

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ στη ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΛΟΙΟΥ,
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΠΛΟΥ**

Αλέξανδρος Γιαζλάς

MN 15022

Διπλωματική εργασία
που υποβλήθηκε στο τμήμα Ναυτιλιακών σπουδών
του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος
των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού
Διπλώματος Ειδίκευσης στη Ναυτιλία

Πειραιάς

Νοέμβριος 2017

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Καθ. Παντουβάκης Άγγελος (Επιβλέπων)
- Καθ. Τζαννάτος Ερνέστος
- Καθ. Αρτίκης Αλέξανδρος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.»

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μελέτη αποδοτικότητας πλοίου, βελτίωση του σχεδίου πλου» εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ναυτιλία του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη τριών σεναρίων διαγωγής πλεύσης ενός στόλου πλοίων και η εμβάθυνσή της για την καταλληλότερη επιλογή όπου συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμων.

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στη Ναυτιλία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παντουβάκη Άγγελο για την εμπιστοσύνη στην ανάθεση του θέματος και για την πολύτιμη καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της, όλους του καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στη Ναυτιλία για όλα τα απαραίτητα εφόδια που μου έδωσαν για να πορευτώ στο χώρο της ναυτιλίας και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου στην οποία και αφιερώνω τη συγκεκριμένη εργασία που με στήριξε ηθικά και πρακτικά σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	14
1. ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΛΟΙΩΝ 14	
1.1. EEDI (ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX).....	14
1.2. SEEMP (SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLANT)	17
1.3. EEOI (ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
2. ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	20
2.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	20
2.2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ, ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	24
2.3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ (hull optimization).....	26
2.4. ΧΡΗΣΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	29
2.5. ΧΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	35
3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	35
3.1 Η ΚΛΙΣΗ ΕΝΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	35
3.2 Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	37
3.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	42
3.4 Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΩΝ CONTAINERS	45
3.5 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	50
4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	50
4.1. ΣΤΟΛΟΣ ΠΛΟΙΩΝ	50
4.2. ΣΧΕΔΙΟ ΠΛΕΥΣΗΣ.....	51
4.3. ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	53
4.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	57
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	57
5.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΠΛΕΥΣΗΣ.....	61
5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	69

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	69
6.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1. Εξέλιξη των ναύλων από το 2000 μέχρι το 2010	10
Γράφημα 2. Δομή κόστους ενός πλοίου	11
Γράφημα 3. Σχέση εκπομπής αερίων και χωρητικότητας πλοίου	16
Γράφημα 4. Προσδοκώμενη ποσότητα εκπομπών	17
Γράφημα 5. Σχέση μεταξύ ταχύτητας και ισχύς μηχανής	23
Γράφημα 6. Σχέση κατανάλωσης καυσίμων και ταχύτητας.....	24
Γράφημα 7. Δείκτης αποδοτικότητας γάστρας πλοίου.....	28
Γράφημα 8. Ιξώδης αντίσταση και κυματοειδής αντίσταση	30
Γράφημα 9. Σχέση μείωσης βάρους και ποσοστό χρήσης ειδικού ατσαλιού.....	32
Γράφημα 10. Σχέση υπολειμματικής αντίστασης και διαγωγής.....	39
Γράφημα 11. Σχέση μείωση ώσης και διαγωγής.....	41
Γράφημα 12. Σχέση συντελεστή ομόρου και διαγωγής	41
Γράφημα 13. Σχέση μεταξύ διαγωγής και κατανάλωσης καυσίμων	44
Γράφημα 14. Διακίνηση Container διεθνώς.....	46
Γράφημα 15. Διασπορά διαγωγής πλεύσης με ταχύτητα	59
Γράφημα 16. Διασπορά διαγωγής πλεύσης με εκτόπισμα	59
Γράφημα 17. Διασπορά κατανάλωσης και διαγωγή πλεύσης	60
Γράφημα 18. Διασπορά Βέλτιστης διαγωγής -Κατανάλωσης.....	63
Γράφημα 19. Διαφορά καταναλώσεων για τα 3 σενάρια	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Πλοίων	51
Πίνακας 2. Παραδειγματικό σχέδιο πλεύσης για ένα ταξίδι	52
Πίνακας 3. Παραδειγματική συλλογή δεδομένων λειτουργίας πλοίου σε καθημερινή βάση	54
Πίνακας 4. Τρισδιάστατος Πίνακας βέλτιστης διαγωγής των πλοίων	55
Πίνακας 5. Σύνολο δεδομένων για τα ταξίδια τους το 2015 και 2016	57
Πίνακας 6. Κατανάλωση για το Σενάριο 1	61
Πίνακας 7. Κατανάλωση για το Σενάριο 2	63
Πίνακας 8. Κατανάλωση για το Σενάριο 3	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Πλοίο που παρουσιάζει διαγωγή	36
--	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η αναζήτηση της καταλληλότερης κλίσης πλεύσης σε ένα στόλο πλοίων μεγάλης διάρκειας ταξιδιών με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμων και κατ' επέκταση την μείωση των λειτουργικών εξόδων του πλοίου. Είναι δεδομένο ότι τα καύσιμα αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι των εξόδων. Ένας από τους τρόπους εξοικονόμησης καυσίμων στα πλοία αποτελεί η επιλογή βέλτιστης διαγωγής πλεύσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα από στόλο πλοίων για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων. Η μεθοδολογία βασίστηκε σε αυτά τα δεδομένα ενώ παράλληλα δημιουργήθηκαν τρία σενάρια διαφορετικής κλίσης στην πλεύση. Κλείνοντας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν ότι η επιλογή της κατάλληλης διαγωγής πλεύσης έχοντας συγκεκριμένο φορτίο για το αντίστοιχο βύθισμα και ταχύτητα εξοικονομείται μεγάλη ποσότητα καυσίμων σε ετήσια βάση.

Λέξεις κλειδιά: καύσιμα, ενεργειακή αποδοτικότητα, εμπορευματοκιβώτια, διαγωγή, βέλτιστη κλίση, ταχύτητα, βύθισμα

ABSTRACT

The aim of the thesis is to seek the most appropriate trim sail in a fleet of ships in long voyages, resulting in fuel savings and hence reduction of ship's operating costs. It is assumed that fuel consist the largest part of the costs. One of the ways to saving fuel in ships is the option of trim optimization. For this purpose, actual data from a fleet of vessels for long-distance voyages was used. The methodology was based on these data and three scenarios of different trim sailing were created at the same time. In conclusion, the results that emerged were that the choice of trim optimization with a specific load for the respective draft and speed will save a large amount of fuel in annual base.

Keywords: fuel, energy efficiency, containers, trim, optimal trim, speed, draft

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

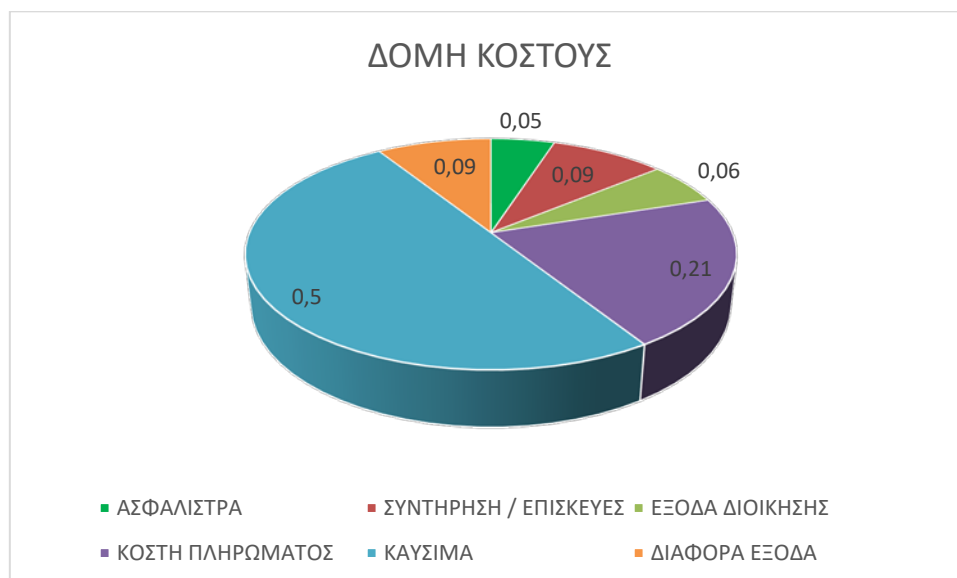
Η κρίση του 2007 η οποία ξεκίνησε από την αγορά κατοικιών στις ΗΠΑ επηρέασε τις περισσότερες χώρες του πλανήτη και ανέδειξε τις αδυναμίες του παγκοσμίου χρηματοπιστωτικού συστήματος. Πρόκειται για μια από τις σημαντικότερες χρηματοπιστωτικές κρίσεις των τελευταίων ετών η οποία αποσταθεροποίησε το χρηματοπιστωτικό κλάδο και είχε δυσμενείς επιπτώσεις στην πραγματική οικονομία λόγω της κρίσης ρευστότητας η οποία μείωσε δραστικά την δυνατότητα των επιχειρήσεων να προσφύγουν στην πηγή χρηματοδότησης του δανεισμού , αλλά και λόγω του δυσμενούς επιχειρηματικού κλίματος. (Χαρδούβελης , 2011)

Ο κλάδος της ναυτιλίας ως γνωστόν επηρεάζεται από παράγοντες όπως η κατάσταση της παγκόσμιας οικονομίας, το διεθνές εμπόριο, την λειτουργία του τραπεζικού συστήματος το οποίο συνιστά σημαντική πηγή χρηματοδότησης και την τεχνολογική πρόοδο. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν την ζήτηση και προσφορά για ναυτιλιακές υπηρεσίες. (Hofmann, 2010)

Εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι από τη στιγμή που κατά την διάρκεια της κρίσης το παγκόσμιο ΑΕΠ σημείωσε πτώση άνω του 2 % και από την στιγμή που ο όγκος του παγκοσμίου εμπορίου έπεσε σε ποσοστό σχεδόν κατά 15 % η οικονομική κρίση είχε δυσμενείς επιπτώσεις στον κλάδο της ναυτιλίας. Έπειτα από μια μακρά περίοδο μεγέθυνσης του κλάδου και μάλιστα με υπερβολικούς ρυθμούς η ανοδική πορεία αντιστράφηκε με βίαιο τρόπο. Οι ναύλοι οι οποίοι συνιστούν την βασική πηγή εσόδων για τις ναυτιλιακές εταιρείες έφτασαν σε ιστορικά χαμηλά ενώ μεγάλες εταιρείες όπως η Mearsk, η Harpag Loyds κ.α υπέστησαν τεράστιες ζημιές.

Στον κλάδο των εμπορευματοκιβωτίων (containers) είναι χαρακτηριστικό ότι οι εταιρείες χρέωναν 500 \$ για να μεταφέρουν εμπόρευμα από την Ασία στην Ευρώπη όταν η τιμή για να καλυφθεί το κόστος θα έπρεπε να είναι 300 \$ υψηλότερη. Οι παραγγελίες για νέα πλοία μειώθηκαν δραστικά με αποτέλεσμα τα ναυπηγεία να λειτουργούν στο 30 % της δυναμικότητάς τους. Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε τη εξέλιξη των ναύλων την δεδομένη περίοδο. (Hofman, 2010)

Γράφημα 2. Δομή κόστους ενός πλοίου



(Πηγή: Reuters)

Η σφοδρή οικονομική κρίση λοιπόν που έπληξε τον κλάδο της ναυτιλίας οδήγησε τις εταιρείες στο να προβούν σε εξ' ορθολογισμό του κόστους τους και ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό ήταν η μείωση του κόστους των καυσίμων. Η εξοικονόμηση του σχετικού κόστους μπορεί να γίνει με την μείωση της ταχύτητας του πλοίου. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται απόπειρα βελτιστοποίησης της ταχύτητας με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους καυσίμων. Κάτι τέτοιο όμως πολλές φορές δεν συνίσταται διότι τα πλοία θα πρέπει να εκτελούν συγκεκριμένα δρομολόγια σε συγκεκριμένο χρόνο. Προφανώς θα πρέπει να βρεθούν άλλοι τρόποι βελτιστοποίησης της κατανάλωσης καυσίμων. Μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις η μηχανές καταναλώνουν 30 % παραπάνω καύσιμα από το αποδεκτό όριο γεγονός που αυξάνει τα λειτουργικά κόστη. Η επιπλέον κατανάλωση οφείλεται στην κατασκευή του πλοίου, στον τύπο της μηχανής, σε κακή συντήρηση της μηχανής κ.α. (Petursson, 2009)

Πέρα από την αναγκαιότητα για μείωση του λειτουργικού κόστους η εξοικονόμηση του κόστους καυσίμων μέσω χαμηλότερης κατανάλωσης κρίνεται απαραίτητη

προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αερίων. Ο ναυτιλιακός κλάδος είναι υπεύθυνος για το 3% της παγκόσμιας εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα ενώ το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί μελλοντικά.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου πέρα από την βέλτιστη ταχύτητα είναι συνάρτηση της υδροδυναμικής του. Προκειμένου ένα πλοίο να είναι αποδοτικό από άποψη υδροδυναμικής τότε θα πρέπει να διεξαχθούν οι εξής ενέργειες όπως βελτιστοποίηση του σκελετού του πλοίου, βελτιστοποίηση της μηχανής και βελτιστοποίηση της σχέσης αλληλεπίδρασης μεταξύ μηχανής και σκελετού του πλοίου.

Η γάστρα του πλοίου και οι βασικές διαστάσεις του βελτιστοποιούνται από την αντίσταση η οποία προέρχεται από την ίδια την γάστρα δηλ. από την τριβή του και από την αντίσταση του κύματος. Η αντίσταση από την τριβή (frictional resistance) εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας του πλοίου (σκληρότητα) ενώ η αντίσταση που προκαλεί το κύμα εξαρτάται από την κίνηση του πλοίου μέσα σε αυτό. Αυτού του είδους η αντίσταση είναι συνάρτηση της ταχύτητας του πλοίου. (IMO, 2009)

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της μελέτης αποδοτικότητας του πλοίου και η ανάλυση του προβλήματος στην βελτίωση του σχεδίου πλεύσης από την σκοπιά της κατάλληλης επιλογής διαγωγής πλεύσης του. Το ζήτημα της επιλογής βέλτιστης διαγωγής για μεγάλα ταξίδια αποτελεί μεγάλο θέμα καθώς τα κόστη καυσίμων συνιστούν ένα σημαντικό κομμάτι της δομής κόστους ενός πλοίου.

Η βελτιστοποίηση της κλίσης του πλοίου (trim optimization) είναι ένας αρκετά εύκολος τρόπος για έναν πλοιοκτήτη να εξοικονομήσει καύσιμα. Η συγκεκριμένη πρακτική δεν απαιτεί την τροποποίηση της γάστρας του πλοίου ή την αναβάθμιση της μηχανής του. Μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της σταθεροποίησης του πλοίου ή μέσω της κατάλληλης φόρτωσης. (Hofman, 2010)

Η κλίση / διαγωγή ενός πλοίου περιγράφει την θέση του στο νερό και ουσιαστικά επικεντρώνεται στην θέση της πρύμνης και της πλώρης. Η διαγωγή μπορεί να έχει καθοριστική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμων και εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου και την ταχύτητα.

Όταν ένα πλοίο έχει μία άριστη κλίση για δεδομένη ταχύτητα , δεδομένο φορτίο και δεδομένη κατάσταση θάλασσας τότε η υδροδυναμική αντίσταση μειώνεται με αποτέλεσμα οι ενεργειακές ανάγκες για την λειτουργία της μηχανής να μειώνονται και συνεπώς να ελαχιστοποιείται η κατανάλωση καυσίμων.

Σκοπός της παρούσας ανάλυσης είναι εισάγοντας τρία σενάρια διαγωγή πλεύσης όταν τα πλοία είναι εν πλω αναζητώντας ποια κλίση συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμων και κατ' επέκταση στην μείωση του λειτουργικού κόστους.

Όσον αναφορά την μεθοδολογία το αντικείμενο της διπλωματικής προσεγγίστηκε πρώτα από την ανάλυση των δεδομένων των πλοίων και αργότερα αναζητήθηκε η κατανάλωση καυσίμων σε σχέση με την πραγματική διαγωγή των πλοίων σε διαφορετικά σενάρια διαγωγή πλεύσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας θα αναφερθούμε στις ισχύουσες διεθνείς διατάξεις που αφορούν την κατανάλωση καυσίμων. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις πρακτικές που υιοθετεί ένας πλοιοκτήτης προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναφερθούμε εκτενώς στο ζήτημα της βελτιστοποίησης της διαγωγής πλεύσης για το πλοίο. Στο τέταρτο κεφάλαιο προβάλλουμε τα δεδομένα των πλοίων τα οποία θα χρειαστούμε για την ανάλυση μας. Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην μεθοδολογία της ανάλυσης μας όπου προβάλλονται τρία σενάρια διαγωγής πλεύσης σε σύγκριση με την πραγματική του διαγωγή που έχει πραγματοποιηθεί με σκοπό την αναζήτηση για εξοικονόμηση καυσίμων. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα δεδομένα της ανάλυσης μας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΛΟΙΩΝ

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα της εισαγωγής τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη τάση για ενεργειακή αποδοτικότητα πλοίων. Αυτό οφείλεται στις ανησυχίες για την κλιματολογική αλλαγή λόγω εκπομπών αερίων, στους πολύ χαμηλούς ναύλους οι οποίοι έχουν συμπιέσει τα περιθώρια κέρδους και στην υψηλή τιμή των καυσίμων η οποία ασκεί αυξητικές πιέσεις στα λειτουργικά κόστη. Η μόλυνση που προκαλούν τα πλοία μέσω της εκπομπής αερίων επιτάσσει την αναγκαιότητα συμμόρφωσης τους με κάποιες διατάξεις τις οποίες παρουσιάζουμε στις παρακάτω παραγράφους.

Οι διατάξεις αυτές δημιουργήθηκαν παρόλο που ο κλάδος της ναυτιλίας θεωρείται ενεργειακά αποδοτικός. Με το τελευταίο εννοούμε ότι οι εκπομπές ανά φορτίο είναι σαφώς χαμηλότερες σε σχέση με άλλα μέσα μεταφοράς. Δεν θα πρέπει όπως να λησμονούμε ότι οι συνολικές εκπομπές αερίου από την κίνηση των πλοίων ανέρχονται σε πολύ υψηλά επίπεδα αφού το μεγαλύτερο μέρος του διεθνούς εμπορίου πραγματοποιείται μέσω θαλάσσης.

1.1. EEDI (ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX)

Η συγκεκριμένη διάταξη είναι ιδιαίτερα σημαντική από τεχνικής απόψεως και αποσκοπεί στην αποδοτική χρήση ενέργειας αλλά και στην αποδοτική χρήση της μηχανής του πλοίου. Λόγω της απειλής της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη η οποία εικάζεται ότι προέρχεται από την ρυπογόνο δραστηριότητα των μεγάλων βιομηχανιών το 1997 υπεγράφη το πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο υποχρεώνει 37 βιομηχανοποιημένες χώρες αλλά και την Ευρωπαϊκή Ένωση να μειώσουν τις εκπομπές αερίων. Σύμφωνα με την εξεταζόμενη ρύθμιση / διάταξη από το 2013 τα οποία υποχρεούνται να τηρούν μια ελάχιστη ενεργειακή

αποδοτικότητα ανά μίλι που διανύουν. Το ελάχιστο αυτό επίπεδο θα ανεβαίνει οριακά κάθε πέντε χρόνια δημιουργώντας έτσι συνθήκες ποιο αυστηρής συμμόρφωσης. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται να προωθηθούν καινοτομίες οι οποίες θα αφορούν όλες τα στοιχεία που επηρεάζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα. Εφόσον τηρείται η ενεργειακή αποδοτικότητα οι πλοιοκτήτες έχουν την ευχέρεια να κάνουν χρήση των τεχνολογικών λύσεων που επιθυμούν και οι οποίες συμβάλλουν δεν παραβιάζουν την ρύθμιση.

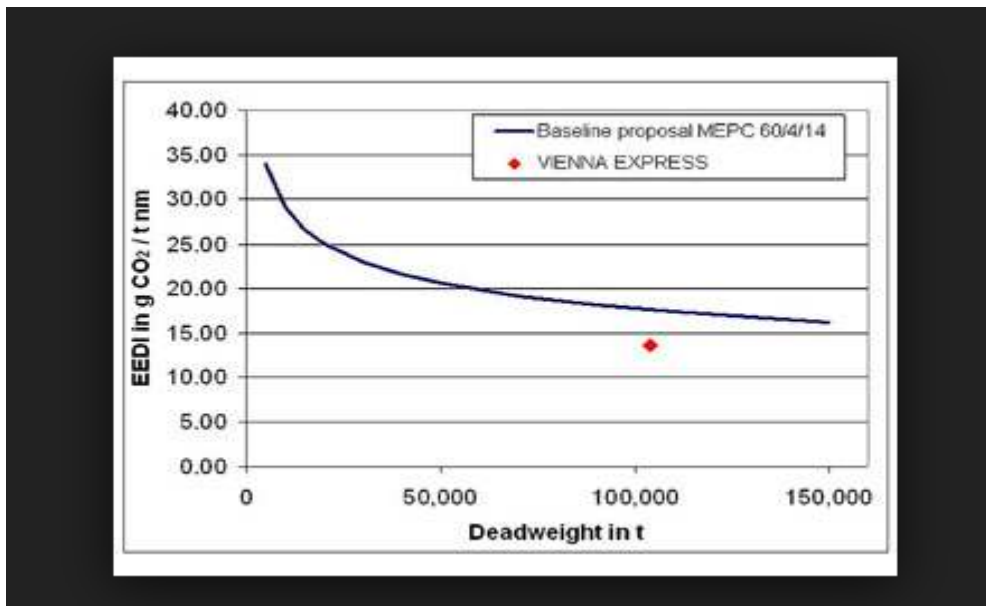
Οι μέγιστες εκπομπές ενός πλοίου υπολογίζονται βάση μιας φόρμουλας η οποία εξαρτάται από τις τεχνικές παραμέτρους του πλοίου. Η ρύθμιση αυτή θα αφορά τύπους πλοίων τα οποία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και ρυπαίνουν τον περιβάλλον. (ICCT, 2011)

Η φόρμουλα που ορίζει αυτή η ρύθμιση είναι η εξής

$EEDI = \text{Ισχύς μηχανής} * \text{κατανάλωση καυσίμου} * \text{εκπομπή αερίου} / \text{χωρητικότητα πλοίου (deadweight)} * \text{ταχύτητα}.$

Όσο πιο χαμηλός είναι αυτός ο δείκτης τόσο πιο αποδοτικό είναι το πλοίο. Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε ποιος θα πρέπει να είναι ο μέγιστος δείκτης ανά χωρητικότητα πλοίου.

