκαν πως η επίδραση των καιρικών συνθηκών μπορεί να μεταβάλει σημαντικά την ισχύ του κυρίως συστήματος πρόωσης. Έτσι, η εκπομπή καυσαερίων θα ακολουθήσει αυτές τις απαιτήσεις σε αμφότερους τους τρόπους λειτουργίας του κινητήρα. Η βασική πιθανότητα εκτίμησης της απόδοσης του κινητήρα, με βάση την παρατηρούμενη ταχύτητα πλοίου, δεν είναι εξίσου ακριβής.

Επομένως, οι καθορισμένες βασικές συνθήκες του κινητήρα θα επηρεάσουν την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών επίσης. Υπάρχει ανάγκη να ενισχυθεί η ποιότητα της εκτίμησης της ταχύτητας έλικας του συστήματος πρόωσης πλοίων, εισάγοντας το φαινόμενο του καιρού.

### 2.1.13. Gehnke, 2014<sup>39</sup>

Το μοντέλο βελτιστοποίησης διαδρομής του Gehnke εφαρμόζεται με τη χρήση πραγματικών δεδομένων μέτρησης για την εκπαίδευση ενός δικτύου τεχνητής νοημοσύνης. Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί ένα τεράστιο σύνολο δεδομένων που λαμβάνεται από το σύστημα INTERCHALT του σκάφους, με συχνότητα ανά πέντε λεπτά, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα σχεδόν συνεχούς παρακολούθησης τριών κρίσιμων παραμέτρων: ταχύτητας πλοίου, βύθισης και διαδρομής (*trim*). Στη συνέχεια τα δεδομένα φιλτράρονται και ομαδοποιούνται για να δομηθεί ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων για την εκπαίδευση του δικτύου τεχνητής νοημοσύνης. Καθώς οι παραδοσιακές μέθοδοι ομαδοποίησης, όπως το K-means, και το DBSCAN εκτιμήθηκαν ως ανεπαρκείς για το σύνολο δεδομένων, το οποίο είναι μια

<sup>39</sup> System identifikation zur trim optimierung ungenau gemessener daten unter anwendung kunstlicher neuronaler netze, Interschalt Marine Systems AG

χρονο-καταγραφή, εφαρμόστηκε μια ξεχωριστή μέθοδος ομαδοποίησης όπως αναπτύχθηκε από τον συγγραφέα. Στο δίκτυο τεχνητής νοημοσύνης εισάγονται στοιχεία για την ταχύτητα του σκάφους, τη βύθιση και την πορεία, και αυτό εξάγει την ισχύ του άξονα (*shaft power*), δημιουργώντας έτσι ένα μοντέλο για τη βελτιστοποίηση της πορείας (*trim*). Η προσέγγιση αυτή, ωστόσο, δεν έχει θεωρητικό υπόβαθρο, δεδομένου ότι εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τις ημερολογιακές αναφορές για να δημιουργήσει ένα μοντέλο χειρισμού.

#### **2.1.14. Tyson M. Halford<sup>40</sup>, 2015**

Λαμβάνοντας υπόψη τους Alan C. Loyd, Thomas A. Cackette (2001)<sup>41</sup>, προκειμένου να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών, οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, εξετάζει τις τρεις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μορφές μεταφοράς, τα τρένα, φορτηγά ρυμουλκούμενα και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (*containerships*).

Ξεκινάει τη μελέτη του κάνοντας εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου ανά χιλιόμετρο για τα *containerships*, με δεδομένη ποσότητα φορτίου. Η εκτιμώμενη κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο για ένα δεδομένο *containership* υπολογίζεται ως συνάρτηση του νεκρού βάρους (*dwt*) και της ταχύτητας σε κόμβους. Αν η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου σε λίτρα ανά χιλιόμετρο που διανύθηκε είναι γνωστή, η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου ανά χιλιόμετρο διαιρείται με τον αριθμό των μονάδων ισοδύναμων είκοσι ποδιών (TEU) για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου σε TEU-km, της ποσότητας καυσίμου σε λίτρα που απαιτείται για τη μεταφορά κάθε TEU ανά χιλιόμετρο με πλοίο.

Μια ισοδύναμη μονάδα είκοσι ποδιών (TEU) χρησιμοποιείται για την έκφραση χωρητικότητας φορτίου εμπορευματοκιβωτίων, όπου μία μονάδα TEU ισούται με μισό πρότυπο μεταλλικό εμπορευματοκιβώτιο (*container*). Η εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που χρησιμοποιείται, για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όπου *F* είναι η κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα, *d* είναι χωρητικότητα νεκρού βάρους και *s* η ταχύτητα σε κόμβους φαίνεται παρακάτω:

---

<sup>40</sup> TYSON M. HALFORD (2015) College of Arts and Sciences, Department of Geosciences and Natural Resource Management, Concentration in Forestry, "Transportation and Environmental Impact," Section 2, discusses fuel consumption under current technology; Section 3, "Fuel Consumption of Containerships.

<sup>41</sup> Alan C. Loyd, Thomas A. Cackette (2001) Diesel Engines: Environmental Impact and Control. Retrieved March 8, 2008

$$F = 0,04857 (d^{2/3} S^3) / (1,84s^2 - 139,96s + 2791,50)$$

Τύπος 7: Κατανάλωση καυσίμου δεδομένου containership (λίτρα) (Tyson M. Halford , 2015)

Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής, χρησιμοποιείται ένα containership με 96,998 dwt (d) και 7.000 TEU, λαμβάνοντας υπόψη ταχύτητες (s) από 16 έως 48 κόμβους, γνωρίζοντας πως μεγαλύτερες ταχύτητες είναι μη ρεαλιστικές για μεγάλα containerships, ενώ οι κανονικές ταχύτητες λειτουργίας για την ποντοπόρο ναυτιλία κυμαίνονται από περίπου 16 έως 24 κόμβους.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Παρατηρείται πως η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται εκθετικά με την ταχύτητα, αλλά φαίνεται επίσης μια αξιοσημείωτη μείωση μετά από 40 κόμβους. Αυτές οι πληροφορίες υποδηλώνουν ότι ίσως η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να ρυθμιστεί ή να μειωθεί με τη διαδρομή με συγκεκριμένη ταχύτητα, ανάλογα με την ταχύτητα που είναι η πιο αποδοτική από πλευράς καυσίμου.

Πίνακας 8: Κατανάλωση καυσίμου του δεδομένου containership, Εκφρασμένη σε λίτρα ανά χιλιόμετρο (liters/km) και ανά μονάδα χωρητικότητας (TEU).

<b>Table 1</b>		
<b>Container Vessel Fuel Consumption</b>		
<i>Operating Speed (knots)</i>	<i>Fuel Consumption (liters per km)</i>	<i>Fuel Consumption (liters per TEU-km)</i>
16	25.65	.0036 per TEU
18	38.26	.0055 per TEU
20	56.32	.0080 per TEU
22	82.31	.0118 per TEU
24	119.97	.0171 per TEU
26	174.87	.0250 per TEU
28	255.06	.0364 per TEU
30	371.06	.0530 per TEU
32	533.14	.0762 per TEU
34	741.29	.1059 per TEU
36	965.89	.1380 per TEU
38	1139.11	.1627 per TEU
40	1196.63	.1709 per TEU
42	1137.99	.1626 per TEU
44	1015.40	.1451 per TEU
46	879.19	.1256 per TEU
48	755.30	.1079 per TEU



### 2.1.15. Dario Bocchetti, Antonio Lepore, Biagio Palumbo, Luigi Vitiello<sup>42</sup>, 2015

Στην έρευνα τους προσπάθησαν, μέσω μιας στατιστικής προσέγγισης βασισμένης σε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Τύπος 8), να προβλέψουν την κατανάλωση καυσίμου ενός συγκεκριμένου ταξιδιού ενός κρουαζιερόπλοιου, μεταξύ δύο Ευρωπαϊκών λιμανιών, για 361 δρομολόγια (Αύγουστο 2012-Ιούλιο 2013), λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες λειτουργίας του, όπως καταγράφονται στον Πίνακα 9 (ταχύτητα πλοίου, απόσταση πλεύσης, ταχύτητα ανέμου, κατεύθυνση ανέμου, τη μετατόπιση, το χρόνο λειτουργίας του πτερυγίου σταθεροποιητή, τον αθροιστικό μετρητή χρόνου σταθερής κατάστασης του πλοίου στο λιμάνι μεταξύ των dry-dock επιχειρήσεων και τη λειτουργία του κινητήρα) με τη βοήθεια ενός δικτύου αισθητήρων (Pescetto & Sebastiani 2012) και μιας συσκευής απόκτησης δεδομένων, ανά πέντε λεπτά (DAQ).

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει επίσης την εκτίμηση του χρονικού διαστήματος της κατανάλωσης καυσίμου, πρόβλεψης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της πραγματικής κατανάλωσης καυσίμου και τον εντοπισμό δυνητικών ανωμαλιών του ταξιδιού (σε συνάρτηση με την κατανάλωση καυσίμου) ή για τη δοκιμή της αποτελεσματικότητας μιας συγκεκριμένης επιχείρησης βελτίωσης της απόδοσης. Το βασικό συμπέρασμα του μοντέλου ήταν το πρόβλημα υπερφόρτωσης, κυρίως λόγω των φυσικών μεταβλητών. Για την επίτευξη καλύτερων και πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων κατέληξαν πως κρίνεται σκόπιμη η αντικατάσταση των επεξηγηματικών μεταβλητών με νέες.

Πίνακας 9: Ανεξάρτητες μεταβλητές που χαρακτηρίζουν τις συνθήκες λειτουργίας ενός ταξιδιού

Variable	Description	Unit
$M$	Sailed Distance Over Ground	NM
$V$	Speed Over Ground (SOG)	Knots
$W_H$	Head Wind	Knots
$W_S$	Side Wind	Knots
$t_D$	Cumulative Docking Time	h
$\Delta$	Displacement	Mt
$F$	Stabilizer Fin Operating Time	h
$E$	Engine Operation Mode	—

<sup>42</sup>A Statistical Approach to Ship Fuel Consumption Monitoring (2015)

Dario Bocchetti (Energy Saving Technical Department, Grimaldi Group, Naples, Italy), Antonio Lepore, Biagio Palumbo, Luigi Vitiello (Department of Industrial Engineering, University of Naples "Federico II," Naples, Italy)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 V_i^6 + \beta_2 M_i + \beta_3 W_{H,i} + \beta_4 W_{S,i} + \beta_5 t_{D,i} + \beta_6 \Delta_i + \beta_7 F_i + \beta_8 E_i + Z_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Τύπος 8: Συνάρτηση πολλαπλής παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε στο τρέχων μοντέλο εκτίμησης της κατανάλωσης καυσίμου.

## 2.2 Νεότερες προσεγγίσεις

Καθώς το ενδιαφέρον των ναυτιλιακών εταιρειών αυξάνεται για τη μέγιστη αποδοτικότητα των καυσίμων, παράλληλα τα ψηφίσματα των Παγκόσμιων οργανισμών πληθαίνουν για τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, όπως επίσης και των κανονισμών των Παγκόσμιων Ναυτιλιακών Οργανισμών (βλ ψήφισμα του IMO<sup>43</sup> MPEC<sup>44</sup>.203). Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων είναι η ανανέωση του ενδιαφέροντος των άμεσα εμπλεκόμενων για την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, είναι το πιο ακατέργαστο υποπροϊόν πετρελαίου στη βιομηχανία: HFO, γνωστό και ως "*bunker marine*" καθώς και η μεγαλύτερη συνιστώσα των λειτουργικών εξόδων του πλοίου. Μελέτη του GHG του IMO (2014) ανέφερε ότι η διεθνής ναυτιλιακή βιομηχανία εκπέμπει 1.000 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα κάθε χρόνο. Από αυτά, τα κοντέινερς αντιπροσώπευαν 205 εκατομμύρια τόνους εκπομπών το 2012.

Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό το γεγονός ότι οι ιδιοκτήτες πλοίων παίρνουν μέτρα που αφορούν τεχνολογικές εφαρμογές και το χειρισμό των πλοίων ώστε να μειώσουν τις αέριες εκπομπές, ένα από τα οποία είναι η εφαρμογή αλγορίθμων για τη βελτίωση κατανάλωσης καυσίμων ώστε η μείωση της, να μειώσει τα έξοδα των ιδιοκτητών.

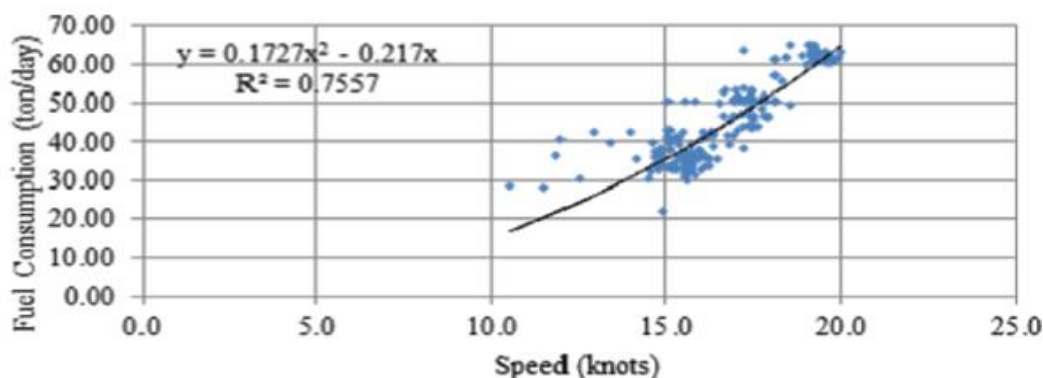
<sup>43</sup> International Maritime Organization

<sup>44</sup> Marine Environment Protection Committee

### 2.2.1. Nicolas Bialystocki<sup>45</sup>, Dimitris Konovessis<sup>46</sup>, (2016)<sup>47</sup>

Οι Nicolas Bialystocki και Dimitris Konovessis (2016) με αφορμή το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μεγαλύτερης αποδοτικότητας των καυσίμων, παρουσίασαν την προσέγγιση τους για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων των πλοίων, λαμβάνοντας υπόψη τους κύριους παράγοντες, που με βάση αυτούς, την επηρεάζουν, δηλαδή το βύθισμα του πλοίου, τη χωρητικότητα του, τον καιρό (δύναμη, κατεύθυνση ανέμου), την τραχύτητα του κύτους και της έλικας. Για την μελέτη, χρησιμοποίησαν ένα Pure Car και Truck Carrier (PCTC) και έπειτα από στατιστική ανάλυση 418 βραδινών αναφορών από το 2010 μέχρι το 2014, υπολόγισαν την επίδραση των παραπάνω παραγόντων. Εφάρμοσαν και πρότειναν έναν απλό και ακριβή αλγόριθμο, με τη χρήση πολλαπλών γραμμικών παλινδρομήσεων. Συμπέραναν ότι η πιο σημαντική παράμετρος, που καθορίζει τόσο την ισχύ, όσο και την κατανάλωση καυσίμου είναι η ταχύτητα. Εκτός από την αύξηση της ταχύτητας, η αντίσταση και η κατανάλωση καυσίμου αυξάνονται με επιδείνωση του καιρού, της τραχύτητας του κύτους ή της έλικας και μεγαλύτερο βύθισμα. Παρατήρησαν ότι ο ισχυρότερος άνεμος και ο καιρός αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου και η διαφορά μεταξύ αρκετών καιρικών συνθηκών θα μπορούσε να ποσοτικοποιηθεί.

Η προτεινόμενη μέθοδος, πιστεύεται ότι είναι πρακτική, ώστε οι πλοιοκτήτες, οι διαχειριστές και οι φορείς εκμετάλλευσης να είναι σε θέση να την εφαρμόζουν στο στόλο τους, έτσι ώστε να εξοικονομήσουν καύσιμα και να είναι περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον.



Πίνακας 10 : Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμων – ταχύτητας (knots), (N.Bialystocki, D.Konovessis, 2016)

<sup>45</sup> Technical Department, Antares Shipping Ltd., Israel

<sup>46</sup> School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

<sup>47</sup> Journal of Ocean Engineering and Science 1 (2016) : On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach

### **2.2.2 D. Konovessis , K. Ramesh, S.K. Thong & You, 2016<sup>48</sup>**

Νεότερες δημοσιεύσεις (D. Konovessis, K. Ramesh, S.K. Thong & You, 2016), προσεγγίζουν και παρουσιάζουν σε δημοσίευση τους το θέμα της κατανάλωσης καυσίμων ποντοπόρων πλοίων μέσα από τη προσπάθεια των ερευνητών να διαμορφώσουν αλγόριθμους υπολογισμού παίρνοντας υπόψη παραμέτρους όπως το είδος, η ταχύτητα, το φορτίο και ο σχεδιασμός του πλοίου, η διαδρομή πλεύσης, με στόχο τη βελτιστοποίηση τόσο του σχεδιασμού και χειρισμού των πλοίων όσο και των ίδιων των καυσίμων.

Σε άρθρο τους το 2016, παρουσιάζουν τη μεθοδολογία για μελέτη που διεξήγαγαν σε 2.900 ποντοπόρα πλοία αξιοποιώντας συνδυαστικά τρεις αλγόριθμους. Υιοθετώντας την κατηγοριοποίηση με βάση το χειρισμό του πλοίου, αξιοποιούν την ανάλυση αναφορών κατανάλωσης καυσίμου για να αποτυπώσουν την καμπύλη κατανάλωσης ώστε να γίνει προβλέψιμη η κατανάλωση καυσίμων. Για το δεύτερο αλγόριθμο αξιοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο για να φιλτραριστούν και να διασταυρωθούν τα δεδομένα χειρισμού ώστε να δημιουργηθεί μια βάση βέλτιστων δεδομένων που θα εκπαιδεύσει με τη σειρά της ένα νευρωνικό δίκτυο. Και τέλος αξιοποιείται ένα μοντέλο παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμων ώστε να υπολογιστούν οι βέλτιστοι χειρισμοί για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και αντίστασης.

Στη μελέτη τους οι Bialystocki<sup>49</sup> και Dimitris Konovessis<sup>50</sup> (2016), όπως παρουσιάζεται στην δημοσίευση τους<sup>51</sup> και περιγράφηκε και παραπάνω ξεχωριστά, βασίζονται στην επιχειρησιακή λειτουργία του πλοίου λαμβάνοντας υπόψη τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου του πλοίου.

---

<sup>48</sup> K. Ramesh, D. Konovessis, S.K. Thong & X. You, 2016, Development of intelligent ship fuel consumption algorithms, *Proceedings of the 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering* (Martech 2016, Lisbon, Portugal, 4-6 July 2016) av Carlos Guedes Soares, T A Santos

<sup>49</sup> Technical Department, Antares Shipping Ltd., Israel

<sup>50</sup> School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore

<sup>51</sup> K. Ramesh, D. Konovessis, S.K. Thong & X. You, 2016, Development of intelligent ship fuel consumption algorithms, *Proceedings of the 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering* (Martech 2016, Lisbon, Portugal, 4-6 July 2016) av Carlos Guedes Soares, T A Santos

Έτσι εξασφαλίζουν την πρόβλεψη κατανάλωσης σε δεδομένο ναύλο μέσω της στατιστικής ανάλυσης των αναφορών (noon reports) συγκεκριμένου πλοίου και για διάστημα τεσσάρων χρόνων (2010-2014). Για κάθε χρόνο καταγράφηκε μια καμπύλη καυσίμου- ταχύτητας ώστε να εκτιμηθεί η επιχειρησιακή φθορά του σκάφους με βάση την εκτίμηση κατανάλωσης καθημερινά και για κάθε ταχύτητα. Από τα αρχικά στοιχεία των εκθέσεων, τα δεδομένα φιλτραρίστηκαν και εξομαλύνθηκαν για να εξαλειφθούν οι επιπτώσεις των συγκυριακών παραγόντων, ώστε να γίνει προβλέψιμη η σταθερή κατανάλωση καυσίμου του επερχόμενου ναύλου. Αυτός ο αλγόριθμος θεωρείται από τους ερευνητές σημαντικός για τη λήψη αποφάσεων από τον χειριστή του πλοίου που θα τον λάβει υπόψη για την επιλογή ταχύτητας δρομολογίου, ώστε να έχει τη βέλτιστη απόδοση από το καύσιμο.

Ο δεύτερος αλγόριθμος που εφαρμόσαν, περιλάμβανε ένα μαθηματικό μοντέλο για τη βελτιστοποίηση της πορείας του πλοίου (*trim*) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα πραγματικού χρόνου από το σύστημα INTERSCHALT BLUE TRACKER, αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων SQL. Τα αρχικά δεδομένα τέθηκαν σε επεξεργασία με κριτήρια αξιολόγησης ναυτιλιακής εταιρίας. Επιπρόσθετα, εφαρμόστηκε μια μέθοδος διασταύρωσης δεδομένων που αναπτύχθηκε στο MATLAB που έπαιρνε υπόψη τη διαφοροποίηση των δεδομένων και μπορούσε με ακρίβεια να τροφοδοτήσει το νευρωνικό δίκτυο. Το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης επιλογής αναπτύχθηκε στο ExcelVBA και καταγράφει τα διάφορα συστατικά της αντίστασης ενός πλοίου.

Ο τελευταίος αλγόριθμος τέλος, εμπεριείχε την ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου για να υπολογίσει τον βέλτιστο άξονα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η αντίσταση που συναντά το πλοίο κατά την πλεύση. Το σύστημα αναπτύχθηκε στο ExcelVBA και αποτυπώνει πολλαπλά στοιχεία αντίστασης που συναντά ένα πλοίο κατά την πλεύση. Αυτός ο αλγόριθμος βασίστηκε σε υδροστατικά δεδομένα γνωστής ναυτιλιακής εταιρίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως για να επιτευχθεί ένας λεπτομερής υπολογισμός αντίστασης.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου, Bialystocki<sup>47</sup> (2016), να έχει ακριβείς προβλέψεις της κατανάλωσης καυσίμου ενός πλοίου, είναι η εύχρηστη αξιοποίηση των άμεσα διαθέσιμων αναφορών (noon-reports) από τα δείγματα καταγραφών του σκάφους. Η μέθοδος εκτιμά τους διαφορετικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων (κατάσταση της θάλασσας, ηλικία του πλοίου, τη βύθιση και τη σχετική κατεύθυνση του ανέμου) και με στατιστική προσέγγιση παλινδρομικής ανάλυσης διαμορφώνεται μια καμπύλη καυσίμου- ταχύτητας που ομαλοποιεί τον καθένα από τους παραπάνω παράγοντες. Από την τελική καμπύλη που συμπεριλαμβάνει τις βέλτιστες καταγραφές, προκύπτει η πρόβλεψη για την κατανάλωση καυσίμου συγκεκριμένου σκάφους που πρόκειται να ταξιδέψει με συγκεκριμένη ταχύτητα. Στη συνέχεια εισάγονται συγκεκριμένοι δείκτες που μπορούν να αυξήσουν την ακρίβεια της πρόβλεψης. Η μέθοδος είναι απλή και ευκολονόητη και το Excel μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις επεξεργασίας της. Ωστόσο το γεγονός ότι βασίζεται στις καθημερινές συγκεκριμένες αναφορές (noon-reports), δεν μπορεί να εξασφαλίσει τις αναπόφευκτες αλλαγές που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια του 24ώρου ανάμεσα σε αυτές.

Τέλος οι D. Konovessis et al 2016, κατέληξαν σε μία συγκριτική μελέτη εφαρμογής των τριών τελευταίων μεθόδων. Τη μέθοδο προσέγγισης χειρισμού για την εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου του Bialystocki, το Μοντέλο Βελτιστοποίησης Πλοήγησης του Νευρονικού Δικτύου του Gehnke και το σύστημα παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου του Eljardt's.

