



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών

Διπλωματική Εργασία

«ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
ΤΟΥ ΕΕΔΙ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΠΛΟΙΑ
ΑΝΑΨΥΧΗΣ»



Σοφιάδη Δάφνη

Επιβλέπων: Απόστολος Παπανικολάου, Καθηγητής ΕΜΠ

Μάιος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.

Πρώτα από όλα θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στον Επιβλέποντα της Διπλωματικής μου Εργασίας Καθηγητή κ. Απόστολο Παπανικολάου, που μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του και να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Η συνεχής υποστήριξή του και οι πολύτιμες συμβουλές του σε κρίσιμες φάσεις της εκπόνησης αποτέλεσαν για μένα καθοριστικό παράγοντα για την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης. Χωρίς τη στήριξη και την καθοδήγησή του είναι βέβαιο ότι η Εργασία μου δεν θα είχε το ίδιο αποτέλεσμα.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Τιμολέοντα Πλέσσα, ο οποίος αφιέρωσε σημαντικό μέρος από το χρόνο του και η βοήθεια του ήταν πολύτιμη, αλλά και στην κα Αιμιλία Αλησαφάκη για τα στοιχεία που μου έδωσε.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, κ. Γεώργιο Ζαραφωνίτη και κ. Δημήτριο Λυρίδη.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την υποστήριξή τους στην προσπάθεια εκπόνησης αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.

ΣΥΝΟΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο καθορισμός μίας δίκαιης και λειτουργικής γραμμής αναφοράς του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) για τα πλοία αναψυχής, ώστε να διευκολυνθεί η ενσωμάτωση αυτών στους κανονισμούς για τη μείωση των αερίων ρύπων. Αυτή η προσπάθεια έγινε μετά από λεπτομερή μελέτη των ιδιοτήτων των πλοίων αυτών και την ηλεκτρικής πρόωσης, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε αυτά.

Η γραμμή αναφοράς πρέπει να αποτελεί μία δίκαιη αντιπροσώπευση της μέσης επίδοσης των υπαρχόντων πλοίων. Κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο για τα πλοία αναψυχής και γενικότερα στα επιβατηγά πλοία. Πιο συγκεκριμένα, για τα πλοία αναψυχής, η δυσκολία έγκειται στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ αυτών, όσον αφορά τις λειτουργικές απαιτήσεις, τους γεωμετρικούς περιορισμούς και το είδος της ενδιαίτησης που προσφέρουν. Αυτό αντανακλάται σε ένα χαμηλό βαθμό συσχέτισης (R^2).

Για το λόγο αυτό, αναλύεται μία μέθοδος που προτάθηκε στον IMO για τον προσδιορισμό του EEDI και της γραμμής αναφοράς (MEPC 64/4/14)^[38] για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία και διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου αυτής στα πλοία αναψυχής. Η μέθοδος αυτή εισάγει έναν αδιάστατο συντελεστή f_j ο οποίος εμπεριέχει σχεδιαστικές παραμέτρους του πλοίου, οι οποίες έχει διαπιστωθεί ότι έχουν επίδραση στη σχέση ταχύτητας-ισχύος, $f_j = \frac{1}{Fn^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\lambda}\right)^\delta}$

Η μελέτη εκπονήθηκε με τη χρήση στοιχείων 103 πλοίων από την βάση δεδομένων του Lloyd's Register IHS FAIRPLAY, μετά από επιλογή μόνο των μεγάλων πλοίων αναψυχής (με μήκος από 80m και πάνω) που εμπίπτουν στους κανονισμούς του EEDI και έχουν νηζελο-ηλεκτρική πρόωση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί ως έχει στα πλοία αναψυχής. Για το λόγο αυτό, γίνεται μία σύγκριση των πλοίων αυτών με τα Ε/Γ-Ο/Γ προκειμένου να προσδιοριστούν οι διαφορές τους και να εντοπιστεί ο λόγος που η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία στα πλοία αναψυχής.

Οι κύριες διαφορές είναι ότι στα πλοία αναψυχής οι υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου (εκτός της πρόωσης) καταναλώνουν μεγάλο ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, συνήθως πάνω από το 30%. Επίσης, τα πλοία αναψυχής με υψηλότερους αριθμούς Froude, παρατηρείται να έχουν μειωμένη εγκατεστημένη ισχύ, ενώ στα Ε/Γ-Ο/Γ συμβαίνει το αντίθετο.

Με βάση αυτές τις διαπιστώσεις, παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές προτάσεις οι οποίες κρίνονται ικανοποιητικές και με τη χρήση τους φαίνεται να επιτυγχάνονται οι στόχοι του EEDI. Και στις δύο αυτές προτάσεις προτείνεται ο διαχωρισμός της ισχύος πρόωσης από την υπόλοιπη ισχύ και η εισαγωγή ενός τροποποιημένου

συντελεστή f_j για την πρώτη, $f_j = \frac{1}{\left(\frac{v}{v_{mean}}\right)^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\sqrt{3}}\right)^\delta}$, και ενός άλλου νέου

συντελεστή f_c για την δεύτερη.

ABSTRACT

The main aim of this Diploma Thesis is the development of an Energy Efficiency Design Index (EEDI) reference line for cruise ships, which will facilitate the inclusion of these ship segments into the energy efficiency regulations applicable for ships. This attempt has been made after a detailed examination of cruise ships.

The EEDI reference line is intended to provide a fair representation of the average performance of collective fleet data; however till now, this has proven to be problematic for cruise ships and passenger ships in general. In the case of cruise ships in specific, the diversity of operational conditions and accommodation offered as well as geometrical constraints, have made the establishment of a robust EEDI reference line for these ship types very complex; leading to the a relatively poor reference line correlation factor, R^2 .

To address this complexity, the present thesis examines whether the methodology proposed in October 2012, during the 64th session of the International Maritime Organization, Marine Environment Protection Committee (IMO MEPC) regarding the establishment of energy efficiency requirements for Ro-Ro cargo and Ro-Pax vessels (MEPC 64/4/14)^[38] can be applied to cruise ships. The MEPC-proposed methodology introduces non-dimensional ship-specific parameters, all of which are acknowledged to have influence on ships speed-power relationship. These parameters are expressed by the following correction factor, $f_j = \frac{1}{Fn^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\sqrt[3]{3}}\right)^\delta}$

The data for the present thesis have been collected from IHS Fairplay database. 103 ships with diesel-electric propulsion have been chosen for the study. Ships of length 80m and below have not been included because their design does not allow for the methodology to be applied; the rest of the ship categories were not included either, due to lack of sufficient data for the study.

To calculate the hydrodynamic relation between the parameters used in this methodology and the power required, systematic power prediction calculations have been used, where 3 of the 4 dimensionless ratios were kept constant, while the fourth varied in order to calculate the actual power exponent for this fourth dimensionless ratio (in accordance with Hans Otto Kristensen's article (DTU)^[40] who has evaluated the methodologyⁱ). The power prediction calculations have been made using Holtrop Method.

The exponents found during this procedure are almost the same with those proposed in MEPC 64/4/14, apart from the exponent for slenderness ratio. However, it should be noted that the correlation remains low, when using either set of exponents. The main reason for that is the completely different power-Froude number relation among Ro-Pax ships and cruise ships and the fact that for the latter, the propulsion power comprises only 60-65% of the total power installed.

To conclude, since the specific correction factor was actually found to be rather ineffective, an alternative is proposed:

-Propulsion power to be separated from the rest power and two separate correction factors: f_j and f_c are used:

- f_j : In f_j factor, Froude number is replaced by the speed, divided by the mean value of the speed of the ships included in the study (21,45 knots),

$$\text{i.e. } f_j = \frac{1}{\left(\frac{v}{v_{mean}}\right)^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\sqrt[3]{1}}\right)^\delta}$$

- f_c : f_c factor is used to penalize ships with high luxury level and high energy consumption per person

Using the above alternative, a considerably higher correlation can be achieved. Nonetheless, cruise ships detailed analysis is recommended, in order to include cruise ships into the applicable energy efficiency regulations based on fair and objective criteria.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΣΥΝΟΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Το φαινόμενο θερμοκηπίου και η κλιματική αλλαγή.....	13
1.2 Μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής.....	14
1.3 Προβλέψεις για το μέλλον.....	16
1.4 Εναλλακτικές επιλογές καυσίμων.....	21
1.4.1 Φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas-LNG)	
1.4.2 Βιοκαύσιμα	
1.4.3 Πυρηνική ενέργεια	
1.5 Στόχος της εργασίας.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ναυτιλία και EEDI

2.1 Αέριοι ρύποι από τη ναυτιλία	24
2.1.1 Περιγραφή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)	
2.1.2 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)	
2.1.3 Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας κατά τη Λειτουργία (EEOI)	
2.2 Ιστορική εξέλιξη του EEDI.....	27
2.2.1 MEPC 53 - Ιούλιος 2005	
2.2.2 MEPC 55 - Οκτώβριος 2006	
2.2.3 MEPC 56 - Ιούλιος 2007	
2.2.4 MEPC 57- Απρίλιος 2008	
2.2.5 MEPC.58 - Οκτώβριος 2008	
2.2.6 MEPC.59 - Ιούλιος 2009	
2.2.7 MEPC 60 - Μάρτιος 2010	
2.2.8 MEPC 61 - Σεπτέμβριος και Οκτώβριος 2010	

2.2.9 ΜΕΡC 62 - Ιούλιος 2011	
2.2.10 ΜΕΡC 63 - Μάρτιος 2012	
2.2.11 ΜΕΡC 64 - Οκτώβριος 2012	
2.3 Γραμμή αναφοράς.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Επισκόπηση βιβλιογραφίας

3.1 Τρόπος καθορισμού της γραμμής αναφοράς	34
3.2 Σχολιασμός των βασικών παραμέτρων του δείκτη	37
3.3 Πλοία ειδικών απαιτήσεων.....	38
3.3.1 Πλοία μεταφοράς χημικών	
3.3.2 Ice-classed	
3.3.3 Δεξαμενόπλοια «shuttle»	
3.3.4 Πλοία κατασκευασμένα κατά CSR	
3.3.5 Πλοία με εθελοντική ενίσχυση της κατασκευής	
3.4 Παρατηρήσεις και κριτική του δείκτη.....	39
3.4.1 Τρόποι συμμόρφωσης με τον ΕΕΔΙ	
3.4.2 Προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν	
3.4.2.1 Μείωση εγκατεστημένης ισχύος	
3.4.2.2 Μείωση της ταχύτητας	
3.4.2.3 Μείωση του βάρους του κενού σκάφους	
3.4.3 Άλλα προβλήματα	
3.5 Πρόταση της Ελλάδας για τη γραμμή αναφορά.....	44
3.6 Οικονομία Κλίμακας.....	44
3.7 Έμμεση μείωση των εκπομπών από την αύξηση της τιμής του καυσίμου.....	45
3.8 Σκέψεις σχετικά με τη μείωση της ταχύτητας.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πλοία αναψυχής και ηλεκτροπρόωση

4.1 Ορισμός	48
4.2 Εξέλιξη των πλοίων αναψυχής.....	49
4.3 Αρχές αντίστασης πλοίου.....	55
4.3.1 Αντίσταση τριβής R_F	

4.3.2 Υπόλοιπη Αντίσταση R_R	
4.3.3 Αντίσταση του αέρα R_A	
4.3.4 Αντίσταση R_T και ισχύς P_E ρυμουλκήσεως	
4.3.5 Αριθμός Froude	
4.3.6 Επίδραση των κυρίων διαστάσεων επί της αντίστασης	
4.3.7 Επίδραση του λόγου λυγηρότητας στην αντίσταση	
4.3.8 Επίδραση του λόγου B/T στην αντίσταση	
4.3.9 Επίδραση του λόγου L/B στην αντίσταση	
4.3.10 Επίδραση των αδιάστατων συντελεστών στην αντίσταση	
4.4 Ηλεκτροπρόωση.....	61
4.4.1 Γενικά	
4.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	
4.4.2.1 Πλεονεκτήματα	
4.4.2.2 Μειονεκτήματα	
4.4.3 Προωστήριο σύστημα	
4.4.4 Ηλεκτροπρόωση στα πλοία αναψυχής	
4.4.4.1 Συστήματα νηζελο-ηλεκτρικής κίνησης/πρόωσης και παραδείγματα σε πλοία αναψυχής	
4.4.4.2 Χρήση αεριοστροβίλων και παραδείγματα σε πλοία αναψυχής	
4.5 Προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία αναψυχής.....	75
4.5.1 Προτάσεις εφαρμογής EEDI για τα νέα επιβατηγά πλοία και για τα πλοία αναψυχής	
4.5.1.1 Εξελίξεις σχετικά με τον υπολογισμό του επιτευχθέντος EEDI	
4.5.1.2 Εξελίξεις σχετικά με τη γραμμή αναφοράς	
4.5.2 Χρήση φυσικού αερίου στα πλοία αναψυχής	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Πρόταση για τον υπολογισμό του EEDI και της γραμμής αναφοράς για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (ΜΕΡC 64/4/14)

5.1 Εισαγωγή και παρατηρήσεις σχετικά με τα Ε/Γ-Ο/Γ.....	83
5.2 Πρόταση για τον υπολογισμό του EEDI για τα Ε/Γ-Ο/Γ.....	84
5.2.1 Επιλογή του συντελεστή f_j	

5.3 Κριτική θεώρηση από την αντιπροσωπία της Δανίας και της Ιαπωνίας (IMO)	89
5.4 Κριτική θεώρηση από τον H-O. Kristensen (DTU)	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου (MEPC 64/4/14)

για πλοία αναψυχής

6.1 Επεξεργασία των δεδομένων.....	92
6.2 Ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου.....	96
6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση των πλοίων αναψυχής με τα Ε/Γ-Ο/Γ	98
6.4 Εναλλακτική πρόταση.....	106
6.4.1 Περιγραφή	
6.4.2 Σύγκριση πλοίων	
6.4.3 Σχολιασμός εναλλακτικών προτάσεων	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα, σχολιασμός και εξελίξεις στις εκπομπές των πλοίων αναψυχής

7.1 Σύνοψη μεθόδου και αποτελεσμάτων.....	113
7.2 Σχολιασμός και σύγκριση εναλλακτικών προτάσεων και αποτελεσμάτων.....	115
7.2.1 Σχολιασμός συντελεστή fj	
7.2.2 Σχολιασμός συντελεστή fc	
7.2.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την πρόταση Α	
7.2.4 Ανάλυση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την πρόταση Β	
7.2.5 Συμπέρασμα από την ανάλυση των δύο εναλλακτικών προτάσεων	
7.3 Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον.....	124

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Μέθοδος υπολογισμού αντίστασης και πρόωσης πλοίου κατά Holtrop & Mennen και παραδείγματα.....

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα υπαρκτό πρόβλημα μείζονος σημασίας. Οφείλεται κατά κύριο λόγο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο επιβαρύνεται από την ανθρωπογενή δραστηριότητα και συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Οι συνέπειες θα είναι καταστροφικές για τον πλανήτη μας αν δεν ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό των ρύπων που επιβαρύνουν το φαινόμενο αυτό. Η ναυτιλία, αν και θεωρείται ιδιαίτερος αποδοτικό μέσο μεταφοράς, επιβαρύνει και αυτή σε σημαντικό βαθμό το φαινόμενο αυτό. Δεδομένου ότι αναμένεται αύξηση της ζήτησης των θαλασσίων μεταφορών τα επόμενα χρόνια, η άμεση λήψη μέτρων στον τομέα αυτό κρίνεται αναγκαία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται κατά σειρά τα παρακάτω ζητήματα:

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια επισκόπηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και τις κλιματικής αλλαγής ώστε να γίνει αντιληπτή η επιτακτική ανάγκη λήψης μέτρων περιορισμού των αερίων ρύπων. Αναφέρονται οι προβλέψεις σχετικά με τις εκπομπές ρύπων τα επόμενα χρόνια και η γενικότερη ευθύνη της ναυτιλίας στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης, αναφέρονται τρόποι μείωσης των εκπομπών, με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων και την απομάκρυνση από τα παραδοσιακά ναυτιλιακά καύσιμα.

Στο Κεφάλαιο 2 προσδιορίζεται το μερίδιο της ευθύνης που έχει η ναυτιλία στις εκπομπές αερίων παγκοσμίως και ακολουθεί μία γενική περιγραφή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) και μία αναφοράς στην ιστορική εξέλιξη αυτού.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μία σύντομη επισκόπηση της βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, γίνεται μία περιγραφή των κανονισμών και των προτάσεων που έχουν γίνει σχετικά με τον τρόπο προσδιορισμού της γραμμής αναφοράς για τους πιο συνηθισμένους τύπους πλοίων, ενώ γίνεται και μία σύντομη αναφορά σε κάποια πλοία ειδικών απαιτήσεων. Παρατίθενται σχόλια και κριτική που έχει γίνει σχετικά με τον EEDI και αναλύονται οι διάφοροι τρόποι συμμόρφωσης των πλοίων με τους κανονισμούς.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μία σύντομη περιγραφή των πλοίων αναψυχής και των ιδιοτεροτήτων τους και της εξέλιξης τους την τελευταία δεκαετία, στοιχεία που θεωρήθηκαν χρήσιμα για τη μελέτη. Επίσης, αναλύονται κάποιες βασικές αρχές για την αντίσταση και την πρόωση των πλοίων και περιγράφονται τα σχετικά συστήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως στα πλοία αυτού του τύπου τα τελευταία χρόνια. Επιπροσθέτως, γίνεται μία αναφορά στις προτάσεις για τον τρόπο υπολογισμού του EEDI και της γραμμής αναφοράς που έχουν γίνει στον IMO σχετικά με τα επιβατηγά πλοία με έμφαση στα πλοία αναψυχής. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας που έχουν εφαρμοστεί σε κάποια συγκεκριμένα πλοία αναψυχής και παρουσιάζεται σαν επιλογή η χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται μία μέθοδος που προτάθηκε στον ΙΜΟ προκειμένου να συμπεριληφθούν τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία στους κανονισμούς του ΕΕΔΙ και η κριτική που έχει γίνει σε αυτή. Στη μέθοδο αυτή, βασίστηκε το υπολογιστικό μέρος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μία πρώτη προσπάθεια εφαρμογής της μεθόδου αυτής στα μεγάλα πλοία αναψυχής. Γίνεται σχολιασμός και ανάλυση των αποτελεσμάτων τα οποία δεν κρίνονται ικανοποιητικά, οπότε συμπεραίνεται ότι η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί ως έχει. Διερευνώνται οι λόγοι στους οποίους οφείλεται η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων μεταξύ των πλοίων αναψυχής και των Ε/Γ-Ο/Γ, με σύγκριση των βασικών τους χαρακτηριστικών και αναζητούνται εναλλακτικές προτάσεις για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς για τα πλοία αναψυχής.

Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται αναλυτικός σχολιασμός της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε και των εναλλακτικών προτάσεων και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα. Καθώς τα πλοία αναψυχής ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την ρύπανση του περιβάλλοντος και ειδικότερα για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, διαπιστώνεται ότι απαιτείται περαιτέρω μελέτη και έρευνα. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο ΙΜΟ πρέπει να ασχοληθεί εντατικά με το ζήτημα προκειμένου να προσδιοριστεί τρόπος ώστε να συμπεριληφθούν τα πλοία του τύπου αυτού αλλά και όλα τα επιβατηγά στους κανονισμούς του ΕΕΔΙ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η κλιματική αλλαγή

Ως φαινόμενο του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το φαινόμενο θέρμανσης που παρατηρείται στα θερμοκήπια. Η γυάλινη υπερκατασκευή που τα στεγάζει είναι διάφανη για τη φωτεινή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στο χώρο, απορροφάται εν μέρει, διαχέεται και επανεκπέμπεται. Η ίδια υπερκατασκευή όμως είναι αδιαφανής για τη δευτερογενή αυτή ακτινοβολία, η οποία "παγιδεύεται" στο χώρο και τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη φύση. Η ατμόσφαιρα της γης λειτουργεί όπως και το γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα του θερμοκηπίου. Πιο αναλυτικά, αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει προς την επιφάνεια της γης, αλλά αφήνει μόνο ένα ποσοστό της γήινης ακτινοβολίας να φύγει προς το διάστημα. Έτσι, όπως συμβαίνει και στο θερμοκήπιο, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης είναι μεγαλύτερη από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε η ατμόσφαιρα που τη περιβάλλει.

Αυτό είναι το «φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου», το οποίο εξασφαλίζει μια μέση θερμοκρασία για την Γη περίπου στους 14°C, διαφορετικά η μέση θερμοκρασία της θα ήταν περίπου -19°C ^[1]. Στη φυσική ατμόσφαιρα το ρόλο του καλύμματος το παίζουν εκείνα τα συστατικά της που έχουν μεγάλο μοριακό βάρος, όπως οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, αυτό φαίνεται να συνδέεται με την παγκόσμια υπερθέρμανση, ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει επιβαρυνθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, λόγω της βιομηχανικής ανάπτυξης και των προϊόντων της καύσης ορυκτών καυσίμων, όπως για παράδειγμα το CO₂ τα τελευταία χρόνια, όταν αναφερόμαστε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν εννοούμε το φυσικό φαινόμενο αλλά στο τεχνητό που οφείλεται στη ρύπανση από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Το τεχνητό αυτό φαινόμενο οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης είναι σοβαρές και σχετίζονται με τη διαστολή του νερού της θάλασσας και το λιώσιμο των πάγων, ενώ παράλληλα μεταβάλλονται οι κλιματικές ζώνες. Στο μέλλον, αναμένεται να αυξηθούν οι βροχές καθώς λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας θα εξατμίζεται όλο και περισσότερο νερό και γενικά θα αυξηθεί η ένταση όλων των καιρικών φαινομένων. Οι συνέπειες θα είναι καταστροφικές για τον πλανήτη.

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα τα οποία απορροφούν και επανεκπέμπουν ακτινοβολία, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της Γης, επιβαρύνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα κυριότερα από αυτά είναι οι υδρατμοί, το διοξείδιο το άνθρακα, το μεθάνιο και το όζον.

Τα τελευταία χρόνια η ανησυχία για τη συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω του φαινομένου αυτού είναι έντονη και κρίνεται απαραίτητη η μείωση των αερίων που την προκαλούν. Τα αέρια αυτά, γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου προέρχονται από πολλές πηγές, μία εκ των οποίων είναι η Ναυτιλία.

1.2 Μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

Οι πρώτοι που άρχισαν να επισημαίνουν τη σοβαρότητα και τον κίνδυνο που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη που οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ήταν οι επιστήμονες. Στοιχεία από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 έδειχναν ότι η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξανόταν σημαντικά, γεγονός που οδήγησε τους κλιματολόγους αρχικά και στη συνέχεια και άλλους επιστήμονες να πιέσουν για δράση. Δυστυχώς, πήρε αρκετά χρόνια στη διεθνή κοινότητα για να δράσει.

Το 1988, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (World Meteorological Organisation) και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme) δημιούργησαν μία Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος. Έτσι, παρουσιάστηκε μία πρώτη έκθεση αξιολόγησης το 1990, στην οποία υπήρχαν απόψεις 400 επιστημόνων. Σύμφωνα με αυτή, το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας και της κλιματικής μεταβολής ήταν υπαρκτό και έπρεπε να ληφθούν κατάλληλα μέτρα άμεσα. Τα συμπεράσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής ώθησαν τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC). Σε σχέση τις υπόλοιπες διεθνείς συμφωνίες, η διαπραγμάτευση της Σύμβασης ήταν αρκετά σύντομη. Ήταν έτοιμη προς υπογραφή στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (γνωστότερη ως Συνάντηση Κορυφής για την Προστασία της Γης) το 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο.

Η Σύμβαση αυτή λοιπόν, αλλά και το Πρωτόκολλο του Κιότο που ακολούθησε, είναι οι πρώτες διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο^[2] προσδιορίστηκαν τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων ρύπων (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs και SF₆). Το Πρωτόκολλο προβλέπει τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει να δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές των αερίων αυτών στην πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) κατά ένα συγκεκριμένο στόχο σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια).

Οι προσπάθειες αυτές επιδιώκεται να γίνουν με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών,

την κοινή εφαρμογή και

το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης.

Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (όπως για παράδειγμα κράτη και υπόχρεες εγκαταστάσεις) κατά τη θεωρία των «property rights», ενώ οι άλλοι δύο βασίζονται σε προγράμματα έργων (σε χώρες του Παραρτήματος Ι ο δεύτερος και σε χώρες εκτός του Παραρτήματος Ι ο τρίτος).

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο αναγνωρίστηκε ότι οι εκπομπές από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα δεν μπορούν να αποδοθούν σε συγκεκριμένες χώρες λόγω του διεθνούς χαρακτήρα της αλλά και της πολυπλοκότητας που τη διέπει. Ωστόσο, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organisation-IMO), αναγνωρίζοντας το μέγεθος του προβλήματος ασχολήθηκε κι συνεχίζει να ασχολείται εντατικά με αυτό, κάνοντας πολυάριθμες μελέτες από τις οποίες έχουν προκύψει τα διάφορα συμπεράσματα.

Στις μελέτες του IMO^[3] σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου, παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 2°C τα τελευταία χρόνια σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Περαιτέρω αύξηση μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες, ενώ για να παραμείνει η θερμοκρασία σε αυτά τα επίπεδα πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές παγκοσμίως κατά 50-85% έως το 2050.

Τονίζεται επίσης, ότι αν και η ναυτιλία είναι ένα πολύ αποδοτικό μέσο μεταφοράς, ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τη μόλυνση του αέρα σε παγκόσμιο επίπεδο. Όσον αφορά την Ευρώπη, το 2000 για παράδειγμα, οι ναυτιλιακοί ρύποι NOx και SOx κυμαίνονταν περίπου στο 20-30% των συνολικών παραγόμενων από πηγές στη στεριά.

Ακόμα, αναφέρεται ότι λόγω της αναμενόμενης αύξησης του εμπορίου μέχρι το 2050 εκτιμάται ότι το ποσοστό αυτό θα αυξηθεί κατά 150-250% αν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα, ενώ υπολογίζεται ότι για να επιτευχθούν οι στόχοι για την παγκόσμια μείωση θα πρέπει να έχουμε μία μείωση των εκπομπών από 25g/ton nautical mile σε 4g/ton nautical mile.

Επισημαίνεται ότι αν και η διεθνής ναυτιλιακή δραστηριότητα συνεισφέρει λίγο στις συνολικές εκπομπές, απαιτείται μία παγκόσμια προσπάθεια να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα και να μειωθούν αποτελεσματικά οι εκπομπές από τις θαλάσσιες μεταφορές καθώς αυτές αναμένεται να αυξηθούν λόγω του σχετικά χαμηλότερου κόστους τους αλλά και τις περαιτέρω ανάπτυξης του παγκόσμιου εμπορίου. Τονίζεται ότι η ζήτηση για τις θαλάσσιες μεταφορές αυξανόταν περίπου κατά 5,5% ετησίως την περίοδο 2000-2007. Τέλος, τονίζεται ότι ο πιο σημαντικός ρύπος από τα πλοία που ευθύνεται για την έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το CO₂.

Λόγω των παραπάνω παρατηρήσεων και στην προσπάθεια εύρεσης αποτελεσματικών λύσεων ο IMO θέσπισε ορισμένα υποχρεωτικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία τα οποία συμπεριλήφθηκαν στο Παράρτημα VI της MARPOL.

Το Παράρτημα VI τέθηκε σε ισχύ πρόσφατα, το 2005, και αφορούσε τη μείωση πτητικών οργανικών ενώσεων που απελευθερώνονται από τα φορτία των δεξαμενοπλοίων αλλά και μείωση των εκπομπών θειικών οξειδίων (SO_x) και νιτρικών οξειδίων (NO_x). Μόλις το 2011, στην 62^η Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee-MEPC), προστέθηκε ένα τέταρτο κεφάλαιο όπου συμπεριλήφθηκε κανονισμός σχετικά με τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και όρια στην κατανάλωση ενέργειας. Εκεί, ο IMO επικεντρώνει το ενδιαφέρον του σε 2 βασικούς μηχανισμούς που έχουν στόχο τη διασφάλιση ενός ορίου ενεργειακής αποδοτικότητας για τα πλοία:

-θεσπίζοντας ένα ελάχιστο όριο ενεργειακής αποδοτικότητας για τα νέα πλοία μέσω του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index- EEDI) και

-ενθαρρύνοντας τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω του Σχεδίου Διαχείρισης της Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (Ship Energy Efficiency Plan-SEEMP)

Οι παραπάνω κανονισμοί ισχύουν για όλα τα πλοία με ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) πάνω από 400 κόρρους και τέθηκαν σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου του 2013.

1.3 Προβλέψεις για το μέλλον

Η πρόβλεψη των εκπομπών του μέλλοντος περιλαμβάνει διάφορες αβεβαιότητες. Αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι δεδομένα τα αποτελέσματα των μέτρων και το κόστος τους, ούτε μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η ανάπτυξη του στόλου και της τεχνολογίας. Σύμφωνα με το DNV όμως, η μεγαλύτερη αβεβαιότητα σχετίζεται με την τιμή του καυσίμου, η οποία έχει υπολογιστεί 350\$/t και 500\$/t για καύσιμο κανονικό και υψηλής ποιότητας αντίστοιχα.

Τον Ιούνιο του 2009 ο Det Norske Veritas (DNV) δημοσίευσε μία πρώτη μελέτη^[4], εξετάζοντας τους πιθανούς τρόπους μείωσης των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία. Το πιο σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι οι εκπομπές του υπάρχοντος στόλου μπορούν να μειωθούν αποτελεσματικά κατά 15%. Η επόμενη μελέτη που έγινε^[4] εξετάζει τη μείωση των εκπομπών περί το 2030.

Στην έρευνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή 25 διαφορετικών μέτρων στον υπάρχοντα στόλο και στα νέα πλοία της περιόδου 2010-2030. Τα συμπεράσματα δείχνουν ότι οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν κατά 500MT ή κατά 30% τρόπους που να είναι αποτελεσματικοί και από άποψη κόστους.

Από τα μέτρα που εξετάστηκαν, λίγα είναι κατασκευαστικά. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και μέτρα καλύτερων συμβολαίων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ταξιδιών των πλοίων σε άφορτη κατάσταση.

Αν η ναυτιλία έχει την προσδοκώμενη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια και τις ανάλογες εκπομπές θα χρειαστούν επιπρόσθετα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών σε επίπεδα κάτω από τα σημερινά. Στην Εικόνα 1.1 φαίνονται οι μειώσεις των εκπομπών από την εφαρμογή 25 μέτρων αλλά και η σχέση κόστους- απόδοσης του καθενός. Τα 17 από αυτά θεωρούνται τεχνικά μέτρα και τα υπόλοιπα 8 λειτουργικά. Συγκεκριμένα, φαίνονται τα διάφορα μέτρα που εξετάστηκαν, το κόστος ανά τόνο CO₂ που δεν εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, ενώ στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η μείωση του αυτού ετησίως με κάθε μέτρο.

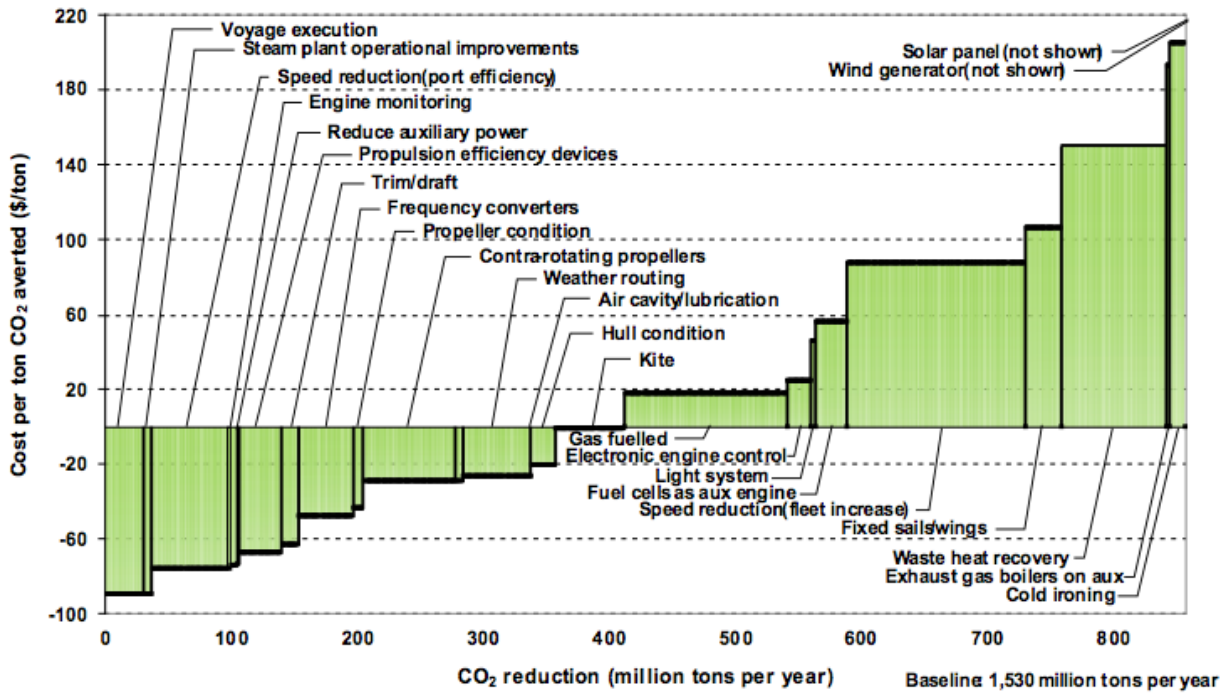
Οι συνολικές εκπομπές CO₂ για το 2009 υπολογίστηκαν σε 925MT, με βάση το στόλο που μελετάται στη μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου. Ο DNV υπολόγισε για το 2030 1530MT, λαμβάνοντας υπόψη την σημαντική ανάπτυξη της ναυτιλίας σε αυτή την περίοδο. Για κάθε χρόνο υπολογίστηκε ένας αριθμός πλοίων που θα αποσύρονται από την αγορά, αλλά και καινούρια πλοία που θα εισέρχονται σε αυτήν. Έτσι, ο ρυθμός ανάπτυξης υπολογίστηκε 2,3%.

Με τα μέτρα που παρουσιάστηκαν οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν έως και κατά 30% με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και κατά 60% αν εφαρμοσθούν όλα τα μέτρα που περιγράφονται, καθώς στη δεύτερη περίπτωση απαιτείται επιπλέον κόστος. Τονίζεται ότι δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο μέτρο που να έχει τόσο σημαντικά αποτελέσματα, αλλά είναι ο συνδυασμός αυτών. Στην Εικόνα 1.2 φαίνεται το κόστος σε σχέση με τα αποτελέσματα των μέτρων εκφρασμένα σε τόνους μείωσης των ετησίων εκπομπών CO₂.

Βασική υπόθεση στην οποία βασίζεται η μελέτη είναι ότι η ναυτιλία θα συνεχίσει να εξαρτάται από καύσιμα που είναι βασισμένα σε άνθρακα στις επόμενες δεκαετίες. Τα καύσιμα όπως η πυρηνική ενέργεια, τα βιολογικά καύσιμα 2^{ης} γενιάς και το υδρογόνο δεν έχουν περιληφθεί σε αυτή την έρευνα.

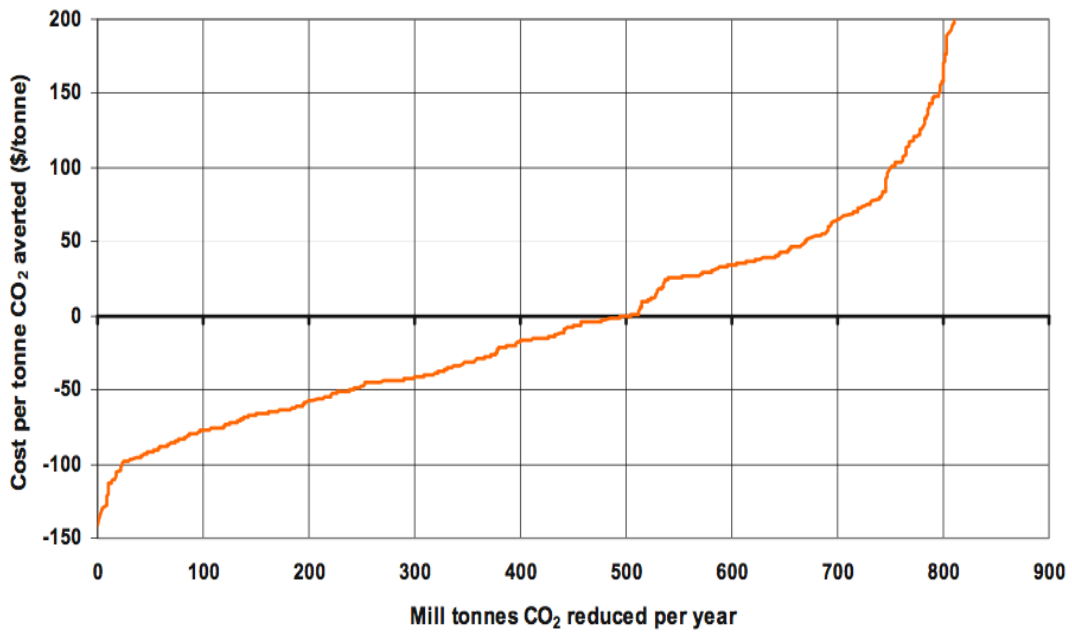
Σημειώνεται ότι καύσιμα που περιέχουν λιγότερη ποσότητα άνθρακα παραμένουν αποτελεσματικά για να μειώσουν τις εκπομπές CO₂, με σημαντικότερο από αυτά το φυσικό αέριο.