Γράφημα 3. Σχέση εκπομπής αερίων και χωρητικότητας πλοίου



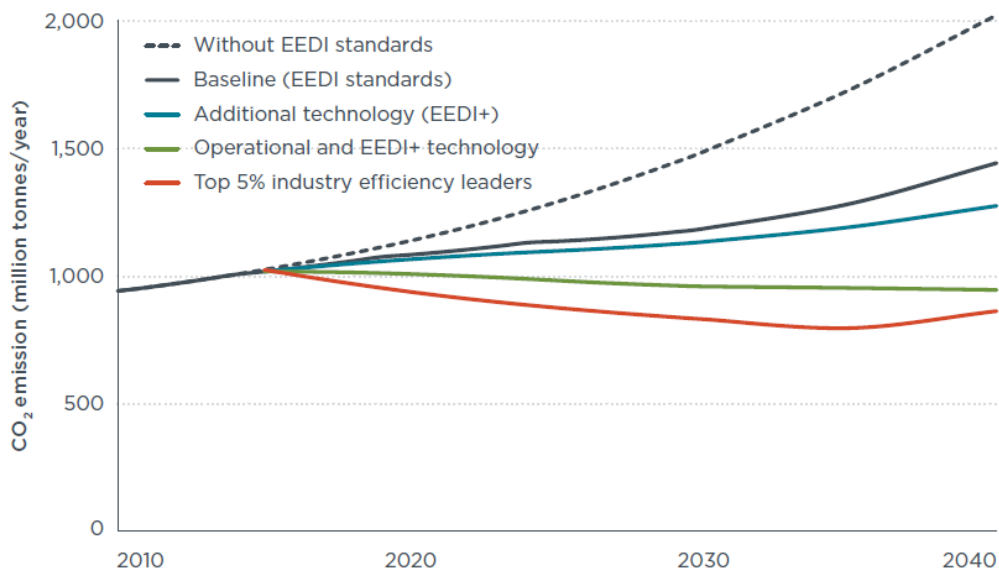
(Source : Wang 2013)

Τα πλοία τα οποία έχουν δείκτη πάνω από την κυρτή καμπύλη θα αποκλείονται από την αγορά. Συνεπώς για να θεωρησουμε ότι ένας πλοιοκτήτης συμμορφώνεται με την ρύθμιση θα πρέπει οι παράμετροι που ενσωματώνονται στον παραπάνω τύπο να διαμορφωθούν κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο υπολογισθέν δείκτης να βρίσκεται κάτω από την καμπύλη του γραφήματος 3.

Ένα πλοίο μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα που σχετίζεται με τον δείκτη EEDI μέσω της αύξησης της χωρητικότητας της μείωσης της ταχύτητας αλλά και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Αναφορικά με τον τελευταίο παράγοντα οι πλοιοκτήτες μπορούν να βελτιώσουν τον εξεταζόμενο δείκτη τον σχεδιασμό πλοίων όπου μειώνεται η αντίσταση του σκελετού, με την εισαγωγή πιο αποδοτικών μηχανών, με την χρήση φυσικού αερίου αντί για πετρέλαιο ως καύσιμο με τη κατάλληλη εξισορρόπηση του πλοίου (ballasting) και με την κατασκευή υβριδικών πλοίων.

Στο παρακάτω γράφημα 4 δείχνουμε πως θα εξελιχθεί η συνολική ποσότητα αερίων μακροχρονίως ανάλογα με το αν υιοθετηθεί ή όχι το EEDI.

Γράφημα 4. Προσδοκώμενη ποσότητα εκπομπών



(Source : Wang 2013)

1.2. SEEMP (SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLANT)

Η συγκεκριμένη ρύθμιση προβλέπει την λήψη μέτρων από πλευράς πλοιοκτητών έτσι ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Μέσω αυτής της ρύθμισης παρακολουθείται η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου διαχρονικά ενώ οι πλοιοκτήτες ενθαρρύνονται στο να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες οι οποίες θα συμβάλλουν στην βελτίωση της αποδοτικότητας.

Το SEEMP επιχειρεί να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω τεσσάρων μέτρων τα οποία θα πρέπει να εισάγει ο πλοιοκτήτης όπως ο σχεδιασμός η εφαρμογή, η επίβλεψη και η αξιολόγηση.

Για την πλήρη συμμόρφωση με αυτή τη ρύθμιση θα πρέπει να συντρέχουν οι εξής προϋποθέσεις :

- Βελτιστοποίηση της ταχύτητας, σχεδιασμός του κατάλληλου σκελετού. Τα μέτρα αυτά αφορούν τις παραμέτρους του πλοίου.
- Συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων στην λειτουργία του πλοίου.
- Κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού.
- Αποτελεσματική διαδικασία θέσπισης στόχων
- Εγκαθίδρυση μηχανισμών και πρακτικών οι οποίες θα διασφαλίζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα.
- Συλλογή δεδομένων τα οποία θα χρησιμεύουν ως μέσο αξιολόγησης.
- Αξιολόγηση των μέτρων που έχουν ληφθεί για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. (IMO, 2009)

Αναφορικά με το στάδιο του σχεδιασμού αυτό θεωρείται το πιο σημαντικό και καθορίζει τόσο την κατανάλωση ενέργειας όσο και τις βελτιώσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την βελτίωση της αποδοτικότητας. Οι τρόποι βελτίωσης της αποδοτικότητας εξαρτώνται από τον τύπο του πλοίου.

Η βελτίωση της αποδοτικότητας του πλοίου δεν εξαρτάται μόνο από το σχέδιο του πλοίου αλλά και από όσους εμπλέκονται με τη λειτουργία του όπως ναυπηγοί, υπεύθυνοι ελλιμενισμού , κάτοχοι φορτίων, ναυλωτές και βέβαια πλοιοκτήτες. (IMO, 2009)

Η διαδικασία θέσπισης στόχων είναι το τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού ενώ θα σημειώσουμε ότι δεν υφίσταται αναγκαιότητα ανακοίνωση του εκάστοτε στόχου στο ευρύτερο κοινό. Η χρησιμότητα αυτού του σταδίου έγκειται στο ότι οι εμπλεκόμενοι γνωρίζουν κατά πόσο επιτυγχάνεται η επιθυμητή αποδοτικότητα ενώ παρέχονται και τα κατάλληλα κίνητρα για την επίτευξη των στόχων.

Ορισμένοι πλοιοκτήτες γνωστοποιούν σε διάφορους φορείς τις ενέργειες που έχουν κάνει αναφορικά με ότι προβλέπεται στο SEEMP. Παρόλο που η σχετική γνωστοποίηση δεν είναι απαραίτητοι οι αρμόδιοι φορείς πράττουν κατά αυτό τον τρόπο προσβλέποντας σε μια σειρά από οφέλη. Πράγματι τα πλοία των οποίων η

λειτουργία είναι φιλική προς το περιβάλλον απολαμβάνουν προνομιακά κόμιστρα ελλιμενισμού ενώ οι υπηρεσίες των πλοίων προτιμώνται από τους καταναλωτές.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου θα πρέπει να εποπτεύεται σε τακτά χρονικά διαστήματα βάση ενός διεθνούς κριτηρίου. Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στο ΕΕΟΙ και συνιστά έναν ποσοτικό δείκτη μέτρησης της ενεργειακής αποδοτικότητας.

1.3. ΕΕΟΙ (ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR)

Ο δείκτης ΕΕΟΙ μετράει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου καθώς και τις εκπομπές αερίων. Ο δείκτης αυτός δείχνει τη μεταφορική αποδοτικότητα του πλοίου και υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε ταξίδι που πραγματοποιείται ανάλογα με το βάρος του φορτίου, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τις γενικότερες καιρικές συνθήκες κ.α.

Ο ΕΕΟΙ εξάγεται από τον λόγο της εκπομπής αερίων προς το συνολικό έργο που πραγματοποιείται κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιείται και ένας ποιο σύνθετος τύπος όπως

$$\text{Average_EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} * C_{Fj})}{\sum_i (m_{\text{cargo},i} * D_i)}$$

Όπου:

j = είναι ο τύπος καυσίμου

i = ο αριθμός του ταξιδιού

FC = η καταναλωμένη ποσότητα καυσίμου

C_{fj} = η ποσότητα εκπομπών

M cargo = το βάρος του φορτίου

D = η απόσταση του ταξιδιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα δούμε μέτρα που λαμβάνονται για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων. Η βελτίωση αυτή είναι επιβεβλημένη στον βαθμό που υπάρχουν διεθνείς διατάξεις για τις εκπομπές αερίων που έχουν το δικαίωμα να εκπέμπουν τα πλοία αλλά και στον βαθμό που οι πλοιοκτήτες είναι υποχρεωμένοι να μειώσουν το κόστος καυσίμων σε μια περίοδο όπου ο κλάδος της ναυτιλίας πλήττεται από σφοδρή κρίση. Να σημειώσουμε ότι το μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας που αφορά την άριστη διαγωγή του πλοίου θα εξεταστεί σε ξεχωριστή ενότητα. (Altosole et al, 2016)

Τα μέτρα για την εξοικονόμηση του κόστους καυσίμων διακρίνονται σε σχεδιαστικά και λειτουργικά. Τα σχεδιαστικά αφορούν την σχεδίαση της γάστρας του πλοίου κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μειώνονται οι τριβές και κατ' επέκταση η κατανάλωση καυσίμων. Τα συγκεκριμένα μέτρα θεωρείται ότι προκαλούν μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων. Τα λειτουργικά μέτρα αφορούν την βελτιστοποίηση της ταχύτητας, κλίσης, χρήση κατάλληλων μηχανών, υιοθέτηση καινοτομιών και ναι μεν δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση καυσίμων από τη άλλη όμως δεν απαιτούν επενδύσεις σε κεφάλαιο. (Altosole et al, 2016)

2.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Στα περισσότερα μοντέλα που αποσκοπούν να εντοπίσουν εκείνους τους παράγοντες που μεγιστοποιούν την απόδοση του πλοίου αλλά και να καθορίσουν την άριστη τιμή των παραγόντων αυτών η ταχύτητα του πλοίου θεωρείται ως ανεξάρτητη μεταβλητή ή για να το θέσουμε διαφορετικά εκλαμβάνεται ως εισροή. Για παράδειγμα η ταχύτητα χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν άλλες κρίσιμες μεταβλητές όπως η διάρκεια ταξιδιού του πλοίου, τα λειτουργικά κόστη, ο βαθμός συνέπειας όσο αναφορά το κατά πόσο ελαχιστοποιούνται οι καθυστερήσεις κ.α. Το πρόβλημα όμως

είναι ότι αν η μεταβλητή της ταχύτητας εκληφθεί ως ενδογενής και όχι ως εξωγενής μεταβλητή η απόδοση του πλοίου σε επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας δεν θα είναι η άριστη. (Psaraftis and Kontovas, 2014)

Λόγω της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμων αν ένα πλοίο κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα τότε θα εκπέμπει χαμηλότερη ποσότητα αερίων σε σχέση με ένα πλοίο που κινείται με υψηλότερη ταχύτητα. Γεγονός είναι ότι μια μικρή μείωση της ταχύτητας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων και σημαντική ταυτόχρονα εξοικονόμηση κόστους. (Psaraftis and Kontovas, 2014)

Σε επίπεδο πλοίων που κατατάσσονται στον τομέα των εμπορευματοκιβωτίων τα καινούρια πλοία της εταιρείας Maersk έχουν κατασκευαστεί για να πλέουν με μέση ταχύτητα 17,8 κόμβους γεγονός που έχει συμβάλει στην μείωση εκπομπής ρύπων κατά 20 % σε σχέση με παλιότερα πλοία.

Όταν η ταχύτητα ενός πλοίου είναι υψηλή τότε ναι μεν μειώνεται το κόστος αποθήκευσης των εμπορευμάτων αλλά και αυξάνεται η ποιότητα των υπηρεσιών, από τη άλλη όμως καταναλώνονται περισσότερα καύσιμα. Από την άλλη όταν η ταχύτητα είναι χαμηλή μειώνονται τα λειτουργικά κόστη αλλά αυξάνεται ο χρόνος ταξιδιού γεγονός που θα δυσαρεστήσει τους εκάστοτε πελάτες οι οποίοι αναμφίβολα επιθυμούν τα ταχύτερα δυνατά εξυπηρέτηση. Είναι φανερό λοιπόν ότι υφίσταται μια σχέση ανταλλαγής (trade off) και η πλοιοκτήτρια εταιρεία επιθυμεί την σχετική εξισορρόπηση με την επιλογή της άριστης λύσης. Πολλές επίσης εταιρείες επιλέγουν μια σταθερή ταχύτητα αλλά αυτό τους στερεί ευελιξία ειδικά σε περιπτώσεις όπου θα πρέπει να ικανοποιήσουν κάποιους περιορισμούς. (Psaraftis and Kontovas, 2014)

Μια μείωση της ταχύτητας κατά 10 % συμβάλλει σε εξοικονόμηση καυσίμων κατά μέσο όρο της τάξης του 20%. Η εξοικονόμηση καυσίμων είναι υψηλότερη για τα πλοία που είναι σχεδιασμένα για υψηλότερες ταχύτητες. Το κόστος μιας τέτοιας στρατηγικής, κάτι άλλωστε που αναφέραμε και προηγουμένως, είναι ότι θα μειωθεί η ζήτηση για τις σχετικές υπηρεσίες αφού ο χρόνος μεταφοράς θα είναι μεγαλύτερος ενώ ενδέχεται και το εμπόρευμα να μην φτάσει στον προορισμό του στον χρόνο που έχει συμφωνηθεί. (Psaraftis and Kontovas, 2014)

Οι εμπλεκόμενοι στον κλάδο της ναυτιλίας έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η κατανάλωση καυσίμων είναι μια τριτοβάθμια συνάρτηση της ταχύτητας ενώ η σχέση είναι αντίστροφη. Αυτό μπορεί να ισχύει για τα πλοία που μεταφέρουν υγρό φορτίο (tankers) ή ξηρό φορτίο (bulk carriers) αλλά δεν ισχύει για πλοία που εντάσσονται στα εμπορευματοκιβώτια αφού τα συγκεκριμένα πλοία ακόμα και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες καταναλώνουν κάποια ποσότητα καυσίμων. (Agarwal and Ergun, 2008)

Θα πρέπει πάντως να τονίσουμε ότι κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας που ελαχιστοποιεί τα κόστη καυσίμων δεν λαμβάνεται υπόψη πολλές φορές το μέγεθος του φορτίου. Για μια δεδομένη ταχύτητα η κατανάλωση καυσίμων θα είναι διαφορετική όταν το πλοίο είναι γεμάτο και διαφορετική όταν δεν εξαντλεί την χωρητικότητά του. Αν λάβουμε υπόψη τις θεωρίες του κλάδου της ναυπηγικής η κατανάλωση καυσίμων είναι συνάρτηση τόσο της ταχύτητας του πλοίου όσο και του φορτίου. (Agarwal and Ergun, 2008)

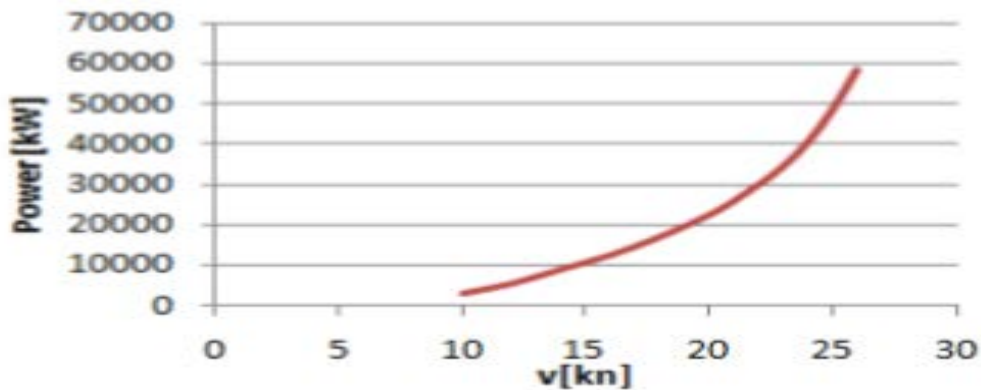
Μια άλλη αδυναμία των μοντέλων τα οποία καθορίζουν την άριστη ταχύτητα είναι ότι δεν λαμβάνουν πολλές φορές τα κόστη αποθήκευσης των εμπορευμάτων. Τα κόστη είναι υψηλά όταν το πλοίο πλέει με χαμηλή ταχύτητα ενώ θεωρούνται πολύ σημαντικά για τον κλάδο των εμπορευματοκιβωτίων. (Agarwal and Ergun, 2008)

Όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα ενός πλοίου τόσο υψηλότερες θα είναι οι απαιτήσεις για υψηλή ισχύ της μηχανής. Αυτό φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$P_R = [a_W + a_T] \cdot v^3 + a_L \cdot v^2$$

Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε την ισχύ της μηχανής συνάρτηση της ταχύτητας για ένα πλοίο container.

Γράφημα 5. Σχέση μεταξύ ταχύτητας και ισχύς μηχανής



(Πηγή : Meyer , 2012)

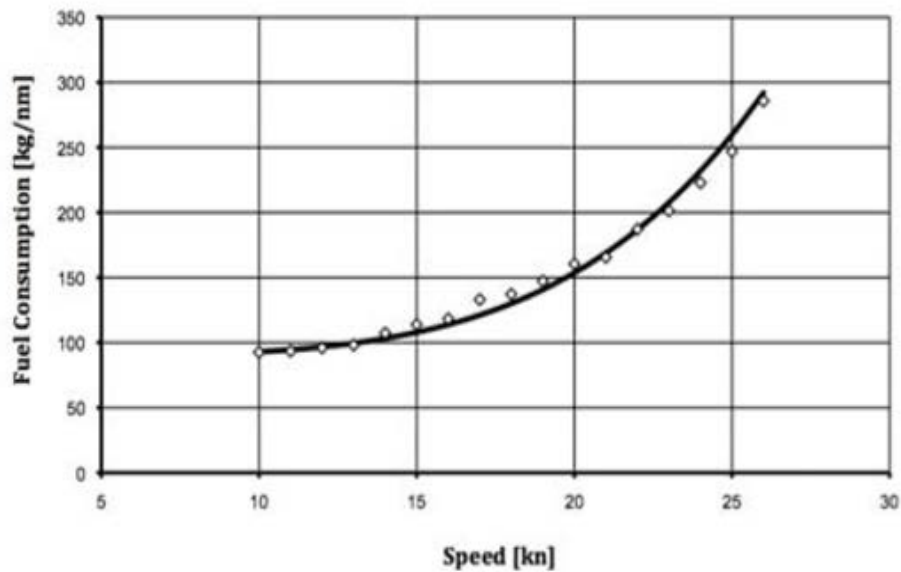
Η συνάρτηση κόστους ενός πλοίου δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$COST(L, L') = (P_{FUEL} f(v, w) + \alpha u + \beta w + F) \cdot \frac{S_{L'}}{v}$$

Όπου P_{Fuel} είναι η συνάρτηση κόστους καυσίμων, v (velocity) η ταχύτητα του πλοίου και w το βάρος του φορτίου. Είναι σαφές ότι οι δύο αυτές μεταβλητές επηρεάζουν την ταχύτητα του πλοίου και στόχος ενός πλοιοκτήτη ή ενός ναυλωτή θα πρέπει να είναι η εύρεση των άριστων τιμών v και w που ελαχιστοποιούν αυτή την συνάρτηση.

Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε πως αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμων συνάρτηση της ταχύτητάς ενός πλοίου container.

Γράφημα 6. Σχέση κατανάλωσης καυσίμων και ταχύτητας



(Πηγή : Meyer , 2012)

2.2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ, ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Σε επόμενες ενότητες θα δούμε ότι η βελτιστοποίηση της γάστρας ενός πλοίου συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμων. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνεται η αντίσταση της τριβής και του κυματισμού αλλά και άλλων μορφών τριβών.

Όταν ένα υγρό είναι συνεκτικό, τότε ένα βυθισμένο στο υγρό σώμα θα παρουσιάσει αντίσταση τριβής. Επιπλέον όταν ένα σώμα πλησιάζει στην επιφάνεια του νερού τότε δημιουργούνται κυματισμοί με αποτέλεσμα την εμφάνιση τριβής κυματισμού. Η αντίσταση ενός πλοίου που κινείται στο νερό συνίσταται στην αντίσταση κυματισμού, τριβής, πίεσης λόγω συνεκτικότητας και αέρα.

