



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής

&

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ
Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

ΤΙΤΛΟΣ

*Συγκριτική ανάλυση τεχνικών για την μείωση της κατανάλωσης
καυσίμου*

Στη ναυπηγική βιομηχανία

ΤΙΤΛΟΣΑΓΓΛΙΚΑ

*Comparative analysis of techniques for reducing fuel consumption
in the shipbuilding industry*

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

Γεωργουλάκος Μιχαήλ

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

Τσουκαλάς Βασίλειος

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιούνιος 2022

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

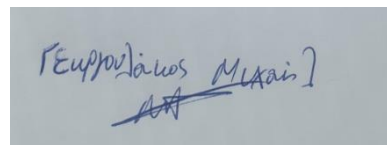
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΓΕΩΡΓΟΥΛΑΚΟΣ ΜΙΧΑΗΛ του ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 8066232 φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Γεωργουλίκος Μιχαήλ
ΑΑ

ΤΙΤΛΟΣ

**Συγκριτική ανάλυση τεχνικών για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου
στη ναυπηγική βιομηχανία**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΓΕΩΡΓΟΥΛΑΚΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του
Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη
Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών
Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών
Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

Περίληψη

Η εκπομπή ρύπων στο πλαίσιο του ναυτιλιακού κλάδου ακολουθεί στην πάροδο των χρόνων την αύξουσα πορεία προκαλώντας σοβαρές ανησυχίες στην κοινωνία, καθώς συνιστά σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς και για το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, οι κυβερνήσεις και τα κράτη έχουν προβεί σε σημαντικές μεταρρυθμίσεις, ούτως ώστε να μειωθεί η παρούσα μόλυνση. Μία εξίσου σοβαρή επίπτωση συνιστά το γεγονός της κλιματικής αλλαγής που συνιστά ένα φαινόμενο στο οποίο σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το τομέας της ναυτιλίας. Βασικό αίτιο της εκπομπής ρύπων από τα πλοία είναι αυτό της καύσης του καυσίμου. Η χημική ενέργεια του καυσίμου, κατά τη διαδικασία της καύσης, γίνεται θερμική λαμβάνοντας συνήθως το οξυγόνο από τον αέρα, με απόρροια την ταχεία οξείδωσή του.

Αποτελεί γεγονός πως τα τελευταία χρόνια η ναυτιλιακή βιομηχανία καταβάλλει διαρκώς προσπάθειες για την επιβράδυνση των αυξανόμενων περιβαλλοντικών απειλών με την εφαρμογή διάφορων στρατηγικών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Έτσι, καθίσταται αντιληπτό πως η εφαρμογή αυτών των στρατηγικών έχει διευκολύνει σε σημαντικό βαθμό την ελάττωση της κατανάλωσης του καυσίμου, αλλά και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συγκριτική ανάλυση τεχνικών για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στη ναυπηγική βιομηχανία.

Λέξεις – κλειδιά: ναυτιλιακή βιομηχανία, στρατηγικές βελτίωσης, ενεργειακή απόδοση

Abstract

Emissions from the shipping industry have been on the rise over the years, causing serious concerns in society, as they pose a serious threat to human health as well as to the environment. As a result, governments and states have made significant reforms to reduce the current contamination. An equally serious impact is the fact that climate change is a phenomenon in which the shipping sector plays an important role. The main cause of emissions from ships is the combustion of fuel. The chemical energy of the fuel, during the combustion process, becomes thermal, usually receiving oxygen from the air, resulting in its rapid oxidation.

It is a fact that in recent years the shipping industry is constantly making efforts to slow down the growing environmental threats by implementing various strategies to improve the energy efficiency of ships. Thus, it is understood that the implementation of these strategies has significantly facilitated the reduction of fuel consumption, but also of carbon dioxide emissions. The purpose of this dissertation is the comparative analysis of techniques to reduce fuel consumption in the shipbuilding industry.

Keywords: shipping industry, improvement strategies, energy efficiency

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Εικόνων	10
Κατάλογος Διαγραμμάτων	12
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	13
1.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	13
1.2 Αναγκαιότητα και σκοπός της εργασίας.....	19
Κεφάλαιο 2 ^ο : Ενεργειακή απόδοση πλοίων	20
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	20
2.1.1 Οικονομικά οφέλη	20
2.1.2 Περιβαλλοντικοί κανονισμοί	21
2.2 Παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου του πλοίου	23
2.2.1 Παράγοντες άμεσης εξάρτησης.....	24
2.2.1.1 Ο άνεμος.....	26
2.2.1.2 Ο κυματισμός	27
2.2.1.3 Ρύπανση του κύτους και της έλικας	29
2.2.1.4 Η πυκνότητα και η συνεκτικότητα που παρουσιάζει το θαλασσινό νερό	31
2.2.1.5 Η θερμοκρασία που διαθέτει το θαλασσινό νερό	32
2.2.1.6 Η αλατότητα που διαθέτει το νερό	33
2.2.1.7 Η επιτάχυνση της βαρύτητας	34
2.2.1.8 Το βάθος που διαθέτει η θάλασσα.....	35
2.2.1.9 Θαλάσσια ρεύματα	35
2.2.2 Παράγοντες έμμεσης εξάρτησης.....	37
2.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	38
2.4 Ανασκόπηση αναφορικά με τα εργαλεία/συστήματα	43
2.5 Παρουσίαση καλών πρακτικών.....	46
2.6 Προκλήσεις για μελλοντική έρευνα	49
Κεφάλαιο 3 ^ο : Στρατηγικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων	51
3.1 Οι επιπτώσεις της ναυτιλίας στο περιβάλλον	51
3.2 Πλοία με κοιλότητες αέρα ACS (Air Cavity Ships).....	55
3.3 Αναδιαμόρφωση της βολβώδους πλώρης του πλοίου- X- BOW.....	57
3.4 Βελτιστοποιήσεις στην απόδοση της προπέλας και των συστημάτων πρόωσης..	61
3.4.1 Προπέλες Σταθερού Βήματος-Fixed Pitch Propellers (FPP)	62
3.4.2 Αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs)	64
3.4.3 Azimuth προπέλες και συστήματα πρόωσης	65

3.4.4 Πρόωση Azipod.....	66
3.4.5 Σύστημα πρόωσης Voith Schneider	67
3.5 Scrubber System.....	68
3.5.1 Τύποι Συστημάτων Scrubbers	70
3.6 Σύστημα κοινού διανομέα καυσίμου (Common rail system)	76
3.6.1 Έγχυση Νερού.....	80
3.7 Αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων και πηγών ενέργειας.....	83
3.8 Το ηλεκτρικό πλοίο	85
3.8.1 Δομή.....	85
3.8.2 Οι δυνατότητες του ηλεκτρικού πλοίου.....	88
Κεφάλαιο 4 ^ο : Συγκριτική αξιολόγηση των στρατηγικών βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων	94
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα.....	99
Βιβλιογραφία	101

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Οι πιθανότητες για ελάττωση CO ₂ μέσω γνωστών τεχνολογιών και πρακτικών	54
Πίνακας 2: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος, ανά τύπο (Ιανουάριος – Μάρτιος 2016)	96
Πίνακας 3: Πραγματοποίηση σύγκρισης ανάμεσα στις εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος με αυτήν επί του πλοίου	97

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Οι παράγοντες οι οποίοι ασκούν επιρροή στην απόδοση των πλοίων.....	23
Εικόνα 2: Το περιβάλλον των πλοίων ευρύτερα και οι αλληλεξαρτήσεις που εντοπίζονται σ' αυτό	24
Εικόνα 3: Φαινομενικός και πραγματικός άνεμος	27
Εικόνα 4: Αναλύοντας την πρόσθετη αντίσταση του κυματισμού	27
Εικόνα 5: Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσονται οι ανεμογενείς κυματισμοί	29
Εικόνα 6: Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η έλικα πριν (αριστερά) και έπειτα (δεξιά) από τον καθαρισμό	29
Εικόνα 7: Παράδειγμα στο οποίο διακρίνεται διαφορετικός βαθμός ρύπανσης στα ποικίλα τμήματα που διαθέτει το κύτος	30
Εικόνα 8: Απεικόνιση της διακύμανσης που παρουσιάζει η πυκνότητα του θαλασσινού νερού	32
Εικόνα 9: Απεικόνιση της επιφανειακής θερμοκρασίας που διαθέτει η θάλασσα στο εκάστοτε σημείο της γης για μία συγκεκριμένη στιγμή	33
Εικόνα 10: Απεικόνιση της διακύμανσης της αλατότητας που διαθέτει το νερό	34
Εικόνα 11: Απεικόνιση της συμπεριφοράς που επιδεικνύουν τα κύματα σε ρηχό και βαθύ νερό	35
Εικόνα 12: Το ρεύμα του Κόλπου μεταφέρει θερμές ωκεάνιες μάζες από την ανατολική ακτογραμμή των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής σε περιοχές που βρίσκονται στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό	36
Εικόνα 13: Το ρεύμα Agulhas ταξιδεύει κατά μήκος της ακτογραμμής της Μοζαμβίκης και της Ν. Αφρικής και έπειτα εξελίσσεται προς τα ανατολικά	37
Εικόνα 14: Το ρεύμα Kuroshio ρέει προς τις βορειοανατολικές ακτές της Ιαπωνίας και μεταφέρει θερμές ωκεάνιες μάζες οι οποίες κυκλοφορούν στην ανατολική πλευρά της Ταϊβάν	37
Εικόνα 15: Απεικόνιση της διαδικασίας πρόβλεψης καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου	40
Εικόνα 16: Απεικόνιση της διαδικασίας πρόβλεψης καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου	41
Εικόνα 17: Απεικόνιση του κύκλου Σχεδιασμού - Δράσης - Ελέγχου – Ανάλυσης ..	44
Εικόνα 18: Απεικόνιση των παραμέτρων που θα ληφθούν υπόψη εκ μέρους ενός σύγχρονου συστήματος αξιολόγησης απόδοσης πλοίου	45
Εικόνα 19: Mewis duct (αριστερά) και Pre-swirl stator (δεξιά)	48
Εικόνα 20: Typical cost for tank and bulk	51
Εικόνα 21: Συμφωνία του IMO για ελάττωση CO ₂ από τα πλοία	53
Εικόνα 22: Πλοίο που διαθέτει τεχνολογία ACS της Stena Bulk	55
Εικόνα 23: Πλοίο που διαθέτει τεχνολογία ACS της Danish-Dutch DK Group	57
Εικόνα 24: Το σχέδιο X-BOW	58
Εικόνα 25: Σύγκριση γάστρα τύπου X-BOW με συμβατικού τύπου γάστρα	59
Εικόνα 26: Εφαρμογή σε πλοίο και αριθμητικό μοντέλο οριακών στοιχείων της προπέλας Kappel	62
Εικόνα 27: Εικόνες που παρουσιάζουν τη σύγκριση από τη δίνη στην πλήμνη πριν και κατόπιν της εγκατάστασης του	63
Εικόνα 28: Προπέλλες Ducted	64
Εικόνα 29: Αντίθεταπεριστρεφόμενεςπροπέλες	65
Εικόνα 30: Azimuth thrusters	66
Εικόνα 31: Τυπική διάταξη διανομής ενέργειας σε σύστημα με δύο Azipod	67
Εικόνα 32: Προωστήρας τύπου Voith Schneider	68

Εικόνα 33: Scrubber System, πηγή: Croil Reynolds.....	69
Εικόνα 34: Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers).....	71
Εικόνα 35: Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου Κλειστού Κύκλου (Closed Wet Scrubbers).....	73
Εικόνα 36: Υβριδικό Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου σε λειτουργία Ανοιχτού Κύκλου.....	74
Εικόνα 37: Υβριδικό Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου σε λειτουργία Κλειστού Κύκλου.....	74
Εικόνα 38: Σύστημα Ξηρού Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Dry Scrubber)	75
Εικόνα 39: Αρχή λειτουργίας μηχανικού συστήματος έγχυσης καυσίμου	77
Εικόνα 40: Συστοιχία αντλιών καυσίμου	78
Εικόνα 41: Α: διανομέας καυσίμου, D: μονάδα ελέγχου	78
Εικόνα 42: Σχηματική απεικόνιση κινητήρα που έχει εφοδιαστεί με σύστημα έγχυσης καυσίμου κοινού διανομέα	80
Εικόνα 43: Απεικόνιση τυπικής διάταξης της εγκατάστασης ηλεκτροδότησης από την ξηρά.....	83
Εικόνα 44: Η σύσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου	84
Εικόνα 45: Χρήση χαρταετών σε πλοία	85

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Η ονομαστική και πραγματική τιμή του πετρελαίου κατά τη χρονική περίοδο από το 1946 έως το 2009.....	21
Διάγραμμα 2: Η κατανάλωση ενέργειας ανά tonne-km για κάποιες από τις κατηγορίες των πλοίων.....	25
Διάγραμμα 3: Απεικόνιση της αύξησης της ρύπανσης σε διαφορετικές περιοχές της θάλασσας.....	31
Διάγραμμα 4: Η αλλαγή της πυκνότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού (Πηγή: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).....	32
Διάγραμμα 5: Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος.....	34
Διάγραμμα 6: Απεικόνιση σύγκρισης ως προς την κατανάλωση καυσίμων.....	60
Διάγραμμα 7: Απεικόνιση εφικτής ταχύτητας στους κυματισμούς και την απώλεια ταχύτητας σε πλοίο με σχεδιασμό X-BOW και σε πλοίο συμβατικού τύπου.....	61
Διάγραμμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος, ανά τύπο (Ιανουάριος – Μάρτιος 2016).....	96
Διάγραμμα 9: Παρουσίαση της κατανομής των εκπομπών CO ₂ για υβριδικό πλοίο το οποίο προβαίνει σε χρήση συστήματος μπαταριών 300kWh.....	98
Διάγραμμα 10: Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων μείωσης κατανάλωσης καυσίμου.....	96

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η μέθοδος η οποία συμφέρει και φαίνεται να είναι η πιο ασφαλής από όλες όσον αφορά τη μεταφορά φορτιών που διαθέτουν μεγάλο όγκο είναι πλέον η θαλάσσια μεταφορά, κάτι που έχει γνωρίσει μεγάλη ανταπόκριση ιδίως με την όλο και αυξανόμενη ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας που σχετίζεται με το διεθνές εμπόριο και τις διεθνείς μετακινήσεις. Με βάση τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, το εμπόριο σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει υπερδιπλασιαστεί σε σχέση με τη δεκαετία του 50'. Σε σχέση με άλλα στοιχεία το διεθνές εμπόριο διοχετεύεται στις αγορές κατά 80% μέσω θαλάσσιων μεταφορών, ποσοστό το οποίο φτάνει ακόμη και το 90% αν δεν λάβουμε υπόψη τις συναλλαγές που γίνονται εντός Ευρώπης (Chen, Geng & Fujita, 2011).

Μέσα από την εξέλιξη και τον εκσυγχρονισμό των θαλάσσιων μέσων μεταφορών δηλαδή από το γεγονός πως έχουν δημιουργηθεί ταχύτερα, μεγαλύτερα, ασφαλέστερα πλοία έχει καταστεί εφικτό να προσεγγίζονται ακόμη πιο μακρινές αγορές δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να συμβάλουν στο όλο εγχείρημα σημαντικού μεγέθους εμπορικά και κατασκευαστικά κέντρα όπως πχ η Κίνα. Ακόμη ένας παράγοντας που συνέβαλε στην ανάπτυξη των θαλάσσιων συναλλαγών ήταν το γεγονός πως αυξήθηκε το ποσοστό των εμπορευμάτων για κάθε χώρα ενώ προωθήθηκε η ιδέα μιας ενοποιημένης αγοράς παγκοσμίως, δείχνοντας πως η ναυτιλία σχετικά με το διεθνές εμπόριο αποτελεί τον λιγότερο επιβλαβή παράγοντα όσον αφορά το περιβάλλον. Για παράδειγμα αν επιδιώκουμε να μεταφέρουμε έναν τόνο από κάποιο εμπόρευμα για απόσταση ενός χλμ. η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα θα είναι τέσσερις φορές λιγότερη αν η μεταφορά γίνει με πλοίο συγκριτικά με φορτηγό ενώ θα είναι σαράντα φορές μικρότερα τα ποσοστά εκπομπής σε σχέση με το αεροπλάνο. Έτσι γίνεται αντιληπτό πως παρά το ότι το παγκόσμιο εμπόριο εξυπηρετείται μέσω θαλάσσιων μεταφορών, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι ελάχιστες αφού αγγίζουν το 3,5%, βέβαια δημιουργούνται άλλα προβλήματα περιβαλλοντικού χαρακτήρα αφού παράγονται παραπροϊόντα από τις καύσεις και ρυπαίνουν το περιβάλλον. Βάσει στοιχείων φαίνεται πως τα πλοία ευθύνονται για το 10 με 20% του θείου στις παραθαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης, προβλέποντας

αύξηση των δεδομένων αυτών τα οποία θα φτάσουν στο 30% για τις θαλάσσιες και στο 50% για τις παραθαλάσσιες περιοχές τα επόμενα χρόνια.

Με δεδομένο πως δεν προβλέπονται αλλαγές για τους διεθνείς κανονισμούς περιμένουν να αυξηθεί η κατανάλωση των ναυτιλιακών καυσίμων σε 490 τόνους περίπου για τα επόμενα χρόνια σε σχέση με το 2007 όπου το ύψος των τόνων έφτανε τους 390 περίπου. Για την χρονιά που μας πέρασε 380 εκατομμύρια τόνοι είναι heavy fuel oil και οι 105 distillates, ενώ ας σημειωθεί πως εφόσον αυξάνεται η κατανάλωση προφανώς αυξάνεται και η εκπομπή καυσαερίων. Πιο συγκεκριμένα το So 2 θεωρείται πως θα ξεπεράσει τους 22,7 τόνους τα επόμενα έτη σε σχέση με το 2006 όπου ήταν στους 16,3 εκατομμύρια τόνους, κάτι που επηρέαζε σημαντικά μαζί με το NO 2, την υποτίμηση των κλιματικών αλλαγών (Cofala. et all, 2007).

Βασικό μέλημα των Διεθνών Οργανισμών είναι να μειωθούν οι εκπομπές των ρύπων μέσα από θεσμοθετημένους περιορισμούς και χωρίς να υπάρχουν πολλά περιθώρια για ανυπακοή των κανονισμών. Πιο συγκεκριμένα μέσω αυτών των απαιτήσεων επιδίωξη είναι η μείωση των ρύπων από τις περιοχές των λιμανιών, κάτι που είναι εξαιρετικά σημαντικό καθώς θα βοηθήσει τόσο το περιβάλλον όσο και το άτομο, αλλά θα δημιουργήσει και διάφορες αναταραχές στην οικονομία και στο εμπόριο του ναυτιλιακού χώρου. Η προσπάθεια για την αντιμετώπιση και τον περιορισμό των ρύπων που προέρχονται από τα πλοία εξαρτάται κατά πολύ από τα προβλήματα που διαθέτουν οι εγκαταστάσεις καθώς τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία είναι ουσιαστικά τα κατάλοιπα της διαδικασίας παραγωγής προϊόντων με πιο ευγενή στοιχεία στα διυλιστήρια. Κατά μέσο όρο το θειάφι των καυσίμων που εξάγεται από τα πλοία είναι 2,5 με 3%, γύρω στις τρεις χιλιάδες φορές περισσότερο από αυτό που εξάγουν τα αυτοκίνητα ντίζελ, κάτι που υποδεικνύει πως αν γίνεται χρήση ίδιων καυσίμων τόσο στα πλοία όσο και στα άλλα μέσα μεταφορών, τα αέρια ρύπων που θα εκπέμπονται θα είναι πιο χαμηλά. Από την άλλη, αν πραγματοποιηθεί το πιο πάνω σενάριο είναι πιθανό να επηρεαστεί αρνητικά το περιβάλλον εξ' αιτίας της διαδικασίας δύλισης γιατί απαιτεί περισσότερη ενέργεια με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ περισσότερα υπολείμματα (Rahman, et all, 2013).

Η ναυτιλία και το περιβάλλον βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση, με την κλιματική αλλαγή να μεγαλώνει συνέχεια αλλάζοντας συνεχώς τα δεδομένα. Η Αρκτική έρχεται αντιμέτωπη με σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα όπως είναι το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση του ύψους των υδάτων, κάτι τέτοιο θα επηρεάσει μελλοντικά τα λιμάνια καθώς θα αυξηθεί η στάθμη των νερών και θα κινδυνεύουν να

βυθιστούν υποδεικνύοντας βέβαια νέες τοποθεσίες. Επιπλέον ο Β. πόλος είναι ακόμη μια περιοχή που έχει επηρεαστεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή αφού οι παγωμένοι ωκεανοί που διέθετε πλέον είναι προσπελάσιμοι από πλοία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, συντομεύοντας αρκετές διαδρομές και δίνοντας επιπλέον δυνατότητες εκμετάλλευσης σε νέες πηγές (Sharaf & Orhan, 2014).

Η παγκόσμια κοινότητα δείχνει να έχει επηρεαστεί από την οικονομική κρίση, ενώ τον τελευταίο καιρό φαίνεται να έχει επανέλθει καθώς έχουν εφαρμοστεί καλά συντονισμένες πολιτικές ενέργειες και έχουν δημιουργήσει σχέσεις εμπιστοσύνης ανάμεσα σε επιχειρήσεις και καταναλωτές. Μέσα από αυτή την πολιτική δέσμευση φαίνεται πως το εμπόριο και η παραγωγή σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία πλούτου και καθίστανται πρωταρχικοί μοχλοί ανάπτυξης. Εφόσον κινούμαστε με βάση την προσπάθεια να μετατραπεί η ναυτιλία σε ένα βιώσιμο και πράσινο τρόπο μεταφοράς είναι απαραίτητο να υπάρξουν ιδέες και ρυθμίσεις που θα μειώσουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων μελλοντικά (Kilic, & Tzannatos, 2014)..

Μέλημα της ναυτιλίας πρέπει να είναι η υιοθέτηση φιλικών λύσεων για το περιβάλλον όσον αφορά τον τομέα της παραγωγής ενέργειας, της κίνησης αλλά και της λειτουργίας των μέσων. Επιπλέον ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός παίζει σημαντικό ρόλο καθώς έχει εισάγει ορισμένους κανόνες για τα πλοία οι οποίοι στοχεύουν στην ασφαλή και περιβαλλοντικά βιώσιμη ναυτιλία και όχι στην εφαρμογή παρωχημένων λύσεων. Αυτές οι κινήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες καινοτομίες αφού εφαρμόζουν νέες τεχνολογίες και αποδεκτά πρότυπα. Ακόμη έχουν υπάρξει καινούριες στρατηγικές για την εφαρμογή της αυξημένης περιβαλλοντικής σύγκλισης σχετικά με τις λειτουργίες των πλοίων. Αυτό το γεγονός αποτέλεσε παράγοντα για την μελέτη της σωστής αξιοποίηση πηγών ενέργειας, αλλά και για τη μείωση της ενέργειας που χρειάζεται. Όλες αυτές οι πρακτικές οδηγούν στην εφαρμογή της πράσινης ναυτιλίας κάτι που αποτελεί ένα καινοτόμο βήμα (Vogler & Würsig, 2009).

Το κατά πόσο αποδίδει ένα πλοίο σχετίζεται με πολλούς παράγοντες, τέτοιοι είναι η αποδοτικότητα της προωστήριας εγκατάστασης, η προπέλα και το κύτος, επίσης ρόλο παίζουν οι εννιά επιχειρησιακοί χρόνοι, η συντήρηση, η στελέχωση και το κατά πόσο τηρούνται όλοι οι κανονισμοί. Σχετικά με τον λειτουργικό σχεδιασμό, έχουν διεξαχθεί μελέτες που αφορούν την ανανέωση των τεχνολογιών για τις προωστήριες εγκαταστάσεις ντίτζελ αλλά και την χρήση διαφορετικών μορφών

καυσίμων. Αυτές οι μελέτες έχουν διεξαχθεί έχοντας ως βασικό στόχο να ελαχιστοποιήσουν τα λειτουργικά κόστη, κάτι που θεωρείται αναγκαίο ώστε να καταστεί το πλοίο ανταγωνιστικό σε σχέση με τις λειτουργίες του καθώς το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας μπορεί να επηρεάζει το κόστος του ως και 50%, αν λάβουμε υπόψη την υψηλή τιμή του. Άρα γίνεται κατανοητό πως μια ορθή επιλογή ως προς την πηγή ενέργειας αλλά και ως προς την επιλογή του κατάλληλου σχεδιασμού, είναι ζωτικής σημασίας στην αποδοτικότητα ενός πλοίου (Zhai et al., 2012).

Μετά τις εξελίξεις που γνώρισε η τεχνολογία κατά τον 20^ο αιώνα, το πετρέλαιο θεωρήθηκε η πρώτη επιλογή ενέργειας. Οι βασικοί παράγοντες που συνετέλεσαν σε αυτή τη πορεία ήταν η εμφάνιση του ηλεκτρικού λαμπτήρα και του αυτοκινήτου καθώς η απόκτηση αυτοκινήτου και η αναζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας γνώρισαν σημαντική αύξηση. Ο ΟΠΕΚ μετατόπισε τον έλεγχο των παραγωγών και των τιμών από τις δυτικές ΔΟΕ στις χώρες παραγωγής ενώ δημιούργησε και την Εθνική Εταιρεία Πετρελαίου. Η ΕΕΠ ελέγχει πλέον πάνω από το 70% της παραγωγής πετρελαίου αλλά και φυσικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα νέα δεδομένα που έχει επιφέρει η νέα εποχή θέλουν να μετατοπίζεται η εξουσία από τον ΟΠΕΚ αφού οι χώρες πλέον επιδιώκουν να είναι ανεξάρτητες και να παράγουν οι ίδιες την ενέργειά τους. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον χώρο της υδραυλικής, των γεωτρήσεων και της παραγωγής δίνουν την ευκαιρία να διαθέτουν μεγάλα αποθέματα διάφορες καινούριες περιοχές.

Σε όλη την ιστορία του ανθρώπου, η ζωτικότητα είναι βασικό στοιχείο για την ζωή, τα άτομα συχνά έκαιγαν ξύλα για να περάσουν τις δύσκολες περιόδους ή για να μαγειρέψουν. Παρά το ότι το ξύλο είναι κυρίως δομικό υλικό ωστόσο ήταν ένα από τα βασικά καύσιμα του κόσμου για πολλούς αιώνες. Η δημιουργία του κινητήρα ατμού κατά τον 18^ο αιώνα σήμανε την αλλαγή προς μια άλλη οικονομία και εισήγαγε την μηχανική ενέργεια. Τα τρένα είχαν τη δυνατότητα να καίνε είτε ξύλο είτε άνθρακα, βέβαια ο άνθρακας γρήγορα οδήγησε σε μεγάλη εξέλιξη όσον αφορά την μηχανική. Μια ποσότητα άνθρακα πολλές φορές έδινε πιο μεγάλη ζωτικότητα σε σχέση με την αντίστοιχη ποσότητα ξύλου ενώ ήταν και προσιτό, έτσι ήταν πιο εύκολο να διαδοθεί. Τα αμάξια ατμού μείωσαν το χρόνο αλλά και τα έξοδα που χρειαζόταν για τις χερσαίες μεταφορές ενώ τα ατμόπλοια ήταν σε θέση να διασχίζουν τις θάλασσες. Οι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούσαν άνθρακα φαινόταν να είναι πιο αποτελεσματικοί ενώ μείωναν το συνολικό βάρος τους. Με τον ερχομό του νέου αιώνα δηλαδή του 20^{ου}, απασχολούσε τον κόσμο το περιβάλλον αλλά και η

τεχνολογία ενώ έκανε την εμφάνισή της μια καινούρια πηγή ενέργειας, το πετρέλαιο (Guo, Song, & Buhain, 2015).

Είναι άξιο λόγου πως μολονότι οι γυναίκες δεν διέθεταν ακόμη δικαίωμα στη ψήφο, η κοινωνική ομάδα των γυναικών συνετέλεσε σημαντικά μέσα από πιέσεις, στη δημιουργία νομοθετημάτων που προωθούσαν τη μείωση εκπομπών επιβλαβών αερίων που προκαλούνται από τις καύσεις του άνθρακα. Το πετρέλαιο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά στην Κίνα το 600 Π.Χ. όπου οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν αντικείμενα από μπαμπού για να το μεταφέρουν στην επιφάνεια. Η ανακάλυψη του πετρελαίου τάραξε τα νερά και επέφερε αλλαγές στην οικονομία που ίσχυε μέχρι εκείνη τη στιγμή. Αρχικά το πετρέλαιο ήταν πιο εύκολο στη χρήση και μπορούσε να προσαρμοστεί σε πολλές συνθήκες αντιθέτως με τον άνθρακα. Ακόμη το καύσιμο των λαμπτήρων από τη στιγμή που έκαιγε πετρέλαιο έδωσε τη δυνατότητα στον μέσο καταναλωτή να το αγοράζει καθώς ήταν πιο προσιτό εν αντιθέσει με τα έλαια που χρησιμοποιούσαν πριν από αυτό. Μετά τις εξελίξεις που σημειώθηκαν κατά τον 20^ο αιώνα το πετρέλαιο πλέον θεωρείται η βασική πηγή ζωτικότητας. Οι κύριοι παράγοντες που συνετέλεσαν σε αυτήν την εξέλιξη ήταν το ηλεκτρικό φως και το αυτοκίνητο ενώ μαζί με το ενδιαφέρον για εξουσία που σημείωσε αύξηση, αυξήθηκε και το ενδιαφέρον για το πετρέλαιο. Μέχρι το 1919 οι προσφορές στα καύσιμα φάνηκε πως ξεπερνούσαν τις προσφορές των λαμπτήρων, τα πετρελαιοφόρα πλοία, τα φορτηγά και τα στρατιωτικά αεροπλάνα κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, ανέβασαν την αξία του πετρελαίου ενώ το κατέδειξαν ως τον κύριο στρατιωτικό πόρο (Ikenberry, 2018)..

Πριν από την δεκαετία του 20^ς το φυσικό αέριο που δημιουργήθηκε από το πετρέλαιο είχε παραγκωνιστεί όμως σε βάθος χρόνου ξεκίνησε να χρησιμοποιείται ως μέσο θέρμανσης. Με δεδομένο το γεγονός πως η αξία του αερίου αυξήθηκε μπορούμε να κατανοήσουμε πως πλέον θεωρήθηκε ένα σημαντικό στοιχείο. Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος που λειτουργεί η βιομηχανία του πετρελαίου και του αερίου πρέπει να κατανοήσουμε πως άλλαξε έπειτα από κάποιον καιρό. Κύριο ρόλο στον τομέα της βιομηχανίας παίζει αυτός που κατέχει τον έλεγχο των βασικών πόρων δηλαδή του πετρελαίου και του αερίου. Ο Rockefeller είναι αυτός που ασχολήθηκε πρώτος με το πετρέλαιο και έτσι αναδείχθηκε ως ο κύριος κάτοχος το 1865 δημιουργώντας την επιχείρηση StandardOilCompany. Μέχρι το 1879 η συγκεκριμένη επιχείρηση φαίνεται πως κατέχει τον έλεγχο των διυλίσεων στην Αμερική καθώς διαθέτει αγωγούς και πλαίσια συσσώρευσης ενώ επεκτείνεται σε όλους τους τομείς

αφού ασχολείται τόσο με παραγωγή όσο και με προώθηση. Σήμερα τα ηνία έχει πάρει η ExxonMobil. Η επιχείρηση του Rockefeller ενώ έχτιζε έναν κολοσσό οι οικογένειες Nobel και Rothschild ξεκίνησαν να έχουν υπό τον έλεγχό τους τον εξευγενισμό των πετρελαίων στη Ρωσία. Ενώ όλοι προσπαθούσαν να αναζητήσουν έναν μέσο που θα προωθούσε το καύσιμο των λαμπτήρων οι Rothschild έδιναν προμήθειες στα πετρελαιοφόρα μέσω ενός πωλητή του MarcusSamuel. Το πρώτο από τα δεξαμενόπλοια ονοματίστηκε Murex λαμβάνοντας το όνομά του από ένα κέλυφος που έπειτα μετατράπηκε σε μόλυβδο (Paranikolaou, 2014).

Το ολλανδικό πετρέλαιο εμφανίστηκε αρχικά στις Κάτω Ινδίες περί το 1800 ενώ το 1892 ολοκλήρωσε τις εργασίες του σχετικά με την παραγωγή και την διύλιση. Το 1907, η RoyalDutch και η ShellTransportandTrading ήρθαν σε συμφωνία και πλαισίωσαν την RoyalDutchShellGroup. Ακόμη το 1907 ανακαλύφθηκε πετρέλαιο στο Ιράν από ένα βρετανικό εκσκαφέα. Η Βρετανία προχώρησε στην αγορά του 51% της οργάνωσης κατά τη δεκαετία του 20' για να μπορεί να δώσει επαρκείς ποσότητες πετρελαίου στο ναυτικό της τα επόμενα χρόνια. Ο οργανισμός είχε ονομαστεί British Petroleum ενώ σήμερα έχει την γνωστή ονομασία BP. Σήμερα οι τρεις αυτές οργανώσεις δηλαδή η ExxonMobil, η Shell και η BP νοούνται ως οι πλέον σημαντικές εταιρείες στον χώρο του πετρελαίου. Στην Αμερική η ύπαρξη του Spindletop στο Τέξας το 1901 είχε ως στόχο σε βάθος χρόνου να εξυπηρετεί οργανισμούς, για παράδειγμα Gulf Oil, Texaco κ.α. Οι Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου έδειξαν τη δύναμή τους αφού θεωρήθηκαν ένας πολύ καλός ανταγωνιστής στον τομέα του πετρελαίου. Από τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο και μετά το πετρέλαιο αποτελεί βασικό στοιχείο για την καθημερινότητα του ατόμου και απαραίτητο μέσο για την οικονομία πολλών χωρών. Κατά τη δεκαετία του 30' το Gulf Oil, η BP, η Texaco και η Chevron εκδήλωσαν κάποιο ενδιαφέρον να παραχωρήσουν ορισμένα από τα κεκτημένα τους όμως έκτοτε έχει δημιουργηθεί μια οργάνωση η οποία αποτελείται από επτά οργανισμούς με στόχο να ελέγχουν τις παγκόσμιες επιχειρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου, σε αυτήν την οργάνωση συμμετέχουν οι εξής εταιρείες, Exxon (αρχικά Standard Oil), Royal Dutch / Shell, BP, Mobil, Texaco, Κόλπος και Chevron. (Ikenberry, 2018).

1.2 Αναγκαιότητα και σκοπός της εργασίας

Ο λόγος για τον οποίο κατέστη αναγκαία η διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος είναι επειδή έχει διαπιστωθεί επανειλημμένα πως ο τομέας της ναυτιλίας συνιστά μία σημαντική αιτία επιβλαβούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητο να διερευνηθούν οι τεχνικές και οι τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στα πλοία για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω της οποίας θα διασφαλιστεί η προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος, ενώ, παράλληλα, η ναυτιλία θα καταστεί ως ένα περισσότερο βιώσιμο μέσο μεταφοράς. Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συγκριτική ανάλυση τεχνικών για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στη ναυπηγική βιομηχανία.