Στη μελέτη τους καταλήγουν πως το Σύστημα Παρακολούθησης Κατανάλωσης Καυσίμου του Eljardt είναι η πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την αντίσταση του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη την τριβή, τον παράγοντα μορφής και την αντίσταση στην παραγωγή κύματος. Η εφαρμογή στο Excel VBA παρέχει εύκολη εγκατάσταση σε πλοία για θαλάσσια σκάφη. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις μετρήσεις που διενεργεί το πλήρωμα για την ακριβή εισαγωγή δεδομένων, ένα χαρακτηριστικό που μοιράζεται με τον αλγόριθμο μοντέλου. Περαιτέρω, ένα σημαντικό κριτήριο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι εάν η μετατόπιση του νερού έρματος για τη βελτιστοποίηση της πλοήγησης του

πλοίου, θα επηρέαζε τις επιπτώσεις των φάσεων φόρτωσης ή κάμψης στη δομή του σκάφους.

Τέλος, οι ερευνητές προτείνουν να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος που να συνδυάζει την θεωρητική προσέγγιση στο σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης πετρελαίου καυσίμου με την ανάλυση δεδομένων πραγματικού χρόνου στην προσέγγιση του νευρωνικού δικτύου.

### ***2.2.3. Ailong Fan, Xinping Yan, Richard Bucknall, Qizhi Yin, Rui Song (2017)<sup>52</sup>***

Σε πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Ailong Fan, Xinping Yan, Richard Bucknall, Qizhi Yin, and Rui Song<sup>53</sup> (2017) και υποστηρίχθηκε από το Εθνικό Ίδρυμα Φυσικών Επιστημών της Κίνας, τα Ταμεία Βασικών Ερευνών για τα Κεντρικά Πανεπιστήμια και το High-tech Ship από το Υπουργείο Βιομηχανίας και Πληροφορικής, επιλέχθηκε ένα πλοίο μεταφοράς χύδην (bulk carrier) 53.000 τόνων, για την ανάπτυξη ενός μοντέλου κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας εμπειρικές φόρμουλες, με βάση τη σχέση αλληλεπίδρασης του κύτους-κινητήρα-προπέλας (hull-engine-propeller), λαμβάνοντας υπόψη τις κύριες παραμέτρους του πλοίου. Οι παράμετροι του πλοίου που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμου είναι οι διαστάσεις του πλοίου (μήκος, πλάτος, βύθισμα), ο τύπος καυσίμου, ο τύπος του κινητήρα, η ονομαστική ισχύς και ταχύτητα (στροφές) του κινητήρα και η χωρητικότητα του πλοίου. Για τη λήψη των πραγματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν πολλοί αισθητήρες συλλογής τους, οι οποίοι ήταν εγκατεστημένοι στο επιλεγμένο πλοίο, για τον έλεγχο των καυσίμων και της

---

<sup>52</sup> Study of real-time fuel consumption model for large bulk carrier. In: Proceedings of the SCC Conference 2017. Low Carbon Shipping & Shipping in Changing Climates: London, UK., URI: <http://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1573478>

<sup>53</sup> 1. School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, 1178 Heping Avenue, Wuhan 430063, China  
2. National Engineering Research Center for Water Transport Safety, MOST, 1178 Heping Avenue, Wuhan 430063, China  
3. Department of Mechanical Engineering, University College London, Torrington Place, London WC1E 7JE, UK

κατανάλωσης τους, τη μέτρηση της ισχύος του άξονα καθώς και καταγραφή άλλων στοιχείων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα στο παρών μοντέλο, όπως ο καιρός (ταχύτητα, κατεύθυνση ανέμου).

Για το επιλεγμένο πλοίο, μόνο ο κύριος κινητήρας και ο βοηθητικός κινητήρας λειτουργούν ενώ το πλοίο βρίσκεται στη θάλασσα. Η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου, στην παρούσα μελέτη, εκπροσωπείται από τον τύπο:

$$f_c = M E_{fc} + A E_{fc} = P_B * SFOC (1 + LF) ,$$

Τύπος 9: Κατανάλωση καυσίμων πλοίου (A.Fan, X. Yan, R. Bucknall, Q. Yin, R. Song (2017) )

Όπου **f<sub>c</sub>**: Συνολική κατανάλωση καυσίμου

**ME<sub>fc</sub>**: κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής με  $M E_{fc} = P_b * SFOC$ , με  $P_b$  να υποδεικνύει την ισχύ του κύριου κινητήρα και  $SFOC$  να περιγράφει την ειδική κατανάλωση καυσίμων.

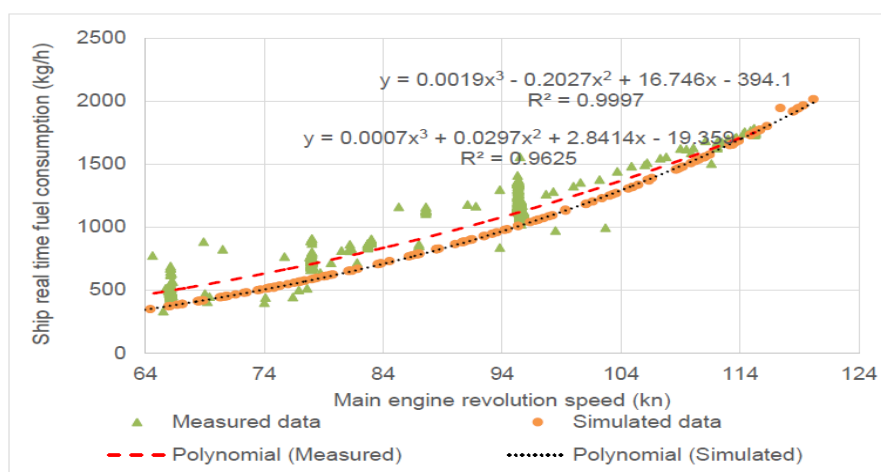
**AE<sub>fc</sub>**: κατανάλωση καυσίμων βοηθητικής μηχανής με  $A E_{fc} = M E_{fc} * LF$ , όπου  $LF$  ο συντελεστής του φορτίου.

Με βάση αυτό το μοντέλο προσομοίωσης, έγινε ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικό χρόνο.

Έπειτα, το μοντέλο προσομοιώθηκε στο MATLAB / Simulink λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο των τυχαίων περιβαλλοντικών παραγόντων όπως ο αέρας και το κύμα. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση και σύγκριση μεταξύ των προσομοιωμένων αποτελεσμάτων και των πραγματικών δεδομένων μέτρησης. Για την αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου παρουσιάστηκε στη μελέτη το παρακάτω σχήμα (Πίνακας 10), όπου ο άξονας X είναι η κύρια ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και ο άξονας Y είναι η κατανάλωση καυσίμου σε πραγματικό χρόνο. Τα πορτοκαλί διασκορπισμένα είναι τα προσομοιωμένα αποτελέσματα και τα πράσινα διασκορπισμένα είναι η πραγματική μέτρηση.



Πίνακας 11: Διάγραμμα σύγκρισης πραγματικών και προσομοιωμένων αποτελεσμάτων.



Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μετρούμενη κατανάλωση και ταχύτητα καυσίμου παρουσιάζει υψηλό βαθμό διασποράς λόγω της μεταβαλλόμενης κατάστασης λειτουργίας του πλοίου και της αβεβαιότητας που υπάρχει στο εποπτικό σύστημα παρακολούθησης δεδομένων. Τα προσομοιωμένα δεδομένα (πορτοκαλί) δείχνουν επίσης μια διακριτή κατανομή διότι η περιβαλλοντική παράμετρος εισόδου, θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή. Όσο πιο διακριτή είναι η παράμετρος εισόδου, τόσο πιο διακριτή είναι η κατανάλωση καυσίμου εξόδου.

Η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου, της ταχύτητας περιστροφής και της περιβαλλοντικής μεταβλητής μπορεί να παρουσιαστεί ως εξής:

- 1) Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου πλοίων. Ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου πλοίων αυξάνεται με την αυξανόμενη ταχύτητα περιστροφής.

- 2) Η περιβαλλοντική μεταβλητή, όπως ο άνεμος και το κύμα, επηρεάζουν επίσης την κατανάλωση καυσίμων πλοίων.

- 3) Επηρεασμένη από την τυχαία περιβαλλοντική μεταβλητή, η τιμή εξόδου της κατανάλωσης καυσίμου πλοίου είναι μια τιμή διαστήματος ακόμη και για μια συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής.

Στη συνέχεια, με επιλογή διαφόρων ταχυτήτων, υπολογίζονται στην παρούσα μελέτη οι τιμές των δύο εξισώσεων παλινδρόμησης, που στο σχήμα εμφανίζονται με κόκκινο και μαύρο αντίστοιχα. Οι διαφορές τους υπολογίζονται για την αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου. Οι αποκλίσεις που παρουσιάζονται υπολογίζονται περαιτέρω και δείχνουν ότι το αναπτυγμένο μοντέλο έχει καλή ακρίβεια στην πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου σε πραγματικό χρόνο. Το αναπτυγμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμων πλοίων υπό διαφορετικά φορτία πλοίων, ταχύτητας και θαλάσσης. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι η ακρίβεια του μοντέλου είναι καλή, ειδικά με στόχο την υψηλή ταχύτητα περιστροφής. Για την ευρέως χρησιμοποιούμενη περιοχή στροφών (76, 116) rpm, η μέση διαφορά των δύο εξισώσεων παλινδρόμησης είναι περίπου 8,99%.

Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να βοηθήσει τον διαχειριστή του πλοίου να αξιολογήσει το πιθανό επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου κάτω από διαφορετικό ωκεάνιο περιβάλλον, να αποτελέσει την βάση για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου και τη μελέτη των μεθόδων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.



### 3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στόχος μας σε αυτή την ανάλυση είναι να εκτιμήσουμε τους καθοριστικούς παράγοντες της κατανάλωσης καυσίμων, χρησιμοποιώντας πολλαπλές γραμμικές παλινδρομήσεις έχοντας σαν βάση τα δεδομένα των Ελληνικών πλοίων που κατέχει η Τράπεζα της Ελλάδος. Το σύνολο των δεδομένων αποτελείται από ένα δείγμα 472 πλοίων που ομαδοποιούνται σε 3 διαφορετικές κατηγορίες πλοίων (Bulkers, Containerships & Tankers). Το σύνολο των δεδομένων εξετάζεται με βάση τις ακόλουθες μεταβλητές: Κατανάλωση καυσίμου, Έτος Κατασκευής, Νεκρό Βάρος, Βύθισμα, Ιπποδύναμη Μηχανής και Ταχύτητα, όπως κατεγράφησαν τον Μάιο του 2017. Τα δεδομένα ήταν εμπιστευτικά και δεν είχαμε καμία πληροφορία σχετικά με το όνομα, τον IMO Number ή άλλα χαρακτηριστικά των πλοίων.



## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η προσέγγιση της εκτίμησης της κατανάλωσης των καυσίμων των πλοίων της ποντοπόρου ναυτιλίας. Η προσέγγιση γίνεται με τη βοήθεια της Οικονομικής επιστήμης και συγκεκριμένα της *Οικονομετρίας*, η οποία αναφέρεται κυρίως στην ποσοτική της πλευρά (Tinbergen,1951, Samuelson, Koopmans, Stone,1954, Tintner,1953). Μέσω της οικονομετρίας μπορούμε να έχουμε ασφαλείς προβλέψεις των μελλοντικών τιμών των οικονομικών μεταβλητών τόσο σε μικρο-οικονομικό όσο και σε μακρο-οικονομικό επίπεδο. Ο κατάλληλος συνδυασμός της μαθηματικής, οικονομικής και στατιστικής ανάλυσης αποτελεί την οικονομετρική ανάλυση.

Αναφερόμενοι στην οικονομετρική ανάλυση, οφείλουμε να περιγράψουμε συνοπτικά τα βασικά στάδια της διαδικασίας της ανάλυσης.

### 4.1. Εξειδίκευση υποδείγματος

Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στο πιο δύσκολο, αλλά συγχρόνως σπουδαιότερο μέρος της οικονομετρικής ανάλυσης. Σε αυτό γίνεται ο καθορισμός των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν στο υπόδειγμα καθώς και η μαθηματική διατύπωση του υποδείγματος. Το πρόβλημα που εμφανίζεται σε αυτή τη φάση της ανάλυσης έγκειται στην κατάλληλη επιλογή του υποδείγματος, ελλείπει συγκεκριμένων κριτηρίων για την επιλογή των μεταβλητών και της μαθηματικής μορφής της συναρτησιακής σχέσης που τις συνδέει.

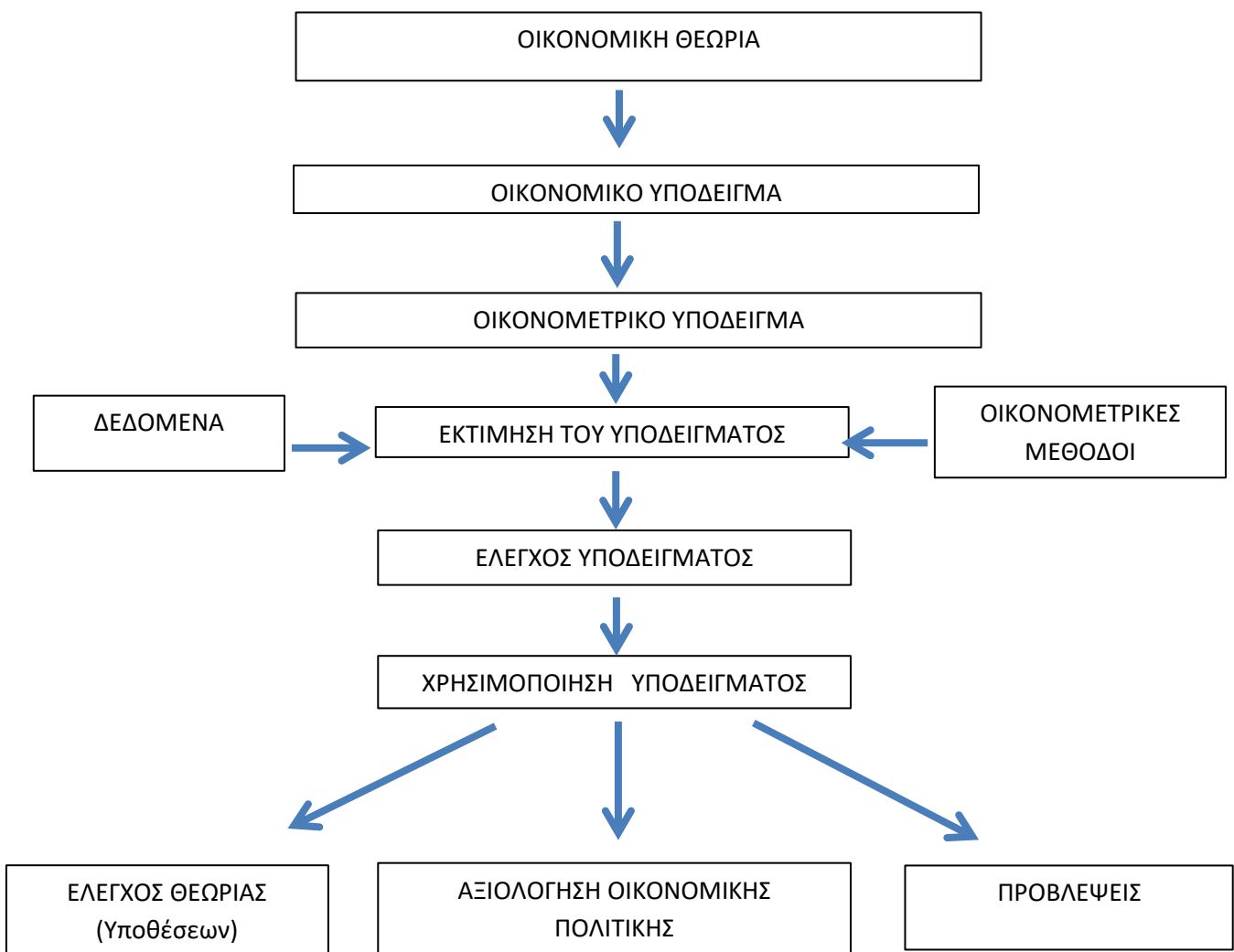
### 4.2 Εκτίμηση του υποδείγματος

Η εκτίμηση του υποδείγματος αφορά την εφαρμογή των κατάλληλων οικονομετρικών μεθόδων που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση των συντελεστών του υποδείγματος. Ως προς το είδος των στατιστικών παρατηρήσεων για τις μεταβλητές του υποδείγματος, έχουμε βασικά δύο κατηγορίες: τις *χρονολογικές σειρές* που αναφέρονται σε ένα σύνολο παρατηρήσεων σε βάθος χρόνου (ετών, μηνών κλπ) και τα *διαστρωματικά στοιχεία* που αναφέρονται σε παρατηρήσεις για ένα στρώμα οικονομικών μονάδων σε μια δεδομένη οικονομική στιγμή όπως πχ οι δαπάνες κατανάλωσης καυσίμων για όλα τα είδη πλοίων σε μια χρονική στιγμή.

### 4.3 Έλεγχος του υποδείγματος

Σε αυτό το στάδιο της οικονομετρικής ανάλυσης γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης που έχει προηγηθεί. Η διαδικασία του ελέγχου πραγματοποιείται με βάση ορισμένα κριτήρια, που διακρίνονται σε οικονομικά, στατιστικά και οικονομετρικά. Τα οικονομικά κριτήρια προέρχονται *arriori* από την οικονομική θεωρία και αναφέρονται στα πρόσημα και τα όρια των συντελεστών. Επιπροσθέτως, ένα οικονομετρικό υπόδειγμα αξιολογείται και ως προς την ικανότητα του (*performance*) να αντικατοπτρίζει μελλοντικές τιμές των μεταβλητών, να εφαρμοστεί για πεδία έξω από το δείγμα, ανεξάρτητα από το αν ικανοποιεί τα προηγουμένως ελεγχθέντα κριτήρια.

#### Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ



Σχήμα 1: Η διαδικασία της οικονομετρικής ανάλυσης (Γ.Κ. Χρήστου, 2002, *Εισαγωγή στην Οικονομετρία*, Α' Τόμος: 10)

Επειδή το προς μελέτη θέμα διέπεται από πολλές μεταβλητές, η μέθοδος ανάλυσης που αξιοποιήθηκε είναι η πολλαπλή παλινδρόμηση (πολυμεταβλητή). Στο στάδιο της εξειδίκευσης του χρησιμοποιούμενου υποδείγματος παρουσιάζονται οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν έπειτα από την ύπαρξη ενδείξεων στη διεθνή βιβλιογραφία για πιθανή συσχέτιση ανάμεσα τους, σε ότι αφορά την κατανάλωση των καυσίμων.

Ακολούθως, παρουσιάζεται η μαθηματική διατύπωση του υποδείγματος χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πολλαπλής (πολυμεταβλητής)<sup>54</sup> παλινδρόμησης, με στόχο την κατασκευή ενός μοντέλου που να περιγράφει τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και διαφόρων ανεξάρτητων. Μελετάται η απόκριση της εξαρτημένης μεταβλητής ως γραμμικό αποτέλεσμα της δράσης των ανεξάρτητων μεταβλητών, μέσω της δημιουργίας της εξίσωσης πολλαπλής παλινδρόμησης, με τη χρησιμοποίηση των πραγματικών τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών που διαθέτουμε για το σκοπό της μελέτης. Η μαθηματική εξίσωση της πολλαπλής παλινδρόμησης είναι της μορφής :

$$Y = b_0 + b_1X_{t1} + b_2X_{t2} + \dots + b_nX_{tn} + \epsilon$$

Όπου  $Y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές,  $b_0$  είναι ο σταθερός όρος, που αποτελεί τη τιμή της  $Y$  όταν όλες οι μεταβλητές  $X_{t1}$  είναι μηδενικές. Οι  $b_1, b_2, \dots, b_n$  είναι οι μερικοί συντελεστές. Ο μερικός συντελεστής  $b_1$  εκφράζει το μέγεθος μεταβολής της  $Y$ , όταν μεταβάλλεται η μεταβλητή  $X_{t1}$  κατά μία μονάδα, ενώ παράλληλα οι υπόλοιπες μεταβλητές  $X_{t1}$  διατηρούνται σταθερές στην τιμή του μέσου όρου τους. Όπου  $[\epsilon]$  τα (σφάλματα) κατάλοιπα της παλινδρόμησης,  $[n]$  ο αριθμός των μεταβλητών.

---

<sup>54</sup> Γ.Κ. Χρήστου, 2002, *Εισαγωγή στην οικονομετρία*, Αθήνα, Gutenberg

Κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των βασικών προϋποθέσεων της *Γραμμικής Παλινδρόμησης*. Οι υποθέσεις που ακολουθούν πρέπει να ισχύουν για όλες τις παρατηρήσεις.

i)  $Y_t = b_0 + b_1 X_{t1} + b_2 X_{t2} + \dots + b_k X_{tk} + u_t$

ii)  $u_t \sim (0, \sigma^2)$

iii) α)  $u_t$  είναι τυχαία μεταβλητή

β)  $E u_t = 0$

γ)  $E u_{t2} = \sigma^2$

iv)  $E u_t u_s = 0$  για  $t \neq s$

v) Οι ερμηνευτικές μεταβλητές δεν είναι στοχαστικές. Οι τιμές τους παραμένουν σταθερές και δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους.

vi) Δεν υπάρχουν ακριβείς γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στις ερμηνευτικές μεταβλητές,

vii) Ο αριθμός των παρατηρήσεων του δείγματος είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των συντελεστών του υποδείγματος που θέλουμε να εκτιμήσουμε.

- Η υπόθεση (i) αναφέρεται στη γραμμική σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης.
- Κάθε τιμή  $T$  της εξαρτημένης μεταβλητής είναι γραμμική συνάρτηση των ερμηνευτικών μεταβλητών  $X_{t1}, X_{t2}, \dots, X_{tk}$  και του διαταρακτικού όρου  $u_t$ .
- Οι υποθέσεις (ii) και (iii) αναφέρονται στο διαταρακτικό όρο  $u_t$ .
- Η υπόθεση (iv) αναφέρεται σε  $K$  ερμηνευτικές μεταβλητές.

- Οι πρόσθετες υποθέσεις (v) και (vi) έχουν σχέση με την εκτίμηση και τον έλεγχο του υποδείγματος.
- Η υπόθεση (vi) αποτελεί προϋπόθεση ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί το υπόδειγμα και αποκλείει το ενδεχόμενο να υπάρξει *τέλεια συγγραμμικότητα* ανάμεσα στις ερμηνευτικές μεταβλητές. Αυτό σημαίνει πως καμιά από τις K ερμηνευτικές μεταβλητές δεν μπορεί να εκφραστεί ως γραμμικός συνδυασμός των υπολοίπων.
- Τέλος η υπόθεση (vii) δίνει τη δυνατότητα επαρκούς ελευθερίας για τον έλεγχο και την εκτίμηση του υποδείγματος.

Η Κανονική Κατανομή είναι η υπόθεση που αναφέρεται στη μεταβλητή του σφάλματος του μοντέλου, η οποία είναι τυχαία μεταβλητή με τιμή του μέσου όρου της ίση με το μηδέν και διακύμανση σταθερή για όλες τις τιμές των X (ανεξάρτητων μεταβλητών). Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα χαρακτηρίζεται από *ομοσκεδαστικότητα (homoskedasticity)*, διαφορετικά, αν η διακύμανση δεν είναι σταθερή ο όρος του σφάλματος χαρακτηρίζεται από *ετεροσκεδαστικότητα (heteroskedasticity)*. Η υπόθεση μας επομένως διατυπώνεται με την προϋπόθεση πως το σφάλμα είναι *ομοσκεδαστικό*.

Η υπόθεση μας επίσης θεωρεί πως τα κατάλοιπα είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, οπότε η συνδιακύμανση του σφάλματος, της παρατήρησης t με το σφάλμα οποιασδήποτε άλλης παρατήρησης είναι μηδέν.

$$\text{Cov}(u_t, u_s) = E(u_t - Eu_t)(u_s - Eu_s) = Eu_t u_s = 0$$



Οι υποθέσεις που ισχύουν είναι ότι οι μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_n$  δεν είναι στοχαστικές. Οι τιμές τους παραμένουν σταθερές και δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους.

Δεν πρέπει να υπάρχει πολυσυγγραμμικότητα μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή καμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές δεν μπορεί να εκφραστεί ως γραμμικός συνδυασμός των υπολοίπων.