Η αντίσταση τριβής αναφέρεται στην ιδιότητα των μορίων του υγρού να παρουσιάζουν αντιστάσεις τριβής. Όταν κινείται ένα πλοίο τότε τα μόρια του νερού που έρχονται σε επαφή με το πρώτο κινούνται με διαφορετική ταχύτητα και έχουν μηδενική ταχύτητα σε σχέση με την επιφάνεια του πλοίου. Το στρώμα των μορίων που βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας του πλοίου και του νερού ονομάζεται οριακό στρώμα και στο στρώμα αυτό παρατηρείται αισθητή πτώση της ταχύτητας των

παρασυρόμενων μορίων. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί την τριβή. (Κυρτάτος, 1993)

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση τριβής είναι το είδος της βρεχόμενης επιφάνειας, η έκταση της βρεχόμενης επιφάνειας, η ταχύτητα, το είδος της ροής το μήκος του πλοίου και η πυκνότητα του νερού. Επιπρόσθετα η αντίσταση τριβής συνιστά ένα σημαντικό μέρος της αντίστασης του πλοίου η οποία κάποιες φορές ανέρχεται στο 70 – 90 % της συνολική αντίστασης για πλοία τύπου dry bulk και tankers και σε λιγότερο από 40 % για πλοία τύπου container τα οποία ως γνωστόν αναπτύσσουν μεγαλύτερη ταχύτητα. Η αντίσταση τριβής μπορεί να καθοριστεί από την μορφή γάστρας του πλοίου. (Κυρτάτος, 1993)

Η αντίσταση τριβής αυξάνεται και με την ρύπανση της γάστρας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την διάβρωση των υφάλων του πλοίου την μείωση της ταχύτητας και βέβαια την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων. Η ρύπανση δύναται να προκαλέσει μείωση της ταχύτητας ακόμα και σε ποσοστό 40 %. Ένας τρόπος για να μειωθεί η διάβρωση των υφάλων είναι η χρήση αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων. Κάτι τέτοιο όπως αναμένεται να επιβαρύνει το περιβάλλον ενώ η νέα πηγή ρύπανσης θα προκαλέσει εκ νέου διάβρωση των υφάλων.

Η αντίσταση κυματισμού προκαλείται όταν ένα πλοίο κινείται σε μια ήρεμη επιφάνεια νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός συστήματος κυματισμού το οποίο προκύπτει από το πεδίο πιέσεων γύρω από το πλοίο. Η αντίσταση κυματισμού μεταβάλλεται με την ταχύτητα του πλοίου καθώς και το μήκος.

Κατά την πλεύση ενός πλοίου δημιουργούνται 2 συστήματα κυματισμού όπως ένα αποκλίνων και ένα σύστημα κυμάτων με κορυφές κάθετες στην πορεία του σημείου πίεσης. Το ένα σύστημα κυματισμού αναφέρεται σε αυτό της πλώρης και το άλλο σε αυτό της πρύμνης.

Η αντίσταση αέρα εξαρτάται από τη ταχύτητα του αέρα ως προς το πλοίο, από την επιφάνεια του αέρα και από τον συντελεστή αντίστασης του αέρα. Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται έως 0,7 για τα φορτηγά πλοία και από 0,6 έως 0,7 για τα επιβατηγά πλοία. Η αντίσταση αέρα υπολογίζεται ως το 2 – 4 % της συνολικής αντίστασης ενώ για πλοία τύπου container μπορεί να ανέλθει και σε 10 %.

2.3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ (hull optimization)

Η μορφή της γάστρας συνιστά βασικό παράγοντα καθορισμού του σχεδίου ενός πλοίου. Η ευστάθεια η αντίστασή του η συμπεριφορά σε κυματισμούς είναι συνάρτηση της μορφής της γάστρας. Η γάστρα δεν αντιστοιχεί σε ένα τυπικό γεωμετρικό σχήμα κάτι που σημαίνει ότι δεν μπορεί να απεικονιστεί σε κάποιες διαστάσεις. (Larson , 2010)

Η βελτιστοποίηση της γάστρας του πλοίου είναι ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος εξοικονόμησης καυσίμων. Όταν ένα πλοίο βρίσκεται εν πλω τότε δημιουργείται αντίσταση / τριβή με αποτέλεσμα για να διατηρηθεί μια δεδομένη ταχύτητα να απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανής. Οι απαιτήσεις για υψηλότερη ισχύ όπως είδαμε και προηγουμένως συμβάλλει σε υψηλότερη κατανάλωση καυσίμων. (Larson, 2010).

Όταν ο πλοιοκτήτης προβαίνει σε αυτή την μορφή της βελτιστοποίησης θα πρέπει να γνωρίζει ότι υφίστανται 3 εναλλακτικές επιλογές. Πρώτο να αποδεχτεί τον υφιστάμενο σχεδιασμό πλοίου ο οποίος έχει καθοριστεί από το ναυπηγείο, δεύτερο να τροποποιήσει την υφιστάμενη γάστρα και τρίτο να αναπτύξει ένα νέο σχέδιο. Η πρώτη επιλογή απαιτεί ελάχιστες κεφαλαιακές δαπάνες και στην ουσία χρησιμοποιείται το σχέδιο του ναυπηγείου το οποίο πολλές φορές μάλιστα είναι συμβατό με τις συνθήκες βελτιστοποίησης. (Larson , 2010)

Η δεύτερη επιλογή συνίσταται στην βελτιστοποίηση κάποιων παραμέτρων όπως ταχύτητα, κλίση κ.α. και γενικότερα αφορά την τροποποίηση κάποιων χώρων του πλοίου έτσι ώστε να μειωθούν οι τριβές. Η τρίτη επιλογή συνδέεται με τον ανά σχεδιασμό βασικών σημείων της γάστρας του πλοίου και η επιλογή αυτή προτιμάται όταν ο σχεδιασμός από το ναυπηγείο δεν πληροί της προδιαγραφές ενεργειακής αποδοτικότητας ή όταν το πλοίο εκτελεί ένα πολύ συγκεκριμένο δρομολόγιο απευθυνόμενο σε μια συγκεκριμένη αγορά. (Larson , 2010)

Η ανάπτυξη νέων τεχνικών αναφορικά με τον σχεδιασμό / κατασκευή ενός πλοίου προσφέρει πληθώρα επιλογών βελτιστοποίησης οι οποίες επιλογές παλαιότερα δεν ήταν διαθέσιμες. Τα νέα αυτά εργαλεία σχεδιασμού λαμβάνουν υπόψη μια σειρά από

παραμέτρους όπως την υδροδυναμική, την δομή του πλοίου, παραμέτρους που αφορούν την επιβάρυνση στο περιβάλλον και την ασφάλεια κ.α. Όταν σχεδιάζεται ένα πλοίο σύμφωνα με τις άριστες προδιαγραφές γίνεται χρήση και λογισμικών προγραμμάτων τα οποία διευκολύνουν την όλη διαδικασία.

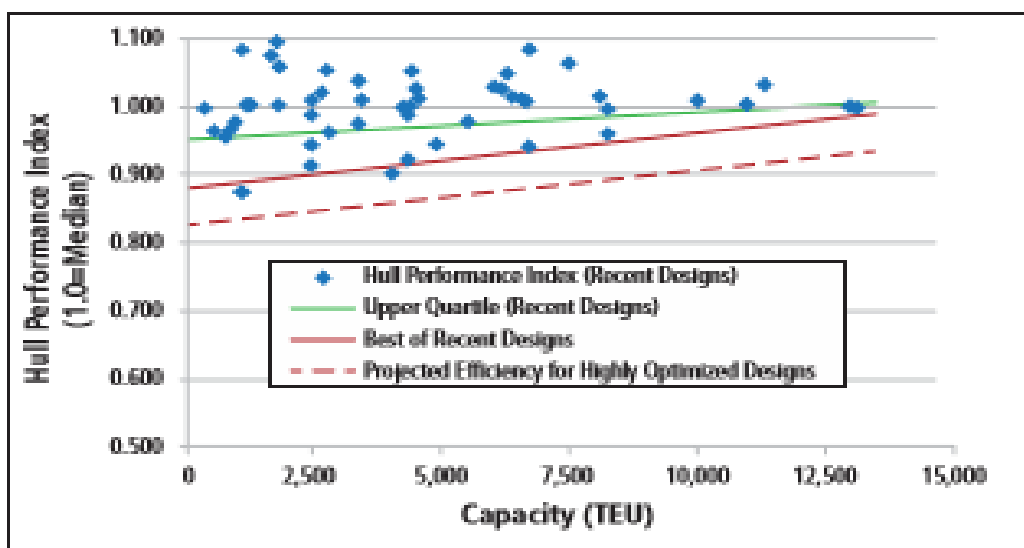
Κατά τον σχεδιασμό ενός πλοίου σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος ενός πλοίου. Όταν το μέγεθος ενός πλοίου container αυξάνεται από 4500 TEU σε 8000 TEU τότε η κατανάλωση καυσίμων μειώνεται κατά 25 %. Μια αύξηση του μεγέθους από 8000 σε 12.500 TEU συμβάλλει σε μείωση της κατανάλωσης κατά 10 %. Είναι σαφές ότι η αύξηση του μεγέθους του πλοίου συμβάλλει σε εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμων. Ο πλοιοκτήτης κατά την επιλογή του μεγέθους θα πρέπει να λάβει υπόψη τόσο το κόστος κατασκευής ενός πλοίου όσο και τα οφέλη που απορρέουν από την κατασκευή ενός μεγαλύτερου πλοίου σε όρους εξοικονόμησης καυσίμων. Να σημειώσουμε επίσης ότι όταν αυξάνεται το μέγεθος ενός πλοίου τότε πέφτει και το μέσο κόστος κατασκευής απόρροια του φαινομένου των οικονομιών κλίμακας. (Shultz, 2010)

Η βελτιστοποίηση της γάστρας ενός πλοίου για διάφορες ταχύτητες αποφέρει σημαντικά οφέλη. Αν βελτιστοποιηθεί η γάστρα ενός πλοίου για μια χαμηλή ταχύτητα τότε το πλοίο μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερη ποσότητα εμπορεύματος. Επιπρόσθετα είναι εφικτή η βελτιστοποίηση της προπέλας σε χαμηλότερες ταχύτητες για το μέγιστο αποτέλεσμα.

Σε περίπτωση που μειωθεί η αντίσταση της γάστρας τότε σημειώνεται εξοικονόμηση καυσίμων της τάξης του 5 – 8 % αρκεί να πραγματοποιηθούν βελτιστοποιήσεις και σε άλλα επίπεδα. Για την βελτιστοποίηση της υδροδυναμικής του πλοίου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί βελτιστοποίηση της γάστρας, να διευθετηθεί το πηδάλιο σε σχέση με την μηχανή και τέλος να τοποθετηθούν συσκευές εξοικονόμησης ενέργειας.

Υφίστανται διάφορες μορφές γάστρας οι οποίοι είναι συμβατές με τις συνθήκες βελτιστοποίησης. Οι ναυπηγοί προβαίνουν σε βελτιστοποίηση της γάστρας συνάρτηση του σχεδίου του πλοίου και σε μικρότερο βαθμό συνάρτηση του έρματος (ballast) ή των συνθηκών εκφόρτωσης. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε πως βελτιώνεται ο δείκτης αποδοτικότητας του σκελετού του πλοίου σε όρους μείωσης της αντίστασης συνάρτηση της χωρητικότητας του.

Γράφημα 7. Δείκτης αποδοτικότητας γάστρας πλοίου



Containerships

(Πηγή : Meyer , 2012)

Η αποδοτικότητα των πλοίων Containers παρουσιάζει σημαντική διακύμανση και για τον λόγο αυτό οι πλοιοκτήτες δίνουν μεγάλη βαρύτητα στα σχέδια πλοίων που προσφέρουν τα ναυπηγεία. Λόγω των ωφελειών που απορρέουν από τη εξοικονόμηση καυσίμων αλλά και των νέων διατάξεων οι πλοιοκτήτες αυτής της κατηγορίας πλοίων βελτιστοποιούν τον σκελετό του πλοίου και την προπέλα. Βάση των τελευταίων σχεδίων πλοίων που αναπτύσσουν τα ναυπηγεία η αποδοτικότητα έχει αυξηθεί κατά 5 % σε σχέση με την διακεκομμένη γραμμή του διαγράμματος 7. Εκτιμάται επίσης ότι υφίστανται περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης της τάξης του 3 – 5 %.

Όταν προτείνεται ένα σχέδιο πλοίου από το ναυπηγείο και δημιουργείται ο σκελετός θα πρέπει να γίνουν μια σειρά από τεστ που θα ελέγχουν την αντίσταση αλλά και την επίτευξη της βέλτιστης προπέλας. Θα πρέπει να εξεταστούν τουλάχιστον 3 διαφορετικά σχέδια πλοίου για ένα εύρος ταχυτήτων. Η διαδικασία των τεστ η οποία προϋποθέτει και την χρήση προηγμένων λογισμικών προγραμμάτων συνεπάγεται ένα

σημαντικό κόστος το οποίο μπορεί να ανέλθει ακόμα και στα 500.000 \$. (Larson , 2010)

Για την βελτιστοποίηση του εμπρόσθιού τμήματος του πλοίου οι ναυπηγοί θα πρέπει να λάβουν υπόψη τον βολβό του πλοίου , την ίσαλο γραμμή καθώς και τον προς τα εμπρός ώμο. Όταν ο βολβός της πλώρης είναι σωστά σχεδιασμένος τότε μειώνεται η αντίσταση του κύματος. Και ουσιαστικά παράγεται μια αυτόνομη κυματοειδής αντίσταση. Οι φυσικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την βελτιστοποίηση του βολβού είναι ο όγκος, η σχετική κάθετη προέκταση του όγκου καθώς και το σχήμα του πλοίου. Τα γρήγορα πλοία απαιτούν μεγαλύτερο όγκο και μια προς τα εμπρός κάθετη προέκταση του βολβού. (Larson , 2010)

2.4. ΧΡΗΣΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Για την εξοικονόμηση καυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κάποιες συσκευές μέθοδοι οι οποίες εστιάζουν στην βελτίωση της προωθητικής ικανότητας της προπέλας. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί συσκευές οι οποίες μειώνουν την αντίσταση τριβής της γάστρας ή κάνουν χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακή και αιολική ενέργεια. (HSVA, 2009)

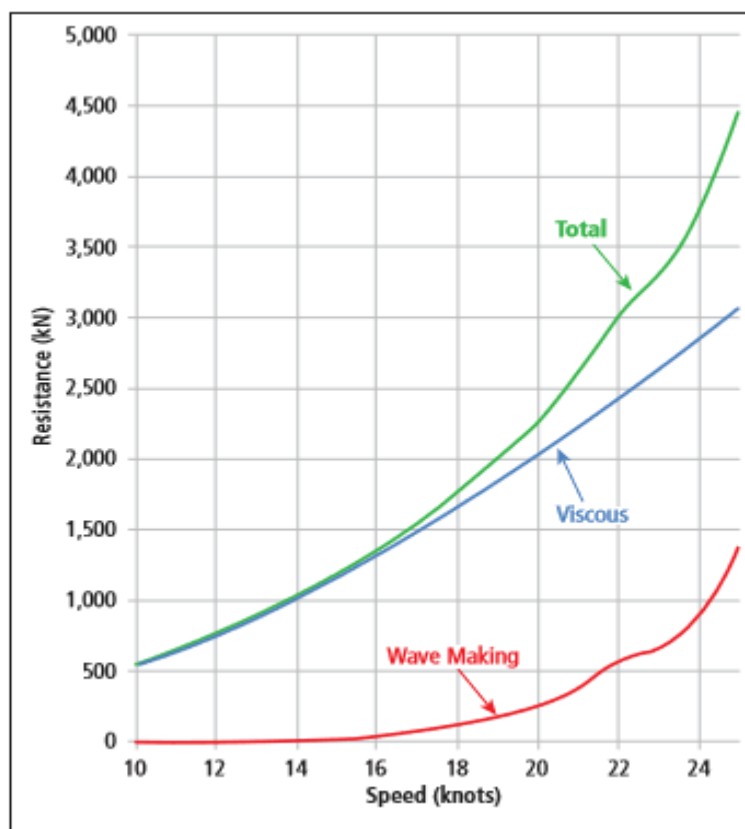
Οι συσκευές οι οποίες βελτιώνουν την λειτουργία της προπέλας μπορούν να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας έως 5 %. Οι συσκευές αυτές είναι κατάλληλες για πλοία που αναπτύσσουν χαμηλή έως μέτρια ταχύτητα ενώ το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό.

Η ιξώδης αντίσταση καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό από την συνολική τριβή της γάστρας και αυτό ισχύει κυρίως για πλοία που πλέουν με μικρότερη ταχύτητα και όπου σε αυτά η κυματοειδής αντίσταση είναι μικρότερη. Ακόμα όμως και για πλοία

που κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα αυτού του είδους η τριβή είναι επίσης σημαντική στον βαθμό που η τελευταία είναι εκθετική συνάρτηση της ταχύτητας. (HSVA, 2009)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε πως οι συνιστώσες της αντίστασης αυξάνονται με την ταχύτητα.

Γράφημα 8. Ιξώδης αντίσταση και κυματοειδής αντίσταση



(Πηγή : ABS)

Από την ιξώδη αντίσταση τριβής το σημαντικότερο ποσοστό καταλαμβάνει η αντίσταση της επίστρωσης του πλοίου (skin friction). Η τελευταία μπορεί να μειωθεί είτε με την μείωση της βρεγμένης επιφάνειας, είτε με την μείωση της ταχύτητας, είτε μέσω της βελτίωσης του τρόπου με τον οποίο η βρεγμένη επιφάνεια αλληλοεπιδρά με το νερό. Το να μειωθεί η βρεγμένη επιφάνεια ή να μειωθεί η ταχύτητα συνιστούν τους ευκολότερους τρόπους κάτι τέτοιο όμως μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία του πλοίου. Για τον λόγο αυτό οι προσπάθειες εστιάζονται στην βελτίωση της

αλληλεπίδρασης που περιγράψαμε παραπάνω. Η βελτίωση μπορεί να επέλθει μέσω της διαμόρφωση του κατάλληλου υλικού της επιφάνειας του πλοίου που βρέχεται από το νερό.

Μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για μείωση της τριβής της επίστρωσης είναι με την λίπανση του αέρα. Με την τεχνική αυτή μειώνεται η πυκνότητα του νερού που έρχεται σε επαφή με την βρεγμένη επιφάνεια του πλοίου αφού το στρώμα αυτού νερού αναμιγνύεται με αέρα ο οποίος έχει την μορφή μικρό φουσκών.

Η τεχνική λίπανσης του αέρα μπορεί να συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμων έως 10 %. Το πρόβλημα είναι ότι επειδή η εξεταζόμενη τεχνική αναφέρεται σε πρόσφατη τεχνολογία είναι ακόμα άγνωστο το εύρος των εφαρμογών της. Επιπρόσθετα το κόστος μπορεί να ανέλθει σε υψηλά επίπεδα. (HSVA, 2009)

Έρευνες γίνονται για την εύρεση μιας τέτοιας τεχνολογίας η οποία θα επηρεάζει τη υφή της γάστρας κατά τέτοιο τρόπο που θα μειώνεται η αντίσταση. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εκτιμάται ότι θα συμβάλλει σε εξοικονόμηση καυσίμων της τάξης του 5-10 %. (HSVA, 2009)

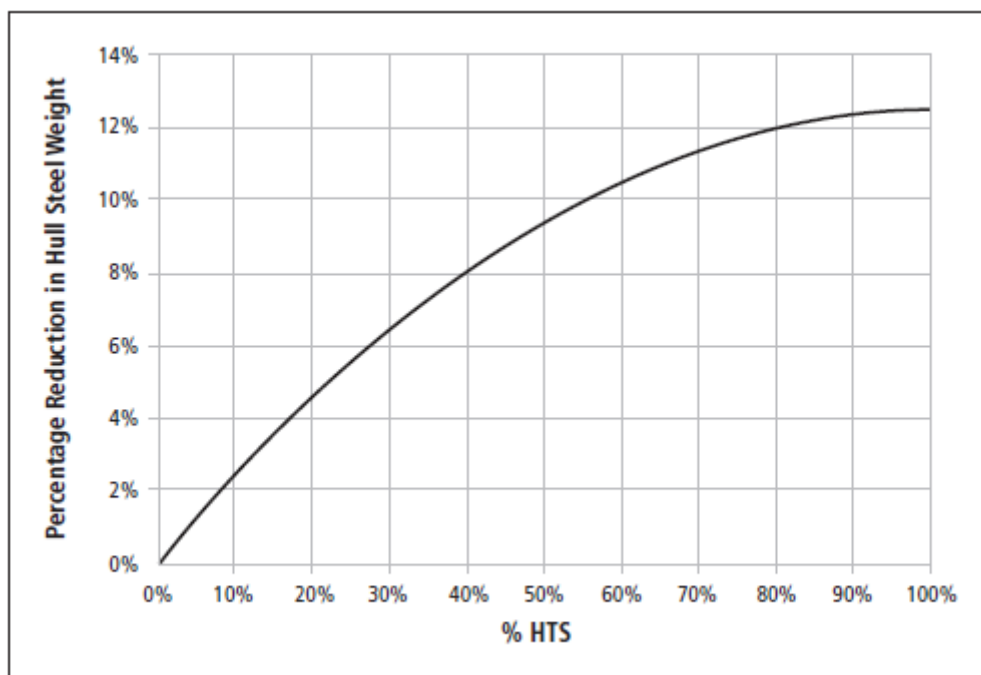
Ένας άλλος τρόπος μείωσης της αντίστασης τριβής είναι η χρήση ανανεώσιμων. Πιο εύκολο είναι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αφού αυτή βρίσκεται σε αφθονία στην θάλασσα. Με την χρήση της αιολικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση σε καύσιμα της τάξης του 30 %. Το εύρος των εφαρμογών μπορεί να περιοριστεί ανάλογα με το σχέδιο του πλοίου. Οι συσκευές που εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια είναι κατάλληλες για πλοία που πλέουν με χαμηλή ταχύτητα ενώ το κόστος της σχετικής τεχνολογίας ανέρχεται σε μέτρια επίπεδα. (HSVA, 2009)

Με την βελτιστοποίηση του βάρους του πλοίου αυξάνεται το νεκρό βάρος του πλοίου για δεδομένο μέγεθος με αποτέλεσμα να βελτιστοποιείται η απόδοση του. Για την μείωση του βάρους ενός πλοίου χρησιμοποιείται ατσάλι που έχει υψηλότερη αντοχή. Εναλλακτικά αντί να αυξηθεί το νεκρό βάρος είναι εφικτή η εξοικονόμηση καυσίμων. Το αν το ειδικό ατσάλι προορίζεται για την αύξηση της χωρητικότητας ή την εξοικονόμηση καυσίμων εξαρτάται από τα σχετικά οφέλη.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ατσάλι υψηλότερης αντοχής τότε το σχετικό βάρος μπορεί να μειωθεί από 1,5 μέχρι 2 % ενώ το νεκρό βάρος θα αυξηθεί κατά 0,3 % περίπου. Εναλλακτικά η εξοικονόμηση καυσίμων μπορεί να ανέλθει έως 0,5 %. Στο

παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε πως μειώνεται το βάρος του ατσαλιού με την χρήση ατσαλιού ειδικής αντοχής.