Κεφάλαιο 2^ο: Ενεργειακή απόδοση πλοίων

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

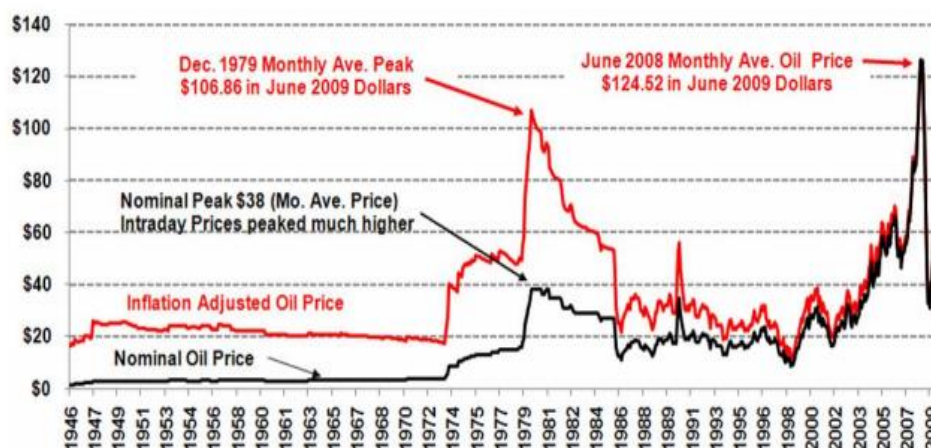
Ένα πολύπλοκο πρόβλημα που μπορεί να προσεγγιστεί από πολλές πλευρές και σε πολλά επίπεδα είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου. Ο έλεγχος της ενεργειακής αποδοτικότητας κάποιου πλοίου έχει άμεση σχέση με τεχνικούς παράγοντες, περιβαλλοντικούς παράγοντες και οικονομικούς παράγοντες. Πολύ συχνά επιδιώκεται να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερα κατανοητή η λειτουργική απόδοση ενός πλοίου διότι υπάρχει άμεση σύνδεση αυτής με το τη μόλυνση του περιβάλλοντος και το κόστος των καυσίμων. Κατά τη δεκαετία του 1980 έπειτα από την οικονομική ύφεση των πετρελαιοειδών στο τέλος της δεκαετίας του 1970, τέθηκαν σε εφαρμογή επιχειρησιακές στρατηγικές, πολλά συστήματα παρακολούθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Κατά τα τελευταία πέντε έτη, ο προβληματισμός σχετικά με τον έλεγχο και την εξοικονόμηση της ενέργειας έχει αναβιώσει, εξαιτίας της αύξησης της τιμής του πετρελαίου και της άμεσης ανάγκης να αναληφθεί συντονισμένη δράση προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή (IPCC, 2014).

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναφέρονται με σύντομο τρόπο τα σημαντικότερα θέματα που σχετίζονται με την ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου, από τη στιγμή που η κατανόηση και η σφαιρική γνώση αυτών, αποτελούν προϋπόθεση και θεμέλιο λίθο προκειμένου να αναλυθούν σωστά και να αξιολογηθούν τα δεδομένα που θα παρατεθούν.

2.1.1 Οικονομικά οφέλη

Η εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζει την εξέλιξη της τιμής του αργού πετρελαίου από το έτος 1946 έως το έτος 2009. Τα αίτια της πετρελαϊκής κρίσης που υπήρχε τη δεκαετία που πέρασε, εντοπίζονται σε πλήθος παραγόντων όπως η μείωση της παραγωγής, η ραγδαία αύξηση της ζήτησης, τα περιστατικά κερδοσκοπίας, η έλλειψη πολιτικής σταθερότητας κ.ά. Αυτοί που ηγούνται στην πετρελαϊκή βιομηχανία διαπιστώνουν ότι το κόστος εξόρυξης πετρελαίου αυξάνεται συνεχώς και ότι η ανεύρεση καινούργιων πετρελαιοπηγών γίνεται πολύ δύσκολη. Είναι

αξιοσημείωτο ότι το έτος 2002, η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου ήταν τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ποσότητα που αντλήθηκε από τις νέες πηγές (Hasselaar, 2010).



Διάγραμμα 1: Η ονομαστική και πραγματική τιμή του πετρελαίου κατά τη χρονική περίοδο από το 1946 έως το 2009

(Πηγή: Hasselaar, 2010)

Το αποτέλεσμα της μεγάλης αύξησης των τιμών του πετρελαίου, είναι το κόστος των καυσίμων των πλοίων να αυξηθεί από 40% έως 60% του συνόλου του λειτουργικού τους κόστους. Προκειμένου να εξοικονομηθούν καύσιμα, η πρακτική που επιλέγεται σε αρκετές περιπτώσεις είναι να λειτουργεί η μηχανή σε χαμηλές ταχύτητες, σε περιπτώσεις που κάτι τέτοιο είναι εφικτό, όμως αυτό προκαλεί επιπλέον φθορά στη μηχανή διότι ουσιαστικά το πλοίο υπολειτουργεί. Αυτός είναι ο λόγος που οι ιδιοκτήτες των πλοίων προσπαθούν τα πλοία τους να λειτουργούν κάτω από τις καλύτερες δυνατές λειτουργικές και τεχνικές συνθήκες. Η καλύτερη δυνατή λειτουργία του πλοίου από άποψη ενεργειακής απόδοσης, μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν παρακολουθείται η κατανάλωση του καυσίμου με βάση μία άρτια δομημένη και με σαφήνεια καθορισμένη μεθοδολογία (Hasselaar, 2010).

2.1.2 Περιβαλλοντικοί κανονισμοί

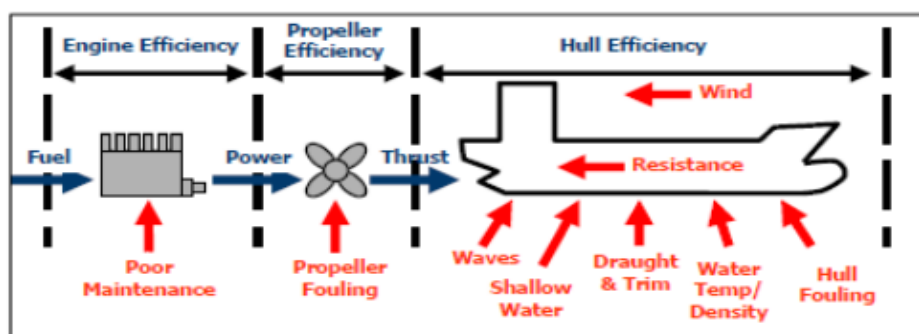
Τον Απρίλιο του 2015 εγκρίνεται ο κανονισμός που αφορά τη θαλάσσια κυκλοφορία “Monitoring, Reporting, Verification” – MRV και δημιουργείται ένα

νομικό πλαίσιο σε ευρωπαϊκό επίπεδο που αφορά την αναφορά, την παρακολούθηση και τους κινδύνους από την εκπομπή CO₂ και άλλων πληροφοριών που σχετίζονται με τις θαλάσσιες μεταφορές. Με βάση τον εν λόγω κανονισμό, τα πλοία που είναι πιο μεγάλα από 5.000 τόνους, τα οποία εκτελούν δρομολόγια σε λιμάνια του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου – ΕΟΧ (Ευρωπαϊκή Ένωση, Ισλανδία και Νορβηγία), ανεξάρτητα από τον τόπο νηολόγησης της εταιρείας ή του πλοίου, από την 1^η Ιανουαρίου 2018 είναι απαραίτητο να εφαρμόζουν εκείνες τις διαδικασίες και τα συστήματα που θα τους δώσουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις εκπομπών CO₂ που προκαλούνται αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται με μετακινήσεις από, προς και μεταξύ λιμένων του ΕΟΧ, αλλά και όσο διαρκεί η παραμονή τους σε λιμάνια εντός της ΕΟΧ. Οι εταιρείες που είναι υπεύθυνες προκειμένου τα πλοία που επισκέπτονται τα λιμάνια του ΕΟΧ να συμμορφώνονται με τον κανονισμό MRV, θα πρέπει (Hansen, 2018):

- Μέχρι τις 31/08/2017, για κάθε πλοίο άνω των 5.000 GT που επισκέπτεται λιμάνι του ΕΟΧ, να είχαν υποβάλει ένα σχέδιο παρακολούθησης στους ελεγκτές στο οποίο θα αναφέρεται η μέθοδος παρακολούθησης που επιλέχθηκε και να γίνεται η σχετική αναφορά των εκπομπών CO₂ και άλλων πρόσθετων πληροφοριών. Σύμφωνα με το άρθρο 6 του κανονισμού, οι εταιρείες πρέπει, κάνοντας χρήση τυποποιημένων ηλεκτρονικών προτύπων, να αναπτύξουν σχέδιο παρακολούθησης της επιλογής τους.
- Από την 01/01/2018, οφείλουν αφού παρακολουθήσουν να αναφέρουν σε διαπιστευμένο ναυτιλιακό ελεγκτή MRV, τα δεδομένα που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμων και επίσης δεδομένα όπως ο χρόνος στη θάλασσα, το φορτίο που μεταφέρεται και η απόσταση, προκειμένου να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της μέσης ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.
- Από το 2019, έως τις 30 Απριλίου κάθε έτους, πρέπει να υποβάλλονται στην Επιτροπή, με ηλεκτρονικό τρόπο, εκθέσεις εκπομπών ρίπων που έχουν ελεγχθεί με τρόπο ικανοποιητικό, για κάθε πλοίο.
- Από το 2019, μέχρι τις 30 Ιουνίου κάθε έτους, πρέπει να διασφαλιστεί ότι όλα τα πλοία που εκτέλεσαν κάποιες δραστηριότητες την περίοδο αναφοράς που προηγήθηκε και επισκέπτονται λιμάνια εντός ΕΟΧ, φέρουν επάνω στο πλοίο έγγραφο συμμόρφωσης το οποίο εκδίδεται από έναν διαπιστευμένο ναυτιλιακό ελεγκτή MRV. Αυτό ενδεχομένως να υπόκειται σε επιθεωρήσεις από τις αρχές των κρατών μελών (κανονισμός της Ε.Ε. 2015).

2.2 Παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμου του πλοίου

Όταν στην αγορά, η δυνατότητα να μειωθεί το λειτουργικό κόστος συνεχώς βαίνει μειούμενη, είναι λογικό ότι κάθε ιδιοκτήτης πλοίου επιδιώκει ο στόλος του να λειτουργεί αποδίδοντας τα μέγιστα, σε ότι αφορά την κατανάλωση καυσίμου. Κατά τη λειτουργία ενός πλοίου, το σύστημα αντιρύπανσης του κύτους, καθίσταται συνεχώς λιγότερο αποδοτικό. Η αντίσταση τριβής αυξάνεται, από τη ρύπανση του κύτους. Το σύνολο της αντίστασης, που οφείλεται στη ρύπανση του κύτους του πλοίου, είναι δυνατόν να παρουσιάσει σημαντική αύξηση στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο δεξαμενισμών, με τη μέση τυπική μείωση ταχύτητας να κυμαίνεται μεταξύ 2-4% ανά έτος. Ο έντονος προβληματισμός αναφορικά με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τα μικρά περιθώρια κέρδους που χαρακτηρίζουν τον τομέα της Ναυτιλίας, καθιστούν τον έλεγχο της απόδοσης του πλοίου, σημείο αναφοράς των θαλάσσιων μεταφορών (Larsen, 2009).



Εικόνα 1: Οι παράγοντες οι οποίοι ασκούν επιρροή στην απόδοση των πλοίων

(Πηγή: Larsen, 2009)

Η τάση της εποχής προάγει την ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στον μεγάλο όγκο δεδομένων που διατίθενται προς ανάλυση από τον επιβλέποντα του πλοίου. Αυτά προέρχονται από κάποια συστήματα μέτρησης είτε επάνω στο πλοίο είτε από διαφορετικές πηγές, έχουν μεγάλο εύρος και είναι αρκετά πολύπλοκες. Η εν λόγω πληροφορία παράγεται με αρκετά μεγάλο ρυθμό και το επίπεδο αξιοπιστίας των δεδομένων που πρόκειται να αναλυθούν, ποικίλλει (Larsen, 2009).



Εικόνα 2: Το περιβάλλον των πλοίων ευρύτερα και οι αλληλεξαρτήσεις που εντοπίζονται σ' αυτό

Προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, είναι απαραίτητο να εγκατασταθεί μόνιμος εξοπλισμός επάνω στο πλοίο ώστε να συλλεχθούν δεδομένα αλλά και ένα σύστημα που θα επιτρέπει την ανάλυσή τους από τη στεριά (Larsen, 2009).

2.2.1 Παράγοντες άμεσης εξάρτησης

Καταρχάς πρέπει να αναφερθεί ότι μία εξαιρετικά σπουδαία παράμετρος της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου, αποτελούν οι υδροδυναμικές ιδιότητές του. Προκειμένου ένα πλοίο να φτάσει από υδροδυναμικής οπτικής στο βέλτιστο επίπεδο, οι τρεις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται είναι η βελτιστοποίηση της έλικας, η βελτιστοποίηση του κύτους και η διάδραση μεταξύ κύτους και έλικας.

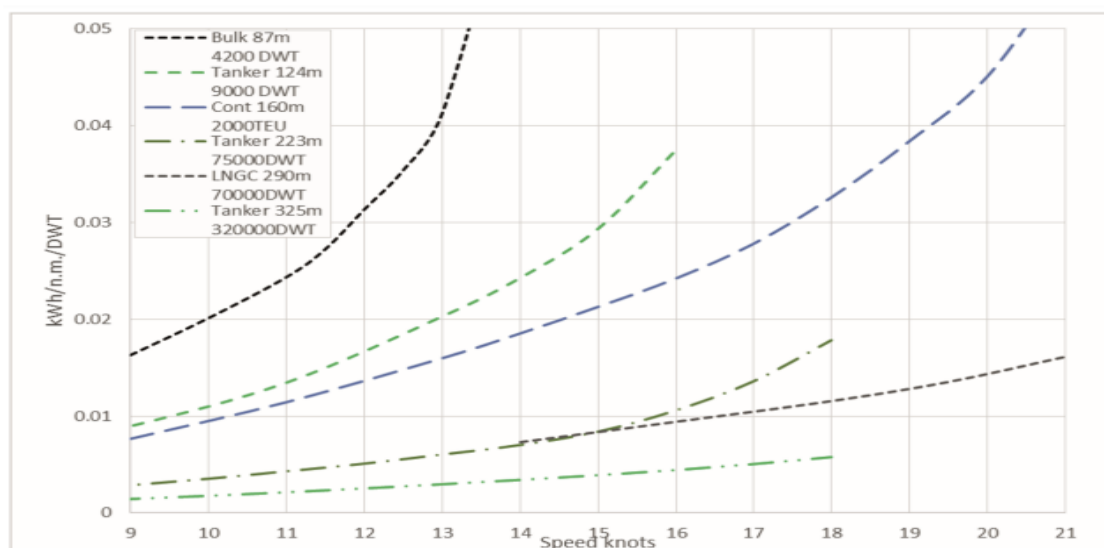
Η βελτιστοποίηση του κύτους και των διαστάσεών του πραγματοποιείται προκειμένου να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των δύο βασικών συνιστωσών της αντίστασης δηλαδή της αντίστασης κυματισμού (wave resistance) και της αντίστασης τριβής (frictional resistance).

Οι κινήσεις του νερού σε όλο το μήκος του κύτους προκαλούν την αντίσταση τριβής. Στην ουσία η πυκνότητα του νερού είναι αυτή που δημιουργείται στις πλευρές του πλοίου την αντίσταση τριβής. Αυτή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της

ταχύτητας και ως εκ τούτου αν η ταχύτητα διπλασιαστεί, η αντίσταση θα τετραπλασιαστεί και η αιτούμενη ισχύς θα πολλαπλασιαστεί επί οκτώ.

Η τραχύτητα μιας επιφάνειας επηρεάζει την αντίσταση τριβής. Η αντίσταση αυξάνεται όταν η τραχύτητα ξεπερνά κάποια επίπεδα. Επομένως, όταν πρόκειται για μία επιφάνεια λεία και χωρίς ίχνος ρύπανσης, αυτό από μόνο του αποτελεί παράγοντα που ελαχιστοποιεί την τριβή. Αυτός είναι και ο λόγος που τα υφαλοχρώματα και τα συστήματα αντιρύπανσης αποτελούν έναν τομέα εξαιρετικά ενδιαφέρον αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου. Ο εκτοπισμός νερού όταν το πλοίο περνάει μέσα από αυτό, προκαλεί αντίσταση κυματισμού και δημιουργεί κύματα. Η αντίσταση κυματισμού εξαρτάται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την ταχύτητα, συγκριτικά με την αντίσταση τριβής. Όταν οι ταχύτητες είναι εξαιρετικά χαμηλές, είναι σχεδόν ασημαντή. Σε κάποιο δεξαμενόπλοιο, που είναι ένα μεγάλο πλοίο, η αντιστοιχία αγγίζει το 10% του συνόλου της αντίστασης ενώ σε ένα ταχύπλοο σκάφος ενδεχομένως να αποτελεί την βασικότερη συνιστώσα της αντίστασης.

Οι παραπάνω παράγοντες επιβάλλουν τον διαφορετικό σχεδιασμό των πλοίων ανάλογα με την ταχύτητα που επιθυμούν να αναπτύξουν. Στην εικόνα που ακολουθεί γίνεται αναπαράσταση της σχέσης του μεγέθους και της ταχύτητας, αναφορικά με την ενέργεια που καταναλώνεται (IMO, 2016).



Διάγραμμα 2: Η κατανάλωση ενέργειας ανά tonne-km για κάποιες από τις κατηγορίες των πλοίων

(Πηγή: IMO, 2016)

Η βελτιστοποίηση της έλικας στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης και της απόκτησης εκείνων των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις δονήσεις και την σπηλαίωση του πλοίου. Επειδή οι εν λόγω παράγοντες αλληλοσυγκρούονται, τελικά η καλή έλικα αποτελεί προϊόν συμβιβασμού. Μία έλικα είναι αποδοτική όταν έχει μικρή ταχύτητα άξονα και μεγάλη διάμετρο. Ζητήματα που σχετίζονται με τις δονήσεις και την σπηλαίωση συνήθως δεν είναι απλά.

Η διάδραση μεταξύ του κύτους και της έλικας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τελευταία χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά, συσκευές εξοικονόμησης της ενέργειας γύρω από την έλικα, προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου.

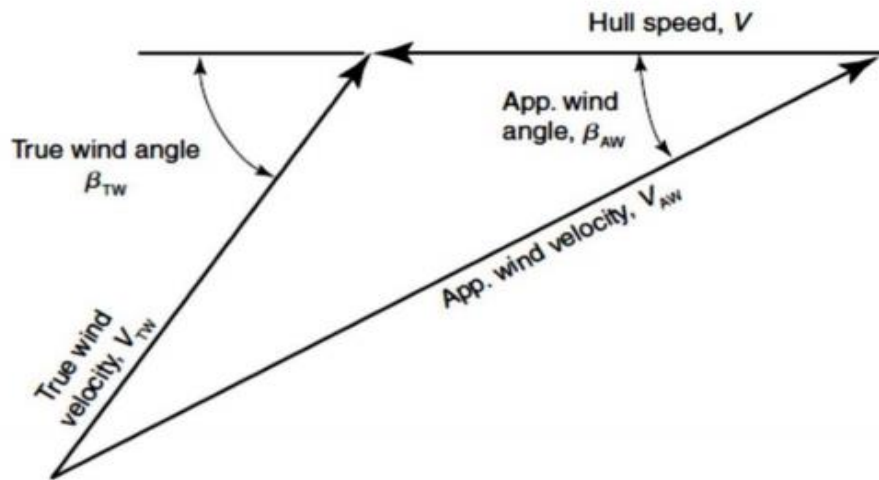
Επειδή το σύνολο της αντίστασης του πλοίου προσδιορίζεται από πολλές συνιστώσες και αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, προκειμένου να προσεγγιστεί είναι χρήσιμο να διασπαστεί σε επιμέρους συνιστώσες που περιλαμβάνονται στην τελική κατανάλωση καυσίμου.

2.2.1.1 Ο άνεμος

Σε ήρεμη θάλασσα δίχως άνεμο, το πλοίο που πλέει λόγω της κίνησης των εξάλων του, δέχεται κάποια αντίσταση. Αυτή η αντίσταση εξαρτάται από το σχήμα του πλοίου και την επιφάνεια αυτού που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του νερού και από την ταχύτητα του (Πολίτης, 2016).

Στην περίπτωση που υπάρχει άνεμος, η ταχύτητα του ανέμου και η σχετική του ταχύτητα επηρεάζουν την αντίσταση. Ο άνεμος που προκαλείται από φυσικά αίτια και βρίσκεται πάνω από τη θάλασσα ανεξάρτητα από το πλοίο, καλείται πραγματικός άνεμος (truewind), ενώ ο φαινόμενος άνεμος (apparentwind) αποτελεί το διανυσματικό άθροισμα του πραγματικού ανέμου και των ταχυτήτων του πλοίου. Ουσιαστικά η ταχύτητα του ανέμου που γίνεται αντιληπτή από το πλοίο, αποτελεί τον φαινόμενο άνεμο (Πολίτης, 2016).

Ακόμα και αν ο άνεμος είναι σταθερός, η ταχύτητα του πλοίου μεταβάλλεται σύμφωνα με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας. Η ταχύτητα είναι αργή κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας λόγω του οριακού στρώματος που δημιουργείται και το ύψος του φτάνει περίπου τα 7,5μ. Από το ανεμόμετρο ενός πλοίου γίνεται αντιληπτός ο φαινόμενος άνεμος και το ύψος στο οποίο βρίσκεται τοποθετημένο, καθορίζει την ταχύτητα του (Πολίτης, 2016).

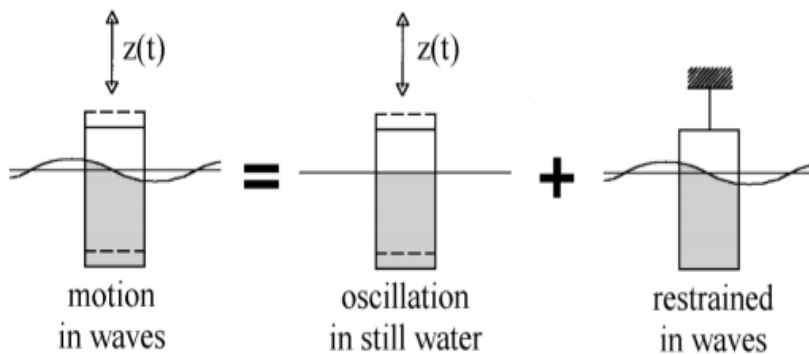


Εικόνα 3: Φαινομενικός και πραγματικός άνεμος

(Πηγή: Πολίτης, 2016)

2.2.1.2 Ο κυματισμός

Τμήμα της συνολικής αντίστασης του πλοίου αποτελεί η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού και την προκαλούν τα κύματα- και κυρίως τα ανεμογενή- που οφείλονται σε μετεωρολογικά φαινόμενα. Συνήθως η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού, μελετάται ξεχωριστά δηλαδή σε δύο συνιστώσες, χωρίς όμως να παρακάμπτονται οι αλληλεπιδράσεις. Αυτές είναι η πρόσθετη αντίσταση λόγω της ανάκλασης των κυμάτων και λόγω των κινήσεων.



Εικόνα 4: Αναλύοντας την πρόσθετη αντίσταση του κυματισμού

(Πηγή: Pinkster, 2002)

Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού είναι σημαντικό να εκτιμάται για:

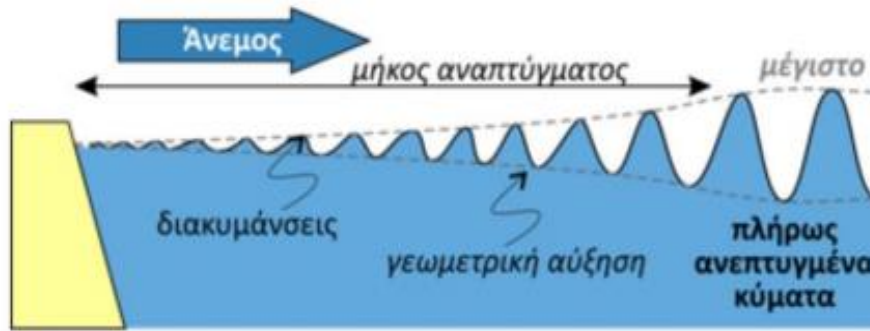
-το περιθώριο καιρού (weather margin), το οποίο για καινούργια πλοία μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με την αύξηση της αντίστασης λόγω καιρού και στη συνέχεια να επιλεγεί η κατάλληλη μηχανή

-τον καθορισμό της πλεύσης σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες (weather routing), καθώς ο καθορισμός του παράγοντα αυτού, σύμφωνα με τον καιρό, είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τα κέρδη του πλοίου. Αρχικά, όταν η εκτίμηση είναι σωστή, προσδιορίζεται σωστότερα ο χρόνος άφιξης στο λιμάνι. Με τον τρόπο αυτό, αυτοί που θα παραλάβουν το φορτίο ξέρουν την ώρα άφιξης του πλοίου στο λιμάνι και έτσι επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση και το κόστος αποθήκευσης. Επιπρόσθετα, παίζει σημαντικό ρόλο και στη διαδικασία επιλογής της βέλτιστης διαδρομής (route optimization). Αυτό σχετίζεται με την αποφυγή άσχημων καιρικών συνθηκών και την επιλογή της διαδρομής εκείνης όπου το πλοίο, εκμεταλλευόμενο τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, θα μειώσει τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου.

-την ανάλυση της απόδοσης (performance analysis), εφόσον είναι γνωστή η ολική αντίσταση ενός πλοίου και μετά την αφαίρεση της αντίστασης λόγω του καιρού, μπορεί να υπολογιστεί η αντίσταση του πλοίου όταν το νερό είναι ήρεμο. Η πληροφορία αυτή αξιοποιείται προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του πλοίου και καθορίζεται ο καθαρισμός του κύτους όταν απαιτείται.

Ένα VLCC που συνήθως πλέει σε μικρά μήκη κύματος και οι κινήσεις του πλοίου είναι μικρές, η κυρίαρχη αντίσταση είναι αυτή που προέρχεται από την περίθλαση. Όταν τα μήκη κύματος είναι πολύ μεγάλα, δεν σημειώνεται πρόσθετη αντίσταση κυματισμού διότι το πλοίο ακολουθεί την κίνηση των κυμάτων.

Το βάθος του νερού, ο χρόνος και η απόσταση στην οποία ο άνεμος επηρεάζει τον κυματισμό προς μία κατεύθυνση, είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη ανεμογενών κυματισμών.

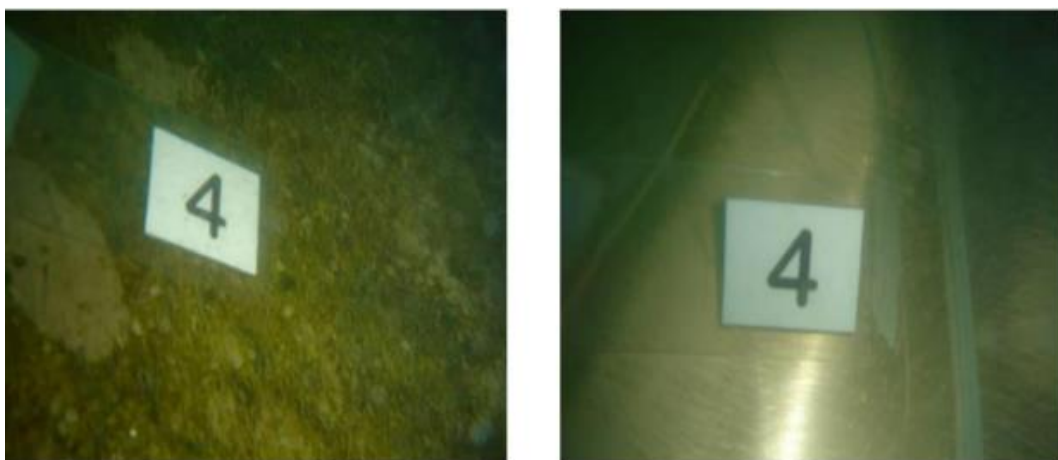


Εικόνα 5: Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσονται οι ανεμογενείς κυματισμοί

2.2.1.3 Ρύπανση του κύτους και της έλικας

Όταν η έλικα και το κύτος του πλοίου ρυπαίνονται από βιολογικούς οργανισμούς, κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό και προκαλεί αύξηση της αντίστασης του πλοίου. Όταν δεν υπάρχει προστασία κατά της ρύπανσης του κύτους είναι πιθανό να συγκεντρωθούν στον πυθμένα πάνω από 150 kg/m^2 θαλάσσιων οργανισμών. Επομένως, σε ένα VLCC είναι πιθανή η συγκέντρωση περισσότερων από 6.000 τόνων μικροοργανισμών.

Εξαιτίας της ρύπανσης, η επιφάνεια του πλοίου γίνεται πιο τραχιά από τη στιγμή του δεξαμενισμού και μετά (dry-docking). Η τραχύτητα (roughness) δημιουργεί ένα οριακό στρώμα, τυρβώδες και πιο παχύ και αυξάνει την αντίσταση τριβής. Μία ρύπανση που δεν είναι μεγάλη σε έκταση μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση καυσίμου σε ποσοστό 40% - 50% (IMO, 2002).



Εικόνα 6: Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η έλικα πριν (αριστερά) και έπειτα (δεξιά) από τον καθαρισμό

(Πηγή:Hansen, 2011)

Είναι δυνατό να γίνει εξοικονόμηση σε σημαντικά έξοδα, προλαμβάνοντας τη ρύπανση. Έτσι η χρήση των κατάλληλων αντιρρυπαντικών βαφών στα ύφαλα του πλοίου είναι απαραίτητη. Ένα αντιρρυπαντικό σύστημα πρέπει να χαρακτηρίζεται από καλή σχέση τιμής και απόδοσης, μεγάλο φάσμα λειτουργίας, να είναι φιλικό στην τροφική αλυσίδα και στο περιβάλλον, να έχει χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και να υπάρχει συμβατότητα με το χρώμα της γάστρας (Hansen, 2011).

Το κύτος και η έλικα καθαρίζονται μεταξύ των δεξαμενισμών και ,ναι μεν μειώνεται η ταχύτητα,αλλά το υφαλόχρωμα δεν αλλάζει. Στις περιπτώσεις όπου κατά τον καθαρισμό το υφαλόχρωμα αποκολλάται, η ρύπανση αυξάνεται ταχύτατα. Επομένως, το κατάλληλο σύστημα αντιρύπανσης μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση κεφαλαίων μέσω της άμεσης οικονομίας στα καύσιμα φροντίζοντας για την καθαριότητα του κύτους, την αύξηση του χρονικού διαστήματος μεταξύ δύο δεξαμενισμών διότι το αντιρρυπαντικό σύστημα προστατεύει σε βάθος χρόνου και την αύξηση της διαθεσιμότητας του πλοίου λόγω της μείωσης του χρόνου σε δεξαμενισμούς (Hansen, 2011).

Ο βαθμός με τον οποίο εμφανίζεται η ρύπανση στα τμήματα του κύτους, διαφέρει. Όσα σημεία εκτίθενται στο φως όπως τα πλευρά, συνήθως εμφανίζουν περισσότερη ρύπανση (Hansen, 2011).

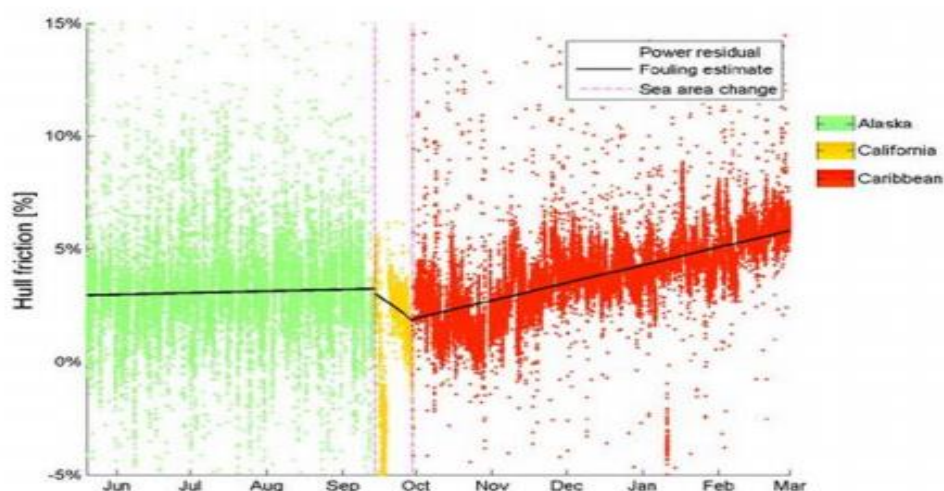


Εικόνα 7: Παράδειγμα στο οποίο διακρίνεται διαφορετικός βαθμός ρύπανσης στα ποικίλα τμήματα που διαθέτει το κύτος

(Πηγή:Hansen, 2011)

Επίσης, η ρύπανση του κύτους αυξάνεται με διαφορετικό ρυθμό από τη μία περιοχή του πλανήτη στην άλλη. Η ρύπανση του κύτους επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού, την εποχή, την τοποθεσία και την ηλιοφάνεια. Παρόλο που δεν είναι γνωστό πώς επιδρούν όλοι μαζί οι παράγοντες, η αλλαγή της θάλασσας επιδρά στη ρύπανση του κύτους και αυτό είναι ορατό την εικόνα που ακολουθεί. Μπορεί επίσης, όταν ένα πλοίο μπαίνει σε διαφορετική

περιοχή, η ρύπανση να μειώνεται λόγω του ότι οι μικροοργανισμοί ενός συγκεκριμένου οικοσυστήματος καταστρέφονται σε ξένο περιβάλλον και στη συνέχεια επιτρέπουν στους οργανισμούς του νέου οικοσυστήματος να αναπτυχθούν (Lauri, 2012).