Στο μοντέλο που κατασκευάσαμε, εξαρτημένη μεταβλητή (dependent variable) αποτελεί η κατανάλωση καυσίμου, ενώ ανεξάρτητες μεταβλητές (Independent variables) είναι το νεκρό βάρος του πλοίου, το βύθισμα του, η ισχύς του κινητήρα, η ταχύτητα του πλοίου, καθώς και το έτος κατασκευής του. Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο της πολλαπλής παλινδρόμησης παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\text{CONSUMPTION} = C_0 + C_1 * \text{DEADWEIGHT} + C_2 * \text{DRAFT} + C_3 * \text{POWER} + C_4 * \text{SPEED} + C_5 * \text{YEAR}$$

Όπου,

- CONSUMPTION είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,
- DEADWEIGHT, DRAFT, POWER, SPEED, YEAR είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές,
- $C_0$  ο σταθερός όρος,  $C_1, \dots, C_5$  είναι συντελεστές (coefficient) κάθε μίας ανεξάρτητης μεταβλητής.

Έπειτα από τον ορισμό της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών και της μαθηματικής μορφής της συναρτησιακής τους σχέσης, με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος του E-Views, γίνεται η εκτίμηση των συντελεστών με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Έγινε εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο πρόγραμμα ώστε να κατασκευάσουμε τη γραμμική πολλαπλή παλινδρόμηση και κάνουμε τους ελέγχους που χρειάζεται. Εξετάζουμε τη στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών (co-efficient) χρησιμοποιώντας τη στατιστική ελέγχου  $t$ , ελέγχοντας αν είναι σημαντικά διαφορετική από το μηδέν. Η μηδενική υπόθεση που ελέγχουμε είναι:

$$H_0: b_1=0, \text{ έναντι εναλλακτικής } H_1: b_1 \neq 0$$

Απόρριψη της  $H_0$  σημαίνει ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην  $Y$  και στις ανεξάρτητες μεταβλητές. Δεχόμαστε δηλαδή πως η μεταβλητή  $X_1$  είναι σημαντική στην ερμηνεία της εξαρτημένης  $Y$ .

Η εξεταζόμενη γραμμική παλινδρόμηση μετασχηματίστηκε στις περιπτώσεις όπου κρίθηκε αναγκαίο και πραγματοποιήθηκαν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι

## 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 5.1 Bulkers

Στην κατηγορία “Bulkers”, με βάση τα 200 πλοία που έχουμε σχετική πληροφορία (βλ. *Πίνακα 11*), παρατηρείται μέση κατανάλωση (±τυπικό σφάλμα) 34,6 (±0,8) τόνοι καυσίμου την ημέρα (ελάχιστο 16 τόνοι και μέγιστο 69 τόνοι). Όπως παρατηρείται στο *Γράφημα 1* η πλειονότητα των πλοίων καταναλώνει 24 με 39 τόνους καυσίμου την ημέρα.

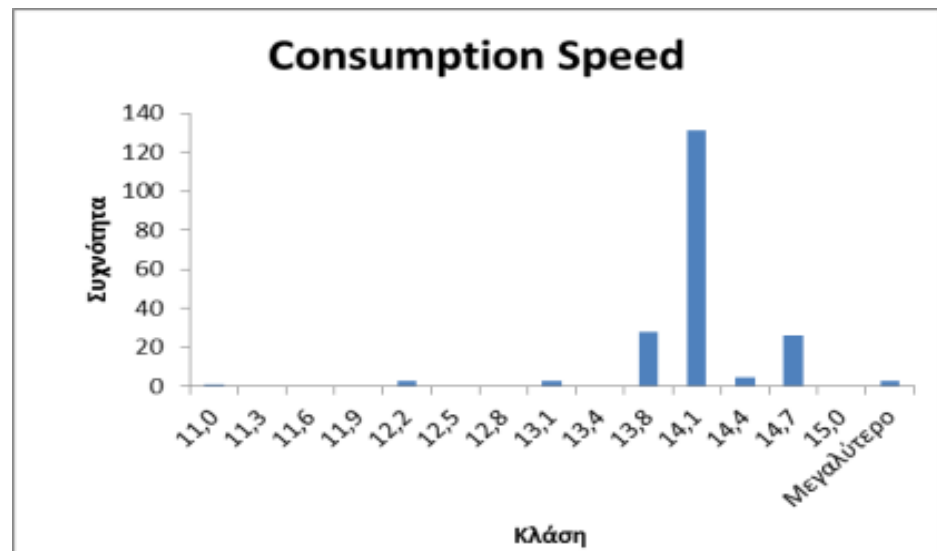
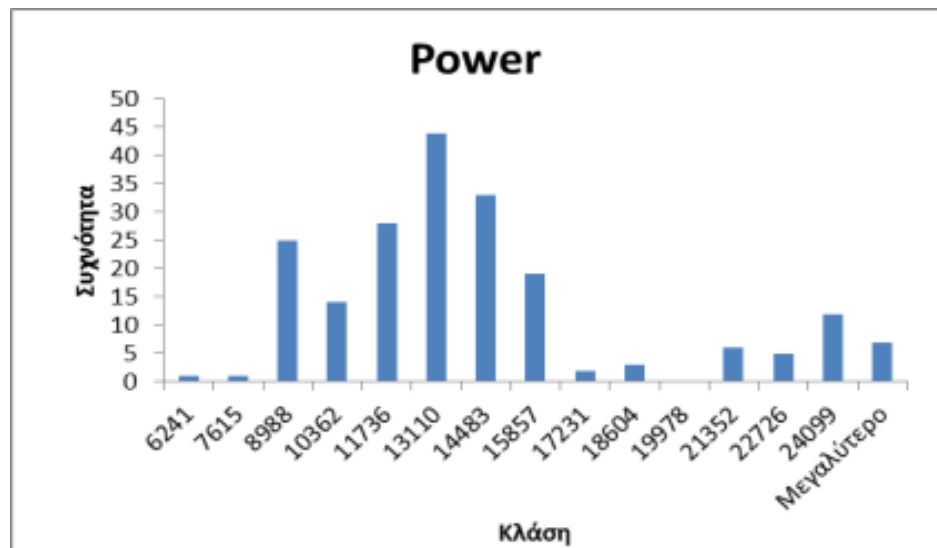
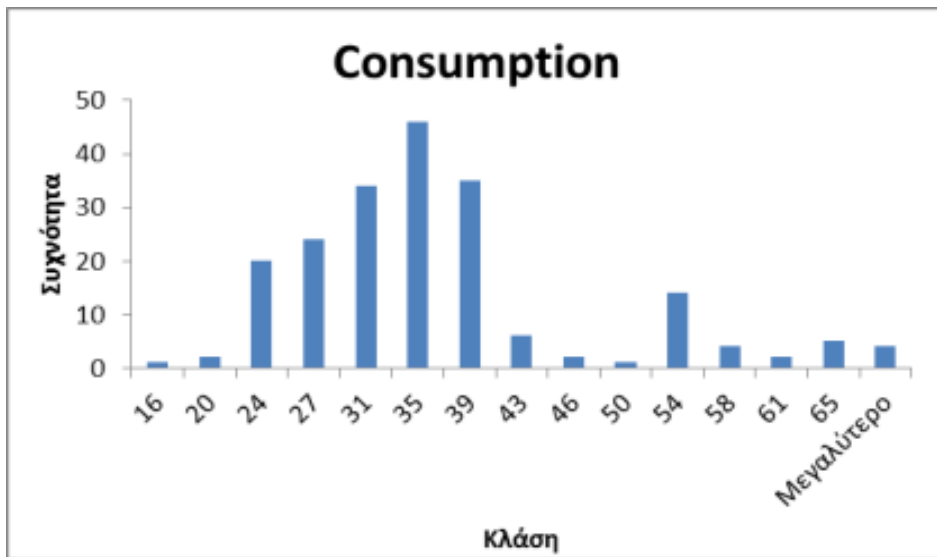
Το νεκρό βάρος (*deadweight*) των πλοίων αυτού του τύπου κατά μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) κυμαίνεται στους 75.273 τόνους (±3.167). Όπως παρατηρείται στο *Γράφημα 1* η πλειονότητα των πλοίων αυτής της κατηγορίας έχει νεκρό βάρος 33 με 90 χιλιάδες τόνους. Το μέγιστο βύθισμα έχει μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) 13,4 μέτρα (± 0,2). Η μέση ταχύτητα με την οποία έχει μετρηθεί η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου, που αντιστοιχεί σε τυπική ταχύτητα πλεύσης είναι 14 κόμβοι (± 0,2). Η ιπποδύναμη των πλοίων αυτής της κατηγορίας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 13.686 ίππους (± 317). Στο *Γράφημα 1* παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των πλοίων έχει ιπποδύναμη από 9.000 έως 16.000 ίππους. Τα μισά πλοία έχουν κατασκευαστεί πριν το 2009. Οι ημερομηνίες κατασκευής στο δείγμα μας κυμαίνονται από το 1992( ελάχιστο) έως το 2016 (μέγιστο).

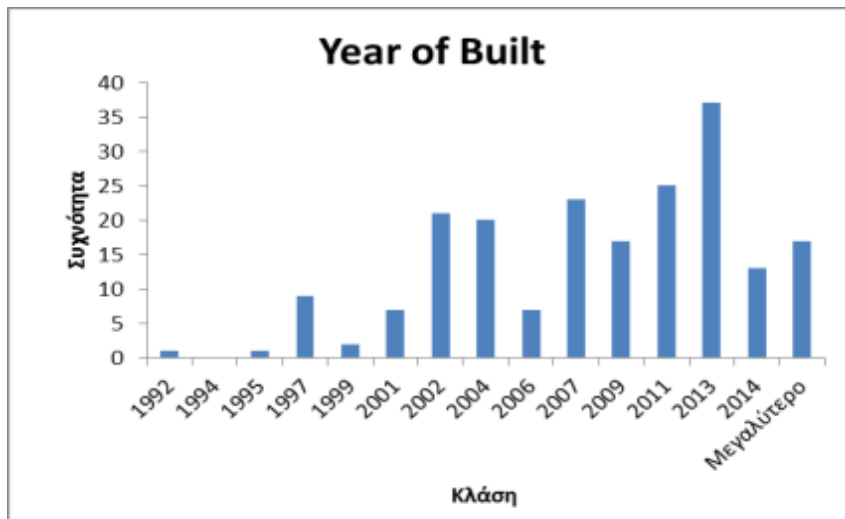
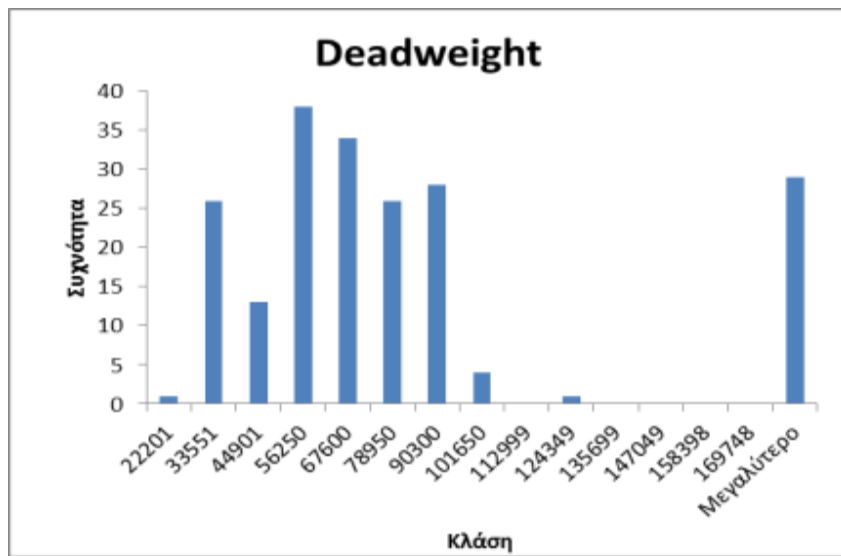
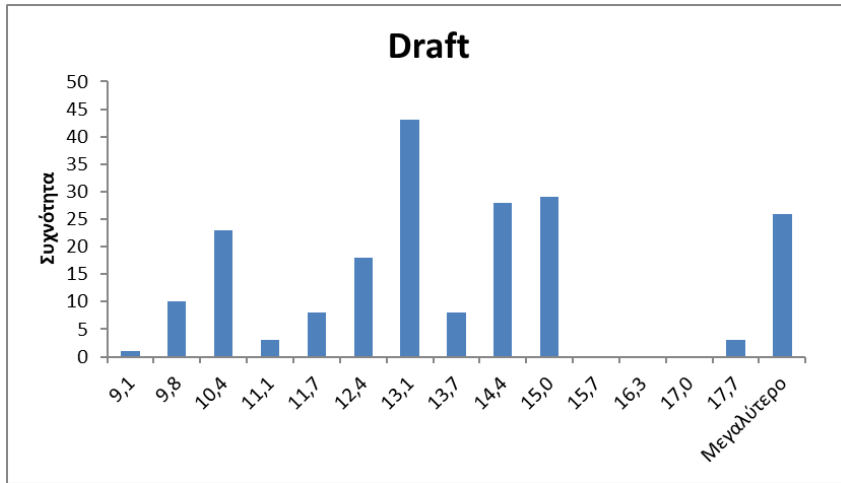
Στο *Γράφημα 2* παρατίθενται τα διαγράμματα διασποράς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης όλων των μεταβλητών με την κατανάλωση. Παρατηρείται ισχυρή θετική συσχέτιση της κατανάλωσης με το νεκρό βάρος (92,9%), την ιπποδύναμη (94,8%), και το μέγιστο βύθισμα (90%). Η συσχέτιση με το έτος κατασκευής ιδιαίτερα μικρή (4,2%), ενώ η συσχέτιση

Πίνακας 12: Bulkers περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών

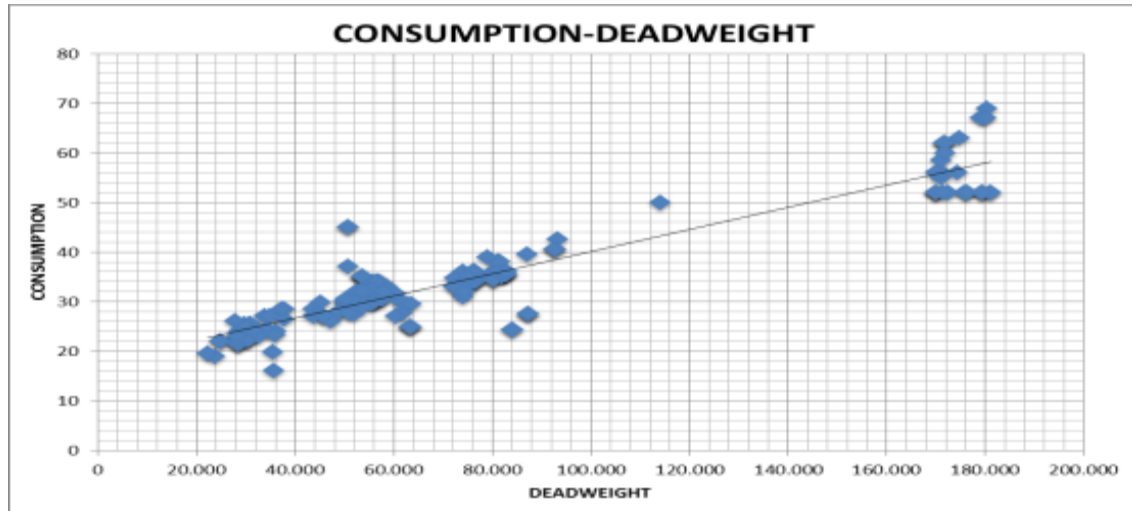
	Consumption value	Deadweight	Draft	Consumption Speed	Power bhp ihp ship max	Year of Built
Μέσος	34,6	75.253	13.362	14	13.686	2007
Τυπικό σφάλμα	0,8	3.167	173	0,03	317	0,4
Διάμεσος	33	58.580	13.000	14	12.889	2009
Επικρατούσα τιμή	34	57.000	12.800	14	12.889	2010
Τυπική απόκλιση	10,8	44.793	2.446	0,45	4.489	5
Κύρτωση	1,4	0,9	-0,27	13,62	0,6	-0,5
Ασυμμετρία	1,3	1,4	0,48	-2,50	1,1	-0,5
Εύρος	53	158.897	9.214	4,28	19.232	24
Ελάχιστο	16	22.201	9.110	11	6.241	1992
Μέγιστο	69	181.098	18.324	15,28	25.473	2016
Άθροισμα	6923,3	15.050.579	2.672.375	2.791	2.737.181	
Πλήθος	200	200	200	200	200	200
Διάστημα εμπιστοσύνης (95,0%)	1,5	6.246	341	0,06	626	0,7

Γράφημα 1: Ιστογράμματα των μεταβλητών

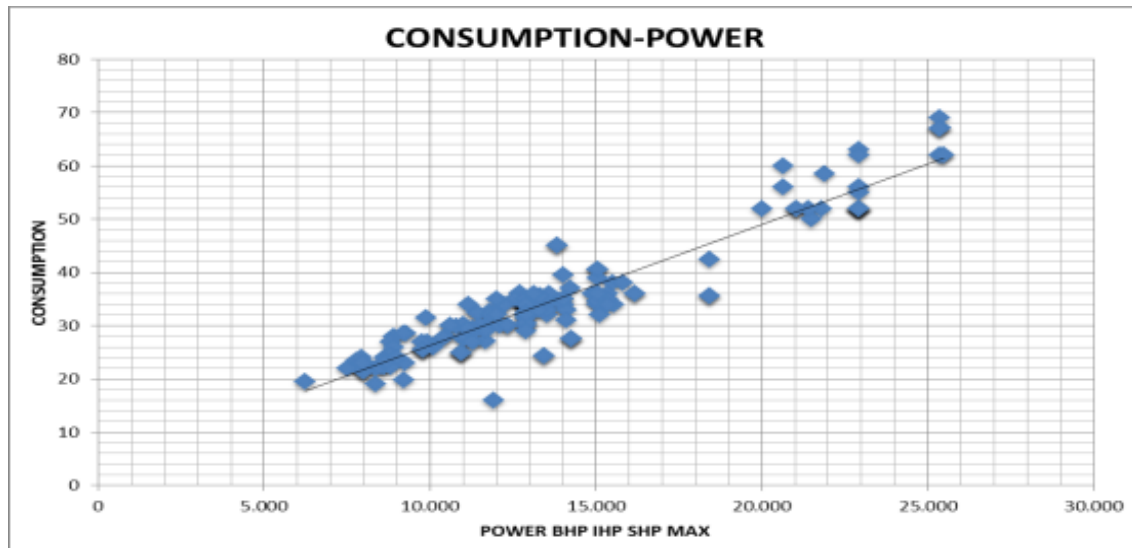




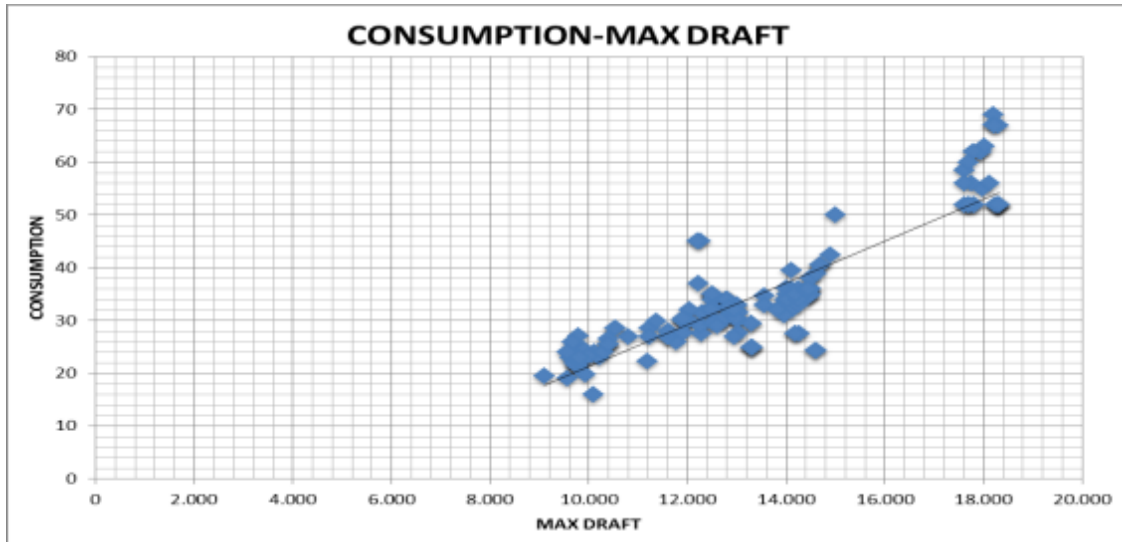
Γράφημα 2: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης



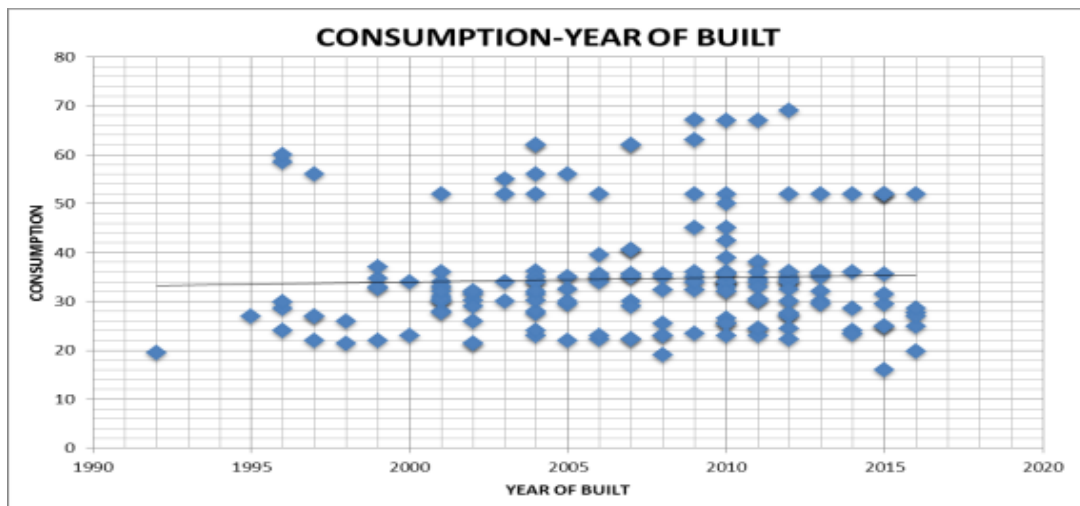
CORRELATION: 0,929719



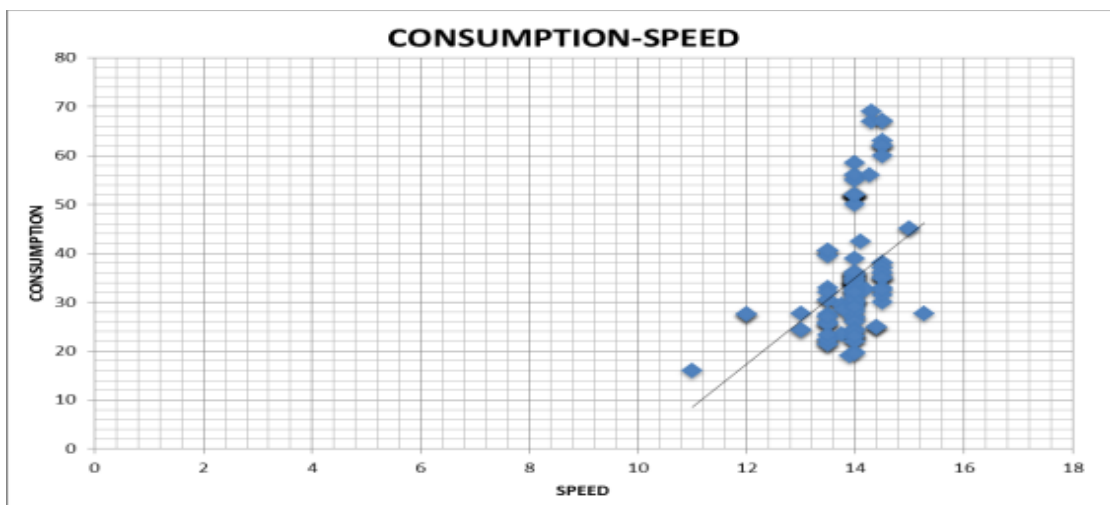
CORRELATION: 0,948015



CORRELATION: 0,900164



CORRELATION: 0,042816



CORRELATION: 0,367574

## 5.2 Containerships

Στην κατηγορία "Containerships", με βάση τα 72 πλοία που έχουμε σχετική πληροφορία (βλ. Πίνακα 12), παρατηρείται μέση κατανάλωση (±τυπικό σφάλμα) 67 (±5,2) τόνοι καυσίμου την ημέρα (ελάχιστο 11 τόνοι και μέγιστο 220 τόνοι). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 3 η πλειονότητα των πλοίων καταναλώνει 37 με 90 τόνους καυσίμου την ημέρα.