Γράφημα 9. Σχέση μείωσης βάρους και ποσοστό χρήσης ειδικού ατσαλιού



(Πηγή : ABS)

2.5. ΧΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Πολύ σημαντικές για το ζήτημα της εξοικονόμησης καυσίμων είναι και οι τεχνολογίες που καθορίζουν την χρήση του σχετικού καυσίμου. Τα μεγάλα εμπορικά πλοία κάνουν χρήση βαριού πετρελαίου. Οι διατάξεις που εμπεριέχονται στο IMO απαιτούν την μείωση των συστατικών NOx , Sox και CO2 που είναι ρυπογόνες και εμπεριέχονται στο καύσιμο του πετρελαίου. Η μείωση αυτών των συστατικών μπορεί

να επιτευχθεί με την χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο. Κάτι τέτοιο όμως τέτοιο συνεπάγεται υψηλό κόστος.

Η επίτευξη αποδοτικότητας όσο αναφορά τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής είναι πολύ σημαντική λόγω του υψηλού κόστους των καυσίμων αλλά και της αναγκαιότητας μείωσης των εκπομπών αερίων στα πλαίσια συμμόρφωσης με τις διεθνείς διατάξεις που περιγράψαμε προηγουμένως. Η αποδοτικότητα μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας ο οποίος θα αφορά την λειτουργία της μηχανής. Είναι πολύ σημαντικό ένα πλοίο να διαθέτει εκείνο τον εξοπλισμό ο οποίος θα καταγράφει την απόδοση της μηχανής αλλά και την κατανάλωση καυσίμων.

Αν βασικός στόχος είναι η εξοικονόμηση καυσίμων τότε ως σύστημα προώθησης του πλοίου τότε συνίσταται η χρήση μηχανής Diesel χαμηλής ταχύτητας η οποία παρουσιάζει την χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων. Για την συγκεκριμένη κατηγορία μηχανών η αποδοτικότητα αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμων μπορεί να ανέλθει έως 55 %. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι περισσότερο από το μισό του ενεργειακού περιεχόμενου του καυσίμου μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια και στην συνέχεια να διοχετευτεί στην προπέλα. (HSVA, 2009)

Οι μηχανές Diesel μέσης ταχύτητας έχουν χαμηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα της τάξης του 3 – 4 % για δεδομένο επίπεδο ισχύος της μηχανής. Οι μηχανές αυτές θα πρέπει να συνδεθούν με την προπέλα μέσω ενός μηχανισμού μείωση της ταχύτητας.

Γενικότερα και με βάση τα προαναφερθέντα ένας πλοιοκτήτης θα πρέπει να λάβει υπόψη πολλές παραμέτρους για την βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός πλοίου. Στόχος είναι η μεγιστοποίηση της κερδοφορίας και προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει από την μία να είναι υψηλή η ποιότητα των υπηρεσιών προκειμένου η ζήτηση για τις συγκεκριμένες ναυτιλιακές υπηρεσίες να είναι ισχυρή και από την άλλη θα πρέπει το κόστος να είναι το χαμηλότερο δυνατό. Το κόστος καυσίμων συνιστά σημαντικό συστατικό στοιχείο του συνολικού κόστους και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις οι οποίες θα συμβάλλουν στην μείωση του τελευταίου. Κάθε ταξίδι λοιπόν προϋποθέτει την λήψη αποφάσεων που αφορούν την βέλτιστη ταχύτητα, βέλτιστη κλίση, την επιλογή του βέλτιστου δρομολογίου ενώ καθοριστική είναι και η επιλογή του σχεδίου του πλοίου όπως και

αυτής της μηχανής. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί λογιστικά προγράμματα που λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες αυτούς και προκρίνουν την βέλτιστη λύση.

Σημαντικός παράγοντας είναι και αυτός των καιρικών συνθηκών. Παράγοντες όπως ο άνεμος και ο κυματισμός επηρεάζουν τις παραμέτρους της αντίστασης και κατ' επέκτασή την ταχύτητα και κατανάλωση καυσίμων. Πολλές φορές οι πλοιοκτήτες επιλέγουν δρομολόγια που είναι πιο ασφαλή όσο αναφορά τις καιρικές συνθήκες ακόμα και αν αυτά είναι μακρύτερα. Μάλιστα τα τελευταία χρόνια οι πλοιοκτήτες επιλέγουν τα δρομολόγια βάση των κριτηρίων της ασφάλειας και της κατανάλωσης καυσίμων ενώ παλαιότερα τα κριτήρια ήταν οι προβλεπόμενες καιρικές συνθήκες και η απόσταση.(16) Όταν οι καιρικές συνθήκες χρησιμοποιούνται ως εργαλείο βελτιστοποίησης τότε στόχος είναι η επίτευξη της άριστης ταχύτητας με την ελάχιστη κατανάλωσης καυσίμων με την διασφάλιση ταυτόχρονα των συνθηκών ασφάλειας για το πλήρωμα.

Η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών συνιστά μια υπηρεσία η οποία παρέχεται από τη αρμόδια εταιρεία η οποία είναι εξειδικευμένη στην συλλογή και επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Με την πάροδο του χρόνου τα μοντέλα πρόβλεψης καιρού χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ μπορούν να γίνουν και σχετικά ασφαλής προβλέψεις κάποιες μέρες πριν. Οι Υπηρεσίες στις οποίες αναφερόμαστε κοστίζουν από 200 έως 1000 δολάρια ανά ταξίδι. Τέλος η επιλογή του δρομολογίου βάση καιρικών συνθηκών ενδείκνυται για μακρινές αποστάσεις άνω των 1500 ν.μ όπου σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν αρκετές επιλογές διαδρομών που καταλήγουν στον τελικό προορισμό. Επίσης χρήση αυτών των υπηρεσιών κάνουν τα γρηγορότερα πλοία. (Towsin, 1993)

ΚΕΦΑΛΙΟ 3

3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα αναπτύξαμε κάποιες μεθόδους εξοικονόμησης καυσίμων με απώτερο σκοπό την μείωση του λειτουργικού κόστους αλλά και την μείωση των εκπομπών αερίων. Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε εκτενώς στο ζήτημα της βέλτιστης κλίσης του πλοίου η οποία δύναται να συμβάλλει σε εξοικονόμηση καυσίμων.

3.1 Η ΚΛΙΣΗ ΕΝΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ένας πλοιοκτήτης μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμα βελτιστοποιώντας την ταχύτητα ή παρεμβαίνοντας στην γάστρα αλλά και στο σχέδιο του πλοίου. Επίσης μπορεί να εισάγει ειδικές συσκευές , να επιλέξει μία διαδρομή όπου οι καιρικές συνθήκες θα είναι ευνοϊκές, να χρησιμοποιήσει συγκεκριμένες μηχανές κ.α. Με την βελτιστοποίηση της κλίσης ο πλοιοκτήτης δεν είναι αναγκασμένος να παρέμβει στο σχέδιο του πλοίου.

Η συγκεκριμένη τεχνική είναι σχετικά φθηνή αφού το κόστος συλλογής δεδομένων ανέρχεται από 50.000 μέχρι 100.000 δολάρια. Επίσης το κόστος για την χρήση των δεδομένων ανέρχεται μεταξύ 500 και 5000 \$. Η βελτιστοποίηση της κλίσης μπορεί να συμβάλλει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμων από 1 μέχρι 3 % και ενδείκνυται για πλοία που εκτελούν μεγάλα δρομολόγια. Για πλοία τύπου container τα οποία δεν είναι πλήρως φορτωμένα η εξοικονόμηση καυσίμων μπορεί να ανέλθει στο 5 %.

(Reichel et al, 2014)

Η κλίση / διαγωγή ενός πλοίου είναι μία κατάσταση στην οποία το πλοίο δεν είναι ζυγιστάθμισμένο που σημαίνει πρακτικά ότι δεν είναι ισοβύθιστο κατά το διάμηκες. Η διαγωγή συμβολίζεται , με d και υφίσταται όταν παρατηρείται διαφορά μεταξύ του

πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος (17). Όταν η διαφορά είναι ίση με το μηδέν ($d = 0$) τότε το πλοίο δεν παρουσιάζει διαγωγή (even keel). Ο τύπος είναι $TA - TF$ όπου

$TA =$ βύθισμα πρύμνης

$TF =$ βύθισμα πλώρης

Ένα πλοίο μπορεί να παρουσιάσει 2 ειδών μορφών διαγωγής. Στην έμπρυσμη διαγωγή το πρωραίο βύθισμα είναι μικρότερο του πρυμναίου. Στην έμπρωρη διαγωγή το πρωραίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο του πρυμναίου. (Reichel et al, 2014) . Στη παρακάτω εικόνα 1 βλέπουμε την περίπτωση όπου η πλώρη δεν έχει το ίδιο βύθισμα με την πρύμη.

Εικόνα 1. Πλοίο που παρουσιάζει διαγωγή



(Πηγή: www.hapag-loyd.com)

Βάση της εικόνας 1 το πρώτο πλοίο παρουσιάζει μεγαλύτερο βύθισμα στην πρύμη ενώ το δεύτερο πλοίο παρουσιάζει μεγαλύτερο βύθισμα στην πλώρη.

Η διαμόρφωση μιας άριστης διαγωγής μπορεί να συμβάλλει στην μείωση των εκάστοτε αντιστάσεων οι οποίες μειώνουν την ταχύτητα του πλοίου και συνεπώς στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Η άριστη διαγωγή (trim optimization) είναι εκείνη η γωνία του πλοίου η οποία δημιουργεί συνθήκες ελάχιστης απαιτούμενης ισχύος της μηχανής. Για το δεδομένο τύπο του πλοίου θα πρέπει να βρεθεί εκείνη η τιμή d για την οποία η απαιτούμενη ισχύς θα ελαχιστοποιείται. Όταν η τελευταία είναι χαμηλή τότε και η κατανάλωση καυσίμων θα είναι μικρότερη. Να σημειώσουμε ότι οι μεταβολές στην διαγωγή του πλοίου επηρεάζουν κυρίως την αντίσταση κυματισμού. Αν ελαχιστοποιηθεί η τελευταία τότε η διαδικασία βελτιστοποίησης θα είναι επιτυχής.

3.2 Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η ισχύς πρόωσης εξαρτάται όπως βλέπουμε και παρακάτω από την ταχύτητα του πλοίου V από την αντίσταση της γάστρας R_t και από την από την αποτελεσματικότητα πρόωσης η_t .

Ο στόχος για δεδομένο επίπεδο ταχύτητας θα πρέπει να είναι η μείωση της απαιτούμενης ισχύς P_d αφού με τον τρόπο αυτό θα μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων. Προκειμένου να μειωθεί η απαιτούμενη ισχύς θα πρέπει είτε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα πρόωσης ή να μειωθεί η αντίσταση.

$$P_D = \frac{R_T \cdot V}{\eta_T}$$

Η αντίσταση της γάστρας ισούται με

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_T$$

Όπου V είναι η ταχύτητα του πλοίου, S είναι η βρεγμένη επιφάνεια και C_T είναι ο συντελεστής της συνολικής αντίστασης.

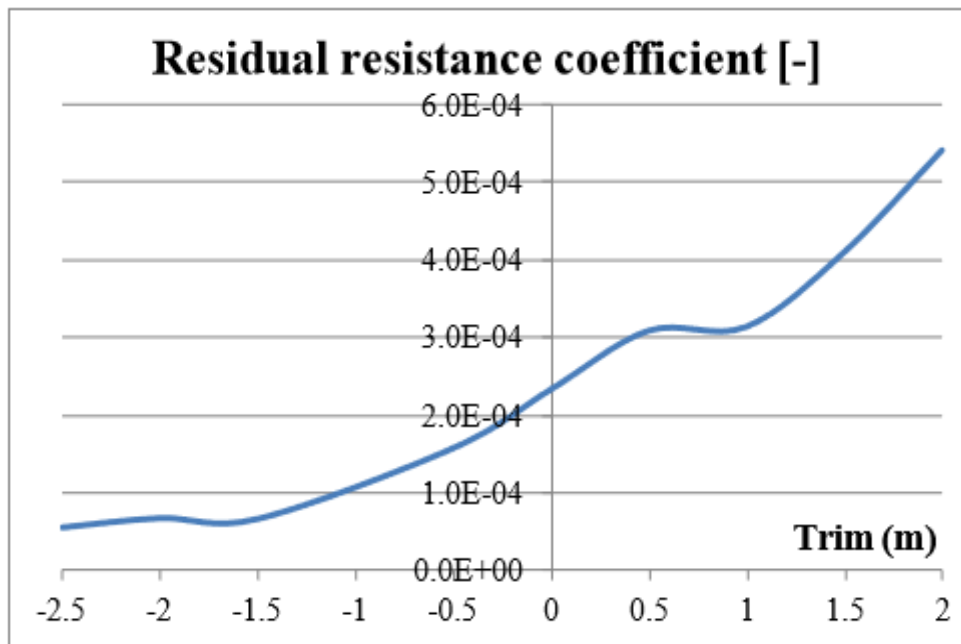
Ο συντελεστής συνολικής αντίστασης ισούται με

$$C_T = C_R + (1 + k)C_F + C_A$$

Όπου C_R είναι η υπολειμματική αντίσταση και C_A η αντίσταση τριβής.

Έχει αποδειχτεί ότι το 80 % της εξοικονόμησης λόγω της διαμόρφωσης της κατάλληλης διαγωγής προέρχεται από την υπολειμματική αντίσταση. Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε πως διαμορφώνεται η υπολειμματική αντίσταση συνάρτηση της διαγωγής για ένα μέσο πλοίο.

Γράφημα 10. Σχέση υπολειμματικής αντίστασης και διαγωγής



(Πηγή : Lemb 2012)

Η αποδοτικότητα πρόωσης μπορεί να περιγραφεί από τον ακόλουθο τύπο

$$\eta_T = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_{RR}$$

Όπου ο πρώτος όρος του γινομένου εκφράζει την αποδοτικότητα της γάστρας, ο δεύτερος όρος εκφράζει την αποδοτικότητα της προπέλας και ο τρίτος όρος την περιστροφική αποδοτικότητα.

Η αποδοτικότητα της γάστρας ισούται με

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w}$$

Όπου w είναι ο συντελεστής του όμορου (wake fraction) και t ο συντελεστής μείωσης ώσης. Να σημειώσουμε ότι ο συντελεστής όμορου εκφράζει την διαφορετική τιμή του πεδίου ταχυτήτων όπου λειτουργεί η έλικα ενώ ο συντελεστής ώσης μας δείχνει

την μείωση της διαθέσιμης ώσης απόρροια αλλαγών στην κατανομή των πιέσεων που ασκούνται στο πίσω μέρος του σκάφους από την λειτουργία της προπέλας αλλά και την αύξηση της αντίστασης.

Ο συντελεστής ώση ισούται με

$$t = \frac{T - R_T}{T}$$

Όπου T είναι η ώση της έλικας και R_t είναι η συνολική αντίσταση.

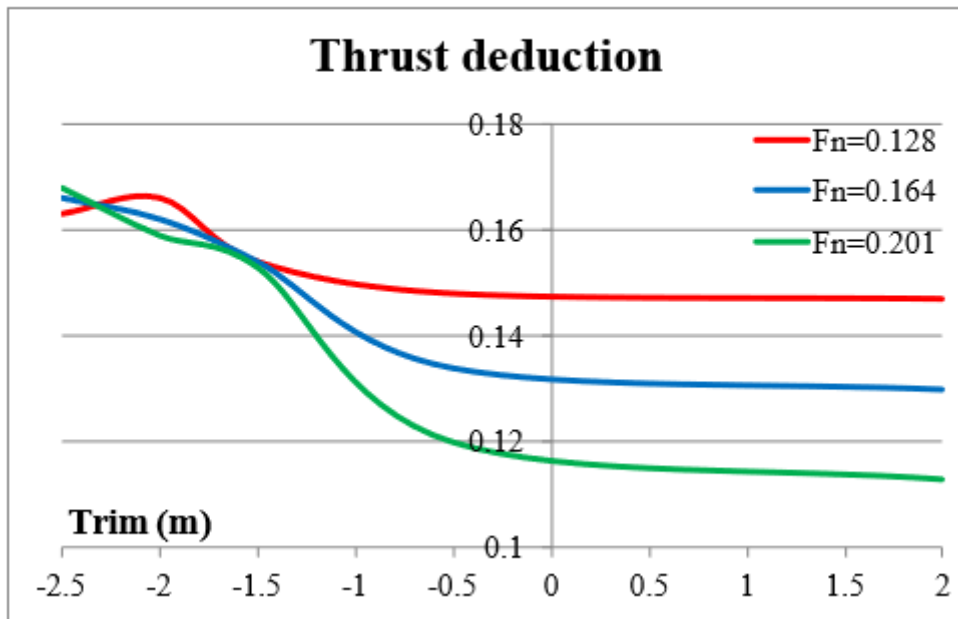
Ο συντελεστής όμορου ισούται με

$$w = \frac{V - V_A}{V_A}$$

Όπου V είναι η ταχύτητα του πλοίου και V_a η ταχύτητα της προπέλας.

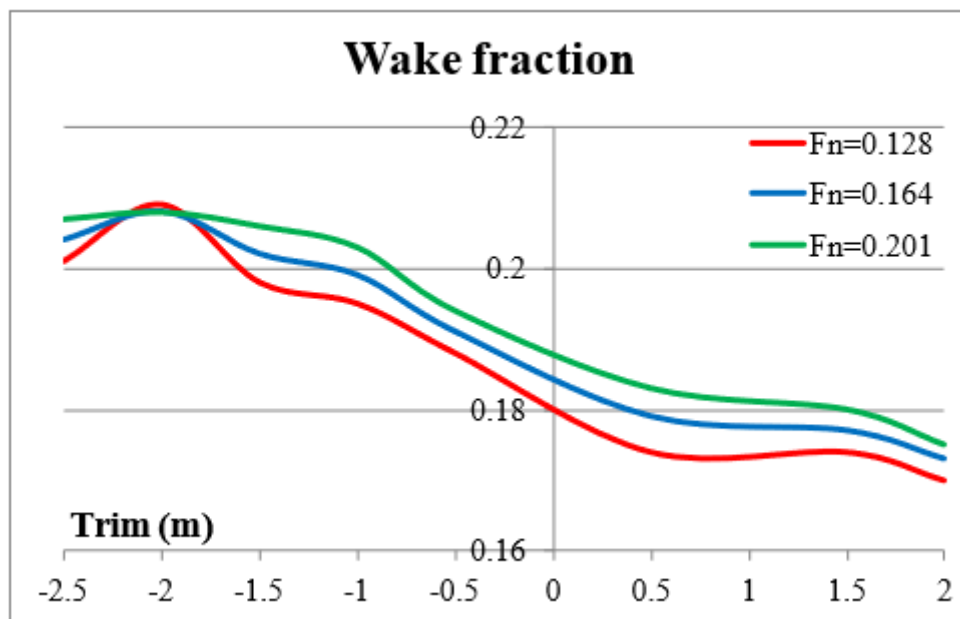
Η διαγωγή του πλοίου επηρεάζει τα μεγέθη t και w και συνεπώς τη αποδοτικότητα πρόωσης αλλά και την απαιτούμενη ισχύ. Στα παρακάτω διαγράμματα δείχνουμε πως η κλίση του πλοίου επηρεάζει τα συγκεκριμένα μεγέθη.

Γράφημα 11. Σχέση μείωση ώσης και διαγωγής



(Πηγή : Lemb 2012)

Γράφημα 12. Σχέση συντελεστή όμορου και διαγωγής



(Πηγή : Lemb 2012)

3.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ποικίλλα εργαλεία εύρεσης της άριστης διαγωγής η οποία συμβάλλει στην μείωση του κόστους των καυσίμων. Τα εργαλεία τα οποία ορίζουν την βέλτιστη διαγωγή για δεδομένο βύθισμα χρησιμοποιούν το καθένα από αυτά διαφορετικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται σε θεωρητικούς υπολογισμούς αλλά και σε μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.