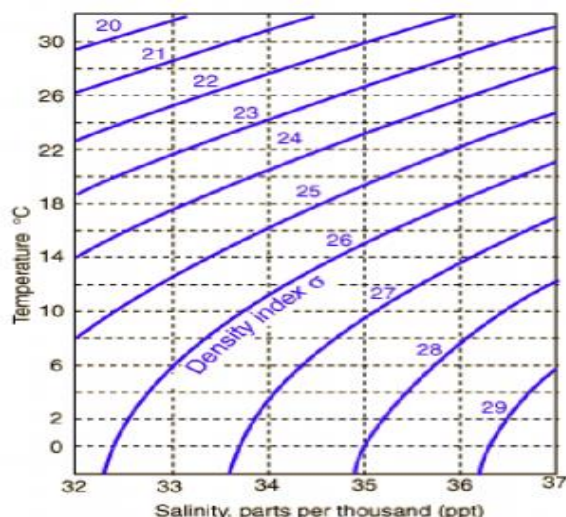


Διάγραμμα 3: Απεικόνιση της αύξησης της ρύπανσης σε διαφορετικές περιοχές της θάλασσας

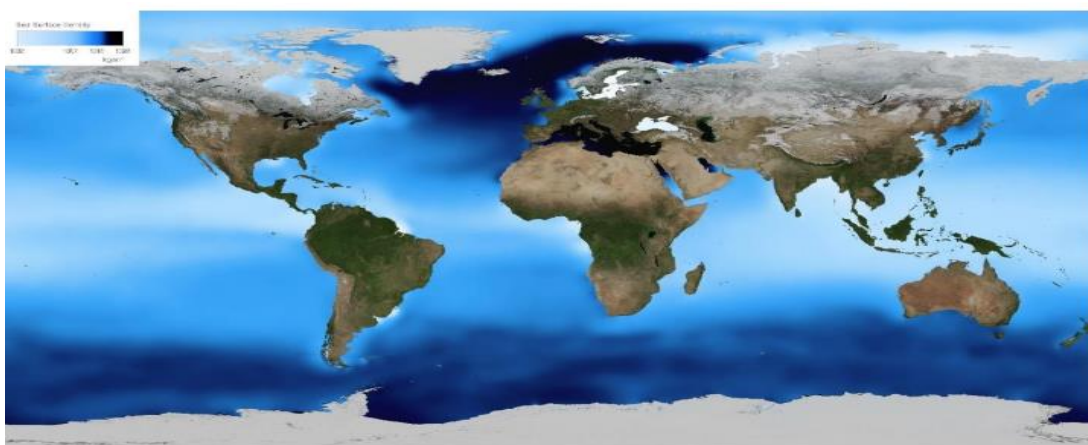
(Πηγή:Lauri, 2012)

2.2.1.4 Η πυκνότητα και η συνεκτικότητα που παρουσιάζει το θαλασσινό νερό

Για να υπολογιστεί, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας η αντίσταση του πλοίου, τα δεδομένα και οι απλουστεύσεις που χρησιμοποιούνται δεν είναι ίδιες σε κάθε τόπο. Μεταξύ των πιο σημαντικών παραγόντων είναι η συνεκτικότητα και η πυκνότητα του νερού της θάλασσας και αυτές εξαρτώνται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού στην επιφάνεια της θάλασσας, όπως δείχνει το διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4: Η αλλαγή της πυκνότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού (Πηγή: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)



Εικόνα 8: Απεικόνιση της διακύμανσης που παρουσιάζει η πυκνότητα του θαλασσινού νερού

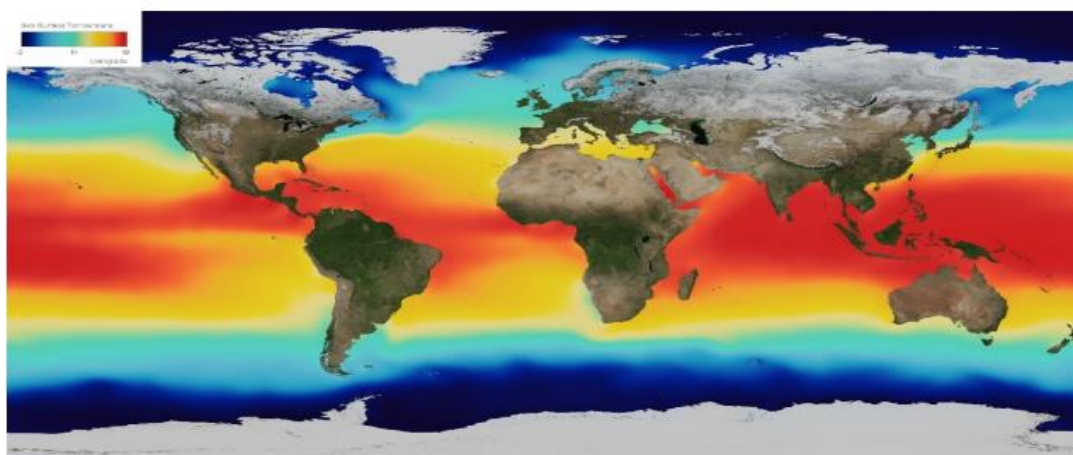
(Πηγή: www.nasa.gov)

2.2.1.5 Η θερμοκρασία που διαθέτει το θαλασσινό νερό

Όταν στην επιφάνεια της θάλασσας πέφτει ο ήλιος, τα επάνω στρώματα του νερού θερμαίνονται ευκολότερα. Σε έναν ωκεανό, η πιο πολλή ενέργεια απορροφάται στα πενήντα εκατοστά και στα δύο μέτρα βάθος έχει απορροφηθεί τελείως και μετατρέπεται σε θερμότητα το 98% της ενέργειας.

Η χωρητικότητα του νερού είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα όταν ζεσταθεί να διατηρεί την θερμότητα του για μεγάλο διάστημα. Στους ωκεανούς οι μεταβολές της θερμοκρασίας που οφείλονται στην αλλαγή της εποχής, έχουν διαφορά δύο

μηνών σε σύγκριση με αυτές στη στεριά. Όσο πιο μεγάλο είναι το βάθος του ωκεανού, τόσο πιο μεγάλη είναι η καθυστέρηση (Whitmarsh, 2015). Η θερμοκρασία του νερού στην επιφάνεια επηρεάζεται από τις αλλαγές στην θερμοκρασία. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεγάλη διακύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας σε διαφορετικού τύπους.

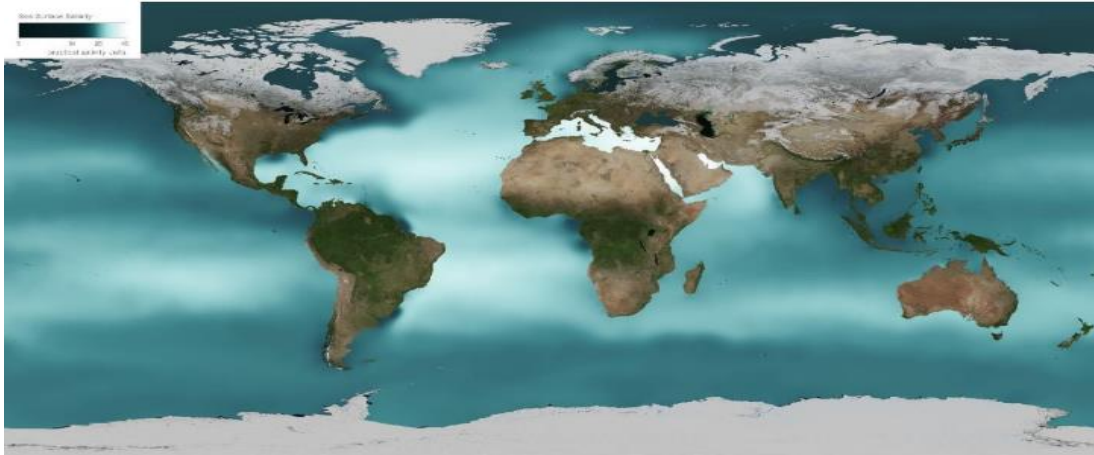


Εικόνα 9: Απεικόνιση της επιφανειακής θερμοκρασίας που διαθέτει η θάλασσα στο εκάστοτε σημείο της γης για μία συγκεκριμένη στιγμή

(Πηγή: www.nasa.gov)

2.2.1.6 Η αλατότητα που διαθέτει το νερό

Αλατότητα καλείται το σύνολο της ποσότητας διαλυμένου υλικού στο νερό και μετριέται σε μονάδες psu, που είναι η αναλογία σε 1.000 g. Η αλατότητα του νερού αυξάνεται από την εξάτμιση των νερών του ωκεανού και από τον σχηματισμό των πάγων στη θάλασσα. Αντίθετα, οι παράγοντες που φέρνουν τα επίπεδα αλατότητας του νερού σε μία ισορροπία είναι η βροχή, το χιόνι, η εκβολή γλυκού νερού από τα ποτάμια, τα θαλάσσια ρεύματα και η τήξη των πάγων. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει την αλατότητα του νερού μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε κάθε σημείο του πλανήτη.

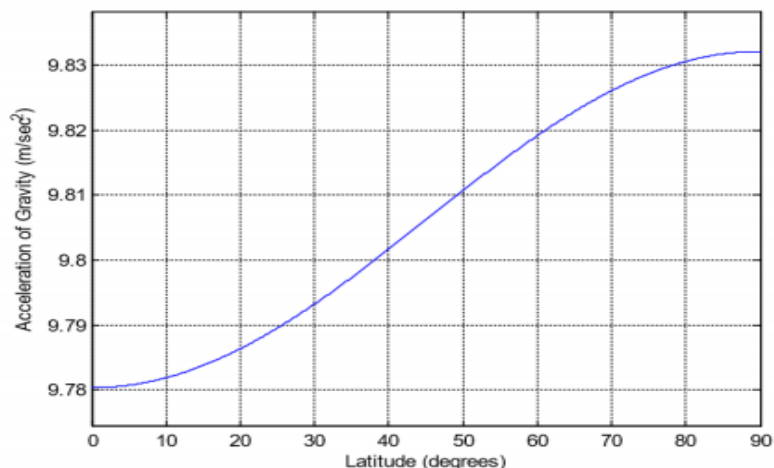


Εικόνα 10: Απεικόνιση της διακύμανσης της αλατότητας που διαθέτει το νερό

(Πηγή: www.nasa.gov)

2.2.1.7 Η επιτάχυνση της βαρύτητας

Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, παρουσιάζονται διαφορές στην επιτάχυνση της βαρύτητας g . Επειδή ένα πλοίο πλέει στο επίπεδο της θάλασσας, η τιμή του g εξαρτάται μόνο από το γεωγραφικό πλάτος. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εξάρτηση της τιμής του g από το γεωγραφικό πλάτος και ξεκάθαρα προκύπτει πως στον ισημερινό η τιμή του g ελαχιστοποιείται, ενώ στους πόλους μεγιστοποιείται.

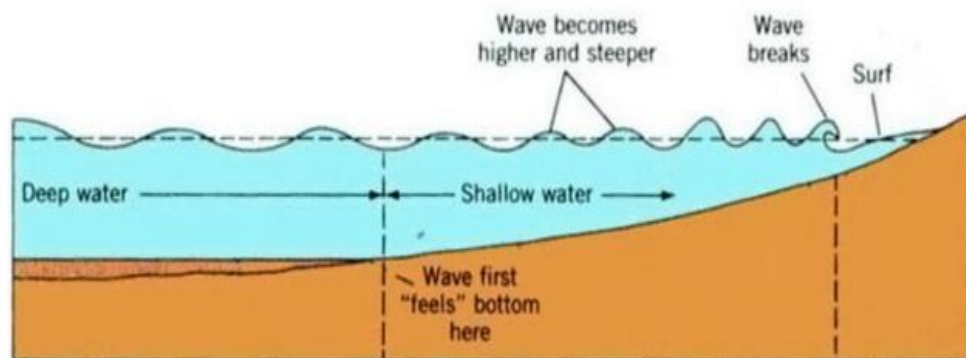


Διάγραμμα 5: Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος

2.2.1.8 Το βάθος που διαθέτει η θάλασσα

Η συνολική αντίσταση του πλοίου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος των υδάτων στα οποία πλέει. Η αντίσταση επηρεάζεται από το βάθος της θάλασσας με τους τρεις τρόπους που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Δυναμική ροή γύρω από το κύτος: Σε περίπτωση που το πλοίο βρίσκεται σε ρηχά νερά πολύ μεγάλου πλάτους, η επιτάχυνση του νερού είναι μεγαλύτερη από ότι σε βαθιά νερά. Επομένως, στα ρηχά νερά η διαγωγή και η βύθιση καθορίζουν ένα άνω όριο πλεύσης.
- Επίδραση του βάθους του νερού στην αντίσταση κυματισμού: η επίδραση αυτή αναφέρεται σε αλλαγές στη μορφή των κυματισμών και στην ενέργεια που αποδεδμεύεται από το πλοίο, όταν μεταβαίνει από βαθύ σε ρηχό νερό.
- Διαφοροποίηση της διασποράς των κυματισμών: Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται με τη βοήθεια μιας γραφικής παράστασης, η συμπεριφορά των κυμάτων σε διάφορα βάθη. Τα κύματα σε ρηχά νερά είναι ψηλότερα και έχουν μικρότερο μήκος και σε βαθιά νερά έχουν μικρότερο ύψος και είναι μεγαλύτερο το μήκος τους.



Εικόνα 11: Απεικόνιση της συμπεριφοράς που επιδεικνύουν τα κύματα σε ρηχό και βαθύ νερό

(Πηγή: Surf-forecast.com)

2.2.1.9 Θαλάσσια ρεύματα

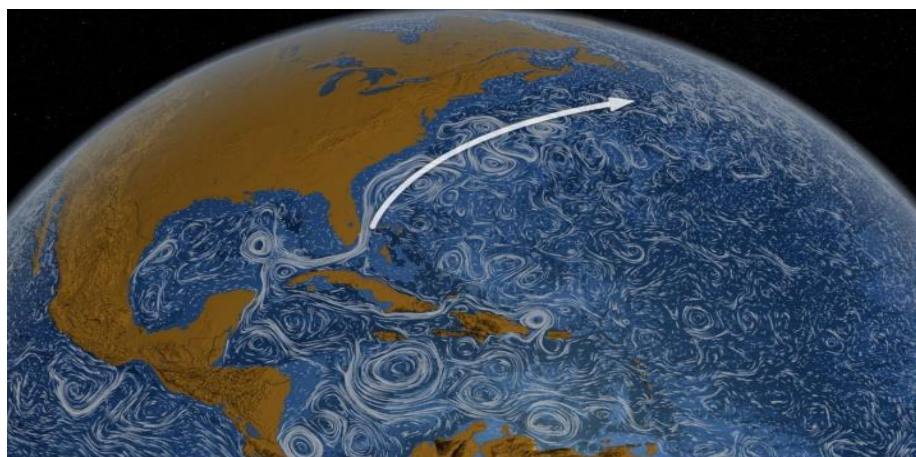
Η ναυσιπλοΐα επηρεάζεται από τα θαλάσσια ρεύματα με πολλούς τρόπους. Συνήθως αυξομειώνεται η ταχύτητα του πλοίου και κατά δεύτερο λόγο επηρεάζουν την πορεία του πλοίου κάνοντας το να παρεκκλίνει από την αρχική του πορεία.

Όταν το ρεύμα είναι ευνοϊκό και η πορεία (course) του πλοίου είναι ίδια με την κατεύθυνση του ρεύματος, η πραγματική ταχύτητα του πλοίου ως προς τη θάλασσα (speed over water) είναι μικρότερη από την ταχύτητα ως προς το έδαφος (speed over ground). Όταν η κατεύθυνση του ρεύματος είναι αντίθετη, η ταχύτητα ως προς τη θάλασσα είναι μεγαλύτερη.

Όταν τα ρεύματα είναι πλάγια, το πλοίο παρεκκλίνει από την πορεία του, και έτσι αυξάνεται η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί και τροποποιείται η περιοχή πιέσεων και η δυναμική ροή γύρω από το κύτος. Γι αυτό, όταν χαράσσεται η πορεία ενός ταξιδιού, ο πλους πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο που το πλοίο να πλέει στην ευνοϊκότερη δυνατή κατάσταση ρευμάτων.

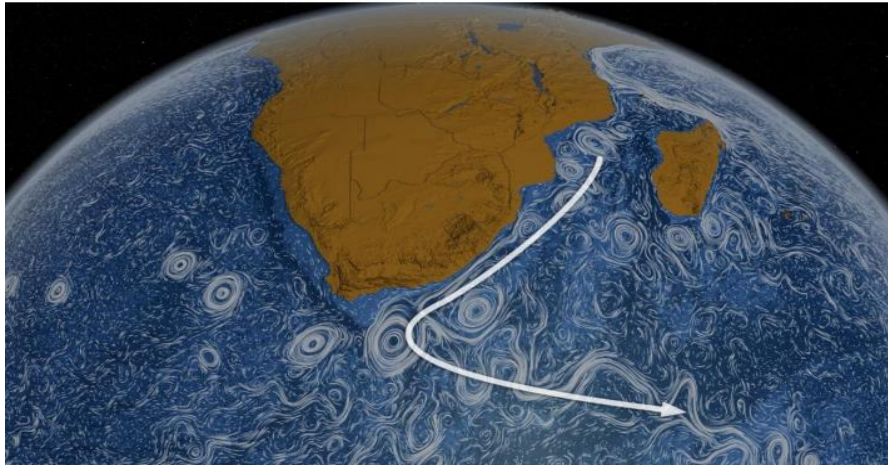
Συνήθως ιδιωτικές υπηρεσίες όπως η Ocean Routes, η Applied Weather Technology (AWT) και άλλες ωκεανογραφικές υπηρεσίες παρέχουν στα πλοία τις πληροφορίες αυτές.

Στις παρακάτω εικόνες τα έντονα λευκά ίχνη είναι τα κύρια ωκεάνια ρεύματα σε διάφορες περιοχές της γης . Οι ταχύτητες των ρευμάτων που μπορεί να συναντήσει ένα πλοίο μπορούν να φτάσουν ακόμα και μέχρι τους 2,5 κόμβους.



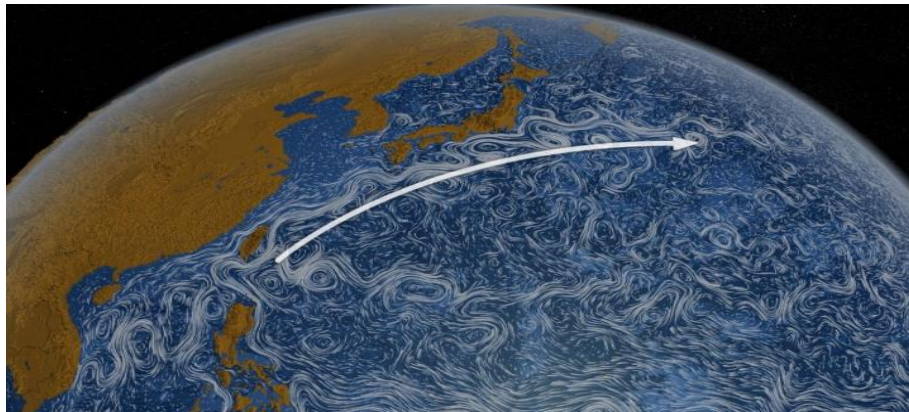
Εικόνα 12: Το ρεύμα του Κόλπου μεταφέρει θερμές ωκεάνιες μάζες από την ανατολική ακτογραμμή των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής σε περιοχές που βρίσκονται στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό

(Πηγή: www.nasa.gov)



Εικόνα 13: Το ρεύμα Agulhas ταξιδεύει κατά μήκος της ακτογραμμής της Μοζαμβίκης και της Ν. Αφρικής και έπειτα εξελίσσεται προς τα ανατολικά

(Πηγή: www.nasa.gov)



Εικόνα 14: Το ρεύμα Kuroshio ρέει προς τις βορειοανατολικές ακτές της Ιαπωνίας και μεταφέρει θερμές ωκεάνιες μάζες οι οποίες κυκλοφορούν στην ανατολική πλευρά της Ταϊβάν

(Πηγή: www.nasa.gov)

2.2.2 Παράγοντες έμμεσης εξάρτησης

Η κατανάλωση του καυσίμου σε ένα πλοίο επηρεάζεται έμμεσα από τον χρόνο παραμονής σε κάποιο λιμάνι, την ταχύτητα λειτουργίας εν πλω, την ποιότητα του καυσίμου, την απόδοση της μηχανής και τη συχνότητα συντήρησης της, την κατάσταση φόρτωσης, τη γωνία πηδαλίου (rudder angle), το δείκτη pH θαλασσινού νερού, τη συγκέντρωση οξυγόνου, τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας καθώς και τα επίπεδα υγρασίας.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με τις επιμέρους συνιστώσες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμων, είναι φανερό ότι παίζει σπουδαίο ρόλο η γεωγραφική θέση και ο χρόνος στον οποίο γίνονται οι παρατηρήσεις, καθώς αυτά τα στοιχεία μεταβάλλονται συνεχώς όσο διαρκεί η πορεία ενός πλοίου. Συνήθως, ο υπολογισμός της αντίστασης του πλοίου απλουστεύεται συνυπολογίζοντας τα παρακάτω στοιχεία, για κάποια δεδομένη χρονική στιγμή και μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα στοιχεία αφορούν την κατεύθυνση και την ένταση του ανέμου, την ταχύτητα και την φορά των θαλάσσιων ρευμάτων, το ύψος και το μήκος του κύματος, τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού.

2.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Αν εξαιρεθεί η αύξηση της ταχύτητας, η αντίσταση και η κατανάλωση καυσίμου αυξάνονται με το αυξημένο βύθισμα και την μετατόπιση, την επιδείνωση των καιρικών συνθηκών και την επιδείνωση της τραχύτητας του κύτους και της έλικας.

Στη βιβλιογραφία μπορούν να εντοπιστούν πολυάριθμες μέθοδοι και θεωρίες για να εκτιμηθεί η συμβολή κάθε παραμέτρου στην αυξημένη αντίσταση και την κατανάλωση καυσίμων (Bertram, 2002). Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία βασίζεται σε αποτελέσματα πειραμάτων ύστερα από πλήθος δοκιμών σε συγκεκριμένους μορφές κύτους και συγκεκριμένους τύπους πλοίων. Επομένως αυτό που προτείνεται είναι να πραγματοποιείται συνεχής στατιστική ανάλυση του ταξιδιού ώστε να είναι δυνατή η διερεύνηση της επιρροής του καιρού, του βυθίσματος του πλοίου και της κατάστασης του κύτους και της έλικας και ουσιαστικά να παράγεται η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου έναντι της καμπύλης ταχύτητας. Η παραπάνω αποτελεί μια πιο ακριβής και ρεαλιστική προσέγγιση σε σύγχρονα πλοία, έτσι όπως απαραίτητο. Η προσέγγιση αυτή θεωρεί ότι οι προβλέψεις που πηγάζουν από την απόδοση του προηγούμενου έτους είναι ακριβέστερες και πιο αξιόπιστες από εκείνες που βασίζονται και προέρχονται από τις δοκιμές παραλαβής (sea trials).

Όταν η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου και ταχύτητας υπολογίζεται με μεγάλο βαθμό ακρίβειας, υπάρχουν πολλές πιθανότητες η εκτίμηση του καυσίμου που απαιτείται για κάποιο ταξίδι, να είναι πιο ακριβής και αξιόπιστη ακόμα και όταν πρόκειται για ένα αδελφό πλοίο. Ένα παράδειγμα μέσα από το οποίο θα αναγνωριστεί η ανάγκη να καθιερωθεί μια τέτοια μέθοδος μπορεί να δημιουργηθεί,

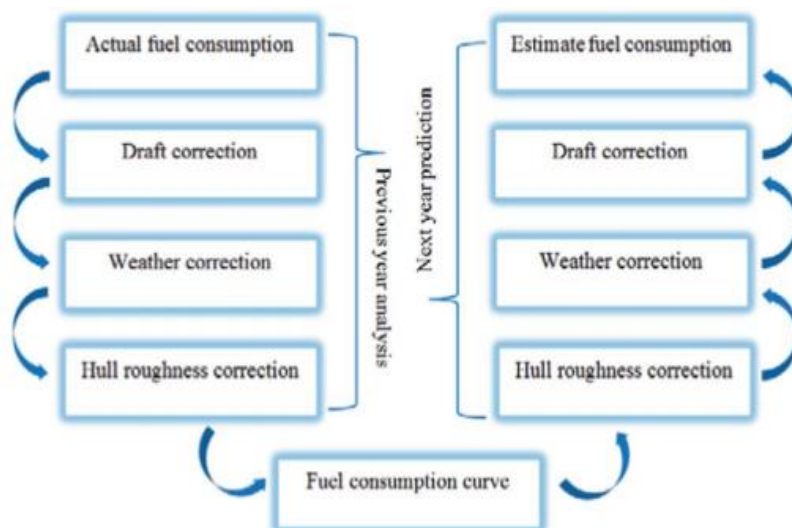
αν ληφθεί υπόψη ότι η βασική οικονομική επιβάρυνση του πλοιοκτήτη σε καθεστώς χρονοναύλωσης είναι το κόστος καυσίμων και ότι μελετώνται 280 ημέρες λειτουργίας ενός έτους όπου η ημερήσια κατανάλωση είναι 50 τόνοι, σε κόστος καυσίμων 400 USD ανά τόνο. Αν ο υπολογισμός των καυσίμων είναι λανθασμένος κατά 5% φτάνει τις 280.000 USD το έτος δηλαδή σε σχεδόν 770 US την ημέρα υπολογίζεται η αύξηση του κόστους λειτουργίας. Επομένως, μια μικρή απόκλιση στον υπολογισμό των καυσίμων, επηρεάζει άμεσα το λειτουργικό κόστος σε βαθμό χαμηλότερο ή υψηλότερο από αυτόν που έχει προβλεφθεί, γεγονός που συνεπάγεται ότι οι πλοιοκτήτες έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν ή να μειώσουν ή τα έσοδα που περίμεναν να έχουν.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι επιτακτική η ανάγκη λήψης αποφάσεων με τη βοήθεια των καλύτερων δυνατών προβλέψεων αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμου, κυρίως εξαιτίας του περιορισμένου περιθωρίου κέρδους των ναυτιλιακών επιχειρήσεων και της μεγάλης σημασίας που έχει το πλοία να λειτουργούν εκπέμποντας μικρές ποσότητες CO₂.

Οι Feiyang Zhao et al. (2015) σε σχετική μελέτη τους, αντικείμενό τους αποτέλεσε η προσομοίωση του συστήματος πρόωσης του πλοίου και σε αυτό περιλαμβάνεται η μοντελοποίηση της κύριας μηχανής και της προπέλας, σε περιβάλλον MATLAB/Simulink. Η χρήση του μοντέλου μέσης τιμής κύκλου, στόχευε στην περιγραφή της λειτουργίας του κινητήρα, του συστήματος εισαγωγής/εξάτμισης αλλά και του υπερσυμπιεστή. Με τη βοήθεια του ισοζυγίου ισχύος και της απόδοσης του συστήματος, μοντελοποιήθηκε το σύστημα του άξονα του πλοίου. Η μελέτη προσομοίωσης έφερε κάποια αποτελέσματα σχετικά με την ισχύ που μεταφέρεται από τον κινητήρα στον άξονα, με την κατανάλωση του καυσίμου και την ταχύτητα του πλοίου. Οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν με πραγματικά στοιχεία που προέκυψαν από διαφορετικές, κάθε φορά, συνθήκες του κινητήρα. Είναι αξιοσημείωτο ότι η απόκλιση μεταξύ των προσδοκώμενων και των πραγματικών τιμών οφείλεται στο γεγονός ότι η πρόβλεψη του κυματισμού και του καιρού δεν μπορεί να είναι ακριβείς αλλά και στο ότι στη μελέτη δεν συμπεριλαμβάνονται οι βοηθητικές μηχανές του πλοίου και η χρήση αυτών, όσο διαρκούν οι χειρισμοί του πλοίου (Bialystocki, 2016).

Ο Bialystocki (2016) στην έρευνα του είχαν σαν βάση το ότι οι πλοιοκτήτες έχουν στη διάθεση τους αρκετές πληροφορίες αναφορικά με την απόδοση του πλοίου μέσω των μεσημβρινών αναφορών ημερολογίου (noon reports). Έτσι τα δεδομένα

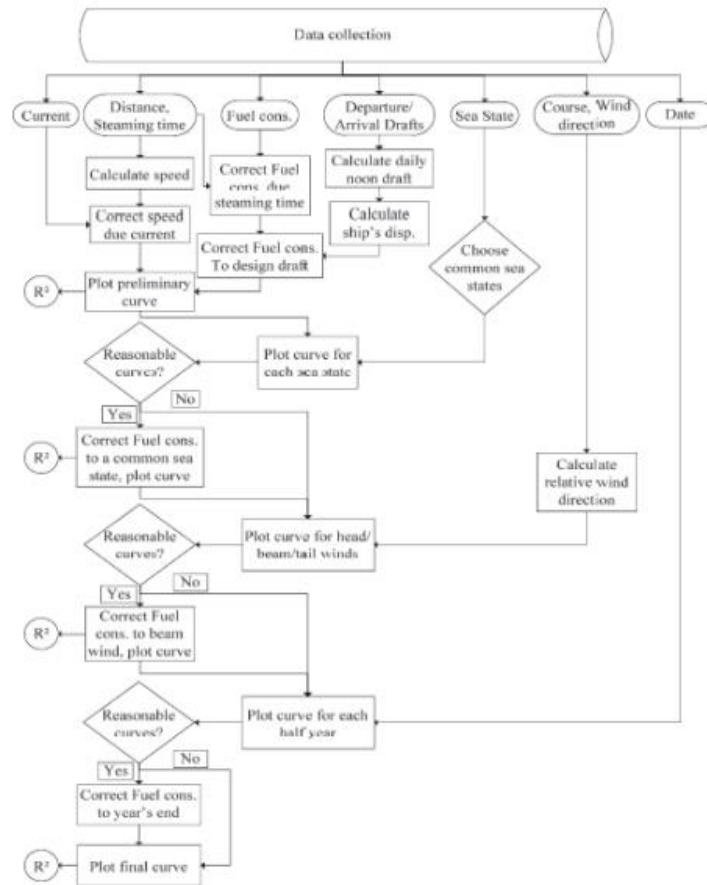
αυτά είναι πολύ χρήσιμα καθώς κάθε έτος υπάρχει επικαιροποίηση και αποφεύγεται να εκτιμάται η κατανάλωση καυσίμου σύμφωνα με τις δοκιμές παραλαβής (sea trials) συνυπολογιζόμενου και του περιθωρίου ανοχής. Για να προβλεφθεί η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου – ταχύτητας, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από τους παραπάνω, αποτυπώνεται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 15: Απεικόνιση της διαδικασίας πρόβλεψης καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου

(Πηγή: Bialystocki, 2016)

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τέσσερις δηλαδή η ένταση του ανέμου, η κατεύθυνση του, το βύθισμα του πλοίου στο ταξίδι που μελετάται και η ημερομηνία του επόμενου ταξιδιού. Για την πρόβλεψη της έντασης και της κατεύθυνσης του ανέμου χρησιμοποιήθηκε η πρόγνωση του καιρού, ο υπολογισμός του βυθίσματος του πλοίου έγινε από πίνακες σταθερότητας και υδροστατικούς πίνακες και το προβλεπόμενο βάρος του φορτίου και ο διαχωρισμός του στις αντίστοιχες αποθήκες, λήφθηκε ως είσοδος. Τέλος η πιθανή ημερομηνία του επόμενου ταξιδιού ήταν απαραίτητη για να υπολογιστεί η κατανάλωση του καυσίμου. Σύμφωνα με αυτά, η εικόνα που ακολουθεί δείχνει τον αλγόριθμο με τον οποίο προβλέφθηκε η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου – ταχύτητας.



Εικόνα 16: Απεικόνιση της διαδικασίας πρόβλεψης καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου

(Πηγή: Bialystocki, 2016)

Με τη βοήθεια της τελικής καμπύλης που προέκυψε από τον αλγόριθμο της προηγούμενης εικόνας, προσδιορίστηκε η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου σε ένα ταξίδι σε βάθος χρόνου, σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες.

Μεταξύ των βασικότερων πλεονεκτημάτων του εν λόγω αλγορίθμου, τα δύο σημαντικότερα είναι η απλότητα αναφορικά με την εφαρμογή του και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που εξάγονται αναφορικά με την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου.

Οι Lokukaluge & Perera (2015), στη μελέτη τους, αναλύουν ένα συγκεκριμένο αριθμό δεδομένων που σχετίζονται με την επίδοση του πλοίου δηλαδή τη διαδρομή του, την ταχύτητα του ως προς το έδαφος, την κατανάλωση του καυσίμου, τις στροφές του άξονα της κύριας μηχανής, την ισχύ της κύριας και των βοηθητικών μηχανών, την ένταση του ανέμου, τη διάρκεια του ταξιδιού, τις συνθήκες της φόρτωσης και του βυθίσματος σε συνάρτηση με τη διαδρομή. Όμως δεν λήφθηκαν

υπόψη οι απαραίτητες διορθώσεις στις παραμέτρους προκειμένου, από τα δεδομένα ταχύτητας-ισχύος, να αφαιρεθεί η επίδραση του ρεύματος του αέρα και των κυμάτων, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν οι ίδιες συνθήκες ταχύτητας σε μια διαδρομή που επαναλαμβάνεται κάτω από τις ίδιες καιρικές συνθήκες. Επίσης, στα παραπάνω δεδομένα δεν έχει συμπεριληφθεί η απόδοση του πλοίου σε κατάσταση ερματισμού (ballast condition).

Η μελέτη από τους Coradduet al. (2016) εξέτασε τα προβλήματα αναφορικά με την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου και την εξασφάλιση της καλύτερης τιμής για φόρτωση ενός πλοίου σε πραγματική λειτουργία, σύμφωνα με τα δεδομένα που τα συστήματα αυτοματισμού του πλοίου, μετρούν. Οι προσεγγίσεις για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου, είναι τρεις: Μοντέλα Μαύρου κουτιού, Λευκού και Γκρι. Τα μοντέλα Μαύρου Κουτιού (Black Box Model – BBM)εξάγουν συμπεράσματα μέσα από στατιστικές, συλλέγοντας ιστορικά δεδομένα. Τα μοντέλα Λευκού Κουτιού (White Box Model – WBM) στηρίζονται στις φυσικές διαδικασίες και στη γνώση αυτών. Αναφορικά με τα μοντέλα Γκρι κουτιού (Grey Box Model – GBM), οι συγγραφείς προτείνουν δύο διαφορετικά μοντέλα. Από αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν και οι διαθέσιμες μετρήσεις αλλά και η μηχανική γνώση των φυσικών αρχών. Μέσω αυτών των μοντέλων, η πρόταση τους επικεντρώνεται σε μια καινούργια στρατηγική προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου (Coraddu et al., 2016).