Το νεκρό βάρος ( deadweight) των πλοίων αυτού του τύπου κατά μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) κυμαίνεται στους 28.290 τόνους (±1.924). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 3 η πλειονότητα των πλοίων αυτής της κατηγορίας έχει νεκρό βάρος 16 με 32 χιλιάδες τόνους. Το μέγιστο βύθισμα έχει μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) 10,2 μέτρα (± 0,2). Η μέση ταχύτητα με την οποία έχει μετρηθεί η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου, που αντιστοιχεί σε τυπική ταχύτητα πλεύσης είναι 20 κόμβοι (± 0,3). Η ιπποδύναμη των πλοίων αυτής της κατηγορίας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 23.912 ίππους (± 1.822). Στο γράφημα 3 παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των πλοίων έχει ιπποδύναμη από 15.000 έως 34.000 ίππους. Τα μισά πλοία έχουν κατασκευαστεί πριν το 2007. Οι ημερομηνίες κατασκευής στο δείγμα μας κυμαίνονται από το 1992 (ελάχιστο) έως το 2016 (μέγιστο).

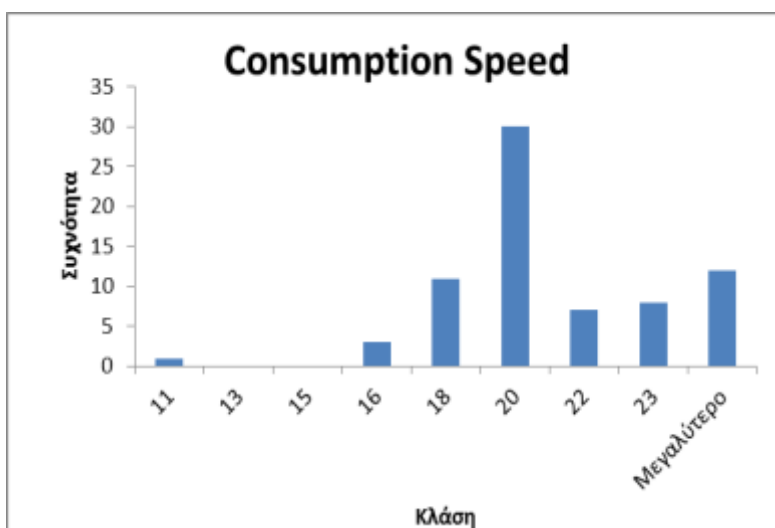
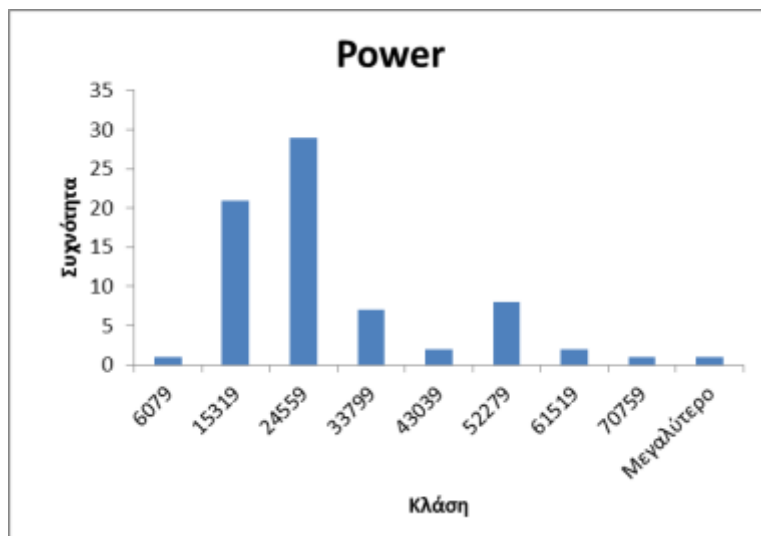
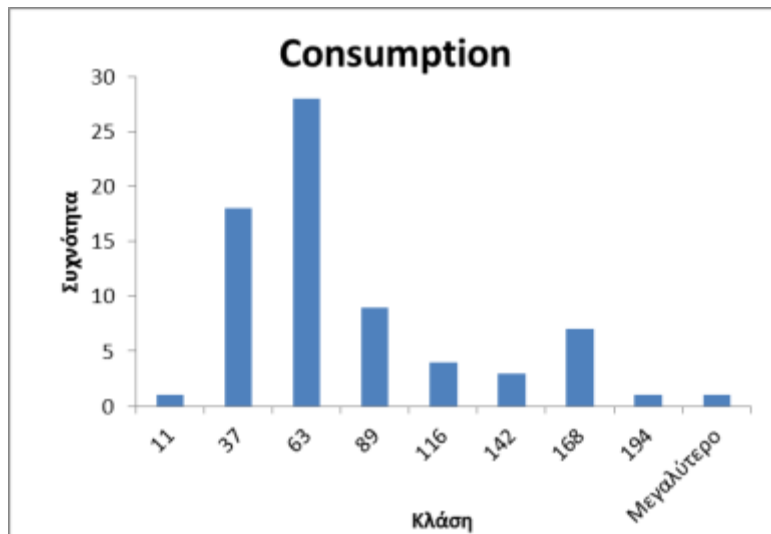
Στο Γράφημα 4 παρατίθενται τα διαγράμματα διασποράς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης όλων των μεταβλητών με την κατανάλωση. Παρατηρείται ισχυρή θετική συσχέτιση της κατανάλωσης με το νεκρό βάρος (95,3%), την ιπποδύναμη (99,3%), το μέγιστο βύθισμα (91,8%) και την ταχύτητα μέτρησης (90,8%). Η συσχέτιση με το έτος κατασκευής είναι ιδιαίτερα μικρή (19,8%).

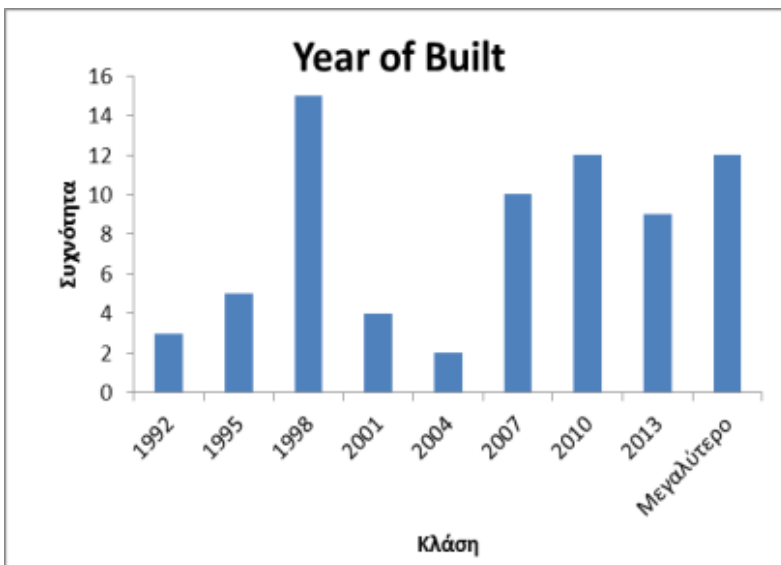
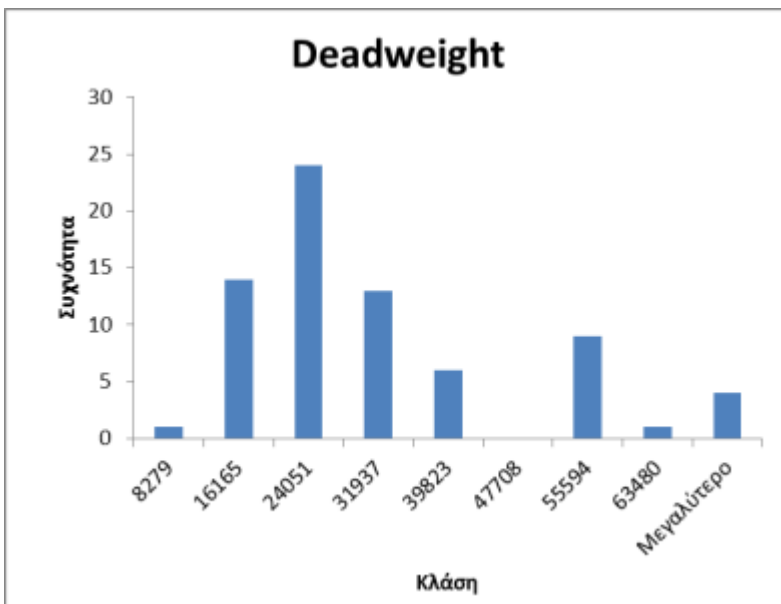
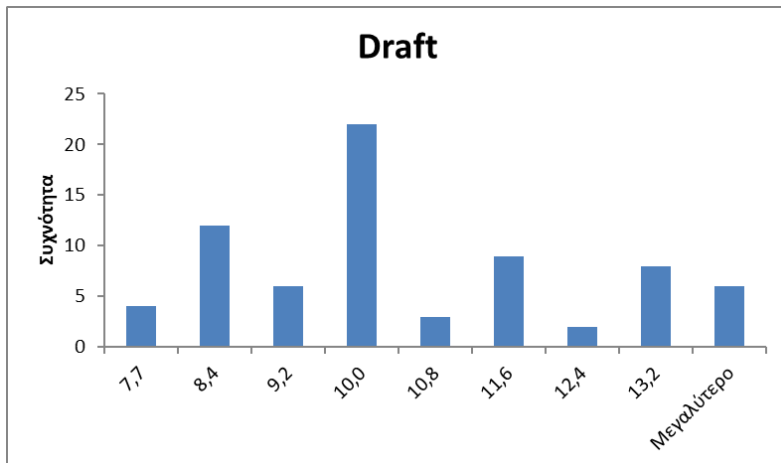
Πίνακας 13: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών

	Consumption value	Deadweight	Draft	Consumption Speed	Power bhp ihp ship max	Year of Built
Μέσος	67	28.290	10.175	19,9	23.912	2005
Τυπικό σφάλμα	5,2	1.924	209	0,3	1.822	0,9
Διάμεσος	51,4	23.211	9.581	19,3	18.110	2007
Επικρατούσα τιμή	46,5	52.513,0	9.500	19,0	17.675	1998
Τυπική απόκλιση	44,1	16.329,6	1.775	2,7	15.461	7
Κύρτωση	1,5	0,4	-0,8	0,6	1,8	-1,3
Ασυμμετρία	1,4	1,1	0,5	0,0	1,5	-0,2
Εύρος	209	63.087	6.372	14	73.920	24
Ελάχιστο	11	8.279	7.650	11	6.079	1992
Μέγιστο	220	71.366	14.022	25	79.999	2016
Άθροισμα	4859	2.036.859	732.585	1.430	1.721.667	
Πλήθος	72	72	72	72	72	72
Διάστημα εμπιστοσύνης (95,0%)	10,4	3.837	417	0,6	3.633	2

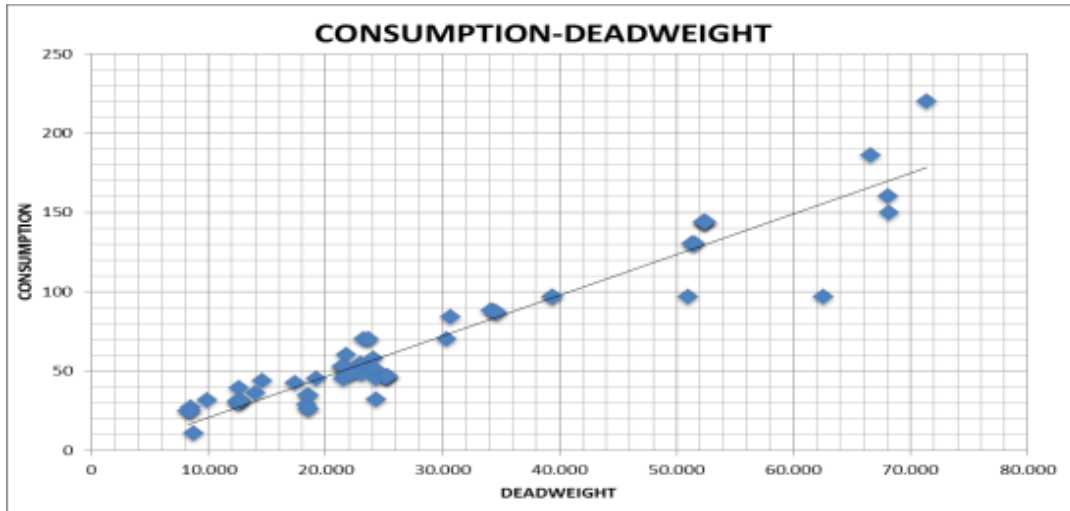


Γράφημα 3: Ιστογράμματα των μεταβλητών

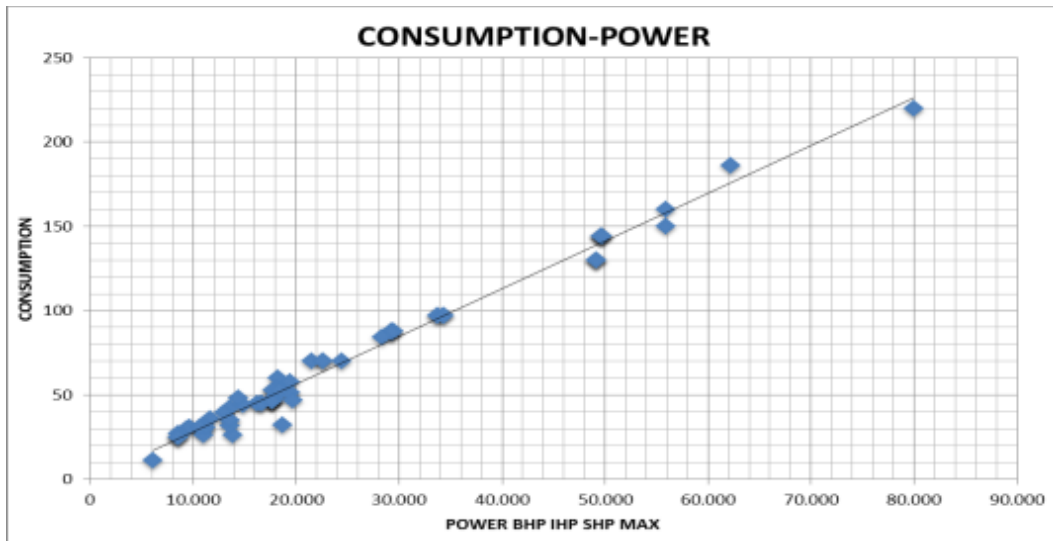




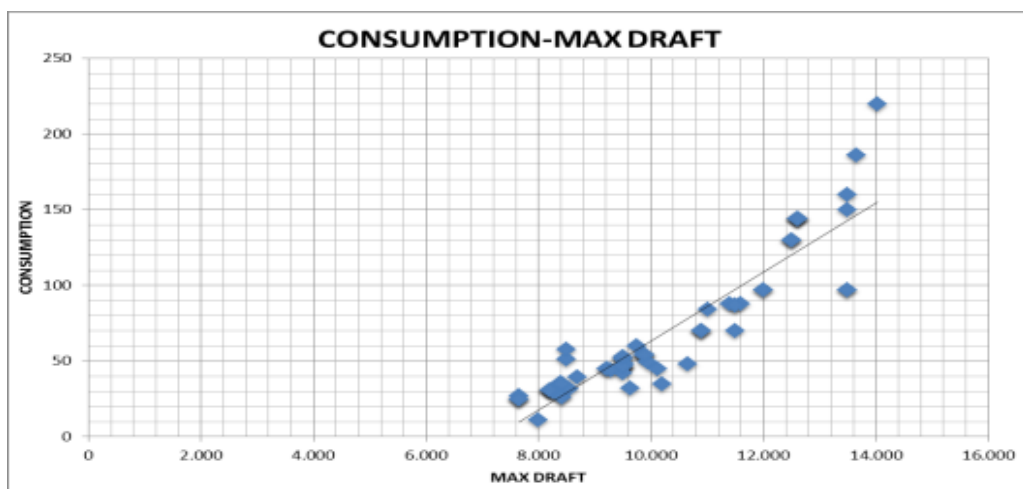
Γράφημα 4: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης



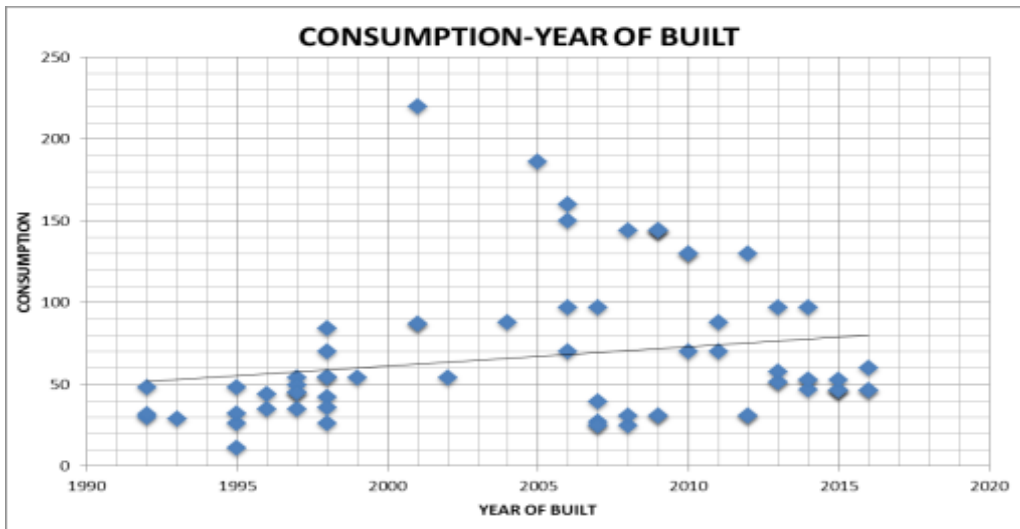
CORRELATION: 0,952949



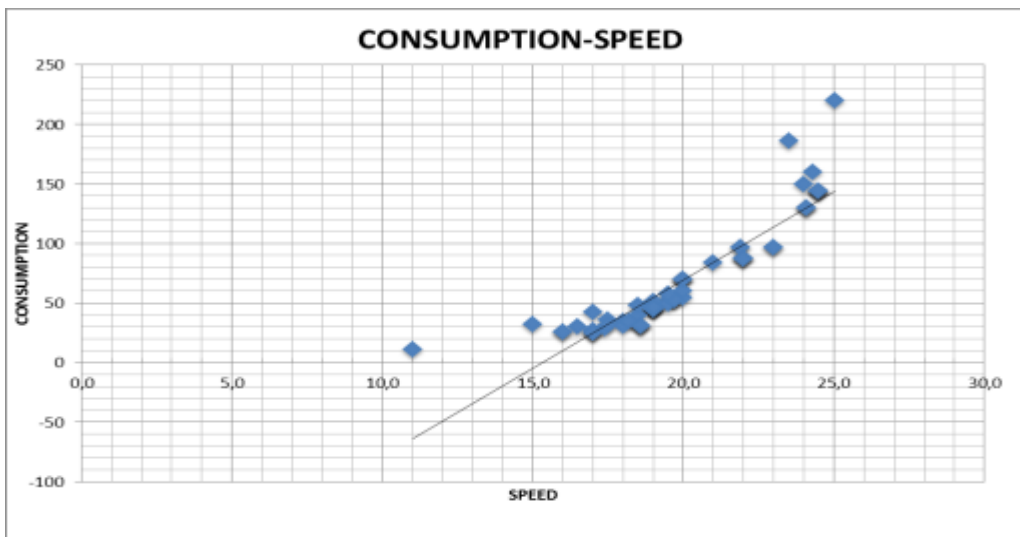
CORRELATION: 0,992816



CORRELATION: 0,918455



CORRELATION: 0,198396



CORRELATION: 0,90809

### 5.3 Tankers

Στην κατηγορία "Tankers", με βάση τα 200 πλοία που έχουμε σχετική πληροφορία (βλ. Πίνακα 13), παρατηρείται μέση κατανάλωση (±τυπικό σφάλμα) 51 (±1,7) τόνοι καυσίμου την ημέρα (ελάχιστο 9 τόνοι και μέγιστο 107 τόνοι). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 5 η πλειονότητα των πλοίων καταναλώνει 23 με 51 τόνους καυσίμου την ημέρα.