Τα παραδοσιακά μοντέλα εντοπίζουν την άριστη διαγωγή / κλίση για δεδομένο βύθισμα του πλοίου σε συνθήκες ήρεμης θάλασσας. Μεταξύ των υποψηφίων διαγωγών υπολογίζεται εκείνη η οποία προκαλεί την μικρότερη αντίσταση για δεδομένο βύθισμα. Ανάλογα με την διαγωγή θα υπάρχει διαφοροποίηση της τάξης του 0 – 4% αναφορικά με την ισχύ. (Carlton, 2007) . Παράλληλα θα πρέπει να διεξάγονται και τεστ πρόωσης προκειμένου να εντοπιστούν οι αλλαγές στον συντελεστή μείωσης της ώσης αλλά και στον συντελεστή όμορου αφού οι συντελεστές αυτοί επηρεάζονται από την διαγωγή και το βύθισμα. Τα τεστ αυτά είναι σκόπιμο να διενεργούνται στο στάδιο κατασκευής του πλοίου. (Carlton, 2007)

Τα προγράμματα CFD (computational fluid dynamics) συμπληρώνουν ή αντικαθιστούν τα παραδοσιακά μοντέλα και τα τελευταία χρόνια είναι αρκετά διαδεδομένα αφού η πρόβλεψη της απαιτούμενης ισχύς είναι πιο ακριβής. Τα προγράμματα αυτά βασίζονται σε κώδικες που ενσωματώνουν σύγχρονες θεωρίες πρόωσης με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να εντοπίζουν ακόμα και μικρές αλλαγές αντίστασης στην πλώρη και στην πρύμη.

Μέσω των προγραμμάτων αυτών είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων. Βελτιώνεται επίσης η σχεδίαση της γάστρας έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η αντίσταση. Το πρόγραμμα αυτό μεγιστοποιεί την απόδοση της γάστρας λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους συμπεριλαμβανομένου της διαγωγής του πλοίου αλλά και της κατάστασης της θάλασσας.

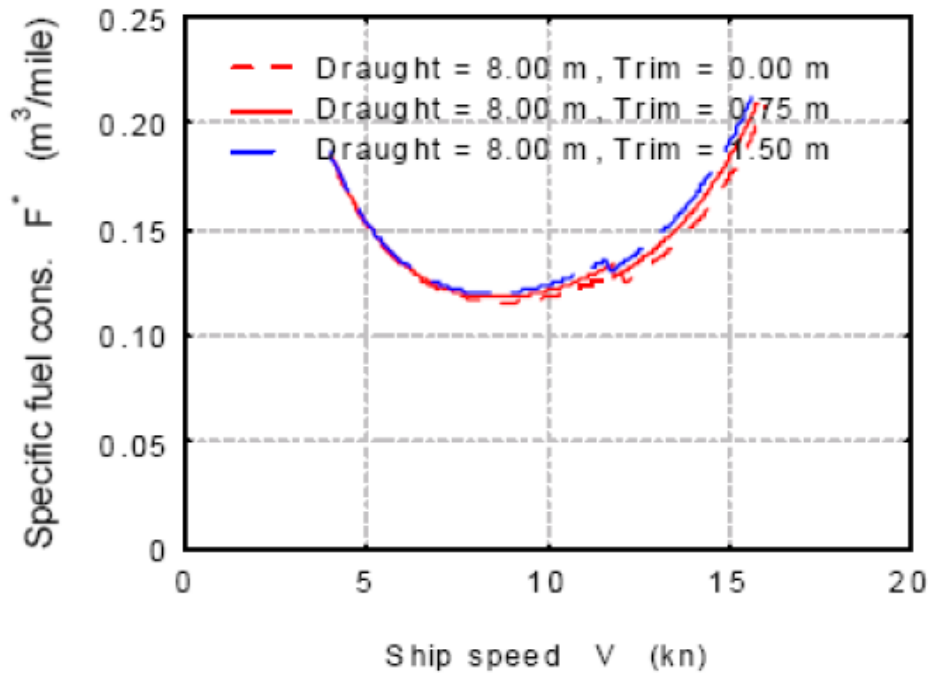
Προκειμένου αυτά τα προγράμματα να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά είναι απαραίτητη και η ύπαρξη δεξιοτήτων από πλευράς χρηστών. Τα CFD κάνουν χρήση μια τέτοιας προσέγγισης όπου η άριστη διαγωγή εξάγεται μέσω υπολογισμών και όχι μέσω τεστ.

Άλλος τρόπος εύρεσης της άριστης διαγωγής είναι η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμων για κάποια επίπεδα διαγωγής και διαφορετικά βυθίσματα ενώ το πλοίο βρίσκεται εν πλω. Ενώ η μέθοδος αυτή είναι φαινομενικά εύκολη στερείται ακρίβειας αφού υπάρχει όπως γνωρίζουμε πληθώρα παραγόντων που επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμων και την ισχύ πέρα από την διαγωγή. Οι αλλαγές στην αντίσταση που προέρχονται από αλλαγές στην κλίση είναι αρκετά μικρές και είναι δύσκολο να απομονωθούν αφού ταυτόχρονα υπαισέρχονται και άλλοι παράγοντες μεταβολής της αντίστασης όπως η επιπλέον αντίσταση από τον κυματισμό όταν η θάλασσα δεν είναι ήρεμη, η αντίσταση από τον αέρα, ο τύπος της μηχανής, η ταχύτητα, το φορτίο κ.α. (Carlton, 2007). Προκειμένου να εντοπιστούν οι επιπτώσεις της μεταβολής της διαγωγής στην αντίσταση και κατ' επέκταση στην κατανάλωση καυσίμων θα πρέπει σε κάθε δοκιμή σε πραγματικό χρόνο να διατηρηθούν κάποιοι παράγοντες σταθεροί όπως η ταχύτητα, οι καιρικές συνθήκες, το φορτίο κ.α.

Η επιλογή της άριστης διαγωγής μπορεί να συμβάλλει σε εξοικονόμηση καυσίμων ακόμα και ως 5 %. Αυτό πρακτικά σημαίνει και με δεδομένο το κόστος των σχετικών επενδύσεων το οποίο είναι αρκετά χαμηλό ότι η περίοδος επανάκτησης του κεφαλαίου δηλαδή το χρονικό διάστημα που απαιτείται έτσι ώστε ο πλοιοκτήτης να κάνει απόσβεση των κεφαλαίων που χρησιμοποίησε είναι χαμηλό.

Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε πως διάφορα επίπεδα διαγωγής επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων με το βύθισμα να παραμένει σταθερό και την ταχύτητα να μεταβάλλεται.

Γράφημα 13. Σχέση μεταξύ διαγωγής και κατανάλωσης καυσίμων



(Πηγή : Petturson, 2009)

3.4 Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΩΝ CONTAINERS

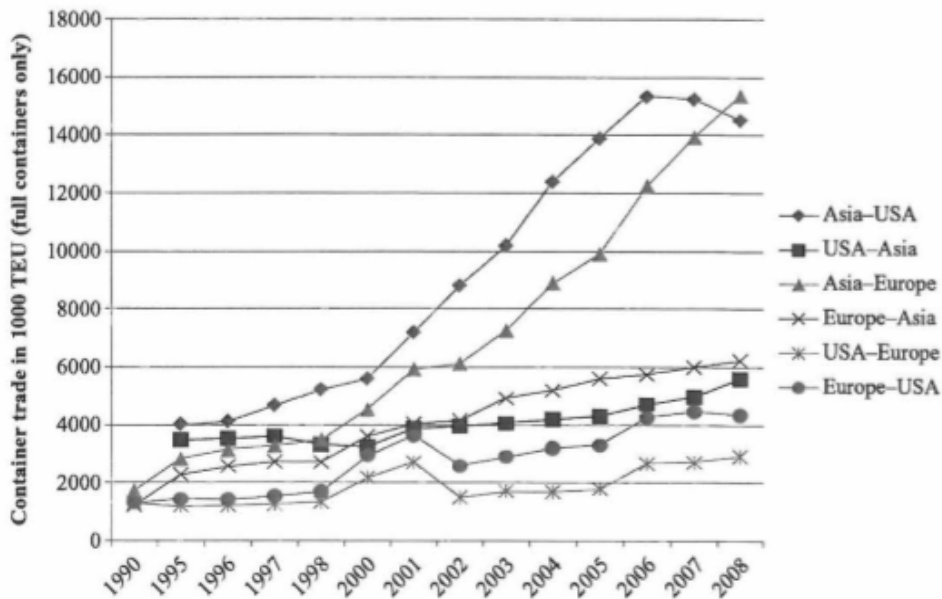
Τα containers γνώρισαν σημαντική ανάπτυξη μετά την δεκαετία του 1970 όπου άρχισε να ανθεί το διεθνές εμπόριο και του οποίου η ανάπτυξη συνεχίστηκε με μεγαλύτερη ένταση από το 90 και ύστερα. (Wilson et al, 2001) . Με την πάροδο μάλιστα του χρόνου το μέγεθος αυτής της κατηγορίας αυξήθηκε σημαντικά με στόχο την εκμετάλλευση του φαινομένου των οικονομιών κλίμακας. (KPMG , 2015)

Τα πλοία τύπου container έχουν ως βασική δραστηριότητα το να μεταφέρουν εμπορεύματα που βρίσκονται στοιβαγμένα σε containers τα οποία μπορεί να είναι διαστάσεων 20 ή και 40 πόδια. Αρχικά η διακίνηση φορτίων με containers ήταν περιορισμένη αφού οι πλοιοκτήτες ήταν δισταχτικοί στο να πραγματοποιήσουν τις σχετικές επενδύσεις. Στην συνέχεια όμως η ανάπτυξη του κλάδου όπως αναφέραμε ήταν εκρηκτική. Ο κλάδος έχει σχετικά μικρή ιστορία η οποία ανέρχεται στα 50 χρόνια. (KPMG , 2015)

Τα συγκεκριμένα πλοία μεταφέρουν εκατοντάδες containers και σταθμεύουν σε διάφορα λιμάνια πολλές φορές μεγάλα σε αριθμό προκειμένου να φορτώσουν και να ξεφορτώσουν εμπορεύματα. Με την ανάπτυξη του κλάδου διευκολύνθηκε και το διεθνές εμπόριο ενώ οι εισαγωγικές εταιρείες εισάγουν πλέον τα εμπορεύματα με χαμηλότερο κόστος και σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του κλάδου διαδραμάτισε και η είσοδος της Κίνας στο διεθνές εμπόριο ειδικά στις αρχές του νέου αιώνα. Πλέον η διακίνηση των φορτίων μέσω αυτών των πλοίων έχει ως επίκεντρο τις χώρες της Νότιο Ανατολικής Ασίας συμπεριλαμβανομένου βέβαια και τις Κίνας ενώ τα δρομολόγια στις Ευρωπαϊκές χώρες έχουν σημειώσει κάμψη. Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε την γεωγραφική κατανομή της διακίνησης φορτίων βάση container στις διάφορες περιοχές του πλανήτη. Το 20 % της διακίνησης εμπλέκει τα λιμάνια της Ανατολικής Ασίας.

Γράφημα 14. Διακίνηση Container διεθνώς



(Πηγή: Drewry 2006)

Ο κλάδος των containers ήταν διαμελισμένος μέχρι το 2001. Στην συνέχεια όμως και αφού πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από συγχωνεύσεις και εξαγορές ο βαθμός συγκέντρωσης αυξήθηκε σημαντικά. Πλέον οι δέκα μεγαλύτερες εταιρείες κατέχουν το 60 % περίπου του μεριδίου αγοράς. (KPMG , 2015)

3.5 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η φόρτωση και εκφόρτωση συνιστά ένα σημαντικό μέρος του προγράμματος ενός πλοίου. Το τελευταίο περιγράφει τη ακολουθία των φορτίων που παραδίδονται από ένα πλοίο το μέγεθος των φορτίων αλλά και τα είδη φορτίων που επιτρέπεται να μεταφέρει τη αρχική ανοιχτή θέση την ταχύτητα , την κατανάλωση καυσίμων αλλά και τα λειτουργικά κόστη καθημερινού χαρακτήρα. (Avriel et al, 2000)

Ο σχεδιασμός της στοιβασίας προσδιορίζει το που θα πρέπει να φορτωθούν τα εμπορευματοκιβώτια προκυμμένου να πραγματοποιηθεί η καλύτερη δυνατή φόρτωση και εκφόρτωση του. Την διαδικασία αυτήν την αναλαμβάνει ο υπεύθυνος σχεδίασης

στοιβασίας . Η βελτιστοποίηση της όλης διαδικασίας συνίσταται στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης φορτοεκφόρτωσης. Σε περίπτωση που υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις τότε η μορφή των υπηρεσιών θα αποκλίνει από αυτό που αποκαλούμε 'just in time' με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας των υπηρεσιών. Κάτι τέτοιο θα προκαλέσει μείωση της ζήτησης για τις συγκεκριμένες υπηρεσίες και πτώση των εσόδων. (Avriel et al, 2000)

Η στοιβασία εξαρτάται κυρίως από παράγοντες όπως το μέγεθος του πλοίου αλλά και την ροή της ζήτησης η οποία καθορίζει το δρομολόγιο αλλά και τον αριθμό των ενδιάμεσων λιμανιών (Transit) ωστόσο το πλοίο φτάσει στον τελικό προορισμό του. Το πρόβλημα της στοιβασίας στον βαθμό που λαμβάνει υπόψη αρκετές παραμέτρους μπορεί να γίνει αρκετά σύνθετο ακόμα και για μικρά πλοία ή και για πλοία που δεν σταθμεύουν σε πολλούς ενδιάμεσους σταθμούς. Να σημειώσουμε επίσης ότι πολλές φορές η φύση των εμπορευμάτων είναι τέτοια που θα πρέπει να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένα σημεία. (Reichel et al, 2014)

Σε μια αποτελεσματική στοιβασία ο χρόνος εκφόρτωσης και φόρτωσης θα είναι μικρός και το πλοίο θα φτάνει έγκαιρα ή ακόμα και νωρίτερα από το αναμενόμενο στον προορισμό του. Με τον τρόπο αυτό οι πελάτες θα είναι ικανοποιημένοι ενώ υπάρχει χρόνος και για περισσότερα ταξίδια. Όταν πραγματοποιείται ο σχετικός σχεδιασμός θα πρέπει να λαμβάνονται εκτιμήσεις για τους λιμένες σχετικά με την κυκλική εναλλαγή των πλοίων ,τις ευχέρεια πρόσβασης προβλήτας τον σωστό διαχωρισμό του φορτίου, τον αριθμό των γερανών που απαιτούνται για την διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης καθώς και τη συνολική σταθερότητα του πλοίου. (Avriel et al, 2000)

Γενικότερα ο σωστός προγραμματισμός αποσκοπεί από την μία στην ελαχιστοποίηση των φορτώσεων και εκφορτώσεων και από την άλλη θα πρέπει να επιτευχθούν κάποιοι αντικειμενικοί σκοποί όπως η ελαχιστοποίηση του έρματος, η μεγιστοποίηση της διαθέσιμης χωρητικότητας , η ελαχιστοποίηση των στρεπτικών δυνάμεων αλλά και η επίτευξη βέλτιστης διαγωγής / κλίσης η οποία θα συμβάλλει όπως είδαμε και σε προηγούμενες ενότητες στην εξοικονόμηση καυσίμων. Επιπρόσθετα υφίστανται και άλλοι περιορισμοί όπως συγκεκριμένες απαιτήσεις για το στοίβασμα επικίνδυνου εμπορεύματος, οι αντοχές του καταστρώματος όπου στοιβάζονται τα containers αλλά

και ένα συγκεκριμένο μείγμα που πρέπει να υφίσταται μεταξύ διάφορων τύπων containers. (Avriel et al, 2000)

Όπως αντιλαμβανόμαστε η στοιβασία των containers επηρεάζει και την διαγωγή του πλοίου. Ανάλογα με τον αν στην πλώρη στοιβάζονται containers με μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με την πρύμνη ή το αντίστροφο θα διαμορφωθεί και η διαγωγή του πλοίου. Κατά την διαδικασία της στοιβασίας η διαγωγή ενός πλοίου συνιστά έναν περιορισμό. Μπορεί π.χ. η βέλτιστη στοιβασία να συνίσταται στην τοποθέτηση περισσότερων containers στην πρύμη αλλά κάτι τέτοιο να δημιουργεί μία τέτοια διαγωγή η οποία αποκλίνει από τη άριστη τιμή και η οποία τιμή όπως γνωρίζουμε συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμων. Συνεπώς ο αρμόδιος θα πρέπει να εξισορροπήσει μεταξύ αυτών των δύο στόχων. Γενικότερα μια βέλτιστη στοιβασία μπορεί να έχει αρνητική επίπτωση σε μια άλλη μεταβλητή αποδοτικότητας και συνεπώς θα πρέπει να σταθμιστούν όλοι οι παράγοντες αποδοτικότητας οι οποίοι ενισχύουν την περιπλοκότητα του προγραμματισμού.

Έχοντας αναφέρει και το πρόβλημα της στοιβασίας του πλοίου όπου η κατανομή του φορτίου στο πλοίο θα πρέπει να πραγματοποιείται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διευκολύνεται η φόρτωση και η εκφόρτωση, μπορούμε να δούμε ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την διαγωγή. Καταρχήν η αντίσταση του αέρα και του κύματος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες αναμένεται να αυξήσουν την αντίσταση και συνεπώς να δυσχεράνουν την εξοικονόμηση καυσίμων. Σε αυτή την περίπτωση η άριστη διαγωγή αναμένεται να αποκτήσει μεγάλη σημασία.

Σημαντικός είναι και ο παράγοντας της ταχύτητας του πλοίου αλλά και το είδος της γάστρας. Για δεδομένη ταχύτητα του πλοίου υφίσταται μια συγκεκριμένη άριστη διαγωγή ενώ για κάθε πλοίο και βάση του σχεδίου του υπάρχει ένας άριστος συνδυασμός διαγωγής και ταχύτητας. Όπως και η στοιβασία με την διαγωγή ως στόχοι βελτιστοποίησης της απόδοσης του πλοίου έτσι και η διαγωγή με την ταχύτητα μπορούν να συνιστούν αντικρουόμενοι στόχοι. Από τη μία μια υψηλή ταχύτητα μπορεί να μην συμβάλλει σε μια άριστη διαγωγή βάση κατασκευής του πλοίου αφού για κάθε πλοίο υφίσταται ένας άριστος συνδυασμός διαγωγής και ταχύτητας πάντα βάση την κατασκευή του. Από την άλλη όμως μία υψηλή ταχύτητα ακόμα και αν συνεπάγεται σημαντική κατανάλωση καυσίμων αναμένεται να

βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών γεγονός που μεταφράζεται σε υψηλότερη ζήτηση. Επίσης όταν το πλοίο πλέει με υψηλή ταχύτητα τότε θα μπορεί να εκτελέσει περισσότερα δρομολόγια γεγονός που θα συμβάλλει σε υψηλότερα έσοδα.

Άλλος παράγοντας είναι και τα κεφάλαια που μπορεί να διαθέσει η πλοιοκτήτρια εταιρεία για την αγορά της κατάλληλης τεχνολογίας. Είδαμε ότι διαφορετικές συσκευές αποδίδουν διαφορετική άριστη διαγωγή. Μία εταιρεία η οποία κάνει χρήση των πλέον τεχνολογικά προηγμένων συσκευών αναμένεται να λάβει μία άριστη διαγωγή με πολύ μικρό περιθώριο σφάλματος.

Τέλος όπως είδαμε είναι και ο παράγοντας της στοιβασίας. Η πλοιοκτήτρια εταιρεία θα πρέπει να εξισορροπήσει μεταξύ των στόχων της αποτελεσματικής φόρτωσης και εκφόρτωσης αλλά και της άριστης διαγωγής. Τα δρομολόγια του πλοίου μπορεί να είναι τέτοια που να επιτάσσουν μία τέτοια κατανομή φορτίου η οποία αναπόφευκτα θα επηρεάσει την διαγωγή.

Η βελτιστοποίηση της διαγωγής ενός πλοίου παρουσιάζει ως μέθοδος εξοικονόμησης καυσίμων και κάποια μειονεκτήματα. Κατ' αρχήν η μέθοδος αυτή δεν συμβάλλει σε τεράστια εξοικονόμηση καυσίμων και ενδείκνυται κυρίως για πλοία που πραγματοποιούν μακρινά ταξίδια. Επίσης η διαγωγή ενός πλοίου επηρεάζεται από την κατανομή του φορτίου στην πλώρη και πρύμνη. Η σχετική βέλτιστη κατανομή βάρους όμως μπορεί να ορίζει μια τέτοια κλίση που δεν θα είναι η άριστη. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι πολλές φορές οι πλοιοκτήτες τίθενται αντιμέτωποι με 2 αντικρουόμενους στόχους. Από την μία θα πρέπει να ορίσουν την στοιβασία κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος φόρτωσης και εκφόρτωσης και από την άλλη θα πρέπει να επιτύχει μία βέλτιστη διαγωγή / κλίση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρουμε τα δεδομένα που ελήφθησαν για την ανάλυση της πραγματικής διαγωγής σε διαφορετικά σενάρια πλεύσης με σκοπό την πιο συμφέρουσα κατανάλωση καυσίμων . Η συλλογή των δεδομένων και η ανάλυση τους για λόγους απορρήτου δεν μπορούν να δοθούν όπως τα στοιχεία της εταιρείας και τα ονόματα των πλοίων. Το κεφάλαιο αρχίζει με την περιγραφή δεδομένων που αφορά την λειτουργία ενός στόλου από πλοία όπου σχετίζονται με ταξίδια δίνοντας έμφαση στην διαγωγή που έχουν επιλέξει αλλά και την κατανάλωση τους. Εξετάζουμε 5 πλοία όμοια-αδερφά τύπου Containers που είχαν χρονοδιάγραμμα δρομολόγησης σε διάφορα ταξίδια. Τα δεδομένα αφορούν μετρήσεις βασισμένες σε πραγματικά στοιχεία, ακριβή χωρίς την πραγματοποίηση δεξαμενισμού , με ανταλλαγή έρματος καθώς και την αφαίρεση ημερών σταλιών στα λιμάνια των ταξιδιών τους.