Average abatement curves for world shipping fleet 2030



Εικόνα 1.1^[4]

Figure 2 – Detailed Abatement curves for world shipping fleet 2030



Εικόνα 1.2^[4]

Στην τελευταία μελέτη του DNV^[5] γίνεται ανάλυση με τη χρήση ενός πιθανοθεωρητικού μοντέλου προς την εύρεση λύσεων μέχρι το 2050. Αναλύονται οι λύσεις που προτάθηκαν στην μελέτη του 2009 αλλά μοντελοποιούνται και εναλλακτικοί τύποι καυσίμων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λήψη λειτουργικών και τεχνικών μέτρων σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα και φυσικό αέριο μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομικά αποδοτική μείωση των εκπομπών CO₂ το 2050 έως και 50%, σταθεροποιώντας ουσιαστικά τις εκπομπές στα σημερινά επίπεδα. Σημειώνεται επίσης ότι για να συμβάλει η ναυτιλία στο στόχο που έχει τεθεί, δηλαδή μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 2 βαθμούς κελσίου, πρέπει να υπάρξουν κίνητρα χρηματικά ή κανονισμοί που να προωθούν τη χρήση βιοκαυσίμων σαν εναλλακτική λύση. Τέλος, προτείνεται η χρήση πυρηνικής ενέργειας στα μεγάλα πλοία και η απομάκρυνση από τα παραδοσιακά καύσιμα HFO (Heavy Fuel Oil) και MGO (Marine Diesel Oil) προς δραστική μείωση των εκπομπών.

Συνοπτικά λοιπόν, οι επικρατέστεροι εναλλακτικοί τύποι καυσίμων είναι το φυσικό αέριο, τα βιοκαύσιμα και η πυρηνική ενέργεια με 20%, 50% και 100% μείωση των εκπομπών αντίστοιχα σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα.

Στην Εικόνα 1.3 φαίνεται η μείωση των εκπομπών CO₂ με τη χρήση διαφόρων συνδυασμών των εναλλακτικών αυτών καυσίμων αν αυτά χρησιμοποιηθούν παράλληλα με την εφαρμογή τεχνικών και λειτουργικών μέτρων. Τέλος στην Εικόνα 1.4 φαίνεται η μείωση των εκπομπών που μπορεί να επιτευχθεί με χρηματικά κίνητρα μόνο με τη χρήση αυτών των καυσίμων.

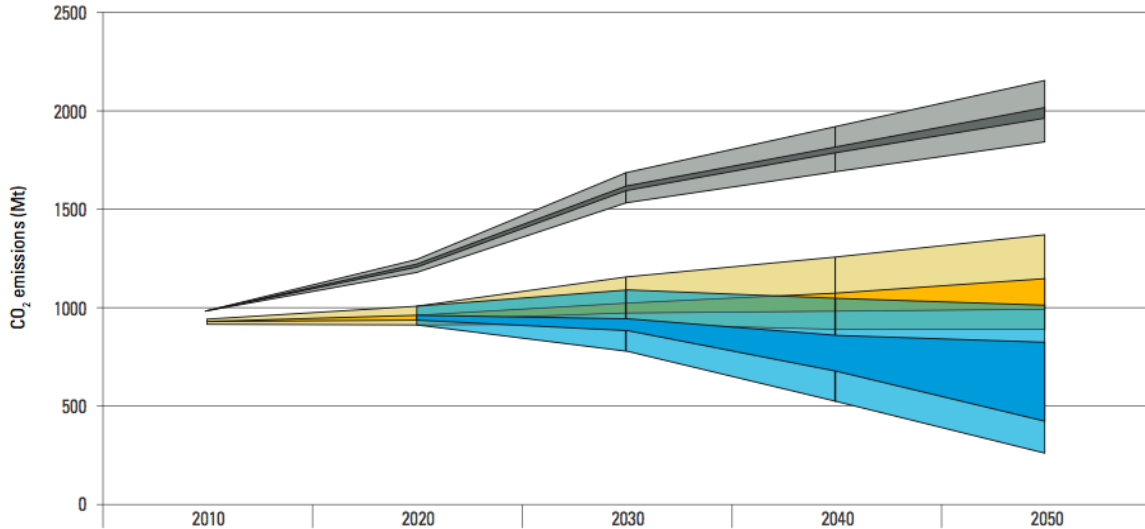


Figure 1: Baseline emissions (grey) vs. emissions including cost-effective uptake of alternative fuels. Blue sector shows potentials including uptake of nuclear, biofuel and LNG, as well as technical and operational measures. The yellow sector shows the same potential, but excludes nuclear. The achievable emission levels are illustrated, displaying the maximum, minimum, 25% and 75% percentiles of 200 model realizations; the dark shaded area covers the central 50% of the model runs.

Εικόνα 1.3^[5]

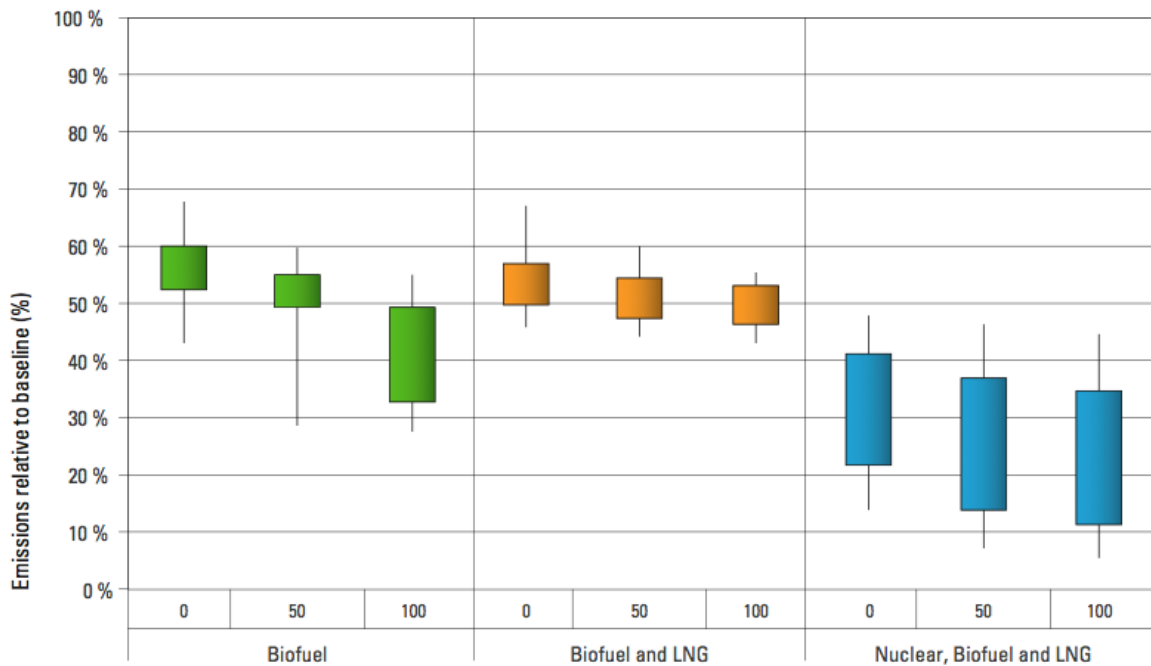


Figure 2: CO₂ emissions relative to baseline for the world shipping fleet in 2050, allowing for various alternative fuels. For each allowed fuel option, the uptake criterion is set at 0, 50 and 100 USD/t CO₂. The emission levels are displaying for the maximum, minimum, 25 % and 75 % percentiles of 200 model realizations. The colour areas cover the middle 50 % of the model runs. The left-hand yellow bar and the left-hand blue bar in this graph are also shown in Figure 1 (for 2050).

Εικόνα 1.4^[5]

1.4 Εναλλακτικές επιλογές καυσίμων

Ο περιορισμός στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη ώστε αυτή να μην αυξηθεί πάνω από 2 βαθμούς κελσίου, απαιτεί να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ σε σχέση με το σημερινό επίπεδο. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, οι συνολικές εκπομπές το 2050 θα πρέπει να είναι 40% χαμηλότερες από σήμερα. Τονίζεται ότι αν δεν ληφθεί κάποιο μέτρο, οι εκπομπές από τη ναυτιλία θα αντιπροσωπεύουν το 10% των συνολικών εκπομπών.

Οι τρόποι να επιτευχθεί ο στόχος αυτός είναι 2:

-να επιτραπεί η χρήση πυρηνικής ενέργειας (μείωση στο 1/3)

-να υπάρξουν κίνητρα και κανονισμοί για τη χρήση βιοκαυσίμων και φυσικού αερίου.

1.4.1 Φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas-LNG)

Για την αποθήκευσή του χρειάζονται δεξαμενές με όγκο 3-4 φορές μεγαλύτερο από τις δεξαμενές των παραδοσιακών καυσίμων. Το φυσικό αέριο αποθηκεύεται είτε συμπιεσμένο είτε υγρή μορφή, οπότε οι δεξαμενές είναι εκ των πραγμάτων πιο ακριβές. Από πλοία που έχουν κατασκευαστεί προσφάτως, συμπεραίνεται ότι το κόστος κατασκευής πλοίου που χρησιμοποιεί LNG είναι 10-15% μεγαλύτερο. Τέλος, για την χρήση ευρεία χρήση του επιβάλλεται η δημιουργία περισσότερων σημείων ανεφοδιασμού, κάτι που αναμένεται να συμβεί τα επόμενα χρόνια ειδικά στις ECAs (Emission Control Areas)

1.4.2 Βιοκαύσιμα

Τα πιο ελπιδοφόρα βιοκαύσιμα είναι το βιοντίζελ και το αργό πετρέλαιο από τα φυτά. Τα καύσιμα αυτά παρουσιάζουν προκλήσεις όσον αφορά την ανάπτυξη μικροοργανισμών αλλά και τη διάβρωση που προκαλούν. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να επιλυθούν αλλά το κατά πόσο αυτά θα χρησιμοποιηθούν ευρέως στο μέλλον εξαρτάται από την τιμή τους και τη διαθεσιμότητα τους στο μέλλον και από τα κίνητρα που θα υπάρξουν.

1.4.3 Πυρηνική ενέργεια

Με τη χρήση πυρηνικής ενέργειας δεν εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου. Έχει εφαρμοστεί ήδη σε πολλά πολεμικά πλοία και σε λίγα εμπορικά. Τα κύρια προβλήματα είναι το σημαντικό κόστος εγκατάστασης, η αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων και η κοινωνική αποδοχή.

1.5 Στόχος εργασίας

Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από όλες τις δραστηριότητες είναι επιτακτική. Το ίδιο συμβαίνει και με τις εκπομπές που προέρχονται από τη ναυτιλία καθώς αυτή αναπτύσσεται συνεχώς και αναμένεται να αναπτυχθεί περαιτέρω τις επόμενες δεκαετίες. Συγκεκριμένα για τη μείωση του CO₂, που κρίνεται ως ο σημαντικότερος ρύπος από τις θαλάσσιες μεταφορές, έχει γίνει μία έντονη προσπάθεια τα τελευταία χρόνια από τον IMO. Για τους περισσότερους κύριους τύπους πλοίων έχει καθοριστεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας (με τον προσδιορισμό μίας γραμμής αναφοράς για τον καθένα) στα πλαίσια του δείκτη EEDI ο οποίος τέθηκε σε ισχύ μόλις από τον Ιανουάριο του 2013. Ωστόσο, για ορισμένους τύπους πλοίων όπως τα επιβατηγά και τα Ε/Γ-Ο/Γ υπάρχουν δυσκολίες στον προσδιορισμό αυτής της γραμμής αναφοράς λόγω μεγάλων διαφορών στη σχεδίαση και στις λειτουργικές απαιτήσεις των πλοίων αυτών. Στον IMO έχουν υποβληθεί αρκετές προτάσεις σχετικά με αυτό το θέμα, οι οποίες προς το παρόν δεν φαίνονται ικανοποιητικές.

Ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός της γραμμής αναφοράς του EEDI για τα μεγάλα πλοία αναψυχής η οποία εκφράζει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας. Για το λόγο αυτό διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου που προτάθηκε στην 64^η Σύνοδο της MEPC (64/4/14) για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία μέσω της χρήσης ενός διορθωτικού συντελεστή fj.

Για να ολοκληρωθεί η μελέτη αυτή απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μελέτη της λειτουργίας των πλοίων αυτών, των συστημάτων πρόωσης τους και ο εντοπισμός των ιδιομορφιών τους, αλλά και σύγκριση τους με τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία για τα οποία έγινε η πρόταση που μας ενδιαφέρει. Επίσης, θα γίνει μελέτη των αρχών που διέπουν την αντίσταση και την πρόωση των πλοίων αυτών με χρήση της μεθόδου Holtrop and Mennen με σκοπό να ληφθούν υπόψη οι διαφορές που διέπουν τη σχεδίαση των συγκεκριμένων πλοίων λόγω των ειδικών απαιτήσεων που έχουν και των ιδιομορφιών τους. Τα παραπάνω θα γίνουν μετά από επισκόπηση των υπάρχοντων πλοίων αναψυχής από τη βάση δεδομένων του Lloyd's Register IHS Fairplay.

Τα αποτελέσματα θα αξιολογηθούν και σε περίπτωση που δεν είναι ικανοποιητικά θα γίνει προσπάθεια διασαφήνισης των λόγων που αυτό συμβαίνει και παρουσίασης κάποιας εναλλακτικής πρότασης. Έτσι, θα προκύψουν πολύτιμα συμπεράσματα για τα πλοία αυτά και για τη δίκαιη ενσωμάτωσή τους στους κανονισμούς του EEDI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ναυτιλία και EEDI

2.1 Αέριοι ρύποι από τη ναυτιλία

Σύμφωνα με τη 2^η μελέτη του IMO^[3] σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου του 2009, εκτιμήθηκε ότι το 2007 η διεθνής ναυτιλία ευθυνόταν για 870 εκατομμύρια τόνους, δηλαδή περίπου για το 2,7% της παγκόσμιας εκπομπής CO₂ από ανθρωπογενή δραστηριότητα, ενώ οι συνολικές θαλάσσιες μεταφορές για το 3,35%. Στην ίδια μελέτη προσδιορίστηκαν ορισμένα τεχνικά και λειτουργικά μέτρα τα οποία θεωρήθηκε ότι μπορούν να μειώσουν την εκπομπή CO₂ σε ποσοστό 25-75%.

Η ΜΕΡC κατέληξε τον Ιούλιο 2009 σε κάποια τέτοια μέτρα. Το Μάρτιο του 2010 ξεκίνησαν σκέψεις τα μέτρα αυτά να γίνουν υποχρεωτικά για όλα τα πλοία ανεξαρτήτως σημαία και πλοιοκτήτη. Η διαδικασία αυτή τελείωσε τον Ιούλιο του 2011 με την υιοθέτηση τεχνικών μέτρων για όλα τα νέα πλοία και λειτουργικών μέτρων μείωσης των εκπομπών για όλα τα πλοία. Τα μέτρα αυτά ήταν η πρώτη υποχρεωτική προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για έναν ολόκληρο βιομηχανικό τομέα ή μέσο μεταφοράς. Ωστόσο εν' όψη της αναμενόμενης αύξησης της ναυτιλιακής δραστηριότητας, τα μέτρα αυτά δεν είναι επαρκή και υπάρχουν σκέψεις για οικονομικά κίνητρα προκειμένου οι πλοιοκτήτες να επενδύσουν σε αποδοτικότερα συστήματα και να περιορίσουν τις εκπομπές.

Η υιοθέτηση των υποχρεωτικών μέτρων μείωσης των εκπομπών του IMO από το 2013 και μετά υπολογίζεται ότι θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση αυτών αλλά και σε σημαντική μείωση κόστους για τη ναυτιλία λόγω εξοικονόμησης καυσίμου. Μέχρι το 2020, με την τήρηση του SEEMP για όλα τα πλοία και του EEDI για τα νέα πλοία έχει υπολογιστεί ότι οι εκπομπές CO₂ θα παρουσιάσουν μείωση πάνω από 180 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Η μείωση, μέχρι το 2030, μπορεί να αυξηθεί μέχρι και σε 390 εκατομμύρια ετησίως. Πιο συγκεκριμένα, οι μειώσεις το 2020 υπολογίζονται από 9-16%, ενώ μέχρι το 2030 από 17-25%.

Οι μειώσεις θα συμβάλλουν σε ουσιαστική εξοικονόμηση καυσίμου στην διεθνή ναυτιλία. Ωστόσο, για να συμβεί αυτό πρέπει να γίνουν επενδύσεις για τη δημιουργία πιο αποδοτικών πλοίων και την τοποθέτηση καινούργιων τεχνολογιών. Η εξοικονόμηση εκτιμάται σε 34-60 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2020, ενώ μέχρι το 2030 ενδέχεται να φτάσουν τα 85-150 δισεκατομμύρια.

2.1.1 Περιγραφή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)

Ο EEDI για τα νέα πλοία, είναι το πιο σημαντικό μέτρο που έχει σαν σκοπό να προωθήσει τη χρήση πιο αποδοτικών μηχανών αλλά και εξοπλισμού με απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.

Ο EEDI απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας ανά τόνο επί ναυτικό μίλι, διαφορετικό για πλοία διαφορετικού τύπου και μεγέθους. Από την 1^η Ιανουαρίου 2013, και για ένα διάστημα 2 ετών (φάση 0) τα νέα πλοία θα πρέπει να

βρίσκονται κάτω από μία γραμμή αναφοράς, αυτή που έχει καθοριστεί για το συγκεκριμένο είδος πλοίου. Το επιτρεπόμενο επίπεδο θα γίνεται σταδιακά αυστηρότερο κάθε 5 χρόνια. Με αυτόν τον τρόπο, ο IMO στοχεύει στην συνεχή ανάπτυξη και σε καινοτόμες ιδέες για όποιο στοιχείο του πλοίου επηρεάζει την αποδοτικότητα και κατ' επέκταση οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωσης καυσίμου, από τη φάση της σχεδίασης του πλοίου.

Ο δείκτης αυτός δεν προκαθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα επιτευχθεί αλλά αφήνει την επιλογή της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί για το κάθε πλοίο, και κατά μία έννοια αξιολογεί την επίδοσή του. Οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές είναι ελεύθεροι να επιλέξουν την βέλτιστη για αυτούς λύση, αρκεί τελικά ο επιτευχθείς δείκτης να είναι μικρότερος από τον απαιτούμενο. Ο τύπος για τον ΕΕΔΙ βασίζεται σε διάφορες τεχνικές παραμέτρους και καταλήγει σε έναν συγκεκριμένο αριθμό για κάθε πλοίο, ο οποίος εκφράζει τα γραμμάρια CO₂ που παράγονται ανά μονάδα μεταφορικού έργου (gCO₂/capacity×mile). Όσο πιο μικρός είναι ο δείκτης, τόσο πιο αποδοτικό είναι το πλοίο.

Το επίπεδο μείωσης του CO₂ (για τα περισσότερα πλοία σε g/ton×mile) για την πρώτη φάση έχει καθοριστεί να είναι για κάποια πλοία ανάλογα με το μέγεθός τους έως 10% και θα γίνεται αυστηρότερο κάθε 5 χρόνια. Τα επίπεδα μείωσης έχουν καθοριστεί μέχρι την περίοδο 2025-2030 όπου έχει καθοριστεί 30% έως και μείωση. Τα επίπεδα αυτά καθορίζονται με βάση μία γραμμή αναφοράς η οποία αντιπροσωπεύει την μέση αποδοτικότητα πλοίων που κατασκευάστηκαν από το 2000-2010. Ο ΕΕΔΙ αναπτύχθηκε για τα πιο απαιτητικά σε ενέργεια πλοία του παγκόσμιου εμπορικού στόλου και θα καλύψει περίπου το 72% των εκπομπών από τα καινούρια πλοία που ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Πλοία μεταφοράς αερίου
- Δεξαμενόπλοια
- Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην
- Πλοία γενικού φορτίου
- Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων
- Πλοία ψυγεία
- Πλοία πολλαπλού φορτίου

Για τα πλοία που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω κατηγορίες, αναμένεται να αναπτυχθούν κατάλληλες γραμμές αναφοράς στο μέλλον.

Ο ΕΕΔΙ έγινε υποχρεωτικός για όλα τα νέα πλοία των τύπων που αναφέρθηκαν ενώ το SEEMP για όλα τα πλοία στη ΜΕΡC 62 (Ιούλιος 2011) με την υιοθέτηση καινούριων κανονισμών στο Παράρτημα VI της ΜΑΡΡΟL (Απόφαση ΜΕΡC.203(62)). Από τότε έχουν υιοθετηθεί 4 σημαντικές κατευθυντήριες γραμμές (αποφάσεις ΜΕΡC.212(63), ΜΕΡC.213(63), ΜΕΡC.214(63) και ΜΕΡC.215(63)) με σκοπό να

βοηθήσουν την εφαρμογή των υποχρεωτικών κανονισμών σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων όπως αυτή προσδιορίζεται στο σχετικό Παράρτημα:

-2012 οδηγίες για τη μέθοδο υπολογισμού του επιτευχθέντος EEDI για νέα πλοία (resolution MEPC.212(63))

-2012 οδηγίες για την ανάπτυξη του Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (resolution MEPC.213(63))

-2012 οδηγίες για τον έλεγχο και την πιστοποίηση του EEDI (resolution MEPC.214(63))

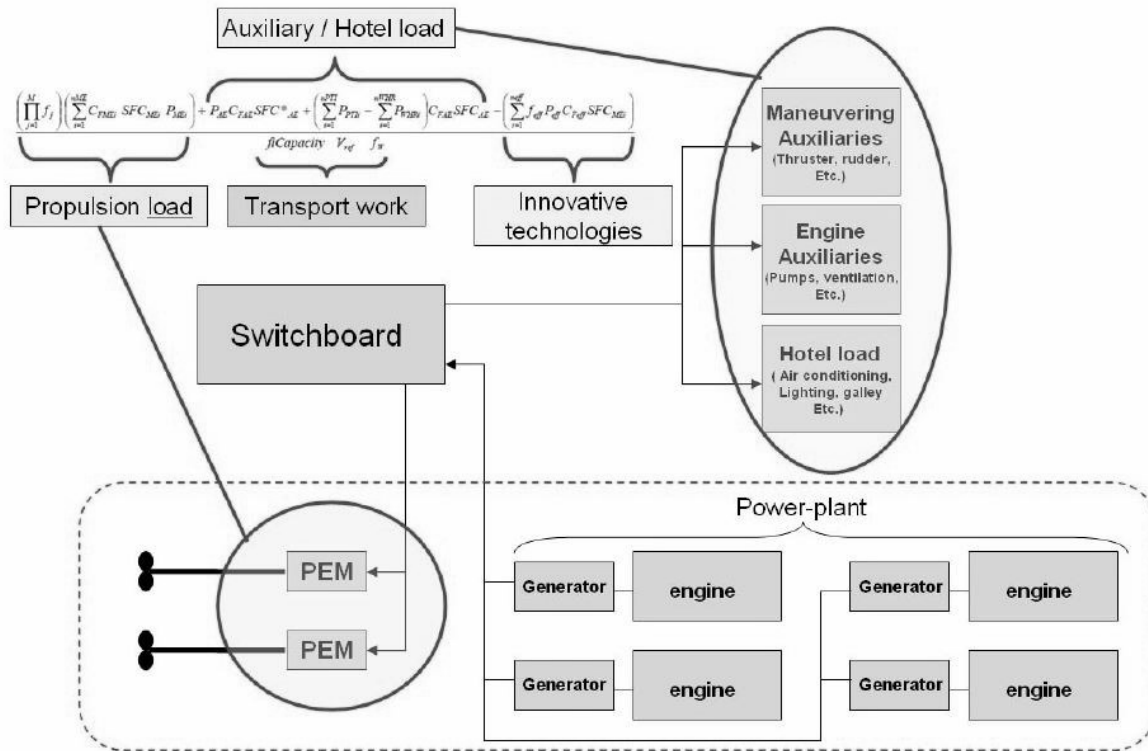
-Οδηγίες για τον υπολογισμό της γραμμής αναφοράς του απαιτούμενου EEDI (resolution MEPC.215(63))

Τα νέα μέτρα τέθηκαν σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου του 2013, με το σημαντικότερο από αυτά να είναι ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI). Ο EEDI εκφράζει σε γενικές γραμμές την εκπομπή CO₂ ως προς το μεταφορικό έργο δηλαδή ως προς capacity·nm (ton·nm για τους περισσότερους τύπους πλοίων). Οι κανονισμοί επιβάλουν ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας, το οποίο πρέπει να επιτυγχάνεται από όλα τα καινούρια πλοία που καλύπτει ο κανονισμός με χωρητικότητα μεγαλύτερη από 400GT.

Ο EEDI είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας της σχεδίασης ενός νέου πλοίου σε σχέση με τις εκπομπές CO₂ και εκφράζεται σε ποσότητα (γραμμάρια) που εκπέμπεται στο περιβάλλον ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου (tonne) και μονάδα απόστασης (nautical mile) που μεταφέρεται το φορτίο. Εκφράζει δηλαδή το περιβαλλοντικό κόστος σε σχέση με το όφελος για την κοινωνία. Ο γενικός τύπος σήμερα είναι:

$$EEDI =$$

$$\frac{\Pi f_j \Sigma P_{ME} C_{FME} SFC_{ME} + P_{AE} C_{AE} SFC_{AE} + (\Pi f_j \Sigma P_{PTI} - \Sigma f_{eff} P_{AE_{eff}}) C_{FAE} SFC_{AE} - \Sigma f_{eff} P_{eff} C_{FME} SFC_{ME}}{f_j f_w Capacity V_{ref}}$$



Εικόνα 2.1 [6]

2.1.2 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)

Το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP) είναι ένα λειτουργικό μέτρο που καθιερώνει ένα μηχανισμό που έχει σκοπό να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου με οικονομικά αποδοτικά τρόπο. Το SEEMP παρέχει μία προσέγγιση διαχείρισης της ενεργειακής επίδοσης ενός πλοίου ή στόλου για τις ναυτιλιακές εταιρείες, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα τον Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας κατά τη Λειτουργία (EEOI). Η οδηγία για την ανάπτυξη του SEEMP για νέα και υπάρχοντα πλοία εμπεριέχει τις βέλτιστες πρακτικές για την αποδοτικότητα του καυσίμου κατά τη λειτουργία του πλοίου, αλλά και οδηγίες για εθελοντική χρήση του EEOI (MEPC.1/Circ.684). Το SEEMP ωθεί τον πλοιοκτήτη να σκέφτεται νέες τεχνολογίες και πρακτικές ώστε να κάνει βέλτιστη την επίδοση του πλοίου.

2.1.3 Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας κατά τη Λειτουργία (EEOI)

Ο Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας κατά τη Λειτουργία (Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI) δίνει τη δυνατότητα μέτρησης της ενεργειακής αποδοτικότητας του καυσίμου ενός πλοίου σε λειτουργία αλλά και υπολογισμού της επίδρασης οποιασδήποτε αλλαγής στη λειτουργία του πλοίου. Τέτοια παραδείγματα είναι βελτιωμένη χάραξη πορείας ταξιδιού, συχνότερος καθαρισμός

της προπέλας, ακόμα και η εισαγωγή επί του πλοίου συστημάτων ανάκτησης ενέργειας.

Στην πιο απλή του μορφή ο δείκτης ορίζεται ως η μάζα CO₂ που εκπέμπεται ανά μονάδα ωφέλιμου μεταφορικού έργου: $EEOI = \frac{m_{CO_2}}{transport\ work}$

2.2 Ιστορική εξέλιξη του ΕΕΔΙ

Μετά το ψήφισμα A.963(23) της Συνέλευσης του ΙΜΟ, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (ΜΕΡC), εργάστηκε με σκοπό την καθιέρωση ενός δείκτη εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Παρακάτω, φαίνονται με ιστορική σειρά τα αποτελέσματα των σχετικών συνόδων της επιτροπής.

2.2.1 ΜΕΡC 53 - Ιούλιος 2005

Στη σύνοδο αυτή εκδόθηκαν προσωρινές κατευθυντήριες γραμμές για να γίνουν δοκιμές για έναν Εθελοντικό Δείκτη Εκπομπών CO₂, ώστε να αναπτυχθεί στη συνέχεια ένα απλό μοντέλο υπολογισμού.

2.2.2 ΜΕΡC 55 - Οκτώβριος 2006

Στη σύνοδο αυτή συμφωνήθηκε ένας χρονοδιάγραμμα εργασίας με σκοπό τον προσδιορισμό και την ανάπτυξη μηχανισμών περιορισμού των εκπομπών CO₂ από τα πλοία. Ανάμεσα σε άλλα, προβλεπόταν η περαιτέρω ανάπτυξη του Δείκτη Εκπομπών CO₂, καλώντας τα κράτη μέλη να συνεχίσουν να πραγματοποιούν σχετικές δοκιμές σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του 2005 και να τις αξιολογούν.

2.2.3 ΜΕΡC 56 - Ιούλιος 2007

Συμφωνήθηκε η ανάγκη καινούριας μελέτης για τα αέρια του θερμοκηπίου από τον ΙΜΟ (η προηγούμενη είχε γίνει το 2000) η οποία θα έπρεπε να υποβληθεί στην 59^η σύνοδο και να καλύπτει τα ακόλουθα ζητήματα:

-τις εκπομπές από πλοία που εκτελούν διεθνείς μεταφορές εκείνη την περίοδο αλλά και τα μελλοντικά σενάρια

-την πρόοδο που είχε γίνει μέχρι τότε στη μείωση των εκπομπών

-τον εντοπισμό πιθανών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών με σχετικές αναλύσεις κόστους-οφέλους και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών

-τον προσδιορισμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον των εκπομπών από τη ναυτιλία

2.2.4 ΜΕΡC 57- Απρίλιος 2008

Στην σύνοδο αυτή υιοθετήθηκαν οδηγίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Προέκυψε ένα σύνολο οδηγιών για τον υπολογισμό του δείκτη αλλά και μία μεθοδολογία για τον προσδιορισμό μίας γραμμής αναφοράς CO₂, με στόχο να συμφωνηθεί στην 58^η σύνοδο.

Προτάθηκε να λαμβάνονται μέτρα μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με τις παρακάτω θεμελιώδεις αρχές:

- 1.να είναι αποτελεσματικά στην μείωση των ολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- 2.να είναι δεσμευτικά και να ισχύει για όλα τα πλοία ανεξαρτήτου σημαίας
- 3.να είναι αποδοτικά από άποψη κόστους
- 4.να είναι ικανά να περιορίσουν, ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιήσουν τη στρέβλωση του ανταγωνισμού.
- 5.να βασίζονται σε βιώσιμη περιβαλλοντική ανάπτυξη, χωρίς να δυσκολεύουν το παγκόσμιο εμπόριο και την ανάπτυξη
- 6.να βασίζονται σε στόχους και όχι να προδιαγράφουν συγκεκριμένες μεθόδους
- 7.να υποστηρίζουν και να διευκολύνουν την τεχνολογική καινοτομία, την έρευνα και την ανάπτυξη σε ολόκληρο τον ναυτιλιακό τομέα
- 8.να υποστηρίζουν την εγκατάσταση καινούριων τεχνολογιών αιχμής όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα
- 9.να είναι πρακτικά, διαφανή, να μην είναι εύκολο να παραβιαστούν και να είναι εύκολα διαχειρίσιμα.

Στη σύνοδο αυτή παρουσιάστηκε από την Ιαπωνία ένας δείκτης εκπομπών CO₂. Η βασική ιδέα ήταν η αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων κατά τη φάση του σχεδιασμού με έναν απλό και εύχρηστο τρόπο. Ο δείκτης είχε την ακόλουθη μορφή:

$$INDEX = \frac{Fuel\ cons. \times Output\ of\ M.E \times (1+k_2) \times CO_2\ conversion}{DWT \times Maximum\ Speed \times k_1}$$

Ακολούθησαν κάποιες ενδιάμεσες συνεδριάσεις στις οποίες προσδιορίστηκε ένας προτεινόμενος υποχρεωτικός Δείκτης Σχεδίασης CO₂, η μεθοδολογία υπολογισμού του αλλά και ένα σχέδιο για το κανονιστικό πλαίσιο. Σημειώθηκε ότι ο δείκτης αυτός θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας καυσίμου, υπό τη μορφή μίας γραμμής αναφοράς. Η γραμμή αυτή θα προσδιοριζόταν με βάση την αποδοτικότητα των πλοίων που παραδόθηκαν τη δεκαετία 1995-2005. Στη συνεδρίαση αυτή προτάθηκε στα κράτη-μέλη να δοκιμάσουν την εφαρμογή του συγκεκριμένου δείκτη και να υποβάλουν τα

αποτελέσματα στην επόμενη σύνοδο. Η Δανία πρότεινε να διαχωριστούν οι εκπομπές των βοηθητικών μηχανών από αυτές των κυρίων σύμφωνα με τον τύπο:

$$Attained\ design\ CO_2\ Index = \frac{\Pi f_j \Sigma P_{ME} C_{FME} SFC_{ME} + \Pi f_k \Sigma P_{AE} P_{eff} C_{FAE} SFC_{AE}}{Capacity V_{ref}}$$

2.2.5 ΜΕΡC.58 - Οκτώβριος 2008

Συζητήθηκε το κατά πόσο τα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να γίνουν υποχρεωτικά. Πολλές αντιπροσωπείες χωρών εξέφρασαν την άποψη ότι το πλαίσιο πρέπει να ισχύσει για όλα τα πλοία, ανεξαρτήτως της σημαίας που φέρουν, ώστε τα μέτρα να είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η επιτροπή μετονόμασε επίσης τον δείκτη σε «Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (Energy Efficiency Design Index).

Στον τύπο υπολογισμού προστέθηκε ένας καινούριος παράγοντας f_w ο οποίος σχετίζεται με την μείωση της ταχύτητας σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Στη σύνοδο αυτή επαναπροσδιορίστηκαν με περισσότερη ακρίβεια οι όροι του δείκτη για τους διάφορους τύπους πλοίων, ενώ υπεισέρχεται ένας νέος παράγοντας σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας από καινοτόμες συσκευές από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Τέλος, συσκευές ανάκτησης θερμότητας λαμβάνονται υπόψη ενώ προτείνεται και ένας νέος συντελεστής f_j ο οποίος λαμβάνει υπόψη τεχνικές διαφορές των πλοίων που επηρεάζουν τη χωρητικότητα τους. Έτσι, ο δείκτης παίρνει την ακόλουθη μορφή και ονομάζεται πλέον Energy Efficiency Design Index.

$$EEDI = \frac{\Pi f_j \Sigma P_{ME} C_{FME} SFC_{ME} + P_{AEC} C_{AE} SFC_{AE} + (\Sigma P_{PT} - \Sigma P_{AE} P_{eff}) C_{FAE} SFC_{AE} - \Sigma f_{eff} P_{eff} C_{FME} SFC_{ME}}{f_j f_w Capacity V_{ref}}$$

2.2.6 ΜΕΡC.59 - Ιούλιος 2009

Με βάση τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης του IMO για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η επιτροπή συμφώνησε σε ένα πακέτο ενδιάμεσων εθελοντικών μέτρων για τη μείωση τους. Αποφασίστηκε λοιπόν η λήψη ενός συνόλου τεχνικών και λειτουργικών μέτρων με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία.

- Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)
- Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (SEEMP)
- Δείκτης Ένδειξης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEOI)

Ο ΕΕΔΙ έλαβε τη σημερινή του μορφή σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο: $EEDI =$

$$\frac{\sum P_{ME} C_{F_{ME}} SFC_{ME} + P_{AE} C_{F_{AE}} SFC_{AE} + (\sum P_{PTI} - \sum P_{AE_{eff}}) C_{F_{AE}} SFC_{AE} - \sum P_{eff} C_{F_{ME}} SFC_{ME}}{f_j f_w Capacity V_{ref}}$$

Από τα κράτη μέλη του IMO ζητήθηκε να γίνει μία πρώτη προαιρετική εφαρμογή του δείκτη για να δοκιμαστεί το κατά πόσο είναι εφικτή και αποτελεσματική η εφαρμογή του και να αποκτηθεί ανάλογη εμπειρία. Επίσης, ανακοινώθηκαν οδηγίες σχετικά με τον υπολογισμό του δείκτη σε νέα πλοία με τη MEPC 1/Circ.681 και οδηγίες για την επαλήθευση και τον έλεγχο του υπολογισμού από ανεξάρτητους οργανισμούς με MEPC 1/Circ.681.