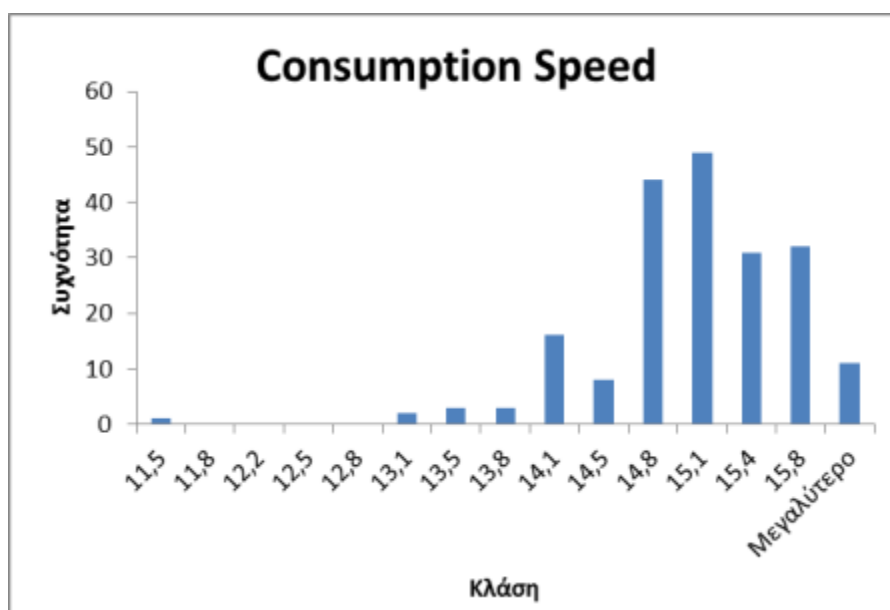
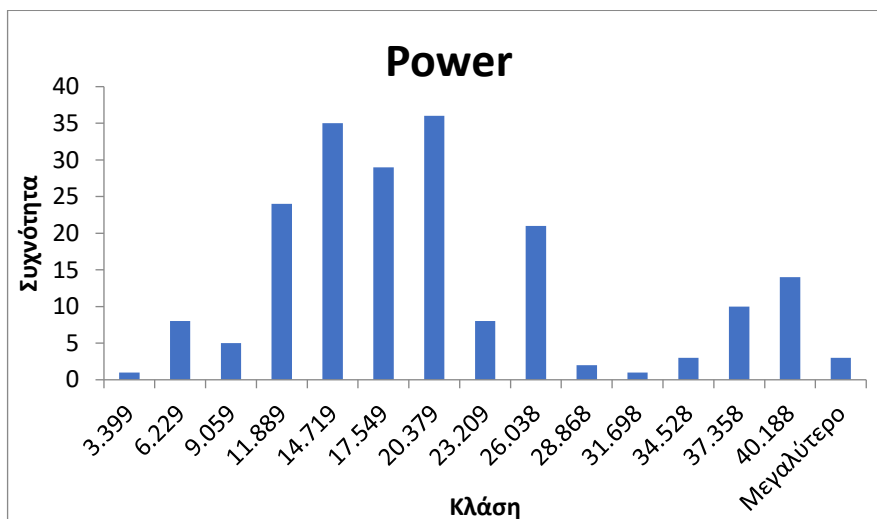
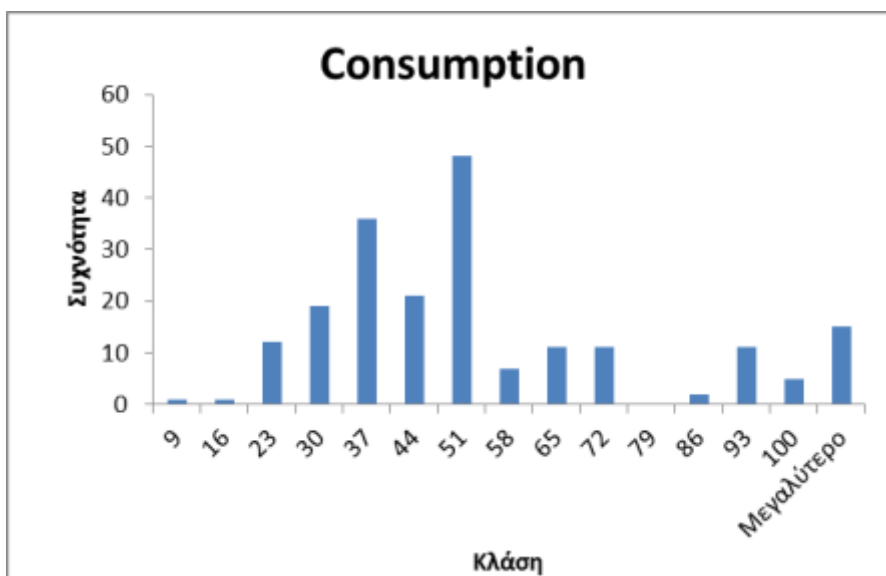
Το νεκρό βάρος ( deadweight) των πλοίων αυτού του τύπου κατά μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) κυμαίνεται στους 118.753 τόνους (±6.520). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 5 η πλειονότητα των πλοίων αυτής της κατηγορίας έχει νεκρό βάρος 27 με 118 χιλιάδες τόνους. Το μέγιστο βύθισμα έχει μέσο όρο (±τυπικό σφάλμα) 14,9 μέτρα (± 0,3). Η μέση ταχύτητα με την οποία έχει μετρηθεί η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου, που αντιστοιχεί σε τυπική ταχύτητα πλεύσης είναι 15 κόμβοι (± 0). Η ιπποδύναμη των πλοίων αυτής της κατηγορίας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 19.477 ίππους (± 664). Στο γράφημα 5 παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των πλοίων έχει ιπποδύναμη από 11.800 έως 26.000 ίππους. Τα μισά πλοία έχουν κατασκευαστεί πριν το 2006. Οι ημερομηνίες κατασκευής στο δείγμα μας κυμαίνονται από το 1994( ελάχιστο) έως το 2016 (μέγιστο).

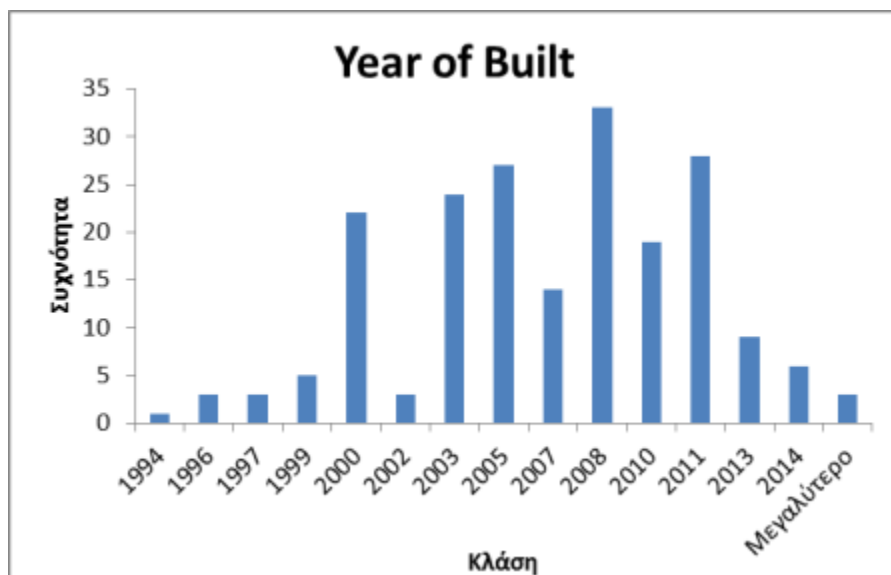
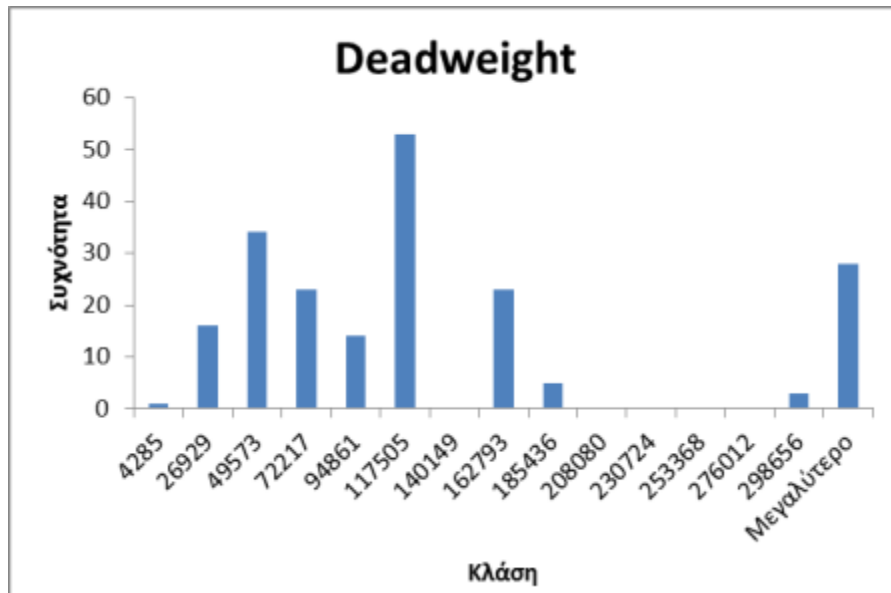
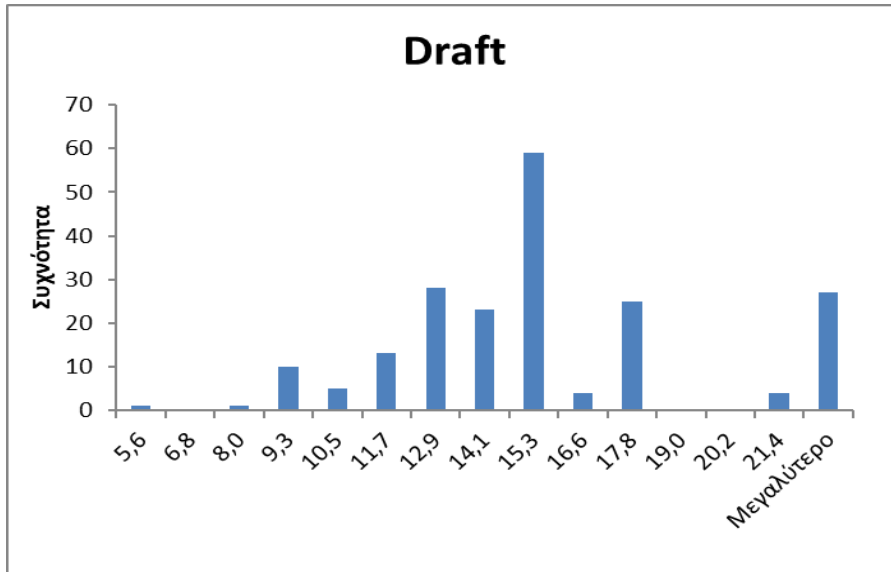
Στο Γράφημα 6 παρατίθενται τα διαγράμματα διασποράς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης όλων των μεταβλητών με την κατανάλωση. Παρατηρείται ισχυρή θετική συσχέτιση της κατανάλωσης με το νεκρό βάρος (97,2%), την ιπποδύναμη (97,9%), και το μέγιστο βύθισμα (96,4%). Η συσχέτιση με το έτος κατασκευής ιδιαίτερα μικρή (9,1%), ενώ η συσχέτιση με την ταχύτητα μέτρησης είναι της τάξης του 64,9%.

Πίνακας 13: Περιγραφικά στατιστικά των μεταβλητών

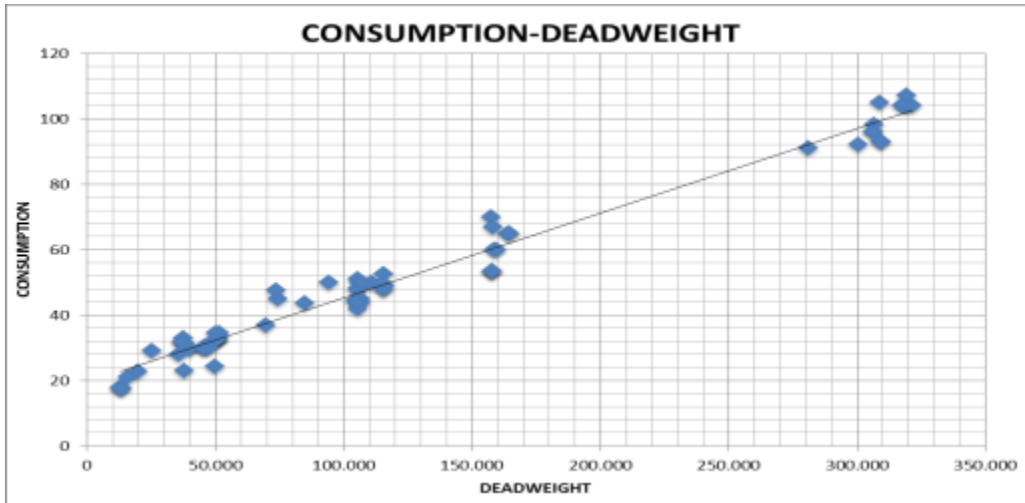
	Consumption value	Deadweight	Draft	Consumption Speed	Power bhp ihp ship max	Year of Built
Μέσος	51	118.753	14.971	15	19.477	2006
Τυπικό σφάλμα	1,7	6.520	271	0	664	0
Διάμεσος	45	105.171	14.676	15	16.746	2006
Επικρατούσα τιμή	50	157.787	14.900	15	12.889	2008
Τυπική απόκλιση	24	92.212	3.826	1	9.385	5
Κύρτωση	0	0,2	0	3	0	-0,5
Ασυμμετρία	0,9	1,2	0,6	-1	1	-0,3
Εύρος	98	317.015	17.040	5	39.619	22
Ελάχιστο	9	4.285	5.600	12	3.399	1994
Μέγιστο	107	321.300	22.640	16	43.018	2016
Άθροισμα	10.226	23.750.519	2.994.246	2.977	3.895.301	
Πλήθος	200	200	200	200	200	200
Διάστημα εμπιστοσύνης (95,0%)	3	12.858	533	0	1.309	0,6

Γράφημα 5: Ιστογράμματα των μεταβλητών

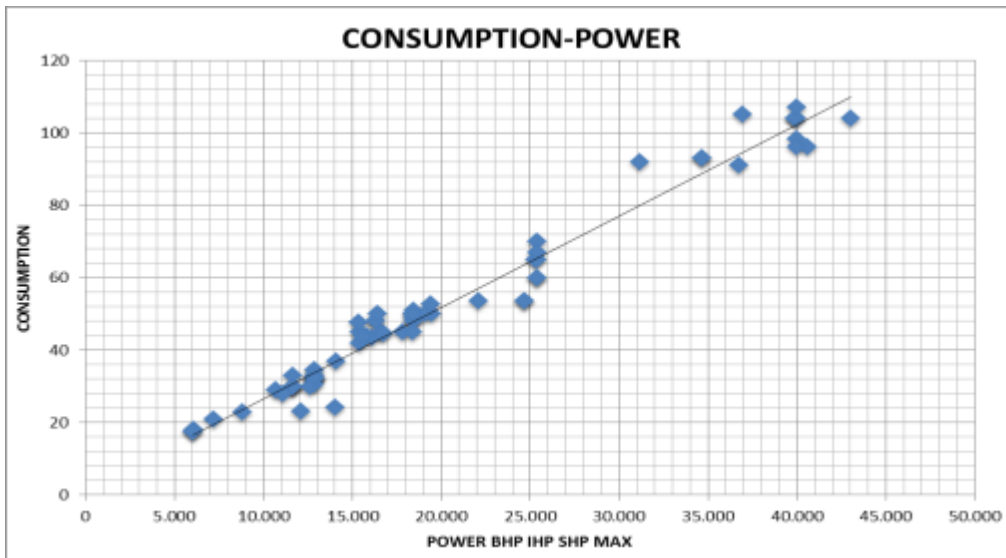




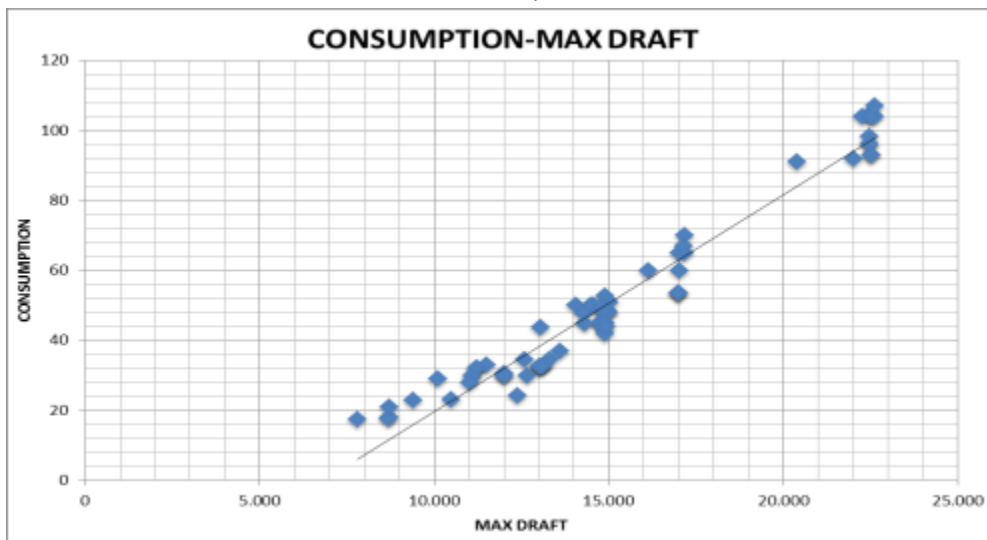
Γράφημα 6: Διαγράμματα διασποράς των μεταβλητών και συντελεστές συσχέτισης



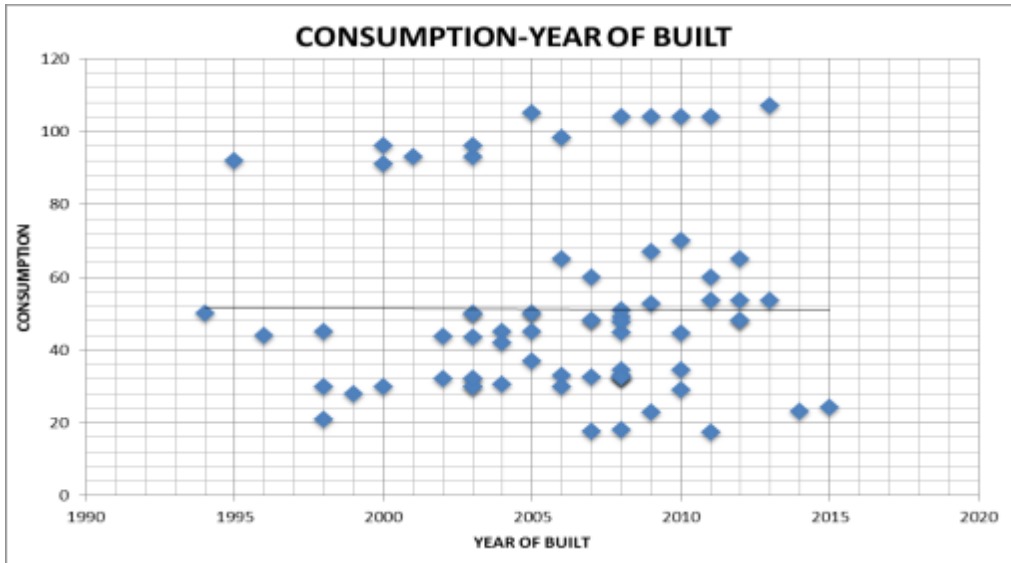
CORRELATION: 0,972443



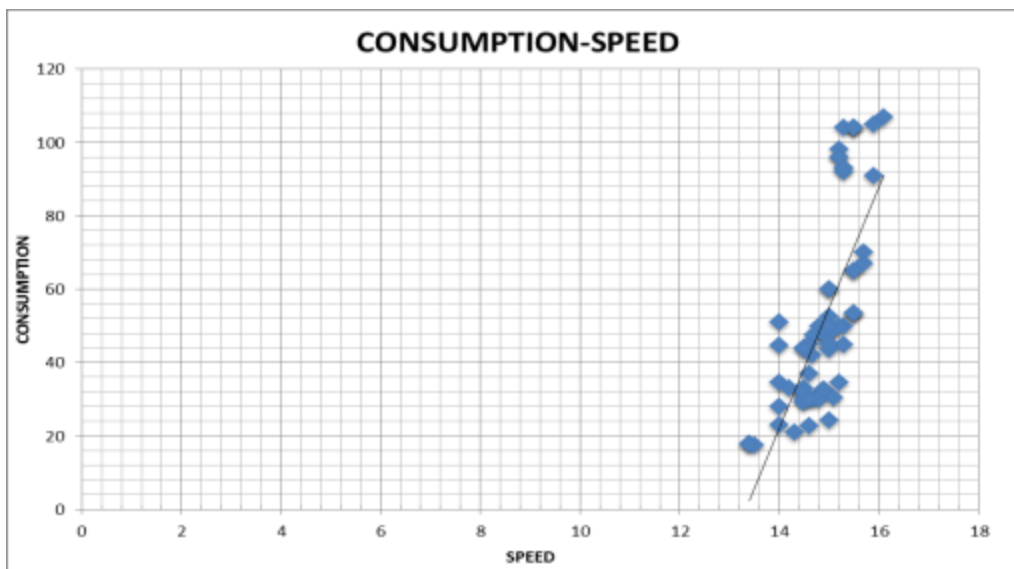
CORRELATION: 0,979043







CORRELATION: 0,091256



CORRELATION: 0,649484

## 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

### 6.1.Bulkers

**1ο Βήμα (Πολλαπλή Παλινδρόμηση με όλους τους συντελεστές):**

$$\text{CONSUMPTION\_BULKER} = C(0) + C(1)*\text{DEADWEIGHT\_BULKER} + \\ C(3)*\text{DRAFT\_BULKER} + C(3)*\text{POWER\_BULKER} + C(4)*\text{SPEED\_BULKER} + \\ C(5)*\text{YEAR\_BULKER}$$

$$\text{CONSUMPTION\_BULKER} = 85.5722450036 + \\ 0.000102898826491*\text{DEADWEIGHT\_BULKER} - \\ 0.000654924565296*\text{DRAFT\_BULKER} + \\ 0.0015455526934*\text{POWER\_BULKER} + 4.2872388444*\text{SPEED\_BULKER} - \\ 0.06522371116*\text{YEAR\_BULKER}$$

Dependent Variable: CONSUMPTION\_BULKER

Method: Least Squares

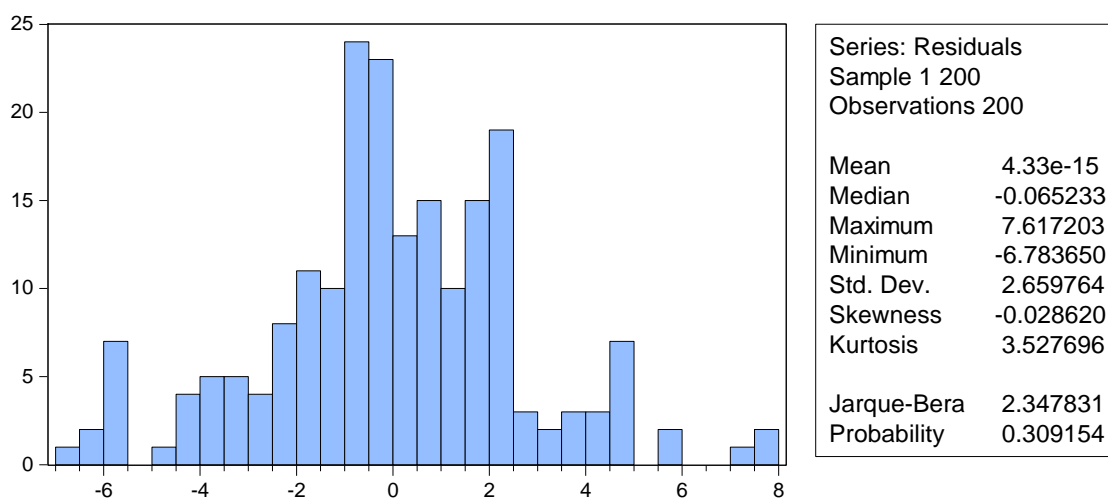
Date: 09/18/17

Sample (adjusted): 1 200

Included observations: 200 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	85.57225	74.85396	1.143189	0.2544
DEADWEIGHT_BULKER	0.000103	1.85E-05	5.547525	0.0000
DRAFT_BULKER	-0.000655	0.000298	-2.198388	0.0291
POWER_BULKER	0.001546	0.000148	10.43544	0.0000
SPEED_BULKER	4.287239	0.440697	9.728306	0.0000
YEAR_BULKER	-0.065224	0.037114	-1.757397	0.0804
R-squared	0.939015	Mean dependent var		34.61650
Adjusted R-squared	0.937443	S.D. dependent var		10.77035
S.E. of regression	2.693822	Akaike info criterion		4.849340
Sum squared resid	1407.795	Schwarz criterion		4.948289
Log likelihood	-478.9340	Hannan-Quinn criter.		4.889383
F-statistic	597.4169	Durbin-Watson stat		2.060913
Prob(F-statistic)	0.000000			

### Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,309 > 0,05$ ).

### Έλεγχος πολυσυγγραμικότητας:

Πίνακας συντελεστών συσχέτισης (pearson correlation) μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών της παλινδρόμησης.

Covariance Analysis: Ordinary

Date: 09/18/17

Sample (adjusted): 1 200

Included observations: 200 after adjustments

Balanced sample (listwise missing value deletion)

---

---

Correlation	DEADWEIG HT_BULKER	DRAFT_B ULKER	POWER_B LKER	BUSPEED_B LKER	YEAR_B LKER
DEADWEIGHT_B LKER	1.000000 -----				
DRAFT_BULKER	0.960266 0.0000	1.000000 -----			
POWER_BULKER	0.954036 0.0000	0.938562 0.0000	1.000000 -----		
SPEED_BULKER	0.185779 0.0084	0.213315 0.0024	0.215405 0.0022	1.000000 -----	
YEAR_BULKER	0.098038 0.1672	0.147930 0.0366	0.103341 0.1453	-0.064700 0.3627	1.000000 -----

---

---

Παρατηρούμε μεγάλη συσχέτιση του draft με το deadweight (0.96). Επίσης το coefficient του draft στην παλινδρόμηση ανωτέρω είναι αρνητικό, κάτι που δεν είναι λογικό. Συνεπώς αφαιρούμε το draft από την παλινδρόμηση. Επίσης το power συνδέεται με το deadweight. Για αυτό το σκοπό θα μετασχηματίσουμε τη μεταβλητή και θα χρησιμοποιήσουμε το λόγο power/deadweight, που δείχνει την ιπποδύναμη ανά μονάδα βάρους.