4.1. ΣΤΟΛΟΣ ΠΛΟΙΩΝ

Συγκεκριμένα αναφερόμαστε σε 5 πλοία ίδιου τύπου container τα οποία είχαν πρόγραμμα ταξιδιού για 100 ταξίδια για τα έτη 2015-2016 στον Ατλαντικό Ωκεανό και Ινδικό Ωκεανό. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 τα πλοία έχουν πλάτος 40μ. , βάθος κύτους 20.16μ. , ύψος 55μ. , 81.462 χωρητικότητας (νεκρό βάρος) και εκτόπισμα 107.762 τόνους.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Πλοίων

L.O.A.:	303.954 m
L.B.P.:	294,11 m
BREADTH:	40 m
DEPTH:	20.16 m
MAX HEIGHT:	55 m
SUMMER DRAFT:	14,022 M
SUMMER FREEBOARD:	6,180 m
SUMMER DEADWEIGHT:	81462
SUMMER DISPLACEMENT	107762
T.P.C. AT SUMMER DRAFT:	101,86 Tons/cm
F.W.A.:	264,5 mm
LIGHT SHIP	26.300 M/T
F.O. CAPACITY C/M @ 100% :	8164 cub.m
D.O. CAPACITY C/M @ 100% :	458,7 cub.m
BALLAST W. CAPACITY C/M @ 100% :	19175,0 cub.m
FRESH WATER CAPACITY C/M @ 100% :	405 cub.m
CONTAINER'S CAPACITY :	6.420 TEUS
REEFERS:	200 Units in hold & 300 Units on deck
MAIN ENGINE:	MAN B&W 10K98MC-C / 77600 BHP / 25,5 knots
BOW THRUSTER:	ELECTRIC MOTOR DRIVEN 1 SET x 2.500 KW / 3400 BHP

(Πηγή: Δεδομένα Ανώνυμης Ναυτιλιακής Εταιρεία)

4.2. ΣΧΕΔΙΟ ΠΛΕΥΣΗΣ

Ένα αναπόσπαστο κομμάτι στον τρόπο διαχείρισης του πλοίου σχετικά με την απόδοση του είναι το σχέδιο πλεύσης του (Passage Plan). Προετοιμάζεται από έμπειρο αξιωματικό (Deck Officer) του καταστρώματος του πλοίου και ύστερα αποστέλλεται στην ναυτιλιακή εταιρεία. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι το πλοίο θα ακολουθήσει τις απαιτούμενες διαδρομές για να φτάσει στο λιμάνι προορισμού. Αφορά τον προγραμματισμό αλλά και την εκτέλεση ενός ταξιδιού από την αναχώρηση του λιμανιού μέχρι το προσάραξη του σε άλλο λιμάνι. Περιλαμβάνει τέσσερα σημαντικά στάδια όπως αξιολόγηση , σχεδιασμός , εκτέλεση και παρακολούθηση. Η συλλογή από σχέδια πλεύσης ανέρχεται στο ίδιο αριθμό με τα ταξίδια. Παρακάτω στον πίνακα 2 φαίνεται πως είναι ένα παράδειγμα σχέδιο πλεύσης.

ταχύτητα σε σχέση με τον καιρό, όπως επίσης και η απαιτούμενη δύναμη της μηχανής επηρεασμένη από τις μεταβολές του καιρού.

4.3. ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Στην συνέχεια τα πλοία πρέπει να συλλέγουν δεδομένα για την λειτουργία τους σε καθημερινή βάση, συχνά αναφέρονται ως ‘noon reports’ επειδή τυπικά καταγράφονται κάθε 24 ώρες το μεσημέρι. Δηλαδή, ένα δελτίο δεδομένων που εκπονείται από τον αρχικό μηχανικό (chief engineer) όπου παρέχει τη θέση του πλοίου και άλλα συναφή τυποποιημένα δεδομένα για την εκτίμηση των επιδόσεων του με βάση τις ταχύτητες και τις περιβαλλοντικές του δυνάμεις, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών. Στο δελτίο δεδομένων δεν συμπεριλαμβάνονται οι ώρες αναμονής σε λιμάνια.

Το είδος των δεδομένων που συμπεριλαμβάνονται στο φύλλο για τα πλοία συνήθως έχει τα εξής: Όνομα Πλοίου, Ημερομηνία & Ώρα, τύπος ταξιδιού, αριθμός ταξιδιού, προορισμός ταξιδιού, ώρες άτμισης του πλοίου, απόσταση που διένυσε, μέση ταχύτητα, στροφές ανά λεπτό για την κύρια μηχανή, άνεμος, εκτόπισμα, εκτόπισμα που έχει συμφωνηθεί με τους ναυλωτές, την ποσότητα θείου και την κατανάλωση καυσίμων κύριας μηχανής. Τα δεδομένα τα οποία θα χρειαστούμε για την δικιά μας ανάλυση είναι:

- Ημερομηνία και Ώρα (Date & Time)
- Μέση Ταχύτητα (Speed)
- Κατανάλωση Κύριας Μηχανής (M/E FO)

Ο κύριος λόγος σύνταξής του χρησιμοποιείται για την ανάλυση των ακόλουθων παραμέτρων και επιδόσεων όπως η κατανάλωση καυσίμου και λιπαντικού σε καθημερινή βάση, απόσταση που καλύπτεται από το τελευταίο λιμάνι, για να υπολογιστεί ο δείκτης λειτουργίας ενεργειακής απόδοσης(EEOI) κ.α. .

Πίνακας 3. Παραδειγματική συλλογή δεδομένων λειτουργίας πλοίου σε καθημερινή βάση

Performance		
Displacement	Speed Range	Speed Consumption pairs
89000	20.5 - 26.0	21.0 / 123.0 22.0 / 149.0 23.0 / 169.0 24.0 / 191.0 25.0 / 216.0 25.5 / 239.0

Shaft Generator
Not Applicable or Speed/Consum. curve includes Shaft Gen. Consumption

Effective Dates		
Date From	Date To	Charterer
07.02.2001	07.06.2018	APM

Filters
Date and Time
Min. 1/1/2015 Max.
Wind Force (Beauf. Scale)
Min. Max.
Vessel Speed (knots)
Max. Max.
Displacement (Dwt)
Min. Max.
Steaming Time (Hrs)
Min. Max.

Daily Data																		
Date & Time	Type	Wsp.	St. Time (Hrs)	Dist (Miles)	Speed (knots)	RPM	Slp (%)	VWind (kt)	Dist (Miles)	CP Dist (Miles)	Stake (Miles)	M/E FO (%)	M/E FO (Dwt/Dwt)	CP M/E FO (%)	FO Dist (Miles)	FO Pacc (%)	Dist (Miles)	M/E FO (Dwt)
1/1/2015 12:00	N	1501	25.0	500	20.0	81.1	7.2	4	71500	88000	2.8	128.0	122.9	121.5	6.5	5.4	-10.0	444.0
2/1/2015 12:00	N	1501	24.0	458	19.1	79.8	10.0	6	71500	88000	2.8	126.6	126.6	102.0	23.8	23.1	-10.0	437.0
3/1/2015 13:00	N	1501	25.0	463	18.5	77.3	9.9	6	71500	89000	2.8	122.3	117.4	99.0	23.3	23.6	-10.0	419.0
4/1/2015 13:00	N	1501	24.0	440	18.3	77.9	11.5	8	71500	88000	2.8	125.3	125.3	92.5	32.8	35.5	-10.0	433.0
5/1/2015 14:00	N	1501	25.0	441	17.6	76.4	13.1	8	71500	88000	2.8	120.4	115.6	86.9	33.5	38.6	-10.0	423.0
6/1/2015 16:00	N	1501	24.0	432	18.0	78.5	11.5	3	71500	88000	2.7	120.2	120.2	87.9	32.3	36.7	-10.0	430.0
6/1/2015 20:30	A	1501	6.5	122	18.0	75.1	6.0	7	71500	88000	2.7	28.7	106.0	26.7	2.0	7.7	-10.0	104.0

(Πηγή: Δεδομένα Ανώνυμης Ναυτιλιακής Εταιρείας)

4.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Αναφέρουμε ένα σύνολο από πίνακες σχετικά με τις τελευταίες έρευνες για τον στόλο των πλοίων όσον αναφορά την εύρεση της άριστης διαγωγής τους. Σύμφωνα με τον τύπο των πλοίων πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές σε δεξαμενές νερού με μερικούς από τους πιο συνηθισμένους συνδυασμούς διαγωγής και βυθίσματος, με σκοπό τον καθορισμό της βέλτιστης διαγωγής όπου τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιούν περισσότερο ή λιγότερο καύσιμο κατά την διάρκεια ενός μεγάλου ταξιδιού. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις έγιναν για μεγάλα ταξίδια, επομένως δεν θα είναι πιθανό να αγγίξουν την βέλτιστη διαγωγή σε ταξίδια μικρής διάρκειας όπως και σε διελεύσεις από κανάλια. Δίνεται ο παρακάτω τρισδιάστατος πίνακας για την βέλτιστη διαγωγή σε διάφορα στάδια του βυθίσματος και της ταχύτητας.

Πίνακας 4. Τρισδιάστατος Πίνακας βέλτιστης διαγωγής των πλοίων

Definition:

Fuel consumption increase from optimal trim	<1%	1-5%	>5%
---	-----	------	-----

Mean draft 9.50 m Speed/Trim	Bow down					Even keel 0 m	Stern down							
	- 2.5 m	- 2 m	- 1.5 m	- 1 m	- 0.5 m		0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	+ 2.5 m	+ 3 m	+ 3.5 m	+ 4 m
13 knots			0%	1%	4%	7%	9%	11%	13%	14%	16%	16%	17%	17%
14 knots			0%	2%	5%	8%	9%	10%	11%	13%	14%	16%	17%	17%
15 knots			0%	2%	5%	8%	9%	10%	11%	12%	14%	16%	16%	17%
16 knots			0%	2%	5%	8%	9%	10%	11%	13%	15%	16%	16%	16%
17 knots			0%	2%	5%	8%	9%	9%	10%	12%	14%	15%	16%	16%
18 knots			0%	1%	4%	7%	8%	8%	9%	11%	13%	14%	15%	16%
19 knots			0%	1%	4%	8%	7%	7%	8%	10%	12%	13%	15%	16%
20 knots			0%	1%	3%	8%	6%	7%	8%	10%	12%	13%	15%	16%
21 knots			0%	1%	3%	4%	5%	6%	7%	9%	11%	13%	15%	16%
22 knots			0%	1%	2%	4%	5%	5%	7%	9%	11%	13%	15%	16%
23 knots			0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	9%	11%	12%	15%	16%
24 knots			0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	8%	11%	12%	15%	16%
25 knots			0%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	8%	11%	13%	15%	17%

Mean draft 10.50 m Speed/Trim	- 2.5 m	- 2 m	- 1.5 m	- 1 m	- 0.5 m	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	+ 2.5 m
	13 knots	0%	3%	5%	8%	11%	14%	19%	24%	26%	23%
14 knots	0%	3%	5%	8%	11%	14%	19%	23%	25%	23%	20%
15 knots	0%	3%	4%	8%	11%	14%	18%	22%	24%	22%	20%
16 knots	0%	2%	4%	7%	11%	14%	18%	21%	23%	21%	20%
17 knots	0%	2%	4%	7%	10%	14%	17%	20%	22%	21%	19%
18 knots	0%	2%	3%	7%	10%	13%	16%	19%	21%	20%	19%
19 knots	0%	2%	3%	6%	9%	12%	15%	18%	20%	19%	19%
20 knots	0%	2%	3%	6%	9%	11%	14%	17%	18%	18%	19%
21 knots	0%	2%	3%	5%	8%	10%	13%	16%	17%	18%	18%
22 knots	0%	1%	2%	5%	7%	10%	12%	14%	16%	17%	18%
23 knots	0%	1%	2%	4%	6%	9%	10%	12%	14%	16%	18%
24 knots	0%	1%	2%	4%	6%	7%	9%	11%	13%	15%	17%
25 knots	0%	1%	2%	3%	5%	8%	8%	9%	11%	14%	17%

Mean draft 11.50 m Speed/Trim	- 2.5 m	- 2 m	- 1.5 m	- 1 m	- 0.5 m	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	+ 2.5 m
	13 knots	0%	3%	5%	8%	9%	11%	13%	15%	16%	15%
14 knots	0%	3%	4%	7%	8%	11%	14%	15%	15%	15%	14%
15 knots	0%	2%	4%	6%	6%	7%	10%	14%	15%	14%	14%
16 knots	0%	2%	3%	5%	6%	8%	9%	13%	14%	14%	13%
17 knots	0%	2%	3%	5%	6%	8%	9%	12%	13%	13%	13%
18 knots	0%	1%	2%	4%	4%	6%	8%	11%	12%	13%	13%
19 knots	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	10%	11%	12%	13%
20 knots	0%	1%	1%	3%	4%	4%	7%	9%	10%	11%	12%
21 knots	0%	1%	1%	2%	3%	4%	6%	8%	9%	9%	11%
22 knots	0%	0%	0%	1%	2%	4%	5%	7%	8%	10%	12%
23 knots	1%	0%	0%	1%	2%	4%	5%	6%	8%	10%	12%
24 knots	2%	1%	1%	1%	2%	4%	5%	6%	8%	10%	13%
25 knots	3%	2%	1%	1%	3%	5%	6%	8%	9%	11%	13%

Mean draft 12.50 m Speed/Trim	- 2.5 m	- 2 m	- 1.5 m	- 1 m	- 0.5 m	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	+ 2.5 m
	13 knots	0%	1%	2%	2%	1%	0%	5%	12%	13%	14%
14 knots	0%	1%	1%	2%	1%	0%	5%	11%	14%	15%	13%
15 knots	0%	1%	1%	1%	1%	0%	5%	10%	12%	13%	13%
16 knots	0%	1%	1%	1%	1%	1%	5%	9%	12%	12%	13%
17 knots	0%	0%	1%	1%	1%	1%	5%	9%	11%	12%	14%
18 knots	0%	0%	1%	1%	1%	2%	5%	8%	11%	12%	14%
19 knots	0%	0%	1%	1%	2%	2%	5%	8%	10%	12%	15%
20 knots	0%	0%	1%	1%	2%	3%	5%	7%	10%	12%	15%
21 knots	0%	0%	1%	2%	3%	4%	6%	7%	10%	13%	16%
22 knots	0%	0%	1%	2%	3%	5%	6%	7%	10%	13%	16%
23 knots	0%	0%	1%	2%	4%	6%	7%	8%	10%	13%	17%
24 knots	0%	0%	1%	2%	4%	7%	8%	8%	10%	14%	18%
25 knots	0%	0%	1%	2%	5%	8%	9%	9%	11%	16%	19%

Mean draft 13.50 m Speed/Trim	- 2.5 m	- 2 m	- 1.5 m	- 1 m	- 0.5 m	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	+ 2.5 m
	13 knots	0%	1%	1%	3%	3%	4%	7%	10%	13%	16%
14 knots	0%	1%	2%	3%	5%	6%	9%	12%	15%	19%	20%
15 knots	0%	1%	2%	4%	5%	7%	10%	13%	17%	21%	26%
16 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	14%	18%	23%	28%
17 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	14%	18%	24%	30%
18 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	14%	19%	25%	30%
19 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	25%	30%
20 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	24%	29%
21 knots	0%	1%	2%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	24%	29%
22 knots	0%	1%	2%	4%	6%	7%	11%	15%	19%	23%	27%
23 knots	0%	2%	3%	4%	6%	7%	11%	15%	18%	22%	25%
24 knots	0%	2%	3%	4%	5%	6%	10%	14%	18%	20%	23%
25 knots	0%	2%	3%	4%	5%	6%	10%	14%	17%	19%	21%

(Πηγή: Δεδομένα Ανώνυμης Ναυτιλιακής Εταιρείας)

Συγκεκριμένα ο πίνακας 4 είναι τρισδιάστατοι πίνακες :

Όπου η ποσοστιαία τιμή των κυψελών ορίζει την πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου από την βέλτιστη διαγωγή σε μία δεδομένη τιμή ταχύτητας και βυθίσματος. Με την ταχύτητα να έχει εύρος από 13 έως 25 κόμβους. Την διαγωγή έχοντας την πλώρη με κλίση προς τα κάτω (bow down), άνευ κλίση του πλοίου (even keel) και πρύμνη με κλίση προς τα κάτω (stern down), με εύρος από -2.5 έως 4 μέτρα διαγωγής.

Δεδομένο για την διαγωγή είναι ότι θετικό πρόσημο έχουμε στην πρύμνη. Τα πράσινα κελιά στου πίνακες χαρακτηρίζουν τον συνδυασμό της βέλτιστης διαγωγής και της ταχύτητας στο καθορισμένο βύθισμα. Οι κίτρινες και κόκκινες περιοχές υποδεικνύουν μη προτιμότερους συνδυασμούς διαγωγής/ταχύτητας/βυθίσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε την μεθοδολογία για την μελέτη, με την οποία προσεγγίζουμε την κατανάλωση καυσίμων μέσω της πραγματική διαγωγή των πλοίων σε διαφορετικά σενάρια διαγωγή πλεύσης στο σύνολο των ταξιδιών. Πιο αναλυτικά έχοντας συλλέξει τα δεδομένα τα οποία παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 4 δηλαδή τα χαρακτηριστικά του στόλου των πλοίων , τα σχέδια πλεύσης , τα δελτία δεδομένων ταξιδιών τους και τους πίνακες όπου υποδεικνύουν την βέλτιστη διαγωγή τους με βάση κάποιων τιμών βυθίσματος και ταχύτητας. Στόχος είναι έχοντας τα δεδομένα πλεύσης σταθερά όπως ίδια ποσότητα φορτίου, ίδια μέση ταχύτητα, καιρικές συνθήκες και την ίδια χρονική περίοδο πραγματοποιούμε τρία σενάρια, τοποθετώντας διαφορετική τιμή στην διαγωγή πλεύσης και σε συνδυασμό με τον πίνακα βέλτιστης διαγωγής των πλοίων όπου υπάρχουν τιμές ποσοστών πρόσθετης κατανάλωσης καυσίμου αναζητήσουμε την μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων για το σύνολο των ταξιδιών.

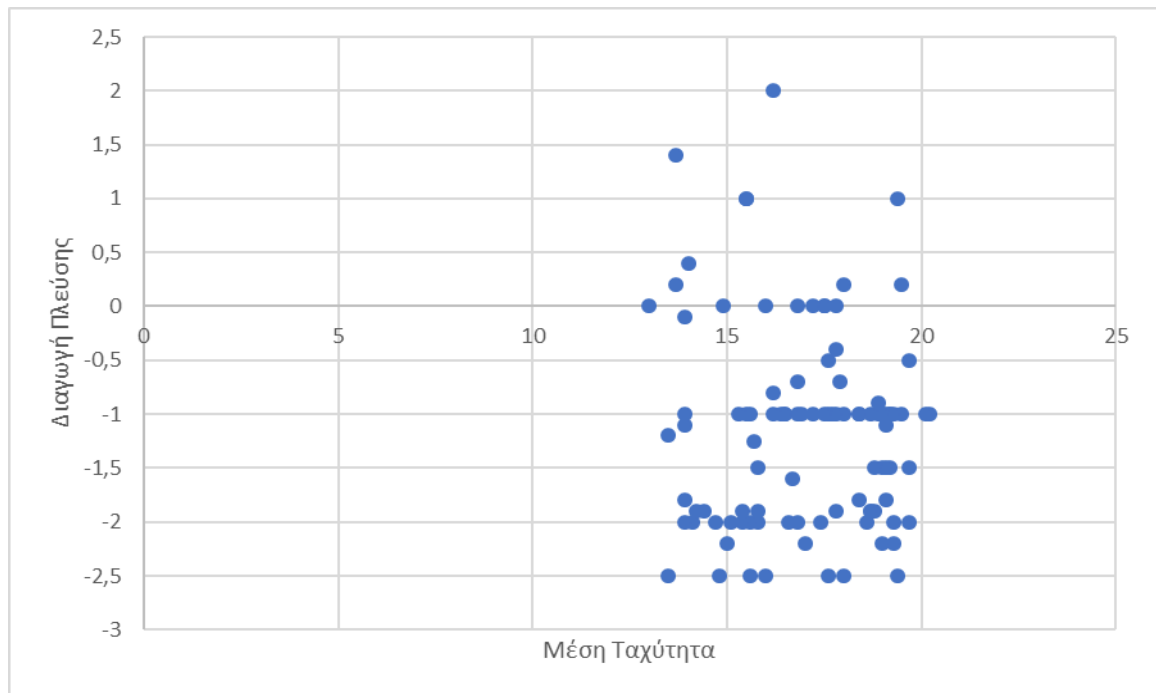
Οργανώνοντας το σύνολο των δεδομένων προκύπτουν στοιχεία από τα ταξίδια τους, για την πραγματική κλίση πλεύσης και την κατανάλωση κατά την διάρκεια του 2015 και 2016. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Σύνολο δεδομένων για τα ταξίδια τους το 2015 και 2016