Σε μελέτη των Lokukaluge & Perera (2016), ο στόχος ήταν να αναπτυχθεί εκείνο το πλαίσιο διαχείρισης δεδομένων που στηρίζεται σε πηγές αναφορικά με την πλοήγηση του πλοίου, ώστε οι διακυμάνσεις της απόδοσής του κάτω από διάφορες καιρικές συνθήκες, να ξεπεραστούν. Το πλαίσιο που προτείνεται για τον χειρισμό δεδομένων αποτελείται από το τμήμα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων και το τμήμα μετά. Η προκαταρκτική επεξεργασία, είναι το τμήμα που έχει εφαρμογή επί του πλοίου και σε αυτό περιλαμβάνεται ο εντοπισμός και η διάγνωση σφαλμάτων ταξινόμησης δεδομένων, αισθητήρων και των διαδικασιών συμπίεσής τους. Αυτή η επεξεργασία μπορεί να μειώσει την ποσότητα των δεδομένων και να αυξήσει την ποιότητα αυτών που πρόκειται να μεταδοθούν στα κέντρα δεδομένων που βρίσκονται στη στεριά. Το τμήμα, αφού επεξεργαστεί τα δεδομένων στη στεριά συνεχίζει με επέκταση, επαλήθευση πληρότητας και αξιοπιστίας καθώς και παλινδρομήσεων στα δεδομένα. Έτσι, βελτιώνεται η οπτικοποίηση των δεδομένων που αναπαριστούν την απόδοση του πλοίου. Συσχετίζοντας την ταχύτητα του ανέμου και την απόδοση του

πλοίου, αναπτύχθηκαν μαθηματικά μοντέλα αξιολόγησης της απόδοσης του πλοίου (Lokukaluge & Perera, 2016).

Σε επόμενη μελέτη των Lokukaluge & Perera προτείνεται αναφορικά με την διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP), να αναλυθούν δεδομένα που σχετίζονται με την λειτουργία της κύριας μηχανής. Από το SEEMP επιβάλλονται διάφορα μέτρα για τον έλεγχο των εκπομπών ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων, σύμφωνα με τα δεδομένα της πλοήγησης και τις επιδόσεις των πλοίων. Οι αναλύσεις δεδομένων που προτείνονται παρουσιάζονται στο διάγραμμα συνδυασμού κινητήρα-έλικας δηλαδή ένας άξονας έλικας με κύρια μηχανή άμεσης οδήγησης. Επομένως, με αυτές τις αναλύσεις δεδομένων παρακολουθούνται οι επιδόσεις των πλοίων και οι συνθήκες πλοήγησης σε σχέση με τις περιοχές λειτουργίας του κινητήρα ως μέρος του SEEMP (Lokukaluge & Perera, 2017).

2.4 Ανασκόπηση αναφορικά με τα εργαλεία/συστήματα

Όσο οι τιμές των καυσίμων και το λειτουργικό κόστος λειτουργίας των πλοίων αυξάνονται, είναι εξαιρετικά αναγκαίο κάθε φορέας εκμετάλλευσης και οι πλοιοκτήτες, να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και να βελτιώσουν την απόδοση του στόλου στο σύνολο ή κάποιων μεμονωμένων πλοίων. Όμως για να πραγματοποιηθούν οι βελτιώσεις που απαιτούνται, πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η απόδοση, αξιοποιώντας κάποια δεδομένα.

Αναφέρθηκε ήδη ότι η ενέργεια που καταναλώνει ένα πλοίο εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Αυτές είναι οι θαλάσσιες και καιρικές συνθήκες, η απόδοση των μηχανών, ο βαθμός συντήρησης αλλά και λειτουργικοί παράγοντες, όπως οι συνθήκες ρύθμισης και το φορτίο. Με την συλλογή και την μέτρηση των δεδομένων για κάθε στοιχείο, ακολουθεί ανάλυση των δεδομένων για να μετατραπούν σε χρήσιμη πληροφορία για τον διαχειριστή του πλοίου ώστε να γνωρίζει τη συνέπεια κάθε ενέργειάς του στο οικονομικό μοντέλο του πλοίου.

Οι νέες μέθοδοι διαχείρισης επιδόσεων στόλου, προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες συλλογής και ανάλυσης δεδομένων ώστε να λαμβάνονται οι σωστότερες αποφάσεις με αποτέλεσμα οι πλοιοκτήτες και οι φορείς εκμετάλλευσης να διαχειρίζονται με τον καλύτερο τρόπο τις επιδόσεις των πλοίων και των στόλων. Τα

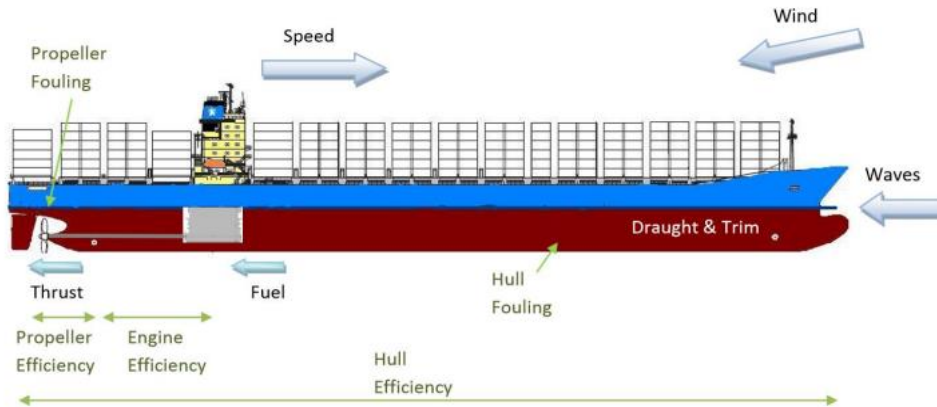
βήματα που απαιτούνται προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο σχεδιασμός, η δράση, ο έλεγχος και η ανάλυση.



Εικόνα 17: Απεικόνιση του κύκλου Σχεδιασμού - Δράσης - Ελέγχου – Ανάλυσης

Με τον τρόπο αυτό, η διαχείριση των επιδόσεων του στόλου μπορεί να βελτιώσει την απόδοση μέχρι και το ποσοστό του 38%.

Τα συστήματα αξιολόγησης της απόδοσης ενός πλοίου, που διατίθενται στην αγορά προς χρήση, είναι πολυάριθμα με πλήθος προσεγγίσεων αναφορικά με τον τρόπο της ανάκτησης, της αποθήκευσης και της ανάλυσης δεδομένων. Στο παρελθόν, τα πιο πολλά συστήματα βασίζονταν στις μεσημβρινές αναφορές ημερολογίου (noon reports), που αποστέλλονταν κάθε μέρα από το πλήρωμα του πλοίου προς τη διαχειρίστρια εταιρεία. Τελευταία χρησιμοποιούνται δεδομένα πραγματικού χρόνου (live data), που αποστέλλονται αυτόματα από τους αισθητήρες μέσω δορυφόρων, χωρίς τη μεσολάβηση ανθρώπου και με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η αξιοπιστία τους αλλά και η ακρίβεια των μετρήσεων. Επίσης, υπάρχουν υβριδικά συστήματα αξιολόγησης που χρησιμοποιούν καταγραμμένα αλλά και αυτοματοποιημένα δεδομένα. Υπάρχει και ένας μικρός αριθμός συστημάτων που συνδυάζει την αξιολόγηση της απόδοσης του πλοίου με τον εντοπισμό της βέλτιστης διαδρομής (weather routing).



Εικόνα 18: Απεικόνιση των παραμέτρων που θα ληφθούν υπόψη εκ μέρους ενός σύγχρονου συστήματος αξιολόγησης απόδοσης πλοίου

(Πηγή: Hansen, 2011)

Αν και υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα συστήματα αυτά θεωρούνται από τους πλοιοκτήτες «μαύρα κουτιά», διότι δεν είναι σαφής ο τρόπος που συλλέγονται τα δεδομένα ούτε η μέθοδος με την οποία αναλύονται. Στη λίστα που ακολουθεί αναφέρονται ενδεικτικά κάποια από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα στην αγορά, συστήματα παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου:

-LAROS (βραβείο Lloyd's για τεχνικά επιτεύγματα): Ένα σύστημα ασύρματης παρακολούθησης και ανάλυσης της απόδοσης, με το οποίο αναλύονται όλες οι κρίσιμες λειτουργίες του πλοίου σε χρόνο πραγματικό. Το σύστημα είναι δυνατόν να συνδεθεί με οποιοδήποτε σημείο ενδιαφέροντος ανεξαρτήτου ηλικίας, μεγέθους ή τύπου πλοίου.

- CASPER (Propulsion Dynamics): Αναλύονται οι καθημερινές καταγραφές επί του πλοίου. Στέλνονται περιοδικές αναφορές στη στεριά για επιπλέον ανάλυση. Γίνεται διόρθωση των συνθηκών κυματισμού και ανέμου.

- DNV GL Eco Insight: Η πύλη ECO Insight αποτελείται από πέντε ενότητες και αυτές δίνουν μια πλήρη εικόνα της απόδοσης του στόλου. Οι υπάρχουσες διεργασίες πλοίου ξηράς αντικαθίστανται από το προαιρετικό σύστημα καταγραφής δεδομένων και εξασφαλίζονται δεδομένα υψηλής ποιότητας με τη βοήθεια ελέγχων αξιοπιστίας.

• BMT Smart: Αρθρωτό σύστημα που είναι τόσο ευέλικτο ώστε να καλύπτει τις επιμέρους απαιτήσεις των πλοίων. Η φύση του συστήματος κάνει δυνατή την αξιοποίησή του σε κάθε επιμέρους εγκατάσταση, από την πιο απλή μέχρι την πιο σύνθετη, παρέχοντας τη δυνατότητα το υλικό να κλιμακώνεται ανάλογα με τον αριθμό εισόδων από τους αισθητήρες.

- KYMA AS: Επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων πραγματικού χρόνου επί του πλοίου.
- Propulsion Analysis: Με ανάλυση των δεδομένων ρουτίνας που συγκεντρώνονται από τα πλοία και σε σύγκριση με ένα προσαρμοσμένο «ψηφιακό δίδυμο» του κινητήρα, μπορεί να παρέχει την απόδοσή του σε κάθε περίπτωση, να εξάγονται και να προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες, όπως γραφήματα, δείκτες απόδοσης, τάσεις, σφάλματα/ειδοποιήσεις, προσδιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την κατάσταση των κινητήρων του στόλου και παρέχοντας διαγνώσεις, εκτιμήσεις, συμβουλές βελτιστοποίησης και πληροφορίες ώστε να προγραμματιστεί με τον καλύτερο τρόπο η συντήρηση του πλοίου αφού πρώτα εκτιμηθεί η όλη κατάσταση.

2.5 Παρουσίαση καλών πρακτικών

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ως διαδικασία, έχει συνεχή χαρακτήρα και εξαρτάται από κάποια λειτουργικά και τεχνικά ζητήματα αλλά και από τον ανθρώπινο παράγοντα. Η λίστα που ακολουθεί, αν και δεν καλύπτει κάθε καλή εναλλακτική πρακτική που μπορεί να ακολουθηθεί ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια στα πλοία, παρουσιάζει συνοπτικά τις ενέργειες που ακολουθούν οι ειδικοί στον Ναυτιλιακό τομέα ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια [IMO, 2016]:

- Από τεχνικής πλευράς:
 - Εξοπλισμός ελέγχου αποδοτικότητας
 - Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας
 - Βελτιστοποίηση του συστήματος πρόωσης, μειώνοντας ταχύτητα
- Από λειτουργικής πλευράς:
 - Κατάσταση φόρτωσης, διαγωγή πλοίου, περιορισμός ταξιδιών υπό κατάσταση ερματισμού (ballast condition)
 - Προγραμματισμός εργασιών επισκευής και συντήρησης
 - Σχεδιασμός ταξιδιού, με μείωση της ταχύτητας, ικανοποιώντας και τις απαιτήσεις του ναυλοσύμφωνου

Παρακάτω περιγράφονται κάποια από τα μέτρα που λαμβάνονται από τους ειδικούς του τομέα της Ναυτιλίας, ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων.

Βελτιστοποίηση ταξιδιού

Η κατανάλωση καυσίμου είναι ανάλογη με την ταχύτητα υψωμένη στον κύβο. Αν υπάρξει μικρή μείωση της ταχύτητας η κατανάλωση του καυσίμου και οι εκπομπές αερίων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό. Η μελέτη του IMO GHG Study (IMO, 2014), αναφορικά με τις εκπομπές αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρει ότι αν υπάρξει μείωση της ταχύτητας κατά 10%, θα αυξηθεί ο χρόνος του ταξιδιού αλλά θα υπάρξει μείωση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου κατά 23,3%. Οι μεθοδολογίες άφιξης Just-In-Time ή Virtual Arrival, αν και προϋποθέτουν την άριστη επικοινωνία μεταξύ των ναυλωτών, των λιμενικών αρχών, του πλοίαρχου και των ναυτιλιακών πρακτόρων, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση χρόνου, κόστους, εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, βελτιώνοντας τον τρόπο διαχείρισης των λιμανιών και τις συνθήκες ασφάλειας.

Στην κατηγορία αυτή, αν εξαιρεθεί η βέλτιστη προσαρμογή της ταχύτητας, περιλαμβάνεται και ο κατάλληλος σχεδιασμός του δρομολογίου του πλοίου, κάνοντας χρήση της μεθοδολογίας Great Circle, ώστε να βρεθεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γεωγραφικών στιγμάτων, αλλά και να αξιοποιηθούν οι μετεωρολογικές συνθήκες, όπως άνεμος, θαλάσσια ρεύματα κ.ά. (weather routing) ώστε να εξασφαλιστεί η ενεργειακή απόδοση του πλοίου.

Επίσης, σημαντική εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμου επιτυγχάνεται με τη χρήση Autopilot στην πλεύση σε ανοιχτή θάλασσα και με βάση τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, αφού όσο πιο μικρές και σπάνιες είναι οι διορθώσεις της πορείας του πλοίου τόσο ελαχιστοποιείται η απώλεια εξαιτίας της αντίστασης στο πηδάλιο.

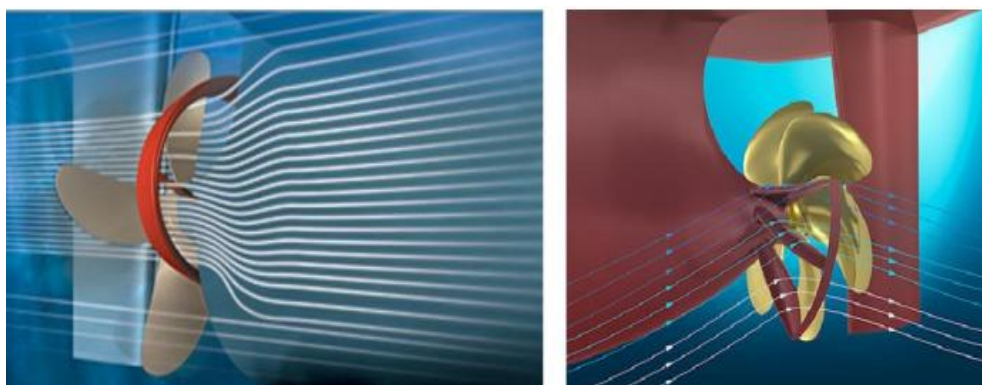
Η συνολική αντίσταση του κύτους μέσα στο νερό παρουσιάζει μεταβολή, ανάλογα με τη διαγωγή του πλοίου και το βύθισμα. Εκτός από το ότι πρέπει η βολβοειδής πλώρη να βρίσκεται πάντα βυθισμένη και η έλικα να μην βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, υπάρχουν πολλές μέθοδοι για να βρεθεί η καλύτερη διαγωγή του πλοίου, από τις πιο σύνθετες διαδικασίες μέχρι αυτές του πειραματισμού και του σφάλματος (trial and error).

Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

Τα συστήματα αυτά συνήθως αποτελούν διαφορετικούς τύπους κατασκευών γύρω από την έλικα. Ένας μεγάλος αριθμός αυτών αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια με σκοπό τη μείωση των απωλειών περιστροφής. Όταν η έλικα περιστρέφεται για να

παραχθεί η ώθηση που απαιτείται, η περιστροφή που αποκτά η ροή του νερού συνήθως οδηγεί σε απώλεια ισχύος της τάξης του 10% με 15%. Όταν επιβάλλεται περιστροφή προς την αντίστροφη κατεύθυνση, υπάρχει η πιθανότητα ανάκτησης κάποιου ποσοστού απωλειών.

Συνήθως στα συστήματα περιλαμβάνονται ελικοειδή πηδάλια και πτερύγια μπροστά από την έλικα. Σκοπός κάποιων άλλων συστημάτων είναι να δημιουργηθεί μία πιο ομοιόμορφη ροή στην έλικα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω συσκευών μπροστά από την έλικα. Μια πολύ γνωστή τοποθέτηση είναι η “Mewis duct” και “pre-swirl stator” και σε κάποιες περιπτώσεις τα πόσα εξοικονόμησης είναι ιδιαίτερα σημαντικά.



Εικόνα 19: Mewis duct (αριστερά) και Pre-swirl stator (δεξιά)

Μηχανήματα

Για να παραχθεί ισχύς για την πρόωση του πλοίου είναι πολλές οι τεχνολογίες που διατίθενται. Είναι πολλές οι παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση μίας μηχανής. Σε σύγχρονες δίχρονες μηχανές ντίζελ η απόδοση μπορεί να ξεπεράσει το 50% ενώ στα συστήματα ατμοστρόβιλου το ποσοστό της απόδοσης είναι μεταξύ 25% έως 30%. Η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί με την αξιοποίηση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας, με τα σύγχρονα συστήματα να αποδίδουν σε ποσοστό που κυμαίνεται από 56% μέχρι και 58%. Αν και η επιλογή της μηχανής εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς μεταξύ τους παράγοντες, παρόλα αυτά η τάση που κυριαρχεί είναι οι μηχανές ντίζελ.

Πολύ διαδεδομένοι είναι οι εναλλακτικοί τύποι καυσίμου, με τη μεθανόλη και το LNG και πως είναι, προς το παρόν η βέλτιστη λύση, μειώνοντας τις εκπομπές CO₂, και – το σημαντικότερο- σε κάποιες περιπτώσεις τις εκπομπές SO_x, NO_x και των σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

Εκτός από τα παραπάνω, μεταξύ των καλών πρακτικών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου βρίσκεται και η συχνή και σωστή συντήρηση των μηχανημάτων, ο λεπτομερής καθαρισμός του κύτους και της έλικας, τα κατάλληλα αντιρρυπαντικά συστήματα, ο έλεγχος στην κατανάλωση λιπαντικών, η χρήση Exhaust Gas Economizers για την ελαχιστοποίηση της λειτουργίας των boilers, η κατάλληλη εκπαίδευση των ατόμων που κάνουν χρήση του μετρητικού εξοπλισμού κλπ.

Όμως, ο σημαντικότερος παράγοντας για την εξοικονόμηση καυσίμου είναι η παρακολούθηση της κατανάλωσης του καυσίμου. Μόνο έτσι μπορεί να επιβεβαιωθεί ή όχι, η καλύτερη δυνατή λειτουργία του πλοίου με βάση την ενεργειακή απόδοσή του και στη συνέχεια να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου. Βέβαια για να είναι δυνατή μία τέτοια ανάλυση, είναι απαραίτητο να συλλεχθούν όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία κατά την πλεύση του πλοίου και στη συνέχεια να επεξεργαστούν κατάλληλα ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο και τις δυνατότητες που υπάρχουν για τη βελτίωση της λειτουργίας του πλοίου. Είναι σαφές ότι η απόδοσή του βελτιστοποιείται όταν η παρακολούθηση του πλοίου είναι όσο το δυνατόν πιο στενή.

2.6 Προκλήσεις για μελλοντική έρευνα

Αν και τα εργαλεία τα οποία διαχειρίζονται την επίδοση ενός πλοίου και ενός στόλου, υπόσχονταν πολλά οφέλη, τα αποτελέσματα δεν φάνηκαν να είναι τα επιθυμητά. Στον τομέα της ναυτιλίας, η πεποίθηση που κυριαρχεί είναι ότι η απόδοση ενός πλοίου θεωρείται καλή όταν οι ναυλωτές δεν διαμαρτύρονται για την κατανάλωση και την ταχύτητα.

Συνοπτικά, οι αιτίες είναι οι παρακάτω:

- Ελλιπής κατανόηση: Με μία γρήγορη ματιά, οι πλατφόρμες διαχείρισης στόλου φαντάζουν σαν κάτι πολύ απλό αλλά ουσιαστικά δεν είναι. Για τους πλοιοκτήτες είναι απαραίτητη η υποστήριξη από ειδικό τεχνικό και σχετική εμπειρογνωμοσύνη, ώστε να εξασφαλιστεί η καταλληλότητα των εργαλείων διαχείρισης στόλου, καθώς η πλειοψηφία αυτών δεν προσεγγίζει ολιστικά το θέμα που προκύπτει αναφορικά με τη ενεργειακή απόδοση του πλοίου αλλά επιλέγει κάποια κριτήρια αξιολόγησης.

-Ατυχής επιλογή επιχειρηματικής στρατηγικής: Οι πλοιοκτήτες δεν καταφέρνουν να αναπτύξουν αποτελεσματικές επιχειρησιακές στρατηγικές διότι τα εργαλεία

παρακολούθησης στόλου επιλέγονται ως απλή λύση παρακολούθησης πλοίων, προσδοκώντας αυτόματη εξοικονόμηση πόρων. Είναι ύψιστης σημασίας να συνυπολογιστεί το κόστος της εσωτερικής διαχείρισης και της συλλογής δεδομένων και να μην υπερεκτιμάται η εξοικονόμηση πόρων.

- Ανεπαρκής συλλογή δεδομένων: Οι πλατφόρμες διαχείρισης στόλου συλλέγουν δεδομένα από πολλές πηγές αλλά εισάγουν δεδομένα και από το πλήρωμα και το προσωπικό ξηράς. Η χρήση μαθηματικών τύπων αναφορικά με τα μετεωρολογικά δεδομένα, που δεν είναι γνωστοί στους πλοιοκτήτες, η λανθασμένη λήψη δεδομένων και οι ασυνέχειες κατά την καταγραφή τους, συνθέτουν μία ελλιπή εικόνα.

- Μη επαρκής ανάλυση δεδομένων: Είναι απαραίτητη η ποσοτικοποίηση, η πιστοποίηση και η επαλήθευση των δεδομένων που συλλέγονται. Συνδυαστικά με την ανακρίβεια που υπάρχει στην πλειοψηφία των δεδομένων, κυρίως στα ωκεανογραφικά δεδομένα που η ανάλυση και η συλλογή τους βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο, είναι ξεκάθαρο ότι για αυτή τη διαδικασία απαιτείται μεγάλο κεφάλαιο και χρόνος. Επίσης, η αδιαφάνεια στη βιομηχανία εργαλείων διαχείρισης στόλου δεν βοηθά τους πλοιοκτήτες να κατανοήσουν τις διαδικασίες.

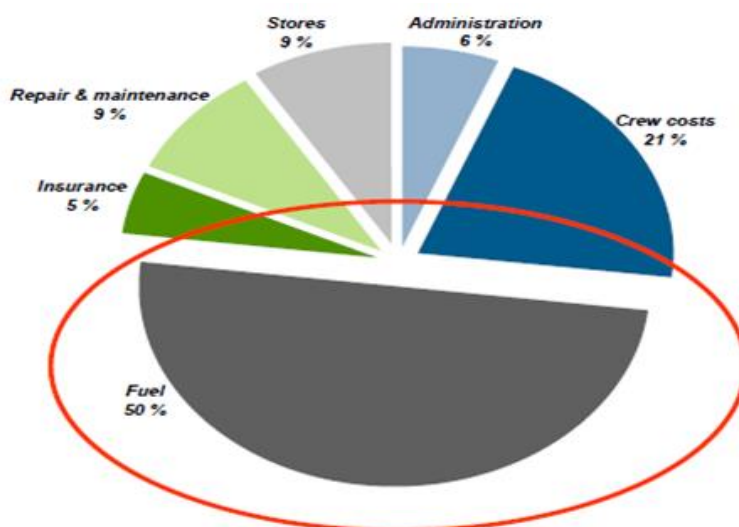
Ασφαλώς και υπάρχουν οφέλη αλλά μόνο σε βάθος χρόνου, μέσω επενδύσεων και συνεργασίας. Σε διαφορετική περίπτωση, το αποτέλεσμα δεν θα είναι η εξοικονόμηση πόρων αλλά η αύξηση των δαπανών του πλοιοκτήτη.

Κεφάλαιο 3ο: Στρατηγικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων

3.1 Οι επιπτώσεις της ναυτιλίας στο περιβάλλον

Οι επιπτώσεις της ναυτιλίας στο περιβάλλον οφείλονται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στις διαρροές πετρελαίου. Η διεθνής ναυτιλία είναι το πιο αποδοτικό μεταφορικό μέσο και το πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, με βάση την πρόβλεψη ότι οι θαλάσσιες μεταφορές θα αυξηθούν σε συνδυασμό με το παγκόσμιο εμπόριο, ο IMO υπολογίζει ότι τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει αύξηση των εκπομπών αερίων μέχρι 72%, εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα. Στον ναυτιλιακό κλάδο, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας αποτελεί ένα ιδιαίτερα σοβαρό ζήτημα για την ναυτιλιακή βιομηχανία σε παγκόσμιο επίπεδο, για λόγους μεγιστοποίησης κέρδους συνδυαστικά με την προστασία του περιβάλλοντος.

Η πλειοψηφία των συστημάτων πρόωσης που χρησιμοποιούνται στα πλοία, είναι μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με ντίζελ ή βαρύ πετρέλαιο. Η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους είναι απολύτως αναγκαία ώστε η λειτουργία του πλοίου να είναι ανταγωνιστική. Απόδειξη σε αυτό αποτελεί το γεγονός ότι όταν η πηγή ενέργειας είναι το πετρέλαιο, εξαιτίας της αυξημένης τιμής του, μπορεί το κόστος του καυσίμου να αποτελέσει το 50% του λειτουργικού κόστους ενώ οι πληρωμές των ναυτικών να αποτελούν μόνο το 21% του συνόλου.



Εικόνα20: Typical cost for tank and bulk

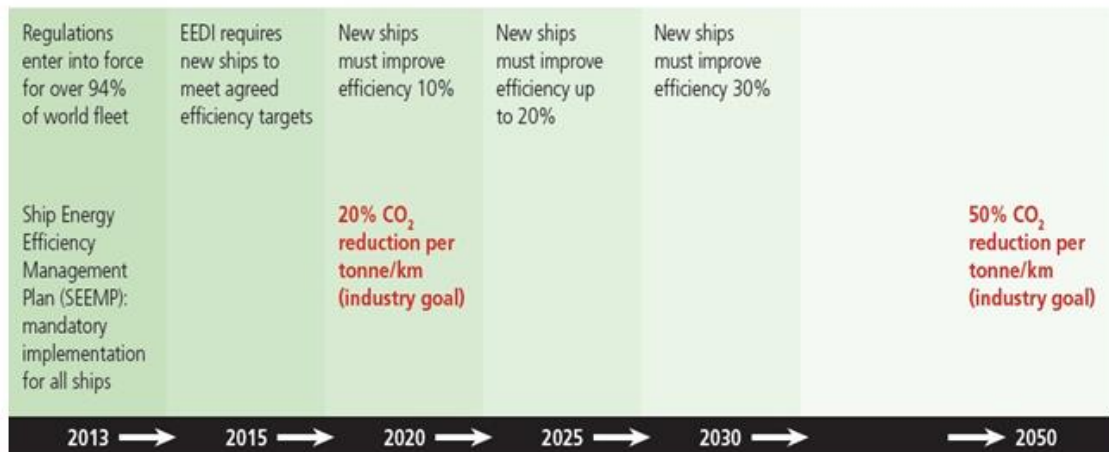
Άρα οι έντονες ανησυχίες για τις επιπτώσεις της λειτουργίας των μηχανών των πλοίων στο περιβάλλον, οι νέοι κανονισμοί και οι απαιτήσεις κατά τη μεταφορά των εμπορευμάτων, άλλαξαν τη μορφή του ανταγωνισμού. Έτσι, ο ανταγωνισμός αύξησε το ενδιαφέρον για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της συνεχούς ανάπτυξης του ναυτιλιακού κλάδου.

Μελλοντικό στόχο αποτελεί η μείωση της εκπομπής ρύπων CO₂ από τα πλοία, ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ) που αναφέρονται στη μείωση των αέριων ρύπων και στη σχεδίαση καινούργιων πλοίων σύμφωνα με τους δύο δείκτες εκπομπών CO₂ δηλαδή τον Ενεργειακό Δείκτη Επιχειρησιακής Απόδοσης (Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI) και το Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Design Index EEDI).

Ο τελευταίος χρησιμοποιείται για λόγους αξιολόγησης του σχεδιασμού της προωστήριας εγκατάστασης και του σκάφους, ενώ ο EEOI για να προωθήσει την ανάπτυξη των καλύτερων πρακτικών επί του πλοίου. Ο μελλοντικός στόχος είναι ο σχεδιασμός των πλοίων να γίνεται με δείκτη που θα μειώνεται σταδιακά για να φτάσει στο μέγιστο επίπεδο δηλαδή στο 70% συγκριτικά με το 100% του μέσου δείκτη σχεδιασμού. Επειδή η μείωση εκπομπών CO₂ είναι σχεδόν ισοδύναμη με τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, οι κατασκευαστές των νέων πλοίων, έχουν στόχο να μειωθεί σχεδόν σε 30% η κατανάλωση καυσίμων σε κάθε ταξίδι με κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Οι εκπομπές ρύπων μπορούν να περιοριστούν με τη βοήθεια τεχνικών λύσεων ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων, οι αέριοι ρύποι και τα αέρια του θερμοκηπίου, που αφορούν την πρόωση και τον σχεδιασμό των μηχανολογικών χαρακτηριστικών των πλοίων, βελτιστοποιώντας την πλεύση τους. Από τη ναυτιλία γίνονται προσπάθειες μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου με στόχο 30% μείωση μέχρι το 2030, εφόσον το επιτρέπουν οι συνθήκες και έως το 2050 μείωση της τάξεως του 50% .

MARPOL Annex VI, Chapter 4 adopted July 2011, which entered into force in January 2013



Εικόνα 21: Συμφωνία του IMO για ελάττωση CO₂ από τα πλοία

[Πηγή: International Chamber of Shipping (ICS)]

Αναφορικά με το λειτουργικό σχεδιασμό και σύμφωνα με κανονισμούς για χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, υπάρχει μεγάλη έρευνα για την ανάπτυξη τεχνολογιών για τις προωστήριες εγκαταστάσεις ντίζελ που μειώνουν τις εκπομπές ρύπων. Σε κάποιες άλλες εγκαταστάσεις πρόωσης γίνεται χρήση εναλλακτικών μορφών καυσίμων. Άρα είναι ιδιαίτερα σημαντική η επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης, της καταλληλότερης πηγής ενέργειας και του αποδοτικότερου σχεδιασμού.

Οι LNG, fuel cells και nuclear που αποτελούν εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ενέργειας μελετώνται από πλήθος εταιρειών, ώστε σε περίπτωση που αυτή η ενέργεια συνδυαστεί με σκοπούς διαφορετικούς από την πρόωση (π.χ. ξενοδοχειακές υπηρεσίες σε κρουαζιερόπλοια), θα σημειωθεί σημαντική συμβολή στη μείωση του κόστους των καυσίμων και οι εν λόγω παράγοντες πρέπει να συνυπολογίζονται κατά τον σχεδιασμό της καλύτερης λειτουργικής απόδοσης. Έχει αναφερθεί ότι τα οφέλη ενός κοινού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τις βοηθητικές υπηρεσίες του πλοίου και την πρόωση, σε μια βελτιστοποιημένη εγκατάσταση, εξοικονομούν έως και 25% στο κόστος λειτουργίας.

Για το λόγο αυτό οι περιορισμοί και τα οφέλη κάθε τύπου εγκατάστασης πρέπει να αξιολογηθούν με τρόπο που να εξασφαλιστεί ότι, μεσοπρόθεσμα, τα μελλοντικά πλοία θα είναι αποδοτικότερα ενεργειακά, ασφαλέστερα, φιλικότερα προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες τάσεις ανάπτυξης σε τεχνολογίες πρόωσης και κάποιες σχεδιαστικές τάσεις όπως:

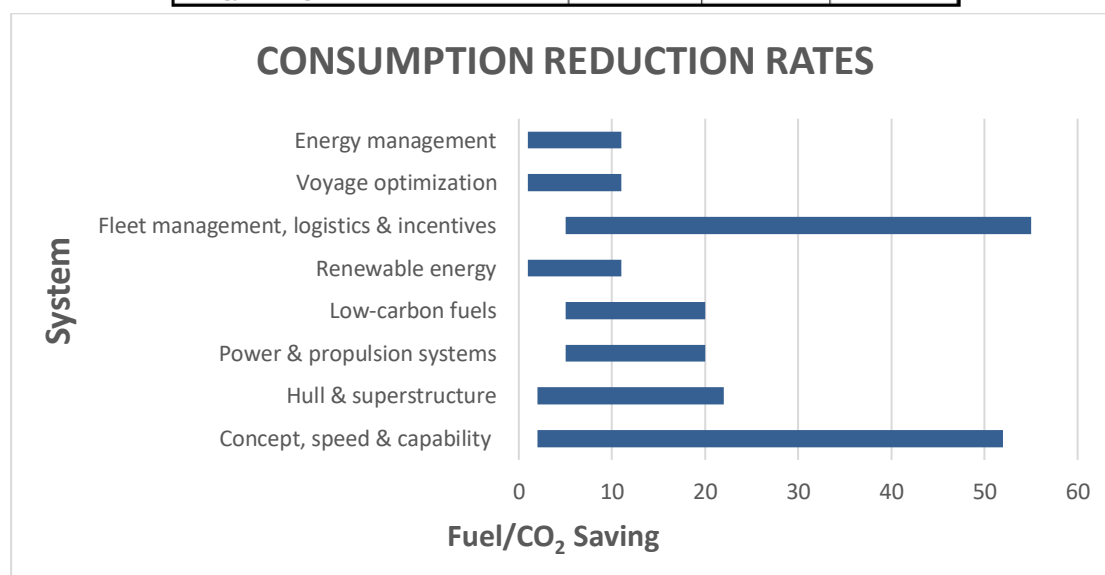
- Αποδοτικές μορφές γάστρας (Air Cavity Ships)

- Βελτιώσεις στην απόδοση της προπέλας και των συστημάτων πρόωσης(FPP Fixed Pitch Propellers, Contra Rotating Propellers CRPs, Azimuth προπέλες και συστήματα πρόωσης, Πρόωση Azipod)
- Scrubber System
- Εναλλακτικές μορφές καυσίμων ως πηγή ενέργειας σε μηχανές πρόωσης(LNG)
- Ηλιακή ενέργεια (Solar Power)
- Υβριδικά συστήματα πρόωσης (Hybrid LNG systems)
- Skysail
- Βαφήχωρίςβιοκτόνο (Biocide-free paint)
- Εγκαταστάσεις πλοίων με πυρηνική ενέργεια

Πίνακας-Διάγραμμα1: Οι πιθανότητες για ελάττωση CO₂ μέσω γνωστών τεχνολογιών και πρακτικών

(Πηγή: Second GHG study 2009, IMO)

Category	Fuel/CO ₂ Saving	Combined	Combined
DESIGN (New ships)			
Concept, speed & capability	2 ~ 50%	10 ~ 50 %	25 ~ 75 %
Hull and superstructure	2 ~ 20%		
Power and propulsion systems	5 ~ 15%		
Low-carbon fuels	5 ~ 15%		
Renewable energy	1 ~ 10%		
Exhaust gas CO ₂ reduction	0%		
OPERATION (All ships)			
Fleet management, logistics & incentives	5 ~ 50%	10 ~ 50 %	
Voyage optimization	1 ~ 10%		
Energy management	1 ~ 10%		



3.2 Πλοία με κοιλότητες αέρα ACS (Air Cavity Ships)

Η ιδέα, αναφορικά με την έρευνα για τη μείωση της οπισθέλκουσας δύναμης από τις τριβές, αποτέλεσε την πρόταση των Laval και Froude τον 19^ο αιώνα, έχοντας μικρή επιτυχία. Πολύ σημαντική ήταν η συμβολή των Butuzon και αργότερα ο I. Matveev, με έρευνες και αντίστοιχες εφαρμογές από το Ερευνητικό Ινστιτούτο στην Αγία Πετρούπολη τη δεκαετία του 1960. Πρόσφατες έρευνες έλαβαν χώρα στην Ευρώπη, την Ιαπωνία, τις ΗΠΑ, την Αυστραλία και την Κορέα. Να σημειωθεί ότι από τους ειδικούς της σουηδικής εταιρείας Stena Rederi AB, του Ινστιτούτου SSPA και του Πανεπιστημίου Τεχνολογίας Chalmers, επινοήθηκε ένα οικολογικό τάνκερ που φέρει στο κάτω μέρος του προηγμένο σύστημα λίπανσης με αέρα το οποίο του επιτρέπει να κινείται επάνω στην επιφάνεια της θάλασσας, απαλά.