Στον τύπο υπολογισμού οι παράμετροι προσδιορίζονται ως εξής:

- C_f : είναι αδιάστατος συντελεστής μετατροπής μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου, μετρημένης σε γραμμάρια και των εκπομπών CO_2 , μετρημένων επίσης σε γραμμάρια, ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

Το ντίζελ με περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,875 κρίνεται το πιο επιβλαβές, με $C_f=3,206$ t- CO_2 /t-fuel. Το LNG με περιεκτικότητα ίση με 0,75 κρίνεται το πιο φιλικό προς το περιβάλλον με $C_f=2,75$ t- CO_2 /t-fuel

-οι δείκτες ME και AE αναφέρονται αντίστοιχα στις κύριες και στις βοηθητικές μηχανές

- V_{ref} : η ταχύτητα του πλοίου, μετρούμενη σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (knot), σε βαθύ νερό, στη μέγιστη κατάσταση φόρτωσης, υποθέτοντας απουσία ανέμου και κυμάτων

-Capacity: για τα πλοία που αναφέρθηκαν προηγουμένως και για τα οποία έχει καθοριστεί ο ΕΕΔΙ σαν χωρητικότητα ορίζεται το πρόσθετο βάρος του πλοίου (DWT), εκτός από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που ορίζεται το 70% DWT. Για τα επιβατηγά πλοία και τα Ε/Γ-Ο/Γ, σαν χωρητικότητα ορίζεται η ολική χωρητικότητα (GT), σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη Μέτρησης Ολικής Χωρητικότητας Πλοίων του 1969

-P: η ισχύς των κυρίων και των βοηθητικών μηχανών, μετρούμενη σε kW

- P_{ME} : το 75% της εγκατεστημένης ισχύος (MCR) για κάθε κύρια μηχανή, αφού αφαιρεθεί η παραγόμενη ισχύς οποιασδήποτε εγκατεστημένης γεννήτριας άξονα (P_{PTO})
- P_{PTO} : το 75% της ισχύος εξόδου κάθε εγκατεστημένης γεννήτριας άξονα, διαιρούμενης με τη σχετική απόδοση αυτής
- P_{PTI} : το 75% της ονομαστικής κατανάλωσης ισχύος του κάθε κινητήρα άξονα, διαιρούμενο με τη σταθμισμένη μέση απόδοση των γεννητριών

- P_{eff} : το 75% της μείωσης της ισχύος της κύριας μηχανής, λόγω ύπαρξης καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας.

- P_{AEff} : είναι η μείωση της βοηθητικής ισχύος εξαιτίας της ύπαρξης καινοτόμων ηλεκτρολογικών τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας

- P_{AE} : είναι η απαιτούμενη ισχύς βοηθητικής μηχανής, για να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για το σύστημα πρόωσης και ενδίαιτησης, όπως π.χ. αντλίες της κύριας μηχανής, συστήματα και συσκευές ναυσιπλοΐας και οικιακές συσκευές, εξαιρουμένης της ισχύος των μηχανημάτων που δεν παρέχουν ισχύ πρόωσης στην κατάσταση όπου το πλοίο ταξιδεύει με ταχύτητα V_{ref} στην σχεδιαστική κατάσταση φόρτωσης (π.χ. ωθητήρες, αντλίες φορτίου, έρματος, συσκευές συντήρησης φορτίου κ.λπ.). Προσδιορίζεται στις παραγράφους 2.5.6.1 και 2.5.6.2 του Παραρτήματος της ΜΕΡC.212 (63). Συγκεκριμένα για πλοία μεταφοράς φορτίου η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των κυρίων μηχανών είναι μεγαλύτερη από 10000Kw, τότε $P_{AUX}=(0,025 \times \Sigma MCR_{ME})+250$, αλλιώς $P_{AUX}=(0,05 \times \Sigma MCR_{ME})$. Για πλοία όπου η βοηθητική ισχύς είναι αρκετά διαφορετική, όπως για παράδειγμα στα επιβατηγά πλοία, αυτή υπολογίζεται από την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (εξαιρουμένης της ενέργειας πρόωσης) στην κατάσταση αναφοράς, όπως αυτή δίνεται από τους πίνακες ηλεκτρικής ισχύος, διαιρούμενη με τη σταθμισμένη μέση αποδοτικότητα των γεννητριών

-SFC: είναι η πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση πετρελαίου, μετρούμενη σε g/kWh

- f_j : συντελεστή διόρθωσης που λαμβάνει υπόψη ειδικά σχεδιαστικά στοιχεία

- f_w : είναι ένας αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος δείχνει τη μείωση της ταχύτητας σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις θάλασσας

2.2.7 ΜΕΡC 60 - Μάρτιος 2010

Στη Σύνοδο αυτή συζητήθηκε η ενδεχόμενη υποχρεωτική εφαρμογή του δείκτη και έγιναν υπολογισμοί ώστε να καθιερωθεί η γραμμή αναφοράς από τον υπάρχοντα στόλο σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του Lloyds Register. Επίσης, συμφωνήθηκε, παρά τη διαφωνία ορισμένων χωρών, να γίνει ο EEDI υποχρεωτικός και να ενταχθεί στο Παράρτημα VI της MARPOL, ενώ υποβλήθηκε ένα αρχικό σχετικό σχέδιο.

Τέλος, συζητήθηκε και παρουσιάστηκε ένα αρχικό κείμενο των κανονισμών, αλλά υπήρξε διαφωνία σχετικά με το χρονικό διάγραμμα εφαρμογής τους. Οι κανονισμοί αυτοί προσδιορίζουν τον επιτευχθέντα και τον απαιτούμενο EEDI για κάθε τύπο πλοίου. Ορίζεται επίσης η φάση 0 μέχρι τις 31/12/2014 όπου και θα ισχύει ότι ο απαιτούμενος δείκτης αντιστοιχεί σε αυτόν που προκύπτει από τη γραμμή αναφοράς. Στη φάση 1, (1/1/2015-21/12/2019) ο απαιτούμενος δείκτης θα είναι μειωμένος κατά 10%, στη φάση 2 (1/1/2020-21/12/2024) μειωμένος κατά 20% και στη φάση 3 (1/1/2025 και μετά) κατά 30% σε σχέση με την αρχική γραμμή

αναφοράς. Οι κανονισμοί αυτοί αφορούν τους 7 τύπους πλοίων για τα οποία έχει καθοριστεί και ισχύει ο δείκτης και σήμερα.

2.2.8 ΜΕΡC 61 - Σεπτέμβριος και Οκτώβριος 2010

Στη Σύνοδο αυτή συμφωνήθηκαν και εκδόθηκαν οδηγίες σχετικά με:

- τον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς με βάση το μέσο όρο του ΕΕΔΙ των υπαρχόντων πλοίων
- την επιθεώρηση και την πιστοποίηση του δείκτη
- τον υπολογισμό του δείκτη

2.2.9 ΜΕΡC 62 - Ιούλιος 2011

Αποφασίστηκε η τροποποίηση του παραρτήματος VI της MARPOL (resolution ΜΕΡC.203(62)) καθιστώντας το δείκτη ΕΕΔΙ υποχρεωτικό. Ορίστηκε ότι τα νέα μέτρα θα τεθούν σε εφαρμογή από την 1/1/2013 για όλα τα νέα πλοία που εμπίπτουν στις 7 κατηγορίες άνω των 400GT. Ωστόσο, σύμφωνα με τον κανονισμό 19, η Σημαία μπορεί να αναιρέσει την απαίτηση για νέα πλοία άνω των 400GT για πλοία των οποίων το συμβόλαιο κατασκευής θα γίνει μέχρι τον Ιανουάριο του 2017.

2.2.10 ΜΕΡC 63 - Μάρτιος 2012

Στη σύνοδο αυτή οριστικοποιήθηκαν οδηγίες υπολογισμού και ελέγχου της τιμής του δείκτη για τα νέα πλοία και καθορίστηκε ότι ο δείκτης αυτός θα εφαρμοστεί σε όλα τα πλοία που εμπίπτουν στις 7 κατηγορίες με συμβόλαιο κατασκευής από 1/1/2013.

2.2.11 ΜΕΡC 64 - Οκτώβριος 2012

Στη σύνοδο αυτή αποφασίστηκε ένα κατώτατο επίπεδο ασφάλειας και ο τρόπος προσδιορισμού του έτσι ώστε όταν ικανοποιείται ο κανονισμός για την ενεργειακή αποδοτικότητα να εξασφαλίζεται η ασφαλής ναυσιπλοΐα. Το επίπεδο αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της ελάχιστης υποδύναμης για τα νέα πλοία έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ικανότητα ελιγμών σε αντίξοες συνθήκες.

2.3 Γραμμή αναφοράς

Στην 63 Σύνοδο της ΜΕΡC (ΜΕΡC 215(63)) παρουσιάστηκε ο τρόπος προσδιορισμού της γραμμής αναφοράς, η οποία εκφράζει την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και το μέγεθός του.

Η γραμμή αναφοράς κατασκευάζεται για κάθε τύπο πλοίου για τον οποίο ισχύει ο Κανονισμός 21 της ΜΑΡΡΟL. Ο σκοπός του ΕΕΔΙ είναι η παροχή μιας δίκαιης βάσης για τη σύγκριση μεταξύ των πλοίων αλλά και να προωθήσει την ανάπτυξη πιο αποδοτικών πλοίων, καθιερώνοντας ένα ελάχιστο επίπεδο αποδοτικότητας για τα νέα πλοία, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθός τους. Οι τύποι των πλοίων προσδιορίζονται στον Κανονισμό 2 της ΜΑΡΡΟL του Παραρτήματος VI. Η βάση αναφοράς για κάθε τύπο πλοίου χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ελάχιστου (απαιτούμενου) ΕΕΔΙ, όπως αυτός προσδιορίζεται στον κανονισμό 21. Οι ΜΕΡC.215(63) παρέχει αναλυτικές οδηγίες για την κατασκευή της γραμμής αναφοράς για τις παρακάτω κατηγορίες πλοίων.

- Πλοία μεταφοράς αερίου
- Δεξαμενόπλοια
- Πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην
- Πλοία γενικού φορτίου
- Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων
- Πλοία ψυγεία
- Πλοία πολλαπλού φορτίου

Ωστόσο τονίζεται ότι για πλοία Ro-Ro μεταφοράς φορτίου και επιβατών και επιβατηγά αλλά και για πλοία με νηζελο-ηλεκτρική πρόωση, αεριοστροβίλους και με υβριδική πρόωση δεν έχει καθιερωθεί τρόπος υπολογισμού της γραμμής αναφοράς. Για τα πλοία αυτά επιβάλλεται να γίνουν περαιτέρω μελέτες για τον καθορισμό μίας γραμμής αναφοράς η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του ΕΕΔΙ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Επισκόπηση βιβλιογραφίας

3.1 Τρόπος καθορισμού της γραμμής αναφοράς

Ο δείκτης EEDI έχει σκοπό να αυξήσει την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων, να ενθαρρύνει την πρόοδο της τεχνολογίας και την σχεδίαση βέλτιστων πλοίων και επιτρέπει τη σύγκριση της ενεργειακής αποδοτικότητας ομοίων πλοίων, δηλαδή πλοίων που προσφέρουν το ίδιο μεταφορικό έργο. Έτσι, διευκολύνονται οι αγοραπωλησίες και οι ναυλώσεις καθώς τα πιο αποδοτικά πλοία θα είναι επιθυμητά.

Ο επιτευχθείς EEDI θα επιβεβαιώνεται τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού, τόσο και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του πλοίου με κατάλληλες δοκιμές θαλάσσης. Πρέπει να υπολογίζεται για νέα πλοία, για νέα πλοία που έχουν υποστεί μετασκευή και για νέα ή υπάρχοντα πλοία στα οποία έχει γίνει μετασκευή τόσο μεγάλη ώστε να θεωρούνται νέα. Ο δείκτης υπολογίζεται μόνο για πλοία με χωρητικότητα μεγαλύτερη από 400 GT και μόνο για πλοία που χρησιμοποιούν συμβατική πρόωση καθώς για τα υπόλοιπα η διαδικασία είναι υπό επεξεργασία.

Attained EEDI ≤ Required EEDI= (1-x) Reference Line Value, όπου:

-x ένας συντελεστής μείωσης του δείκτη στις διάφορες φάσεις ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και

-Reference Line Value μία συνάρτηση της μορφής $a \times b^{-c}$ που υπολογίζεται για κάθε τύπο πλοίου

Η γραμμή αναφοράς έτσι όπως έχει οριστεί μέχρι σήμερα είναι της μορφής $a \times (\text{Capacity})^{-c}$, όπου τα a και c είναι παράμετροι που προσδιορίζονται από την παρεμβολή της καμπύλης μεταξύ των στοιχείων που προκύπτουν από τα υπάρχοντα πλοία. Τα πλοία που απέχουν παραπάνω από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης απορρίπτονται και προσδιορίζεται ξανά η καμπύλη. Γενικά, τα μισά πλοία πρέπει να βρίσκονται πάνω από τη γραμμή αναφοράς και τα άλλα μισά κάτω από αυτή, έτσι ώστε αυτή να αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των πλοίων.

Οι γραμμές αναφοράς δημιουργήθηκαν με βάση τα στοιχεία από τη βάση δεδομένων του Lloyd's Register IHS Fairplay για υπάρχοντα πλοία που παραδόθηκαν από την 1^η Ιανουαρίου 1999 μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2009. Πλοία για τα οποία έλειπαν στοιχεία, αφαιρέθηκαν από του υπολογισμούς.

Για τον υπολογισμό της γραμμής αναφοράς του EEDI χρησιμοποιείται μία εκτίμηση της τιμής του EEDI για κάθε πλοίο σύμφωνα με τον τύπο:

$$EEDI = C_f \cdot \frac{SFC_{ME} \cdot \sum P_{ME} + SFC_{AUX} \cdot P_{AUX}}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

Έτσι, η τιμή του EEDI υπολογίζεται σε g/ton mile

Όπου για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς γίνονται κάποιες παραδοχές για όλα τα πλοία:

- C_f : η εκπομπή CO₂ η οποία θεωρείται σταθερή για όλες τις μηχανές, και ίση με 3,1144 g CO₂/g καυσίμου
- SFC_{ME} (Specific Fuel Consumption): η ειδική κατανάλωση των κυρίων μηχανής η οποία θεωρείται ίση με 190 g/kWh
- SFC_{AUX} (Specific Fuel Consumption): η ειδική κατανάλωση των βοηθητικών μηχανών ίση με 215 g/kWh
- P_{ME} : το 75% της εγκατεστημένης ισχύος της κύριας μηχανής σε kW
- P_{AUX} : η βοηθητική ισχύς η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τις παραγράφους 2.5.6.1 και 2.5.6.2 του Παραρτήματος της ΜΕΡC.212 (63)
- V_{ref} : η ταχύτητα υπηρεσίας σε knots στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης σε ήρεμη θάλασσα στο 75% της μέγιστης ισχύος της μηχανής.
- Capacity: η χωρητικότητα, δηλαδή το DWT για τους περισσότερους τύπους πλοίων σε κατάσταση πλήρους φόρτωσης

Δεν γίνεται η χρήση κανενός διορθωτικού συντελεστή και δεν λαμβάνονται υπόψη συσκευές ανάκτησης ενέργειας.

Για τα επιβατηγά πλοία έχει προταθεί ως χωρητικότητα (Capacity) να θεωρείται η ολική χωρητικότητα σε Gross Tons σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη Μέτρησης Ολικής Χωρητικότητας Πλοίων του 1969 ή ο μέγιστος αριθμός των επιβατών.

Οι τιμές των παραμέτρων για τα πλοία που έχει καθοριστεί ήδη η γραμμή αναφοράς δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Ship type defined in regulation 21	a	b	c
Bulk Carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
Gas Carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
Container Ship	174.22	DWT of the ship	0.201
General Cargo Ship	107.48	DWT of the ship	0.216
Refrigerated Cargo Carrier	227.01	DWT of the ship	0.244
Combination Carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488

Πίνακας 3.1

Αν ένα πλοίο ανήκει σε παραπάνω από μία κατηγορίες τότε ο ΕΕΔΙ υπολογίζεται με βάση την πιο αυστηρή τιμή.

Οι κανονισμοί σύμφωνα με την 62^η Σύνοδο (ΜΕΡC 203(62)) προβλέπουν τα ακόλουθα ποσοστά μείωσης για τις διάφορες φάσεις εφαρμογής:

Ship Type	Size	Phase 0 (1Jan 2013-31 Dec 2014)	Phase 1 (1Jan 2015-31 Dec 2019)	Phase 2 (1Jan 2020-31 Dec 2024)	Phase 1 (1Jan 2025 and onwards)
Bulk Carrier	20,000DWT and above	0	10	20	30
	10,000-20,000DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas Carrier	10,000DWT and above	0	10	20	30
	2,000-10,000DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000DWT and above	0	10	20	30
	4,000-20,000DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000DWT and above	0	10	20	30
	10,000-15,000DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000DWT and above	0	10	15	30
	3,000-15,000DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated Cargo Carrier	5,000DWT and above	0	10	15	30
	3,000-5,000DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination Carrier	20,000DWT and above	0	10	20	30
	4,000-20,000DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Πίνακας 3.2

* Συντελεστής μείωσης που θα βρίσκεται με γραμμική παρεμβολή ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου. Μικρή τιμή του συντελεστή μείωσης θα εφαρμόζεται σε μικρότερα πλοία

Τονίζεται ότι για κάθε πλοίο για το οποίο εφαρμόζονται τα παραπάνω, η εγκατεστημένη ισχύς δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την ισχύ πρόωσης που

απαιτείται για τη διατήρηση της ελκτικότητας κάτω από αντίξοες συνθήκες όπως αυτή καθορίζεται από τους κανονισμούς.

3.2 Σχολιασμός των βασικών παραμέτρων του δείκτη

Ο αδιάστατος συντελεστής μετατροπής που συνδέει την κατανάλωση καυσίμου με τις εκπομπές CO₂ (Cf), εξαρτάται από το περιεκτικότητα του καυσίμου σε CO₂. Στα αέρια καύσιμα η τιμή αυτή είναι λίγο μικρότερη από ότι στο πετρέλαιο, ωστόσο η διαφορά στο Cf δεν μεταφράζεται σε απόλυτη μείωση των εκπομπών, καθώς αυτό εξαρτάται και από την θερμική απόδοση τους. Πάντως, με τη χρήση αερίων καυσίμων θα μπορούσαν να μειωθούν οι εκπομπές.

Η ειδική κατανάλωση (S.F.C.) δεν αφήνει πολλά περιθώρια μείωσης, αφού οι καινούριες μηχανές δουλεύουν με θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης αρκετά κοντά στο μέγιστο. Το SFC δεν αλλάζει αισθητά από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Σημειώνεται ότι οι αυστηροί κανονισμοί για τα SO_x και τα NO_x μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση σε ότι αφορά τις εκπομπές CO₂.

Η χωρητικότητα (Capacity) εξαρτάται γενικά από τον τύπο του πλοίου, ενώ υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές για την αύξηση της. Η μείωση του βάρους του άφορτου πλοίου με κατασκευαστική βελτιστοποίηση, προηγμένες ιδέες του εσωτερικού σχεδιασμού είναι κάποια παραδείγματα που μπορεί να αυξήσουν τη χωρητικότητα του πλοίου, δηλαδή το DWT για τα περισσότερα πλοία. Ωστόσο, η χωρητικότητα βρίσκεται και στον τύπο για τον επιτευχθέντα ΕΕΔΙ και σε αυτόν για τη γραμμή αναφοράς. Οπότε, το κατά πόσο η αλλαγή της έχει σημασία εξαρτάται από την τιμή του c. Αν το c είναι μεγάλο, όπως για παράδειγμα για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία, τότε η βελτιστοποίηση μέσω της χωρητικότητας είναι πιο δύσκολη.

Η ισχύς μπορεί να μειωθεί μέσω υδροδυναμικής βελτιστοποίησης με στόχο τη μείωση της αντίστασης τριβής και της αντίστασης κυματισμού. Τονίζεται ότι η πρώτη δεν έχει πολλά περιθώρια μείωσης και ότι γενικά για τη μείωση της ισχύος πιο εύκολη επιλογή φαίνεται η μείωση της ταχύτητας.

3.3 Πλοία ειδικών απαιτήσεων

Για κάποιους τύπους πλοίων χρησιμοποιούνται κάποιοι διορθωτικοί συντελεστές στον υπολογισμό του ΕΕΔΙ.

3.3.1 Πλοία μεταφοράς χημικών

Τα πλοία μεταφοράς χημικών μεταφέρουν πολλά διαφορετικά φορτία και έτσι το κυρίαρχο σχεδιαστικό κριτήριο δεν είναι το νεκρό βάρος αλλά η χωρητικότητα σε κυβικά μέτρα. Επίσης, είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μεταφέρουν υγρά φορτία μεγάλου βάρους. Έτσι, απαιτούνται ενισχύσεις που αυξάνουν το βάρος της κατασκευής του πλοίου και κατ' επέκταση μειώνουν το νεκρό βάρος με ανάλογη αύξηση της τιμής του δείκτη.

Προτείνεται η χρήση ενός συντελεστή $f_c=R^2-0.014$, αν το $R<0.98$ και $f_c=1$ αν το $R>0.98$, όπου $R=DWT/χωρητικότητα$ δεξαμενών

3.3.2 Ice-classed

Για τα ice-classed πλοία λαμβάνεται υπόψη ένας συντελεστής διόρθωσης της ισχύος f_j ο οποίος προκύπτει ως ο μεγαλύτερος από τα f_{j0} και $f_{j,min}$ από τον πίνακα που ακολουθεί. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να είναι μεγαλύτερος από 1.

Τύπος πλοίου	f_{j0}	$f_{j,min}$ ανάλογα με την κατηγορία ice-class			
		IC	IB	IA	IA SUPER
Δεξαμενόπλοιο	$\frac{0,516 \times L_{PP}^{1,87}}{\sum MCR_{ME}}$	$0,72 \times L_{PP}^{0,08}$	$0,61 \times L_{PP}^{0,08}$	$0,50 \times L_{PP}^{0,10}$	$0,40 \times L_{PP}^{0,12}$
Μεταφοράς ξηρού φορτίου	$\frac{2,150 \times L_{PP}^{1,58}}{\sum MCR_{ME}}$	$0,89 \times L_{PP}^{0,02}$	$0,78 \times L_{PP}^{0,04}$	$0,68 \times L_{PP}^{0,06}$	$0,58 \times L_{PP}^{0,08}$
Γενικού φορτίου	$\frac{0,0450 \times L_{PP}^{2,37}}{\sum MCR_{ME}}$	$0,85 \times L_{PP}^{0,03}$	$0,70 \times L_{PP}^{0,06}$	$0,54 \times L_{PP}^{0,10}$	$0,39 \times L_{PP}^{0,15}$

Πίνακας 3.3

Για τους υπόλοιπους τύπους πλοίων ο συντελεστής f_j λαμβάνεται ίσος με 1.

3.3.3 Δεξαμενόπλοια «shuttle»

Επίσης, για τα δεξαμενόπλοια «shuttle» που έχουν περίσσεια ισχύος ο συντελεστής f_j λαμβάνεται ίσος με 0,77. Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται στα πλοία αυτά μεταξύ 80.000 και 160.000DWT που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο από υπεράκτιους τομείς σε παράκτιους αποθηκευτικούς χώρους. Τα πλοία αυτά έχουν

εγκατεστημένη ισχύ αρκετά μεγαλύτερη από την απαιτούμενη καθώς είναι σχεδιασμένα για πλεύση σε θαλασσοταραχή, ενώ είναι εξοπλισμένα με δυναμικά συστήματα εντοπισμού θέσης. Για τους υπόλοιπους τύπους πλοίων ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται ίσος με 1.

3.3.4 Πλοία κατασκευασμένα κατά CSR

Για τα πλοία που είναι κατασκευασμένα κατά CSR (Common Structural Rules) προτείνεται η εφαρμογή ενός συντελεστή: $f_{CSR} = 1 + (0.08 \times LS_{CSR} / DWT_{CSR})$

3.3.5 Πλοία με εθελοντική ενίσχυση της κατασκευής

Επίσης, προτείνεται ένας συντελεστής διόρθωση για εθελοντική ενίσχυση της κατασκευής ίσος με το λόγο του DWT πριν την ενίσχυση προς το DWT μετά την ενίσχυση:

$$f_{VSE} = DWT_{reference\ design} / DWT_{enhanced\ design}$$

3.4 Παρατηρήσεις και κριτική του δείκτη

3.4.1 Τρόποι συμμόρφωσης με τον EEDI

Οι τρόποι συμμόρφωσης με τον EEDI είναι συνοπτικά οι εξής:

-μείωση της εγκατεστημένης ισχύος διατηρώντας την ταχύτητα σταθερή ή αυξάνοντας την ταχύτητα διατηρώντας σταθερή την ισχύ μέσω βελτιστοποίησης της γάστρας και μείωσης της αντίστασης και συνεπώς της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης

-μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου των μηχανών

-μείωση του συντελεστή εκπομπής CO₂ με τη χρήση καυσίμων πιο φιλικών προς το περιβάλλον όπως το LNG

-αύξηση της χωρητικότητας διατηρώντας την ταχύτητα και την εγκατεστημένη ισχύ χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ελαφριά υλικά

-χρήση γεννητριών άξονα, συστήματα ανάκτησης θερμότητας κ.α.

Ο EEDI έχει το χαρακτηριστικό ότι ο IMO δεν περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο ένα πλοίο θα πετύχει χαμηλότερη τιμή του δείκτη από αυτή που προβλέπει ο κανονισμός. Το μόνο που προσδιορίζουν οι κανονισμοί είναι τη μέγιστη τιμή που μπορεί να έχει ένα πλοίο. Έτσι αφήνει περιθώρια στους πλοιοκτήτες, τους σχεδιαστές και τους κατασκευαστές να βρουν μία λύση. Αυτό είναι καλό στην θεωρία, ωστόσο στην πράξη προκύπτουν δυσκολίες αφού κάθε πλοίο απαιτεί μία

διαφορετική λύση. Ο πιο εύκολος τρόπος συμμόρφωσης με το δείκτη είναι η μείωση της ταχύτητας υπηρεσίας. Τονίζεται ότι αυτό δεν πρέπει να αποτελέσει μοναδικό τρόπο μοναδικό τρόπο προσέγγισης, ενώ έμφαση πρέπει να δοθεί στη διατήρηση των επιπέδων ασφαλείας.

Οι λύσεις είναι ποικίλες και σχετίζονται με τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης, του συστήματος πρόωσης, των μηχανών και με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών, αλλά και καινοτόμων τεχνολογιών. Τροποποιήσεις στη μηχανή, την προπέλα και τη σχεδίαση της γάστρας, σε συνδυασμό με οικονομία κλίμακας φαίνεται να είναι ο ιδανικός προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μείωση εκπομπών των αερίων ρύπων. Τα ναυπηγεία σε αυτό το αρχικό στάδιο της εφαρμογής του νέου κανονισμού προσπαθούν να προσαρμόσουν τις υπάρχουσες σχεδιάσεις με το λιγότερο δυνατό κόστος, ενώ οι πλοιοκτήτες δεν είναι σίγουροι για το ποια συσκευή να χρησιμοποιήσουν ή ποια άλλη τροποποίηση να κάνουν και για το κατά πόσο η επιλογή τους θα είναι αποτελεσματική.

Ωστόσο, για να επιτευχθούν τα αυστηρά όρια που προβλέπονται για το 2025, η μείωση της ταχύτητας αποτελεί μία ελκυστική επιλογή έτσι ώστε να απαιτείται η εγκατάσταση μηχανών αρκετά χαμηλότερης ισχύος. Αυτή η λύση φαίνεται αρκετά ικανοποιητική και αυτό οφείλεται στην γνωστή σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη, $P=V^x$, $x>3$. Αυτό σημαίνει ότι μία μικρή μείωση της ταχύτητας συνεπάγεται μεγάλη μείωση στην απαιτούμενη ισχύ. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι λανθασμένη, αφού η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου μειώνεται ουσιαστικά με αυτόν τον τρόπο, ωστόσο δεν είναι εφικτή για όλους τους τύπους πλοίων, όπως για πλοία μεταφοράς πολύτιμων αγαθών ή για τα επιβατηγά. Οι υψηλές ταχύτητες στα πλοία αυτά είναι μείζονος σημασίας καθώς σε διαφορετική περίπτωση τη θέση τους θα πάρουν άλλα μέσα μεταφοράς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και στα δεξαμενόπλοια και στα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην η μείωση της ταχύτητας μπορεί να γίνει μέχρι ένα όριο καθώς κάτω από αυτό θα πρέπει να αυξηθεί η μεταφορική ικανότητα για να συμφέρει η δραστηριότητα τον πλοιοκτήτη. Τότε, αναγκαστικά αυτοί θα στραφούν σε άλλες λύσεις, μετατρέποντας και βελτιστοποιώντας τα πλοία τους από ενεργειακή σκοπιά, που είναι και ο στόχος του ΕΕΔΙ.

Σημειώνεται ότι αν για παράδειγμα έχουμε 2 παρόμοια πλοία που επιτυγχάνουν την ίδια τιμή του δείκτη, το ένα με μείωση της ταχύτητας ενώ το άλλο με βελτιστοποίηση της γάστρας του και με συσκευές ανάκτησης ενέργειας διατηρώντας την αρχική του ταχύτητα, τότε προφανώς το δεύτερο θα είναι πιο ελκυστικό προς τους ναυλωτές. Επίσης, θα έχει και υψηλότερη τιμή σε περίπτωση που ο πλοιοκτήτης επιθυμεί να το πουλήσει.

Η επίδραση της ταχύτητας είναι εμφανής και στο ποσό του καυσίμου που καταναλώνεται. Μερικές φορές συμφέρει δηλαδή η μείωση της ταχύτητας ακόμα και με μείωση των δρομολογίων λόγω της εξοικονόμησης καυσίμου. Ενδεχομένως δηλαδή να συμφέρει η λειτουργία δύο αργών αντί για ένα γρήγορο πλοίο καθώς το

μεταφορικό έργο θα είναι μεγαλύτερο και η κατανάλωση μειωμένη, το ίδιο και οι εκπομπές CO₂.

Το αν συμφέρει η υψηλή ταχύτητα γίνεται εύκολα αντιληπτό αν συγκρίνουμε 2 παρόμοια πλοία τα οποία διαφέρουν στην ταχύτητα υπηρεσίας. Παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στην εγκατεστημένη ισχύ και συνεπώς στις εκπομπές CO₂. Ωστόσο, μπορούμε να υπολογίζοντας επιπρόσθετα και τη διαφορά στους τόνους που μεταφέρονται επί τα μίλια έτσι ώστε να διαπιστώσουμε αν το γρήγορο πλοίο είναι αποδοτικό ή όχι.

Τέλος, όσον αφορά την αύξηση της χωρητικότητας, που για τα περισσότερα πλοία είναι το DWT, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το DWT απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς. Ωστόσο, αύξηση του DWT αυξάνει την αποδοτικότητα του πλοίου (μειώνει την τιμή του δείκτη), διότι η απαιτούμενη ισχύς είναι ανάλογη του $DWT^{2/3}$. Συνεπώς, η αύξηση του παρονομαστή είναι μεγαλύτερη εκείνης του αριθμητή. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο αυξάνεται το DWT, αυξάνεται η αποδοτικότητα και μειώνεται ο δείκτης, όμως η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη γίνεται μικρότερη.

3.4.2 Προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν

3.4.2.1 Μείωση εγκατεστημένης ισχύος

Η τιμή του δείκτη είναι ανάλογη της εγκατεστημένης ισχύος πρόωσης. Έτσι, είναι πιθανό ορισμένοι πλοιοκτήτες να καταφύγουν σε μείωση της. Περιορισμός της εγκατεστημένης ισχύος σημαίνει χρήση μηχανών με μικρότερα έμβολα και υψηλότερες στροφές. Ωστόσο, οι κινητήρες αυτές έχουν αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου, ενώ απαιτείται εγκατάσταση έλικας μικρότερης διαμέτρου η οποία είναι λιγότερο αποδοτική. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι η οι εκπομπές CO₂ δεν είναι ανάλογες της εγκατεστημένης ισχύος, αλλά του ποσοστού αυτής που χρησιμοποιείται πολλαπλασιασμένο με την ειδική κατανάλωση στην ισχύ αυτή. Δηλαδή, για δεδομένη ταχύτητα, στην πραγματικότητα η κατανάλωση καυσίμου είναι πολύ μεγαλύτερη αν το πλοίο χρησιμοποιεί το 100% της εγκατεστημένης ισχύος, ενώ μειώνεται αν για την ίδια ταχύτητα χρησιμοποιήσουμε μία μεγαλύτερη μηχανή από την οποία θα χρησιμοποιείται χαμηλότερο ποσοστό ισχύος.

Στον τύπο υπεισέρχεται το 75% της εγκατεστημένης ισχύος με την λογική παραδοχή ότι υπάρχει πάντα ένα περιθώριο ισχύος για να χρησιμοποιηθεί σε κάποια έκτακτη περίπτωση. Ωστόσο, είναι πιθανό, κάποιο σχεδιαστές/πλοιοκτήτες να προχωρήσουν σε μείωση της εγκατεστημένης ισχύος με σκοπό την μείωση της τιμής του δείκτη και κατ' επέκταση φαινομενική μείωση των ρύπων. Αυτό, θα έχει αποτέλεσμα, να χρησιμοποιείται περισσότερο από το 75% ισχύος αυτής (αν όλα τα υπόλοιπα μεγέθη παραμείνουν σταθερά) με άμεση επίπτωση στην ασφάλεια των πλοίων.

Γενικά, σημειώνεται ότι το ποσοστό της ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί είναι σε άμεση εξάρτηση με την κατάσταση της αγοράς. Όταν δηλαδή οι ναύλοι είναι

υψηλοί οι πλοιοκτήτες επιδιώκουν υψηλότερες ταχύτητες αφού τα έσοδα υπερνικούν τα έξοδα λόγω της χρήσης αυξημένης ισχύος. Μείωση της εγκατεστημένης ισχύος μπορεί να γίνει μέχρι ενός ορίου καθώς κάτω από αυτό το όριο υπάρχουν θέματα ασφάλειας που σχετίζονται με την ικανότητα ελιγμών και την ικανοποιητική πλεύση του πλοίου σε άσχημες καιρικές συνθήκες.

Τέλος, τονίζεται ότι για γρήγορα πλοία που λειτουργούν με βάση μη ευέλικτα προγράμματα όσον αφορά τις ώρες αφίξεων και αναχωρήσεων, απαιτούνται μεγάλα ποσά εφεδρικής ισχύος πρόωσης, με σκοπό τη διατήρηση της ακρίβειας των δρομολογίων υπό όλες τις συνθήκες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που υπάρξει κάποια καθυστέρηση, η εφεδρεία αυτή χρησιμοποιείται για αύξηση της ταχύτητας με σκοπό την άφιξη στον προορισμό την προβλεπόμενη ώρα. Ωστόσο, αυτή η ισχύς υπεισέρχεται στον αριθμητή του δείκτη, αυξάνοντας την τιμή του, ενώ τα πλοία αυτά στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούν όλη τη διαθέσιμη ισχύ στην ταχύτητα υπηρεσίας.

3.4.2.2 Μείωση της ταχύτητας

Η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης είναι περίπου ανάλογη του κύβου της ταχύτητας. Συνεπώς, ο αριθμητής είναι ανάλογος του κύβου της ταχύτητας και ο παρονομαστής ευθέως ανάλογος της ταχύτητας. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι ο δείκτης είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητος σε μεταβολές της ταχύτητας, ακόμα και αν αυτές είναι μικρές.

Η εξάρτηση λοιπόν του EEDI από την ταχύτητα είναι μεγάλη καθώς μία μικρή αύξηση στην ταχύτητα έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση στην απαιτούμενη ισχύ πρόωσης. Έτσι, πολλοί πλοιοκτήτες θα καταφύγουν στην μείωση της ταχύτητας χωρίς κάποια βελτίωση του σχεδιασμού του πλοία ή τροποποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Ωστόσο τα παλαιότερα πλοία που δεν εμπίπτουν στον κανονισμό θα διατηρήσουν της υψηλές ταχύτητες και θα υπάρξει μία ανισορροπία στην αγορά. Επίσης, λόγω της μείωσης την ταχύτητας των νέων πλοίων θα υπάρξει ανάγκη κατασκευής περισσότερων πλοίων προς επέκταση του στόλου για την κάλυψη της ζήτησης για τη μεταφορά αγαθών ή μετατόπιση του εμπορίου σε άλλους τρόπους μεταφοράς. Τα φαινόμενα αυτά θα έχουν αντίθετα αποτελέσματα όσον αφορά την εκπομπή CO₂ και τη γενικότερη παραγωγή ρύπων. Τέλος, η ταχύτητα μπορεί να μειωθεί έως κάποιο όριο, καθώς κάτω από αυτό η ναυσιπλοΐα δεν θα θεωρείται ασφαλής. Για να αποφευχθούν τα παραπάνω απαιτείται η ναυπήγηση πιο αποδοτικών πλοίων με καλά σχεδιασμένες γάστρες και συστήματα ανάκτησης ενέργειας.

Παρατηρείται επίσης ότι η τιμή αναφοράς, έτσι όπως έχει οριστεί μέχρι σήμερα, δεν εξαρτάται από την ταχύτητα.

3.4.2.3 Μείωση του βάρους του κενού σκάφους

Άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η επιδίωξη μείωσης του βάρους του κενού σκάφους προς όφελος του νεκρού βάρους (DWT) για σταθερό εκτόπισμα, αποτρέποντας παράλληλα όσους επιθυμούν να ενισχύσουν οικειοθελώς την κατασκευή. Αυτό θα έχει επίπτωση στην αντοχή των πλοίων βάζοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή αλλά και το θαλάσσιο περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος.

3.4.3 Άλλα προβλήματα

Ένα ακόμα θέμα που προκύπτει με την εφαρμογή του ΕΕΔΙ είναι το κατά πόσο ένα αποδοτικό πλοίο από υδροδυναμική άποψη παρουσιάζει χαμηλή τιμή του δείκτη σε σχέση με ένα μη αποδοτικό. Θεωρητικά, ο δείκτης θα αυξήσει την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων. Αφού η εκπομπή CO₂ εξαρτάται στην κατανάλωση καυσίμου η οποία εξαρτάται από τις ανάγκες ιπποδύναμης του πλοίου που είναι ανάλογες με τη αντίσταση του πλοίου, προφανώς ο δείκτης θα έχει κάποια επίδραση στις σχεδιαστικές παραμέτρους και στην υδροδυναμική.