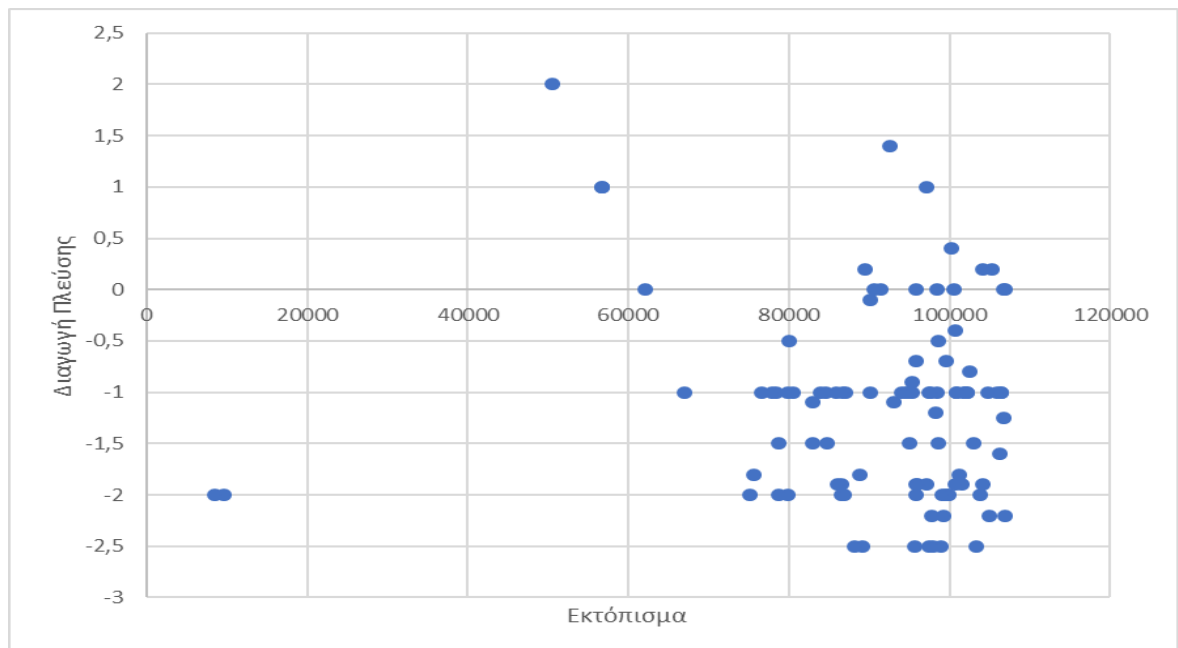
Ημερομηνία	Ταξίδι	Μέση Ταχύτητα (κόμβους)	Μέσο Βόθισμα (μέτρα)	Εκτόπισμα (τόνους)	Διαγωγή Παξίσης	Πραγματική Κατανάλωση
25/01/2015 - 29/01/2015	Tanger - Suez	17,6	10,5	80000	-0,5	411,6
10/03/2015 - 26/03/2015	Port Elizabeth - Singapore	14	13,3	100223	0,4	990,2
13/03/2015 - 19/03/2015	Sines - Newark	19,7	13,5	99457	-2	880,2
16/03/2015 - 24/03/2015	Charleston - Algeciras	19,4	13	97158	1	999,3
20/03/2015 - 23/03/2015	Salah - Suez	19,7	13,3	98587	-0,5	470,6
24/03/2015 - 29/03/2015	Suez - Algeciras	16,8	13,1	98377	0	415,3
30/03/2015 - 06/04/2015	Algeciras - Newark	19,5	13,1	104138	0,2	715,5
02/04/2015 - 08/04/2015	Ningbo - Singapore	15,6	12,6	97522	-2,5	340,6
03/04/2015 - 11/04/2015	Charleston - Algeciras	19	13,5	98640	-1,5	700,2
11/04/2015 - 18/04/2015	Sines - Newark	17	13,45	99900	-2,2	638,7
16/04/2015 - 20/04/2015	Houston - Savannah	17,5	9,4	62132	0	191,2
23/04/2015 - 28/04/2015	Ningbo - Singapore	16,6	13,5	99917	-2	427,7
24/04/2015 - 03/05/2015	Qasim - Singapore	13,9	9,7	66930	-1	361
25/04/2015 - 05/05/2015	Newark - Algeciras	15	13,1	97748	-2,2	387,3
29/04/2015 - 06/05/2015	Algeciras - Newark	19,2	13,4	103000	-1,5	790,1
30/04/2015 - 04/05/2015	Pelepas - Colombo	17,5	14	106923	0	347,8
01/05/2015 - 09/05/2015	Charleston - Algeciras	19,3	13,45	105000	-2,2	860,6
05/05/2015 - 12/05/2015	Singapore - Xingang	16,5	13,1	94859	-1	479,6
06/05/2015 - 11/05/2015	Algeciras - Suez	15,4	13	97155	-1,9	701,4
13/05/2015 - 16/05/2015	Suez - Djibouti	15,8	13,05	95910	-1,9	156,6
18/05/2015 - 26/05/2015	Charleston - Algeciras	18,8	13,5	101480	-1,9	800,1
21/05/2015 - 26/05/2015	Ningbo - Singapore	17,2	13,44	106809	0	435
24/05/2015 - 01/06/2015	Singapore - Xingang	13,7	12,3	89557	0,2	349,4
26/05/2015 - 01/06/2015	Sines - Newark	19	13,5	107000	-2,2	740,9
28/05/2015 - 01/06/2015	Pelepas - Colombo	16,8	13,5	106497	-1	389
02/06/2015 - 05/06/2015	Colombo - Pipavav	14,9	13,3	100596	0	176,7
14/06/2015 - 21/06/2015	Sines - Newark	17,8	13,45	100776	-1,9	592,1
14/06/2015 - 22/06/2015	Algeciras - Newark	17,9	9,5	95875	-0,7	646,1
15/06/2015 - 23/06/2015	Charleston - Algeciras	19,4	13	98000	-2,5	584,5
21/06/2015 - 29/06/2015	Singapore - Xingang	13,9	13,1	88878	-1,8	368,4
02/07/2015 - 11/07/2015	Charleston - Algeciras	18	13,45	105316	0,2	771,1
11/07/2015 - 21/07/2015	Newark - Algeciras	13,5	13,2	98308	-1,2	354,7
14/07/2015 - 21/07/2015	Sines - Newark	15,8	13,45	103789	-2	574,9
18/07/2015 - 28/07/2015	Singapore - Suez	19,1	12,85	95000	-1,5	1284,4
22/07/2015 - 27/07/2015	Algeciras - Suez	16,8	13	99601	-0,7	330,1
23/07/2015 - 28/07/2015	Ningbo - Singapore	16,2	13,5	102465	-0,8	478,2
30/07/2015 - 05/08/2015	Sines - Newark	18,7	13,05	95976	-1,9	300,1
30/07/2015 - 03/08/2015	Pelepas - Colombo	15,5	13,5	106497	-1	663,4
03/08/2015 - 07/08/2015	Colombo - Pipavav	13,7	13,1	92555	1,4	247
03/08/2015 - 14/08/2015	Charleston - Algeciras	14,8	13,5	103400	-2,5	472,4
17/08/2015 - 28/08/2015	Charleston - Algeciras	14,2	12,05	86500	-1,9	373,5
21/08/2015 - 25/08/2015	Salah - Suez	18,8	11,35	82910	-1,5	433
26/08/2015 - 30/08/2015	Suez - Algeciras	19,7	11,7	78800	-1,5	409,6
01/09/2015 - 08/09/2015	Algeciras - Newark	19,1	12,14	83045	-1,1	698
02/09/2015 - 09/09/2015	Sines - Newark	16	12,3	89167	-2,5	430,2
12/09/2015 - 16/09/2015	Savannah - Houston	16,2	9,5	50500	2	182,5
17/09/2015 - 21/09/2015	Houston - Savannah	15,5	9,7	56700	1	200,9
17/09/2015 - 21/09/2015	Houston - Savannah	15,5	9,7	56700	1	190,9
18/09/2015 - 24/09/2015	Sines - Newark	18,7	13,5	104220	-1,9	665,9
19/09/2015 - 23/09/2015	Chivan - Singapore	15,3	10,7	78441	-1	211,7
21/09/2015 - 02/10/2015	Charleston - Algeciras	14,1	10,7	75118	-2	406,1
24/09/2015 - 05/10/2015	Singapore - Suez	19,1	13,3	98443	-1	1043,5
26/09/2015 - 06/10/2015	Newark - Algeciras	13,9	13,1	93050	-1,1	478,6
05/10/2015 - 16/10/2015	Charleston - Algeciras	14,4	12	86000	-1,9	494,3
07/10/2015 - 12/10/2015	Algeciras - Port Said	16	12,5	91428	0	326
13/10/2015 - 19/10/2015	Suez - Algeciras	13	12,3	90631	0	214
15/10/2015 - 26/10/2015	Singapore - Suez	17,4	13,5	99684	-2	930
20/10/2015 - 28/10/2015	Sines - Newark	16,7	13,45	106232	-1,6	457,2
02/11/2015 - 10/11/2015	Sines - Freeport	18,4	12,7	94000	-1	822,1
03/11/2015 - 11/11/2015	Sines - Newark	13,5	12,5	88243	-2,5	672,9
03/11/2015 - 11/11/2015	Sines - Newark	15,7	13,5	106720	-1,25	673,4
09/11/2015 - 20/11/2015	Charleston - Algeciras	14,7	11,5	78811	-2	770,4
18/11/2015 - 25/11/2015	Sines - Freeport	19,1	13,3	101300	-1,8	711,3
22/11/2015 - 04/12/2015	Charleston - Algeciras	13,9	12	86564	-2	532,2
26/11/2015 - 05/12/2015	Freeport - Sines	17,6	12,2	84000	-1	766,2
08/12/2015 - 16/12/2015	Sines - Newark	15,1	12,9	9567	-2	475,4
12/12/2015 - 22/12/2015	Algeciras - Newark	13,9	12,31	90100	-0,1	503
21/12/2015 - 29/12/2015	Sines - Freeport	18	13,5	98962	-2,5	772,6
23/12/2015 - 28/12/2015	Algeciras - Port Said	15,6	13	95872	-2	274,6
05/01/2016 - 12/01/2016	Sines - Freeport	19,3	12,6	79862	-2	910
19/01/2016 - 27/01/2016	Freeport - Sines	19,2	11,35	76660	-1	401,9
26/01/2016 - 03/2/2016	Sines - Newark	16,8	13,5	99127	-2	598,3
29/01/2016 - 06/02/2016	Freeport - Sines	18,4	10,7	75600	-1,8	775,5
02/02/2016 - 09/02/2016	Sines - Freeport	16,9	12,8	94555	-1	678,8
08/02/2016 - 16/02/2016	Sines - Freeport	17,6	12,95	95734	-2,5	767,3
15/02/2016 - 25/02/2016	Charleston - Algeciras	15,4	12	8416	-2	576,5
16/02/2016 - 23/02/2016	Sines - Freeport	20,2	13	97450	-1	783,9
23/02/2016 - 01/03/2016	Sines - Freeport	19,5	12,6	79862	-1	708
26/02/2016 - 05/03/2016	Freeport - Sines	17,7	11,73	84607	-1	714,1
05/03/2016 - 13/03/2016	Freeport - Sines	19	12,5	90141	-1	756,1
18/03/2016 - 25/03/2016	Sines - Newark	17,2	13,5	105931	-1	640,6
19/03/2016 - 27/03/2016	Freeport - Sines	20,1	13,45	100914	-1	852,8
06/04/2016 - 15/04/2016	Charleston - Algeciras	18,6	12	86928	-2	560,1
30/04/2016 - 07/05/2016	Freeport - Sines	19,2	13,3	102120	-1	866,1
06/05/2016 - 14/05/2016	Freeport - Sines	18	13,5	100827	-1	697,2
12/05/2016 - 20/05/2016	Sines - Freeport	19,3	13,5	87053	-1	1105,7
16/05/2016 - 24/05/2016	Sines - Freeport	17,8	13,5	101844	-1	770,2
24/05/2016 - 31/05/2016	Sines - Freeport	18,9	13,4	101860	-1	763
01/06/2016 - 09/06/2016	Sines - Freeport	18,7	13,45	104814	-1	883,1
03/06/2016 - 11/06/2016	Freeport - Sines	18,4	13,1	97656	-1	805,3
09/06/2016 - 18/06/2016	Freeport - Sines	16,4	11	77961	-1	554,8
16/06/2016 - 25/06/2016	Freeport - Sines	16,2	12	102120	-1	558,4
22/06/2016 - 29/06/2016	Sines - Newark	17,8	12,9	95825	0	295
24/06/2016 - 02/07/2016	Freeport - Sines	19	11,6	85853	-1	650,8
26/06/2016 - 05/07/2016	Sines - Freeport	17,5	13	95433	-1	787,5
27/07/2016 - 30/7/2016	Freeport - Sines	16,5	11,25	80465	-1	579,7
29/08/2016 - 08/09/2016	Charleston - Algeciras	15,8	11,85	84738	-1,5	523,8
30/08/2016 - 07/09/2016	Sines - Freeport	18,9	12,9	95348	-0,9	335,7
13/10/2016 - 20/10/2016	Sines - Miami	17,8	13,5	100660	-0,4	722,6
27/12/2016 - 06/01/2017	Freeport - Sines	15,6	12,42	86646	-1	541,5

Ο πίνακας 5 μας δείχνει 100 μεγάλα ταξίδια για το 2015 και το 2016 με ελάχιστο σύνολο μερών στην θάλασσα τέσσερις και μέγιστο 11. Στα παρακάτω προβάλλονται οι διασπορές τους.

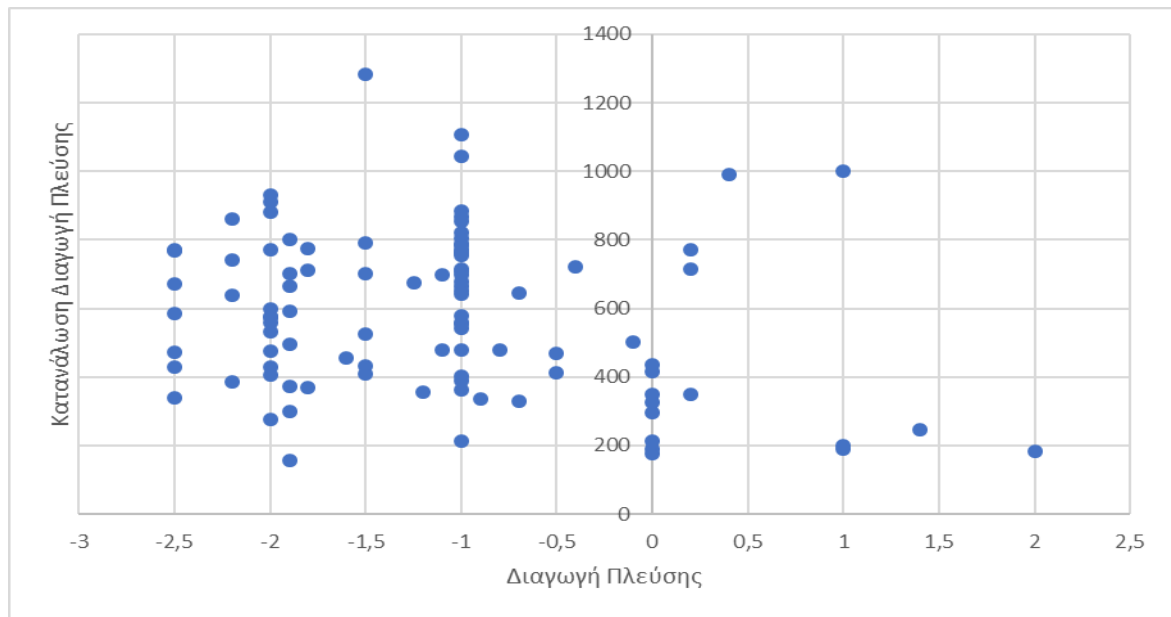
Γράφημα 15. Διασπορά διαγωγής πλεύσης με ταχύτητα



Γράφημα 16. Διασπορά διαγωγής πλεύσης με εκτόπισμα



Γράφημα 17. Διασπορά κατανάλωσης και διαγωγή πλεύσης



Από τα γραφήματα 15,16,17 διασποράς προκύπτουν τα εξής:

- Η μέση ταχύτητα των πλοίων κυμαίνεται περισσότερο ανάμεσα στους 15 με 20 κόμβους.
- Το εκτόπισμα ανάμεσα στους 80 με 110 χιλιάδες τόνους
- Η κατανάλωση ανάμεσα στους 600.000 με 1.000.000 τόνους
- Τέλος, οι επικρατέστερες τιμές της διαγωγή πλεύσης βρίσκονται ανάμεσα στο -2.5m και 0m .

5.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΠΛΕΥΣΗΣ

Κρατώντας σταθερούς όλους του παράγοντες και τα δεδομένα του πλοίου πραγματοποιούμε υποθετικά σενάρια μόνο στη διαγωγή του με τις υπάρχουσες συνθήκες. Συνδυάζοντας το πίνακα που δημιουργούσαμε, εισάγουμε τρία σενάρια σχετικά με την διαγωγή του πλοίου με σκοπό την εμφάνιση των αποτελεσμάτων για την κατανάλωση που έκαναν.

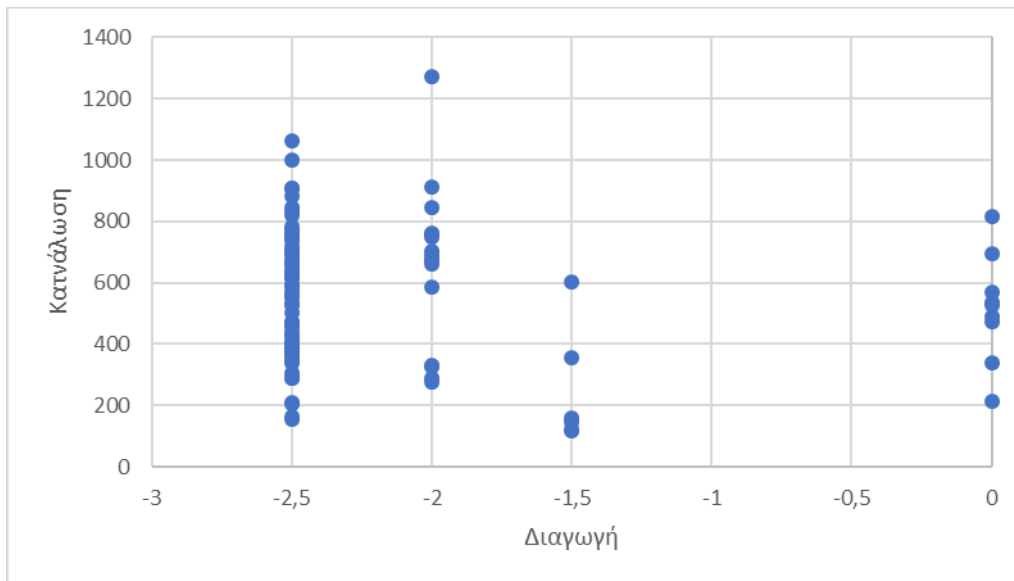
Χρησιμοποιώντας τον πίνακα 4 τιμών ποσοστών πρόσθετης κατανάλωσης καυσίμου από την βέλτιστη κλίση των πλοίων προκύπτουν και οι αντίστοιχες καταναλώσεις του κάθε ταξιδιού. Σε περιπτώσεις όπου το βύθισμα βρισκόταν ανάμεσα σε κάποιες τιμές των πινάκων επιλέχτηκε το πιο κοντινότερο βύθισμα του πλοίου με γνώμονα την βέλτιστη διαγωγή χωρίς να μεταβληθούν η ταχύτητα και η ποσότητα έρματος με σκοπό να προσεγγίσει τα δεδομένα των πινάκων. Τα σενάρια είναι τα εξής:

Σενάριο 1: Η διαγωγή πλευσης να είναι βέλτιστή.