Το Stena E-max air, που είναι το δεξαμενόπλοιο που μεταφέρει υγροποιημένο φυσικό αέριο, λόγω ενός μαξιλαριού αέρος, καταναλώνει σχεδόν 32% λιγότερα καύσιμα σε σύγκριση με ένα συμβατικό τάνκερ, περιορίζοντας το ενεργειακό αποτύπωμά του. Σύμφωνα με τους ειδικούς αυτό συμβαίνει επειδή το μαξιλάρι αέρος μειώνει σημαντικά την τριβή του τάνκερ με το νερό, αλλά και την εν πλω αντίσταση. Και άλλες εταιρείες παρουσίασαν αντίστοιχα σχέδια που λειτουργούν με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα το πλοίο που επινοήθηκε λέγεται Air Cavity ships (ACS).



Εικόνα 22: Πλοίο που διαθέτει τεχνολογία ACS της Stena Bulk

(Πηγή: www.stenabulk.com)

Στα ACS ο αέρας χρησιμοποιείται για τη μείωση της αντίστασης όσο σύρεται το πλοίο στο νερό και των αντιστάσεων τριβής της γάστρας. Στη μέθοδο

περιλαμβάνεται η έγχυση αέρα σε μια ειδική κοιλότητα στο κάτω μέρος του πλοίου. Με αυτή μειώνεται σημαντικά η επιφάνεια της γάστρας που βρέχεται και η αντίσταση από τις τριβές στην επιφάνεια του κύτους. Τα Air Cavity ships, είναι εξελιγμένες κατασκευές σκαφών που χρησιμοποιούν τον αέρα που εγχέεται κάτω από τον πυθμένα, μειώνοντας την επιφάνεια της γάστρας που βρέχεται σε σημαντικό βαθμό. Έτσι βελτιστοποιούνται τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του σκάφους έτσι ώστε και με τη μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης σε αρκετά υψηλή ταχύτητα και με κατάλληλες γραμμές στη γάστρα, να μπορεί ένα πλοίο να γλιστράει επάνω στο νερό.

Υπολογίστηκε ότι οι απαιτήσεις συνολικής ισχύος προκειμένου να υποστηριχθούν οι μηχανισμοί που παρέχουν τον αέρα στην κοιλότητα είναι σχεδόν λιγότερες από το 3% της συνολικής ισχύος του πλοίου. Τα πλοία που σχεδιάζονται με τον τρόπο αυτό είναι τα ACS και η τεχνητή σπηλαιώση ή λίπανση με αέρα αφορά τη δημιουργία ενός στρώματος αέρα στη βυθισμένη επιφάνεια.

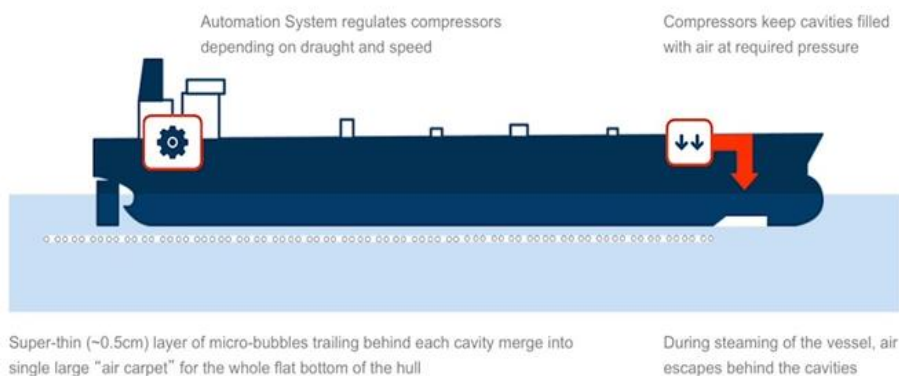
Στην αρχή, τα ταχύπλοα σκάφη ήταν αυτά στα οποία αφορούσε η ιδέα να μειωθεί η υδροδυναμική αντίσταση του σκάφους όσο αυτό κινείται μέσα στο νερό. Στη συνέχεια επεκτάθηκε σε αργά πλοία με διαφορετική διάταξη των κοιλοτήτων του αέρα όπως δεξαμενόπλοια και φορτηγά. Το μεγαλύτερο βάρος και μέγεθος των πλοίων, απαιτεί μέχρι 7 -8 κοιλότητες αέρα ενσωματωμένες στο κάτω μέρος και τα ιδανικότερα αποτελέσματα είναι όταν το πλοίο ταξιδεύει σε ήρεμη θάλασσα. Το ACS δεν είναι τόσο αποτελεσματικό σε άφορτη κατάσταση, εξαιτίας της μεγαλύτερης υδροδυναμικής αντίστασης από τα κύματα.

Η Danish-Dutch DK Group είναι μία άλλη εταιρεία που μελέτησε την τεχνολογία ACS. Αυτή συμπέρανε ότι η τεχνολογία ACS μειώνει κατά 10 % την τριβή του πλοίου και έτσι εξοικονομούνται καύσιμα 10-15% για πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και δεξαμενόπλοια. Για τα πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια το αντίστοιχο ποσοστό είναι χαμηλότερο του 10%. Εάν στην τεχνολογία ACS προστεθούν πιο αποδοτικές προπέλες και συστήματα πλοήγησης και αν χρησιμοποιηθούν θερμικά απόβλητα (re-use of waste heat), μπορεί να εξοικονομηθεί καύσιμο και κατά συνέπεια να μειωθεί η εκπομπή CO₂ κατά 30%.

Επίσης, οφέλη του ACS είναι:

- η βελτίωση της ευελιξίας
- η βελτίωση της ασφάλειας λόγω της μείωσης της απόστασης ακινητοποίησης του πλοίου σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης κατά 50%,
- η αύξηση του ωφέλιμου φορτίου και

-η αύξηση της ταχύτητας.



Εικόνα 23: Πλοίο που διαθέτει τεχνολογία ACS της Danish-Dutch DK Group

(Πηγή: Article from Lloyd's List, <https://www.lloydslist.com/ll/sector/ship-operations/article501684.ece>)

Από την DK Group δημιουργήθηκε ένα πιλοτικό πλοίο πλήρους κλίμακας που δοκιμάστηκε το 2008 στη Νορβηγία. Οι δοκιμές έγιναν σε συνεργασία με το Germanischer Lloyd, FORCE Technology και Lynngs Marine. Με βάση τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, εγκρίθηκε από τον Germanischer Lloyd, η τεχνολογία των πλοίων με κοιλότητα αέρα (ACS) του DK ώστε να χρησιμοποιηθεί στην εμπορική ναυτιλία και έτσι οδηγήθηκε σε συμφωνία με την DK Group προκειμένου να δημιουργηθεί από κοινού ένα πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου 200.000 τόνων (dwt).

3.3 Αναδιαμόρφωση της βολβώδους πλώρης του πλοίου- X-BOW

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου στα πλοία είναι να τροποποιηθεί η βολβώδης πλώρη του πλοίου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς από τις εταιρίες NYK και Maersk Line προκειμένου να βελτιωθεί η κατανάλωση καυσίμου. Η ομάδα NYK, σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, έκανε προσαρμογές στην πλώρη για εξοικονόμηση ενέργειας και πράγματι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ήταν 23% πάνω από έξι μήνες. Η ομάδα της Maersk μείωσε το κόστος των καυσίμων περίπου 8%. Η ομάδα Clipper κατάφερε και αυτή σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων μέσω της ίδιας

μεθόδου. Από την DNV πραγματοποιήθηκε μια πλήρης μελέτη για την ανάπτυξη μιας νέας μορφής πλώρης. Μετά τη σχεδιαζόμενη «εργασία μύτης» σε μόνιμες δεξαμενές, παρατηρήθηκε από τις μετρήσεις επί του σκάφους μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, σχεδόν 1.000 τόνους ανά έτος (Δαγκίνης, 2014).

Η εταιρεία Ulstein το 2006, προσπαθώντας να ξεπεράσει τις παραδοσιακές κατασκευές, σε συνεργασία με την Bourbon Offshore Norway, προωθεί στην αγορά το Bourbon Orca, πλοίο γενικής χρήσης τύπου AHTS (Anchor Handling Tug Supply Vessel). Ήταν το πρώτο με την καινοτομία του σχεδίου X-BOW δηλαδή στρογγυλεμένη πλώρη σε σχήμα τόξου και ανεστραμμένη προς τα πίσω (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 24: Το σχέδιο X-BOW

(Πηγή: X-BOWUlstein.com/innovations/x-bow)

Για την κατασκευή του, η εταιρία Ulstein πήρε ιδέες από τα νορβηγικά πλοία Knarr και Oseberg, που χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά από τους Βίκινγκς το 800 Π.Χ. για τις μετακινήσεις τους. Αυτό το πρωτοποριακό σχήμα γάστρας ανακατανέμει τον όγκο του πλοίου στο σημείο της πλώρης και μειώνει τις πλευρικές του καμπύλες. Έτσι, το πλοίο κόβει τα κύματα στη μέση και μειώνονται οι δονήσεις και οι εσωτερικοί θόρυβοι και τα σκαμπανεβάσματα και κατά συνέπεια το νερό που χτυπάει στη γέφυρα του πλοίου, με αποτέλεσμα την ασφαλή λειτουργία του σε μεγάλους κυματισμούς. Επιπρόσθετα, αυξάνεται η ταχύτητα διέλευσης του πλοίου σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες. Η κατανάλωση καυσίμων αποτελεί ένα ακόμα πλεονέκτημα. Ο σχεδιασμός του X-BOW μειώνει την κατανάλωση καυσίμων σε πρωραίους και πρυμναίους κυματισμούς ενώ παράλληλα, μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων σε κατάσταση ερματισμού, επειδή η κατανομή του όγκου του πλοίου έχει βελτιωθεί (Δαγκίνης, 2014).

Επίσης, αυτός ο ιδιαίτερος σχεδιασμός, δημιουργεί λίγα σκαμπανεβάσματα αλλά και μικρές επιταχύνσεις στους κυματισμούς. Με τον τρόπο αυτό προστατεύεται

καλύτερα το φορτίο και κινδυνεύει λιγότερο να χαθεί ή να καταστραφεί. Για τον καινοτόμο σχεδιασμό X-BOW δικαιώθηκε η εταιρία Ulstein καθώς από το 2006 μέχρι σήμερα παραδόθηκαν έξι πλοία αυτής της κατασκευής στην Polarcus, στη Marine Subsea και στην Bourbon Offshore Norway ενώ η εταιρεία CBO (Companhia Brasileira de Offshore) έχει υπό κατασκευή τέσσερα πλοία αυτού του τύπου(Δαγκίνης, 2014).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ

Στο σχήμα απεικονίζονται δύο μοντέλα μέσα σε πειραματική δεξαμενή. Το ένα κατασκευάστηκε με γάστρα τύπου X-BOW και το άλλο με συμβατικού τύπου γάστρα. Το ύψος του κύματος που δημιουργείται στη δεξαμενή είναι 2,8 μ., με περίοδο 10,5 δευτερολέπτων και ταχύτητα 15 κόμβων. Στην αριστερή φωτογραφία φαίνεται ότι το πλοίο με σχεδιασμό X-BOW, με το κοφτό σχήμα γάστρας, εισέρχεται ομαλά μέσα στο κύμα, χωρίς τη δημιουργία ψεκασμού. Όσο επιτυγχάνεται αποτελεσματικός διαχωρισμός των κυμάτων, μειώνεται η μεταφορά ενέργειας, επομένως μειώνονται οι απώλειες ταχύτητας. Στη δεξιά φωτογραφία το πλοίο είναι συμβατικού τύπου. Φαίνεται ο ψεκασμός που δημιουργείται και η υψηλή κρούση πλώρης. Η ενέργεια των κυμάτων κινείται προς το αμβλύ σχήμα της γάστρας αντίθετα με το πλοίο και αυτό που παρατηρείται είναι μείωση της ταχύτητας του πλοίου(Δαγκίνης, 2014).



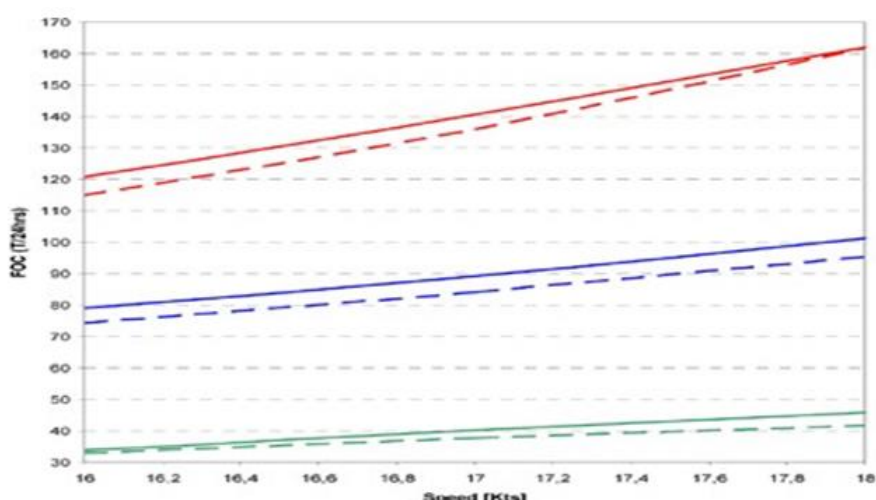
Εικόνα 25: Σύγκριση γάστρα τύπου X-BOW με συμβατικού τύπου γάστρα

(Πηγή: X-BOW ulstein.com/innovations/x-bow)

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Μελέτες που σύγκριναν τα πλοία με σχεδιασμό X-BOW και πλοία συμβατικού τύπου, έδειξαν ότι διαφέρει η κατανάλωση καυσίμων. Με ταχύτητα

μέχρι 18 κόμβους, επιτυγχάνεται μείωση καυσίμων από 7 έως 16%, ανάλογα με την κατάσταση της θάλασσας και την ταχύτητα του πλοίου(Δαγκίνης, 2014).



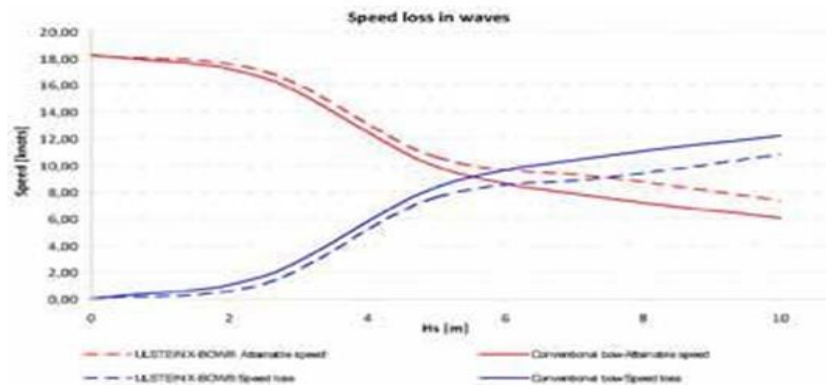
Διάγραμμα 6: Απεικόνιση σύγκρισης ως προς την κατανάλωση καυσίμων

(Πηγή: X- BOWulstein.com/innovations/x-bow)

ΑΠΩΛΕΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Το Διάγραμμα 7 απεικονίζει την ταχύτητα που είναι εφικτή σε κυματισμούς και την απώλεια ταχύτητας σε πλοίο σχεδιασμού X-BOW και σε πλοίο συμβατικού τύπου. Το πρώτο έχει σημαντικό πλεονέκτημα ταχύτητας σε διάφορες καταστάσεις της θάλασσας.

Οι μπλε καμπύλες δείχνουν την απώλεια ταχύτητας των δύο πλοίων, με αφετηρία την ταχύτητα 0 και ύψος κύματος 0 μ. Σε ίδιες ταχύτητες και ίδια ύψη κύματος, η καμπύλη του πλοίου συμβατικού τύπου βρίσκεται πιο ψηλά από αυτήν του πλοίου με X-BOW. Άρα, το συμβατικό πλοίο έχει μεγαλύτερη απώλεια ταχύτητας έναντι του πλοίου με X-BOW. Οι κόκκινες καμπύλες δείχνουν τις ταχύτητες των δύο πλοίων. Ξεκινώντας από τη μέγιστη εφικτή ταχύτητα, βλέπουμε ότι η ταχύτητα μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος του κύματος. Το πλοίο με σχεδιασμό X-BOW μπορεί να πλεύσει με μεγαλύτερη ταχύτητα σε μεγάλους κυματισμούς, σε σύγκριση με ένα πλοίο συμβατικού τύπου(Δαγκίνης, 2014).



Διάγραμμα 7: Απεικόνιση εφικτής ταχύτητας στους κυματισμούς και την απώλεια ταχύτητας σε πλοίο με σχεδιασμό X-BOW και σε πλοίο συμβατικού τύπου

(Πηγή: X-BOWulstein.com/innovations/x-bow)

3.4 Βελτιστοποιήσεις στην απόδοση της προπέλας και των συστημάτων πρόωσης

Προκειμένου να επιλεγεί ένας τύπος πρόωσης λαμβάνεται υπόψη ο τύπος του σκάφους και η χρήση του. Στις περισσότερες περιπτώσεις για την πρόωση χρησιμοποιούνται προπέλες διαφορετικών σχημάτων, τύπων, και επιδόσεων. Ο τελικός αποδέκτης πρόωσης είναι η έλικα τόσο στην περίπτωση των μεγάλων πλοίων που κάνουν υπερατλαντικά ταξίδια όσο και για τα απλά συμβατικά σκάφη που κάνουν μικρά δρομολόγια. Είναι μια απλή και ευφυής εφεύρεση καθώς δίνει αποτελεσματικότερη λύση στην πρόωση (Δαγκίνης, 2014).

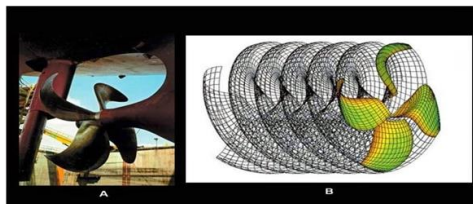
Όμως, κάθε συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης προορίζεται για ένα συγκεκριμένο τύπο σκάφους και αντίστοιχα για συγκεκριμένη χρήση. Υπάρχουν συστήματα πρόωσης σταθερού ή μεταβλητού βήματος, με μία ή περισσότερες έλικες. Ο τύπος της έλικας μπορεί να είναι επιφανείας ή πλήρους διαβροχής. Οι διατάξεις που φέρουν την έλικα ή τις έλικες, μπορεί να είναι είτε άξονες, είτε προπελοφόρες μονάδες εσωλέμβιων ή εξωλέμβιων κινητήρων. Επειδή είναι μεγάλη η ζήτηση και η έρευνα για πιο αποδοτικά σχέδια, δημιουργήθηκαν πιο σύνθετοι τύποι και συστήματα προπέλας που αντικαθιστούν, μέχρι ένα βαθμό, τους συμβατικούς/κλασικούς τύπους επηρεάζοντας ανάλογα την ταχύτητα του πλοίου αλλά και την κατανάλωση. Μερικοί από αυτούς τους τύπους είναι οι αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs), οι προπέλες σταθερού

βήματος, η πρόωση Azipod και Azimuth προπέλες και συστήματα πρόωσης(Δαγκίνης, 2014).

3.4.1 Προπέλες Σταθερού Βήματος-Fixed Pitch Propellers (FPP)

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι κατασκευασμένες από κράμα χαλκού και είναι χυτά ενιαία κομμάτια. Η θέση των πτερυγίων, άρα και το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή για όλα. Το βήμα δεν μπορεί να αλλάξει κατά την λειτουργία δηλαδή όταν η έλικα λειτουργεί σε συνθήκες άσχημου καιρού, οι καμπύλες απόδοσης της έλικας (δηλαδή ο συνδυασμός ισχύος και ταχύτητας (r/min)), θα αλλάζουν σύμφωνα με τους φυσικούς νόμους και το πλήρωμα δε μπορεί να μεταβάλει την πραγματική καμπύλη της έλικας. Η πλειοψηφία των πλοίων έχουν έλικες σταθερού βήματος. Δεν υπάρχει κάποια σημαντική δυσκολία στην κατασκευή και την εγκατάσταση τους και υπάρχουν πολλοί σχηματισμοί και μεγέθη. Οι προπέλες σταθερού βήματος καλύπτουν τις ανάγκες του μικρού σκάφους αλλά και του μεγάλου δεξαμενόπλοιου. Οι υποκατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι τρεις και είναι οι παρακάτω(Δαγκίνης, 2014):

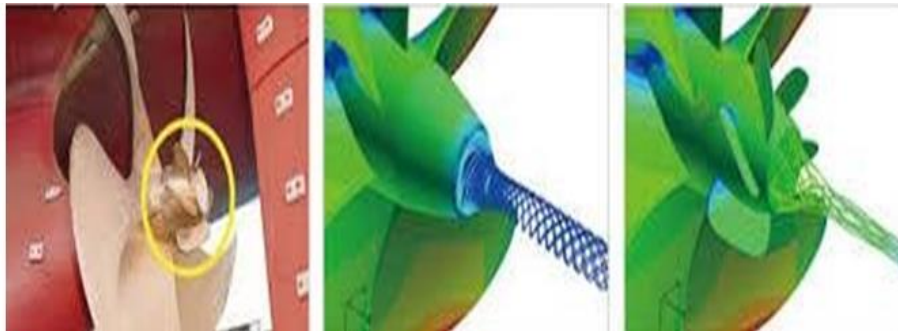
- Προπέλες τύπου Kappel: η αποδοτικότητα αυτής της προπέλας αυξάνεται με την ανάπτυξη των πτερυγίων της. Με την πρόωση από αυτές τις προπέλες, με βάση μελέτες του 2002, βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση και μειώνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η αύξηση του κόστους παραγωγής, σε σύγκριση με μια συμβατική προπέλα, είναι περίπου 20%, ενώ η πρόβλεψη με βάση μοντέλα της φυσικής και των μαθηματικών αφορά βελτίωση που μεταφράζεται σε εξοικονόμηση καυσίμου έως και 7%.



Εικόνα 26: Εφαρμογή σε πλοίο και αριθμητικό μοντέλο οριακών στοιχείων της προπέλας Kappel

(Πηγή: StoneMarinePropulsion)

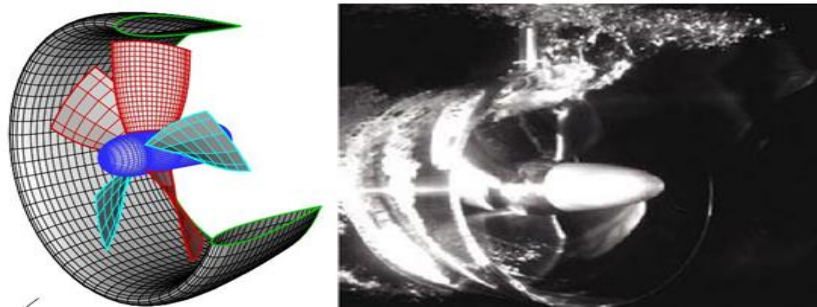
-Προπέλα Boss Cap Fins (PBCF): πρόκειται για μικρά πτερύγια. Εφαρμόζονται στο καπάκι της προπέλας που ήδη υπάρχει. Κατασκευάζεται από το ίδιο υλικό με αυτό ή δημιουργείται καινούργιο καπάκι με πτερύγια. Η εγκατάστασή του είναι εύκολη και γίνεται με τον ίδιο τρόπο που εγκαθίσταται το καπάκι της προπέλας. Έχουν τεθεί σε εφαρμογή από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, αναπτύχθηκαν από τις εταιρείες Mitsui OSK.Lines, West Japan Fluid Engineering Laboratory Co.Ltd και Mikado Propeller Co.Ltd και τοποθετήθηκαν και σε πλοία της Mitsui OSK Lines. Σε μετρήσεις σε περισσότερα από 60 πλοία, υπολογίστηκε ότι το όφελος από την εξοικονόμηση καυσίμων φτάνει το 4-5% και η αύξηση της ταχύτητας το 2%. Η εφαρμογή των πτερυγίων μειώνει την απώλεια της ενέργειας στη δίνη της πλήμνης, η οποία δημιουργείται γύρω από την προπέλα με τη ροή του νερού. Στα οφέλη πρέπει να αναφερθεί η μείωση του θορύβου της προπέλας και η μείωση των δονήσεων στην πρύμνη.



Εικόνα 27: Εικόνες που παρουσιάζουν τη σύγκριση από τη δίνη στην πλήμνη πριν και κατόπιν της εγκατάστασης του

(Πηγή: Mitsui OSK Lines website)

-Οι προπέλες Ducted: αυτό το σύστημα προπέλας αποτελείται από δύο στοιχεία, την προπέλα που τοποθετείται στο εσωτερικό του αγωγού και ένα δακτυλιοειδή αγωγό με αεροτομική διατομή. Ο αγωγός συμβάλει στη μείωση των δυνάμεων πίεσης που ασκούνται στο κύτος και προστατεύει την προπέλα από ζημιές. Το φορτίο επηρεάζει την αύξηση της απόδοσης της προπέλας και η βελτίωση βρίσκεται μεταξύ 1% και 5%, συγκριτικά με μια προπέλα ανοικτού τύπου.



Εικόνα 28: Προπέλες Ducted

(Πηγή: MitsuiOSKLineswebsite)

3.4.2 Αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs)

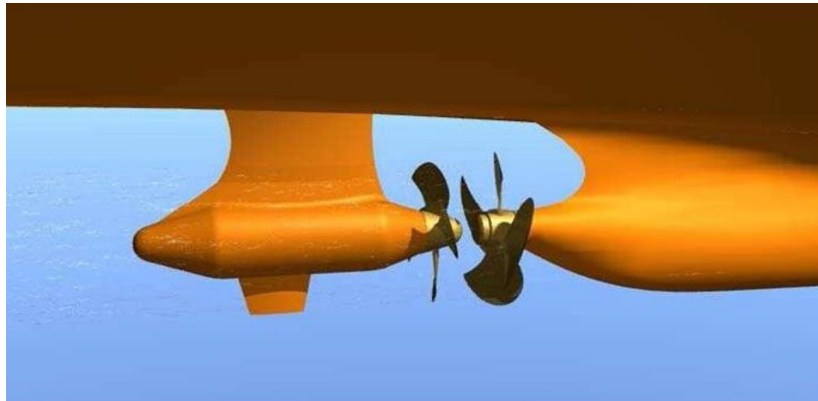
Η εφαρμογή δύο ελίκων αντίθετης περιστροφής στην ίδια προπελοφόρο μονάδα ήταν πολύ επιτυχημένη. Εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1980 στους κινητήρες Volvo Penta. Αρχικά η κριτική που δέχτηκαν ήταν οξεία αλλά μετά εφαρμόστηκαν και από την Mercuriser. Με την εφαρμογή αυτών των ελίκων βελτιώνονται οι επιδόσεις και παρατηρείται καλύτερη συμπεριφορά κυρίως στο πλανάρισμα και στην εκκίνηση. Η πιο συνηθισμένη διάταξη των ελίκων αντίθετης περιστροφής είναι να τοποθετούνται στο πίσω τμήμα της προπελοφόρου μονάδας. Τα τελευταία όμως χρόνια τοποθετούνται στο εμπρόσθιο τμήμα της προπελοφόρου μονάδας και παρουσιάζουν πολύ καλά αποτελέσματα ώσης(Δαγκίνης, 2014).

Είναι ένα σύστημα πρόωσης όπου δύο προπέλες είναι τοποθετημένες η μία απέναντι από άλλη. Μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του πλοίου και έχει εγκατασταθεί με διάφορες τροποποιήσεις σε πλοία όπως μεγάλα Container Ships και RO/RO Ferries, LNG Carriers και σε Ερευνητικά Σκάφη για την εγκατάσταση Offshore/Deep sea Floating Platforms που απαιτούν δυναμική τοποθέτηση(Δαγκίνης, 2014).

Η λειτουργία του βασίζεται στην ανάκτηση ενός μέρους των απωλειών ενέργειας από την οπίσθια προπέλα, στο ρεύμα που δημιουργείται κατά την περιστροφή της εμπρόσθιας προπέλας, βελτιώνοντας σημαντικά την αποδοτικότητα και μειώνοντας την κατανάλωση του καυσίμου. Η οπίσθια προπέλα περιστρέφεται στον ίδιο οριζόντιο άξονα με την εμπρόσθια προπέλα χωρίς να είναι συνδεδεμένες άμεσα(Δαγκίνης, 2014).

Τα κύρια οφέλη μαζί με τις αδυναμίες των Contra Rotating Propellers είναι (Δαγκίνης, 2014).:

- Η μείωση της σπηλαίωσης.
- Η βελτίωση της απόδοσης πρόωσης σε ποσοστό 10 με 15%.
- Η ανάκτηση της ενέργειας που χάνεται από την περιστροφή της προπέλας με τη χρήση μιας προπέλας ανάποδης περιστροφής.
- Ο πολύπλοκος σχεδιασμός και το πιο υψηλό κατασκευαστικό κόστος.
- Το μεγάλο όφελος όταν πρόκειται για ταχύτητες επιχειρησιακής πλεύσης.



Εικόνα29: Αντίθεταπεριστρεφόμενεςπροπέλες

(Πηγή: [Advanced Machinery Solutions for RoPax Vessels](#))

3.4.3 Azimuth προπέλες και συστήματα πρόωσης

Στο Azimuth σύστημα πρόωσης, η προπέλα τοποθετείται σε ένα λοβό με περίβλημα ή απλώς μόνο στο λοβό. Αυτός περιστρέφεται κάνοντας πλήρη κύκλο και έτσι η ώθηση δίνεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Όταν η προπέλα στηρίζεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος λοβός που αυτός είναι και ο κινητήρας που περιστρέφει την προπέλα. Το μέγεθος των τυπικών μονάδων ισχύος είναι 5-8Mw, αλλά στα κρουαζιερόπλοια και γενικότερα στα μεγάλα πλοία έχουν τοποθετηθεί μονάδες που φτάνουν 20Mw. Σε ένα λοβό μπορούν να εγκατασταθούν δύο προπέλες, μία μπροστά και μία πίσω από το λοβό όπως δείχνει η εικόνα.

Όταν αναπτύσσονται συστήματα αυτού του τύπου, η ανάπτυξη των πτερυγίων της προπέλας μπορεί να γίνεται σε ευρύτερη περιοχή και αυτό έχει σχέση με την αύξηση της απόδοσης. Λέγεται ότι τα πλοία με σύστημα Azimuth είναι πιο οικονομικά όταν εκτελούν ένα ταξίδι, διότι μπορεί να είναι μικρότερα σε σύγκριση με κάποια άλλα, στη μεταφορά μιας συγκεκριμένης ποσότητας φορτίου. Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων πρόωσης Azimuth είναι ότι από την περιστροφή των λοβών, το πλοίο έχει μεγαλύτερη ευελιξία στις μανούβρες (Δαγκίνης, 2014)..