Είναι επίσης γεγονός ότι όσο και αν βελτιωθεί η γάστρα ενός πλοίου ώστε να γίνει υδροδυναμικά αποδοτική, δεν είναι εφικτό το πλοίο να διατηρήσει την ταχύτητα υπηρεσίας του με 30% μείωση της τιμής αναφοράς όπως αυτή προβλέπεται για την φάση 3. Οι υπάρχουσες αποδοτικές γάστρες ικανοποιούν τον κανονισμό για τη φάση 0 και ίσως για τη φάση 1. Ωστόσο, για τα περισσότερα πλοία απαιτούνται δραστικές αλλαγές προκειμένου να επιτευχθούν οι τιμές ακόμα και για τη φάση 1 με διατήρηση της ταχύτητας στα σημερινά επίπεδα. Για το λόγο αυτό οι πλοιοκτήτες θα καταφύγουν αναπόφευκτα σε μείωση της ταχύτητας η οποία θα επηρεάσει την οικονομία της ναυτιλίας. Ωστόσο, η επίδραση του δείκτη στην σχεδίαση του πλοίου πρέπει να χρησιμοποιηθεί σωστά καθώς αυτό θα επιφέρει μείωση του κόστους και για τον πλοιοκτήτη αφού θα εξοικονομεί αρκετό καύσιμο του οποίου οι τιμή ήδη βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα αλλά αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

Επίσης, ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι η εισαγωγή του δείκτη καταργεί την έννοια των αδελφών πλοίων. Αυτό συμβαίνει διότι όταν έχουμε ένα πλοίο που κατασκευάστηκε ικανοποιώντας του κανονισμούς στη φάση 0 για παράδειγμα, δεν μπορεί να κατασκευαστεί αδελφό πλοίο σε επόμενη φάση. Το δεύτερο πλοίο θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να ικανοποιεί τους αυστηρότερους κανονισμούς και συνεπώς τα πλοία αυτά δεν θα είναι αδελφά.

Τέλος, ένα ακόμα θέμα είναι το πότε θα παρατηρηθεί ουσιαστική μείωση των εκπομπών. Ένα πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε το 2012, και λαμβάνοντας υπόψη μία διάρκεια ζωής 25 ετών θα είναι στο χώρο της ναυτιλίας μέχρι το 2038 χωρίς κανένα περιορισμό για τις εκπομπές CO₂.

3.5 Πρόταση της Ελλάδας για τη γραμμή αναφοράς

Στην 59^η Σύνοδο της ΜΕΡC σημειώθηκε η πρόοδος που είχε γίνει σχετικά με τη γραμμή αναφοράς και η ανάγκη για την υποβολή βελτιωτικών προτάσεων. Η Ελλάδα λοιπόν, έκανε κάποια σχόλια σχετικά με τη γραμμή αναφοράς του ΕΕΔΙ στην 60^η Σύνοδο (60/4/5).

Η Ελλάδα σημειώνει στην 60^η Σύνοδο (ΜΕΡC 60/4/15) ότι η ταχύτητα δεν λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία της παλινδρόμησης, ενώ παράλληλα γίνεται η υπόθεση ότι η ταχύτητες των πλοίων που δίνονται στις βάσεις δεδομένων είναι αυτές που αντιστοιχούν στο 75% του ΜCΡ. Ωστόσο, συχνά, η ταχύτητα που δίνεται σε αυτές αντιστοιχεί στο 100% του ΜCΡ. Παρατηρείται ότι μία απόκλιση 25% στην ταχύτητα, οδηγεί σε διαφορά της τάξης του 33% στην τιμή του ΕΕΔΙ. Ακόμα και αν αυτό συμβεί για λίγα από τα πλοία, θα οδηγήσει σε σημαντικό λάθος κατά τον υπολογισμό της γραμμής αναφοράς.

Η Ελλάδα υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει συνοχή από άποψη φυσικής μεταξύ του τύπου υπολογισμού της πραγματικής τιμής του ΕΕΔΙ και της τιμής της γραμμής αναφοράς. Στον πρώτο η τιμή του δείκτη μεγαλώνει ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας, ενώ στον δεύτερο η ταχύτητα δεν λαμβάνεται υπόψη καθόλου. Στην πραγματικότητα θεωρείται ότι η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας. Αυτό, οδηγεί σε περιορισμό της ταχύτητας, ειδικά για κάποια μεγέθη πλοίων για τα οποία η επιτρεπόμενη ταχύτητα μπορεί να είναι ακόμα και χαμηλότερη από την ταχύτητα υπηρεσίας τους.

Παρατηρείται επίσης, ότι λόγω των περιορισμών στην ταχύτητα και την εγκατεστημένη ισχύ, είναι πιθανό να κατασκευάζονται πλοία με εγκατεστημένη ισχύ χαμηλότερη της απαιτούμενης. Τα πλοία αυτά, στην προσπάθειά τους να φτάσουν γρηγορότερα στον προορισμό τους ή στην προσπάθειά τους να διατηρήσουν την ταχύτητα υπηρεσίας τους σε άσχημες καιρικές συνθήκες θα εκπέμπουν πολύ μεγαλύτερα ποσά CO₂, δυσανάλογα με το μέγεθός τους.

Τέλος, προτάθηκε να ληφθεί υπόψη η ταχύτητα στην γραμμή αναφοράς με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

$$a(DWT/V)^{-c}, \text{ ή } a(DWT/V^2)^{-c} \text{ ή } DWT^{-c} V^{-d}$$

3.6 Οικονομία Κλίμακας

Με μία πρώτη επισκόπηση του δείκτη και της γραμμής αναφοράς, φαίνεται ότι τα μικρά πλοία επιτρέπεται να έχουν υψηλότερους δείκτες. Δηλαδή, φαίνεται ότι τα μικρά πλοία επιτρέπεται να αναπτύξουν υψηλότερες ταχύτητες από τα μεγαλύτερα. Αυτό όμως δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Τα μικρά πλοία δεν μπορούν να πετύχουν χαμηλές τιμές του δείκτη λόγω τις περιορισμένης μεταφορικής τους ικανότητας.

Σύμφωνα με έρευνες^[7] σχετικά με την οικονομία κλίμακας και την επίδρασή της στο κόστος και στις εκπομπές, αυτές μπορεί να μειωθούν κατά 30% με κέρδος, αντικαθιστώντας το στόλο με μεγαλύτερα πλοία. Η αντικατάσταση όλου του στόλου μπορεί να πάρει μέχρι και 25 χρόνια, ενώ η μείωση των εκπομπών θα παρατηρείται σταδιακά σε αυτό το διάστημα.

Με τα νέα μέτρα του IMO, με τον EEDI και το SEEMP, υπολογίζεται μία μείωση των εκπομπών κατά 40% μέχρι το 2050. Ο EEDI θα συνεισφέρει περίπου το 75% της μείωσης αυτής. Αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι είναι ή ότι θα είναι διαθέσιμες πιο αποδοτικές τεχνολογίες. Ωστόσο, οι εκπομπές το 2050 υπολογίζονται να είναι περίπου διπλάσιες από αυτές του 2007, καθώς το παγκόσμιο εμπόριο αναμένεται να τριπλασιαστεί. Η Ελλάδα (MEPC 62/6/19) υπογράμμισε ότι τα μεγάλα δεξαμενόπλοια βρίσκονται πάνω από τη γραμμή αναφοράς, ενώ παρατηρήθηκε ότι το ίδιο συμβαίνει και με τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου. Τα μεγάλα δεξαμενόπλοια βρίσκονται 10% πιο πάνω από αυτό που προβλέπει η γραμμή αναφοράς. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι το 2030, όπου θα μειωθεί το όριο κατά 30%, θα απαιτείται 40% μείωσης του επιτευχθέντος δείκτη. Αυτό αποτελεί μία μεγάλη μείωση η οποία δεν μπορεί να γίνει μόνο με τη χρήση πιο αποδοτικών τεχνολογιών. Απαραίτητη θα είναι η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος και συνεπώς της ταχύτητας υπηρεσίας.

Οι μειώσεις αυτές έχουν αρνητικές επιδράσεις όσον αφορά τα θέματα ασφαλείας σε περίπτωση κακών καιρικών συνθηκών και κυμάτων. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, τα μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, βρίσκονται ήδη κάτω από τη γραμμή αναφοράς και θα πρέπει να βελτιωθούν αισθητά λιγότερο.

Μία πρόταση^[7] είναι για πλοία από ένα μέγεθος και πάνω να καθοριστεί μία μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη, έτσι ώστε να ευνοείται η οικονομία κλίμακας και να γίνεται πιο ελκυστική η κατασκευή νέων μεγάλων πλοίων, καθώς έχει αναγνωριστεί η θετική επίδραση αυτής στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

3.7 Έμμεση μείωση των εκπομπών από την αύξηση της τιμής του καυσίμου

Μελέτες^[8] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ένας φόρος της τάξης των 150\$/τον στα καύσιμα θα οδηγούσε σε 20-30% μείωση των εκπομπών CO₂ λόγω της αναγκαστικής μείωσης της ταχύτητας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να υπάρξει μία μείωση των εκπομπών κατά 19% με κέρδος για τους πλοιοκτήτες ενώ με μηδενικό κόστος μπορεί να παρατηρηθεί μείωση έως και 28%. Το ελάχιστο ποσό εκπομπών που μπορεί να υπάρξει είναι 59% του επιπέδου του 2010 με κάποιο κόστος, σύμφωνα με τα επίπεδα τιμών καυσίμου και νέων κατασκευών της εποχής. Αν η τιμή του καυσίμου αυξηθεί τα ποσοστά 19% και 28% θα αυξηθούν, ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα μειωθούν. Η τιμή του καυσίμου αναμένεται να αυξηθεί για τις θαλάσσιες

μεταφορές, ακόμα και αν η τιμή του καυσίμου γενικότερα παραμένει σταθερή. Αυτό δικαιολογείται από τις ολοένα αυστηρότερες απαιτήσεις σχετικά με την περιεκτικότητα τους σε θείο.

3.8 Σκέψεις σχετικά με τη μείωση της ταχύτητας

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η μείωση της ταχύτητας είναι η πιο εύκολη λύση στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Ήδη πολλοί πλοιοκτήτες έχουν στραφεί σε χαμηλότερες ταχύτητες με κίνητρο τη δραστική μείωση των λειτουργικών εξόδων τους.

Αναφέρεται για παράδειγμα ότι η μείωση της ταχύτητας σε κάποια πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά 50% μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών μέχρι και κατά 70%^[9]. Τα πλοία αυτά είναι γνωστό ότι αναπτύσσουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες και όταν αυτό δεν συνδυάζεται με οικονομία κλίμακας, η κατανάλωση καυσίμου ανά τόνο DWT είναι πολύ μεγάλη. Συγκεκριμένα, υπογραμμίζεται ότι τα πλοία που καταναλώνουν το περισσότερο καύσιμο είναι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (3-8,000 TEU). Τα πλοία αυτά αν και αντιπροσωπεύουν μόνο το 4% των πλοίων, είναι υπεύθυνα για το 20% των εκπομπών από όλα τα πλοία^[10].

Τονίζεται ότι η μείωση της ταχύτητας είναι μία σίγουρη, μόνιμη και πλήρως αποτελεσματική λύση, που ακόμα και αν χρειαστούν περισσότερα πλοία στη θέση ενός γρήγορου, οι εκπομπές θα είναι πάλι χαμηλότερες. Επίσης, σύμφωνα με μία μελέτη ^[11] η υπερπροσφορά που υπάρχει αυτή τη στιγμή σας αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης είναι μία ακόμα ευκαιρία για μείωση της ταχύτητας, χωρίς την ανάγκη κατασκευής καινούριων πλοίων.

Τα πλοία και τα αεροπλάνα δεν έχουν περιορισμούς όσον αφορά την ταχύτητα παρά το γεγονός ότι μείωση της οδηγεί προφανώς σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Η μείωση της ταχύτητας στη ναυτιλία συντελεί σε πολύ μεγαλύτερη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από ότι στα αυτοκίνητα, λόγω της σχέσης $P=ax^3$ και της ανάλογης μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου. Ο εκθέτης είναι ακόμα μεγαλύτερος ορισμένες φορές όταν η μείωση της ταχύτητας είναι πάνω από 10%.

Για πλοία που πλέουν κοντά στις ακτές, χαμηλότερες ταχύτητες πλεύσης οδηγούν σε βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του περιβάλλοντος καθώς μειώνονται οι εκπομπές επιβλαβών ουσιών. Αυτό έχει ιδιαίτερα οφέλη για την υγεία του ανθρώπου και για το περιβάλλον και για το λόγο αυτό υπάρχουν κάποιοι σχετικοί κανονισμοί σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Παράλληλα, εκφράστηκαν και ορισμένες αντιρρήσεις για την πλεύση σε χαμηλότερες ταχύτητες. Αναφέρθηκε ότι χαμηλότερες ταχύτητες θα οδηγήσουν σε μεγάλες αλλαγές στην εφοδιαστική αλυσίδα και στις σχετικές διαδικασίες. Ωστόσο,

τέτοια προβλήματα αντιμετωπίστηκαν ήδη επιτυχώς λόγω των περιορισμένων ταχυτήτων που επιβάλλει η παγκόσμια ύφεση. Επίσης, αναφέρθηκε ότι κάνοντας την παραδοχή ότι η ζήτηση είναι σταθερή, η μείωση της ταχύτητας έχει σαν φυσικό επακόλουθο την ανάγκη για περισσότερα πλοία με αποτέλεσμα περισσότερες εκπομπές. Ωστόσο, οι μελέτες έχουν δείξει ότι ακόμα και στην περίπτωση αυτή οι εκπομπές είναι λιγότερες από ότι στην περίπτωση λιγότερων γρήγορων πλοίων^[9]. Επίσης, αναφέρεται ότι ορισμένες φορές δεν απαιτούνται επιπλέον πλοία καθώς οι καθυστερήσεις μπορούν να εξισορροπηθούν από καλύτερη οργάνωση στο λιμάνι.

Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι η μάλλον αναγκαία κατασκευή νέων πλοίων (για την εξυπηρέτηση του ίδιου μεταφορικού έργου) θα οδηγήσει και αυτή στην εκπομπή CO₂ η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη. Βραχυπρόθεσμα, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς η υπερπροσφορά που διέπει την αγορά, δίνει την ευκαιρία ουσιαστικής μείωσης των εκπομπών, χωρίς την ανάγκη κατασκευής νέων πλοίων. Συγκεκριμένα, για τρεις κύριες κατηγορίες πλοίων (δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην και εμπορευματοκιβωτίων) υπολογίστηκε^[11] ότι μπορεί να υπάρξει 30% μείωση των εκπομπών, με μείωση της ταχύτητας τόσο ώστε να χρησιμοποιηθεί μόνο ο υπάρχων στόλος.

Μία ακόμα σκέψη είναι το κατά πόσο θα γίνει συμβιβασμός στον έλεγχο του πεδαλίου και στην ασφάλεια στα πλοία λόγω της μείωσης της εγκατεστημένης ισχύος. Τέλος, προβληματισμοί υπάρχουν σχετικά με τη μεταφορά ευπαθών αγαθών και την διατήρησή τους για περισσότερο χρόνο, όπου απαιτείται περαιτέρω μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πλοία αναψυχής και ηλεκτροπρόωση

4.1 Ορισμός

Με τον όρο πλοία αναψυχής (cruise ships) εννοούμε επιβατηγά πλοία που είναι σε λειτουργία προκειμένου να προσφέρουν στους επιβάτες ταξίδια αναψυχής. Το ίδιο το ταξίδι, οι στάσεις σε διαφορετικούς προορισμούς κατά τη διάρκεια του, η ξενάγηση, αλλά και οι ανέσεις που παρέχονται επί του πλοίου, είναι μέρος της εμπειρίας και αποτελούν τους κύριους στόχους των πλοίων αυτών. Έτσι, είναι σαφές ότι για αυτήν την κατηγορία ο απώτερος σκοπός δεν η μεταφορά του “φορτίου”, που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι επιβάτες, όπως στα περισσότερα άλλα ήδη πλοίων. Αντιθέτως, τα ταξίδια είναι συνήθως κυκλικά και οι επιβάτες επιστρέφουν στο λιμάνι αναχώρησης.

Η δραστηριότητα αυτή κατέχει μεγάλο μερίδιο της τουριστικής βιομηχανίας μεταφέροντας το 2011 πάνω από 19 εκατομμύρια επιβάτες. Η ιδιαίτερη αυτή βιομηχανία αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια με την κατασκευή αρκετών νέων πλοίων. Το μεγαλύτερο πλοίο είναι το Oasis of the Seas και το αδελφό του Allure of the Seas της Royal Caribbean International.

Τα πλοία αναψυχής είναι ειδικά σχεδιασμένα για δραστηριότητες και ψυχαγωγία επί του πλοίου και πλησιάζουν πιο πολύ σε πλωτό ξενοδοχείο ή κέντρο αναψυχής παρά σε συμβατικό πλοίο. Είναι πλοία υψηλής τεχνολογίας με πολύ καλό εξοπλισμό. Αντιθέτως, τα υπερωκεάνια που μεταφέρουν επιβάτες από τη μία ήπειρο στην άλλη και παρά το γεγονός ότι αυτά είναι αρκετά πολυτελή δεν είναι κατάλληλα για ταξίδια αναψυχής λόγω της υψηλής κατανάλωσης καυσίμου, αλλά και του μεγάλου βυθίσματος που δεν επιτρέπει την είσοδο σε ρηχά λιμάνια. Επίσης, οι καμπίνες τους είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μεγιστοποιούν τον αριθμό των επιβατών, χωρίς να επιδιώκεται άνεση και πολυτέλεια.

Γενικά τα επιβατηγά πλοία, έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε βοηθητικής ισχύος. Οι απαιτήσεις αυτές οφείλονται στην παροχή επαρκούς ασφάλειας και άνεσης των επιβατών. Πιο συγκεκριμένα, παρέχονται πρόσθετες υπηρεσίες που αφορούν τη διαθεσιμότητα απεριόριστης ποσότητας γλυκού νερού και ατμού για καθαρισμό, λουτρά, πόση, εξυπηρέτηση μπαρ εστιατορίων κ.λ.π.. Επίσης, υψηλές είναι και η απαιτήσεις ισχύος για κλιματισμό, ψύξη και εγκαταστάσεις ανελκυστήρων. Τέλος, υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη για εκτεταμένα συστήματα ανίχνευσης καπνού και φωτιάς, πυρόσβεση και εγκατάσταση υδατοστεγών θυρών που συνήθως κινούνται με υδραυλικό μηχανισμό.

Οι διαχειριστές των πλοίων αυτών πρέπει να έχουν εξειδικευτεί σε δύο κύριους τομείς:

- στη μεταφορά αλλά και
- στη διαμονή και την ψυχαγωγία

Αυτά γίνονται με την πρόσληψη προσωπικού που ασχολείται με τα τεχνικά και λειτουργικά ζητήματα που είναι υπό τον καπετάνιο αλλά και με προσωπικό που ασχολείται με τις ξενοδοχειακές υπηρεσίες υπό τον αντίστοιχο υπεύθυνο.

Τα πλοία αυτά έχουν υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης αλλά και υψηλό λειτουργικό κόστος. Οι εταιρείες κάνουν να προσπάθειες να κρατήσουν τους πελάτες τους ανακαινίζοντας τα πλοία τους και παρέχοντας περισσότερες υπηρεσίες ώστε να βρίσκονται καλύπτουν τις ανάγκες τους και να βρίσκονται σε συμφωνία με τις νέες τάσεις. Σημειώνεται επίσης ότι οποιαδήποτε ανάγκη για επισκευή και συντήρηση εκτός προγράμματος μπορεί να αφήσει χιλιάδες πελάτες δυσαρεστημένους αλλά και να οδηγήσει σε απώλεια πολλών εκατομμυρίων.

Οι πιο μεγάλες εταιρείες πλοίων αναψυχής σήμερα είναι η Carnival Corporation & plc, η Royal Caribbean Cruises Ltd., η Star Cruises (που της ανήκει το 50% της Norwegian Cruise Line, η NCL με ότι είναι στα δικαιώματα της η τρίτη μεγαλύτερη), η MSC Cruises και η Louis Cruise Lines. Η τελευταία έχει αναπτύξει το στόλο της, αγοράζοντας πλοία από δεύτερο ή και τρίτο χέρι, ενώ άλλες έχουν κατασκευάσει τα δικά τους μεγάλα πλοία (megaships)

Η πρώτη κρουαζιέρα έγινε με το πλοίο Augusta Victoria στη Μεσόγειο από τις 22 Ιανουαρίου μέχρι τις 22 Μαρτίου το 1981, μεταφέροντας 241 επιβάτες. Ωστόσο το πρώτο πλοίο αναψυχής (που κατασκευάστηκε δηλαδή αποκλειστικά για αυτό το σκοπό) ήταν το Prinzessin Victoria Luise της Γερμανία που παραδόθηκε το 1900.

4.2 Εξέλιξη των πλοίων αναψυχής

Η βιομηχανία των ταξιδιών αναψυχής αναπτύσσεται σταθερά τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με τη General Electric ^[12], τα τελευταία χρόνια τα επιβατηγά πλοία έχουν αυξηθεί κατά 3.3%, με 20,9 εκατομμύρια επιβάτες το 2012. Η πρόβλεψη για τα επόμενα πέντε χρόνια είναι 3% αύξηση με έξι νέα πλοία ετησίως για τα επόμενα τρία χρόνια.

Ωστόσο, σημειώνεται ότι τα λειτουργικά έξοδα αυξάνονται, ενώ είναι ιδιαίτερα σημαντική η ελαχιστοποίηση των ρύπων καθώς πολλά από αυτά επισκέπτονται προστατευόμενες ακτές καθώς αυτές προσελκύουν το τουριστικό ενδιαφέρον. Οι νομοθεσίες για την προστασία του περιβάλλοντος γίνονται ολοένα και αυστηρότερες. Έτσι, υπάρχει έντονη ανάγκη για και χρήση καινοτόμων τεχνολογιών. Η καινούρια τάση όπως αναφέρθηκε είναι η χρήση συστημάτων πρόωσης σε κέλυφος (rodged), η οποία βοηθάει τα πλοία να ικανοποιήσουν τους αυστηρούς κανονισμούς και να είναι αποδοτικά.

Οι πλοιοκτήτες προσπαθούν να εκμεταλλευτούν την οικονομία κλίμακας καταφεύγοντας σε κατασκευή μεγάλων πλοίων, με αυξημένη μεταφορική ικανότητα επιβατών. Η τάση αυτή έχει επηρεάσει και τα πλοία αναψυχής όπου

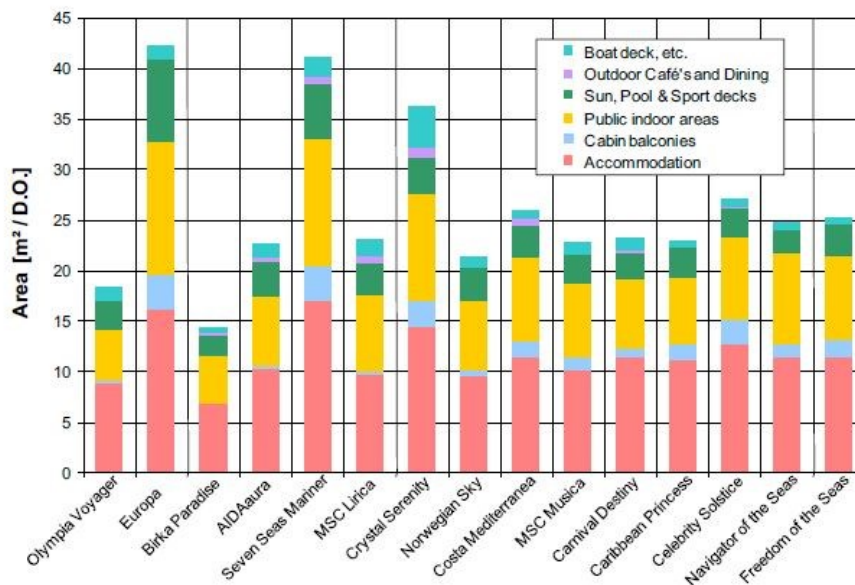
επιδιώκεται η μέγιστη μεταφορά επιβατών. Τα πλοία αναψυχής όπως τα ξέρουμε σήμερα υπάρχουν περίπου από το 1970. Το μέγεθός τους αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία 30 χρόνια όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Το μέγεθός τους καθορίζεται τόσο από τον αριθμό των επιβατών που θα μεταφέρουν όσο και από τον αριθμό των δραστηριοτήτων που υπάρχουν επί του πλοίου. Οι διαστάσεις εξαρτώνται συχνά από φυσικούς περιορισμούς όπως π.χ. για τα πλοία που διασχίζουν τη διώρυγα του Παναμά.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι και οι επιβάτες δείχνουν να προτιμούν τα μεγαλύτερα από αυτά, λόγω της μεγαλύτερης άνεσης και τις ποικιλίας των παροχών που παρέχουν. Ένα παράδειγμα αυτών φαίνεται στην Εικόνα 4.2.



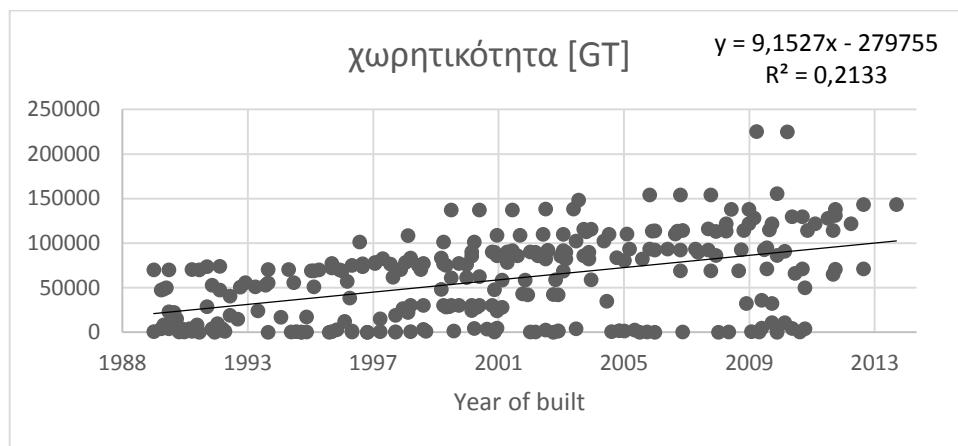
Figure 1: The growth in cruise ship size and capacity

Εικόνα 4.1 [13]

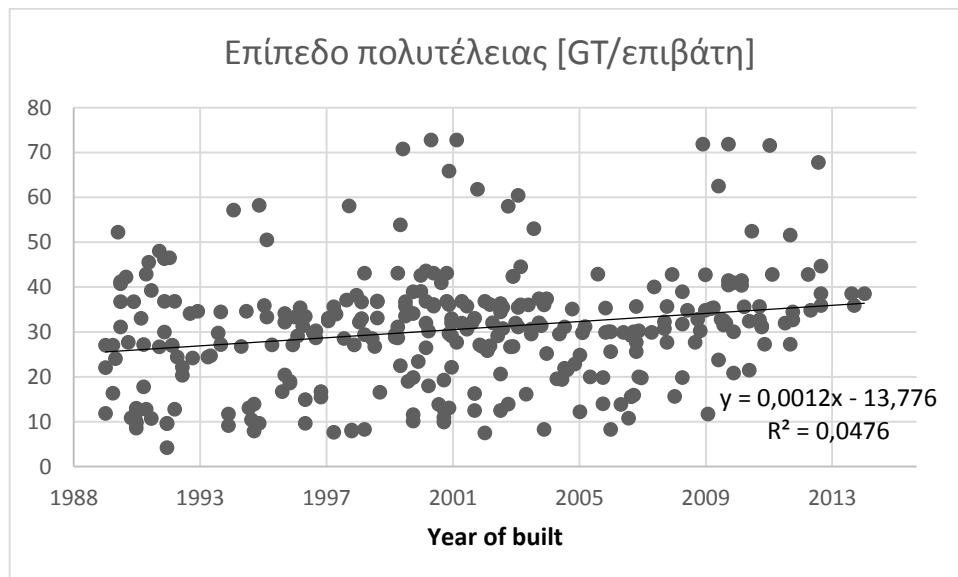


Εικόνα 4.2 [13]

Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων IHS Fairplay και επιλέγοντας τα πλοία με «Legacy Sub Type»: «Cruise Ship», βλέπουμε στα παρακάτω διαγράμματα την εξέλιξη των πλοίων αυτών από το 1999 μέχρι σήμερα (και μερικά πλοία για τα οποία έχει γίνει η παραγγελία). Παρατηρείται μία έντονη αύξηση της χωρητικότητας τους (Διάγραμμα 4.1), αλλά και αύξηση του επιπέδου πολυτελείας και άνεσης των επιβατών (εκφρασμένη σε GT/Number of passengers, Διάγραμμα 4.2). Αυτό δικαιολογείται τόσο από την προσπάθεια των πλοιοκτητών για εκμετάλλευση της οικονομίας κλίμακας, όσο και για την έντονη προσπάθεια παροχής άνεσης και ποικίλων δραστηριοτήτων επί των πλοίων ώστε να γίνουν πιο ελκυστικά προς τους επιβάτες.



Διάγραμμα 4.1

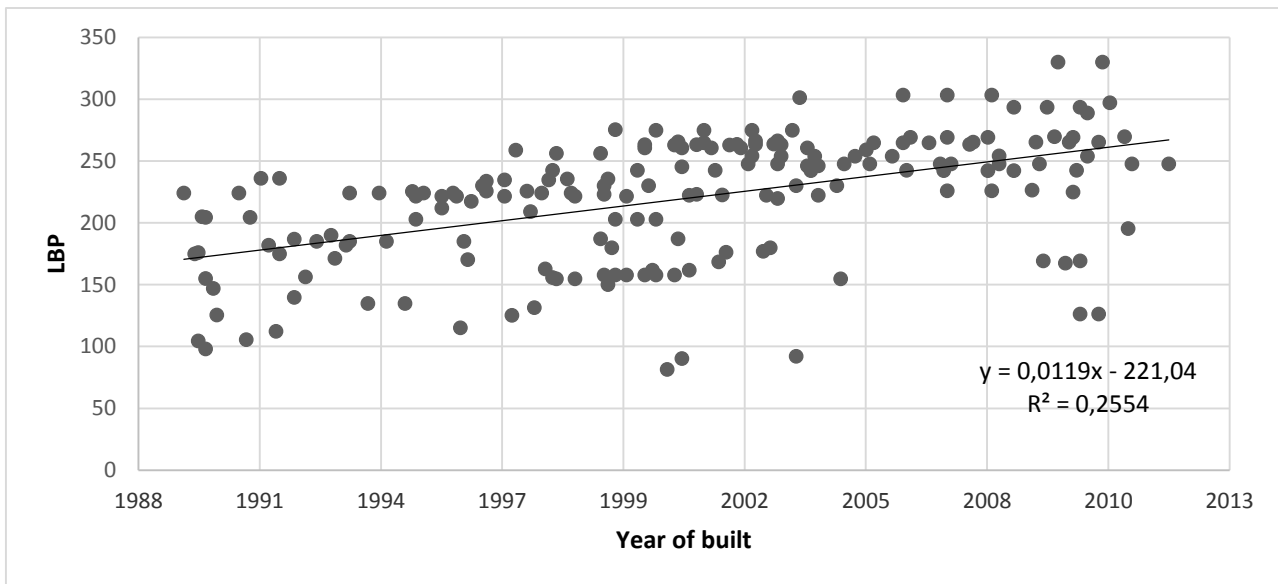


Διάγραμμα 4.2

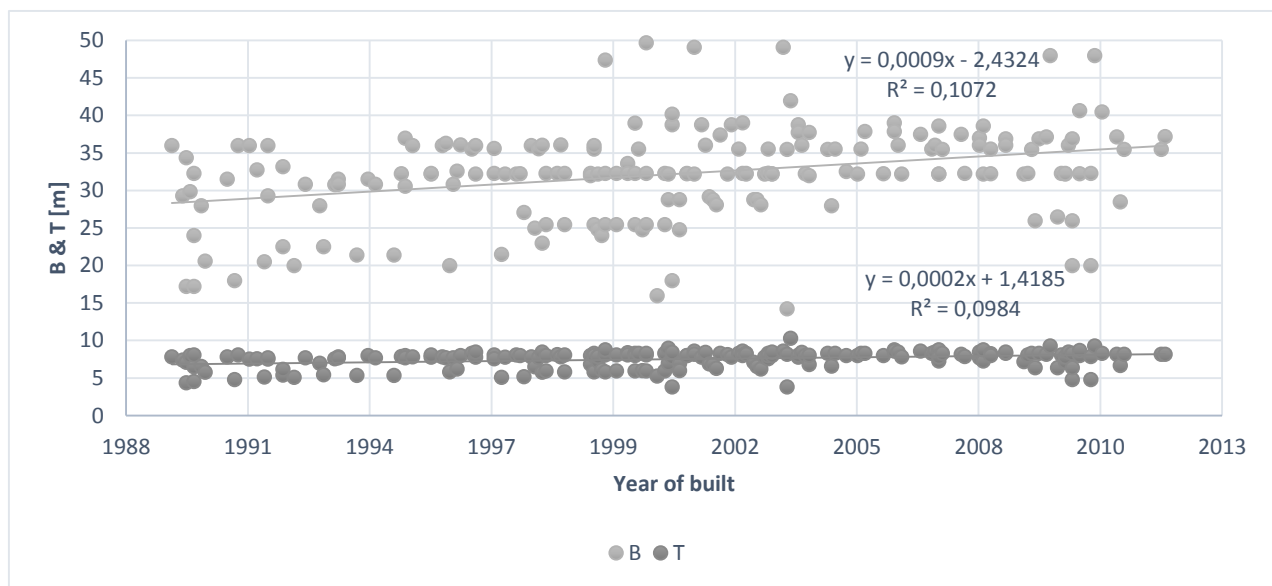
Στη συνέχεια, αφαιρούμε τα πλοία που έχουν χωρητικότητα μικρότερη από 400 GT, καθώς αυτά δεν καλύπτονται από τον κανονισμό για τον ΕΕΔΙ. Επίσης, αφαιρούμε

τα πλοία με μήκος μικρότερο από 80m (για τα οποία ισχύουν οι κανονισμοί της SOLAS ευστάθειας μετά από βλάβη), κρατώντας έτσι μόνο τα μεγάλα πλοία αναψυχής για λόγους ομοιομορφίας και καλύτερης επεξεργασίας των στοιχείων. Επίσης, αφαιρούνται τα ταχύπλοα με αριθμούς Foude πάνω από 0,35.

Στα παρακάτω Διαγράμματα (4.3 και 4.4), βλέπουμε ότι στην ίδια περίοδο παρατηρείται μία έντονη αύξηση του μήκους των πλοίων που κατασκευάζονταν, ενώ το πλάτος και το βύθισμα αυξάνονται και αυτά, αλλά λιγότερο έντονα.