Πίνακας 6. Κατανάλωση για το Σενάριο 1

Ταξίδια	Βέλτιστη Διαγωγή	Κατανάλωση (τόνους)	Διαφορά με την πραγματική κατανάλωση
1	-2,5	357,84	53,76
2	-2,5	906,64	83,56
3	-2,5	743,188	137,012
4	-2	845,649	153,651
5	-2,5	403,444	67,156
6	-2,5	382,076	33,224
7	-2	674,035	41,465
8	-2,5	340,6	0
9	-2,5	635,236	64,964
10	-2,5	632,313	6,387
11	-1,5	147,816	43,384
12	-2,5	423,423	4,277
13	-1,5	353,78	7,22
14	-2,5	378,477	8,823
15	-2,5	772,338	17,762
16	-2,5	289,216	58,584
17	-2,5	843,084	17,516
18	-2,5	460,416	19,184
19	0	694,386	7,014
20	-2,5	155,034	1,566
21	-2,5	782,199	17,901
22	-2,5	400,2	34,8
23	0	340,569	8,831
24	-2,5	721,611	19,289
25	-2,5	373,44	15,56
26	-2,5	164,331	12,369
27	-2,5	586,179	5,921
28	-1,5	603,147	42,953
29	-2	584,5	0
30	-2,5	364,716	3,684
31	-2,5	701,701	69,399
32	-2,5	344,059	10,641
33	-2,5	569,151	5,749
34	-2	1271,556	12,844
35	-2	326,799	3,301
36	-2,5	459,072	19,128
37	-2,5	288,096	12,004
38	-2	662,736	0,664
39	-2,5	204,11	42,89
40	-2,5	472,4	0
41	-2,5	362,668	10,832
42	-2,5	385,37	47,63
43	-2,5	405,504	4,096
44	-2	691,02	6,98
45	-2,5	430,2	0
46	-1,5	158,775	23,725
47	-1,5	117,651	83,249
48	-1,5	119,31	71,59
49	-2,5	644,391	21,509
50	-2,5	209,583	2,117
51	-2,5	393,917	12,183
52	-2,5	1001,76	41,74
53	-2,5	464,242	14,358
54	0	489,357	4,943
55	-2,5	303,631	22,369
56	0	214	0
57	-2,5	908,82	21,18
58	-2,5	440,056	17,144
59	0	813,879	8,221
60	-2,5	659,932	12,968
61	-2,5	665,9	7,5
62	-2,5	754,992	15,408
63	-2,5	700,187	11,113
64	0	526,878	5,322
65	-2	758,538	7,662
66	0	470,646	4,754
67	-2,5	468,762	34,238
68	-2,5	772,6	0
69	-2	274,6	0
70	-2	910	0
71	-2,5	389,843	12,057
72	-2,5	592,317	5,983
73	-2,5	759,99	15,51
74	-2	672,012	6,788
75	-2,5	767,3	0
76	0	570,735	5,765
77	-2,5	760,383	23,517
78	-2	700,92	7,08
79	-2,5	685,536	28,564
80	-2	748,593	7,507
81	-2,5	614,976	25,624
82	-2,5	818,688	34,112
83	-2,5	554,499	5,601
84	-2,5	831,456	34,644
85	-2,5	669,312	27,888
86	-2,5	1061,472	44,228
87	-2,5	739,392	30,808
88	-2,5	702,489	60,511
89	-2,5	883,1	0
90	-2,5	773,088	32,212
91	-2,5	527,06	27,74
92	-2,5	530,48	27,92
93	-2	289,1	5,9
94	-2,5	631,276	19,524
95	-2	759,625	27,875
96	-2,5	550,715	28,985
97	-2,5	500,086	23,714
98	-2	332,343	3,357
99	-2,5	619,244	103,356
100	0	536,085	5,415

Γράφημα 18. Διασπορά Βέλτιστης διαγωγής -Κατανάλωσης



Τα αποτελέσματα που προκύπτουν επιλέγοντας την βέλτιστη διαγωγή πλευσης από τον πίνακα 6 και το γράφημα 18 διασποράς τους είναι ότι η επικρατέστερη επιλογή της κλίσης ήταν με την πλήρη προς τα κάτω συγκεκριμένα κατά προτίμηση τις περισσότερες φορές στις τιμές -2.5m και -2m. Η πρακτική αυτή πραγματικά εξοικονομεί σημαντική ποσότητα καυσίμου για το στόλο συγκεκριμένα 2.359.453 τόνους όπου αντιστοιχεί στο 4,06 % και για τις δυο χρονιές. Βλέπουμε ότι από το σύνολο των ταξιδιών το 10 % τους επέλεξαν την βέλτιστη δυνατή επιλογή κλίσης ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση, από την άλλη μεριά όμως στο 4^ο κατά σειρά ταξίδι έχουμε μη προτιμότερη επιλογή διαγωγής με αποτέλεσμα να εμφανίζει την μεγαλύτερη διαφορά κατανάλωσης καυσίμου.

Σενάριο 2: Με διαγωγή πλευσης -1m πλήρη προς τα κάτω

Πίνακας 7. Κατανάλωση για το Σενάριο 2

Ταξίδια	Κατανάλωση (τόνους)	Διαφορά με την πραγματική κατανάλωση
1	382,888	28,712
2	944,139	46,061
3	824,915	55,285
4	854,105	145,195
5	442,461	28,139
6	397,359	17,941
7	703,675	11,825
8	344,006	-3,406
9	660,645	39,555
10	657,605	-18,905
11	179,594	11,606
12	440,359	-12,659
13	361	0
14	393,616	-6,316
15	803,231	-13,131
16	332,775	15,025
17	876,807	-16,207
18	479,6	0
19	701,4	0
20	156,6	0
21	813,486	-13,386
22	416,208	18,792
23	355,54	-6,14
24	750,475	-9,575
25	389	0
26	170,904	5,796
27	609,626	-17,526
28	619,932	26,168
29	590,345	-5,845
30	372,01	-3,61
31	729,769	41,331
32	354,7	0
33	591,917	-17,017
34	1271,556	12,844
35	330,1	0
36	478,2	0
37	300,1	0
38	669,363	-5,963
39	221,336	25,664
40	491,296	-18,896
41	388,054	-14,554
42	396,931	36,069
43	417,669	-8,069
44	698	0
45	434,502	-4,302
46	161,93	20,57
47	150,604	50,296
48	152,296	38,604
49	670,144	-4,244
50	211,7	0
51	429,369	-23,269
52	1043,5	0
53	478,6	0
54	499,144	-4,844
55	326,9	-0,9
56	217,72	-3,72
57	945,172	-15,172
58	465,978	-8,778
59	822,1	0
60	686,329	-13,429
61	686,358	-12,958
62	800,291	-29,891
63	732,354	-21,054
64	537,415	-5,215
65	766,2	0
66	475,4	0
67	508,737	-5,737
68	803,504	-30,904
69	277,346	-2,746
70	919,1	-9,1
71	401,9	0
72	616,009	-17,709
73	813,189	-37,689
74	678,8	0
75	774,973	-7,673
76	576,5	0
77	783,9	0
78	708	0
79	714,1	0
80	756,1	0
81	640,6	0
82	852,8	0
83	571,133	-11,033
84	866,1	0
85	697,2	0
86	1105,7	0
87	770,2	0
88	763	0
89	918,424	-35,324
90	805,3	0
91	554,8	0
92	558,4	0
93	291,991	3,009
94	650,8	0
95	787,5	0
96	579,7	0
97	533,49	-9,69
98	335,7	0
99	706,413	16,187
100	541,445	0,055

Όσον αναφορά την κατανάλωση στο σενάριο 2 έχουμε παρόμοια αποτελέσματα καθώς η διαγωγή στην τιμή -1m αποτελεί προτεινόμενη επιλογή, εξοικονομώντας ποσοστό καυσίμων αλλά μικρότερο από την επιλογή της βέλτιστης κλίσης. Αναλυτικότερα το ποσοστό εξοικονομήσεις για το 2015 και 2016 έγκειται στο 0,32%. Τα αρνητικά πρόσημα συνεπώς προκύπτουν καθώς η πραγματική κατανάλωση σε σύγκριση με την κατανάλωση του σεναρίου 2 είναι μικρότερη. Το 37% του συνόλου των ταξιδιών συνέπεσαν με την πραγματική διαγωγή πλεύσης μηδενίζοντας την διαφορά τους. Τέλος, η μεγαλύτερη διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου βρίσκεται στο 4^ο ταξίδι.

Σενάριο 3: Με διαγωγή πλεύσης +1m πρύμνη προς τα κάτω.

Πίνακας 8. Κατανάλωση για το Σενάριο 3

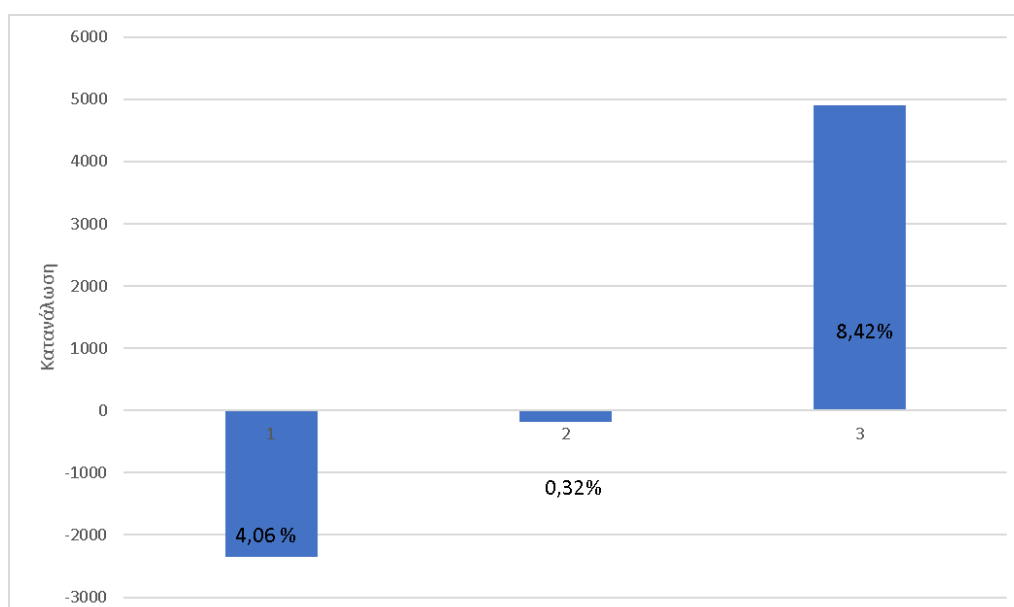
Ταξίδια	Κατανάλωση (τόνους)	Διαφορά με την πραγματική κατανάλωση
1	429,408	-17,808
2	1023,636	-33,436
3	912,166	-31,966
4	909,3	90
5	489,26	-18,66
6	435,566	-20,266
7	742,617	-27,117
8	374,66	-34,06
9	730,521	-30,321
10	720,836	-82,136
11	192,041	-0,841
12	482,702	-55,002
13	392,695	-31,695
14	427,679	-40,379
15	888,188	-98,088
16	364,772	-16,972
17	969,546	-108,946
18	524,874	-45,274
19	763,824	-62,424
20	168,987	-12,387
21	899,528	-99,428
22	456,228	-21,228
23	390,397	-40,997
24	829,852	-88,952
25	425,721	-36,721
26	185,694	-8,994
27	668,244	-76,144
28	662,898	-16,798
29	625,415	-40,915
30	408,481	-40,081
31	806,956	-35,856
32	378,464	-23,764
33	652,612	-77,712
34	1361,684	-77,284
35	356,21	-26,11
36	523,342	-45,142
37	325,548	-25,448
38	715,754	-52,354
39	236,379	10,621
40	533,812	-61,412
41	413,441	-39,941
42	423,907	9,093
43	446,054	-36,454
44	746,301	-48,301
45	468,918	-38,718
46	174,652	7,848
47	200,9	0
48	190,9	0
49	741,049	-75,149
50	255,691	-43,991
51	484,517	-78,417
52	1152,024	-108,524
53	519,951	-41,351
54	543,186	-48,886
55	352,757	-26,757
56	234,886	-20,886
57	1036,054	-106,054
58	510,783	-53,583
59	895,266	-73,166
60	752,322	-79,422
61	747,689	-74,289
62	860,69	-90,29
63	809,814	-98,514
64	584,834	-52,634
65	826,806	-60,606
66	517,71	-42,31
67	553,625	-50,625
68	880,764	-108,164
69	299,341	-24,741
70	982,8	-72,8
71	428,827	-26,927
72	675,241	-76,941
73	904,388	-128,888
74	732,493	-53,693
75	836,357	-69,057
76	627,808	-51,308
77	828,817	-44,917
78	756,993	-48,993
79	760,944	-46,844
80	844,48	-88,38
81	701,072	-60,472
82	941,491	-88,691
83	608,948	-48,848
84	956,174	-90,074
85	763,015	-65,815
86	1178,233	-72,533
87	842,906	-72,706
88	842,352	-79,352
89	966,46	-83,36
90	881,32	-76,02
91	555,577	-0,777
92	599,442	-41,042
93	321,228	-26,228
94	694,403	-43,603
95	841,995	-54,495
96	622,307	-42,607
97	574,137	-50,337
98	358,93	-23,23
99	774,338	-51,738
100	589,693	-48,193

Μη προτιμότερη επιλογή διαγωγής πλεύσης αποτελεί το σενάριο 3 καθώς από το πίνακα 8 προκύπτει ότι με την χρήση του δεν υφίσταται εξοικονόμηση καυσίμων. Η επιλογή της κλίσης αυτής δίνει συνολικά αρνητικά αποτελέσματα, συγκεκριμένα το ποσοστό αύξησης της κατανάλωσης είναι 8,42% περισσότερο από την πραγματική του κατανάλωση. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε 2 ταξίδια επιλέχτηκε αυτή η διαγωγή με αποτέλεσμα η διαφορά τους να μην υπάρχει. Μοναδικό παράδειγμα εξοικονόμησης καυσίμου ήταν στο 4^ο ταξίδι όπου η επιλογή του σεναρίου 3 κρίθηκε ιδανική καθώς είχαμε θετικό πρόσημο.

5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα προέκυψαν από παραδοσιακά μοντέλα δεδομένων χωρίς την χρήση ειδικού προγράμματος επιλογής την ιδανικότερης-βέλτιστης διαγωγής πλεύσης. Παρόλα αυτά προβάλλονται εξίσου αξιόπιστα δεδομένα με σκοπό την αναζήτηση εκείνης της διαγωγής με την μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων διαχρονικά. Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε τη κατανάλωση και στις 3 περιπτώσεις διαγωγής των πλοίων για το 2015 και 2016.

Γράφημα 19. Διαφορά καταναλώσεων για τα 3 σενάρια



Σύμφωνα με το διάγραμμα 19 προκύπτει ότι προτεινόμενες επιλογές για την εξοικονόμηση καυσίμων σε μεγάλα ταξίδια πλοίων είναι τα σενάρια 1 και 2 αποκλείοντας το σενάριο 3 με καταλληλότερη την επιλογή στην περίπτωση του σεναρίου 1 δηλαδή την βέλτιστη διαγωγή πλεύσης του καθώς η εξοικονόμηση ανέρχεται σε ποσοστό 4,06% για τα 2 έτη. Ως αποτέλεσμα αυτό έχει αντίκτυπο στα λειτουργικά κόστη του πλοίου δίνοντας την δυνατότητα στην επιχείρηση να εξοικονομήσει χρηματικά ποσά διαχρονικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τα καύσιμα συνιστούν ένα σημαντικό συστατικό στοιχείο της δομής κόστους ενός πλοίου που ανέρχεται πολλές φορές ακόμα και στο 50%. Αν αναλογιστούμε την συρρίκνωση των περιθωρίων κέρδους των ναυτιλιακών εταιρειών λόγω της οικονομική κρίσης τότε η εξοικονόμηση κόστους καυσίμων είναι αναγκαία.

Η εξοικονόμηση του κόστους καυσίμων μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους όπως με την μείωση της ταχύτητας, με την χρήση συγκεκριμένων τύπων μηχανών , με τον ειδικό σχεδιασμό της γάστρας, με την σωστή συντήρηση της γάστρας όπου θα αποκολλώνται στοιχεία που δημιουργούν αντίσταση, με την επιλογή συγκεκριμένων διαδρομών, με την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους του πλοίου για δεδομένη ταχύτητα και το αντίστροφο, με το βύθισμα αλλά και με τη γωνία του βυθίσματος της πλώρης και της πρύμνης που αναφέρεται ως η διαγωγή του πλοίου. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση τριβής , κυματισμού αέρα κ.α. οι οποίες επιβραδύνουν τη πορεία του πλοίου και αυξάνουν τις απαιτήσεις για ισχύ όταν η τελευταία αυξάνεται τότε αυξάνεται και η κατανάλωση καυσίμων.

Η βελτιστοποίηση της διαγωγής χρησιμοποιείται ευρύτατα τα τελευταία χρόνια για την εξοικονόμηση καυσίμων αφού συνιστά μια φθηνή λύση ενώ δεν απαιτείται τροποποίηση της γάστρας του πλοίου ή κάποιου άλλου μέρους αυτού. Βέβαια η εξοικονόμηση καυσίμων είναι μικρότερη σε σχέση με άλλες μεθόδους αλλά το γεγονός του ότι η λύση αυτή συνεπάγεται με χαμηλό κόστος την καθιστά ελκυστική με την περίοδο επανάκτησης κεφαλαίου να είναι χαμηλή.

Η διαγωγή μπορεί να ρυθμιστεί με τη κατάλληλη κατανομή βάρους των φορτίων μεταξύ πλώρης και πρύμνης. Να τονίσουμε πάντως ότι ακόμα και αν επιτευχθεί η βέλτιστη διαγωγή η στοιβασία των εμπορευμάτων μπορεί να μην είναι η ενδεδειγμένη γεγονός που θα αυξήσει τους χρόνους φόρτωσης και εκφόρτωσης και θα πλήξει την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του πλοίου.

Συνοπτικά λοιπόν οι παράγοντες που καθορίζουν την διαγωγή είναι καταρχήν οι διαθέσιμοι πόροι της επιχείρησης. Η ρύθμιση της διαγωγής ως μέσο εξοικονόμησης καυσίμων είναι μια φθηνή μέθοδος και ενδείκνυται για πλοιοκτήτες που αντιμετωπίζουν στενότητα πόρων.

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την διαγωγή είναι το πρόγραμμα φόρτωσης και εκφόρτωσης αλλά και ο αριθμός των λιμανιών που επισκέπτεται το πλοίο. Ο υπεύθυνος, να μεν θα καθορίζει την διαγωγή με τέτοιο τρόπο που θα ελαχιστοποιείται το κόστος των καυσίμων, αλλά από την άλλη θα λαμβάνει υπόψη την ενδεδειγμένη κατανομή φορτίου. Πολλές φορές θα κληθεί να εξισορροπήσει μεταξύ αυτών των δύο.

Η διαγωγή επίσης επηρεάζεται και από την κατασκευή του πλοίου και πιο συγκεκριμένα από την γάστρα αλλά και την ταχύτητα. Την κατασκευή του πλοίου ο πλοιοκτήτης μπορεί να την τροποποιήσει ή να την θεωρήσει ως δεδομένη. Τέλος η διαγωγή επηρεάζεται και από την διαθέσιμη τεχνολογία. Ο πλοιοκτήτης μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορες μεθόδους οι οποίες ενδέχεται να δώσουν διαφορετικές βέλτιστες λύσεις.

Έστω εξοικονόμηση και 1% σε ποσότητα καυσίμων αντιστοιχεί σε σημαντικά ποσά χρημάτων για τις ναυτιλιακές εταιρείες και φυσικά ισχυροποιείται η ηγετική θέση της στην περιβαλλοντικά φιλικότερη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων. Ως εκ τούτου από την μελέτη αυτή δημιουργώντας τα σενάρια κλίσης για την πλεύση του πλοίου σε μεγάλα ταξίδια επιλέγοντας την βέλτιστη διαγωγή του για το αντίστοιχο βύθισμα και ταχύτητα εξοικονομείται μεγάλη ποσότητα καυσίμων άρα λιγότερες εκπομπές άνθρακα συνεπώς ελαχιστοποιούνται τα λειτουργικά έξοδα.

Γενικότερα το ζήτημα ελαχιστοποίησης κατανάλωσης των καυσίμων είναι αρκετά σύνθετο και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η συνδυασμένη επίδραση όλων των παραγόντων για την επίτευξη ενός άριστου αποτελέσματος.

6.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ

Ακόμα και αν ο στόχος της διπλωματικής επιτεύχθηκε, προβάλλοντας με λεπτομέρειες την κατάλληλη διαγωγή πλεύσης για εξοικονόμηση καυσίμων η μέθοδος αποτελείται από παραδοσιακά μοντέλα δεδομένων, οπότε υπάρχουν και άλλες αξιόπιστες πρακτικές για μελλοντική αναζήτηση. Επιπλέον, η συγκεκριμένη πρακτική εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα τύπου πλοίου Container. Συνεπώς, άλλοι τύποι πλοίων πρέπει να υποβληθούν σε αυτήν την πρακτική για λόγους σύγκρισης. Ενδιαφέρον προκαλεί οι περιπτώσεις των πλοίων τύπου δεξαμενόπλοιο και φορτηγό όπου διαφέρουν στον τρόπο τοποθέτησης φορτίου όπως επίσης και στην προσαρμογή τους στην βέλτιστη διαγωγή πλεύσης καθώς έχουν διαφορετική κατασκευή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Κυρτάτος, Ν. (1993). Βασικές αρχές προώθησης πλοίων. Εκδόσεις Συμμετρία
- Χαρδούβελης Γ. (2011). Η Ελληνική και Ευρωπαϊκή και η νέα αρχιτεκτονική της Ευροζώνης.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Agarwal, R. and Ergun, O. (2008). Ship Scheduling and network design in linear shipping. Transport Science Vol. 42.
- Altosole, M., Figari, M., Ferrari, A., Bruzzone, D., Vernengo, G., (2016). Experimental and numerical investigation of draught and trim effects on the energy efficiency of a displacement mono-hull. In: Proceedings of the International Ocean and Polar Engineering Conference.
- Avriel, M. Penn, M. and Shpirer, N. (2000). Container ship stowage problem complexity and connecting to the coloring of circle graphs. Discrete Applied Mathematics Vol. 103.
- Carlton, J. (2007). Marine propellers and propulsion. Second edition, BH.
- Hansen H. and Freund, M. (2010). Assistance tools for operational fuel efficiency. Compit, Gubio, Italy.
- Hoffman, J. (2010). Shipping out of the economic crisis. The Broen Journal of World Affairs, Vol. 16.
- HSVA (2009). Optimising container ship hull forms for real life operation profiles. Newswave
- ICCT (2011). The energy efficiency design index for new ships. Policy update 15
- International Maritime Organization, (2009). Guidance for the development of a ship energy efficiency management plan.
- Karlsson, R. (2016). Study on the optimization of energy consumption as part of implementation of a ship energy efficiency management plan. Διαθέσιμο στο www.imo.org.
- Larson , L. (2010). The principles of naval architecture series: Ship resistance and flow.
- Pétursson S. , (2009). “Predicting Optimal Trim Configuration of Marine Vessels with respect to Fuel Usage”, Master thesis, Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland Reykjavik.

- Psaraftis, H. and Kontovas, C. (2014). Ship speed optimization : Concepts, models and combined speed – routing scenarios. Transportation Research Elsevier.
- Shultz, M. (2010). Economic impact of biofouling on naval surface ships.
- Towsin, R.L. (1993). Estimating the influence of weather on ship performance. RINA Transactions Vol. 135
- Reichel, M. , Minchev, A. and Larsen N. (2014). Trim optimization – theory and practice. International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 8.
- Wilson, I. , Roach, p. and Ware, J. (2001). Container stodge pre – planning : using search to generate solutions. Knowledge based systems Vol. 14

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- www.imo.org
- KPMG , Shipping Insights Briefing Issue 3. (2015) Ιστοσελίδα:
<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/11/2015-shipping-insights-briefing3.pdf>