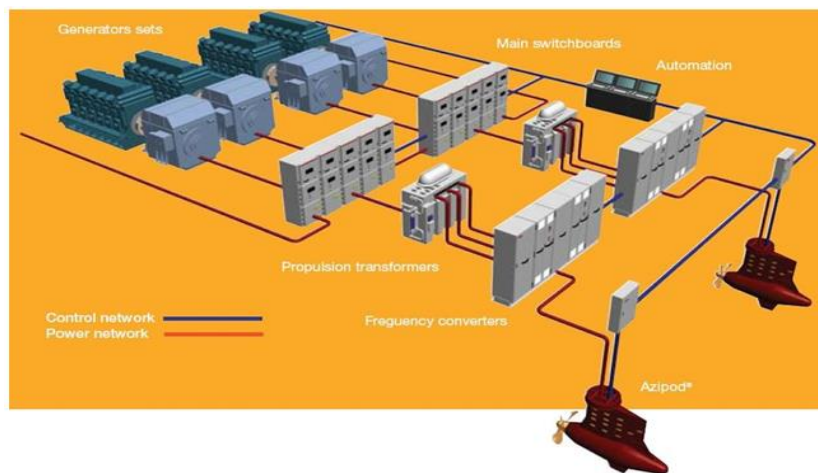


Εικόνα30: Azimuth thrusters

(Πηγή: http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth_thrusters/standard_type_us.jsp)

3.4.4 Πρόωση Azipod

Τα τελευταία δέκα χρόνια, παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης έκανε την εμφάνιση της μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα, με πληθώρα πλεονεκτημάτων. Συγκεκριμένα, το εν λόγω σύστημα αποτελεί ένα σύστημα πρόωσης Azimuthing podded που συνδυάζει, σε μια ενιαία μονάδα, την πρόωση του πλοίου και το σύστημα διεύθυνσης. Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις των πλοίων που ταξίδευαν σε περιοχές με πάγους. Όλα αυτά τα χρόνια οι προσπάθειες για βελτίωση του Azipod από μηχανικής πλευράς, ηλεκτρικής και υδροδυναμικής, έχει οδηγήσει στο καλύτερο δυνατό τυποποιημένο προϊόν. Το Azipod αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας και την προπέλα που έχει εγκατασταθεί απευθείας στον άξονα του κινητήρα. Τοποθετείται ως μια ενιαία μονάδα με το σύστημα διεύθυνσης και η τροφοδότηση της ισχύος πραγματοποιείται μέσω ολισθαίνοντος δακτυλίου δίνοντάς του περιστροφική ικανότητα 360°. Εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί χωρίς τη μονάδα διεύθυνσης ως μια σταθερή συσκευή πρόωσης (Fixipod). Ένας μετατροπέας συχνότητας ελέγχει τους ηλεκτροκινητήρες των Azipod, παρέχοντας πλήρη ονομαστική ροπή, με ομαλή και συνεχή ικανότητα μεταβολής της ταχύτητας προς κάθε κατεύθυνση σε όλο το φάσμα στροφών. Η αποδοτικότητα του Azipod είναι υψηλότερη από άλλα συστήματα πρόωσης καθώς δεν υπάρχει σύστημα οδοντωτών τροχών ή απώλειες από μηχανική μετάδοση της ισχύος(Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 31: Τυπική διάταξη διανομής ενέργειας σε σύστημα με δύο Azipod

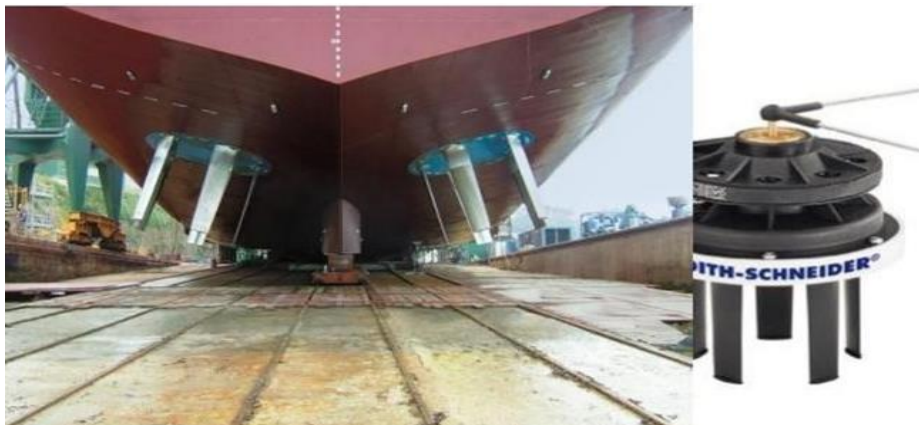
(Πηγή: <http://pdf.nauticexpo.com/pdf/abb-automation-marine/azipod-crp-azipod-propulsion/30709-14537-5.html>)

Η ηλεκτρική ενέργεια και η μονάδα διανομής της αποτελείται από περισσότερους από έναν κινητήρες μεσαίας ή υψηλής ταχύτητας, φυσικού αερίου ή ντίζελ. Οι κινητήρες θέτουν σε κίνηση τις ηλεκτρογεννήτριες που συνδέονται με τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα. Από αυτή τη μονάδα παραγωγής ενέργειας τροφοδοτούνται όλα τα φορτία που συμπεριλαμβάνουν την πρόωση αλλά και τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου. Το συνολικό φορτίο μοιράζεται μεταξύ των ηλεκτρογεννητριών οι οποίες επιλέγονται με τρόπο αυτόματο προκειμένου να καλύψουν το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται. Με μετασχηματιστές και μετατροπείς γίνεται η τροφοδότηση του Azipod όπως δείχνει η διάταξη της εικόνας(Δαγκίνης, 2014).

3.4.5 Σύστημα πρόωσης Voith Schneider

Τα τελευταία χρόνια εισήχθη στην παραγωγή ένας νέος τύπος προωστήρων, ο Voith Schneider. Από μία κυκλική πλάκα που περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα, μία κυκλική συστοιχία κάθετων πτερυγίων (σχήμα υδροπτέρυγα) προεξέχει από τον πυθμένα του πλοίου. Η λεπίδα η ίδια μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. Η εσωτερική ταχύτητα αλλάζει τη γωνία προσβολής των πτερυγίων σε συγχρονισμό με την περιστροφή της πλάκας, με αποτέλεσμα κάθε λεπίδα να μπορεί να παρέχει ώση προς κάθε κατεύθυνση, παρέχοντας ικανοποιητικές ταχύτητες πλεύσης αλλά κυρίως εξαιρετικό έλεγχο

δυναμικής τοποθέτησης, πράγμα το οποίο βρίσκει χρήση σε πλοία εργασιών (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 32: Προωστήρας τύπου Voith Schneider

(Πηγή: <http://voith.com/en/index.html>)

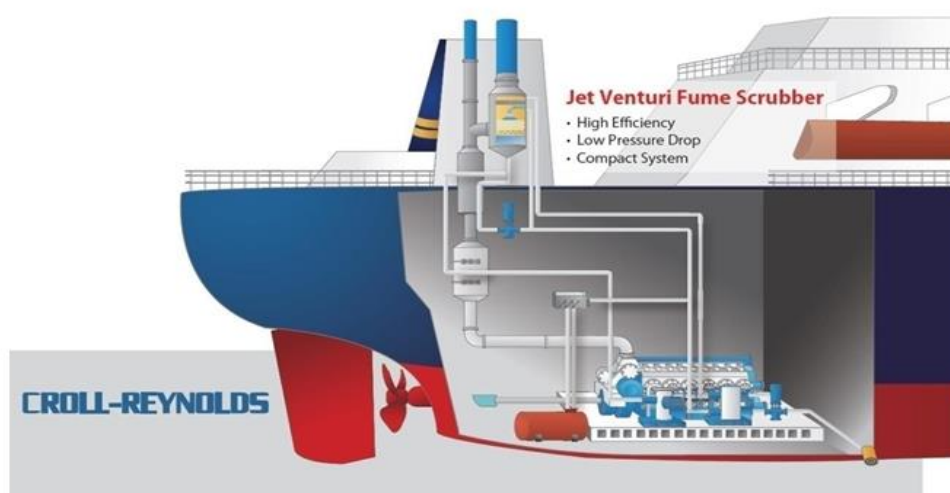
Τα ελικοπηδάλια Voith Schneider Propellers εκτός από την άμεση και απολύτως ακριβή πρόωση και πηδαλιουχία, μπορούν να διατηρούν σταθερή τη θέση του πλοίου (Dymamic Positioning), και αντιδιατοιχισμό (Roll Stabilization) όταν οι καιρικές συνθήκες είναι πολύ άσχημες και τα φαινόμενα ακραία, ανεξάρτητα από τα ρεύματα, τον κυματισμό και τον άνεμο.

Τα ελικοπηδάλια Voith Schneider εγγυώνται ότι με το Voith Dynamic Positioning System το πλοίο θα διατηρηθεί με απόλυτη ακρίβεια στην θέση του και με το Voith Roll Stabilization System, τα ψηλά κύματα μπορούν να αντιμετωπισθούν επιτυχώς έτσι ώστε ο διατοιχισμός του πλοίου να μειωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, δηλαδή ξεπερνώντας το 70% (Δαγκίνης, 2014).

3.5 Scrubber System

Προκειμένου να καταφέρουν οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων να τηρήσουν τα όρια εκπομπής οξειδίων του θείου (SOX), έχουν την επιλογή να χρησιμοποιήσουν καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο ή να χρησιμοποιήσουν ένα Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubber). Η τελική επιλογή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνεται το χρονικό διάστημα που το πλοίο αναμένεται να περάσει μέσα από μια περιοχή ECA – SOX, το

κόστος των συμμορφούμενων καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, οι κεφαλαιακές δαπάνες και οι λειτουργικές δαπάνες από τον SOX – Scrubber (Lloyd's Register, 2012). Τα Συστήματα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubber) αποτελούν συστήματα ελέγχου και αποτροπής της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αφαιρέσουν μια σημαντική ποσότητα των σωματιδίων ή ακόμα και των αερίων που προκαλούν ρύπανση του περιβάλλοντος ή ασθένειες. Η αφαίρεση αυτή πραγματοποιείται είτε με χημικό είτε με φυσικό τρόπο. Ο αγγλικός όρος «Scrubber», είναι ο όρος που χρησιμοποιείται διεθνώς για τα συστήματα αυτά και προέρχεται από τη λέξη «Scrub» που σημαίνει τρίβω (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα33: Scrubber System, πηγή: Croil Reynolds

(Πηγή: <https://crollreynolds.wordpress.com/>)

Ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιούνται τα Συστήματα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubber) είναι να απομακρυνθεί το διοξείδιου του θείου (SO₂) από τα καυσαέρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα συστήματα αυτά καλούνται και Συσκευές Αποθείωσης Καυσαερίων (flue gas desulfurization – FGD). Με τη βοήθεια των Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubber) υπάρχει δυνατότητα να μειωθούν οι εκπομπές θείου σε ποσοστό 98%, δηλαδή σε τόσο χαμηλό επίπεδο όπως στην περίπτωση εκείνη που θα χρησιμοποιηθεί καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Στα συστήματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί φρέσκο νερό αναμεμιγμένο με καυστική σόδα (NaOH) αλλά και θαλασσινό νερό.

Τα Συστήματα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubber) μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές SOX και αιωρούμενων σωματιδίων, αυξάνοντας σε μικρό

βαθμό την κατανάλωση καυσίμου προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, κυρίως για τις αντλίες που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του νερού. Πρακτικά, η διαδικασία καθαρισμού μπορεί να περιέχει διάφορα στάδια. Στο πρώτο στάδιο, σε ένα εξοικονομητή καυσαερίων, μειώνεται η θερμότητα των καυσαερίων στους 160 – 180 °C. Στο δεύτερο βήμα, γίνεται κατεργασία του καυσαερίου με ένα ειδικό εκτοξευτήρα όπου ψύχεται με έγχυση νερού και απομακρύνεται η μεγαλύτερη ποσότητα των σωματιδίων αιθάλης στα καυσαέρια. Στο τρίτο στάδιο, το καυσαέριο οδηγείται μέσω ενός αγωγού απορρόφησης, όπου ψεκάζεται με νερό και με τον τρόπο αυτό καθαρίζεται από το υπόλοιπο διοξείδιο του θείου. Από την αντίδραση νερό και θείο σχηματίζουν θειικό οξύ. Αυτό εξουδετερώνεται από αλκαλικά συστατικά που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό και ειδικά φίλτρα διαχωρίζουν τα σωματίδια από το μίγμα, πριν οδηγηθεί το καθαρισμένο νερό πίσω στη θάλασσα. Από τα αέρια που είναι παγιδευμένα σε μια δεξαμενή καθίζησης ή λάσπης απομακρύνονται τα στερεά σωματίδια και συλλέγονται για διάθεση στην ξηρά(Δαγκίνης, 2014).

3.5.1 Τύποι Συστημάτων Scrubbers

Τα Συστήματα Υγρού Καθαρισμού (Wet Scrubbers), είναι οι βασικοί τύποι Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Scrubbers).Αυτά διαχωρίζονται σε Συστήματα Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers), Συστήματα Κλειστού Κύκλου (Closed Wet Scrubbers), Υβριδικά Συστήματα (Hybrid Wet Scrubbers) και τα Ξηρά Συστήματα Καθαρισμού (Dry Scrubbers). Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι τύποι Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου που προαναφέρθηκαν (Δαγκίνης, 2014):

Συστήματα Υγρού Καθαρισμού (Wet Scrubbers)

Τα Συστήματα Υγρού Καθαρισμού (Wet Scrubbers) είναι μια αποτελεσματική και απλή τεχνολογία απομάκρυνσης των οξειδίων του θείου (SOX).Αυτή χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές εδώ και πολλά χρόνια. Τα Συστήματα Υγρού Καθαρισμού (Wet Scrubbers) σε γενικές γραμμές περιλαμβάνουν τα παρακάτω στοιχεία (Lloyd's Register, 2012):

-Μονάδα Scrubber: μια σειρά από στενά συζευγμένα συστατικά ή ένα σκάφος, που φέρνουν το νερό σε στενή επαφή με το καυσαέριο από μία ή περισσότερες μονάδες

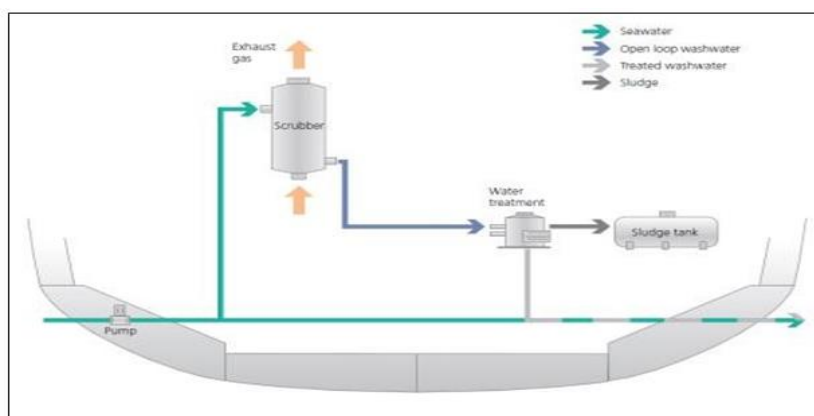
καύσης. Η μονάδα αυτή βρίσκεται τυπικά τοποθετημένη ψηλά στο πλοίο μέσα στη χοάνη ή γύρω από αυτή.

- Μονάδα επεξεργασίας όπου σε αυτή προετοιμάζεται το νερό πλύσης.
- Σύστημα ελέγχου του καθαρισμού και των εκπομπών.
- Εγκατάσταση επεξεργασίας καταλοίπων της ιλύος που διαχωρίζεται από το νερό πλύσης.

Τα Συστήματα Υγρού Καθαρισμού διακρίνονται σε Υβριδικά Συστήματα (Hybrid Wet Scrubbers), Συστήματα Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers) και Συστήματα Κλειστού Κύκλου (Closed Wet Scrubbers).

Συστήματα Υγρού Καθαρισμού Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers)

Στην Εικόνα 34 αποτυπώνεται σχηματικά ένα Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers). Σε αυτή την εικόνα παρατηρείται ότι το νερό που αντλείται από την θάλασσα οδηγείται στον Scrubber, καθαρίζεται και στη συνέχεια καταλήγει πάλι στη θάλασσα. Αυτό που δεν ανακυκλώνεται είναι το νερό πλύσης. Ο ρυθμός ροής του νερού πλύσης σε συστήματα ανοικτού κύκλου είναι συνήθως περίπου $45\text{m}^3 / \text{MWh}$ (Lloyd's Register, 2012). Ο ρυθμός αφαίρεσης SOX που αναμένεται συνήθως βρίσκεται κοντά στο 98%, δηλαδή, μετά τον καθαρισμό, οι εκπομπές από ένα καύσιμο με περιεκτικότητα 3,50% σε θείο θα ισοδυναμούν με αυτές ενός καυσίμου με περιεκτικότητα 0,10% σε θείο (Lloyd's Register, 2012).



Εικόνα 34: Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου Ανοιχτού Κύκλου (Open Wet Scrubbers)

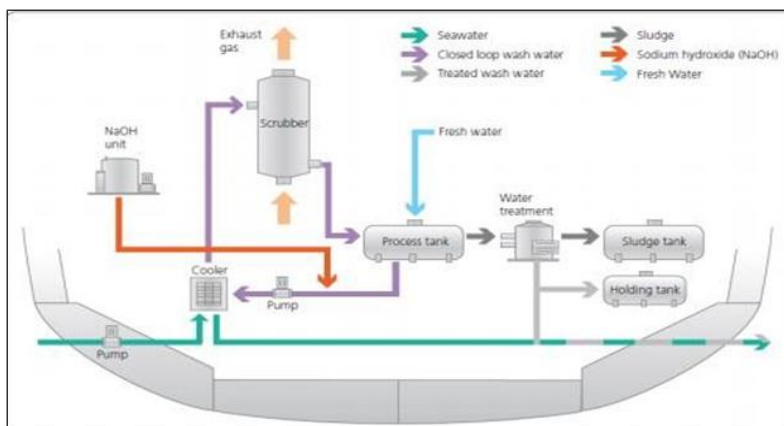
(Πηγή: Lloyd's Register, 2012)

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος ανοικτού κύκλου είναι ότι η διαδικασία αυτή δεν απαιτεί επιβλαβή χημικά και ότι το σύστημα αποτελείται από λιγότερα μέρη σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα.

Τα μειονεκτήματα του συστήματος ανοικτού κύκλου είναι ότι η λειτουργία σε νερό υψηλής θερμοκρασίας ή σε γλυκό νερό, μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά αναφορικά με τον καθαρισμό των οξειδίων του θείου και ότι η εκκένωση του λύματος με όξινο pH ενδεχομένως να περιορίζεται σε κάποιες περιοχές, με αποτέλεσμα να απαιτείται αλλαγή με ένα εναλλακτικό σύστημα καθαρισμού ή με ένα καύσιμο μικρής περιεκτικότητας σε θείο.

Συστήματα Υγρού Καθαρισμού Κλειστού Κύκλου (Closed Wet Scrubbers)

Από κάθε Σύστημα Υγρού Καθαρισμού Κλειστού Κύκλου που χρησιμοποιείται στους ναυτικούς κινητήρες χρησιμοποιείται φρέσκο νερό το οποίο περιέχει ως μέσο καθαρισμού το Υδροξείδιο του Νατρίου (NaOH). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απομακρύνονται τα SOX από το ρεύμα των καυσαερίων ως θειικό νάτριο. Όπως δείχνει και το διάγραμμα της Εικόνας 35, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στα Συστήματα Ανοικτού Κύκλου, το νερό πλύσης από ένα Σύστημα Κλειστού Κύκλου περνάει σε μια δεξαμενή διεργασίας όπου πριν κυκλοφορήσει ξανά, καθαρίζεται (Lloyd's Register, 2012). Ο έλεγχος του pH με τη βοήθεια του υδροξειδίου του νατρίου επιτρέπει την κυκλοφορία του νερού πλύσης με ένα συγκεκριμένο ρυθμό και με τον τρόπο αυτό η ενέργεια που καταναλώνεται είναι σχεδόν η μισή σε σύγκριση με τα Συστήματα Ανοικτού Κύκλου και κυμαίνεται σε περίπου 20 m³/MWh και μεταξύ 0,5 έως 1% της δύναμης του κινητήρα που καθαρίζεται (Lloyd's Register, 2012).



Εικόνα 35: Σύστημα Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου Κλειστού Κύκλου (Closed Wet Scrubbers)

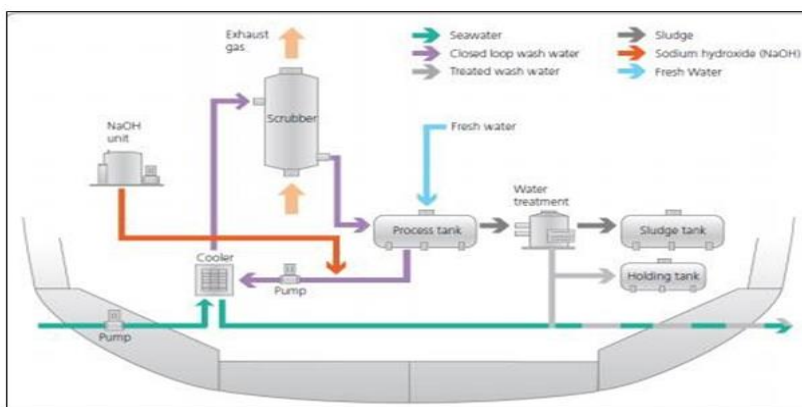
(Πηγή: Lloyd's Register, 2012)

Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων κλειστού κύκλου έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε κάθε περιοχή, ανεξάρτητα από το βαθμό αλκαλικότητας του θαλασσινού νερού ή τη θερμοκρασία του και τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν στο πλοίο για όσο χρονικό διάστημα επιτρέπει η δεξαμενή αποθήκευσής τους.

Τα μειονεκτήματα των συστημάτων κλειστού κύκλου είναι ότι αποτελούνται από περισσότερα μέρη σε σχέση με το σύστημα ανοικτού κύκλου και ότι η διαδικασία καθαρισμού απαιτεί συνεχή εφοδιασμό διαλύματος υδροξειδίου του Νατρίου. Η ουσία αυτή είναι πολύ επιβλαβής και για το λόγο αυτό απαιτεί έγκριση από τους κανονισμούς που καθορίζουν τη χρήση καυστικών χημικών.

Υβριδικά Συστήματα Καθαρισμού (Hybrid Wet Scrubbers).

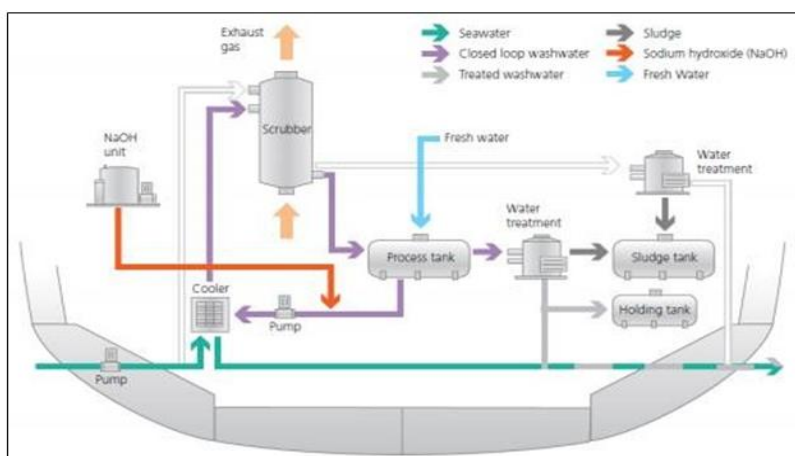
Τα εν λόγω Συστήματα Καθαρισμού μπορούν να λειτουργήσουν είτε σε κατάσταση Ανοικτού Κύκλου είτε σε κατάσταση Κλειστού Κύκλου, έτσι όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται στο σύστημα η αντίστοιχη ευελιξία ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε λειτουργία κλειστού κύκλου, στις περιπτώσεις που η αλκαλικότητα του νερού δεν είναι επαρκής ή όταν υπάρχει ιδιαίτερη ευαισθησία αναφορικά με την εκκένωση του νερού πλύσης ή τη ρύθμιση και σε κατάσταση ανοικτού κύκλου, χωρίς να μεσολαβεί κατανάλωση υδροξειδίου του νατρίου σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (Lloyd's Register, 2012).



Εικόνα 36: Υβριδικό Σύστημα Καθαρισμού Κουσαερίων Πλοίου σε λειτουργία Ανοικτού Κύκλου

(Πηγή: Lloyd's Register, 2012)

Παρόλα αυτά, τα Υβριδικά Συστήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας σε σύγκριση με τα Συστήματα Ανοικτού ή Κλειστού Κύκλου.



Εικόνα 37: Υβριδικό Σύστημα Καθαρισμού Κουσαερίων Πλοίου σε λειτουργία Κλειστού Κύκλου

(Πηγή: Lloyd's Register, 2012)

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω εντοπίζονται και σε αυτό το σύστημα. Ένα επιπλέον μειονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι χρειάζεται τα περισσότερα μέρη σε σχέση με όλα τα άλλα συστήματα υγρού καθαρισμού.

Συστήματα Ξηρού Καθαρισμού (Dry Scrubbers)

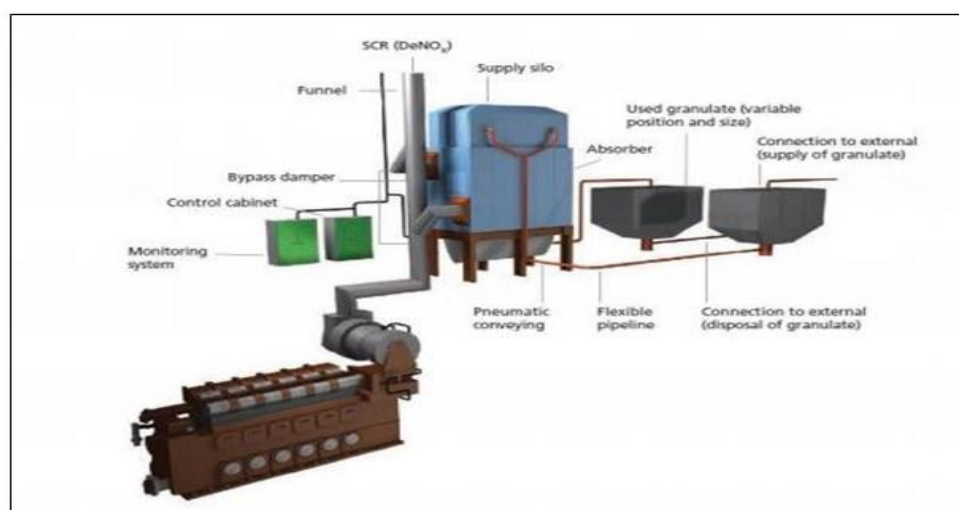
Η Εικόνα 38 αναφέρεται σε ένα τυπικό Σύστημα Ξηρού Καθαρισμού (Dry Scrubbers). Σε αυτή διακρίνονται τα παρακάτω βασικά στοιχεία (Lloyd's Register, 2012):

-Μονάδα Scrubber: ουσιαστικά είναι ένα «απορροφητής», που φέρνει σε επαφή τα καυσαέρια από μία ή περισσότερες μονάδες καύσης, με κόκκους υδροξειδίου του ασβεστίου.

-Σιλό τροφοδοσίας κόκκων και κοχλιωτός μεταφορέας εκκένωσης, που βρίσκονται τοποθετημένα στο επάνω και στο κάτω μέρος του απορροφητή. Ένα πνευματικό σύστημα μεταφοράς επιτρέπει την μεταφορά των κόκκων από και προς την ενσωματωμένη εγκατάσταση αποθήκευσης. Επειδή χρησιμοποιούνται εύκαμπτες σωληνώσεις διευκολύνεται η αποθήκευση των κόκκων σε διάφορες θέσεις στο σκάφος.

-Σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης των εκπομπών και του Scrubber.

Τα παραπάνω συστήματα καθαρισμού λειτουργούν τις περισσότερες φορές σε θερμοκρασίες καυσαερίων που κυμαίνονται μεταξύ 240 °C και 450 °C. Η διάμετρος των κόκκων του υδροξειδίου του ασβεστίου είναι μεταξύ 2 και 8 mm με μία πολύ υψηλή περιοχή επιφάνειας και ο σκοπός τους είναι η μεγιστοποίηση της επαφής με το καυσαέριο. Μέσα στον απορροφητή, από την αντίδραση των κόκκων υδροξειδίου του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) με τα οξείδια του θείου, σχηματίζεται γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Lloyd's Register, 2012).



Εικόνα 38: Σύστημα Ξηρού Καθαρισμού Καυσαερίων Πλοίου (Dry Scrubber)

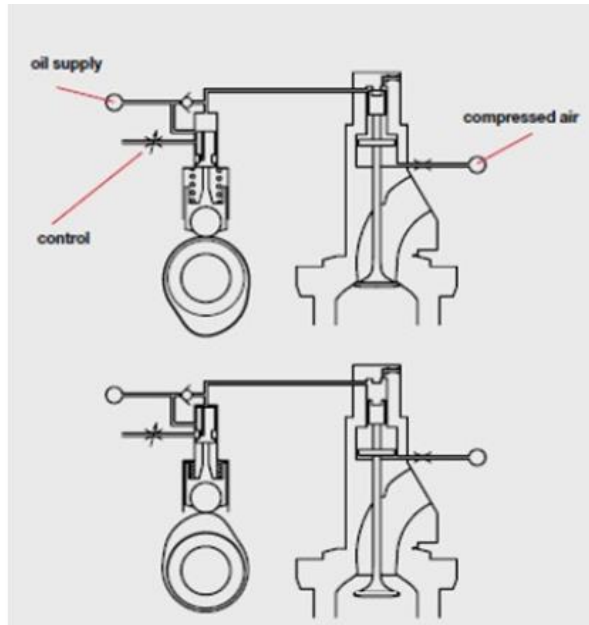
(Πηγή: Lloyd's Register, 2012)

3.6 Σύστημα κοινού διανομέα καυσίμου (Common rail system)

Το σύστημα κοινού διανομέα καυσίμου (common rail system) αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική τεχνολογική εξέλιξη καθώς έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην κατεύθυνση της ελεγχόμενης καύσης καλύτερης απόδοσης και χαμηλότερων εκπομπών ρύπων. Ταυτόχρονα έχει συμβάλει τα μέγιστα στο να τεθούν σε εφαρμογή κάποιες συμπληρωματικές τεχνικές μείωσης ρύπων.

Από τις αρχές της δεκαετίας του '80 ξεκίνησε η μελέτη για την εφαρμογή του συστήματος κοινού διανομέα σε ναυτικούς κινητήρες Diesel, αλλά η εμπορική του χρήση ξεκίνησε στις αρχές της πρώτης δεκαετίας του 21ου αιώνα. Προκειμένου να γίνει καλύτερα και πιο εύκολα κατανοητή η αρχή λειτουργίας του συστήματος εισαγωγής καυσίμου κοινού διανομέα, πρέπει πρώτα να προηγηθεί η περιγραφή του παραδοσιακού συστήματος μηχανικής έγχυσης. Αυτό ήταν το μοναδικό που χρησιμοποιούταν πριν επινοηθεί το σύστημα κοινού διανομέα και εξακολουθεί ακόμα να εφαρμόζεται σε πολλούς νέους κινητήρες (Δαγκίνης, 2014).

Το μηχανικό σύστημα έγχυσης καυσίμου αποτελείται από έναν εκκεντροφόρο άξονα και ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα του δίνει κίνηση. Ο εκκεντροφόρος άξονας δίνει κίνηση στις αντλίες καυσίμου και αντιστοιχεί μία αντλία για κάθε κύλινδρο. Επίσης, με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος, δίνεται κίνηση στις βαλβίδες εξαγωγής καυσαερίων και στις βαλβίδες των εγχυτήρων καυσίμου. Η μετάδοση κίνησης γίνεται με τρόπο μηχανικό, χωρίς να μεσολαβεί καμία ηλεκτρονική διάταξη ελέγχου. Επομένως, ο χρονισμός της έγχυσης του καυσίμου και της λειτουργίας των βαλβίδων εξαγωγής καυσαερίων, εξαρτάται αποκλειστικά από την ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο κινητήρας και δεν υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης ανεξάρτητα από αυτή. Επιπλέον, από τη στιγμή που δεν παρεμβάλλεται κάποια διάταξη ελέγχου της πίεσης, μεταξύ των αντλιών καυσίμου και των εγχυτήρων, η πίεση του εγχέομένου καυσίμου είναι χαμηλή όταν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα είναι χαμηλή και η πίεση είναι υψηλή στις περιπτώσεις εκείνες που η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 39: Αρχή λειτουργίας μηχανικού συστήματος έγχυσης καυσίμου

(Πηγή: <http://dieselturbo.man.eu/>)

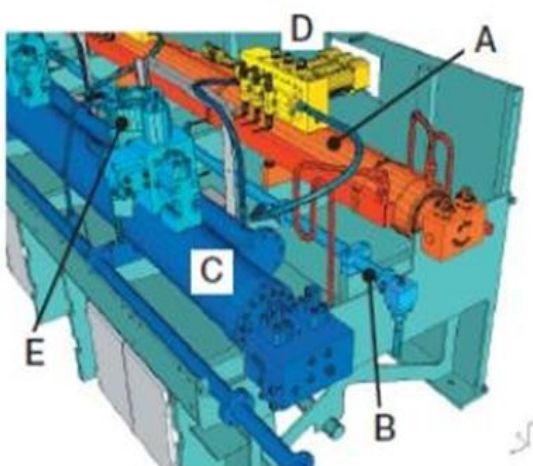
Η φιλοσοφία στην οποία στηρίζεται ένα σύστημα έγχυσης κοινού διανομέα είναι η αποδέσμευση της έγχυσης από την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα ,δηλαδή από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και ο άμεσος και ολοκληρωμένος έλεγχος των χαρακτηριστικών της έγχυσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τον παρακάτω τρόπο. Υπάρχει μία συστοιχία από αντλίες καυσίμου. Οι αντλίες αυτές παίρνουν κίνηση κατευθείαν από τον στροφαλοφόρο άξονα, καταθλίβουν το καύσιμο και στη συνέχεια το οδηγούν σε έναν διανομέα που είναι ενιαίος για όλους τους κυλίνδρους. Μέσα στον διανομέα η πίεση του καυσίμου παραμένει σταθερή και δεν εξαρτάται από τον ρυθμό έγχυσης στους κυλίνδρους και την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου. Στον κοινό διανομέα καυσίμου υπάρχουν μονάδες ελέγχου της έγχυσης του καυσίμου συγκεκριμένα μία για κάθε κύλινδρο. Το καύσιμο εισέρχεται σε αυτές από τον κοινό διανομέα και εξέρχεται προς κάθε ένα εγχυτήρα με τον οποίο έχει εφοδιαστεί ο κάθε κύλινδρος. Με τη βοήθεια ενός ειδικού δικτύου λαδιού που χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί η διάταξη, η μονάδα δέχεται σήματα ελέγχου. Τα συγκεκριμένα σήματα αποστέλλονται με τρόπο ηλεκτρονικό από την κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα προκειμένου να καθοριστεί η ποσότητα και ο τρόπος εισαγωγής του καυσίμου στον κινητήρα. Επιπρόσθετα, υπάρχει ξεχωριστό υδραυλικό σύστημα για τον χειρισμό των βαλβίδων καυσαερίων. Ο χρονισμός των βαλβίδων καυσαερίων ρυθμίζεται ανεξάρτητα από την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα και

με βάση τις εντολές που αποστέλλονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 40: Συστοιχία αντλιών καυσίμου

(Πηγή: <http://dieselturbo.man.eu/>)



Εικόνα 41: A: διανομέας καυσίμου, D: μονάδα ελέγχου

(Πηγή: <http://dieselturbo.man.eu/>)

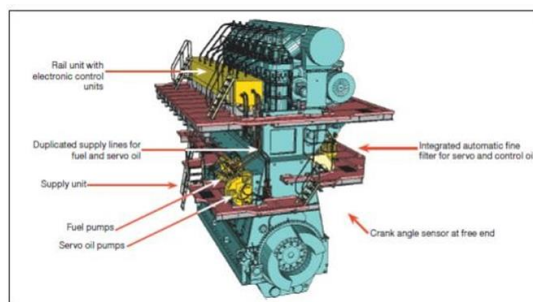
Με τον έλεγχο της έγχυσης του καυσίμου που γίνεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα, διαμέσου της μονάδας ελέγχου της έγχυσης, μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια η ρύθμιση του χρονισμού της έγχυσης, δηλαδή εκείνης της χρονικής στιγμής που η βαλβίδα του κάθε εγχυτήρα θα ανοίξει και θα κλείσει και, επομένως, της διάρκειας έγχυσης. Επομένως, μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια ο ακριβής καθορισμός της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου σε κάθε κύκλο καθώς επίσης να ρυθμιστεί, χωρίς περιορισμούς, και το χρονικό προφίλ της έγχυσης. Τέλος, η έγχυση μπορεί να διακοπεί επιλεκτικά από έναν ή περισσότερους εγχυτήρες και να

γίνεται ο ψεκασμός του καυσίμου από τους υπόλοιπους εγχυτήρες του κυλίνδρου. Η συγκεκριμένη δυνατότητα είναι χρήσιμη σε χαμηλά φορτία.