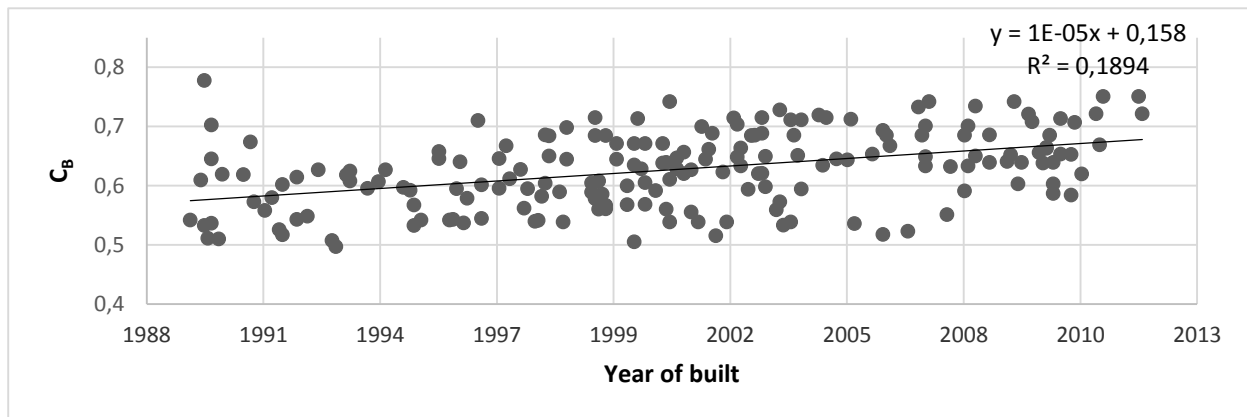


Διάγραμμα 4.3

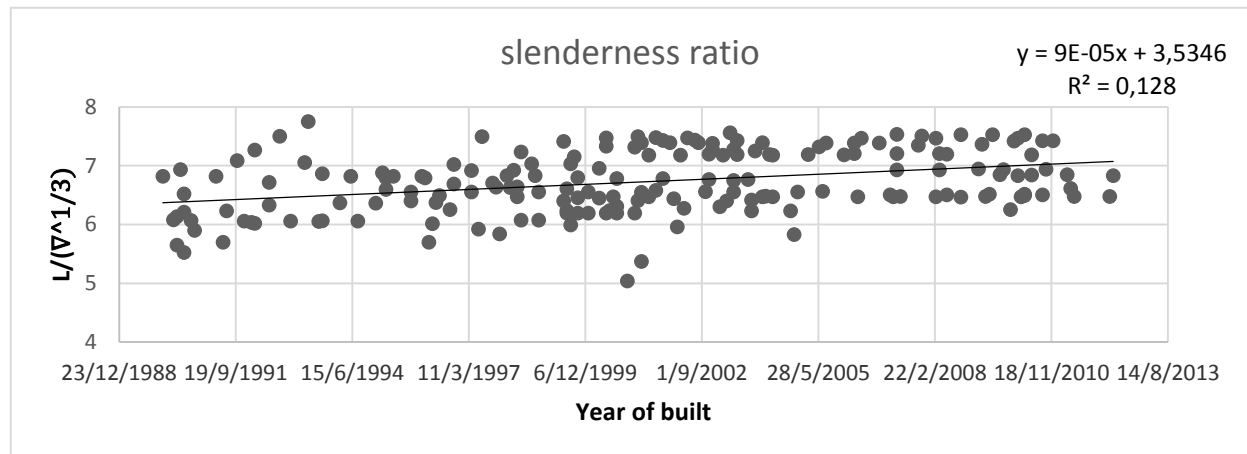


Διάγραμμα 4.4

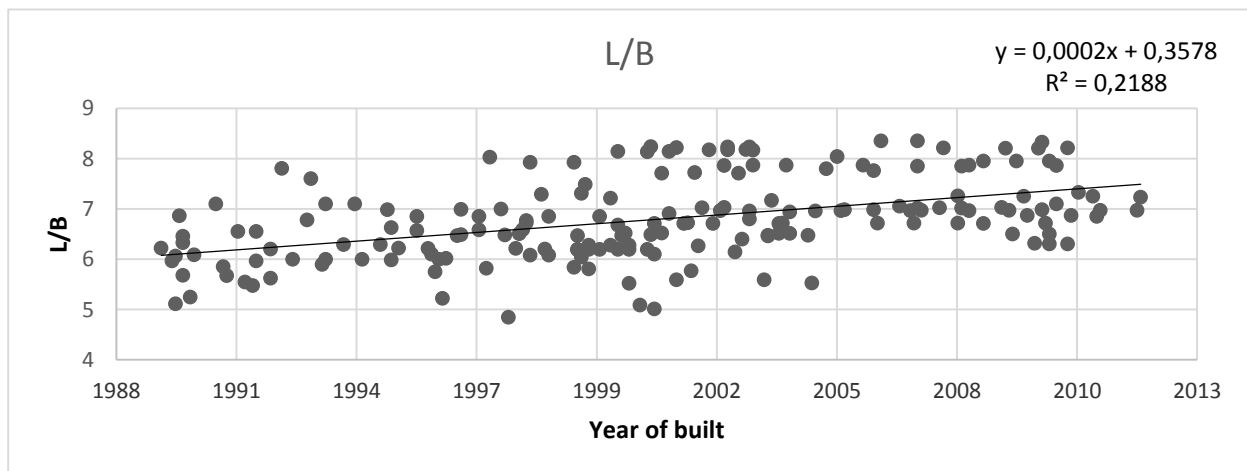
Επίσης, μία αυξητική τάση παρατηρείται στο C_B , στο $\frac{L}{\sqrt[3]{I}}$ και στο L/B (Διαγράμματα 4.5, 4.6 και 4.7)



Διάγραμμα 4.5

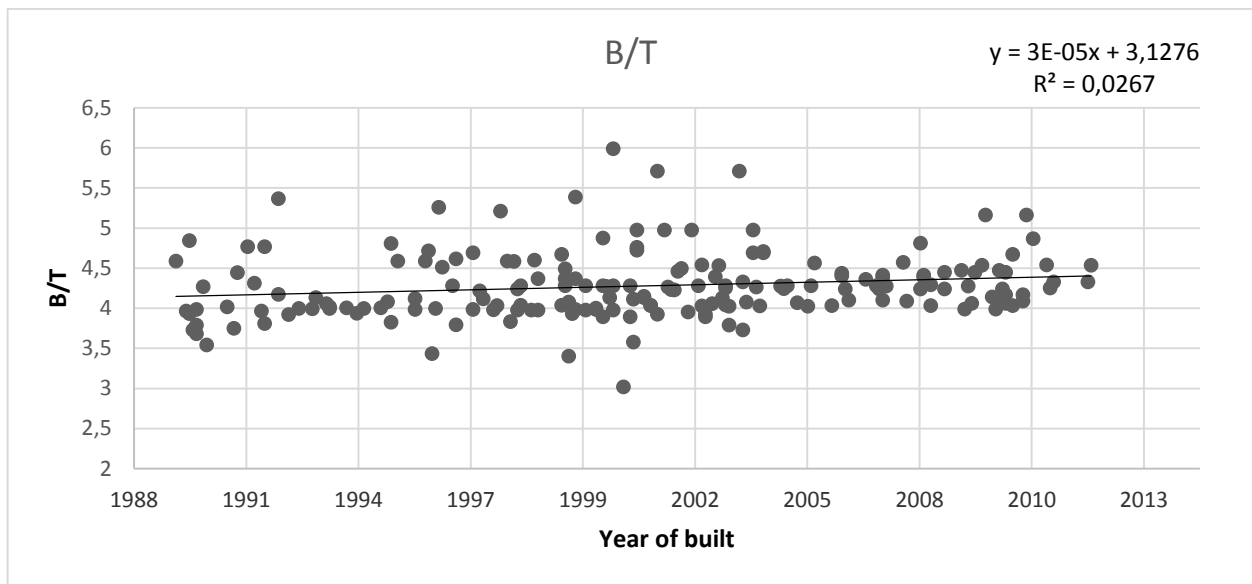


Διάγραμμα 4.6



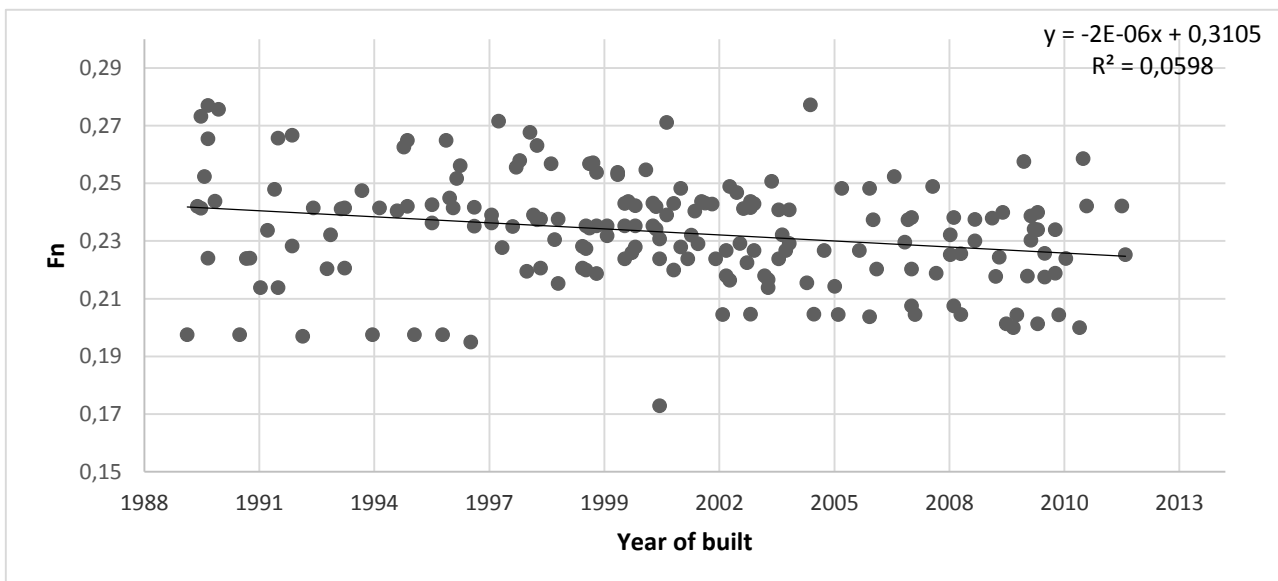
Διάγραμμα 4.7

Ο λόγος Β/Τ αυξάνεται πολύ λίγο με την πάροδο των ετών (Διάγραμμα 4.8)



Διάγραμμα 4.8

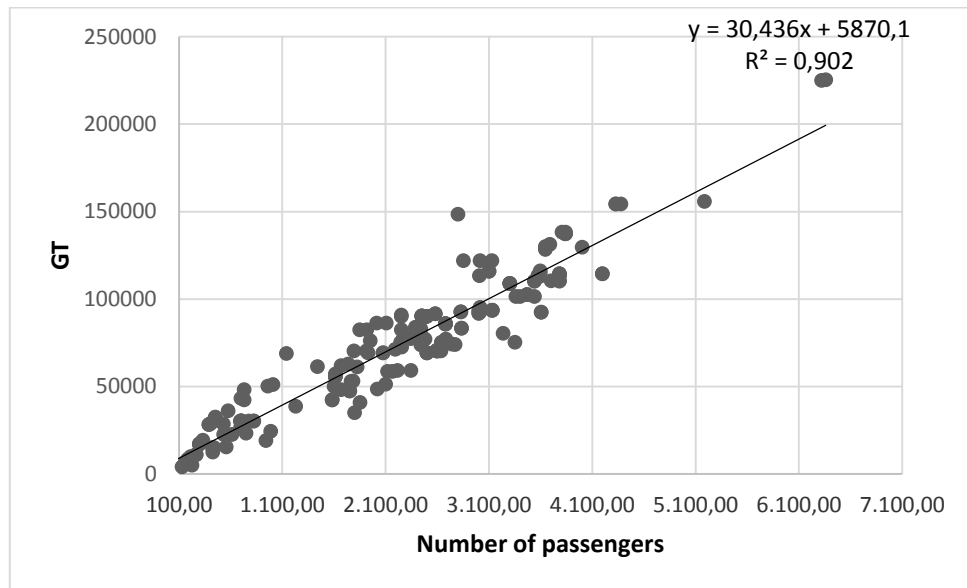
Ο αριθμός Froude μειώνεται με την πάροδο των ετών (Διάγραμμα 4.9)



Διάγραμμα 4.9

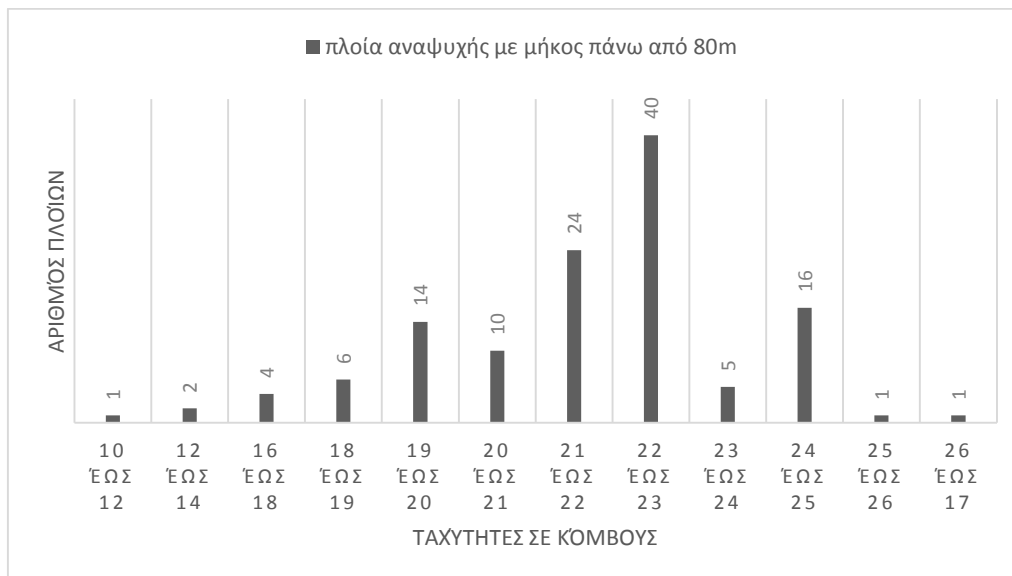
Όλα τα παραπάνω μεγέθη επιδρούν στην αντίσταση και στην απαιτούμενη ισχύ πρόωσης όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Λόγω της αύξησης της χωρητικότητας παρατηρείται και ανάλογη γραμμική αύξηση του αριθμού των επιβατών (Διάγραμμα 4.10)



Διάγραμμα 4.10

Στο Διάγραμμα 4.11 φαίνεται η κατανομή των ταχυτήτων. Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των πλοίων έχει ταχύτητα μεταξύ 19 και 24knots (τα περισσότερα από 21 έως 23knots).



Διάγραμμα 4.11

4.3 Αρχές αντίστασης πλοίου

Η αντίσταση ενός πλοίου σε μία δεδομένη ταχύτητα είναι η δύναμη που απαιτείται για να ρυμουλκηθεί το πλοίο σε αυτήν την ταχύτητα σε ήρεμο νερό. Αν η γάστρα δεν έχει παρελκόμενα, τότε η αντίσταση καλείται «αντίσταση γυμνής γάστρας» ή

«αντίσταση ρυμούλκησης». Η αντίσταση αυτή διαφέρει από την αντίσταση πρόωσης, καθώς στην τελευταία συμπεριλαμβάνεται και η αλληλεπίδραση έλικας-γάστρας.

Πιο αναλυτικά, κατά την κίνηση ενός σώματος στο νερό (πραγματικό ρευστό) δημιουργούνται δυνάμεις αντίστασης λόγω των υδροδυναμικών πιέσεων και των τάσεων που ασκούνται επί της βρεχόμενης επιφάνειάς του. Από το ολοκλήρωμα αυτών προκύπτουν οι διάφορες συνιστώσες της αντίστασης. Ο υπολογισμός της ολικής αντίστασης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης έλικας αλλά και της Κύριας Μηχανής.

Η αντίσταση ενός πλοίου επηρεάζεται από την ταχύτητα, το εκτόπισμα και την μορφή της γάστρας του. Η συνολική αντίσταση R_T , αποτελείται από πολλές συνιστώσες αντιστάσεις, που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες ως εξής:

1. Αντίσταση τριβής
2. Υπόλοιπη Αντίσταση
3. Αντίσταση αέρα

Η σχετική επίδραση, στη συνολική αντίσταση του πλοίου, της αντίστασης τριβής και της υπόλοιπης αντίστασης εξαρτάται από το βρεχόμενο τμήμα της γάστρας, ενώ η επίδραση της αντίστασης του αέρα εξαρτάται από το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα του πλοίου πάνω από την ίσαλο. Έτσι, η τελευταία είναι πιο σημαντική σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships) ή μεγάλα επιβατηγά.

4.3.1 Αντίσταση τριβής R_F

Κατά την κίνηση ενός σώματος σε ένα πραγματικό ρευστό, δηλαδή ρευστό το οποίο είναι συνεκτικό, παρατηρείται προσκόλληση ενός λεπτού στρώματος αυτού στην επιφάνεια του σώματος. Προφανώς, το στρώμα κινείται με την ίδια ταχύτητα με το κινούμενο σώμα. Λόγω της συνεκτικότητας τα αμέσως επόμενα στρώματα ρευστού θα τεθούν σε κίνηση ίδιας κατεύθυνσης με το σώμα. Έτσι δημιουργείται ένα οριακό στρώμα που γίνεται βαθμιαία παχύτερο από την πλώρη προς την πρύμνη και στο οποίο η κατανομή της ταχύτητας ξεκινά από μία τιμή ίδια με εκείνη του σώματος και καταλήγει στην τιμή που δίνεται από τη δυναμική ροή στο τέλος του οριακού στρώματος. Το πάχος του οριακού στρώματος εξαρτάται από τον τοπικό αριθμό Reynolds. Σύμφωνα με τον Froude, η αντίσταση τριβής ενός πλοίου μήκους L με βρεχόμενη επιφάνεια S ισούται με την αντίσταση μίας επίπεδης πλάκας ίδιου μήκους και ίδιας βρεχόμενης επιφάνειας.

Η αντίσταση τριβής, $R_F = \frac{1}{2} \rho V^2 S$, εξαρτάται από το μέγεθος της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας S και από τον ειδικό συντελεστή αντίστασης τριβής C_F ($C_F = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2}$ κατά ITTC 1957). Σημαντικό ρόλο στην τριβή παίζει η ρύπανσή της γάστρας από θαλάσσιους οργανισμούς, όστρακα, φύκια, κ.λπ.. Η αντίσταση τριβής

αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μέρος της ολικής αντίστασης, από 70 έως 90% για αργά πλοία (π.χ. φορτίου χύδην και δεξαμενόπλοια) και λιγότερο από 40 % για κάποια γρήγορα πλοία (π.χ. εμπορευματοκιβωτίων και επιβατηγά).

4.3.2 Υπόλοιπη Αντίσταση R_R

Η διαφορά της αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας από την ολική αντίσταση ονομάζεται υπόλοιπη αντίσταση και χωρίζεται σε δύο όρους στην αντίσταση κυματισμού και στην αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας, δηλαδή: $R_R=R_W+R_{PV}$,

Η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας είναι η συνιστώσα που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων δυνάμεων (δυνάμεις πίεσης) και με την προβολή αυτών κατά τη διεύθυνση της ροής. Οφείλεται στην αλλαγή της κατανομής της πίεσης στη γάστρα του πλοίου, λόγω της ύπαρξης συνεκτικότητας. Σε πραγματικά ρευστά, κυρίως λόγω αποκόλλησης της ροής στην πρύμνη διαταράσσεται η ισορροπία των πιέσεων ('έλλειψη' πίεσης στην πρύμνη) και έτσι δημιουργείται μία συνιστώσα αντίστασης από το ολοκλήρωμα των πιέσεων πάνω στη γάστρα. Επίσης, υπάρχει μία πρόσθετη συνιστώσα λόγω απώλειας ενέργειας λόγω αποκόλλησης της ροής και δημιουργίας δινών κυρίως στην πρύμνη.

Η αντίσταση κυματισμού αφορά την απώλεια ενέργειας που προκύπτει λόγω της δημιουργίας κυμάτων από το σκάφος κατά την διάρκεια της κίνησης του μέσα στο νερό. Η συνιστώσα αυτή επηρεάζεται από το μέτρο της ταχύτητας, μέσω του αριθμού Froude, αλλά και από τη μορφή της γάστρας. Η αντίσταση κυματισμού σε χαμηλές ταχύτητες είναι ανάλογη στο τετράγωνο της ταχύτητας αλλά αυξάνει πολύ γρηγορότερα σε υψηλότερες ταχύτητες. Θεωρητικά αυτό σημαίνει ότι τίθεται ένα φράγμα ταχύτητας, έτσι ώστε επιπλέον αύξηση της ισχύος πρόωσης του πλοίου δεν έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερης ταχύτητας πλευσης, καθώς όλη η ενέργεια θα μετατρέπεται σε ενέργεια κυματισμού. Αυτό εξηγεί και τη γνωστή σχέση $P=aV^X$, $X>3$ (Νόμος της έλικας). Η υπόλοιπη αντίσταση κανονικά αντιπροσωπεύει το 10 - 25 % της συνολικής αντίστασης για αργά πλοία και έως 40 - 60% για ταχεία.

Συγκεκριμένα για τα πλοία αναψυχής, τα οποία κινούνται με αρκετά μεγάλες ταχύτητες (συνήθως πάνω από 20knots), σύμφωνα με την βάση δεδομένων IHS Fairplay και με του υπολογισμούς που έγιναν με τη μέθοδο Holtrop, η αντίσταση τριβής αποτελεί από το 37 έως το 55%.

4.3.3 Αντίσταση του αέρα R_A

Σε ήρεμο νερό, η αντίσταση του αέρα, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου και επίσης ανάλογη με την μετωπική επιφάνεια του πλοίου πάνω από την ίσαλο. Η αντίσταση του αέρα κανονικά αντιπροσωπεύει περίπου το

2% της συνολικής αντίστασης. Για πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container ships) με αντίθετο άνεμο, η αντίσταση λόγω του αέρα μπορεί να φθάσει και το 10%.

Στα πλοία αναψυχής το ποσοστό της αντίστασης του αέρα είναι επίσης σημαντικό λόγω του μεγάλου μεγέθους των υπερκατασκευών τους.

4.3.4 Αντίσταση R_T και ισχύς P_E ρυμουλκήσεως

Η συνολική αντίσταση ρυμουλκήσεως του πλοίου R_T βρίσκεται ως άθροισμα των παραπάνω. Η αντίστοιχη ισχύς ρυμουλκήσεως P_E , που είναι απαραίτητη για να κινηθεί το πλοίο μέσα στο νερό, δηλαδή, για να ρυμουλκηθεί το πλοίο με ταχύτητα V , είναι τότε: $EHP=R_T \times V$

Η ισχύς που απορροφάται από την έλικα, DHP_0 , ώστε να κινήσει το πλοίο με ταχύτητα V είναι, ωστόσο κάπως υψηλότερη και ορίζεται ως βαθμός της έλικας-πλοίου $n_D = \frac{EHP}{DHP} = \frac{R_T V}{2\pi n Q}$. Ωστόσο, αυτός ο βαθμός απόδοσης δεν είναι πραγματικός καθώς στον αριθμητή εμφανίζεται μέγεθος που αφορά το ρυμουλκούμενο πλοίο και όχι το αυτοπρωθούμενο. Το EHP εκφράζει ένα θεωρητικό ελάχιστο για το αυτοπρωθούμενο πλοίο, δηλαδή $P_E < R \times V = T \times V$, όπου $T H P_0 = T V$ η ισχύς ώσης της έλικας.

Η ισχύς της αντίστοιχης ροπής είναι ίση με $DHP_0 = 2\pi n Q_0$ και ορίζεται ο βαθμός απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή από τη σχέση: $n_0 = T H P_0 / DHP_0$.

Ορίζεται επίσης $n_s = \frac{DHP}{SHP}$ και $n_R = \frac{DHP_0}{DHP}$

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης, γνωστός ως «συντελεστής πρόωσης» ορίζεται από τη σχέση:

$$P.C. = \frac{EHP}{SHP} = \left(\frac{1-t}{1-w} \right) n_0 n_R n_s$$

Αναφέρεται ότι η εγκατεστημένη ισχύς πρόωσης συνδέεται με το εκτόπισμα και την ταχύτητα του πλοίου με τη Σταθερά του Αγγλικού Ναυαρχείου:

$$C_N = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{P}$$

Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί από όμοια πλοία δηλαδή από πλοία με όμοια γάστρα και παρόμοιους αριθμούς Froude και Reynolds.

4.3.5 Αριθμός Froude

Ο αριθμός Froude είναι αδιάστατος και ορίζεται ως $Fn = \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}}$, όπου V_s η ταχύτητα του πλοίου σε m/sec, g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2 και L το μήκος του πλοίου.

Πλοία με τον ίδιο αριθμό Froude έχουν συγκρίσιμη αντίσταση κυματισμού η οποία είναι σημαντική για πλοία που λειτουργούν σε μεγάλες ταχύτητες, όπως τα πλοία αναψυχής (κοντά στο 60% όπως αναφέρθηκε)

4.3.6 Επίδραση των κυρίων διαστάσεων επί της αντίστασης

Για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0,15, αύξηση του μήκους σημαίνει δραστική μείωση της υπόλοιπης αντίστασης, ενώ παραλλήλως αυξάνεται η βρεχόμενη επιφάνεια και κατ' επέκταση η αντίσταση τριβής. Έτσι, η ολική αντίσταση μειώνεται.

Επίσης, κατά την επιλογή του μήκους είναι σημαντικό να αποφεύγονται δυσμενείς αριθμοί Froude. Σε τέτοιους αριθμούς παρουσιάζεται συντονισμός των πρωτογενών πηραίων και των πρυμναίων συστημάτων κυματισμών και έτσι παρατηρείται σημαντική αύξηση της αντίστασης κυματισμού.

Το μεγαλύτερο μήκος, για δεδομένο εκτόπισμα θα μειώσει την αντίσταση κυματισμού, καθώς μειώνεται ο αριθμός Froude, αλλά θα αυξήσει την αντίσταση τριβής. Έτσι, τα μεγαλύτερα μήκη θα έχουν πλεονέκτημα όταν συνδυάζονται με υψηλές ταχύτητες όπου η αντίσταση τριβής είναι μικρή. Ωστόσο, το μήκος είναι μία διάσταση που υπόκειται σε περιορισμούς λόγω κόστους, αλλά και περιορισμούς ελλειμνισμού, ενώ όσο αυξάνεται η διάσταση αυτή αυξάνονται και τα παρελκόμενα και ο εξοπλισμός.

Αύξηση του βυθίσματος, για δεδομένο εκτόπισμα, μειώνει γενικά την αντίσταση χωρίς να αυξάνεται πολύ το κόστος. Συγκεκριμένα, η τοποθέτηση εκτοπίσματος μακριά από την ελεύθερη επιφάνεια καθιστά την ίσαλο πιο λεπτόγραμμη, μειώνοντας έτσι την αντίσταση κυματισμού. Όμως, η διάσταση αυτή περιορίζεται σημαντικά από το βάθος των λιμένων.

Αύξηση του πλάτους θα οδηγήσει σε αύξηση της αντίστασης κυματισμού και μορφής, εκτός αν συνδυαστεί με μία καλοσχεδιασμένη γάστρα. Σημειώνεται ότι στις περιπτώσεις πλοίων χαμηλής ταχύτητας, μία μικρή μείωση στο μήκος και μία εξισορροπιστική αύξηση του πλάτους μπορεί να οδηγήσει σε μικρή ή και καθόλου αύξηση της αντίστασης, λόγω της μείωσης της βρεχόμενης επιφάνειας.

4.3.7 Επίδραση του λόγου λυγνρότητας στην αντίσταση

Ο συντελεστής λυγνρότητας ή συντελεστής οξύτητας ($\frac{L}{\nabla^{1/3}}$) εκφράζει την οξύτητα της γάστρας και μπορούμε να πάρουμε μία καλή εικόνα αν γνωρίζουμε και τον πρισματικό συντελεστή. Πιο συγκεκριμένα, υψηλές τιμές του πρώτου και χαμηλές του δεύτερου συνεπάγονται λεπτόγραμμες γάστρες και αφορούν κυρίως ταχεία σκάφη.

Για βραδέα σκάφη (π.χ. δεξαμενόπλοια) απαιτείται χαμηλός συντελεστής λυγηρότητας και μεγάλη πληρότητα γάστρας, δηλαδή υψηλός συντελεστής γάστρας.

Για ταχεία σκάφη υψηλός συντελεστής λυγηρότητας έχει θετική επίδραση στην αντίσταση, λόγω μείωσης της έντασης των δημιουργούμενων κυματισμών και κατ' επέκταση μείωση της αντίστοιχης αντίστασης.

4.3.8 Επίδραση του λόγου B/T στην αντίσταση

Επίδραση στην αντίσταση έχει και ο λόγος $\frac{B}{T}$. Συγκεκριμένα, η αντίσταση τριβής η οποία εξαρτάται από τη βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου, η οποία ελαχιστοποιείται για τιμή του λόγου ίση με 2,25 και 3 για συντελεστή γάστρας ίσο με 0,8 και 0,5 αντίστοιχα^[16]. Ανάλογη συμπεριφορά ακολουθεί και η υπόλοιπη αντίσταση, και έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά ότι μία τιμή 2,5 εξυπηρετεί και τις δύο συνιστώσες της αντίστασης κατά βέλτιστο τρόπο. Τονίζεται ότι αύξηση του λόγου B/T οδηγεί κατά κανόνα σε αύξηση της αντίστασης κυματισμού.

Ωστόσο, συχνά παρατηρούνται διαφορετικές τιμές του λόγου λόγω περιορισμών ή απαιτήσεων. Για παράδειγμα στα επιβατηγά λόγω ιδιαίτερων απαιτήσεων ως προς την ευστάθεια παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές. Παρατηρούμε ότι τα πλοία αναψυχής έχουν λόγο B/T αρκετά μακριά από το βέλτιστο, συνήθως πάνω από 4. Αυτό δικαιολογείται λόγω της ανάγκης για μεγάλο πλάτος, αλλά και λόγω του περιορισμένου βυθίσματος που μπορούν έχουν τα πλοία αυτά προκειμένου να επισκέπτονται ρηχά λιμάνια.

4.3.9 Επίδραση του λόγου L/B στην αντίσταση

Η επίδραση του λόγου $\frac{L}{B}$ δεν έχει μονοσήμαντη επίδραση επί της αντίστασης. Μία αύξηση του πλάτους (μείωση του λόγου), προκαλεί μείωση του συντελεστή γάστρας, οπότε πιθανώς μειώνεται η αντίσταση. Γενικά, μία αύξηση του πλάτους αυξάνει την αντίσταση κυματισμού (ειδικά για τα ταχεία σκάφη όπου το ποσοστό αυτής είναι σημαντικό) και συνεπώς την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης.

4.3.10 Επίδραση των αδιάστατων συντελεστών στην αντίσταση

Ο πρισματικός συντελεστής ορίζεται ως $C_P = \frac{\nabla}{AML}$ ενώ ο συντελεστής γάστρας ως $C_B = \frac{\nabla}{LBT}$. Οι επίδραση τους επί την αντίσταση είναι σημαντική και εξαρτάται από τον αριθμό Froude.

Για βραδέα σκάφη όπου είναι σημαντική η αντίσταση τριβής και συνεπώς επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της βρεχόμενης επιφάνειας. Έτσι, επιλέγονται

υψηλοί συντελεστές και μεγάλες επιφάνειες μέσου νομέα. Για ταχεία πλοία απαιτείται περιορισμός της αντίστασης κυματισμού και χαμηλό C_p ωστόσο για ταχύπλοα, ο συντελεστής αυτός δεν έχει μεγάλη επίδραση.

4.4 Ηλεκτροπρόωση

4.4.1 Γενικά

Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός στα επιβατηγά πλοία βελτιώνει την αποδοτικότητα τους, την άνεση, την ασφάλεια και την αξιοπιστία των λειτουργιών του πλοίου, ενώ τα πλοία γίνονται πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας, και σπανιότερα μέσω μειωτήρων, από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από μηχανές ντήζελ, αεριοστρόβιλους ή ατμοστρόβιλους. Αυτά εξακολουθούν να υπάρχουν στο πλοίο, αλλά αντί να κινούν απευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα, κινούν έναν αριθμό ηλεκτρογεννητριών οι οποίες τροφοδοτούν με ηλεκτρικό ρεύμα τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης.

Η ηλεκτρική πρόωση δεν είναι καινούρια ιδέα, αλλά μόλις τα τελευταία χρόνια έχει γίνει βιώσιμη εναλλακτική λύση λόγω της προόδου της τεχνολογίας και κατ' επέκταση της μείωσης του κόστους των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα. Παλαιότερα, η ηλεκτρική πρόωση είχε εφαρμογή μόνο σε ορισμένους εξειδικευμένους τύπος πλοίων, ωστόσο από τη δεκαετία του '90 άρχισε να βρίσκει εφαρμογή σε περισσότερους τύπους πλοίων. Πλοία στα οποία ενδείκνυται η ηλεκτροπρόωση είναι κυρίως αυτά τα οποία έχουν υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων και ισχύος βοηθητικών μηχανημάτων, πλοία με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονες διακυμάνσεις στην ισχύ πρόωσης, όπως τα μεγάλα επιβατηγά, τα οχηματαγωγά και ορισμένα δεξαμενόπλοια.

Το σύστημα ηλεκτροπρόωσης προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης της προωστήριας αλλά και της υπόλοιπης ηλεκτρικής εγκατάστασης. Επίσης, η χρήση ηλεκτροκινητήρων είναι η μοναδική λύση σε περίπτωση που απαιτείται βοηθητική πρόωση μέσω πλευρικών προωστήριων μηχανισμών προς αύξηση της ελικτικής ικανότητας, κυρίως για πλεύση μέσα σε λιμάνια.

Τα συστήματα αυτά τις περισσότερες φορές συνδυάζονται με την επιλογή έλικας μεταβλητού βήματος ώστε να εξασφαλίζεται βέλτιστη λειτουργία. Για τέτοιες έλικες δεν απαιτείται περιθώριο ροπής, καθώς με κατάλληλη ρύθμιση του βήματος απορροφάται η μέγιστη ισχύς.

4.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

4.4.2.1 Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι:

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0- 100 %
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους
- Άρα και περιορισμένος κίνδυνος ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων
- Χαμηλό επίπεδο θορύβου και κραδασμών
- Οικονομική λειτουργία λόγω χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου , καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο
- Ευχέρεια στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας
- Ευκολία αυτοματισμού
- Αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) άρα και υψηλά επίπεδα ασφάλειας
- Περιορισμός των εκπομπών ρύπων

ιδιαίτερα οι εκπομπές NOx είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας ντήζελ λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.

4.4.2.2 Μειονεκτήματα

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι:

- το κόστος επένδυσης είναι υψηλό. Γίνεται εντατική προσπάθεια το κόστος αυτό να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία, ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να μπορεί να μειωθεί εύκολα.
- οι απώλειες είναι υψηλότερες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε συμβατικό σύστημα κινητήρα ντήζελ- έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4% (2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο

συνδυασμό ταχύτητας/βήματος). Σε εγκατάσταση νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες της τάξεως του 7 - 8% (3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2-3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες). Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνο όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

- Τέλος, απαιτείται εξειδίκευση του προσωπικού σχετικά με τη χρήση και την συντήρηση των επιμέρους στοιχείων.

Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κ.α.).

4.4.3 Πρωστήριο σύστημα

Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το πρωστήριο σύστημα που έχει ποικίλα πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι ενιαίο και βρίσκεται εντός του νερού στο πρυμναίο μέρος του πλοίου. Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα περιστροφής σχεδόν κατά 360° κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση, από όπου προέρχεται και το όνομά του (Azimuth thrusters), δηλ. στο οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου, ενώ πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και δεν υπάρχει ανάγκη για μηχανισμός πηδαλίου. Το σύστημα αυτό δηλαδή, αντικαθιστά το πηδάλιο και δίνει στο πλοίο πολύ μεγαλύτερη ικανότητα ελιγμών από εκείνη που θα είχε με μία συμβατική προπέλα σε συνδυασμό με ένα πηδάλιο.

Τα περισσότερα πλοία έχουν 2 αζιμουθιακούς ωθητήρες οι οποίοι βρίσκονται εντός κελύφους (rodded), τα οποία κινούνται με έναν από τους 2 παρακάτω τρόπους:

-με μηχανική ενέργεια από κινητήρα εντός του πλοίου ο οποίος συνδέεται με το κέλυφος μέσω άξονα και γραναζιών ο οποίος μπορεί να είναι κινητήρας ντήζελ ή σύστημα νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης ή εναλλακτικά

-απευθείας από ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι βρίσκονται εντός του κελύφους. Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας για την παραγωγή μηχανικής παράγεται από γεννήτριες που τροφοδοτούνται από μηχανή ντήζελ ή σπανιότερα από αεριοστρόβιλο.

Το πιο γνωστό σύστημα της παραπάνω κατηγορίας είναι το Aziprod, της εταιρείας ABB. Υπάρχουν διάφοροι άλλοι κατασκευαστές όπως η Rolls-Royce, η Siemens-

Schottel και η Wartsila Propulsion. Παρακάτω φαίνεται το συμβατικό σύστημα πηδαλίου και προπέλας και το προηγμένο σύστημα αζιμουθιακών ωθητήρων.



Figure 2. Typical optimised aft ship design of a conventional cruise vessel with twin propeller/twin rudder arrangement

Εικόνα 4.3 ^[29]



Figure 3. Typical optimised aft ship design of a cruise vessel with podded propulsion and steering arrangement

Εικόνα 4.4 ^[29]

Οι προπέλες μπορεί να είναι σταθερού ή μεταβλητού βήματος.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ηλεκτρική αποδοτικότητα, καλύτερη διαχείριση χώρου, θέλουν λιγότερο χρόνο για να σταματήσουν καθώς έχουν τη δυνατότητα αντίστροφης ώσης και χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

Τα πλοία αναψυχής χρειάζονται αυτό το σύστημα για να μπαίνουν σε μικρά λιμάνια αλλά και λιμάνια περιορισμένου βάθους για να σταθεροποιούνται. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται απλές προπέλες σταθερού ή συνηθέστερα μεταβλητού βήματος οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- Έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propeller): οι έλικες αυτές είναι χυτά κομμάτια, ενιαία τα οποία κατασκευάζονται συνήθως από κράμα χαλκού. Η θέση των πτερυγίων, και κατ' επέκταση το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή, και έτσι το βήμα είναι δεδομένο χωρίς να μπορεί να αλλάξει κατά την λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι αν η έλικα λειτουργεί για παράδειγμα σε συνθήκες άσχημου καιρού, οι καμπύλες απόδοσης της έλικας, δηλαδή ο συνδυασμός ισχύος και ταχύτητας (r/min), θα αλλάζουν ακολουθώντας τους φυσικούς νόμους, και η πραγματική καμπύλη της έλικας δεν μπορεί να μεταβληθεί. Τα περισσότερα πλοία που δεν χρειάζονται ειδικές καλές ελικτικές ικανότητες είναι εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος λόγω του μικρότερου κόστους τους και των λιγότερων εξόδων συντήρησης.

- Έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propeller): οι έλικες αυτές έχουν μεγαλύτερη πλύμνη σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος, επειδή αυτή πρέπει να έχει αρκετό χώρο για τον υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της γωνίας (βήματος) των πτερυγίων. Οι έλικες μεταβλητού βήματος είναι ίσως 3 με 4 φορές ακριβότερες σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος. Επιπλέον, λόγω της μεγαλύτερης πλύμνης, έχουν λίγο μικρότερη απόδοση. Οι έλικες αυτές συνήθως χρησιμοποιούνται στα πλοία αναψυχής και γενικά στα επιβατηγά που, όπως αναφέρθηκε, απαιτούν υψηλές ελικτικές ικανότητες. Για τα υπόλοιπα πλοία, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, φορτίου χύδην και τα δεξαμενόπλοια, που πλέουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε κανονική θάλασσα και με δεδομένη ταχύτητα, θα ήταν γενικά αντιοικονομικό να εγκατασταθούν έλικες μεταβλητού βήματος. Επίσης, μία έλικα μεταβλητού βήματος καθώς έχει πιο περίπλοκη γεωμετρία έχει περισσότερες πιθανότητες προβλημάτων κατά την λειτουργία της.

Τα περισσότερα πλοία αναψυχής έχουν στην πλώρη τους δύο ή τρεις μικρούς ωθητήρες (bow thrusters) οι οποίοι βελτιώνουν ακόμα περισσότερο την ελικτικότητα του πλοίου σε χαμηλές ταχύτητες κοντά στην ακτή αλλά και μέσα στα λιμάνια. Με την χρήση αυτών δεν υπάρχει η ανάγκη ρυμούλκησης του πλοίου κατά την είσοδο και έξοδό του από το λιμάνι και έτσι γίνεται σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων για την εταιρία. Τέλος, βοηθούν στη διαδικασία δεξαμενισμού του πλοίου, μειώνοντας αρκετά το χρόνο αλλά και το κόστος αυτού.

Οι ωθητήρες αυτοί είναι συνήθως τοποθετημένα εγκάρσιως και τοποθετούνται στην πλώρη, όπως υποδεικνύει και το όνομά τους, ενώ συχνά υπάρχουν και

αντίστοιχοι στην πρύμνη (stern thrusters). Ο αριθμός αυτών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος του πλοίου.

4.4.4 Ηλεκτροπρόωση στα πλοία αναψυχής

Στα πλοία αναψυχής, αν και υπάρχουν υψηλά επίπεδα ασφαλείας, έχουν παρουσιαστεί ορισμένα σοβαρά ατυχήματα και για αυτό το λόγο έχουν γίνει εκτεταμένες προσπάθειες για περαιτέρω αύξηση της ασφάλειας. Για να ικανοποιήσουν τους υπάρχοντες κανονισμούς ασφαλείας πρέπει να έχουν περίσσεια ισχύος τόσο ώστε σε περίπτωση ατυχήματος οι επιβάτες και το πλήρωμα να μπορέσουν να μείνουν στο πλοίο μέχρι αυτό να φτάσει στο κοντινότερο λιμάνι (Safe Return to Port). Με το σύστημα ηλεκτροπρόωσης αυτό εξασφαλίζεται τοποθετώντας τις γεννήτριες σε περισσότερους από έναν χώρους οι οποίοι διαχωρίζονται με στεγανές φρακτές οι οποίες είναι μονωτικές και δεν επιτρέπουν τη μετάδοση της θερμοκρασίας σε περίπτωση φωτιάς. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα βοηθητικά μηχανήματα και το σύστημα πρόωσης το οποίο πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον 2 μονάδες.

Τα επιβατηγά πλοία και κυρίως τα πλοία αναψυχής έχουν επίσης πολύ υψηλές απαιτήσεις για χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών με σκοπό την άνετη και ευχάριστη μεταφορά των επιβατών. Επίσης, η αξιοπιστία της μηχανής είναι μείζονος σημασίας για την ασφάλεια λόγω της μεταφοράς χιλιάδων επιβατών. Έτσι, η ηλεκτρική πρόωση κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική.

Ήδη πολλά μεγάλα πλοία αναψυχής χρησιμοποιούν ηλεκτροπρόωση και αναμένεται ο αριθμός τους να αυξηθεί. Σημαντικές βελτιώσεις διαπιστώνονται στην ικανότητα ελιγμών και στα έξοδα καυσίμων με αύξηση της αποδοτικότητας κατά 10%^[31]. Τα περισσότερα καινούρια πλοία αναψυχής σήμερα κατασκευάζονται με σύστημα νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης.

Έτσι, προσφέρεται στα πλοία αυτά ένα πλήθος πλεονεκτημάτων όπως μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, λιγότερες εκπομπές, ασφαλή και αξιόπιστη πρόωση, αυξημένη ελκτική ικανότητα με χαμηλή κατανάλωση και αυξημένη περίσσεια ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, τα πλοία με ηλεκτροπρόωση είναι αποδοτικά ακόμα και όταν υπάρχουν διακυμάνσεις στην απαίτηση ισχύος. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν πολλαπλές μικρές μηχανές που μπορεί να δουλεύουν όλες μαζί στο πλήρες φορτίο ή μερικές από αυτές, εξίσου αποδοτικά, παρέχοντας μεγάλη ευελιξία. Τα παραπάνω είναι πολύ σημαντικά για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου.

Μικροί κινητήρες θέτουν μέσω άξονα σε λειτουργία γεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια τόσο για την πρόωση όσο και για τις άλλες χρήσεις επί του πλοίου. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα και την ένταση του ρεύματος με κατάλληλες διατάξεις είναι δυνατός ο έλεγχος της ταχύτητας πρόωσης. Επίσης, μέσω κατάλληλων διατάξεων δίνεται ενέργεια σε μηχανήματα που βοηθούν στους ελιγμούς, στην σταθεροποίηση του πλοίου σε ορισμένη θέση αλλά και σε άλλα που βελτιώνουν την απόδοση της πρόωσης.

Στα επιβατηγά πλοία και κυρίως στα πλοία αναψυχής η άνεση επί του πλοίου αλλά και τα χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών είναι μείζονος σημασίας. Ωστόσο, λόγω της μεταφορά ανθρώπων και ειδικά στα πλοία αναψυχής, λόγου του μεγάλου αριθμού των επιβατών, η ασφάλεια είναι κυρίαρχο ζήτημα. Επίσης κανονισμοί για τα επιβατηγά πλοία απαιτούν διαθεσιμότητα ισχύος και αξιοπιστία. Όλα τα παραπάνω ζητήματα καλύπτονται από το νηζελο-ηλεκτρικό σύστημα το οποίο φαίνεται να είναι αξιόπιστα αλλά και αποδοτικά.

Τα συστήματα αυτά παρέχουν ευελιξία όσον αφορά τη διαρρύθμιση του χώρου αφού σε αντίθεση με το συμβατικό σύστημα πρόωσης δεν υπάρχει η ανάγκη τοποθέτησης των μηχανών στο ίδιο επίπεδο με τον άξονα της έλικας. Αντίθετα τοποθετούνται όπου υπάρχει χώρος, καθώς η μεταφορά ενέργειας γίνεται μέσω των καλωδίων που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, οι βοηθητικές νηζελο-γεννήτριες του συμβατικού συστήματος δεν χρειάζονται αφού οι ανάγκες που αυτές εξυπηρετούν καλύπτονται από το νηζελο-ηλεκτρικό σύστημα. Έτσι γίνεται σημαντική εξοικονόμηση χώρου. Αυτός ο χώρος μπορεί για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί για καμπίνες επιβατών.

Το πρώτο πλοίο αναψυχής που ήταν εφοδιασμένο με προπέλες σε κελύφη είχε εγκατεστημένες δύο τέτοιες μονάδες. Το μεγαλύτερο πλοίο αναψυχής σήμερα έχει μία σταθερή μονάδα και δύο αζιμουθιακές λόγω της μεγάλης απαιτούμενης ισχύος πρόωσης. Το μεγαλύτερο πλοίο το οποίο κατασκευάζεται σήμερα θα έχει δύο σταθερές και δύο αζιμουθιακές. Η χρήση σταθερών μονάδων θέτει μια πρόκληση σχετικά με τις ελικτικές ικανότητες, καθώς μόνο ένα μέρος από την εγκατεστημένη ισχύ είναι διαθέσιμο για πηδαλιουχία.

4.4.4.1 Συστήματα νηζελο-ηλεκτρικής κίνησης/πρόωσης και παραδείγματα σε πλοία αναψυχής

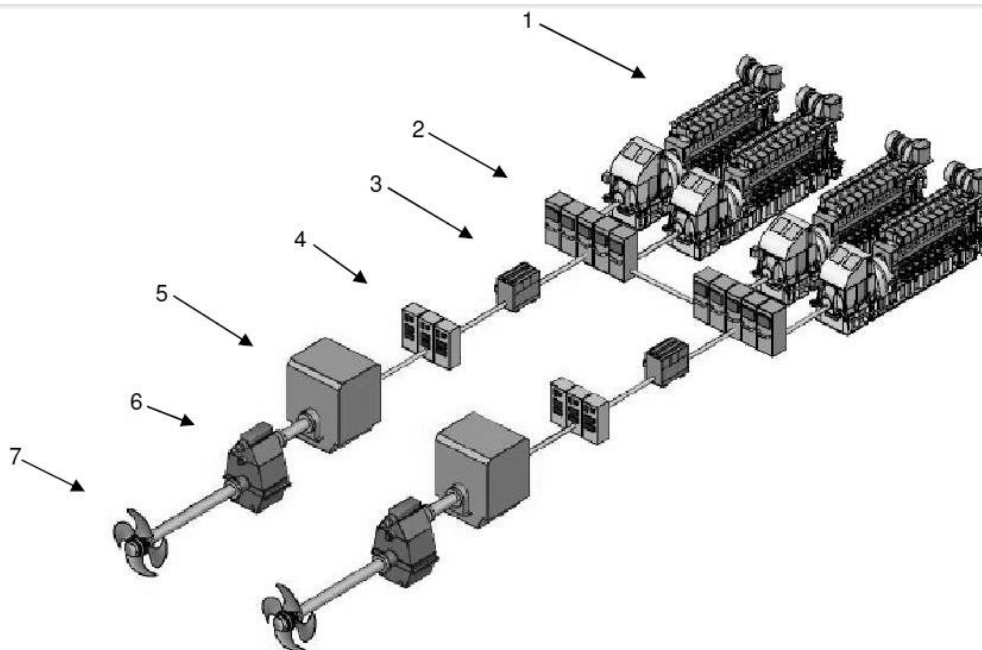
Η νηζελο-ηλεκτρική πρόωση χρησιμοποιείται συνήθως σε πλοία ειδικών απαιτήσεων, όπως: παγοθραυστικά, πλοία πόντισης καλωδίων και μεγάλα επιβατηγά. Στα τελευταία γίνεται όλο και πιο ελκυστική λύση λόγω της παράλληλης εξυπηρέτησης των μεγάλων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας με ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ισχύος το οποίο αποτελείται από μία ή περισσότερες νηζελο-γεννήτριες. Η διάταξη αυτή, με κατάλληλη διαχείριση του φορτίου, επιτρέπει την λειτουργία του ελάχιστου αριθμού γεννητριών με την κάθε μία να λειτουργεί στην περιοχή υψηλού βαθμού απόδοσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση καυσίμου σε πλατιά περιοχή ταχυτήτων του πλοίου και άλλων ηλεκτρικών φορτίων. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα χρήσης διαφόρων συστημάτων διαμόρφωσης της ισχύος, όπως για παράδειγμα μετασχηματιστές, μετατροπείς συχνότητας, ζεύγη κινητήρα-γεννήτριας κ.λ.π.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης είναι ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητας, η ικανότητα γρήγορης αναστροφής, η χαμηλή στάθμη θορύβου

μηχανών, η υψηλή ροπή στρέψης σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής της έλικας αλλά και η ευελιξία ως προς τη διάταξη των μηχανών.

Ωστόσο, τα συστήματα αυτά είναι συνήθως βαρύτερα και ακριβότερα ανά KW από τα αντίστοιχα συστήματα μεσόστροφων κινητήρων τα οποία έχουν μειωτήρα ή από μικρής ισχύος βραδύστροφους κινητήρες απευθείας κίνησης, ενώ είναι και λιγότερο αποδοτικά κατά 5-10% στην ονομαστική ισχύ.

Η βασική αρχή είναι η χρήση μεσόστροφων μηχανών ντήζελ που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία γεννητριών που δίνουν ενέργεια σε ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι είναι σε άμεση σύνδεση με το σύστημα πρόωσης. Το σύστημα αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία αφού οι μηχανές μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 4.5.



Example: Diesel-electric propulsion plant

Legend

1	Gensets: Diesel engines + alternators
2	Main switchboards
3	Supply transformers (optional): Dependent on the type of the converter. Not needed in case of the use of frequency converters with an Active Front End / Sinusoidal Drive
4	Frequency converters / drives
5	Electric propulsion motors
6	Gearboxes (optional): Dependent on the speed of the E-propulsion motor
7	Propellers / propulsors

Εικόνα 4.5^[20]

Τα περισσότερα καινούρια πλοία αναψυχής σήμερα κατασκευάζονται με σύστημα ντηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης.

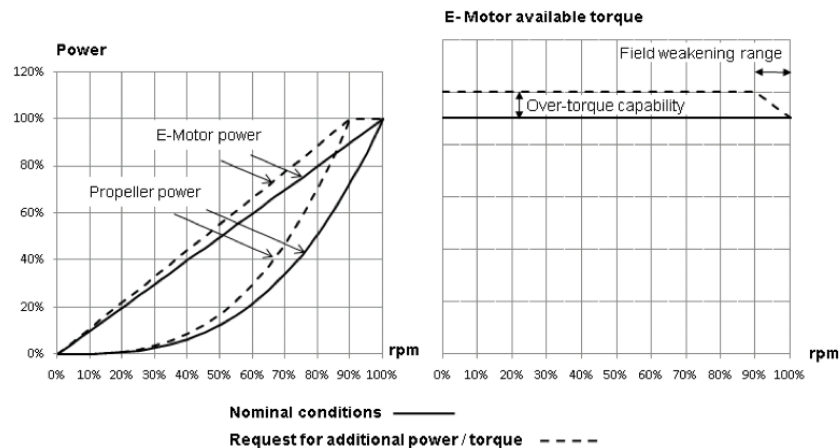
Ένα παράδειγμα είναι το Carnival Miracle του 2004, το οποίο αποτελείται από 6 Wärtsilä 9L46D μηχανές ντήζελ με συνολική ισχύ 62,370 kW, η κάθε μία εκ των οποίων συνδέεται με γεννήτρια παράγοντας έτσι ρεύμα. Οι πέντε από τους έξι αρκούν για την κάλυψη των αναγκών ρεύματος σε κατάσταση υπηρεσίας, και έτσι η μία είναι εφεδρική. Οι έξι 14,405kVA / 60Hz / 11,000V μηχανές παρέχονται από την ABB. Το πλοίο αυτό έχει ένα υψηλό επίπεδο περίσσειας ισχύος, ενώ μετά από μία αστοχία είναι διαθέσιμο τουλάχιστον το 50% της ονομαστικής. Το σύστημα πρόωσης αποτελείται από 2 Aziprod σταθερού βήματος. Το μέγιστο του κάθε ηλεκτροκινητήρα είναι 17.6 MW με εύρος ταχυτήτων από 0 έως 150rpm. Επίσης διαθέτει 3 μικρές προπέλες στην πλώρη (bow thrusters) μέγιστης ισχύος 1.91 M και πτερύγια σταθεροποίησης (fin stabilisers). Η ταχύτητα υπηρεσίας του είναι 22 knots.

Άλλο παράδειγμα είναι το Aurora το οποίο παραδόθηκε το 2000. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από τέσσερις μηχανές MAN B&W 14V 48/60 των 14,700kW ο καθένας στις 514 rpm. Η πρόωση παρέχεται από δύο STN AEG μηχανές των 20,000kW η καθεμία όταν λειτουργούν στις 140 στροφές. Αυτές οι μηχανές κινούν δύο προπέλες Kamewa διαμέτρου 5.8m, τρεις μικρές προπέλες πρύμνης και τρεις πλώρης των 1,500kW η καθεμία. Ενώ έχει πτερύγιο σταθεροποίησης από την Fincantieri. Η ταχύτητα υπηρεσίας του είναι 24knots, ενώ καταναλώνει 200t IFO και 700t καυσίμου ανά 24 ώρες.

Το Costa Atlantica, επίσης πλοίο του 2000, έχει σύστημα ντηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης που αποτελείται από έξι Wärtsilä NSD 9L46D μηχανές ντήζελ, συνολικής ισχύος 62,370kW, κάθε μία από τις οποίες συνδέεται με μία γεννήτρια της ABB για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα πρόωσης αποτελείται από 2 Aziprod 17.6MW το καθένα. Επίσης έχει τρεις μικρές προπέλες στην πλώρη ισχύος 1.91MW. Η ταχύτητα υπηρεσίας του είναι 22 knots.

Παρατηρούμε πολλές ομοιότητες στα πλοία αυτά όσον αφορά τον εξοπλισμό τους και τον τρόπο λειτουργία τους συνεπώς δεν έχει νόημα η παράθεση στοιχείων για άλλα πλοία με ντηζελο-ηλεκτρική πρόωση.

Στα συστήματα ντηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, με έλικες σταθερού βήματος, η επιλογή του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να γίνει με προσοχή, έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής διαθέσιμη ισχύς. Ο ηλεκτροκινητήρας παράγει ροπή η οποία προσδιορίζει το κόστος, το βάρος και το όγκο. Πρέπει να εκτιμηθεί η περίσσεια ροπής που χρειάζεται ώστε να λειτουργεί το πλοίο σε ικανοποιητικό βαθμό ακόμα και σε έκτακτες συνθήκες (καιρού, πάγου κ.λπ.). Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα φόρτισης των ηλεκτροκινητήρων σε σχέση με τη φόρτιση της έλικα (Εικόνα 4.7).



Example: Over-torque capability of a E-propulsion train for a FPP-driven vessel

Εικόνα 4.6 [20]

4.4.4.2 Χρήση αεριοστροβίλων και παραδείγματα σε πλοία αναψυχής

Όπως αναφέρθηκε ήδη, μία από τις βασικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα πλοία αναψυχής είναι η ασφαλής και οικονομική πλεύση και η ικανότητα τήρησης των δρομολογίων. Ωστόσο, ο μηχανολογικός εξοπλισμός των πλοίων αυτών πρέπει να παρέχει την απαραίτητη υποδύναμη και ηλεκτρική ενέργεια χωρίς θόρυβο, χωρίς κραδασμούς και χωρίς εκπομπές καπνού. Αυτό είναι μείζονος σημασίας καθώς τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα πλοία πλέουν σε ευαίσθητες περιοχές από περιβαλλοντική άποψη. Έτσι, οι πλοιοκτήτες πλέον προσπαθούν όχι μόνο να διασφαλίσουν την ικανοποίηση των υπαρχόντων κανονισμών αλλά να έχουν και να βρίσκονται αρκετά κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια.

Το κάθε ένα από αυτά τα πλοία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ικανοποιεί ένα συνδυασμό απαιτήσεων και έτσι υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα πλοία αυτής της κατηγορίας, χωρίς να υπάρχει συγκεκριμένη λύση για την πρόωση τους. Κάθε καινούριο πλοίο πρέπει να μελετάται με βάση το μέγεθος του, τις λειτουργικές του απαιτήσεις, την άνεση που προβλέπεται να προσφέρει αλλά και την επίδραση του στο περιβάλλον. Μόνο όταν προσδιοριστούν όλα αυτά μπορεί να βρεθεί ο κατάλληλος τύπος πρόωσης και γενικότερης μηχανολογικής εγκατάστασης ώστε η λύση να είναι η βέλτιστη.

Στα πλοία αναψυχής που κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια, σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, ο μηχανολογικός εξοπλισμός καταλαμβάνει από 8 έως 17.5% από τον συνολικό χώρο επί του πλοίου^[30]. Με την εγκατάσταση αεριοστροβίλων, μέρος του χώρου αυτού μπορεί να διατεθεί προς εκμετάλλευση.

Πλεονεκτήματα αεριοστροβίλων:

-χαμηλό βάρος και υψηλή ισχύς

- υψηλή αξιοπιστία
- δεν προκαλούν κραδασμούς
- μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης
- μειωμένες εκπομπές

Υπάρχουν δύο τύποι αεριοστροβίλων, απλού κύκλου και προηγμένου κύκλου (Εικόνα 4.8). Η διαφορά έγκειται στην αποδοτικότητά τους όταν δεν λειτουργούν στο πλήρες φορτίο. Ο πρώτος έχει χαμηλότερη απόδοση σε χαμηλότερο φορτίο, ενώ ο δεύτερος διατηρεί την αποδοτικότητα του ανεξάρτητα από το φορτίο.

Figure 1: Simple-cycle Gas Turbine – Principle

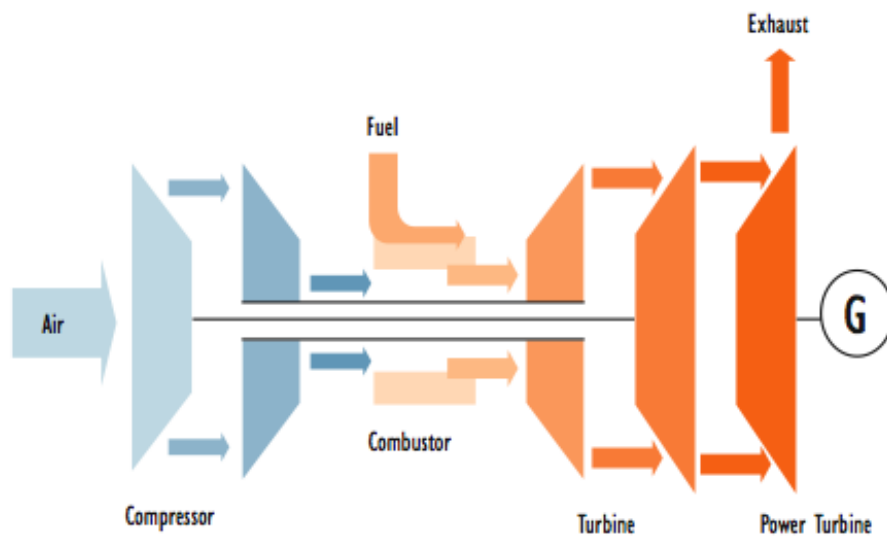
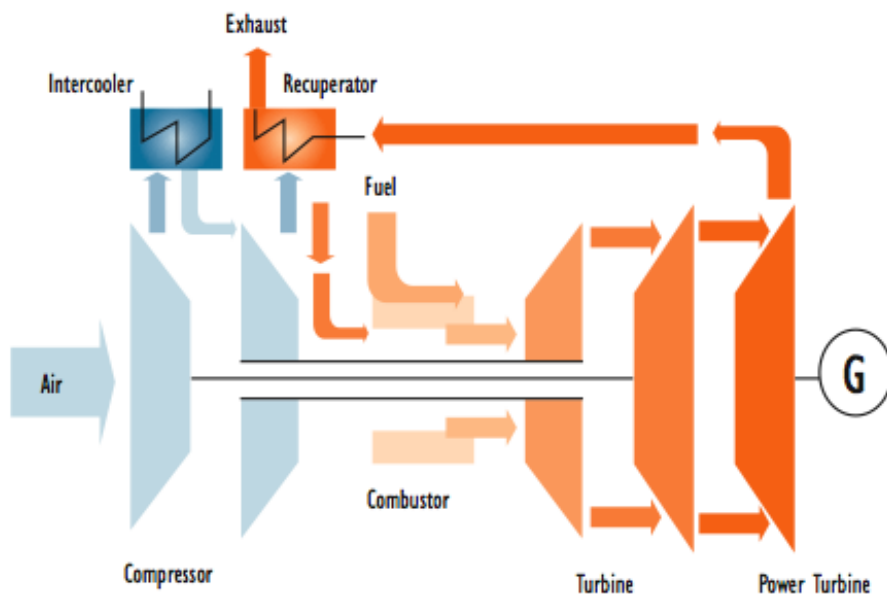


Figure 2: Advanced-cycle Gas Turbine – The Combustion Air is First Cooled, then Preheated to Improve Efficiency



Εικόνα 4.7^[30]

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να χρησιμοποιηθούν τα συστήματα αεριοστροβίλου στα πλοία αναψυχής. Τα δύο πιο συνηθισμένα είναι απλού κύκλου αεριοστρόβιλοι σε συνδυασμό με μηχανή ντήζελ (CODAG) και αεριοστρόβιλος με ατμοστρόβιλο (COGES).

Οι μηχανές ντήζελ χρησιμοποιούνται για την κανονική πλεύση, ενώ όποτε χρειάζεται υψηλότερη ταχύτητα για οποιοδήποτε λόγο, η παραπάνω ισχύς δίνεται από τον αεριοστρόβιλο (ή τους αεριοστρόβιλους). Επειδή η καμπύλη της αντίστασης γίνεται πολύ απότομη σε υψηλές ταχύτητες, η εξοικονόμηση χώρου είναι μεγάλη με αυτό το σύστημα. Για παράδειγμα η ισχύς που απαιτείται για πλεύση με 23knots είναι συνήθως παραπάνω από διπλάσια από αυτή που απαιτείται για 17knots. Είναι λογικό να χρησιμοποιούνται αεριοστρόβιλοι απλού τύπου σε συστήματα CODAG καθώς ο αεριοστρόβιλος θα λειτουργεί σε υψηλό φορτίο, κοντά στο βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας του. Μία εναλλακτική εγκατάσταση τέτοιου τύπου εμπεριέχει έναν μικρό αεριοστρόβιλο που χρησιμοποιείται όταν απαιτείται χαμηλό επίπεδο εκπομπών, π.χ. στα λιμάνια.

Το σύστημα COGES βασίζεται στην υψηλή θερμοκρασία εξαγωγής των καυσαερίων του απλού κύκλου που επιτρέπει μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής από τους ατμοστρόβιλους. Μέρος του ατμού που παράγεται χρησιμοποιείται για την κάλυψη αναγκών επί του πλοίου ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στον ατμοστρόβιλο προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό απλοποιεί την διαμόρφωση του μηχανοστασίου και μειώνει τον αριθμό των μηχανών που λειτουργούν.

Εκτός από τα δύο παραπάνω συστήματα, σήμερα υπάρχει η ιδέα χρήσης προηγμένων κύκλων αεριοστροβίλων υψηλής αποδοτικότητας σε πλήθος καταστάσεων. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η κινητήρια μηχανή να έχει χαμηλή ειδική κατανάλωση σε ένα μεγάλο εύρος καταστάσεων. Η κατανάλωση καυσίμου αυτών των συστημάτων είναι σχεδόν σταθερή για φορτίο από 1/3 έως το πλήρες. Αυτό σημαίνει ότι ο ίδιος αεριοστρόβιλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κινητήρια μηχανή σε χαμηλές ταχύτητες κοντά στην ακτή, σε κανονική πλεύση, αλλά και σε υψηλές ταχύτητες.

Καθώς ο προηγμένος κύκλος αεριοστροβίλου έχει υψηλότερη θερμική απόδοση, δεν έχει μεγάλα ποσά απωλειών θερμότητας όπως ο απλός. Σε σύγκριση με το σύστημα COGES, ο μηχανισμός μπορεί να γίνει πολύ απλούστερος, παραλείποντας τον ατμοστρόβιλο και χρησιμοποιώντας την διαθέσιμη θερμότητα για την παραγωγή ατμού για της απαιτήσεις επί του πλοίου. Τα συστήματα αυτά λοιπόν έχουν επιδόσεις ανάλογες του νηζελο-ηλεκτρικού συστήματος, αλλά με χαμηλότερες εκπομπές.

Η βιομηχανία των ταξιδίων αναψυχής αντιμετωπίζει μεγάλη πίεση όσον αφορά της εκπομπές των πλοίων καθώς αυτά πλέον προστατευόμενες και ιδιαίτερα ευαίσθητες περιοχές. Αυτό, κάνει τα συστήματα αεριοστροβίλων πιο ελκυστικά.

Υπάρχουν διάφορα ενώσεις επικίνδυνες για το περιβάλλον, οι κυριότερες από τις οποίες είναι τα οξειδία του αζώτου (SOx) και ειδικά το θειικό οξύ (SO₂), τα οξειδία του αζώτου (NOx), το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα (CO και CO₂) και οι υδρογονάνθρακες. Η συγκέντρωση των SOx είναι ανάλογες τις περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Τα καύσιμα με λιγότερο θείο είναι συνήθως πιο φθηνά και απαιτείται εγκατάσταση ειδικών μηχανημάτων αφαίρεσης των SOx από τα καυσαέρια. Ωστόσο, αυτά τα μηχανήματα καταλαμβάνουν αρκετό χώρο και είναι πολύπλοκα, για αυτό οι πλοιοκτήτες καταφεύγουν συνήθως σε καύσιμα χαμηλότερου θείου. Πολλές νομοθεσίες ασχολούνται με τον περιορισμό των NOx, διότι αυτά έχουν πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο περιβάλλον από ότι το CO₂ (20 φορές μεγαλύτερη). Αυτά δημιουργούνται σε υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες στους αεριοστρόβιλους είναι περιορισμένες. Μία μηχανή ντήζελ ρυθμισμένη έτσι ώστε να έχει ελάχιστη κατανάλωση, παράγει μέγιστη ποσότητα NOx (10-15g/kWh). Αντίθετα, όταν αυτή ρυθμίζεται ώστε να έχει μειωμένες μέγιστες θερμοκρασίες και κατ' επέκταση μειωμένες εκπομπές, τότε αυξάνεται οι κατανάλωση καυσίμου. Λόγω της διαφορετικής διαδικασίας καύσης, μία εγκατάσταση αεριοστροβίλου παράγει 33% λιγότερα NOx και 15% λιγότερα CO₂ από τη συμβατική μηχανή ντήζελ. Συνεπώς, μία εγκατάσταση αεριοστροβίλου μπορεί να καταστήσει ένα πλοίο φιλικό προς το περιβάλλον, χωρίς την ανάγκη και επιπλέον έξοδα και βοηθητικά συστήματα βελτίωσης της ποιότητας των καυσαερίων.

Το Celebrity Millennium ήταν το πρώτο πλοίο αναψυχής που χρησιμοποίησε σύστημα αεριοστροβίλου, κάνοντας το πρώτο του ταξίδι το καλοκαίρι του 2000. Το πλοίο αυτό αποτελεί ένα τεχνολογικό επίτευγμα καθώς είναι το πρώτο πλοίο που κάλυψε ολοκληρωτικά τις ανάγκες ισχύος του με τέτοιο σύστημα, αλλά και επειδή είχε τα μεγαλύτερα έως τότε Azimuth pods (19,5 MW το καθένα).

Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι:

- χαμηλό κόστος και ευκολία συντήρησης
- μείωση εκπομπών NOx και SOx (κυρίως λόγω της χρήσης ελαφρύτερου καυσίμου)
- εξοικονόμηση χώρου και βάρους, ειδικά όταν αυτό συνδυάζεται με Azipods (αναφέρεται ότι προστέθηκαν περίπου 900t, 50 καμπίνες επιβατών και 20 πληρώματος)
- χαμηλότερα επίπεδα θορύβου και κραδασμών και κατ'επέκταση μείωση της πιθανότητας αστοχίας για κάποια εξαρτήματα. Επίσης εξασφαλίζει την άνεση των επιβατών.

Σε περίπτωση αστοχίας, ο αεριοστρόβιλος μπορεί να αντικατασταθεί εντός μόνο οκτώ ωρών (υπάρχει ένας εφεδρικός επί του πλοίου)

Πιο αναλυτικά, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την πρόωση και τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου παράγεται από ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου COGES (αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλων). Για να επιτευχθεί η ίδια απόδοση ισχύος από έναν κινητήρα ντήζελ, αυτός θα πρέπει να είναι μεγάλου

μεγέθους και συνεπώς μεγαλύτερου βάρους, με μεγαλύτερο κόστος συντήρησης και υψηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι οι αεριοστρόβιλοι αποτελούν δελεαστική λύση μόνο για πλοία υψηλών ταχυτήτων όπως πολεμικά πλοία ή γρήγορα επιβατηγά, όπως το Millennium με ταχύτητα υπηρεσίας 24knots και μέγιστη ταχύτητα 25knots. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής τιμής του καυσίμου που καίνε σε σχέση με το βαρύ καύσιμο που καίνε οι μηχανές ντήζελ, οι οποίες έχουν και υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε χαμηλότερες ταχύτητες. Ωστόσο, στους αεριοστροβίλους, καθώς αυτοί χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντήζελ, δεν απαιτείται σύστημα προθέρμανσης (στους κινητήρες ντήζελ απαιτείται προθέρμανση στους 130 °C και συνεπώς υπάρχει πιθανότητα πυρκαγιάς)

Τα τέσσερα πλοία της κατηγορίας Celebrity Cruises' Millennium (Celebrity Infinity, Celebrity Millennium, Celebrity Constellation, Celebrity Summit) ανήκουν στα πλοία με την πιο προηγμένη τεχνολογία σε σύγκριση με τα πλοία που έχουν παραδοθεί μετά το 2000. Αρχικά ήταν πλοία που η απαιτούμενη ισχύς παραγόταν από σύστημα αεριοστροβίλων, αλλά η συνεχώς αυξανόμενη τιμή του καυσίμου οδήγησε στην διερεύνηση άλλων επιλογών. Έτσι, το 2007 αποφασίστηκε η εγκατάσταση νηζελο-ηλεκτρικού συστήματος για να συμπληρώσει το ήδη υπάρχον σύστημα αεριοστροβίλων, με σκοπό την εξοικονόμηση περίπου 6 εκατομμυρίων δολαρίων ετησίως χρησιμοποιώντας φτηνότερο καύσιμο. Το κάθε πλοίο έχει χωρητικότητα 91,000 GT και η διαδικασία εγκατάστασης συστήματος 11.3MW σε ένα μηχανοστάσιο όπου ήδη υπήρχε σύστημα αεριοστροβίλων ήταν δύσκολη.

Με της γεννήτριες σε λειτουργία το κάθε πλοίο καταναλώνει 3600t λιγότερο καύσιμο. Οι γεννήτριες καλύπτουν τις ξενοδοχειακές ανάγκες του πλοίου καθώς και την πρόωση του πλοίου σε χαμηλές ταχύτητες. Σε ενδιάμεσες ταχύτητες (τουλάχιστον 7knots) λειτουργεί παράλληλα και ένας από τους αεριοστροβίλους, ενώ σε υψηλές ταχύτητες λειτουργούν μόνο οι αεριοστρόβιλοι. ^[30]

Οι αεριοστρόβιλοι ωστόσο, στα πλοία αναψυχής χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με άλλου τύπου μηχανές. Για παράδειγμα, το πλοίο Sapphire Princess του 2004 έχει εγκατεστημένες μηχανές ντήζελ και αεριοστρόβιλο.

Το σύστημα του αποτελείται από 4 κύριες μηχανές με συνολική ισχύ 35,700kW (2x9,450kW και 2x8,400kW). Επίσης υπάρχει και σύστημα αεριοστροβίλου General Electric LM2500+, το οποίο καίει κηροζίνη, παρεχόμενη ισχύος 25,000kW. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από πέντε γεννήτριες (δύο των 11,440kVA, δύο των 10,190kVA κινούμενες από τις μηχανές ντήζελ και μία των 31,250kVA κινούμενες από το σύστημα του αεριοστροβίλου)

Η πρόωση του πλοίου παρέχεται από δύο μηχανές Alstom των 20,000kW, που είναι συνδεδεμένες με έλικες σταθερού βήματος, διαμέτρου 5.6m από την MHI/Wartsila. Το πλοίο έχει ταχύτητα υπηρεσίας 22.1knots στο 86% MCR. Για τους ελιγμούς στο λιμάνι, υπάρχουν τρεις μικρές προπέλες στην πλώρη και τρεις στην πρύμνη των 2,200kW και 1,728kW αντίστοιχα όλα κατασκευασμένα από την Wartsila.

Λόγω της χαμηλής θερμικής αποδοτικότητας σε χαμηλό φορτίο, συνήθως οι μηχανές ντήζελ χρησιμοποιούνται για την πρόωση σε χαμηλές ταχύτητες, και οι αεροστρόβιλοι όταν απαιτούνται υψηλότερες ταχύτητες. Για τα επιβατηγά πλοία ο κύριος λόγος εγκατάστασης είναι η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών σε ευαίσθητες περιοχές ή προστατευόμενες περιοχές ή κατά την είσοδο τους σε λιμάνια.

Επίσης μερικά πλοία αναψυχής, χρησιμοποιούν και ατμοστρόβιλους προκειμένου να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των αεριοστροβίλων σε συνδυασμένο κύκλο, όπου η απώλεια θερμότητας από των αεροστρόβιλο χρησιμοποιούνται για την θέρμανση νερού προς δημιουργία ατμού για τον ατμοστρόβιλο. Σε τέτοιους συνδυασμένους κύκλους η θερμική αποδοτικότητα μπορεί να είναι ίδια ή λίγο μεγαλύτερη από ότι σε μηχανές ντήζελ, ωστόσο το καύσιμο που απαιτείται για τους αεριοστροβίλους είναι αρκετά πιο ακριβό.