## Τελική παλινδρόμηση για τα Bulkers:

Estimation Equation:

$$\begin{aligned} &===== \\ \text{CONSUMPTION\_BULKER} &= \text{C}(0) + \text{C}(1)*\text{DEADWEIGHT\_BULKER} + \\ &\text{C}(3)*\text{POWER\_BULKER}/\text{DEADWEIGHT\_BULKER} + \text{C}(4)*\text{SPEED\_BULKER} + \\ &\text{C}(5)*\text{YEAR\_BULKER} \end{aligned}$$

Substituted Coefficients:

$$\begin{aligned} &===== \\ \text{CONSUMPTION\_BULKER} &= 23.7339825846 + \\ &0.000247066508265*\text{DEADWEIGHT\_BULKER} + \\ &32.8345513267*\text{POWER\_BULKER}/\text{DEADWEIGHT\_BULKER} + \\ &4.88161249266*\text{SPEED\_BULKER} - 0.0411781901051*\text{YEAR\_BULKER} \end{aligned}$$

Dependent Variable: CONSUMPTION\_BULKER

Method: Least Squares

Date: 09/18/17

Sample (adjusted): 1 200

Included observations: 200 after adjustments

White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	23.73398	97.63902	0.243079	0.8082
DEADWEIGHT_BULKER	0.000247	1.19E-05	20.78897	0.0000
POWER_BULKER/DEADWEIGHT_BULKER	32.83455	8.881155	3.697104	0.0003
SPEED_BULKER	4.881612	0.662967	7.363286	0.0000
YEAR_BULKER	-0.041178	0.046358	-0.888270	0.3755
R-squared	0.913180	Mean dependent var		34.61650
Adjusted R-squared	0.911399	S.D. dependent var		10.77035
S.E. of regression	3.205888	Akaike info criterion		5.192538
Sum squared resid	2004.155	Schwarz criterion		5.274996
Log likelihood	-514.2538	Hannan-Quinn criter.		5.225907
F-statistic	512.7582	Durbin-Watson stat		2.008773
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		361.7494
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

## Σχολιασμός:

Όταν αυξάνεται το νεκρό βάρος κατά 1000 κιλά, αναμένουμε η κατανάλωση να αυξηθεί κατά 0,25 τόνους την ημέρα

( $p\text{-value}=0,000<0,05$ ).

Όταν η ιπποδύναμη ανά κιλό νεκρού βάρους αυξάνεται κατά 10%, αναμένεται η κατανάλωση να αυξηθεί κατά 3,2 τόνους την ημέρα

( $p\text{-value}=0,003<0,05$ ).

Όταν η ταχύτητα πλεύσης αυξάνεται κατά 1 κόμβο, η κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί κατά 4,9 τόνους την ημέρα

( $p\text{-value}=0,000<0,05$ ).

Το έτος κατασκευής δεν προκύπτει να είναι στατιστικά σημαντικό ( $p\text{-value}=0,3755>0,05$ ), συνεπώς δεν επηρεάζει την κατανάλωση στα δεδομένα μας.

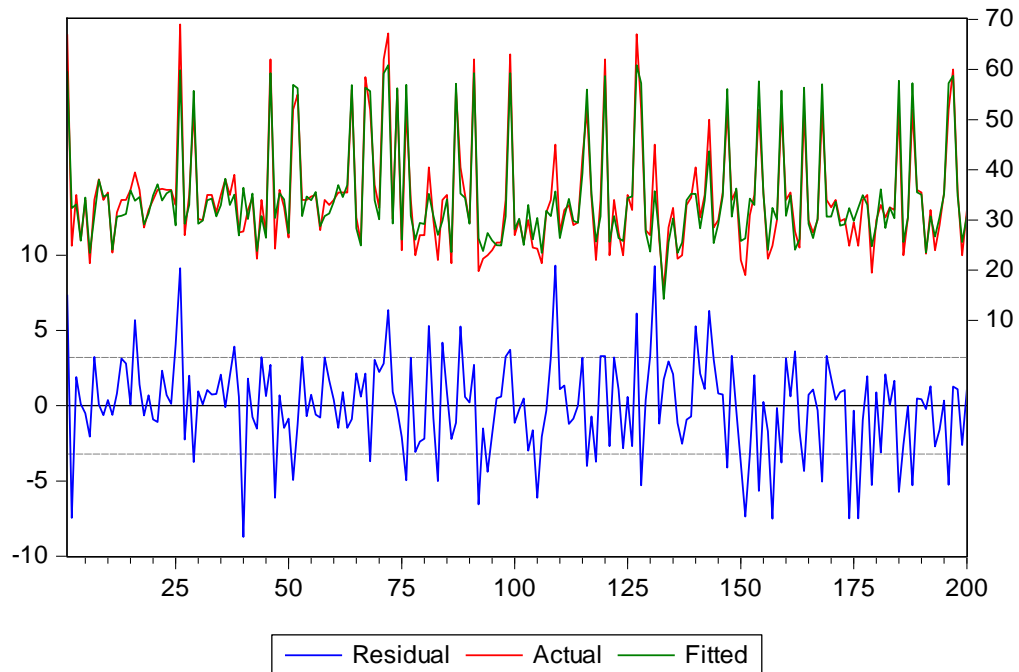
Το  $R^2=0,91$ , που σημαίνει ότι το υπόδειγμα που εκτιμήσαμε εξηγεί το 91% της μεταβλητότητας των στοιχείων, κάτι που θεωρείται ικανοποιητικό (βλέπε και Γράφημα 7).

Η τιμή της στατιστικής  $F=512,7$  ( $p\text{-value}=0,000<0,05$ ), μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ότι όλοι οι συντελεστές της παλινδρόμησης ισούνται με το μηδέν.

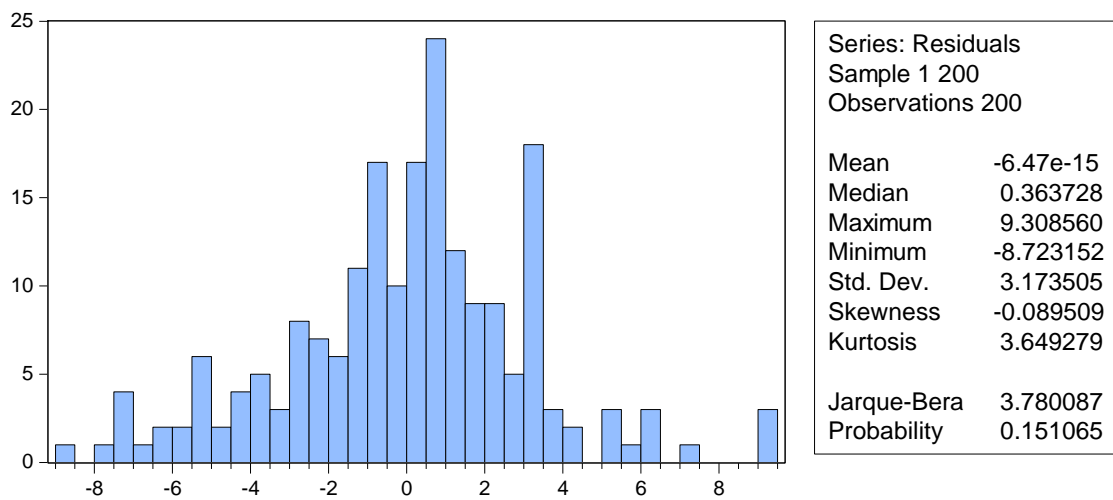
Η τιμή της στατιστικής Durbin-Watson=2 δείχνει ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα.

Σημειώνεται ότι στην εκτίμηση χρησιμοποιούμε White coefficient covariance matrix, ώστε να διορθώσουμε την πιθανή ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας στα τυπικά σφάλματα των παραμέτρων υπό εκτίμηση.

Γράφημα 7: ▣ Γράφημα παρατηρούμενων (κόκκινη γραμμή) και εκτιμούμενων τιμών (πράσινη γραμμή) για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Bulkers. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.



### Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,151 > 0,05$ ).

## 6.2 Containerships

### 1ο βήμα: Πολλαπλή παλινδρόμηση με όλες της μεταβλητές.

Παρατηρήσαμε ότι δεν έτρεχε την παλινδρόμηση με όλους τους συντελεστές λόγω υψηλής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών (Near Singular Matrix). Κάνουμε **έλεγχο πολυσυγγραμικότητας** και παρατηρούμε συνεπώς τον **πίνακα συσχετίσεων των μεταβλητών**:

Covariance Analysis: Ordinary  
 Date: 09/18/17  
 Sample (adjusted): 1 72  
 Included observations: 72 after adjustments  
 Balanced sample (listwise missing value deletion)

Correlation	DEADWEI GHT_CON TAINERSHIP	DRAFT_C CONTAINER SHIP	POWER_C CONTAINER SHIP	SPEED_C CONTAINER SHIP	YEAR_CO NTAINERS HIP
DEADWEIGHT _CONTAINERS HIP	1.000000 -----				
DRAFT_CONT AINERSHIP	0.946825 0.0000	1.000000 -----			
POWER_CONT AINERSHIP	0.960341 0.0000	0.912441 0.0000	1.000000 -----		
SPEED_CONT AINERSHIP	0.869695 0.0000	0.877743 0.0000	0.887265 0.0000	1.000000 -----	
YEAR_CONTAI NERSHIP	0.219731 0.0637	0.155011 0.1935	0.189677 0.1105	0.329820 0.0047	1.000000 -----

Όπως και στην περίπτωση των Bulkers θα παραλείψουμε την μεταβλητή Draft στην παλινδρόμηση και θα χρησιμοποιήσουμε το λόγο Power/deadweight για να λάβουμε υπόψη την ιπποδύναμη.



## 2ο βήμα: Πολλαπλή παλινδρόμηση με επιλεγμένες μεταβλητές

Προχωρούμε στην παλινδρόμηση με τις επιλεγμένες μεταβλητές, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω. Ωστόσο τα σφάλματα των καταλοίπων δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή όπως φαίνεται από τον έλεγχο κανονικότητας.

Estimation Equation:

$$\begin{aligned} \text{CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP} = & C(0) + \\ & C(1)*\text{DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & C(3)*\text{POWER\_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & C(4)*\text{SPEED\_CONTAINERSHIP} + C(5)*\text{YEAR\_CONTAINERSHIP} \end{aligned}$$

Substituted Coefficients:

$$\begin{aligned} \text{CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP} = & 399.912857113 + \\ & 0.0021455291778*\text{DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & 65.0863165369*\text{POWER\_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & 2.88092423482*\text{SPEED\_CONTAINERSHIP} - \\ & 0.251860346681*\text{YEAR\_CONTAINERSHIP} \end{aligned}$$

Dependent Variable: CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP

Method: Least Squares

Date: 09/18/17

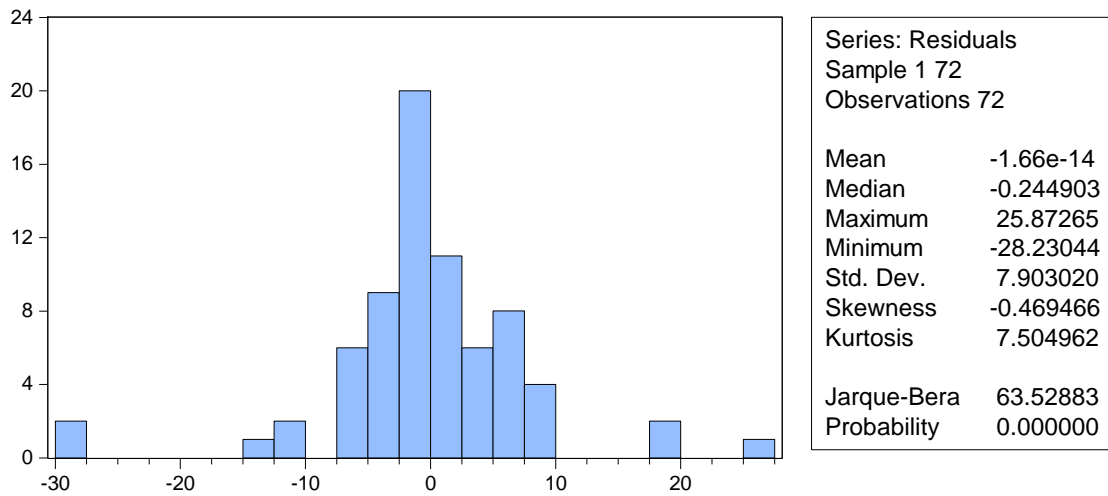
Sample (adjusted): 1 72

Included observations: 72 after adjustments

White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	399.9129	252.3380	1.584830	0.1177
DEADWEIGHT_CONTAINERSHIP	0.002146	0.000266	8.075698	0.0000
POWER_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT_CONTAINERSHIP	65.08632	18.52586	3.513268	0.0008
SPEED_CONTAINERSHIP	2.880924	1.517089	1.898982	0.0619
YEAR_CONTAINERSHIP	-0.251860	0.130564	-1.929017	0.0580
Mean dependent				
R-squared	0.967818	var		67.48194
Adjusted R-squared	0.965896	S.D. dependent var		44.05398
S.E. of regression	8.135512	Akaike info criterion		7.097270
Sum squared resid	4434.499	Schwarz criterion		7.255372
		Hannan-Quinn		
Log likelihood	-250.5017	criter.		7.160211
F-statistic	503.7239	Durbin-Watson stat		2.060743
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		207.4973
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

## Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,00 < 0,05$ ).

## Τελική παλινδρόμηση για τα Containerships:

Προκειμένου να διορθώσουμε για την μη κανονικότητα των καταλοίπων μετασχηματίζουμε την εξαρτημένη μας μεταβλητή, χρησιμοποιώντας τον φυσικό λογάριθμο.

Estimation Equation:

$$\begin{aligned} & \text{=====} \\ \text{LOG(CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP)} &= \text{C(0)} + \\ & \text{C(1)*DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & \text{C(3)*POWER\_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & \text{C(4)*SPEED\_CONTAINERSHIP} + \text{C(5)*YEAR\_CONTAINERSHIP} \end{aligned}$$

Substituted Coefficients:

$$\begin{aligned} & \text{=====} \\ \text{LOG(CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP)} &= 5.97178272895 + \\ & 1.22364944326\text{e-}05*\text{DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & 0.0863466251689*\text{POWER\_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT\_CONTAINERSHIP} + \\ & 0.150327738433*\text{SPEED\_CONTAINERSHIP} - \\ & 0.0026660533276*\text{YEAR\_CONTAINERSHIP} \end{aligned}$$

Dependent Variable: LOG(CONSUMPTION\_CONTAINERSHIP)  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/18/17  
 Sample (adjusted): 1 72  
 Included observations: 72 after adjustments  
 White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.971783	3.459893	1.726002	0.0890
DEADWEIGHT_CONTAINERSHIP	1.22E-05	2.04E-06	5.997164	0.0000
POWER_CONTAINERSHIP/DEADWEIGHT_CONTAINERSHIP	0.086347	0.108312	0.797200	0.4282
SPEED_CONTAINERSHIP	0.150328	0.012134	12.38939	0.0000
YEAR_CONTAINERSHIP	-0.002666	0.001721	1.549195	0.1260
R-squared	0.962940	Mean dependent var		4.030961
Adjusted R-squared	0.960727	S.D. dependent var		0.596242
S.E. of regression	0.118159	Akaike info criterion		-1.366648
Sum squared resid	0.935431	Schwarz criterion		-1.208546
Log likelihood	54.19934	Hannan-Quinn criter.		-1.303707
F-statistic	435.2170	Durbin-Watson stat		1.988277
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		567.9653
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

### Σχολιασμός:

Όταν αυξάνεται το νεκρό βάρος κατά 1000 κιλά, αναμένουμε ο λογάριθμος της κατανάλωσης να αυξηθεί κατά 0,012. Αν αυξηθεί το νεκρό βάρος κατά 1000 κιλά σε σχέση με το μέσο όρο του (από τα 28.290 κιλά στα 29.290) και αντικαθιστώντας τις μέσες τιμές των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, αναμένεται η μέση κατανάλωση να αυξηθεί κατά 0,7 τόνους την ημέρα (p-value=0,00<0,05).

Η ιπποδύναμη ανά μονάδα νεκρού βάρους δεν προκύπτει να είναι στατιστικά σημαντική μεταβλητή για τα containerships ( $p\text{-value}=0,4282>0,05$ ), συνεπώς δεν επηρεάζει την κατανάλωση στα δεδομένα μας.

Όταν η ταχύτητα πλεύσης αυξάνεται κατά 1 κόμβο, ο λογάριθμός της κατανάλωσης αναμένεται να αυξηθεί κατά 0,15. Αν αυξηθεί η ταχύτητα πλεύσης κατά 1 κόμβο σε σχέση με το μέσο όρο της (από 19,9 σε 20,9 κόμβους) και αντικαθιστώντας τις μέσες τιμές των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, αναμένεται η μέση κατανάλωση να αυξηθεί κατά 9,1 τόνους την ημέρα ( $p\text{-value}=0,00<0,05$ ).

Το έτος κατασκευής δεν προκύπτει να είναι στατιστικά σημαντικό ( $p\text{-value}=0,1260>0,05$ ), συνεπώς δεν επηρεάζει την κατανάλωση στα δεδομένα μας.

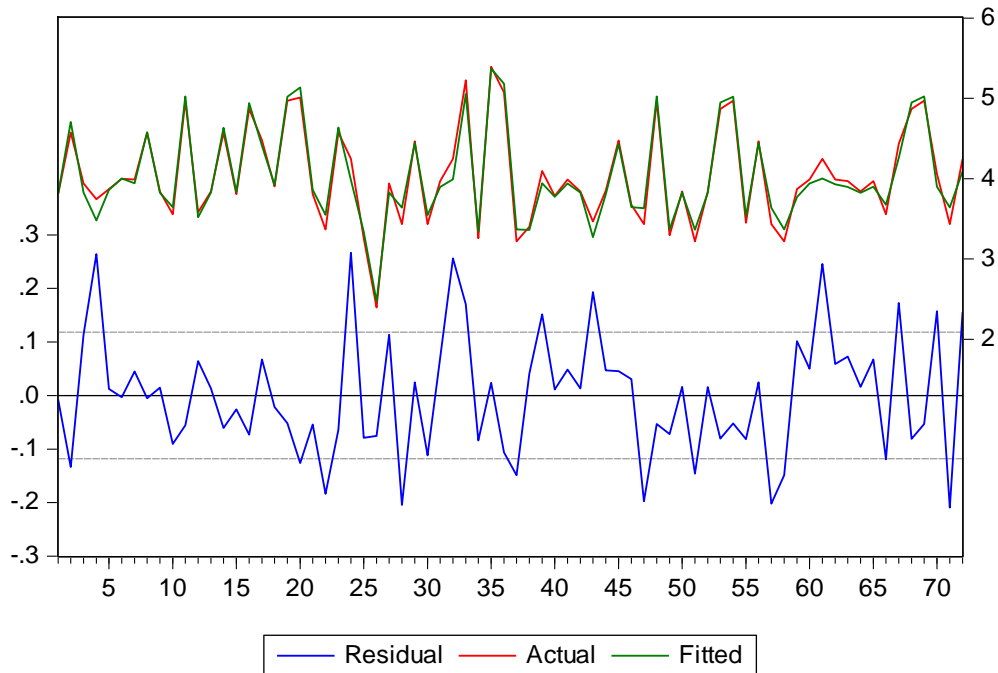
Το  $R^2=0,96$ , που σημαίνει ότι το υπόδειγμα που εκτιμήσαμε εξηγεί το 96% της μεταβλητότητας των στοιχείων, κάτι που θεωρείται ικανοποιητικό (βλέπε και Γράφημα 8).

Η τιμή της στατιστικής  $F=435,2$  ( $p\text{-value}=0,00<0,05$ ), μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ότι όλοι οι συντελεστές της παλινδρόμησης ισούνται με το μηδέν.

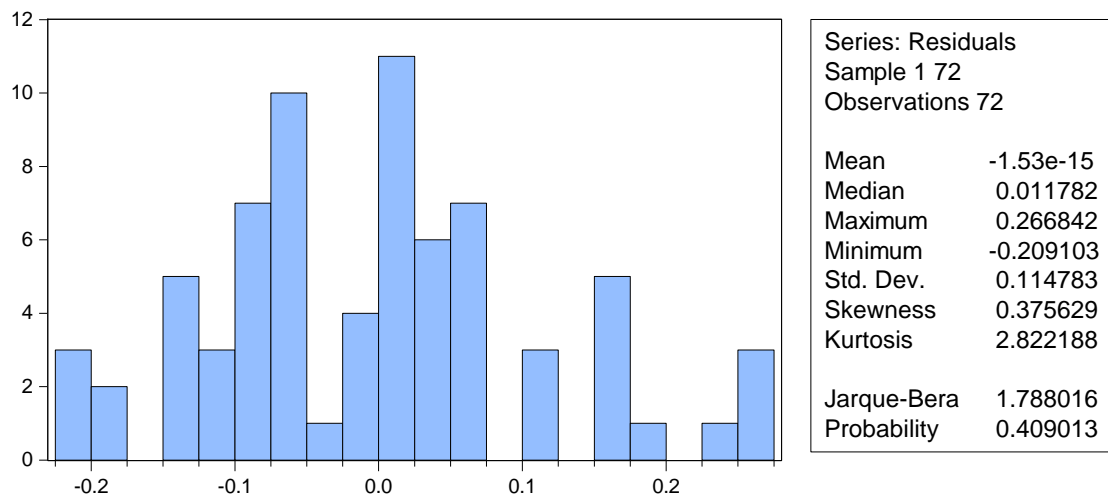
Η τιμή της στατιστικής Durbin-Watson=2 δείχνει ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα.

Σημειώνεται ότι στην εκτίμηση χρησιμοποιούμε White coefficient covariance matrix, ώστε να διορθώσουμε την πιθανή ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας στα τυπικά σφάλματα των παραμέτρων υπό εκτίμηση.

Γράφημα 8: Γράφημα παρατηρούμενων (κόκκινη γραμμή) και εκτιμούμενων τιμών (πράσινη γραμμή) για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Containership. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.



### Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,409 > 0,05$ ).

### 6.3. Tankers

**1ο βήμα (πολλαπλή παλινδρόμηση με όλους τους συντελεστές):**

Estimation Equation:

$$\text{CONSUMPTION\_TANKER} = C(0) + C(1)*\text{DEADWEIGHT\_TANKER} + C(2)*\text{DRAFT\_TANKER} + C(3)*\text{POWER\_TANKER} + C(4)*\text{SPEED\_TANKER} + C(5)*\text{YEAR\_TANKER}$$

Substituted Coefficients:

$$\text{CONSUMPTION\_TANKER} = -27.0922787965 + 9.57562175731\text{e-}05*\text{DEADWEIGHT\_TANKER} + 0.000472055790211*\text{DRAFT\_TANKER} + 0.00132905792906*\text{POWER\_TANKER} + 1.97717782998*\text{SPEED\_TANKER} + 0.0022270281885*\text{YEAR\_TANKER}$$

Dependent Variable: CONSUMPTION\_TANKER

Method: Least Squares

Date: 09/18/17

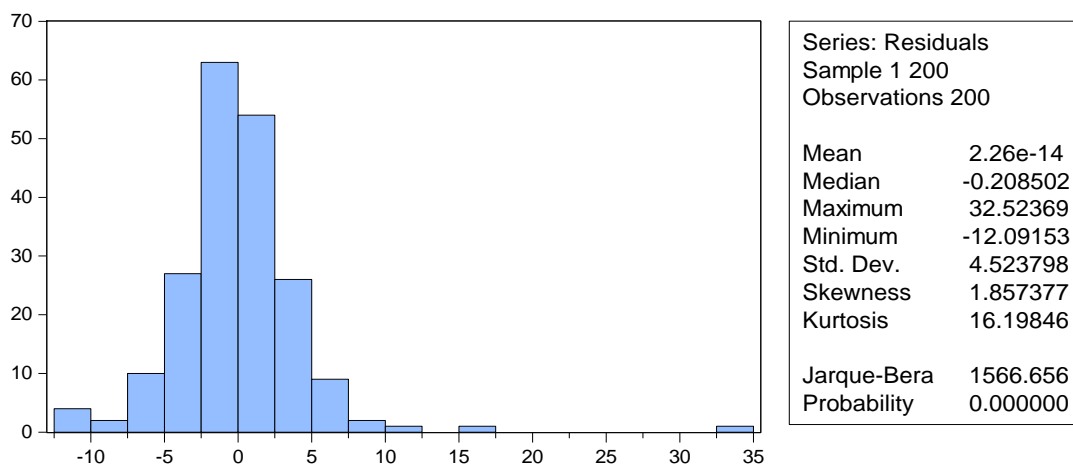
Sample (adjusted): 1 200

Included observations: 200 after adjustments

White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-27.09228	162.7931	-0.166422	0.8680
DEADWEIGHT_TANKER	9.58E-05	2.56E-05	3.735194	0.0002
DRAFT_TANKER	0.000472	0.000361	1.306465	0.1929
POWER_TANKER	0.001329	0.000212	6.282017	0.0000
SPEED_TANKER	1.977178	0.755400	2.617393	0.0096
YEAR_TANKER	0.002227	0.080351	0.027716	0.9779
R-squared	0.965112	Mean dependent var	51.13100	
Adjusted R-squared	0.964213	S.D. dependent var	24.21955	
S.E. of regression	4.581724	Akaike info criterion	5.911568	
Sum squared resid	4072.485	Schwarz criterion	6.010518	
		Hannan-Quinn		
Log likelihood	-585.1568	criter.	5.951612	
F-statistic	1073.335	Durbin-Watson stat	2.053534	
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic	1553.415	
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

## Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,00 < 0,05$ ).