Άρα, τα πλεονεκτήματα του συστήματος κοινού διανομέα είναι ο ολοκληρωμένος και ακριβής έλεγχος του χρονικού προφίλ της έγχυσης του καυσίμου και της πίεσης έγχυσης αλλά και το γεγονός ότι τα μεγέθη αυτά είναι ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η ανεξαρτησία αυτή επιτυγχάνεται αν πραγματοποιηθεί μηχανική αποδέσμευση των εγχυτήρων από την αντλία καυσίμου. Έτσι, είναι δυνατή η υψηλής πίεσης έγχυση, σε κάθε φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Επίσης, μέσω του συστήματος κοινού διανομέα, γίνεται πολύ λεπτομερής και ακριβής έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των βαλβίδων εξαγωγής των καυσαερίων και των βαλβίδων των εγχυτήρων. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι είναι δυνατός ο έλεγχος του κάθε εγχυτήρα ξεχωριστά (Δαγκίνης, 2014).

Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω συμβάλουν στη μείωση του λειτουργικού κόστους του κινητήρα. Η εν λόγω μείωση είναι αποτέλεσμα της χαμηλότερης κατανάλωσης καυσίμου που έχει επιτευχθεί, κυρίως σε μερικό φορτίο. Οφείλεται επίσης και στη μείωση του κόστους συντήρησης καθώς με το σύστημα κοινού διανομέα είναι σημαντική η μείωση των επιπέδων εκπομπών σωματιδίων αιθάλης - σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος-, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τις λιγότερες επικαθίσεις εξανθρακωμάτων στα στοιχεία του κινητήρα. Ταυτόχρονα, είναι καλύτερη η ποιότητα της καύσης σε όλο το εύρος των στροφών και αυτό οδηγεί σε συνολική μείωση των εκπομπών ρύπων και αύξηση της αποδοτικότητας του κινητήρα.

Επιπλέον, από το σύστημα κοινού διανομέα προσφέρεται ισορροπία φορτίου μεταξύ των κυλίνδρων, πιο γρήγορη επιτάχυνση, πλήρης έλεγχος του φορτίου και σταθερότητα στη λειτουργία όταν οι στροφές είναι πολύ χαμηλές, χαμηλότερες και αυτές στο σύστημα μηχανικής έγχυσης, εξαιτίας της δυνατότητας της επιλεκτικής έγχυσης από ορισμένους μόνο εγχυτήρες κάθε κυλίνδρου. Τέλος, εξοικονομείται χώρος στο μηχανοστάσιο από τη στιγμή που τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζεται το σύστημα κοινού διανομέα είναι πιο μικρά και λιγότερα από τα αντίστοιχα στοιχεία του μηχανικού συστήματος έγχυσης (Δαγκίνης, 2014).



Εικόνα 42: Σχηματική απεικόνιση κινητήρα που έχει εφοδιαστεί με σύστημα έγχυσης καυσίμου κοινού διανομέα

(Πηγή: <http://dieselturbo.man.eu/>)

Χάρη στο σύστημα έγχυσης κοινού διανομέα μπόρεσε να υλοποιηθεί ακόμα μία καινοτομία η οποία αφορά την απευθείας έγχυση νερού στους κινητήρες Diesel. Πιο συγκεκριμένα, είναι δυνατός ο εφοδιασμός του κινητήρα με ένα ακόμα σύστημα κοινού διανομέα, από το οποίο ελέγχεται η απευθείας έγχυση του νερού εντός των θαλάμων καύσης του κινητήρα. Μέσω αυτής της διαδικασίας είναι δυνατός ο απόλυτος έλεγχος της ποσότητας του εγχόμενου νερού και του χρονισμού, ενώ υπάρχει και μία επιπλέον δυνατότητα που αφορά την επιλεκτική έγχυση νερού (Δαγκίνης, 2014).

3.6.1 Έγχυση Νερού

Η έγχυση νερού στις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν είναι κάποια καινούργια πρόταση. Συγκεκριμένα, στους αεριοστρόβιλους η έγχυση νερού ή ατμού είναι κοινή και συνηθισμένη πρακτική όχι μόνο σαν μια προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών NOx, αλλά και με στόχο την αύξηση του βαθμού απόδοσης και της ειδικής ισχύος. Η χρήση νερού στους αεριοστρόβιλους μπορεί να γίνει με τρεις παρακάτω τρόπους (Δαγκίνης, 2014):

-Έγχυση υδρατμού στο ρεύμα αέρα που εξέρχεται από τον συμπιεστή. Μία αντλία συμπιέζει το νερό, αυτό ατμοποιείται κάνοντας χρήση της θερμότητας των καυσαερίων και ο υδρατμός εισέρχεται στο συμπιεσμένο ρεύμα αέρα που οδηγείται στον θάλαμο καύσης.

-Έγχυση νερού στο ρεύμα αέρα που εξέρχεται από τον συμπιεστή. Το νερό αφού συμπιεστεί, εισάγεται στην έξοδο του συμπιεστή και ψύχοντας τον συμπιεσμένο αέρα, δημιουργεί μίγμα αέρα – νερού. Το μίγμα αυτό οδηγείται σε ανακομιστή

θερμότητας, και αφού θερμανθεί από τα καυσαέρια στη συνέχεια οδηγείται στον θάλαμο καύσης.

- Έγχυση ατμού ή νερού μέσα στον θάλαμο καύσης, στην πρωτεύουσα ζώνη της καύσης.

Από τις τεχνικές που προαναφέρθηκαν, οι δύο πρώτες έχουν στόχο την αύξηση της ειδικής ισχύος και του βαθμού απόδοσης, από τη στιγμή που αξιοποιείται καλύτερα η θερμότητα των καυσαερίων, αφού κατά την έξοδο αυτών προς το περιβάλλον, η θερμοκρασία τους είναι χαμηλότερη καθώς και την μείωση των εκπομπών NOx. Η μείωση των NOx οφείλεται σε δύο λόγους: ο πρώτος είναι η αύξηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας του μίγματος που εισάγεται στον θάλαμο καύσης, λόγω του ότι το νερό έχει υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα, με αποτέλεσμα να μειωθεί η θερμοκρασία στην πρωτεύουσα ζώνη της καύσης και ο δεύτερος επειδή καθώς εισάγεται το νερό, μειώνεται η περιεκτικότητα του μίγματος σε οξυγόνο διότι αυξάνεται ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου– αέρα, γεγονός το οποίο επίσης μειώνει τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Με έγχυση ατμού ποσότητας περίπου 5% της παροχής αναρροφώμενου αέρα, μειώνονται οι εκπομπές NOx μέσα στα επιτρεπτά όρια (Δαγκίνης, 2014).

Η τρίτη τεχνική στοχεύει κυρίως στη μείωση των εκπομπών NOx και αυτό επιτυγχάνεται με τους μηχανισμούς που προαναφέρθηκαν. Η μείωση των εκπομπών NOx με τη συγκεκριμένη τεχνική βρίσκεται μεταξύ 30-70%, ενώ σημειώνεται και ταυτόχρονη μείωση και των σωματιδίων αιθάλης που εκπέμπονται (Δαγκίνης, 2014).

Η χρήση νερού σε κινητήρες με έμβολα έχει ήδη αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και στο παρελθόν και μάλιστα όχι μόνο σε κινητήρες Diesel, αλλά και σε κινητήρες Otto. Η χρήση νερού σε αυτούς τους κινητήρες ήταν πρόταση, προκειμένου να αντιμετωπιστούν διάφορα προβλήματα: Μελετήθηκε η έγχυση νερού εντός του θαλάμου καύσης, ώστε αυτό να λειτουργήσει ως ένα εσωτερικό ψυκτικό μέσο του κινητήρα και να μην είναι αναγκαίο να υπάρχει ξεχωριστό σύστημα ψύξης. Επίσης, κατά την προσπάθεια να αυξηθεί ο λόγος συμπίεσης, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης του κινητήρα και κατ'επέκταση σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, εξετάστηκε η έγχυση νερού ως ένα μέσο για τη μείωση της κρουστικής συμπεριφοράς η οποία εμφανίζει το καύσιμο σε υψηλούς λόγους συμπίεσης. Πιο συγκεκριμένα, με την έγχυση νερού, επιχειρήθηκε η αύξηση του αριθμού οκτανίου. Κάποιες άλλες έρευνες εξετάζουν την έγχυση νερού σε εμβολοφόρο κινητήρα Otto αεροπορικής χρήσης, ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση της

αντικρουστικής συμπεριφοράς και να αυξηθεί η ισχύς. Έχει αναφερθεί ότι όταν εγχέεται ποσότητα νερού ίση με το 10% του καυσίμου που εισάγεται επέρχεται άνοδος του αριθμού οκτανίου κατά 2-4 μονάδες και αυξάνεται η ισχύς, από 30% έως 50%. Επίσης, με την έγχυση νερού σε κινητήρες Otto μειώνονται οι εκπομπές NOx. Όταν εγχέεται 10% νερού σε σχέση με την ποσότητα της βενζίνης, η μείωση των εκπομπών NOx που παρατηρήθηκε ήταν από 10% έως 20%. Βεβαίως, ένας μεγάλος αριθμός αυτών των ερευνών αναφέρονται σε ιδιαίτερα παλαιούς κινητήρες, οι οποίοι επιδέχονται πολύ μεγαλύτερης βελτίωσης σε σχέση με τους πιο σύγχρονους.

Γενικότερα, η εισαγωγή νερού σε εμβολοφόρο κινητήρα μπορεί, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να μειώσει τις θερμοκρασίες του συστήματος, να ατμοποιήσει καλύτερα το καύσιμο, να μειώσει τις εκπομπές NOx, CO και σωματιδίων αιθάλης, να επιτύχει μια συνολική βελτίωση της καύσης, της κατανάλωσης καυσίμου και να αυξήσει την ειδική ισχύ του κινητήρα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μελετήθηκε αρκετά στο παρελθόν, ενώ έγιναν πολυάριθμες προσπάθειες να εφαρμοστεί πρακτικά και κάποιες είχαν πιο μικρή και άλλες μεγαλύτερη επιτυχία. Τα σημαντικότερα προβλήματα που προέκυψαν και δημιούργησαν εμπόδια στην εμπορική εφαρμογή της χρήσης νερού είχαν σχέση με τη διαχείριση των τεράστιων ποσοτήτων νερού που απαιτούνταν αλλά και με τη σταθερότητα της καύσης, εξαιτίας της ανάγκης μεγάλων ποσοστών νερού συγκριτικά με το καύσιμο (Δαγκίνης, 2014).

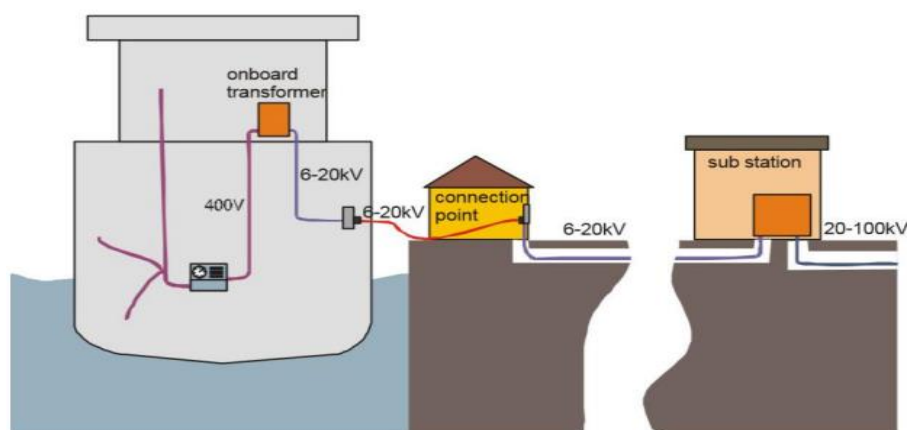
Σήμερα, που οι νέοι κανονισμοί είναι πιο αυστηροί αναφορικά με τα όρια εκπομπών ρύπων, η έρευνα που σχετίζεται με την εισαγωγή νερού στον θάλαμο καύσης εμβολοφόρων κινητήρων, και κυρίως κινητήρων Diesel, έρχεται και πάλι σε πρωταγωνιστική θέση. Συγχρόνως γίνονται προσπάθειες επίλυσης των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν σε έρευνες παρελθόντων ετών, ώστε να μπορέσει η χρήση νερού να εφαρμοστεί με τρόπο εμπορικό. Οι κυριότερες τεχνικές με τις οποίες επιχειρείται σήμερα να εισαχθεί η χρήση νερού στους κινητήρες Diesel, είναι τρεις και αφορούν τη δημιουργία γαλακτώματος καυσίμου – νερού, την εισαγωγή νερού μαζί με τον αέρα της καύσης και την απευθείας έγχυση του νερού στον θάλαμο καύσης με τη βοήθεια ξεχωριστών εγχυτήρων (Δαγκίνης, 2014).

3.7 Αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων και πηγών ενέργειας

Για να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων από τα πλοία είναι δυνατή η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και εναλλακτικών πηγών ενέργειας (Έξαρχος, 2013):

Ηλεκτρική ενέργεια

Ο ηλεκτρισμός, τις τελευταίες χρονιές, έχει χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο για τη ναυτιλία, αφού μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό τους ρύπους από τις εκπομπές των πλοίων εν σχέσει με τη χρήση άλλων καυσίμων, όπως, επί παραδείγματι, το πετρέλαιο. Συγκεκριμένα, διαπιστώνεται αξιοσημείωτο περιβαλλοντικό όφελος και τούτος είναι ο λόγος που σε μία πληθώρα λιμανιών έχουν εγκατασταθεί υποδομές ηλεκτροδότησης στην προβλήτα μειώνοντας, κατ' αυτό τον τρόπο τον θόρυβο και τους αέριους ρύπους ιδίως στις αστικές περιοχές (Εικόνα 43). Σαν μέσο αποθήκευσης για την ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιούνται πλοία μικρού μεγέθους τα οποία ηλεκτροδοτούν τα μεγαλύτερα πλοία.



Εικόνα 43: Απεικόνιση τυπικής διάταξης της εγκατάστασης ηλεκτροδότησης από την ξηρά

(Πηγή: Συρράκος, 2014)

Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο απαρτίζεται, κατά κύριο λόγο, από μεθάνιο και εντοπίζεται σε μεγάλες ποσότητες. Είναι ικανό για την παραγωγή περισσότερης ενέργειας ανά μονάδα CO₂ που εκπέμπεται εν συγκρίσει με το πετρέλαιο. Βασικό πλεονέκτημα που ανακύπτει μέσω της χρήσης του φυσικού αερίου σαν καύσιμο είναι αυτό της μείωσης του CO₂, των οξειδίων του θείου και των οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο, εκείνο το

οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το υψηλό κόστος για την εγκατάσταση του συστήματος.

Υγροποιημένο φυσικό αέριο (L.N.G.)

Όσον αφορά το υγροποιημένο φυσικό αέριο, αυτό έχει εκτιμηθεί πως είναι ένα μελλοντικό καύσιμο, αφού ελαττώνει σημαντικά τα σωματίδια και τις εκπομπές SO_x και NO_x .



Εικόνα 44: Η σύσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου

(Πηγή: Δαγκίνης, 2014)

Ηλιακή ενέργεια

Σχετίζεται με την αξιοποίηση ηλιακών συλλεκτών πάνω στα πλοία για την πρόσληψη ηλιακής ενέργειας (Μπουλαντζάς, 2014).

Αιολική ενέργεια

Σχετίζεται με την αξιοποίηση χαρταετών, μαλακών ή άκαμπτων πανιών, ανεμογεννητριών και κάθετων ρητόρων πάνω στο πλοίο για την πρόσληψη αιολικής ενέργειας από τον άνεμο και την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια, ώστε να καλυφθούν μερικές ανάγκες του. Η αιολική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε δύναμη πρόωσης και για να πραγματοποιηθεί μια τέτοιου είδους εγκατάσταση θεωρείται απαραίτητο να αναπροσαρμοστεί ο σχεδιασμός και στο λειτουργικό σύστημα του πλοίου (Μπουλαντζάς, 2014).



Εικόνα 45: Χρήση χαρταετών σε πλοία

(Πηγή: Μπουλαντζάς, 2014)

3.8 Το ηλεκτρικό πλοίο

3.8.1 Δομή

Εδώ και πάρα πολλά χρόνια τα πλοία κινούνται με τη βοήθεια της αιολικής ενέργειας. Όμως από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, η κίνηση των πλοίων άρχισε να πραγματοποιείται όλο και περισσότερο από τους κινητήρες. Αφού εφευρέθηκαν οι ατμομηχανές και οι στρόβιλοι, άρχισαν στον 20^ο αιώνα να χρησιμοποιούνται οι κινητήρες ντίζελ σε διάφορες μορφές. Αυτές καταναλώνουν βαρύ πετρέλαιο, ορυκτά καύσιμα – ντίζελ και πετρέλαιο. Ο συγκεκριμένος τύπος της κίνησης είναι μηχανικός δηλαδή ένας άξονας κινείται από τον κινητήρα ντίζελ και στη συνέχεια ο άξονας αυτός θέτει σε κίνηση την έλικα του πλοίου. Από μία γεννήτρια ή από έναν κινητήρα παράγεται επίσης ηλεκτρική ενέργεια για το σύνολο των ηλεκτρικών συστημάτων του πλοίου (Balsamo et al., 2017). Όμως για πολλά χρόνια, ένας μεγάλος αριθμός πλοίων είναι εν μέρει ηλεκτροφόρα. Πιο συγκεκριμένα, το 80 % των πλοίων που χρησιμοποιούν πετρελαιοειδή χρησιμοποιούν τώρα ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ντίζελ. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τις γεννήτριες ντίζελ και αυτή στη συνέχεια οδηγεί τον ηλεκτρικό κινητήρα και ο ηλεκτρικός κινητήρας με τη σειρά του κινεί την έλικα του πλοίου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι ότι η 5-20% εξοικονόμηση καυσίμου. Επίσης οι ηλεκτρικές μηχανές αποτελούνται από πιο λίγα εξαρτήματα, έχουν πιο λίγη φθορά και δεν είναι τόσο επιρρεπείς σε βλάβες. Αυτό παραπέμπει σε μικρότερη απώλεια ενέργειας και

μεγαλύτερη απόδοση, αλλά ακόμα δεν αποτελεί υβριδικό σύστημα κίνησης. Κάτι τέτοιο θα ίσχυε μόνο αν το πλοίο θα μπορούσε να πλεύσει χωρίς να λειτουργούν οι κινητήρες ντίζελ, έστω για κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα. Σε κάθε τέτοια περίπτωση, η ενέργεια προέρχεται από τις μπαταρίες που βρίσκονται επί του σκάφους. Μελλοντικά, ο ηλεκτρικός κινητήρας θα μπορούσε επίσης να τροφοδοτείται με ενέργεια με τη βοήθεια άλλων μέσα, όπως με ηλιακή ενέργεια, με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, με υδροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) (Burkov & Kuvshinov, 2017). Η διαδρομή από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στη κίνηση χωρίς να εκπέμπονται ρύποι βασίζεται σε διάφορες τεχνολογίες. Οι υβριδικές τεχνολογίες αποτελούν μια ενδιάμεση λύση για μοντέλα στα οποία είναι δύσκολο να εφαρμοστεί ένα καθαρά ηλεκτρικό σύστημα κίνησης όπως τα ηλεκτρικά επαγγελματικά οχήματα, τα αυτοκίνητα και τα ηλεκτρικά αεροπλάνα.

- Ντίζελ-ηλεκτρική κίνηση: Από τις γεννήτριες ντίζελ παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια, ο ηλεκτροκινητήρας κινείται με τον ηλεκτρισμό, θέτοντας με τη σειρά του σε κίνηση την προπέλα του πλοίου.

- Υβριδική κίνηση: Εκτός από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, στο πλοίο υπάρχουν και μπαταρίες. Αυτές μπορούν να ενεργοποιηθούν συμπληρωματικά για μικρό χρονικό διάστημα όταν απαιτείται αύξηση της ισχύος αλλά μπορούν και να αποθηκεύσουν την ενέργεια που πλεονάζει, όπως από τη γεννήτρια ντίζελ. Αυτό θα έδινε στο πλοίο τη δυνατότητα να πλέει, χρησιμοποιώντας για κάποιο χρονικό διάστημα αποκλειστικά και μόνο ηλεκτρική ενέργεια.

- Πλήρως ηλεκτρική κίνηση: Όλη η ενέργεια προέρχεται από μπαταρίες από τη στιγμή που δεν υπάρχει κινητήρας εσωτερικής καύσης.

Κάποια πλοία, κυρίως σκάφη αναψυχής και ferryboat που χρησιμοποιούνται στην εσωτερική ναυσιπλοΐα ήδη πλέον με ηλεκτρισμό. Ο λόγος είναι ότι ταξιδεύουν κάνοντας μικρές αποστάσεις και άρα μπορούν να χρησιμοποιούν πιο μικρές μπαταρίες. Πολλοί κατασκευαστές σκαφών σχεδιάζουν υβριδικά κρουαζιερόπλοια. Παρόλα αυτά, η ηλεκτρική κίνηση στα μεγάλα φορτηγά πλοία που εκτελούν υπερωκεάνια ταξίδια, δεν προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί σύντομα. Οι μπαταρίες δεν είναι όσο αποδοτικές απαιτείται να είναι και είναι μεγάλο το βάρος τους για πλοία που ταξιδεύουν στην ανοιχτή θάλασσα, κάνοντας μεγάλες αποστάσεις

(Castellan et al., 2018). Περίπου το 80% των παγκόσμιων εμπορευμάτων μεταφέρεται με τα πλοία, σύμφωνα με ό,τι έχει αναφερθεί στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών αναφορικά με την ανάπτυξη και το εμπόριο. Οι μεταφορές μέσω των ωκεανών παρουσιάζουν μια αυξητική τάση και την διατηρούν τα επόμενα χρόνια, σημειώνοντας ένα ποσοστό 3,8% σε ετήσια βάση μέχρι το 2022. Όμως, τα πλοία παράγουν τεράστιες ποσότητες καυσαερίων, δηλαδή οξειδία του αζώτου, οξειδία του θείου, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), σωματίδια αιθάλης και λεπτή σκόνη. Έχει υπολογιστεί από ερευνητές της αγοράς ότι το ποσό του CO₂ που εκπέμπεται από ένα μόνο μεγάλο πλοίο ένα ίσο με ό,τι εκπέμπεται από 70.000 αυτοκίνητα, το οξειδίο του αζώτου είναι ίσο με αυτό που εκπέμπεται από 2.000.000 αυτοκίνητα και η λεπτή σκόνη και τα καρκινογόνα σωματίδια ίση με ό,τι παράγεται από 2.500.000 αυτοκίνητα. Επομένως, από τα πλοία παράγεται το 15% των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίου του αζώτου. Για τον λόγο αυτό, τα πλοία βρίσκονται μεταξύ των σοβαρότερων πηγών ρύπανσης των λιμένων (Fang et al., 2019).

Η πλειοψηφία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα πετρελαιοφόρα, τα φορτηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια, λειτουργούν με βαρύ πετρέλαιο ντίζελ. Οι ποσότητες που καταναλώνονται είναι τεράστιες. Συνολικά, 90.000 πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο καταναλώνουν 370.000.000 τόνους καυσίμου ετησίως και παράγουν 20.000.000 τόνους οξειδίου του θείου. Στην εσωτερική ναυσιπλοΐα, το θαλάσσιο ντίζελ χρησιμοποιείται ως καύσιμο και όταν καίγεται είναι λιγότερο επιβλαβές από το βαρύ πετρέλαιο. Επίσης, εκπέμπονται λιγότερα επικίνδυνα οξειδία του αζώτου. Οι συνέπειες των καυσαερίων είναι καταστροφικές για το περιβάλλον. Οι ωκεανοί οξεοποιούνται και το κλίμα αλλάζει σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι κίνδυνοι για την υγεία αυξάνονται, από τα κρούσματα άσθματος στα παιδιά μέχρι και τον αιφνίδιο θάνατο. Εάν συνεχιστεί η χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, το πρόβλημα θα επιδεινώνεται συνεχώς. Μέχρι το έτος 2050, εκτιμάται ότι η ρύπανση της ατμόσφαιρας θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 50% τουλάχιστον και στην χειρότερη περίπτωση να φτάσει ακόμα και στο 250%. Μια μελέτη του κοινοβουλίου της ΕΕ κατέληξε στο ότι μέχρι το 2050 η θαλάσσια κυκλοφορία θα είναι υπεύθυνη για το ένα πέμπτο περίπου των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Το γεγονός αυτό θέτει σε κίνδυνο τους στόχους της Συμφωνίας για το Κλίμα, του Παρισιού. Με την συμφωνία αυτή καθορίζεται ο περιορισμός της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε επίπεδα κάτω του 2% (Kim et al., 2018). Από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό, τον Απρίλιο του 2018, αποφασίστηκε η δραστική μείωση των εκπομπών. Μέχρι το 2050, ο στόχος

των 173 κρατών μελών του ΟΗΕ είναι η μείωση σε ποσοστό 50% των εκπομπών CO₂ από τα πλοία, σε σύγκριση με το έτος 2008. Ήδη από τον Μάρτιο του 2018, πρέπει να γίνεται καταγραφή της κατανάλωσης των καυσίμων όλων των πλοίων και κατ' επέκταση, των εκπομπών καυσαερίων. Από το 2020 μπορούν να χρησιμοποιούνται, μόνο καύσιμα που περιέχουν μέχρι 0,5% θείο. Στην παρούσα φάση, η οριακή τιμή είναι επτά φορές μεγαλύτερη. Προκειμένου το μεγαλόπνοο αυτό σχέδιο να στεφθεί με επιτυχία, απαιτείται αλλαγή της νοοτροπίας.

Υπάρχουν πολλές επιλογές που μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών. Παραδειγματικά αναφέρεται ότι στα πλοία θα μπορούσαν να εγκατασταθούν καταλύτες, παρόμοιοι με αυτούς των αυτοκινήτων. Αυτοί καταφέρνουν να διαχωρίσουν τα επιβλαβή οξείδια του αζώτου σε άζωτο και οξυγόνο και τα σωματίδια αυτά συγκρατούνται από ένα φίλτρο αιθάλης. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τα πλοία το θαλάσσιο ντίζελ αντί για το βαρύ πετρέλαιο που είναι πολύ βρώμικο. Η ποσότητα του θείου στο θαλάσσιο ντίζελ είναι πολύ μικρή, αλλά είναι πολύ ακριβότερο. Εξάλλου και οι δύο παραπάνω επιλογές έχουν ένα σοβαρό μειονέκτημα διότι βασίζονται σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης άρα στα ορυκτά καύσιμα. Όμως, το ορυκτέλαιο που από αυτό παράγεται το ντίζελ θα μπορούσε να εξαντληθεί σε 50 χρόνια σύμφωνα με τον ρυθμό που καταναλώνεται (Ni et al., 2017). Γι αυτό η χρήση άλλων πηγών ενέργειας όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το υδροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) και το υδρογόνο, είναι αποτελεσματική και πιο καθαρή. Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης δεν είναι απλώς βιώσιμα στον αέρα και στην ξηρά. Συνήθως οι εναλλακτικές λύσεις για το πετρέλαιο που είναι φιλικές προς το περιβάλλον, ενδείκνυνται στην εσωτερική ναυσιπλοΐα και στο μέλλον και στα ποντοπόρα πλοία. Πλεονέκτημα της λειτουργίας με μπαταρία είναι το χαμηλό κόστος του ηλεκτρισμού σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το θαλάσσιο ντίζελ. Η πρόβλεψη των αναλυτών είναι η αύξηση των παγκόσμιων πωλήσεων των πλήρως ηλεκτρικών και υβριδικών πλοίων στο ύψος των 20 δις. δολαρίων μέχρι το έτος 2027 (Nuchturee & Li, 2018).

3.8.2 Οι δυνατότητες του ηλεκτρικού πλοίου

Ανέκαθεν, οι θαλάσσιες μεταφορές κατείχαν εξέχουσα θέση στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα και βρέθηκαν στον πυρήνα των παγκόσμιων μεταφορικών δικτύων. Υπολογίζεται ότι ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος αποτελείται από

περισσότερα από 93.000 πλοία, έχοντας συνδυασμένη χωρητικότητα 1,86 δισεκατομμυρίων dwt (Ducruet, 2016). Επομένως, οι ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω των εκπομπών θαλάσσιας κυκλοφορίας έχουν αυξητική τάση. Οι πρόσφατες μελέτες αναφέρουν ότι οι εκπομπές CO₂ που προέρχονται από τον ναυτιλιακό χώρο αποτελούν το 3% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) (Bouman et al., 2017).

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΔΝΟ) αναφέρει ότι αν δεν υπάρξουν κατάλληλα μέτρα, θα αυξηθούν οι εκπομπές μέχρι και 250% έως το έτος 2050 (Tatar & Özer, 2018). Έτσι η θαλάσσια βιομηχανία οφείλει να συμμορφωθεί περιορίζοντας τις εκπομπές των πλοίων σύμφωνα με τον IMO. Η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από το πλοίο (MARPOL) που υιοθέτησε ο IMO, επιβάλλει στις ναυτιλιακές εταιρείες να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας υποχρεωτικά πρότυπα απόδοσης (Kim et al., 2020). Αυτά περιλαμβάνουν το Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP) και τον Λειτουργικό Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI), των οποίων ο στόχος είναι η μείωση των εκπομπών πλοίων, εφαρμόζοντας πρακτικές για την εξοικονόμηση καυσίμου και λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις. Για αποτελεσματικότερα πλοία, η εκτεταμένη ηλεκτροδότηση της θαλάσσιας πλατφόρμας έχει γίνει θέμα έρευνας τα τελευταία έτη. Η ηλεκτρική πρόωση που εφαρμόζεται με ενσωματωμένο σύστημα ισχύος (IPS) είναι μια τεχνολογία που υπόσχεται πολλά σχετικά με τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς μέσω της υψηλότερης απόδοσης καυσίμου. Σύμφωνα με το IPS πρέπει να επιτρέπεται στο σύστημα πρόωσης πλοίου και σε κάθε ηλεκτρικό φορτίο να τροφοδοτείται μόνο από ένα σύνολο μονάδων παραγωγής ενέργειας και έτσι να παύει η απαίτηση μηχανικών συνδέσεων. Εδώ παρουσιάζονται τεχνολογίες και προσεγγίσεις διαχείρισης ενέργειας ώστε οι λειτουργίες καυσίμων όλων των ηλεκτρικών πλοίων να είναι αποδοτικές. Με τον υπολογισμό του λειτουργικού δείκτη και με βάση τον σχεδιασμό της ενεργειακής απόδοσης, οι εκπομπές CO₂ που εκπέμπει ένα σκάφος είναι ανάλογες με την κατανάλωση καυσίμου όπου σε αυτή εφαρμόζεται ένας συντελεστής εκπομπών στον τύπο. Άρα, η προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου ισοδυναμεί σχεδόν με τη μείωση των εκπομπών CO₂ (Alisafaki&Papanikolaou, 2017).

Η ενσωμάτωση της αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνει σημαντικά τη λειτουργία μέσω μείωσης της διακύμανσης ισχύος και βελτιωμένης ισοπέδωσης

φορτίου. Αναλογιζόμενοι και την αυτοκινητοβιομηχανία, οι μπαταρίες με σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας αποτελούν τη λύση χαμηλού κόστους σε σύγκριση με άλλα μέσα αποθήκευσης. Εξίσου ενδιαφέρων για εφαρμογές που απαιτούν συνεχείς λειτουργίες είναι η παραμονή υψηλής απόδοσης στα πρακτικά ρεύματα εκφόρτισης. Από μια μελέτη που αναλύει την τεχνολογία της μπαταρίας στην παγκόσμια ναυτιλία, η χρήση των μπαταριών αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική στη μείωση των εκπομπών. Συγκρίνονται επίσης οι τύποι μπαταριών για την εξέταση μιας κατάλληλης τεχνολογίας για εγκατάσταση επί του σκάφους. Από οικονομικής άποψης, η μπαταρία με χλωριούχο νάτριο ενδείκνυται για αρχική απόδοση επένδυσης, ενώ άλλο μέσο αποθήκευσης εξακολουθεί να έχει υψηλό κόστος ή δεν είναι ακόμη κατάλληλο για θαλάσσιες εφαρμογές (Yuan, 2019). Η στρατηγική που προτείνεται αποθηκεύει ενέργεια στις μπαταρίες κατά τη λειτουργία χαμηλού φορτίου και διανέμει την ισχύ όταν η ζήτηση φορτίου είναι υψηλή. Εναλλακτικά η ισχύς πρόωσης μειώνεται για υψηλό φορτίο και αυξάνεται κατά τη διάρκεια χαμηλού φορτίου. Αυτό εξασφαλίζει βέλτιστη ρύθμιση ισχύος για το σύστημα πρόωσης διατηρώντας σε χαμηλά επίπεδα τις εκπομπές (Dedes et al., 2012).

Σε ένα σύστημα μπαταρίας για λειτουργίες χαμηλών εκπομπών, αυτές εισάγονται για να υποστηρίξουν τη λειτουργία μιας γεννήτριας (SGO), που αποτελεί μια εναλλακτική πρακτική ενισχυτική της απόδοσης καυσίμου μέσω της μεγιστοποίησης του συντελεστή φόρτωσης των γεννητριών. Κατά τη λειτουργία SGO, τα φορτία σέρβις και τα φορτία πρόωσης παρέχονται μόνο από μια μονάδα παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, η πρακτική αυτή δεν είναι αξιόπιστη και ασφαλής αναφορικά με τις εργασίες του πλοίου. Επομένως, οι μπαταρίες παρέχουν ισχύ έκτακτης ανάγκης ώστε να συνεχιστούν οι λειτουργίες σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Σε αυτήν την περίπτωση, ο σχεδιασμός του συστήματος μπαταρίας πρέπει να καλύπτει τις περιορισμένες απαιτήσεις ισχύος και των ζωτικής σημασίας φορτίων. Με την πρόοδο στους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος είναι δυνατή η ενίσχυση της τάσης για χρήση της διανομής DC, αντικαθιστώντας το συμβατικό σύστημα AC. Το κίνητρο για την μετάβαση εντοπίζεται στις προκλήσεις του συστήματος AC, όπου συμπεριλαμβάνεται η ανάγκη για συγχρονισμό γωνίας φάσης και ανισορροπίες του τριφασικού συστήματος. Το δικτύου DC έχει σχεδιαστεί για να ενισχύσει την αποδοτικότητα του συστήματος, παρακάμπτοντας την ανάγκη συγχρονισμού όλων των σετ γεννητριών σε μια συγκεκριμένη συχνότητα (50/60 Hz) και επιτρέποντας τη λειτουργία των κινητήρων στη βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής. Για τη μέτρηση της

ειδικής κατανάλωσης καυσίμου χρησιμοποιείται ένας δοκιμαστικός κινητήρας με βάση διάφορες στροφές και ροπή. Εκ των αποτελεσμάτων η απόδοση του κινητήρα είναι υψηλότερη, εξοικονομώντας καύσιμο έως και 20%, όταν λειτουργεί με μεταβλητή συχνότητα σε περιοχή χαμηλής ισχύος (Kim et al., 2012).