4.5 Προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία αναψυχής

Η βιομηχανία των πλοίων αναψυχής όπως αναφέρθηκε ήδη αναπτύσσεται ταχέως. Τη δεκαετία του 80', υπήρχαν μόνο 40 κρουαζιερόπλοια, ενώ τη δεκαετία του 90 κατασκευάστηκαν και μπήκαν στην αγορά 80 νέα πλοία. Την περίοδο 2000 έως 2013 τα νέα πλοία έφτασαν τα 167. Ωστόσο, από το 2008 τα πράγματα άλλαξαν λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης και της αβεβαιότητας που επικρατούσε και ο αριθμός των παραγγελιών μειώθηκε. Την κατάσταση δυσχεραίνουν και οι καινούριες νομοθεσίες. Για παράδειγμα, στην Βόρεια Αμερική, από το 2015 τα πλοία που θα ταξιδεύουν σε απόσταση 200 μιλίων από της ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο λιγότερο από 1%. Σύμφωνα με τον David Dingle, διευθυντή των Carnival Cruise Lines UK, η νομοθεσία αυτή αποτελεί τη μεγαλύτερη απειλή για την συγκεκριμένη βιομηχανία.

Η συγκεκριμένη βιομηχανία αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της ναυτιλιακής δραστηριότητας, ωστόσο οι εκπομπές της προς το περιβάλλον είναι δυσανάλογες αυτού. Οι ιδιοκτήτες των πλοίων αυτών φαίνεται να είναι αισιόδοξοι όσον αφορά τη συμμόρφωση με τον ΕΕΔΙ καθώς χρησιμοποιούν έτσι και αλλιώς αποδοτικά συστήματα τα τελευταία χρόνια, με εκτεταμένη τη χρήση του νηζελο-ηλεκτρικού συστήματος. Αναφέρεται ότι σε σχέση με τα πλοία που χτίζονταν 10 χρόνια πριν, τα νέα πλοία κατασκευάζονται με περίπου 100 παραπάνω ενεργειακά αποδοτικές λύσεις και οι προκλήσεις είναι γνωστές.

Η αυξανόμενη τιμή των καυσίμων οδηγεί τους πλοιοκτήτες σε προσπάθειες εξοικονόμησης. Προς την ίδια κατεύθυνση κινείται και ο ΕΕΔΙ. Η βιομηχανία των πλοίων αναψυχής προσπαθεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ αλλά και να περιορίσει παραλλήλως τη σπατάλη καυσίμου. Οι λύσεις είναι ποικίλες.

Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται βαφές από σιλικόνη οι οποίες μειώνουν την αντίσταση του πλοίου στο νερό. Η Royal Caribbean Cruises έχει συνδυάσει αυτή την ιδέα με την κατασκευή αεροδυναμικών γαστρών.

Επίσης, τονίζεται ότι στα πλοία αναψυχής ο κλιματισμός απορροφά μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Η διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα, αλλά και η ανακύκλωση του αέρα στις καμπίνες και τους κοινόχρηστους χώρους απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Έτσι για παράδειγμα η Holland America Line έχει βάλει επίστρωση στα παράθυρα ώστε να προστατεύει τους χώρους του πλοίου από τη θερμότητα του ηλίου και έτσι να μειώνει την ανάγκη για ψύξη. Επίσης, χρησιμοποιεί επίστρωση σιλικόνης προς μείωση της αντίστασης της γάστρας των πλοίων, τα οποία όταν βρίσκεται στο λιμάνι τροφοδοτούνται από εγκαταστάσεις από την ξηρά.

Η Royal Caribbean προσεγγίζει το θέμα διαφορετικά, καθώς τους χειμερινούς μήνες θέτουν εκτός λειτουργίας τη μία από τις μηχανές του πλοίου, λόγω της μειωμένης ανάγκης ενέργειας. Αυτό δείχνει το πόσο σημαντική είναι η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται ώστε να διατηρηθούν οι χώροι του πλοίου δροσεροί.

Παρατηρείται ότι οι ανάγκες αυτών των πλοίων σε καύσιμο είναι τεράστιες. Τα μοντέρνα πλοία αναψυχής φιλοξενούν περίπου 3000 επιβάτες και 1000 άτομα σαν προσωπικό, συνεπώς το καθένα είναι ισοδύναμο με μία μικρή πόλη. Έτσι, στην προσπάθεια εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιούνται διάφορες καινοτόμες τεχνολογίες. Για παράδειγμα η Celebrity Cruises έχει εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά κύτταρα, στα πλοία που ανήκουν στην Solstice Class. Αυτά, παρέχουν ενέργεια για το φωτισμό του πλοίου, όπου σε συνδυασμό με φώτα νέου τύπου που καταναλώνουν περίπου τη μισή ποσότητα ενέργειας, δίνεται η δυνατότητα για μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμου. Επίσης, χρησιμοποιούν παράθυρα που δεν επιτρέπουν μεγάλη εισροή θερμότητας.

Η Royal Caribbean έχει κάνει ορισμένες αλλαγές προς μείωση της κατανάλωσης ντήζελ. Αυτό το επιτυγχάνει με τη χρήση βιοντήζελ αλλά και με την εγκατάσταση αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλων στα πλοία που ανήκουν στην Radiance Class, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές μέχρι και κατά 98%.

4.5.1 Προτάσεις εφαρμογής EEDI για τα νέα επιβατηγά πλοία και για τα πλοία αναψυχής

4.5.1.1 Εξελίξεις σχετικά με τον υπολογισμό του επιτευχθέντος EEDI

Σε Διεθνή Συνάντηση της ομάδας εργασίας του IMO που ασχολείται με τα αέρια του θερμοκηπίου τον Φεβρουάριο του 2009, υποβλήθηκε μία πρόταση (GHG-WG 2/2/21)^[32] από την CLIA (Cruise Lines International Association) ώστε να συμπεριληφθούν τα νέα επιβατηγά πλοία στους κανονισμούς σχετικά με την εφαρμογή του EEDI. Τα πλοία αυτά διαφέρουν από τα υπόλοιπα λόγω του εύρους συστημάτων πρόωσης που διαθέτουν, της μεγάλης ανάγκης σε βοηθητική ισχύ, των

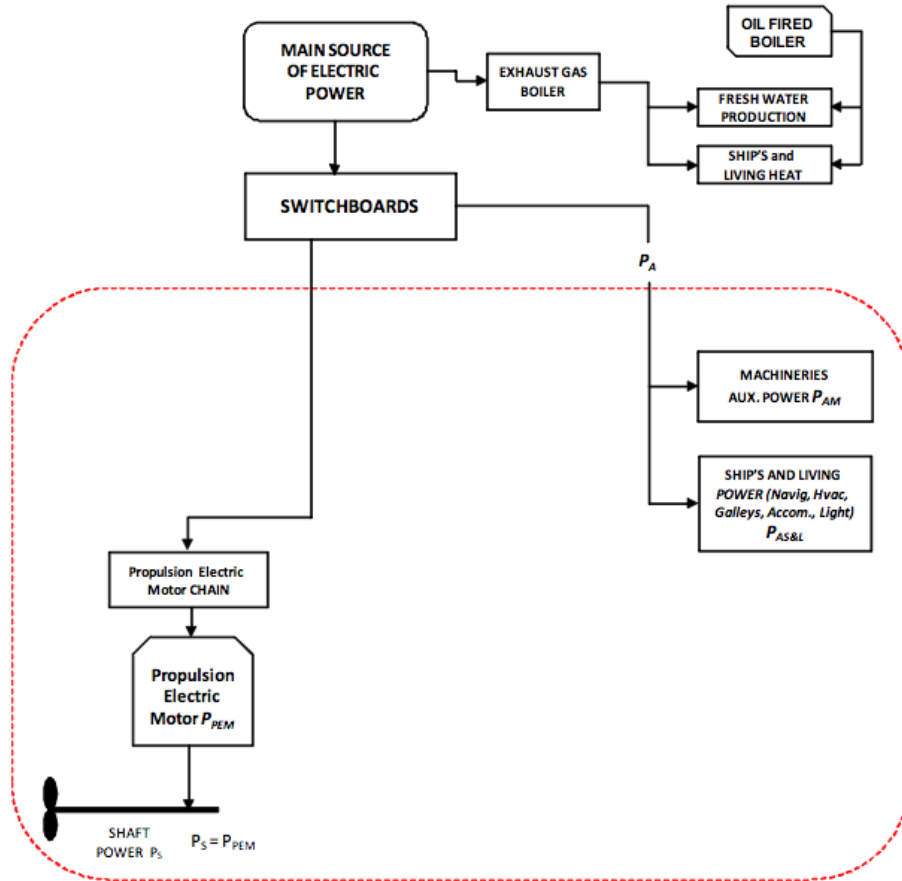
συσκευών ανάκτησης θερμότητας, των γεννητριών άξονα αλλά και επειδή τα περισσότερα διαθέτουν σύστημα ηλεκτροπρόωσης. Ο σκοπός ήταν να βρεθεί ένας δίκαιος τρόπος ένταξης των επιβατηγών πλοίων στο κανονιστικό πλαίσιο λαμβάνοντας υπόψη την ηλεκτρική πρόωση, ενθαρρύνοντας την εγκατάσταση συσκευών ανάκτησης θερμότητας και καινοτόμων αποδοτικών τεχνολογιών, αλλά και τη χρήση γεννητριών άξονα που έχουν πολύ μεγαλύτερη απόδοση από τις βοηθητικές μηχανές. Μέχρι την 58^η Σύνοδο, ο EEDI είχε προταθεί να εφαρμοστεί σε πλοία με πρόωση συμβατικού τύπου, δηλαδή μία κινητήρια μηχανή κινεί τον προωστήριο άξονα (με μειωτήρα ή χωρίς) και βοηθητικές νηζελο-γεννήτριες παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Στα πλοία αυτά η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ισχύ πρόωσης. Τονίζεται ότι τα επιβατηγά πλοία δεν εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία. Για παράδειγμα σχεδόν όλα τα καινούρια πλοία αναψυχής έχουν ηλεκτροκινητήρες για την πρόωση τους και δεν διαθέτουν κύριες μηχανές, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών ενός τέτοιου πλοίου κυμαίνεται περίπου στο 30-40% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης, σύμφωνα με την CLIA η απαιτούμενη ισχύς για τις βοηθητικές λειτουργίες των πλοίων αυτών δεν μπορεί να προσδιοριστεί σαν συνάρτηση των επιβατών, των καμπινών κ.λπ.)

Οι τύποι πρόωσης των επιβατηγών πλοίων συνοπτικά είναι:

- συμβατική πρόωση
- υβριδική πρόωση
- ηλεκτρική πρόωση

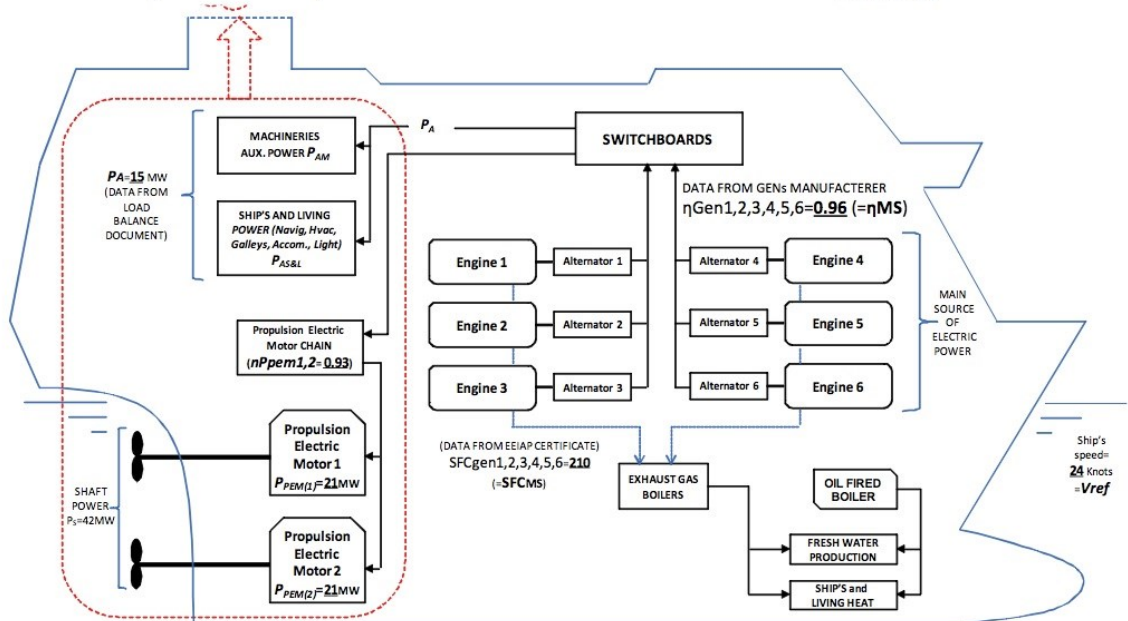
Και προτείνεται η ένταξη τους στους κανονισμούς.

Παρακάτω φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα εγκατάστασης ηλεκτροπρόωσης (Εικόνα 4.9) και ένα παράδειγμα υπολογισμού του EEDI σε πλοίο με ηλεκτρική πρόωση (Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.8^[32]

$$CO_2 = \left(\frac{21000 \cdot 2}{0.93} + 15000 \right) \cdot \frac{3.114 \cdot 210}{0.96} = 40.9 \cdot 10^6 \quad \Rightarrow \quad EEDI = \frac{40.9 \cdot 10^6}{110000 \cdot 24} = 15.5$$



Εικόνα 4.9^[32]

Ο επιτευχθείς ΕΕΔΙ πρέπει να έχει τη μορφή:

$$EEDI_{attained} = \frac{(CO_2 \text{ from propulsion} + CO_2 \text{ from auxiliaries} - \text{efficient use of energy})}{f_i \times Capacity \times V_{ref} \times f_w}$$

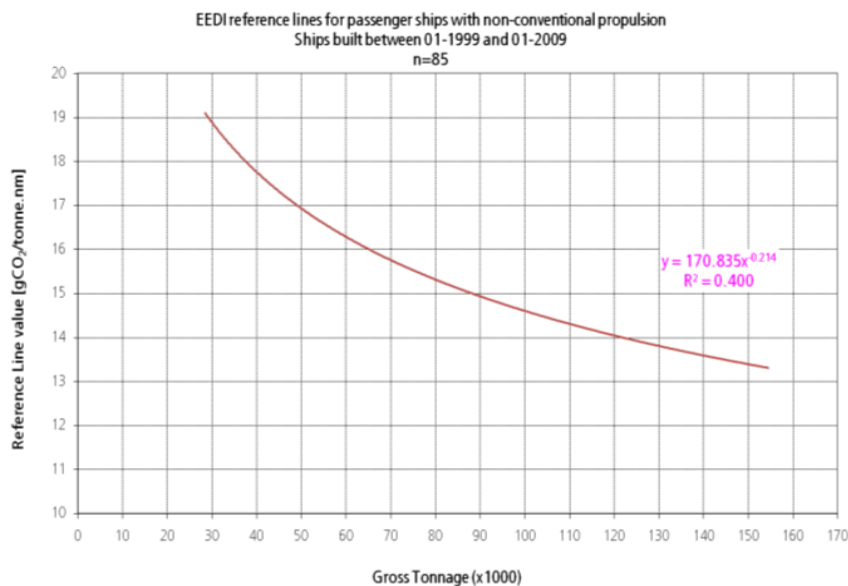
Όπου, ορίζεται ως χωρητικότητα (Capacity) για τα πλοία αυτά η ολική χωρητικότητα σε GT (Gross Tonnage). Ακολούθησε επόμενη πρόταση στην 63^η Σύνοδο της ΜΕΡC σχετικά λεπτομέρειες για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος ΕΕΔΙ για τα πλοία αυτά (ΜΕΡC 63/4/7)

4.5.1.2 Εξελίξεις σχετικά με τη γραμμή αναφοράς

Στις 25 Νοεμβρίου του 2011 στην 63^η Σύνοδο της ΜΕΡC (ΜΕΡC 63/4/3)^[33] υποβλήθηκε στον ΙΜΟ πρόταση σχετικά με την ανάπτυξη γραμμής αναφοράς για τα νέα πλοία αναψυχής από την Cruise Lines International Association (CLIA). Το κείμενο υποβλήθηκε σαν απάντηση στην Επιτροπή του ΙΜΟ με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη της γραμμής αναφοράς για ορισμένα επιβατηγά πλοία με μη συμβατική πρόωση.

Μετά από έρευνα σε συνεργασία με το Lloyds Register, συμφωνήθηκε ότι η ισχύς πρόωσης $P_{PT(i)}$ που για τον υπολογισμό του δείκτη θα είναι το 75% της ονομαστικής των ηλεκτροκινητήρων. Σε αυτή την ισχύ αντιστοιχεί και η ταχύτητα αναφοράς στο βύθισμα σχεδίασης.

Επίσης, κατέληξαν σε 85 από τα 93 πλοία (που αντιστοιχούν στο 91%) όλα με ηλεκτρική πρόωση, δηλαδή για τα πλοία αυτά $P_{ME(i)} = 0$. Για τα 85 πλοία με μη συμβατική πρόωση προτείνεται χρήση της γραμμής αναφοράς $y = 170.835 \cdot b^{-0.214}$ με $R^2 = 0.400$, όπου b η χωρητικότητα (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.10 ^[33]

Αυτή η γραμμή αναφοράς έχει προκύψει με βάση τις ακόλουθες παραδοχές:

1. θεωρώντας έναν αδιάστατο συντελεστή εκπομπών CO₂ σταθερό για όλες τις μηχανές, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων με ηλεκτροπρόωση και αυτών με υβριδική πρόωση $C_{F,ME} = C_{F,AE} = C_F = 3.1144 \text{ g CO}_2/\text{g καυσίμου}$.

Ο συντελεστής αυτός για πλοία με υβριδική πρόωση με εγκατάσταση αεριοστροβίλου, το $C_{F,AE}$ υπολογίζεται σαν μέσος όρος του συντελεστή των βοηθητικών μηχανών (3.1144 g CO₂/g καυσίμου) και των αεριοστροβίλων (3.206 g CO₂/g καυσίμου) με συντελεστές ανάλογους της εγκατεστημένης ισχύος τους.

2. Για τα πλοία με συμβατική πρόωση η ειδική κατανάλωση των κυρίων μηχανών θεωρείται ίση με 190 g/kW-h

3. $P_{ME(i)}$ είναι το 75% της εγκατεστημένης ισχύος ($MCR_{ME(i)}$). Όταν το πλοίο έχει μόνο ηλεκτρική πρόωση τότε $P_{ME(i)}=0$

4. η ειδική κατανάλωση καυσίμου για όλα τα πλοία, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων με ηλεκτροπρόωση και αυτών με υβριδική πρόωση είναι σταθερή για όλες τις βοηθητικές μηχανές ($SFC_{AE} = 215 \text{ g/kW-h}$). Η ειδική κατανάλωση καυσίμου πλοίων με υβριδική πρόωση με εγκατάσταση αεριοστροβίλου είναι ο μέσος όρος της ειδικής κατανάλωσης των βοηθητικών μηχανών (215 g/kW-h) και των αεριοστροβίλων (250 g/kW-h) με συντελεστές ανάλογους της εγκατεστημένης ισχύος τους.

5. P_{AE} υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 2.5.6.3 του κειμένου που εξέδωσε ο IMO με κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τη μέθοδο υπολογισμού του επιτευχθέντος EEDI για τα νέα πλοία το 2012 (MEPC.212(63)) λαμβάνοντας υπόψη ένα βαθμό απόδοσης για τις γεννήτριες ίσο με 0.95

6. οι διορθωτικοί συντελεστές f_j , f_i και f_w ορίζονται ίσοι με 1.

7. καινοτόμες μηχανολογικές συσκευές ενεργειακής αποδοτικότητας, κινητήρες ντήζελ και άλλες καινοτόμες τεχνολογίες δεν λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό της γραμμής αναφοράς. Δηλαδή, $P_{AE,eff} = 0$, $P_{PTI} = 0$, και $P_{eff} = 0$.

8. $P_{PTI(i)}$ είναι το 75% της ονομαστικής ισχύος κάθε κινητήρα άξονα, διαιρούμενο με την απόδοση των γεννητριών (0.95) και με την απόδοση της παροχής ενέργειας προς το προωστήριο σύστημα (0.92)

Ο τύπος υπολογισμού της τιμής του δείκτη για τα πλοία αναψυχής που έχουν μη συμβατικό τύπο πρόωσης είναι ο ακόλουθος:

$$Estimated\ Index\ Value = 3.1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} + (C_{F,AE} \cdot SFC_{AE}) \left(P_{AE} + \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} \right)}{(Gross\ Tonnage) \cdot V_{ref}}$$

Ο τύπος υπολογισμού το δείκτη δεν λαμβάνει υπόψη την περίσσεια ισχύος των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης που είναι συνηθισμένη στα μη συμβατικά συστήματα

πρόωσης και απαιτείται για τα καινούρια πλοία. Αυτό είναι δυνατό να οδηγήσει σε λάθος κατά τον υπολογισμό του δείκτη. Έτσι, η περίσσεια ισχύος για την πρόωση θα αντανακλάται σε μεγαλύτερη τιμή του δείκτη.

Στην 65^η Σύνοδο της ΜΕΡC (65/4/6)^[34] τον Φεβρουάριο του 2013 υποβλήθηκε ένα άλλο κείμενο από την CLIA σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων αναψυχής. Εκεί, αναφέρεται ότι το κεφάλαιο 4 της MARPOL του Παραρτήματος VI απαιτεί για κάθε καινούριο πλοίου, που εμπίπτει στον κανονισμό 21, τον προσδιορισμό ενός επιτευχθέντα δείκτη EEDI κι ενός απαιτούμενου μέσω μίας γραμμής αναφοράς και συντελεστών μείωσης.

Ship type	size	Phase 0 (2 years)	Phase 1 (5years)	Phase 2 (5 years)	Phase 3 (5 years)
Cruise passenger ships (non-conventional propulsion)	85,000GT and above	0	10	20	30
	25,000-85,000GT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Πίνακας 3.4

*η τιμή του συντελεστή μείωσης προσδιορίζεται με γραμμική παρεμβολή, με τη μικρότερη τιμή να εφαρμόζεται για το μικρότερο πλοίο.

Τονίζεται επίσης ότι ο EEDI δεν λαμβάνει υπόψη την περίσσεια ισχύος πρόωσης που είναι ιδιαίτερα συνηθισμένη για αυτά τα πλοία. Συνεπώς, είναι πιθανό να οδηγήσει σε λάθος κατά των υπολογισμό του EEDI.

Αναφέρεται ότι για τις ντηζελο-γεννήτριες το πιο αποδοτικό σημείο λειτουργίας είναι 85% το ονομαστικού σημείου, όπου η ειδική κατανάλωση είναι ελάχιστη. Επίσης λόγω των κανονισμών σχετικά με τα NOx σπάνια λειτουργούν σε φορτίο χαμηλότερο του 50-60%. Για τους αεριοστροβίλους, το πιο αποδοτικό σημείο λειτουργίας είναι το 100%, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν και σε φορτίο χαμηλότερο του 50%.

Τέλος, προτείνεται να ληφθεί υπόψη ένας διορθωτικός συντελεστής που να σχετίζεται με την ασφάλεια. Η σχεδίαση των επιβατηγών πλοίων διέπεται από συμπληρωματικές απαιτήσεις σύμφωνα με τη SOLAS, όπως η ασφαλής επιστροφή στο λιμάνι σε περίπτωση πυρκαγιάς ή κατάκλυσης.

Επίσης, τα πλοία αναψυχής έχουν περίσσεια ισχύος ώστε να μπορούν να ταξιδέψουν με ταχύτητα μεγαλύτερη των 10knots σε κατάσταση θάλασσας 8 Beaufort έτσι ώστε να μειώνουν το χρόνο επιστροφής στο λιμάνι σε περίπτωση κατάκλυσης ή πυρκαγιάς. Χαμηλότερες ταχύτητες αυξάνουν το χρόνο επιστροφής και συνεπώς αυξάνουν και την ανάγκη για αποθηκευτικούς χώρους για προμήθειες.

Τα παραπάνω πρέπει να ληφθούν υπόψη στη διαδικασία υπολογισμού του επιτευχθέντος ΕΕΔΙ για τα πλοία αυτά.

4.5.1 Χρήση φυσικού αερίου στα πλοία αναψυχής

Η χρήση LNG ως καύσιμο στα πλοία αναψυχής και γενικά στα επιβατηγά πλοία φαίνεται να είναι εφικτή λύση σύμφωνα με τους Νηογνώμονες και απασχολεί ιδιαίτερα το χώρο της ναυτιλίας. Ο λόγος είναι η εξάλειψη των SO_x, αλλά και η μείωση των NO_x και του CO₂ κατά 80% και 20% αντίστοιχα ^[35], ενώ η τιμή του κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Ωστόσο, το πρόβλημα που υπάρχει είναι ο ανεφοδιασμός καθώς δεν υπάρχουν κατάλληλοι σταθμοί σε όλο τον κόσμο αλλά σε περιορισμένα λιμάνια. Συνεπώς, για πλοία όπως ferries το πρόβλημα δεν είναι μεγάλο καθώς θα εκτελούν συγκεκριμένες διαδρομές. Για τα πλοία αναψυχής το πρόβλημα είναι πιο σύνθετο και αναμένεται να αργήσει να υπάρξει πλοίο τέτοιου τύπου το οποίο να χρησιμοποιεί αποκλειστικά LNG μέχρι να κατασκευαστούν περισσότεροι σταθμοί ανεφοδιασμού. Επίσης υπάρχουν ζητήματα σχετικά με τη διαδικασία του ανεφοδιασμού καθώς ορισμένοι επιβάτες επιβιβάζονται, στο πλοίο, άλλοι αποβιβάζονται ενώ άλλοι επιλέγουν να μείνουν μέσα.

Ήδη υπάρχουν μηχανές που καίνε και LNG και κανονικό καύσιμο, ωστόσο για τα επιβατηγά το πρόβλημα είναι πιο δύσκολο, λόγω της μεταφοράς πολλών ανθρώπινων ζώων. Προς το παρόν, η SOLAS δεν επιτρέπει τη χρήση καυσίμου με χαμηλό σημείο ανάφλεξης. Ωστόσο, ο IMO έχει αναπτύξει σχετικές οδηγίες οι οποίες έχουν εφαρμοστεί μόνο σε λίγες χώρες και συνεπώς η χρήση LNG είναι δυνατή μόνο σε εθνικά ύδατα των χωρών που τις εφαρμόζουν. Ένα μεγάλο θέμα για τη χρήση LNG σαν δευτερεύον καύσιμο στα επιβατηγά είναι η εύρεση κατάλληλου χώρου για την αποθήκευσή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Πρόταση για τον υπολογισμό του ΕΕΔΙ και της γραμμής αναφοράς για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (ΜΕΡC 64/4/14)^[38]

5.1 Εισαγωγή και παρατηρήσεις σχετικά με τα Ε/Γ-Ο/Γ

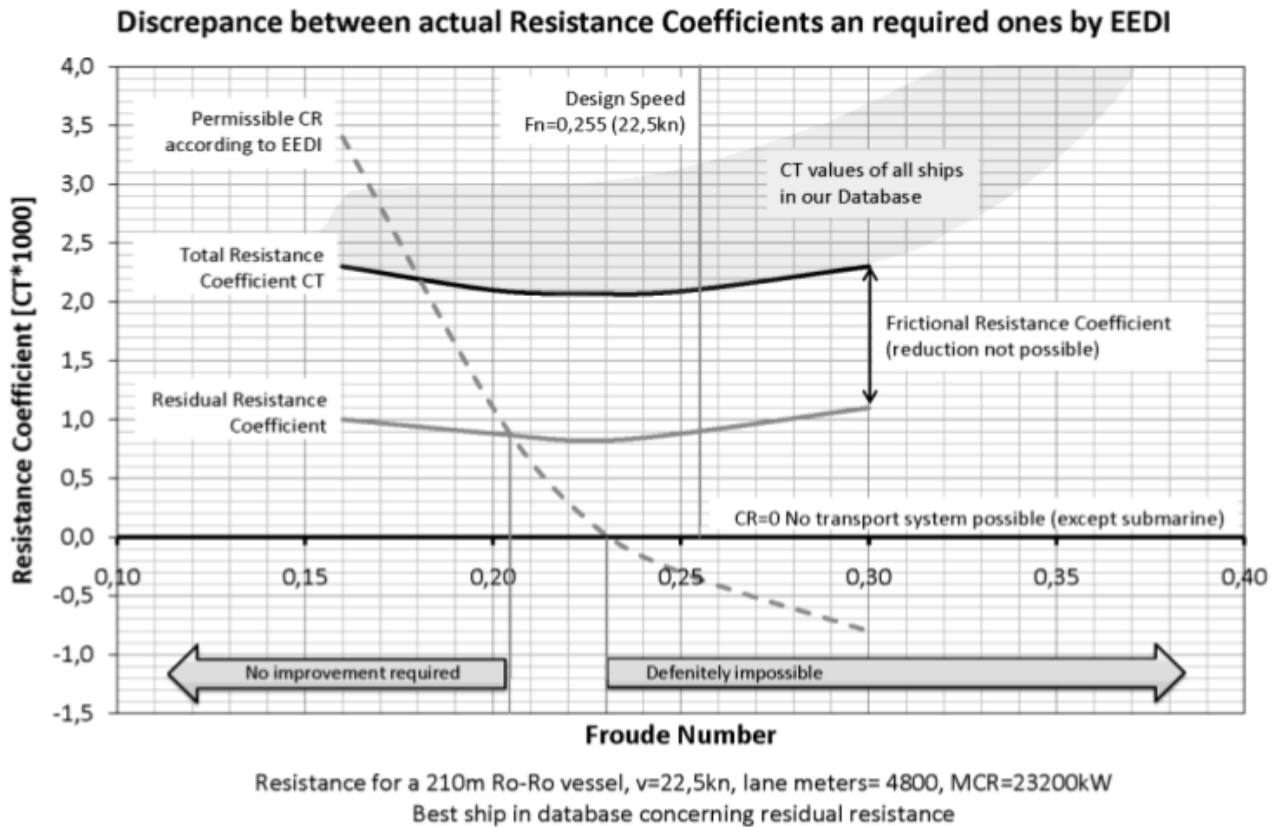
Τα πλοία Ro-Ro (Roll-on / Roll-off) τα οποία είναι γεγονός ότι είναι αποδοτικά, αναλύθηκαν^{[36],[37]} σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού του ΕΕΔΙ. Διαπιστώθηκε ότι η χρήση του δείκτη για τα πλοία αυτά θα οδηγήσει αναγκαστικά σε σημαντική μείωση της ταχύτητας. Πολλά από τα πλοία αυτά για να ικανοποιήσουν τους κανονισμούς θα έπρεπε να έχουν αρνητική αντίσταση κυματισμού προκειμένου να διατηρήσουν την ταχύτητα σχεδίασης τους. Προφανώς κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Αυτό συμβαίνει όπως αναφέρθηκε διότι ο δείκτης παραβιάζει βασικές αρχές που αφορούν τη σύνδεση ταχύτητας και ισχύος πρόωσης. Έτσι, προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση του ζητήματος.

Συγκεκριμένα στη μελέτη^{[36],[37]} αναφέρεται ότι εξετάστηκε το καλύτερο πλοίο από υδροδυναμική σκοπιά, το οποίο πετυχαίνει τιμή του δείκτη μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη. Αυτό σημαίνει ότι παρά το γεγονός ότι για την ταχύτητα πρόωσης που έχει, η απαιτούμενη ισχύς είναι σχετικά μικρή (αυτό υποδεικνύεται μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης), το πλοίο πρέπει να μειώσει την ταχύτητα του. Για να κρατήσει την αρχική του ταχύτητα η αντίσταση κυματισμού πρέπει ουσιαστικά να είναι αρνητική, δηλαδή να το πλοίο θα πρέπει να ανακτά ενέργεια από τους κυματισμούς, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό.

Στην πραγματικότητα αυτό σημαίνει ότι τα πιο αργά πλοία, έχουν περιθώριο να έχουν μεγαλύτερη αντίσταση κυματισμού και συνεπώς να γίνουν λιγότερο αποδοτικά. Αυτό αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές και σπατάλη καυσίμου. Αυτό συμβαίνει διότι η ισχύς εξαρτάται από την ταχύτητα περίπου στην τρίτη δύναμη, το οποίο δεν αντανakλάται στον ΕΕΔΙ καθώς η ισχύς βρίσκεται στον αριθμητή και η ταχύτητα στον παρονομαστή στην πρώτη δύναμη (και όχι στον κύβο).

Αναλυτικότερα για τα πλοία που εξετάστηκαν παρατηρήθηκαν τα εξής:

- όλα τα πλοία με πολύ αποδοτικές μορφές γάστρας, παρουσιάζουν τιμή του δείκτη υψηλότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη
- για αριθμό Froude μεγαλύτερο του 0.25, η αντίσταση κυματισμού πρέπει να είναι αρνητική
- η σχεδίαση πλοίων με αριθμό Froude μεγαλύτερο του 0.22 είναι αδύνατη καθώς η αντίσταση κυματισμού πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν
- για πλοία χαμηλών ταχυτήτων, ουσιαστικά δίνεται το περιθώριο μη αποδοτικής σχεδίασης
- ο δείκτης λειτουργεί σαν μέτρο περιορισμού της ταχύτητας παραβιάζοντας τη γνωστή σχέση $P=aX^3$



Εικόνα 5.1^[36]

Για τους παραπάνω λόγους έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες προσδιορισμού μίας γραμμής αναφοράς αλλά και του τρόπου υπολογισμού του EEDI για τα πλοία αυτά. Μία από τις πιο πρόσφατες αναλύεται στην Παράγραφο 5.2.

5.2 Πρόταση για τον υπολογισμό του EEDI για τα Ε/Γ-Ο/Γ

Στην 64^η Σύνοδο της ΜΕΡC υποβλήθηκε μία πρόταση (ΜΕΡC 64/4/14)^[38] από τη Γερμανία, τη Σουηδία και την Ένωση των Ευρωπαϊκών Ναυπηγείων (CESA) ώστε να συμπεριληφθούν τα Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger ships στους κανονισμούς για το δείκτη EEDI. Τα πλοία αυτά είχαν εξαιρεθεί από τους κανονισμούς, το ίδιο και τα επιβατηγά πλοία καθώς δεν ήταν εύκολος ο προσδιορισμός μίας δίκαιης γραμμής αναφοράς.

Η δυσκολία προέκυψε από το εύρος των υπηρεσιών που παρέχουν αυτά τα πλοία και από τις διαφορές στις συνθήκες λειτουργίας που οδηγούν σε ένα χαμηλή συσχέτιση των στοιχείων (R^2). Πιο συγκεκριμένα, από τη φύση των υπηρεσιών που παρέχουν τα πλοία αυτά αναγκάζονται μερικές φορές να έχουν μικρό βύθισμα λόγω

γεωμετρικών περιορισμών, ενώ υπάρχει πίεση για τη συχνότητα των δρομολογίων και συνεπώς για αυξημένες ταχύτητες προς όφελος της κοινωνίας.

Για να συμπεριληφθούν τα πλοία αυτά προτείνεται η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σχέση ταχύτητας - ισχύος και συνεπώς την ενέργεια που απαιτείται για την πλεύση των πλοίων αυτών. Τα παραπάνω έγιναν διότι αν δεν ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί για τα πλοία αυτά έτσι ώστε να καλύπτουν τις μεταφορικές ανάγκες, οι μεταφορές θα μετατοπιστούν προς την στεριά.

Μία δίκαιη γραμμή αναφοράς, θα πρέπει να αντιπροσωπεύει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη μέση επίδοση των πλοίων, σύμφωνα με τα υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία για τον τύπο πλοίου που εξετάζεται. Αυτό σημαίνει ότι η τιμές του δείκτη για τα πλοία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην γραμμή που παρεμβάλλεται με παλινδρόμηση, εμφανίζοντας υψηλή συσχέτιση και χαμηλή τυπική απόκλιση. Παράλληλα, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα πλοία που έχει διαπιστωθεί ότι είναι αποδοτικά παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή του δείκτη από τα μη αποδοτικά.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διαφορές στο σχεδιασμό των πλοίων λόγω περιορισμών που χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο πλοίων.

Εκτός από τον αριθμό Froude, επίδραση επί της αντίστασης και συνεπώς της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης, όπως αναφέρθηκε, έχουν και οι λόγοι L/B και B/T αλλά και ο λόγος λυγηρότητας. Με βάση αυτούς τους αδιάστατους αριθμούς, προσδιορίστηκε μία μεταβλητή σχεδίασης πλοίου (SDV) ως γινόμενο των παραπάνω, το καθένα υψωμένο σε μία δύναμη που θα αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των πλοίων. Με τον τρόπο αυτό τίθεται ένα άνω φράγμα στην εγκατεστημένη ισχύ λαμβάνοντας υπόψη της γεωμετρικές παραμέτρους, όπως θα αποδειχθεί στη συνέχεια.

Έτσι, χρησιμοποιώντας αδιάστατες παραμέτρους εισάγεται ένας διορθωτικός συντελεστής $f_j = \frac{1}{SDV} = \frac{1}{Fn^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\sqrt{3}}\right)^\delta}$.

Οι εκθέτες όπως παρουσιάστηκαν στη MEPC.64 είναι οι ακόλουθοι:

Ship type	Exponent:			
	α	β	γ	δ
Ro-ro Cargo ships	2.00	0.50	0.75	1.00
Ro-ro Passenger ship	2.50	1.00	0.50	0.75

Πίνακας 5.1

Επίσης λόγω της μεταφοράς ποικίλων φορτίων, δεν είναι εύκολος ο καθορισμός του μεταφορικού έργου. Θέτοντας στον παρονομαστή του ΕΕΔΙ στην παράμετρο

«Capacity» την ολική χωρητικότητα (σε Gross Tonnage) θα έκανε πολύ αυστηρούς τους κανονισμούς για πλοία που μεταφέρουν παραδείγματος χάριν πολλά οχήματα. Το ίδιο θα συνέβαινε σε επιβατηγά με καμπίνες χρησιμοποιώντας το νεκρό βάρος του πλοίου (DWT), χωρίς κάποια μείωση για τη μεταφορά επιβατών. Έτσι, χρησιμοποιείται άλλος ένας διορθωτικός συντελεστής f_c για τα πλοία Ro-Pax που παρουσιάζουν ένα λόγο DWT/GT μικρότερο από το μέσο όρο των υπολοίπων πλοίων (υπολογίστηκε ίσως με 0.25) και ορίζεται ως $f_c = ((DWT/GT)/0.25)^{-0.8}$.