## Έλεγχος πολυσυγγραμικότητας:

Πίνακας συντελεστών συσχέτισης (pearson correlation) μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών της παλινδρόμησης.

Covariance Analysis: Ordinary

Date: 09/18/17

Sample (adjusted): 1 200

Included observations: 200 after adjustments

Balanced sample (listwise missing value deletion)

### Correlation

	DEADWEI				
	GHT_TAN	DRAFT_T	POWER_T	SPEED_TA	YEAR_TA
Probability	KER	ANKER	ANKER	NKER	NKER
DEADWEIGHT _TANKER	1.000000 -----				
DRAFT_TAN KER	0.974082 0.0000	1.000000 -----			
POWER_TAN KER	0.979562 0.0000	0.970195 0.0000	1.000000 -----		
SPEED_TAN KER	0.579969 0.0000	0.662870 0.0000	0.651586 0.0000	1.000000 -----	
YEAR_TANKE R	0.060110 0.3978	0.087163 0.2197	0.108541 0.1260	0.123103 0.0825	1.000000 -----

Παρατηρούμε μεγάλη συσχέτιση του draft με το deadweight (0.97) και αφαιρούμε το draft από την παλινδρόμηση.

Επίσης το power συνδέεται με το deadweight. Για αυτό το σκοπό θα μετασχηματίσουμε τη μεταβλητή και θα χρησιμοποιήσουμε το λόγο power/deadweight, που δείχνει την ιπποδύναμη ανά μονάδα βάρους.

### **Τελική παλινδρόμηση για τα Tankers:**

Μετά από προσπάθειες με διάφορους μετασχηματισμούς της εξαρτημένης μεταβλητής (λογάριθμος, ρίζα, box-cox), δεν πρόκυψε κανονικότητα στα κατάλοιπα της παλινδρόμησης. Παρατηρώντας προσεκτικά τα κατάλοιπα παρατηρήσαμε 2 ακραίες τιμές που οδηγούσαν στην απόρριψη της κανονικότητας από τους σχετικούς ελέγχους. Συνεπώς προχωρήσαμε στην αφαίρεση των 2 αυτών τιμών (πλοίων) από την παλινδρόμηση και όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια αποδεχόμαστε την κανονικότητα χωρίς τη χρήση κάποιου μετασχηματισμού.

Estimation Equation:

$$\begin{aligned} & \text{=====} \\ \text{CONSUMPTION\_TANKER02} &= \text{C(0)} + \text{C(1)*DEADWEIGHT\_TANKER} + \\ & \text{C(3)*POWER\_TANKER/DEADWEIGHT\_TANKER} + \text{C(4)*SPEED\_TANKER} + \\ & \text{C(5)*YEAR\_TANKER} \end{aligned}$$

Substituted Coefficients:

$$\begin{aligned} & \text{=====} \\ \text{CONSUMPTION\_TANKER02} &= -282.912854376 + \\ & 0.000239169648422*\text{DEADWEIGHT\_TANKER} + \\ & 3.29192814396*\text{POWER\_TANKER/DEADWEIGHT\_TANKER} + \\ & 4.42994694378*\text{SPEED\_TANKER} + 0.119007681222*\text{YEAR\_TANKE} \end{aligned}$$



Dependent Variable: CONSUMPTION\_TANKER02  
 Method: Least Squares  
 Date: 09/18/17  
 Sample (adjusted): 1 200  
 Included observations: 198 after adjustments  
 White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance

Variable	Coefficient t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-282.9129	163.7757	-1.727441	0.0857
DEADWEIGHT_TANKER	0.000239	4.00E-06	59.81394	0.0000
POWER_TANKER/DEADWEIGHT _TANKER	3.291928	3.379976	0.973950	0.3313
SPEED_TANKER	4.429947	0.594989	7.445431	0.0000
YEAR_TANKER	0.119008	0.081390	1.462185	0.1453
R-squared	0.969872	Mean dependent var	50.79495	
Adjusted R-squared	0.969247	S.D. dependent var	24.10670	
S.E. of regression	4.227445	Akaike info criterion	5.746001	
Sum squared resid	3449.160	Schwarz criterion	5.829038	
Log likelihood	-563.8541	Hannan-Quinn criter.	5.779612	
F-statistic	1553.246	Durbin-Watson stat	1.871583	
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic	1746.076	
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

### Σχολιασμός:

Όταν αυξάνεται το νεκρό βάρος κατά 1000 κιλά, αναμένουμε η κατανάλωση να αυξηθεί κατά 0,24 τόνους την ημέρα ( $p\text{-value}=0,00 < 0,05$ ).

Η ιπποδύναμη ανά κιλό νεκρού βάρους δεν προκύπτει να είναι στατιστικά σημαντική μεταβλητή ( $p\text{-value}=0,3313 > 0,05$ ), συνεπώς δεν επηρεάζει την κατανάλωση στα δεδομένα μας.

Όταν η ταχύτητα πλεύσης αυξάνεται κατά 1 κόμβο, η κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί κατά 4,4 τόνους την ημέρα ( $p\text{-value}=0,00<0,05$ ).

Το έτος κατασκευής δεν προκύπτει να είναι στατιστικά σημαντικό ( $p\text{-value}=0,1453>0,05$ ), συνεπώς δεν επηρεάζει την κατανάλωση στα δεδομένα μας.

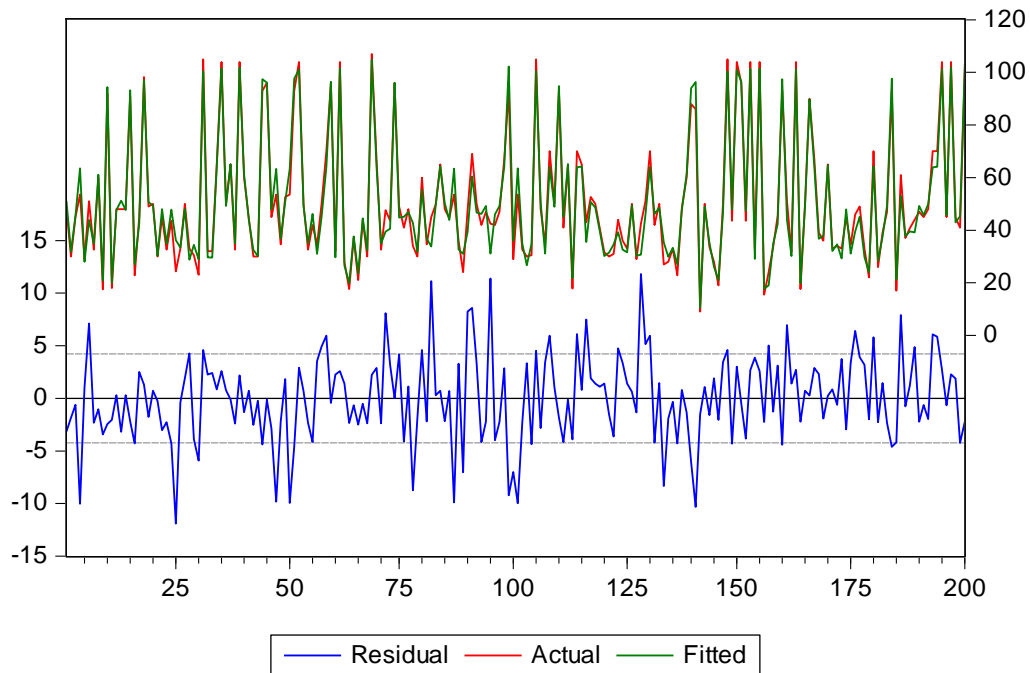
Το  $R^2=0,97$ , που σημαίνει ότι το υπόδειγμα που εκτιμήσαμε εξηγεί το 97% της μεταβλητότητας των στοιχείων, κάτι που θεωρείται ικανοποιητικό (βλέπε και Γράφημα 9).

Η τιμή της στατιστικής  $F=1553,2$  ( $p\text{-value}=0,00<0,05$ ), μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ότι όλοι οι συντελεστές της παλινδρόμησης ισούνται με το μηδέν.

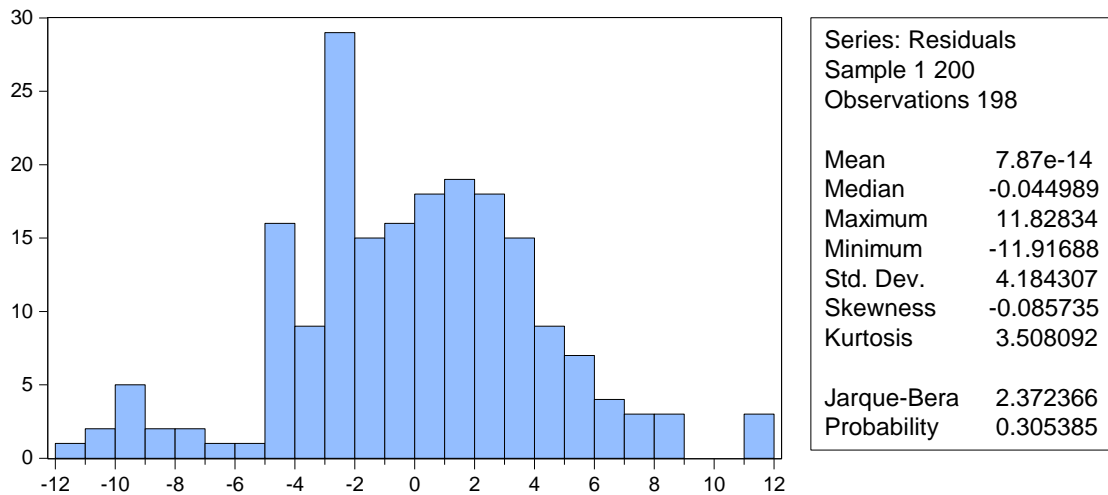
Η τιμή της στατιστικής Durbin-Watson=1,87 δείχνει ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα.

Σημειώνεται ότι στην εκτίμηση χρησιμοποιούμε White coefficient covariance matrix, ώστε να διορθώσουμε την πιθανή ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας στα τυπικά σφάλματα των παραμέτρων υπό εκτίμηση.

Γράφημα 9: Γράφημα παρατηρούμενων (κόκκινη γραμμή) και εκτιμούμενων τιμών (πράσινη γραμμή) για την κατανάλωση του πλοίου τύπου Tankers. Με μπλε χρώμα δίνονται τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.



### Έλεγχος κανονικότητας καταλοίπων :



Δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Jarque-Bera test  $p\text{-value}=0,305 > 0,05$ )

## 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Για την εκτίμηση του κόστους καυσίμου των πλοίων υπολογίσαμε αρχικά την κατανάλωση των καυσίμων, ανά πλοίο και ανά δεκαήμερο για τους μήνες Δεκέμβριο 2016, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο 2017, χρησιμοποιώντας την πολλαπλή παλινδρόμηση που κατασκευάσαμε για κάθε τύπο πλοίου ξεχωριστά. Χρησιμοποιήσαμε τους εκτιμημένους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών της παλινδρόμησης και τις καταγεγραμμένες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών, με βάση τα δεδομένα που κατέχει η Τράπεζα της Ελλάδος, ανάλογα με το εάν τα πλοία βρίσκονται σε λειτουργία ή είναι αγκυροβολημένα και ανάλογα με την μέση ταχύτητα πλεύσης, για τη χρονική περίοδο που εξετάζουμε.

Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του κόστους καυσίμων των πλοίων, για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο ανά δεκαήμερο. Ο υπολογισμός έγινε με βάση τον Bunker Index MDO (BIX MDO), που δείχνει τη μέση τιμή του καυσίμου παγκοσμίως (AGBP: Average Global Bunker Price), για όλες τις τιμές λιμένων πετρελαίου ντίζελ (MDO), που δημοσιεύονται στην ιστοσελίδα του Bunker Index <http://www.bunkerindex.com>. Για τον υπολογισμό του BIX MDO χρησιμοποιούνται οι τιμές των καυσίμων όλων των λιμένων, που πωλούν πετρέλαιο ντίζελ για καύσιμα των πλοίων. Ο υπολογισμός του κόστους καυσίμου γίνεται με μονάδα μέτρησης δολάρια/μετρικό τόνο καυσίμου (US\$/Metric Tonne).

Έπειτα από τις παραπάνω αναλύσεις, στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, ξεχωριστά για κάθε τύπο πλοίου, του μέσου κόστους καυσίμων ανά ημέρα, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (λαμβάνοντας υπόψη αν είναι αγκυροβολημένο και την ταχύτητα πλεύσης) συνολικά για τους μήνες Δεκέμβριο 2016 – Μάρτιο 2017, όντας συνυφασμένο με τη μέση κατανάλωση καυσίμου MDO ανά ημέρα για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

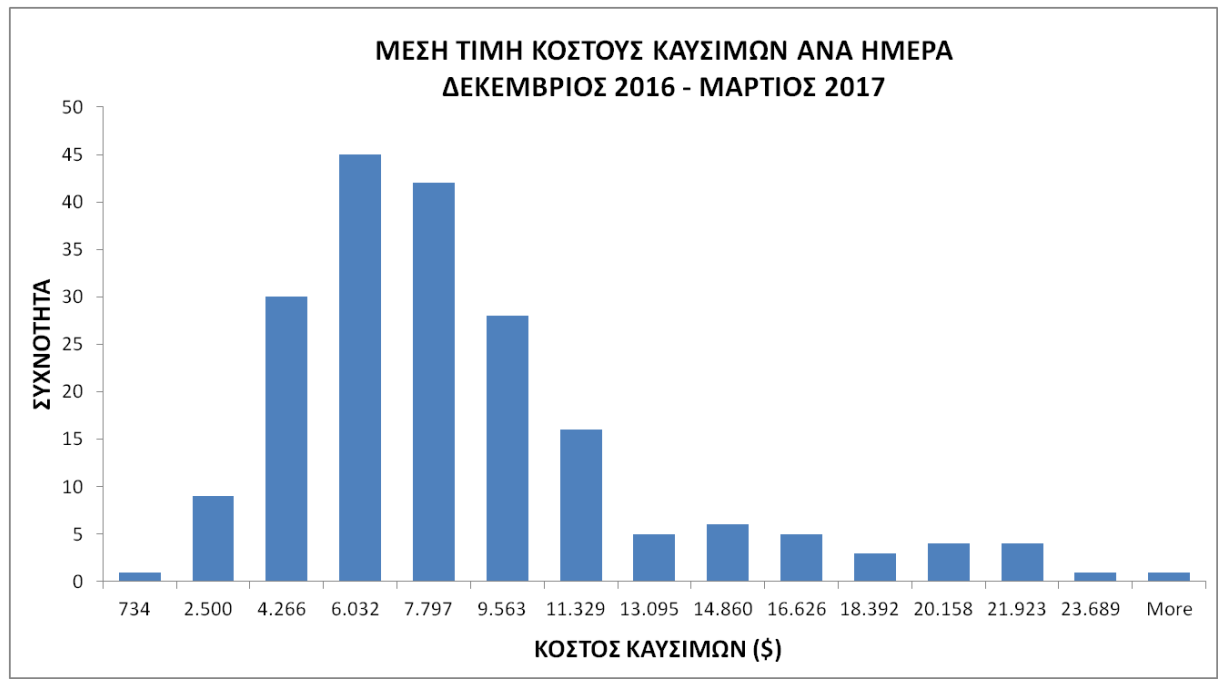
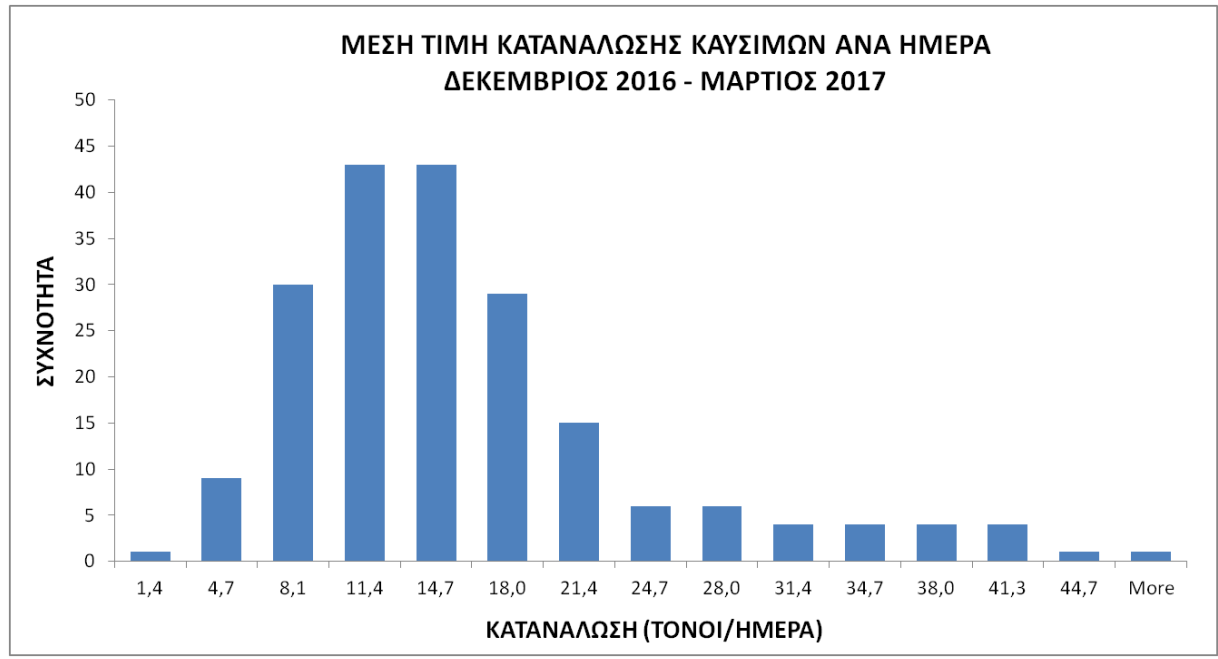
## 7.1 Bulkers

Στην κατηγορία των “bulkers” όσο αφορά τα 200 πλοία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα όπως φαίνεται στον *Πίνακα 14*. Παρατηρείται μέση κατανάλωση ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) 14,6 ( $\pm$ 0,6) τόνοι καυσίμου τη μέρα, με ελάχιστο 1,4 τόνοι και μέγιστο 48 τόνοι, με μέσο κόστος ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) \$7.729,6 ( $\pm$ \$318,8). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 10 η πλειοψηφία των πλοίων κατανάλωνε 8,1 με 21,4 τόνους καυσίμου τη μέρα, το κόστος του οποίου κυμαινόταν μεταξύ \$4.266 και \$11.329.

Πίνακας 14: Περιγραφικά στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους καυσίμου

Μέση κατανάλωση καυσίμων (τόνοι) την ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017		Μέσο κόστος καυσίμων (\$) ανά ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017	
Μέσος	14,6	Μέσος	7.729,6
Τυπικό σφάλμα	0,6	Τυπικό σφάλμα	318,8
Διάμεσος	12,5	Διάμεσος	6.603,8
Επικρατούσα Τιμή	8,5	Επικρατούσα Τιμή	4.508,9
Τυπική Απόκλιση	72,6	Τυπική Απόκλιση	20.330.506,1
Κύρτωση	2,1	Κύρτωση	2,1
Ασυμμετρία	1,4	Ασυμμετρία	1,4
Εύρος	46,6	Εύρος	24.720,6
Ελάχιστο	1,4	Ελάχιστο	734,2
Μέγιστο	48,0	Μέγιστο	25.454,8
Άθροισμα	2919,5	Άθροισμα	1.545.918,5
Πλήθος	200	Πλήθος	
Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	1,2	Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	628,7

Γράφημα 10: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους καυσίμου



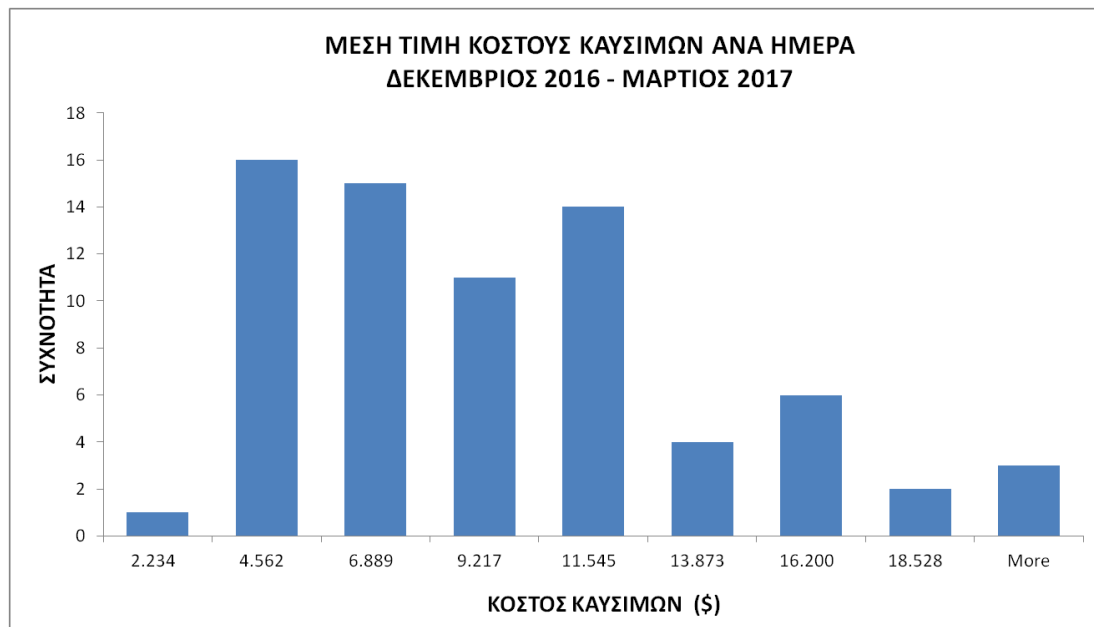
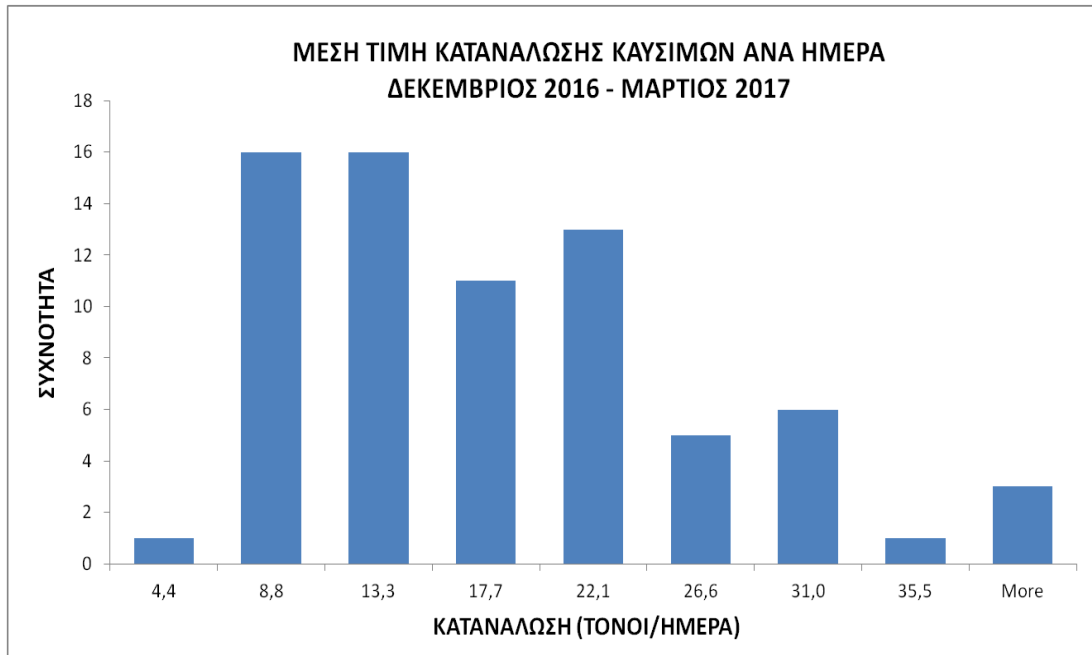
## 7.2 Containerships

Στην κατηγορία των “containerships” όσο αφορά τα 72 πλοία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα όπως φαίνεται στον Πίνακα 15. Παρατηρείται μέση κατανάλωση ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) 16,1 ( $\pm$ 1) τόνοι καυσίμου τη μέρα, με ελάχιστο 4,4 τόνοι και μέγιστο 39,9 τόνοι, με μέσο κόστος ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) \$8.525,4 ( $\pm$ \$545,7). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 11 η πλειοψηφία των πλοίων κατανάλωνε 8,8 με 22,1 τόνους καυσίμου τη μέρα, το κόστος του οποίου κυμαινόταν μεταξύ \$4.562 και \$11.545.