Η ικανότητα μεταβλητής ταχύτητας ενισχύεται από την αποθήκευση ενέργειας ώστε να προωθούνται ενεργειακά αποδοτικές λειτουργίες σε ένα υπεράκτιο σκάφος υποστήριξης. Διάφορες λειτουργίες ενός τέτοιου δοχείου απαιτούν να διατηρείται διαρκώς μιας πλεονάζουσα ενεργή γεννήτρια κατά τη διάρκεια μεγάλων παροδικών φορτίων.

Επομένως, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να ικανοποιήσει την απαίτηση πλεονασμού, έχοντας το ρόλο ενεργού κινητήρα και έτσι χωρίς επιπλέον κατανάλωση καυσίμου (Zahedi et al., 2014). Άρα, η βέλτιστη απόδοση καυσίμου επιτυγχάνεται τόσο από μειωμένο αριθμό ενεργών γεννητριών, όσο και από βελτιστοποιημένη ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων. Η διανομή ηλεκτρικού ρεύματος DC είναι σχεδιασμένη για την ενίσχυση της αποδοτικότητας μέσω διευθετήσεων χώρου και εξοικονόμησης βάρους.

Η αρχιτεκτονική υψηλής πυκνότητας DC μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις χώρου και βάρους του εγκατεστημένου ηλεκτρικού εξοπλισμού μέχρι 30% (Kanellos et al., 2014). Η σημαντική εξοικονόμηση προέρχεται από τη διευκόλυνση μικρότερων γεννητριών υψηλής ταχύτητας και από την απομάκρυνση μεγάλων μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας.

Αν μετατραπεί η διανομή από AC σε DC, το συνολικό βάρος του ηλεκτρικού εξοπλισμού επί του σκάφους δύναται να μειωθεί από 115 τόνους σε 85. Μια βέλτιστη προσέγγιση κατανομής φορτίου ενθαρρύνεται στην ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου που προκύπτει λόγω των άριστων συνθηκών λειτουργίας των μεμονωμένων γεννητριών.

Όσο αλλάζουν οι συνθήκες του κινητήρα κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης καυσίμου και της διαχείρισης του προφίλ φορτίου είναι εργαλεία που βοηθούν σημαντικά τη διαδικασία ελέγχου διανομής ισχύος. Στην εν λόγω μέθοδο χρησιμοποιείται ένας αναδρομικός εκτιμητής ώστε να παρακολουθείται η πραγματική ισχύς σύμφωνα με τα καταγεγραμμένα προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης αποστολής φορτίου μπορεί να γίνει σε σχέση με το εκτιμώμενο, σε πραγματικό χρόνο SFC και προτείνοντας έναν κατάλληλο τρόπο λειτουργίας για τις μεμονωμένες

γεννήτριες (Lundh et al., 2016). Εισάγεται ένα νέο σχήμα πρόβλεψης φορτίου για ένα ρυμουλκό ηλεκτρικού λιμανιού. Η λειτουργία ρυμουλκού χρειάζεται ένα μοναδικό χαρακτηριστικό φορτίου και σε ένα δεδομένο προφίλ φορτίου βασίζεται η βέλτιστη διαίρεση ισχύος. Στην πλειοψηφία των πρακτικών εφαρμογών, το προφίλ φορτίου λειτουργίας δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς. Το σχήμα πρόβλεψης φορτίου που προτείνεται μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά κάνοντας χρήση μόνο πληροφοριών χρονικού διαστήματος και γενικών χαρακτηριστικών τρόπων λειτουργίας. Η απόδοση της μεθόδου αυτής εξαρτάται από την ακρίβεια της πρόβλεψης φορτίου. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να παραμεριστεί με ισοδύναμη στρατηγική ελαχιστοποίησης κατανάλωσης (ECMS), που αποτελεί μια εναλλακτική διαχείριση ισχύος για τη βελτίωση της απόδοσης καυσίμου. Το ECMS αποτελεί έλεγχο ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου. Μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου και έτσι δεν είναι πλέον απαιτητό το προφίλ φορτίου. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ολοκληρωμένης πλήρους ηλεκτρικής πρόωσης είναι ότι ένα σύνολο μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι υπεύθυνο για την τροφοδοσία όλων των ηλεκτρικών φορτίων (Yuan et al., 2016).

Το εν λόγω κεντρικό σύστημα ισχύος δίνει τη δυνατότητα στις τεχνικές βελτιστοποίησης να επιλέγουν αυτόματα τις ενεργές γεννήτριες προκειμένου να μπορούν να ανταποκρίνονται στις αλλαγές φορτίου με τον καλύτερο τρόπο.

Στο λογαριασμό αυτό, ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής ενέργειας σε συνδυασμό με την προωθητική ρύθμιση ισχύος μπορεί να μειώσει ακόμα περισσότερο την κατανάλωση καυσίμου. Στο πλαίσιο της μελέτης χρησιμοποιείται ο προγραμματισμός παραγωγής ενέργειας και η προσαρμογή της ταχύτητας του πλοίου, για να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό μεταβλητό λειτουργικό κόστος και αποδίδεται σε όρους συνολικού καυσίμου που καταναλώνεται από όλες τις γεννήτριες.

Με τον δυναμικό προγραμματισμό αποφασίζεται ποιες γεννήτριες θα λειτουργούν κατά τη διάρκεια των εξεταζόμενων χρονικών διαστημάτων. Με το EEOI παρακολουθείται η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου ώστε να διασφαλιστεί ότι η παραγόμενη ρύπανση από τη διαδικασία βελτιστοποίησης παραμένει κάτω από τα όρια.

Συγκεκριμένα, η ισχύς πρόωσης και οι προγραμματισμένες γεννήτριες της, βελτιστοποιούνται μέσω της ρύθμισης της ταχύτητας του πλοίου, η οποία αυξάνεται

αρκετά κατά την προσέγγιση ή την αναχώρηση από λιμάνι και μειώνεται αρκετά κατά την πλεύση στην ανοιχτή θάλασσα.

Ο προγραμματισμός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βελτιστοποιείται ακόμα περισσότερο με συντονισμό της αποθήκευσης ενέργειας και της τροφοδοσίας στην ξηρά, με την τεχνική fuzzy-based particle swarm optimization (FPSO). Η μέθοδος βέλτιστης διαχείρισης ισχύος υπερέχει στην εξεύρεση της υψηλότερης απόδοσης και της βέλτιστης λύσης, από τον δυναμικό προγραμματισμό αναφορικά με τον χρόνο υπολογισμού.

Όμως αυτές οι δύο μελέτες αντιμετωπίζουν τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου ως έναν μόνο στόχο βελτιστοποίησης και τον παράγοντα εκπομπών τον αντιμετωπίζουν ως περιορισμό. Επομένως, εφαρμόζεται τόσο η οικονομία καυσίμου όσο και ο περιορισμός εκπομπών σε ένα πρόβλημα με πολλούς στόχους βελτιστοποίησης που μπορεί να λυθεί με μη κυριαρχούμενο γενετικό αλγόριθμο ταξινόμησης II (NSGA-II). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτοί οι δύο αντικρουόμενοι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα με την προτεινόμενη τεχνική (Kanellos et al., 2017).

Κεφάλαιο 4ο: Συγκριτική αξιολόγηση των στρατηγικών βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων

Καθώς έχει διαπιστωθεί πως η ζήτηση για ναυτιλιακές υπηρεσίες διαρκώς παρουσιάζει αύξηση, η έρευνα στην αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παρότι βρίσκεται ακόμα σε εμβρυικό στάδιο, εντούτοις, αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση ορισμένων στρατηγικών για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Όσον αφορά στην αιολική ενέργεια, μέσω της χρήσης των μαλακών πανιών, η προβλεπόμενη εξοικονόμηση σε καύσιμο αγγίζει το 60%, περιλαμβανομένης της μείωσης της φθοράς των προπελών και του κινητήρα. Εντούτοις, προβλέπεται επιπλέον κόστος για την κατασκευή και τη συντήρηση. Μέσω της αξιοποίησης των σταθερών πανιών η εξοικονόμηση σε καύσιμα βρίσκεται ανάμεσα στο 5-100%, βάσει του τρόπου εφαρμογής τους. Σε σχέση με την αξιοποίηση χαρταετών σ' ένα πλοίο, αυτή θα μπορούσε να παρέχει ελάττωση στην ενεργειακή κατανάλωση από 10% έως 35% ανά πλοίο.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (L.N.G.) διαθέτει πιο υψηλό λόγο υδρογόνου προς άνθρακα εν συγκρίσει με τα συμβατικά καύσιμα και, ως εκ τούτου, οι ειδικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι πιο χαμηλές (ελάττωση 0-25%). Το υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν περιλαμβάνει θείο και, έτσι οι εκπομπές SO₂ φαίνεται να είναι σχεδόν μηδαμινές (ελάττωση 90-100%), ενώ, παράλληλα, παρατηρείται σημαντική ελάττωση στις εκπομπές PM (72%). Βέβαια, κατά την αξιοποίηση του ελλοχεύει ο κίνδυνος για διαρροή μεθανίου που αντιστοιχεί σε ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου.

Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτρέψει τον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και του πλοίου, αλλά και της θέσης, ενώ, παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα ελιγμών με ευκολία. Επιπλέον, διαπιστώνονται δυνατότητες, όπως αυτές της γρήγορης απόκρισης κατά τη διάρκεια χειρισμών, των χαμηλών επιπέδων κραδασμών και θορύβου και της οικονομίας καυσίμου, εφόσον καθίσταται εφικτή η φόρτιση των μηχανών κοντά στο βέλτιστο σημείο.

Αξιοσημείωτο, επίσης, θεωρείται πως με την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία μπορούν να περιοριστούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι, αφού η κατανάλωση καυσίμου είναι πιο μικρή, ενώ οι εκπομπές NO_x είναι ιδιαίτερος πιο

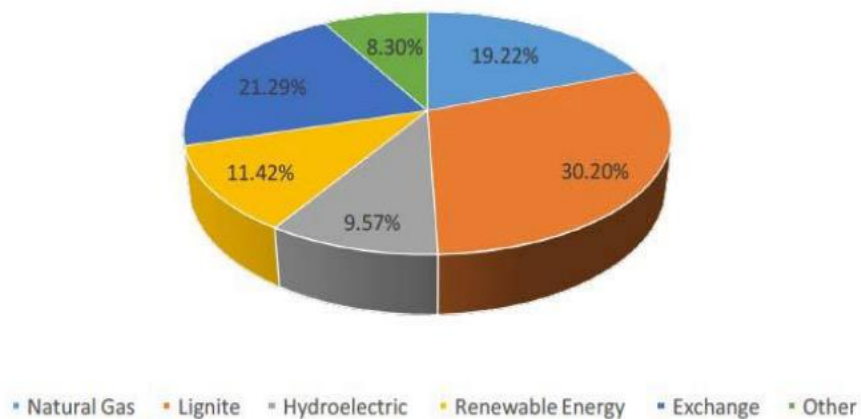
χαμηλές. Έτσι, περιορίζεται ο κίνδυνος ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα, όπως εκείνα των δεξαμενοπλοίων, λόγω της ταχύτερης απόκρισης του συστήματος. Ως εκ τούτου, η ηλεκτροπρώση συνιστά μια πολύ δελεαστική επιλογή για τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση των πλοίων λόγω, κυρίως, της γενικά εντατικής εξέλιξης όλων των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συστημάτων και ιδίως στον τομέα των διατάξεων ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος.

Τα πλοία με μπαταρίες τα οποία φορτίζονται μέσω του δικτύου, αλλά και οι περιβαλλοντικές εξοικονομήσεις, βασίζονται στις εκπομπές που ανακύπτουν κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή. Συνεπώς, στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση της ποσότητας των ρύπων που εκπέμπονται μέσω της παραγωγής ενέργειας επί πλοίου, με εκείνην από την παραγωγή ενέργειας στην ξηρά (εθνικό δίκτυο κοινής ωφέλειας). Στην Ελλάδα, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί μέσω διάφορων μεθόδων. Ένα αξιοσημείωτο ποσοστό της συνολικής παραγωγής (30%) προκύπτει μέσω λιγνιτικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που είναι ρυπογόνοι, ωστόσο, συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται, διότι υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα λιγνίτη στο έδαφος της Ελλάδας. Περίπου το 20% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται σε σταθμούς παραγωγής φυσικού αερίου και ένα άλλο 20% προκύπτει μέσω της ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας με την Αλβανία, την ΠΓΔΜ, τη Βουλγαρία και την Ιταλία. Η ενέργεια μέσω ανανεώσιμων πηγών, όπως η υδροηλεκτρική, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, αντιπροσωπεύει μόλις το 20% όλης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Bakirtzoglou, 2017). Στη συνέχεια, παρατίθενται στοιχεία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος ανά τύπο, στον Πίνακα 2 και στο Διάγραμμα 8.

Πίνακας 2: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος, ανά τύπο (Ιανουάριος – Μάρτιος 2016)

(Πηγή: Bakirtzoglou, 2017)

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΥΠΟ		
Τύπος	GWh	Χρήση (%)
Φυσικό Αέριο	2458	19.22
Λιγνίτης	3862	30.2
Υδροηλεκτρικός	1224	9.57
Ανανεώσιμες Πηγές	1460	11.42
Συναλλαγή	2722	21.29
Άλλοι	1061	8.3
Σύνολο	12787	100



Διάγραμμα 8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος, ανά τύπο (Ιανουάριος – Μάρτιος 2016)

(Πηγή: Bakirtzoglou, 2017)

Παρακάτω, στον Πίνακα 3, παρουσιάζεται μία σύντομη σύγκριση των εκπομπών που ανακύπτουν μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος, με εκείνη που ανακύπτει επί του πλοίου.

Πίνακας 3: Πραγματοποίηση σύγκρισης ανάμεσα στις εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο ελληνικό κράτος με αυτήν επί του πλοίου

(Πηγή: Bakirtzoglu, 2017)

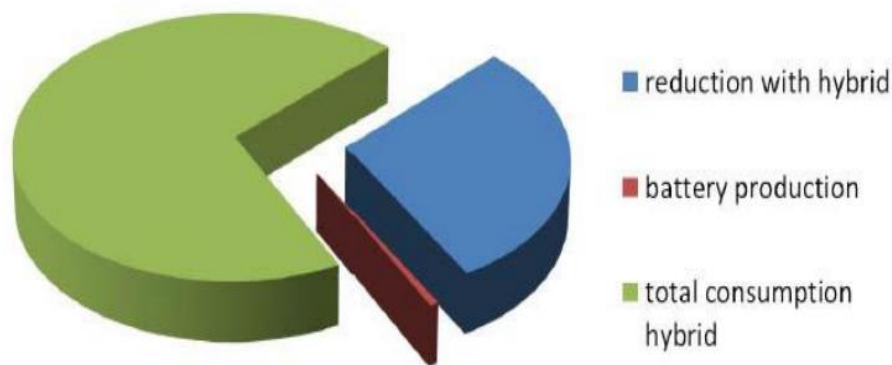
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ					
Τύπος	Χρήση	CO ₂	SO _x	NO _x	PM
	(%)	kWh			
Φυσικό Αέριο	19.22	584.8	0.02	0.3	0.03
Λιγνίτης	30.2	984.3	2.8	2.3	1.02
Υδροηλεκτρικός	9.57	0	0	0	0
Ανανεώσιμες Πηγές	11.42	0	0	0	0
Συναλλαγή	21.29	0	0	0	0
Άλλοι	8.3	0	0	0	0
Σύνολο	100	402.8	0.85	0.752	0.314
Επί πλοίου		638	0.2	12.05	0.45

Μέσω της σύγκρισης μεταξύ των συντελεστών εκπομπών της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και εκείνων της παραγωγής ισχύος επί πλοίου, διαπιστώνεται πως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά συνιστά μίαπερισσότερο «πράσινη» επιλογή. Βάσει του γεγονότος, επιπλέον, ότι έχει προβλεφθεί πως η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί τις επόμενες χρονιές στο ελληνικό κράτος, τα πλοία που εκσυγχρονίζονται θα είναι έτοιμα να αποτελέσουν τα πρώτα πλοία με 100% μηδενικές εκπομπές(Bakirtzoglu, 2017).

Όσον αφορά, τέλος, τα ερωτήματα που μπορεί να εγείρονται εν σχέσει με το πόσο φιλικές προς το περιβάλλον είναι οι λύσεις οι οποίες στηρίζονται στη χρήση μπαταρίας, έχει εκτιμηθεί πως σε μία προοπτική κύκλου ζωής, η ενέργεια και οι εκπομπές μέσω της παραγωγής των μπαταριών, είναι μικρές σε ποσότητα εν συγκρίσει με την εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί, κατά κύριο λόγο, λόγω των αρκετών ωρών λειτουργίας, βάσει του DNV-GL. Εν αντιθέσει με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, οι οποίες περιλαμβάνουν δηλητηριώδες μόλυβδο, τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου οι οποίες περιλαμβάνουν ακόμαπερισσότερο δηλητηριώδες κάδμιο και τις NiMh οι οποίες περιλαμβάνουν σπάνια υλικά της γης, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περικλείουν μη δηλητηριώδη υλικά και ελάχιστα σπάνια υλικά της γης. Το βασικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους διαμορφώνεται μέσω της ενέργειας που αξιοποιείται στην παραγωγική διαδικασία, αλλά βάσει μίας πρόσφατης έρευνας

σχέσει με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (για ένα υβριδικό πλοίο που χρησιμοποιεί σύστημα μπαταριών 300kWh το οποίο κινείται από τον DNV-GL), τα περιβαλλοντικά οφέλη των συστημάτων μπαταριών της ναυτιλίας ξεπερνούν σε σημαντικό βαθμό τις αρνητικές συνέπειες που ανακύπτουν μέσω της ίδιας της παραγωγής μπαταριών (Bakirtzoglou, 2017).

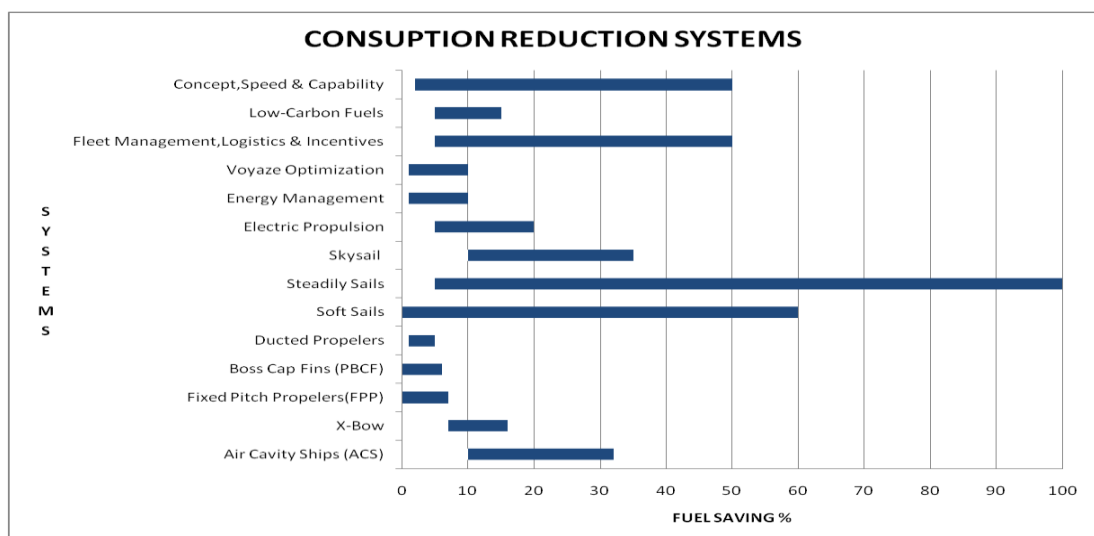
Στο Διάγραμμα 9, εν συνεχεία, αποτυπώνεται αναλυτικά η κατανομή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για ένα υβριδικό πλοίο που διαθέτει εγκατεστημένο σύστημα μπαταριών συνολικής ισχύος 300 kWh.



Διάγραμμα 9: Παρουσίαση της κατανομής των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για υβριδικό πλοίο το οποίο προβαίνει σε χρήση συστήματος μπαταριών 300kWh

(Πηγή: Bakirtzoglou, 2017)

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω προκύπτει το Διάγραμμα 10, όπου αναφέρεται αναλυτικά στη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων μείωσης κατανάλωσης καυσίμου.



Διάγραμμα 10: Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων μείωσης κατανάλωσης καυσίμου

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα

Από τα σοβαρότερα εμπόδια στην χρησιμοποίηση ηλεκτρικών σκαφών είναι ότι στην πλειοψηφία των καταναλωτών και των εταιρειών δεν θεωρείται ως πρόσφορη ή εναλλακτική πρόταση στην παραδοσιακή ναυτιλιακή βιομηχανία. Τους δύο τελευταίους αιώνες, στο εμπόριο και στις μεταφορές χρησιμοποιούνταν πλοία με ορυκτά καύσιμα.

Το ηλεκτρικό σκάφος θα μεταβάλλει τη σκέψη και τη δράση στην ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά και στα επιβατηγά, τα εμπορευματικά και τα πλοία αναψυχής. Επίσης, ο τρόπος χρήσης των σκαφών θα τεθεί υπό αμφισβήτηση και οι μακροχρόνιοι κανόνες θα οδηγηθούν σε μια νέα κατεύθυνση.

Επειδή, από την πλειοψηφία των εταιρειών δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ ηλεκτρικό σκάφος, αυτό συνεπάγεται ότι η αγορά ηλεκτρικού σκάφους δεν είναι στις επιδιώξεις των εταιρειών. Ωστόσο, αυξάνονται συνεχώς τα ηλεκτρικά πλοία και αυτό γίνεται αντιληπτό από το κοινωνικό σύνολο και την ναυτιλιακή βιομηχανία και μπορεί να δημιουργήσει μια κοινωνικοοικονομική ανάγκη και τάση για χρήση εναλλακτικής πηγής ενέργειας όπως συμβαίνει ήδη στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τα κέντρα λήψης αποφάσεων να λάβουν πιο αυστηρά μέτρα και σε ένα νέο νομικό πλαίσιο να σηματοδοτηθεί η έναρξη της ηλεκτροκίνησης στον ναυτιλιακό κλάδο. Στην παρούσα χρονική στιγμή η ύπαρξη ηλεκτρικών πλοίων είναι ανέφικτη εξαιτίας της έλλειψης γνώσης και κατανόησης αναφορικά με τα οφέλη και τις προοπτικές του ηλεκτρικού σκάφους.

Αυτό αποτελεί το βασικότερο εμπόδιο στην χρηματοδότηση για την μελλοντική εξέλιξη και εδραίωση αυτού του τύπου πλοίου στην αγορά. Τα ηλεκτρικά σκάφη αποτελούν μια πολύ ενδιαφέρουσα αγορά από εμπορευματικής άποψης αλλά και σε επίπεδο αναψυχής, λόγω της μείωσης των λειτουργικών εξόδων, της εξοικονόμησης χώρου από τα πάγια, αλλά και αναφορικά με την ηχορύπανση ενός κινητήρα ΜΕΚ, στοιχείο που αφορά στην αγορά ενός σκάφους αναψυχής.

Οι εταιρείες που ενδιαφέρονται για τη μείωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος είναι πολύ πιθανό να εκτιμήσουν κατάλληλα τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών πλοίων αναφορικά με την φιλικότητα τους προς το περιβάλλον και να πρωτοπορήσουν χρηματοδοτώντας υποδομές για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου τύπου πλοίων.

Τα ηλεκτρικά σκάφη βρίσκονται πολύ κοντά στην κατεύθυνση των πιο πράσινων και βιώσιμων θαλασσών και ωκεανών. Όμως, παρόλο που τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών σκαφών είναι πολυάριθμα, δεν υπάρχει ακόμα το περιβάλλον που θα τα υποδεχτεί και θα τα αξιοποιήσει, διότι δεν έχει τεθεί η κοινωνικοοικονομική και νομική βάση ώστε να υιοθετηθεί και να αναπτυχθεί το περιβάλλον λειτουργίας των συγκεκριμένων πλοίων.

Επίσης, πρέπει να ξεπεραστούν κάποια εμπόδια, όπως η αντίληψη των εταιρειών ότι τα ηλεκτρικά σκάφη δεν έχουν μεγάλη ποικιλία για να ικανοποιηθούν όλες οι ανάγκες, ενώ η πλειοψηφία των ταξιδιών που πραγματοποιούνται βρίσκονται εντός του εύρους ενός ηλεκτρικού σκάφους.

Μπορεί επίσης να διαπιστωθεί από τις εταιρείες ότι ένα σκάφος που διαθέτει περιορισμένη εμβέλεια έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις μέσες ταξιδιωτικές ή μεταφορικές ανάγκες. Στο βαθμό που μια τέτοια αντίληψη είναι αποδεκτή, εξαρτάται από την ανάγκη τους για να πραγματοποιήσουν μεγάλα ταξίδια, περιστασιακά.

Η μεγάλη συχνότητα αυτών των ταξιδιών μπορεί να αποθαρρύνει μια εταιρεία να αγοράσει ηλεκτρικά πλοία περιορισμένης εμβέλειας. Όμως, αν οι εταιρείες έχουν επιλογές αναφορικά με τα μεγαλύτερα ταξίδια, θα μπορούν να βρουν ένα ηλεκτρικό σκάφος με μικρότερο εύρος για να ανταποκρίνεται στις ανάγκες τους.

Η ανάπτυξη στρατηγικών συνεργασιών με όλους τους φορείς και τους οργανισμούς που εμπλέκονται, θα μπορούσε να αποτελέσει το ξεκίνημα ενός μεγάλου αριθμού ευκαιριών για τις επιχειρήσεις, προκειμένου να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να προγραμματίσουν και να προσαρμοστούν, ώστε τα ηλεκτρικά πλοία να συμβάλλουν με τον μέγιστο δυνατό τρόπο στην επίτευξη του τελικού στόχου, ο οποίος αφορά τη μείωση, ενδεχομένως και εξάλειψη, του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κλάδου των μεταφορών.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Δαγκίνης, Ι. (2014). Κατασκευαστική εξέλιξη συστημάτων πλοίων. *Ελεύθερη Ζώνη*.

Έξαρχος, Σ. (2013). *Ατμοσφαιρική ρύπανση από πλοία. Διεθνείς και ευρωπαϊκές εξελίξεις*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών.

Κωνσταντοπούλου, Μ. (2013). *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ναυτιλία*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης.

Μπουλαντζάς, Δ. (2014). *Οι θαλάσσιες μεταφορές και οι επιπτώσεις τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση: το διεθνές, κοινοτικό και εσωτερικό ρυθμιστικό και οργανωτικό θεσμικό πλαίσιο (IMO, ΟΗΕ, Ε.Ε., ΕΛΛΑΔΑ)*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών.

Πολίτης, Γ. Κ. (2016). *Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Συρράκος, Σ. (2014). *Υπολογισμός της αέριας ρύπανσης που οφείλεται στην προσέγγιση κρουαζιερόπλοιων σε λιμένες*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης. Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Ξενόγλωσση

Alisafaki, A. G., & Papanikolaou, A. D. (2017). On the energy efficiency design index of RO-RO passenger and RO-RO cargo ships. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 231(1), 19-30.

Bakirtzoglou, C. (2017). *Techno-economical feasibility study on the retrofit of doubleended Ro/Pax ferries into battery-powered ones*.

Balsamo, F., Capasso, C., Miccione, G., & Veneri, O. (2017). Hybrid storage system control strategy for all-electric powered ships. *Energy Procedia*, 126, 1083-1090.

Bertram, V. (2002). *Practical Ship Hydrodynamics*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- Bialystocki, N. (2016). *On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach*. Shanghai: Elsevier.
- Bouman, E. A., Lindstad, E., Riialand, A. I., & Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping—a review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *52*, 408-421.
- Burkov, A. F., & Kuvshinov, G. Y. (2017, May). Study of ships electrification. In: *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Castellan, S., Menis, R., Tessarolo, A., Luise, F., & Mazzuca, T. (2018). A review of power electronics equipment for all-electric ship MVDC power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *96*, 306- 323.
- Chen, X., Xi, F., Geng, Y., & Fujita, T. (2011). The potential environmental gains from recycling waste plastics: Simulation of transferring recycling and recovery technologies to Shenyang, China. *Waste Management*, *31*(1), 168-179.
- Cofala, J., Amann, M., Klimont, Z., Kupiainen, K., & Höglund-Isaksson, L. (2007). Scenarios of global anthropogenic emissions of air pollutants and methane until 2030. *Atmospheric Environment*, *41*(38), 8486-8499.
- Coraddu, A. (2016). Vessels fuel consumption forecast and trim optimization: A data analytics perspective. *Science Direct*.
- Dedes, E. K., Hudson, D. A., & Turnock, S. R. (2012). Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping. *Energy policy*, *40*, 204-218.
- Ducruet, C. (2016). *Book review. International Maritime Transport Costs. Market Structures and Network Configurations*.
- Fang S., Wang Y., Gou, B., & Xu Y. (2019). Toward Future Green Maritime Transportation: An Overview of Seaport Microgrids and All-Electric Ships. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *69*(1), 207-219.
- Feiyang Zhao Y, et al. (2015). «An Overall Ship Propulsion Model for Fuel Efficiency Study». *The 7th International Conference on Applied Energy - ICAE2015*.

Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: history, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712-725.

Hansen, S. V. (2011). *Performance Monitoring of Ships*. Technical University of Denmark.

Hansen, S. (2018). *An Integrated Vessel Performance System for Environmental Compliance*. Springer International Publishing.

Hasselaar, W. F. (2010). *An investigation into the development of an advanced ship performance monitoring and analysis system*. Newcastle upon Tyne, UK: Newcastle University.

IPCC (2014). *Assessment Report (AR5)*.

Ikenberry, G. J. (2018). *Reasons of state: Oil politics and the capacities of American government*. Cornell University Press.

IMO (2002). *Anti-fouling systems*.

IMO (2014). *Third IMO GHG Study*. London: International Maritime Organization.

IMO (2016). *Study on the optimization of energy consumption as part of implementation of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)*. London: IMO.

Kanellos, F. D., Anvari-Moghaddam, A., & Guerrero, J. M. (2017). A cost-effective and emission-aware power management system for ships with integrated full electric propulsion. *Electric Power Systems Research*, 150, 63- 75.

Kanellos, F. D., Tsekouras, G. J., & Prousalidis, J. (2014). Onboard DC grid employing smart grid technology: challenges, state of the art and future prospects. *IET Electrical Systems in Transportation*, 5(1), 1-11.

Kilic, A., & Tzannatos, E. (2014). Ship Emissions and Their Externalities at the Container Terminal of Piraeus–Greece. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1329-1340.

Kim, H., Koo, K. Y., &Joung, T. H. (2020). A study on the necessity of integrated evaluation of alternative marine fuels. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 4(2), 26-31.

Kim, K., Park, K., Roh, G., & Chun, K. (2018). DC-grid system for ships: a study of benefits and technical considerations. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 2(1), 1-12.

Kim, S. Y., Cho, B. G., & Sul, S. K. (2012). Feasibility study of integrated power system with battery energy storage system for naval ships. In: *2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 532-537). IEEE.

Larsen, P. (2009). *Prediction of Full-Scale Propulsion Power using Artificial Neural Networks*.

Lauri, K. (2012). *Study of Hull Fouling on cruise vessels across various seas, Helsinki*. Finland: ENIRAM.

Lloyds Register Marine Global Marine Fuel Trends 2030

Lokukaluge, B. M. &Perera, P. (2015). «Evaluations on ship performance under varying operational conditions». *34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*.

Lokukaluge, B. M. &Perera, P. (2016). *Machine Intelligence based Data Handling Framework for Ship Energy Efficiency*.

Lokukaluge, B. M. &Perera, P. (2017). *Marine Engine-Centered Data Analytics for Ship Performance Monitoring*.

Lundh, M., Garcia-Gabin, W., Tervo, K., &Lindkvist, R. (2016). Estimation and optimization of vessel fuel consumption. *IFAC-PapersOnLine*, 49(23), 394-399.

Ni, K., Hu, Y., & Li, X. (2017). An overview of design, control, power management, system stability and reliability in electric ships. *Power Electronics and Drives*, 2(2), 5-29.

Nuchteuree, C., & Li, T. (2018). A review of energy efficient methods for all electric ships. *E&ES*, 188(1), 012050.

- Papanikolaou, A. (2014). *Ship design: methodologies of preliminary design*. Springer.
- Pinkster, J. (2002). *Introduction to ship hydrodynamics*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Rahman, S. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Abedin, M. J., Sanjid, A., & Sajjad, H. (2013). Impact of idling on fuel consumption and exhaust emissions and available idle-reduction technologies for diesel vehicles—A review. *Energy Conversion and Management*, 74, 171-182.
- Sharaf, O. Z., & Orhan, M. F. (2014). An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 32, 810-853.
- Tatar, V., & ÖZER, M. B. (2018). The Impacts of CO₂ Emissions from Maritime Transport on The Environment and Climate Change. *Uluslararası Çevresel Eğilimler Dergisi*, 2(1), 5-24.
- Vogler, F., & Würsig, G. (2009). Safety considerations and approval procedures for the integration of fuel cells on board of ships. In *Proc. 3rd Int. Conf. on Hydrogen Safety ICHS, Ajaccio*.
- Whitmarsh, F. (2015). *Ocean heat uptake and the global surface temperature record*. London: Imperial College.
- Yuan, J. (2019). Evaluation of Mitigation Strategies in Shipping Industry Using a Metamodel Based Method. *Energy Procedia*, 158, 4031-4036
- Yuan, L. C. W., Tjahjowidodo, T., Lee, G. S. G., Chan, R., & Ådnanes, A. K. (2016). Equivalent consumption minimization strategy for hybrid all-electric tugboats to optimize fuel savings. In: *2016 American Control Conference (ACC)* (pp. 6803-6808). IEEE.
- Zahedi, B., Norum, L. E., & Ludvigsen, K. B. (2014). Optimized efficiency of all electric ships by dc hybrid power systems. *Journal of power sources*, 255, 341- 354.
- Zhai, J. G., Wen, S. K., Chen, H. Z., & Yan, X. P. (2012). Analysis of Environment Influence of Wreck and Removal Strategy Based on Game Theory. In *Advanced Materials Research* (Vol. 518, pp. 1109-1112). Trans Tech Publications.