Πίνακας 15: Περιγραφικά στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους καυσίμου

Μέση κατανάλωση καυσίμων (τόνοι) την ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017		Μέσο κόστος καυσίμων (\$) ανά ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017	
Μέσος	16,1	Μέσος	8.525,4
Τυπικό σφάλμα	1,0	Τυπικό σφάλμα	545,7
Διάμεσος	14,8	Διάμεσος	7.855,8
Επικρατούσα Τιμή	8,8	Επικρατούσα Τιμή	4.630,8
Τυπική Απόκλιση	76,6	Τυπική Απόκλιση	21.444.533,4
Κύρτωση	0,1	Κύρτωση	0,1
Ασυμμετρία	0,8	Ασυμμετρία	0,8
Εύρος	35,6	Εύρος	18.622,0
Ελάχιστο	4,4	Ελάχιστο	2.233,9
Μέγιστο	39,9	Μέγιστο	20.855,9
Άθροισμα	1160,9	Άθροισμα	613.830,7
Πλήθος	72	Πλήθος	
Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	2,1	Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	1.088,2

Γράφημα 11: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους καυσίμου





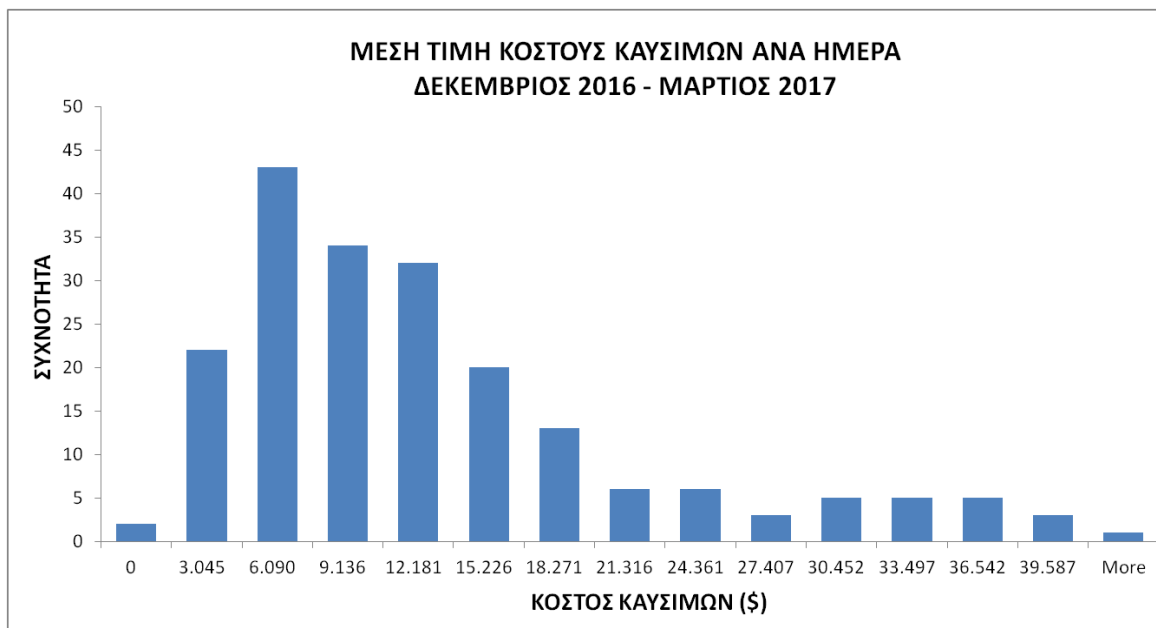
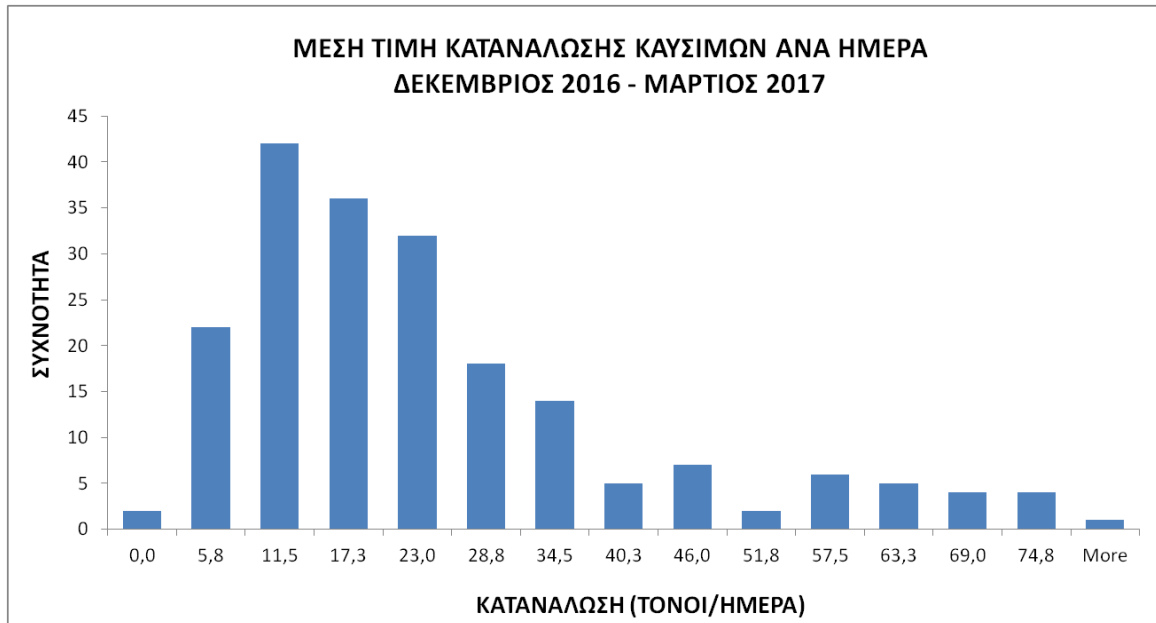
### 7.3 Tankers

Στην κατηγορία των “tankers” όσο αφορά τα 200 πλοία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα όπως φαίνεται στον Πίνακα 16. Παρατηρείται μέση κατανάλωση ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) 21,6 ( $\pm$ 1,2) τόνοι καυσίμου τη μέρα, με ελάχιστο 0 και μέγιστο 80,6 τόνοι, με μέσο κόστος ( $\pm$ τυπικό σφάλμα) \$11.444,2 ( $\pm$ \$650). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 12 η πλειοψηφία των πλοίων κατανάλωνε 11,5 με 23 τόνους καυσίμου τη μέρα, το κόστος του οποίου κυμαινόταν μεταξύ \$6.090 και \$12.181

Πίνακας 16: Περιγραφικά στατιστικά Κατανάλωσης-Κόστους καυσίμου

Μέση κατανάλωση καυσίμων (τόνοι) την ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017		Μέσο κόστος καυσίμων (\$) ανά ημέρα για την περίοδο Δεκέμβριος 2016 - Μάρτιος 2017	
Μέσος	21,6	Μέσος	11.444,2
Τυπικό σφάλμα	1,2	Τυπικό σφάλμα	650,6
Διάμεσος	16,8	Διάμεσος	8.783,7
Επικρατούσα Τιμή	17,4	Επικρατούσα Τιμή	9.201,3
Τυπική Απόκλιση	301,4	Τυπική Απόκλιση	84.664.441,4
Κύρτωση	1,3	Κύρτωση	1,3
Ασυμμετρία	1,4	Ασυμμετρία	1,3
Εύρος	80,6	Εύρος	42.632,3
Ελάχιστο	0,0	Ελάχιστο	0,0
Μέγιστο	80,6	Μέγιστο	42.632,3
Άθροισμα	4317,1	Άθροισμα	2.288.833,6
Πλήθος	200	Πλήθος	
Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	2,4	Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	1.283,0

Γράφημα 12: Ιστογράμματα Κατανάλωσης- Κόστους καυσίμου



## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρακολούθηση, η εκτίμηση και η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμων των πλοίων είναι μία πολύ σημαντική διαχρονική λειτουργία των ναυτιλιακών εταιριών. Βασικοί κινητήριοι λόγοι αποτελούν: Η αύξηση των τιμών καυσίμων, το ζήτημα της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης στα πλοία, προσφάτως η μείωση των εκπομπών καυσαερίων και κυρίως η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων με σκοπό την εκτίμηση του κόστους τους και μετέπειτα τον υπολογισμό ναύλων των πλοίων.

Οι καταγραφές δραστηριότητας των πλοίων και οι τρόποι μέτρησης της κατανάλωσης των καυσίμων τους, στην αρχή ήταν πολύ απλοποιημένοι, ενώ διαχρονικά εξελίσσονται και παρουσιάζονται νέες θεωρητικές μελέτες, πολυεπίπεδες έρευνες, οικονομετρικά μοντέλα και αλγόριθμοι με προσπάθειες παραμετροποίησης παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση. Συμπερασματικά, από μελέτη βασικών ερευνών και σημαντικών δημοσιεύσεων από τη διεθνή βιβλιογραφία, που παρουσιάζονται σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρείται πως η πλειοψηφία τους συγκλίνει στη διαπίστωση πως η ταχύτητα του πλοίου αποτελεί το βασικό παράγοντα που επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμων στα πλοία. Επιπροσθέτως, ο τύπος του πλοίου, οι συνθήκες του κινητήρα (η ισχύς της μηχανής), η αντίσταση της γάστρας και οι καιρικές συνθήκες (αέρας, κύμα) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως επί το πλείστον διαχρονικά στις μελέτες.

Στο δείγμα που μελετήσαμε, με τη χρήση πραγματικών δεδομένων Ελληνικών πλοίων, τριών τύπων της ποντοπόρου ναυτιλίας στην παρούσα διπλωματική, παρατηρήσαμε πως η μέση κατανάλωση (σε τόνους καυσίμου τη μέρα) είναι μεγαλύτερη στα Containerships (67 tons/day), συγκριτικά με τα Tankers (51tons/day) και τα Bulkers (34tons/day), όπως επίσης και η μέση ταχύτητα πλεύσης τους και ιπποδύναμης, σε αντίθεση με το μέσο όρο του μέγιστου βυθίσματος (draft) και τη χωρητικότητα εκφρασμένη σε DWT όπου τα tankers υπερτερούν με 14,9m, έναντι 13,4m (bulkers), 10,2m (containerships) και μέσο όρο DWT ίσο με 118.753tons, όταν στα bulkers είναι 75.273tons και στα containerships 28.290tons.

Τύπος πλοίου	Bulkers	Containerships	Tankers
Μέση κατανάλωση καυσίμων (tons)	34	67	51
Μέση ταχύτητα πλεύσης (κόμβοι)	14	20	15
Μέση ιπποδύναμη (bhp)	13.686	23.912	19.477
Μέσος όρος μέγιστου βυθίσματος (m)	13,4	10,2	14,9
Μέσος όρος χωρητικότητας (tons)	75.273	28.290	118.753

Τα παραπάνω πραγματικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης, με ανεξάρτητες μεταβλητές, που επιλέχθηκαν έπειτα από μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας λόγω της μεγάλης τους συσχέτισης με την κατανάλωση των καυσίμων των εξεταζόμενων τύπων πλοίου και αναφέρονται στα εξής : στην ταχύτητα, την ιπποδύναμη του κινητήρα της μηχανής, το βύθισμα του πλοίου, τη χωρητικότητα και το έτος κατασκευής του.

Έπειτα από τη χρήση του στατιστικού προγράμματος του E-Views, έγινε η εκτίμηση των συντελεστών των επιλεγμένων ανεξάρτητων μεταβλητών με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Έγινε εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο πρόγραμμα ώστε να κατασκευάσουμε τη γραμμική πολλαπλή παλινδρόμηση και να κάνουμε τους ελέγχους που χρειάζεται. Εξετάστηκε η στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών (co-efficient) και παρατηρήθηκε η μεταβλητή της ταχύτητας του πλοίου πως επηρεάζει ως επί το πλείστον την κατανάλωση καυσίμων των πλοίων και κυρίως των containerships. Ακολουθώντας, το μέγεθος του πλοίου (σε DWT) επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση των καυσίμων. Η ιπποδύναμη, ισχύς του κινητήρα της μηχανής, δεν επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση (περισσότερο επηρεάζει τα πλοία τύπου bulker). Η μεταβλητή που αναφέρεται στο έτος κατασκευής του πλοίου δεν είναι στατιστικά σημαντική, ενώ η μεταβλητή για το βύθισμα των πλοίων, λόγω μεγάλης συσχέτισης με τη μεταβλητή της χωρητικότητας αφαιρέθηκε από το μοντέλο. Το  $R^2$  σε όλες τις περιπτώσεις των τελικών υποδειγμάτων, εξηγεί ικανοποιητικά τη μεταβλητότητα των στοιχείων.

	Bulkers	Containerships	Tankers
Ταχύτητα: ↑1 κόμβος → ↑ κατανάλωσης κατά :	4,9τόνοι/μέρα	9,1τόνοι/μέρα	4,4τόνοι/μέρα
Χωρητικότητα (DWT): ↑1000kg → ↑ κατανάλωσης κατά:	0,25τόνοι/μέρα	0,7τοννοι/μέρα	0,24τόνοι/μέρα

Τέλος, με τη χρήση του παραπάνω μοντέλου, με τους εκτιμημένους συντελεστές υπολογίσαμε την κατανάλωση των καυσίμων, ανά πλοίο αναλόγως τη λειτουργία και την πραγματική του κατάσταση και ανά δεκαήμερο για τους τέσσερις μήνες (Δεκέμβριος 2016 – Μάρτιος 2017), για τους οποίους έχουμε εμπιστευτικά δεδομένα από την Τράπεζα της Ελλάδος, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα της κατανάλωσης έγινε ο υπολογισμός και του κόστους της, με βάση τον Bunker Index MDO (BIX MDO), που παρουσιάζει τη μέση τιμή των τιμών καυσίμου πετρελαίου diesel στους λιμένες παγκοσμίως, για την ίδια χρονική περίοδο. Παρουσιάστηκαν τέλος τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών, της μέσης κατανάλωσης καυσίμων και του αντίστοιχου μέσου κόστους, ανά τύπο πλοίου για το σύνολο της χρονικής περιόδου στην οποία αντιστοιχούν τα δεδομένα μας (Δεκέμβριο 2016-Μάρτιο 2017).

Τύπος πλοίου	Μέση κατανάλωση καυσίμων (τόνοι) τη μέρα	Μέσο κόστος καυσίμων (\$/μετρικό τόνο) τη μέρα
Bulkers	14,6	7.729,60
Containerships	16,1	8.525,40
Tankers	21,6	11.444.20

Συμπερασματικά, λόγω της αξιοπιστίας των χρησιμοποιούμενων δεδομένων, γνωρίζοντας ότι όντας πραγματικά και πρόσφατα, καθώς και της απλής σχετικά δομής και εφαρμογής του μοντέλου που παρουσιάστηκε, τα αποτελέσματα μπορούν να περιγράψουν επαρκώς και να αντιπροσωπεύσουν ικανοποιητικά την κατανάλωση των καυσίμων και του κόστους της, των τριών τύπων πλοίων της ποντοπόρου ναυτιλίας.

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

Analysis of Marine Emissions in the South Coast Air Basin, Draft Report, EPA Contract Number 68-C6-0068, Work Assignment Number 0-02, prepared by Acurex Environmental Corporation for the U.S. Environmental Protection Agency, 1999. Marine Vessel Emission Inventory and Control Strategies, Final Report, prepared by Acurex Environmental Corp., for the South Coast Air Quality Management District, 1996

Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data

Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency. Prepared for EPA under contract to Sierra Research by Energy and Environmental Analysis, Inc. EPA Contract No. 68-C7-0051, Work Assignment No. 1-10, February 2000

Anderson, M., Salo, K. & Fridell, E. (2015). Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship. *Environmental Science & Technology*, 49(20), pp.12568-12575. Marine Exhaust Emissions Research Programme, Lloyd's Register of Shipping, London, United Kingdom, 1995

Ailong Fan , Xinping Yan, Richard Bucknall , Qizhi Yin, Rui Song, Study of real time fuel consumption model for large bulk carrier, This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (51279149), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2016-YB-022), the High-tech Ship from Ministry of Industry and Information Technology (2014502), and the China Scholarship Council programme (201606950039)

- Alvik,S., Eide, M., Oyvind, E, Hoffman,P, Longva,T., (2010)  
*Pathways to low carbon shipping: Abatement potential towards 2030*, Hovik, Norway: Det Norske Veritas,AS (DNV)
- Benford, H. (1981). A simple approach to fleet deployment. *Maritime Policy & Management*, Volume 8, 1981,Issue 4,  
doi:10.1080/03088838100000047
- Bialystocki, Dimitris Konovessis ( 2016), *Journal of Ocean Engineering and Science*, Vol1, Issue 2, April 20016: On the estimation of ship' s fuel consumption and speed curve: A statistical approach,  
<https://doi.org/10.1016/j.joes.2016.02.001>
- Inventory of Air Pollutant Emissions from Marine Vessels, Final Report, prepared by Booz-Allen & Hamilton for the California Air Resources Board, Revised March 1991
- Dario Bocchetti (Energy Saving Technical Department, Grimaldi Group, Naples, Italy), Antonio Lepore, Biagio Palumbo, Luigi Vitiello (Department of Industrial Engineering, University of Naples "Federico II," Naples, Italy) Statistical Approach to Ship Fuel Consumption Monitoring, *Journal of Ship Research*, Vol. 59, No. 3, September 2015, pp. 162–171,  
<http://dx.doi.org/10.5957/JOSR.59.3.150012A>
- Daskalakis I, Chatzinikolaou S., Ventikos N.P. (2015), "Platform for assessing ship emissions from a life cycle perspective", *Technologies, Operations, Logistics and Policies towards meeting 2050 emission targets (SCC 2015)*, Glasgow, UK, Osman et al. (eds), Vol. 1, pp. 113-122.
- DNV-GL, 2014. Alternative fuels for shipping.
- DNV-GL, 2015. The fuel trilemma.
- Eljardt, 2006, Development of a fuel oil consumption monitoring system, Diploma Thesis, Technical University of Hamburg

- Eljardt, Greitsch, Mazza, Operation-Based Ship Design and Evaluation, Article January 2009,  
<https://www.researchgate.net/publication/255500512>
- European Commission JRC, 2016. Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways.
- Gehnke, 2014, System identifikation zur trim optimierung unter anwendung kunstlicher neuronaler netze, Interschalt Marine Systems AG.
- International Gas Union World Gas LNG Report — 2016 Edition.
- International Renewable Energy Agency - [www.irena.org](http://www.irena.org).
- International Monetary Fund (IMF), World Economic Outlook, Ιανουάριος 2017
- IHS Maritime & Trade/World Shipping Encyclopaedia, Ιανουάριος 2017
- Hagiwara H & Spaans JA. 1987. Practical weather routing of sail-assisted motor vessels. *Journal of Navigation* 40: 96-119.
- Hagiwara H. 1989. Weather routing of (sail-assisted) motor vessels. PhD thesis, Delft University of Technology
- Harries & Hinnenthal, 2004, A systematic study on posing and solving the problem of pareto optimal ship routing. In: Third International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, Sigüenza, Spain
- Hummels, David L., and Georg Schaur. 2013. "Time as a Trade Barrier." *American Economic Review*, 103 (7): 2935-59.
- Konovessis D. , K. Ramesh, S.K. Thong & You, In *Maritime Technology and Engineering 3*, 2016 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-03000-8, [www.crcpress.com](http://www.crcpress.com) - [www.taylorandfrancis.com](http://www.taylorandfrancis.com)



Munk, 2006, Proceedings from Motorship Propulsion Conference. Fuel Conservation Through Managing Hull Resistance, Copenhagen April 26<sup>th</sup>

Øyvind Endresen, Eirik Søruga, Hanna Lee Behrens, Per Olaf Brett, and Ivar S. A. Isaksen, A historical reconstruction of ships' fuel consumption and emissions, *Journal of geophysical research*, vol.112, D12301, doi:10.1029/2006JD007630, 2007

Ramesh, K., Konovessis,D., Thong, S.K. & X. You, 2016, Development of intelligent ship fuel consumption algorithms, *Proceedings of the 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering* (Martech 2016, Lisbon, Portugal, 4-6 July 2016) av Carlos Guedes Soares, T A Santos

Rojon, I, Smith,T.,2014, *On the attitudes and opportunities of fuel consumption monitoring and measurement within the shipping industry and the identification and validation of energy efficiency and performance interventions*, , Prepared for: International Paint February 2014, USL, Energy Institute

Shao, Wei and Zhou, Peilin (2011) Development of a dynamic programming method for low fuel consumption and low carbon emission from shipping. In: International Conference on Technologies, Operation and Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping 2011, University of Glasgow, <http://strathprints.strath.ac.uk/59226/>

Tadeusz Borkowski, Lech Kasyk, Przemysław Kowalak, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 18, No. 2 2011, Assessment of ship's engine effective power, fuel consumption and emission using the vessel speed, <https://www.researchgate.net/publication/268365550>

Theo Notteboom, Pierre Cariou, (ITMMA), Fuel surcharge practices of container shipping lines, Institute of Transport and Management Antwerp for IAME 2009 Conference, Copenhagen, June 2009

Third IMO GHG Study 2014 Executive Summary and Final Report, International maritime organization London, 2015

Tyson M.Halford, 2015, Ship fuel economy estimate for a Container Vessel

### **Ελληνόγλωσσα**

Δημήτρης Σ. Σταματόπουλος & Βασίλης Δ. Σταματόπουλος 2008.  
*Καύσιμα Ναυτιλίας* Έκδόσεις ELSSI ΕΠΕ, pp.25-50, pp. 52-70, pp. 102-186

Eurostat, Ιούλιος 2016 (στοιχεία 2014)

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) Μάρτιος 2017

Νικόλαος Π. Βεντικός, Δημήτριος Ράκας, Κωνσταντίνος Ξιφαράς  
*Εναλλακτικά καύσιμα και ναυτιλία*, [Maritime Economies](#)

Χρήστου, Γ.Κ. ,2002, *Εισαγωγή στην οικονομετρία*, Gutenberg  
<http://www.irena.org/ourwork/Knowledge-Data-Statistics/Data-Statistics>