Τέλος, προτείνεται η χρήση του νεκρού βάρους σαν χωρητικότητα καθώς αυτό παρουσιάζει μία συσχέτιση με το εκτόπισμα του πλοίου. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Έτσι, για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία προτείνεται ο υπολογισμός να γίνεται μέσω του τύπου:

$$Estimated\ Index\ Value = f_{jRoRo} \times 3,144 \times \frac{190 \sum P_{MEi} + 215 \times P_{AE}}{f_{cRoPax} \times Capacity \times V_{ref}}$$

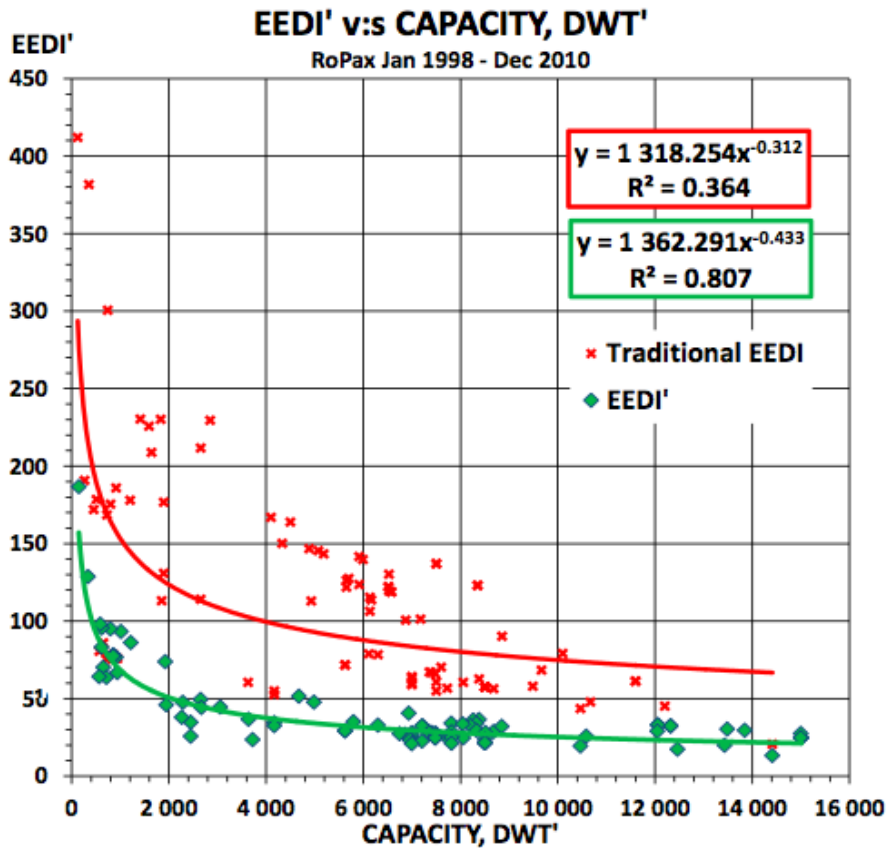


Figure 2 – EEDI reference line for ro-ro passenger ships

Εικόνα 5.2

Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη συσχέτιση των δεδομένων και μικρότερη τυπική απόκλιση και αυτό διότι λαμβάνονται υπόψη

οι διαφορές στις διαστάσεις των πλοίων και στις συνθήκες λειτουργίας τους προς όφελος της κοινωνίας, παρέχοντας μία δίκαιη βάση σύγκρισης.

Τονίζεται ότι οι διορθωτικοί συντελεστές χρησιμοποιούνται τόσο κατά τη δημιουργία της γραμμής αναφοράς, όσο και κατά τον υπολογισμό της τιμής του επιτευχθέντος ΕΕΔΙ για κάθε πλοίο.

5.2.1 Επιλογή του συντελεστή f_j

Η εγκατεστημένη ισχύς των κυρίων μηχανών P_{Mei} αναφέρεται στην ισχύ πρόωσης και σχετίζεται με την ταχύτητα και με τις γεωμετρικές παραμέτρους του κάθε πλοίου. Υπενθυμίζεται η μορφή του συντελεστή: $f_j = \frac{1}{SDV} = \frac{1}{Fn^\alpha \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \left(\frac{L}{\sqrt{3}}\right)^\delta}$

Όπως αναφέρθηκε $P \sim V^x \Rightarrow P \sim Fn^x$, όπου το x από 2.5 έως 4 ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Για τα Ro-Ro cargo προτείνεται $x=3$, ενώ για τα Ro-Ro passenger προτείνεται $x=3.5$ λόγω της περίσσειας ισχύος που προβλέπεται για τα πλοία αυτά, λόγω των νέων κανονισμών για ασφαλή επιστροφή στο λιμάνι. Ωστόσο, αφού στον παρονομαστή του ΕΕΔΙ υπάρχει η ταχύτητα, στο f_j θέτουμε $\alpha=x-1$.

Έχουμε λοιπόν: $EEDI' \leq EEDI_{REQUIRED}$

$$f_{j_{RoRo}} \times C_f \times \frac{190 \times \Sigma P_{ME} + 215 \times P_{AE}}{f_c \times Capacity \times V_{ref}} \leq \alpha \times Capacity^{-c}$$

Έτσι, η εγκατεστημένη ισχύς πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$P_{ME} \leq Constant \times L^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{V_{ref}}{L^{\frac{1}{2}}}\right) \times Fn^\alpha \times \left(\frac{L_{PP}}{Bs}\right)^\beta \times \left(\frac{Bs}{d_s}\right)^\gamma \times \left(\frac{L_{PP}}{\sqrt{3}}\right)^\delta \times Capacity^{1-c}$$

Και αυτό γράφεται:

$$P_{ME} \leq Constant' \times L^{\frac{1}{2}} \times Fn^{\alpha+1} \times \left(\frac{L_{PP}}{Bs}\right)^\beta \times \left(\frac{Bs}{d_s}\right)^\gamma \times \left(\frac{L_{PP}}{\sqrt{3}}\right)^\delta \times \nabla^\varepsilon \quad (\text{Σχέση 1})$$

Η υψηλή συσχέτιση των σημείων που φαίνεται στην Εικόνα 5.3 αποδεικνύει την εγκυρότητα της μεθόδου.

Στην ΜΕΡC 65 (65/4/4)^[43] μετά από περαιτέρω μελέτη γίνεται διόρθωση ορισμένων εκθετών (Πίνακας 5.2) και προκύπτει το Διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 5.4:

Ship type	Exponent:			
	α	β	γ	δ
Ro-ro cargo ships	2.00	0.50	0.75	1.00
Ro-ro Passenger ship	2.50	0.75	0.75	1.00

Πίνακας 5.2

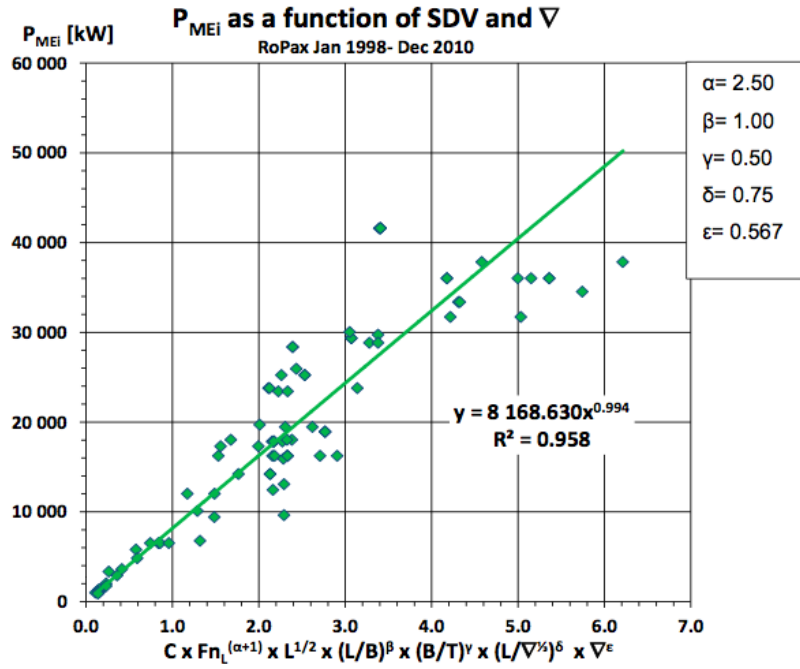


Figure 4 Validation of f_{jRoRo} for ro-ro passenger ships

Εικόνα 5.3

και έτσι προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:

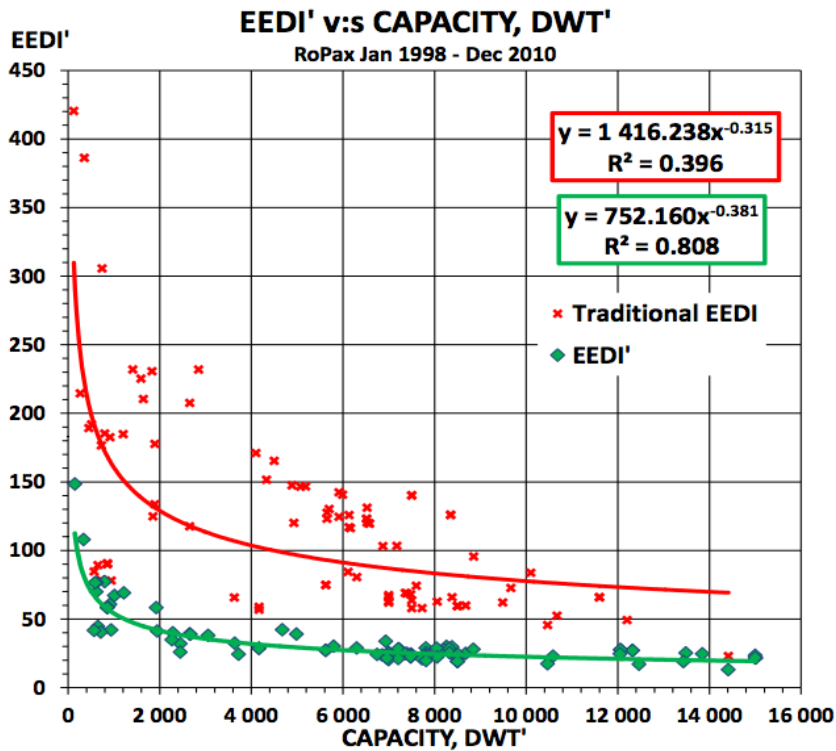


Figure 2 EEDI'-Reference Line for Ro-Ro Passenger Ships

Εικόνα 5.4

5.3 Κριτική θεώρηση από την αντιπροσωπία της Δανίας και της Ιαπωνίας (IMO)

Στην 65^η Σύνοδο της ΜΕΡC (ΜΕΡC 65/4/18) ^[39] υποβλήθηκαν σχόλια από την Ιαπωνία και από τη Δανία σχετικά με την εγκυρότητα της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι με την εισαγωγή του διορθωτικού συντελεστή f_j ουσιαστικά απαλείφεται η επίδραση της ισχύος πρόωσης στην τιμή του δείκτη. Έτσι, ο δείκτης είναι σχεδόν σταθερός με την αλλαγή της εγκατεστημένης ισχύος και συνεπώς των εκπομπών CO₂.

Συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι όταν υπεισέρχεται η ταχύτητα του πλοίου (μέσω του αριθμού Froude) στον διορθωτικό συντελεστή, απαλείφεται η επίδραση αυτής στην ισχύ πρόωσης με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κίνητρο μείωσης της προς μείωση των εκπομπών των διοξειδίων του άνθρακα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πλοίου, παρατηρείται ακόμα και μείωση της τιμής του δείκτη με την αύξηση της ταχύτητας (Εικόνες 5.5 και 5.6), ενώ οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται. Τονίζεται ότι τα παραπάνω βρίσκονται σε αντίθεση με τις αρχές που προσδιορίστηκαν στην 57^η Σύνοδο, όπως αυτές αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 2.2.4. Επίσης, σημειώνεται ότι ο συγκεκριμένος διορθωτικός συντελεστής θα ευνοήσει σε μεγάλο βαθμό τα συγκεκριμένα πλοία σε αντίθεση με τα υπόλοιπα.

Συγκεκριμένα, γίνεται η παρακάτω ανάλυση. Για ένα πλοίο με συγκεκριμένες διαστάσεις, η μόνη μεταβλητή είναι η ταχύτητα. Οπότε ο προτεινόμενος τύπος υπολογισμού του EEDI με χρήση του συντελεστή f_j γράφεται ως εξής:

$$f_{j_{RoRo}} = \frac{1}{V_{ref}^\alpha \times Constant}$$

$$EEDI' = \frac{1}{V_{ref}^\alpha \times Constant} \times \frac{\Sigma P \times C_F \times SFC}{Capacity \times V_{ref}}$$

$$EEDI' = \frac{\Sigma P \times C_F \times SFC}{Constant \times Capacity \times V_{ref} \times V_{ref}^\alpha}$$

$$EEDI' = \frac{\Sigma P \times C_F \times SFC}{Constant \times Capacity \times V_{ref}^{\alpha+1}}$$

Όπου όταν ισχύει $P \sim V^{\alpha+1}$ (το α όπως ορίστηκε προηγουμένως), η σχέση ταχύτητας/ισχύος πρόωσης ουσιαστικά απαλείφεται. Το αποτέλεσμα θα είναι ανάλογο και στην περίπτωση που ένα πλοίο θα μειώσει την εγκατεστημένη ισχύ με σκοπό την μείωση της ταχύτητας, η τιμή του δείκτη θα παραμείνει σταθερή παρά τη μείωση των εκπομπών του CO₂.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν σύμφωνα με τους εκθέτες της ΜΕΡC 64 και 65 αντίστοιχα μεταβάλλοντας την ταχύτητα σχεδίασης.

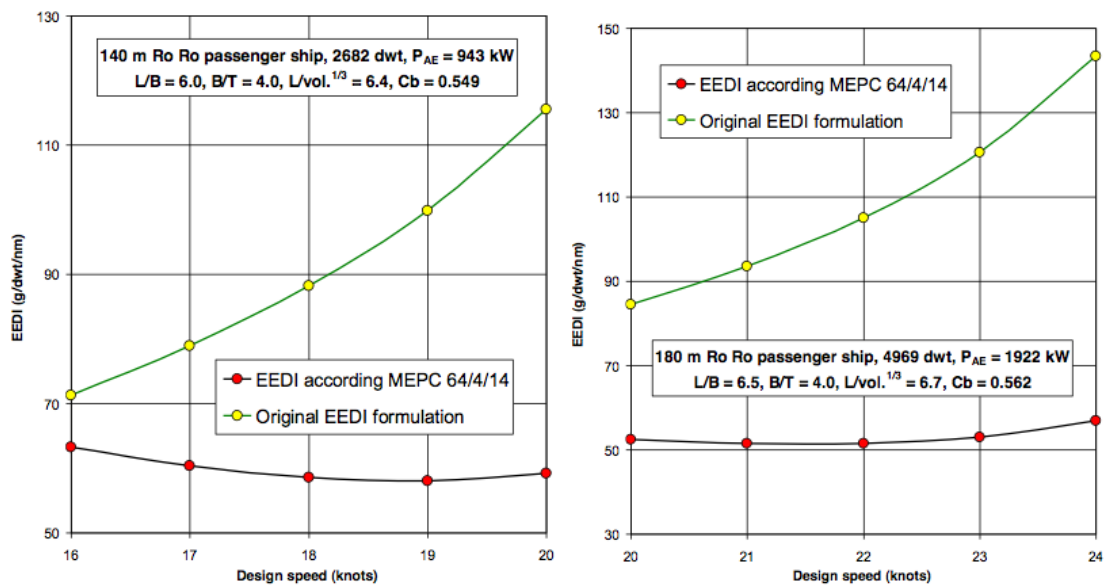


Figure 1: Calculation of EEDI and EEDI' of a 2682 DWT and a 4969 DWT ro-ro passenger ship

Εικόνα 5.5 [39]

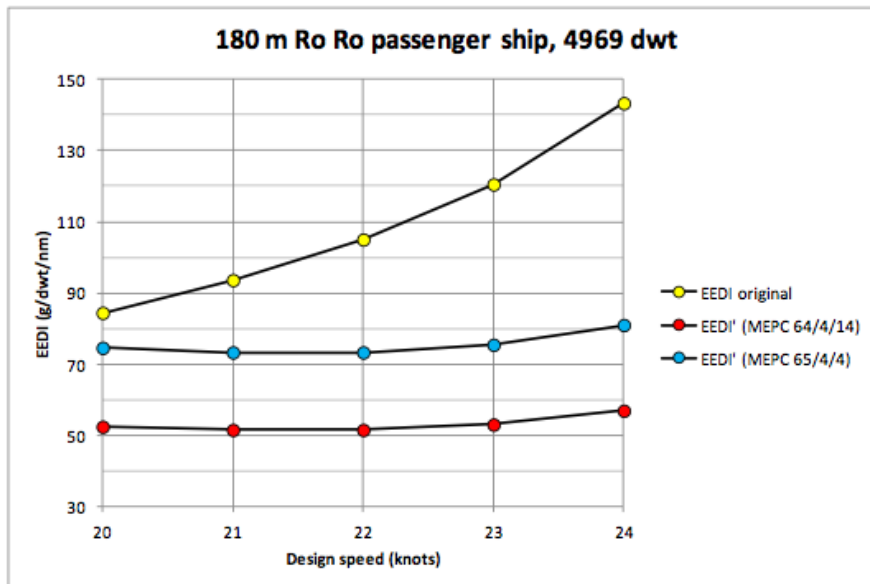


Figure 3: Influence of the changed exponents β , γ , and δ .

Εικόνα 5.6 [39]

5.4 Κριτική θεώρηση από τον H-O. Kristensen (DTU)

Αντιρρήσεις εκφράστηκαν και από τον Hans Otto Kristensen από το DTU (Technical University of Denmark)^[40]. Ύστερα από μελέτη της πρότασης (MEPC 64/4/14) από υδροδυναμική και μαθηματική άποψη, ισχυρίστηκε ότι η πρόταση έχει μερικά σημαντικά λάθη. Επίσης, μελετήθηκε το κατά πόσο αυτή η πρόταση είναι σύμφωνη με τη γενική ιδέα του ΕΕΔΙ.

Για τα πλοία Ε/Γ-Ο/Γ αναλύεται η σχέση της MEPC 64/4/14 (Σχέση 1) που συσχετίζει την ισχύ πρόωσης με βασικές παραμέτρους του πλοίου.

$$P_{ME} \leq Constant \times L^{\frac{1}{2}} \times Fn^{3,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{B_s}\right)^1 \times \left(\frac{B_s}{d_s}\right)^{0,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{\frac{1}{\nabla}}\right)^{0,75} \times \nabla^{0,567} \quad (\text{Σχέση 1})$$

η οποία μπορεί να γραφτεί ως:

$$P_{ME} \leq Constant \times Fn^{3,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{B_s}\right)^1 \times \left(\frac{B_s}{d_s}\right)^{0,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{\frac{1}{\nabla}}\right)^{1,75} \times \nabla^{0,733367} \quad \rightarrow$$

$$P_{ME} \leq Constant \times L^{\frac{1}{2}} \times Fn^{3,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{B_s}\right)^1 \times \left(\frac{B_s}{d_s}\right)^{0,5} \times \left(\frac{L_{PP}}{\frac{1}{\nabla}}\right)^{-0,951} L^{2,201}$$

Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι στην πρόταση (MEPC 64/4/14) που υποβλήθηκε στον IMO δεν αναφέρεται το πως βρέθηκαν οι συγκεκριμένοι εκθέτες, οπότε ερευνάται η τιμή αυτών. Στη μελέτη αυτή για τον υπολογισμό των σχετικών εκθετών από τα μεγέθη αυτά F_n , L/B , B/T και $L/\nabla^{1/3}$ κρατούνται σταθερά τα τρία και μεταβάλλεται το ένα. Για κάθε τιμή των μεγεθών υπολογίζεται η ισχύς πρόωσης και βρίσκεται η σχέση ισχύος με το αντίστοιχο μέγεθος που μεταβάλλεται κάθε φορά. Ο υπολογισμός της ισχύος βρίσκεται από τη μέθοδο Guldhammer and Harvald. Οι υπολογισμοί έγιναν για 3 διαφορετικά μεγέθη Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων με αντιπροσωπευτικές διαστάσεις και οι υπολογισμοί έγιναν για αριθμούς Froude 0,24, 0,26 και 0,28. Τα αποτελέσματα των δύο μελετών που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3. Είναι σαφές ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μελετών.

Παράμετρος	MEPC 64/4/14	DTU
L/B	$\beta=0,50$	$\beta=2,4-5,9$
B/T	$\gamma=0,75$	$\gamma=1,9-3,6$
Displacement volume	0,670	1,08
Lenght	2,009	3,25

Πίνακας 5.3

Επίσης, στην συγκεκριμένη μελέτη τονίζεται και από τον Kristensen ότι η χρήση του διορθωτικού συντελεστή f_j με τον τρόπο που προτάθηκε στην 64^η Σύνοδο, έχει σαν συνέπεια σε χαμηλές ταχύτητες ο ΕΕΔΙ να αυξάνεται για τα Ε/Γ-ΟΓ πλοία, αν και οι εκπομπές CO₂ μειώνονται. Μόνο όταν οι ταχύτητες γίνουν αρκετά υψηλές ο ΕΕΔΙ αυξάνεται, αυξανόμενης της ταχύτητας. Ωστόσο, η αύξηση αυτή είναι πολύ μικρότερη από την αύξηση στην εκπομπές CO₂.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου για τα πλοία αναψυχής

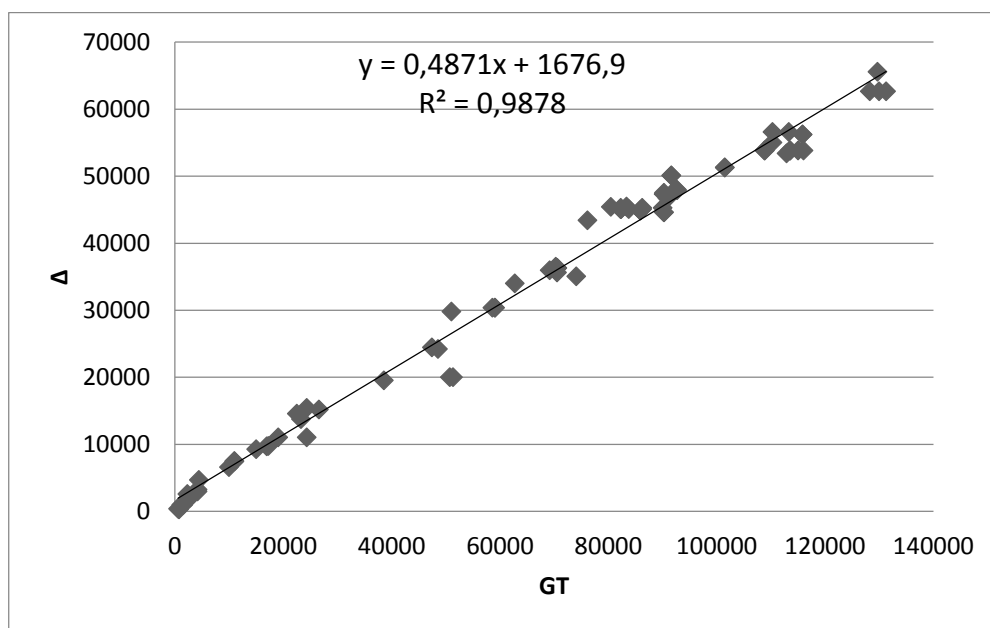
6.1 Επεξεργασία των δεδομένων

Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων IHS Fairplay Version 12.01 για επιβατηγά πλοία, επιλέγουμε τα πλοία που έχουν Legacy sub type: Cruise ship τα οποία έχουν κατασκευαστεί μετά από την 1/1/1999.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του EEDI αφαιρούμε επίσης όσα πλοία έχουν χωρητικότητα κάτω των 400GT, αλλά και τα ταχύπλοα πλοία με αριθμό Froude πάνω από 0,35. Επίσης, δεν θα ασχοληθούμε με τα πλοία με μήκος μικρότερο από 80m. Οι βασικοί λόγοι που ωθούν σε αυτήν την επιλογή είναι δύο. Αρχικά, τα μικρότερα πλοία αναψυχής έχουν πολύ διαφορετικό σχεδιασμό και άλλες ανάγκες λόγω της διαφορετικής φιλοσοφίας και του διαφορετικού στόχου της λειτουργίας τους, καθώς συνήθως αναφέρονται σε ημερήσια ταξίδια αναψυχής και έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για μεγάλους διαθέσιμους χώρους, καμπίνες και ποικιλία ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα πλοία αυτά ακολουθούν πολύ διαφορετικούς νόμους όσον αφορά την αντίσταση και την πρόωση με μικρές μεταβολές των κυρίων διαστάσεων και η μελέτη που ακολουθεί δεν μπορεί να γενικευτεί ώστε να συμπεριληφθούν και αυτά. Αναφέρεται ότι και οι κανονισμοί της SOLAS σχετικά με την ευστάθεια μετά από βλάβη ισχύουν για πλοία άνω των 80m, οπότε για αυτό επιλέχθηκαν το 80m σαν κάτω όριο.

Το εκτόπισμα δεν δίνεται για πολλά πλοία, οπότε για τα υπόλοιπα βρίσκουμε τη σχέση που συνδέει το εκτόπισμα με τη χωρητικότητα. Παρατηρούμε ότι η εξάρτηση είναι γραμμική και η συσχέτιση κοντά στο 1, οπότε η προσέγγιση είναι καλή.

Σημειώνεται ότι αφαιρούμε 3 πλοία, τα σημεία των οποίων βρίσκονταν πολύ μακριά από τη γραμμή, οπότε για τα πλοία αυτά πιθανώς το εκτόπισμα που δίνεται να είναι λάθος.



Διάγραμμα 6.1

Συνεπώς, για τα πλοία για τα οποία δεν δίνεται το εκτόπισμα χρησιμοποιούμε τη σχέση $\Delta=0,4871*GT+1676,9$. Γενικά, στον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς μέχρι τώρα, τα πλοία για τα οποία λείπουν δεδομένα αφαιρούνται αλλά στα πλαίσια της Εργασίας αυτής και δεδομένου ότι τα διαθέσιμα πλοία είναι ήδη λίγα γίνεται προσπάθεια εύρεσης των στοιχείων που λείπουν είτε με προσεγγιστικές σχέσεις από τα στοιχεία των υπολοίπων πλοίων, είτε από άλλες πηγές.

Τα πλοία που έχουμε τα χωρίζουμε ανάλογα με τον τύπο μηχανής που διαθέτουν: Συγκεκριμένα έχουμε επιλέξει 145 πλοία, από τα οποία τα 9 έχουν αεριοστροβίλους, 9 έχουν συνδυασμένο τύπο πρόωσης αεριοστροβίλου και κινητήρα ντήζελ, και 15 έχουν μόνο κινητήρα ντήζελ τα υπόλοιπα έχουν σύστημα νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης

Η μελέτη που ακολουθεί θα γίνει μόνο για πλοία με νηζελο-ηλεκτρική πρόωση καθώς για τα πλοία με κινητήρα ντήζελ δεν παρέχονται επαρκή στοιχεία όσον αφορά τη βοηθητική ισχύ. Επίσης, για τα πλοία με συνδυασμένη εγκατάσταση αεριοστροβίλων, ατμοστροβίλων και κινητήρα ντήζελ δεν βρέθηκαν στοιχεία σχετικά με το ποσοστό αυτών που χρησιμοποιείται στην υπηρεσιακή κατάσταση. Τέλος, τα πλοία με αεριοστροβίλους είναι λίγα για να βγουν επαρκή συμπεράσματα. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, τα περισσότερα πλοία κατασκευάζονται πλέον με σύστημα νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, οπότε αυτά μας ενδιαφέρουν περισσότερο.

Τα πλοία που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και έχουν μήκος πάνω από 80m είναι 112. Από αυτά, επαρκή στοιχεία δίνονται για τα 103 (για μερικά από αυτά ορισμένα στοιχεία, όπως η ισχύς και η ταχύτητα βρέθηκαν στο διαδίκτυο καθώς ήταν κενά στη βάση δεδομένων IHS Fairplay). Στον Πίνακα 6.1 φαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων αυτών και στον Πίνακα 6.2 χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους.

	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος
ταχύτητα	16	25	21.45
Χωρητικότητα	10,94	225,28	93.698,3
Αρ. επιβατών	264	6,36	2.834,4
LBP	126,2	329,88	242,27
B	18	48	33,54
T	4,8	9,3	7,83
P _{installed}	6.400	97.020	55.019,98

Πίνακας 6.1

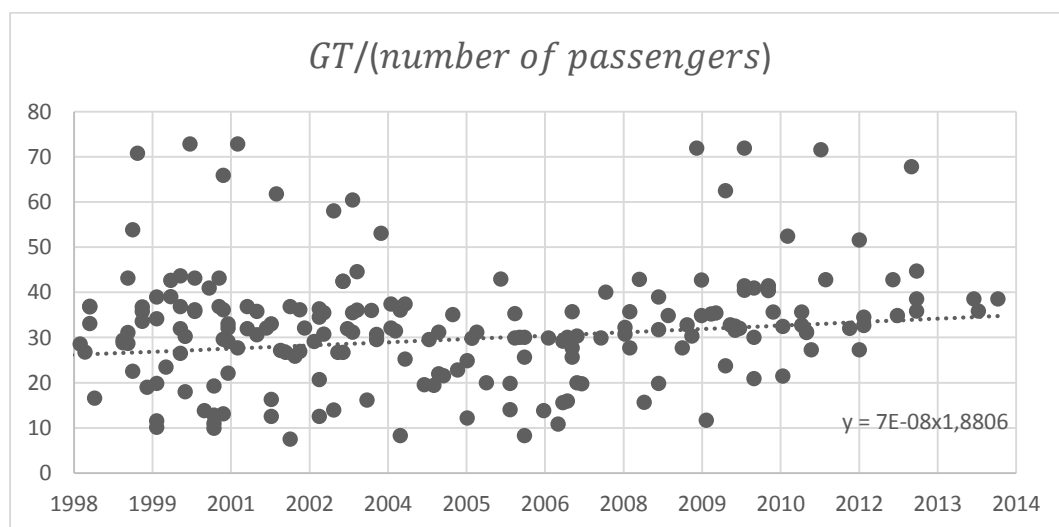
Η χωρητικότητα των πλοίων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

GT	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΟΙΩΝ
10000-50000	16
50000-100000	42
100000-150000	39
150000-200000	4
200000-250000	2
Σύνολο	103

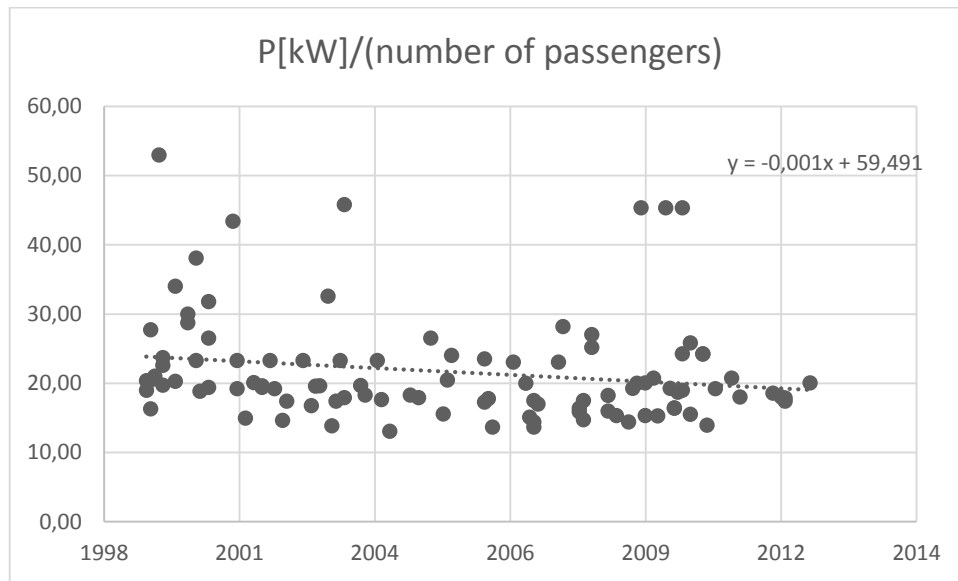
Πίνακας 6.2

Τα πλοία αναψυχής έχουν διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά την ταχύτητα υπηρεσίας ανάλογα με το δρομολόγιο που εκτελούν αλλά και τη γεωμετρία ανάλογα με τα λιμάνια τα οποία θέλουν να προσεγγίσουν και τις παροχές που έχουν. Επίσης παρουσιάζονται διαφορές όσον αφορά το λόγο: $\frac{GT}{\text{number of passengers}}$

ο οποίος ουσιαστικά εκφράζει την άνεση των επιβατών και το επίπεδο πολυτέλειας. Πιο αναλυτικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος αυτός, σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότεροι/μεγαλύτεροι χώροι επί του πλοίου. Έτσι, ο χώρος που αναλογεί σε κάθε επιβάτη είναι μεγαλύτερος. Τα πλοία που μεταφέρουν αναλογικά λιγότερους επιβάτες πρέπει να παρουσιάζουν και υψηλότερες τιμές του δείκτη. Παρατηρείται (Διάγραμμα 6.2) ότι τα καινούρια πλοία κατασκευάζονται με μεγαλύτερο επίπεδο πολυτέλειας το οποίο φαίνεται από τον όγκο που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότεροι χώροι επί του πλοίου για να παρέχουν ανέσεις και ψυχαγωγία στους επιβάτες. Επίσης, στο Διάγραμμα 6.3 παρατηρείται ότι η εγκατεστημένη ισχύς ανά άτομο μειώνεται με την πάροδο των ετών. Στον συντελεστή f_c που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια ενσωμάτωσης αυτών των χαρακτηριστικών ενθαρρύνοντας λιγότερο πολυτελή πλοία με λιγότερη κατανάλωση ισχύος ανά άτομο.



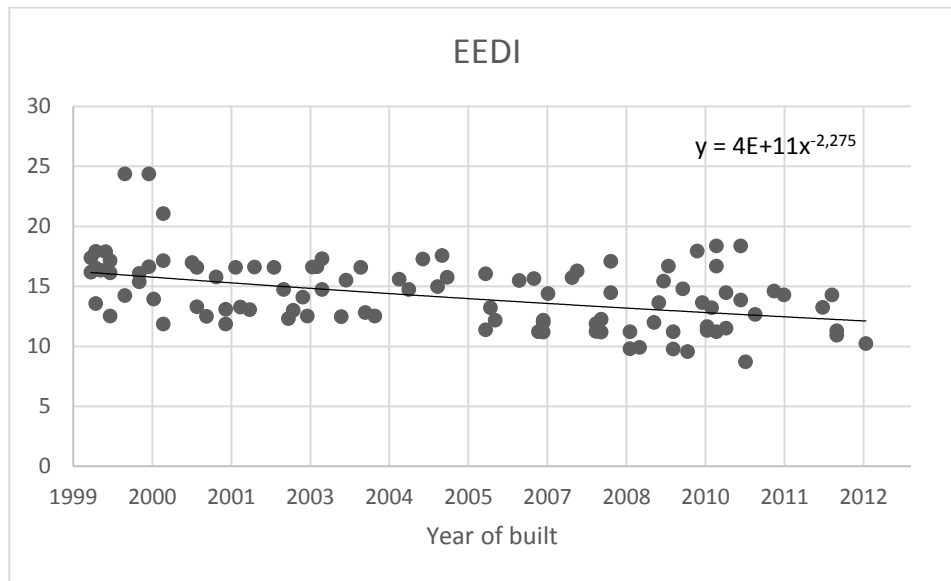
Διάγραμμα 6.2



Διάγραμμα 6.3

Επίσης, πρέπει τα ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία να πετυχαίνουν χαμηλότερο δείκτη από τα μη αποδοτικά από υδροδυναμική άποψη. Δηλαδή 2 πλοία με παρόμοιες κύριες διαστάσεις και συνεπώς όμοιους αδιάστατους λόγους και ίδια ταχύτητα υπηρεσίας μπορεί να έχουν διαφορά στην απαίτηση ισχύος πρόωσης αν το ένα είναι καλύτερα σχεδιασμένο από το άλλο από υδροδυναμική άποψη. Τότε το πλοίο που απαιτεί λιγότερη ισχύ πρόωσης πρέπει να παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή του δείκτη σε σχέση με το άλλο. Αυτό θα γίνει στη συνέχεια μέσω του συντελεστή f_j .

Για τα πλοία με νηζελο-ηλεκτρική πρόωση για τα οποία δίνονται επαρκή στοιχεία για έναν αρχικό υπολογισμό του $EEDI = \frac{C_f \times SFC \times P_{ME}}{Capacity \times V_{ref}}$, παρατηρούμε (Διάγραμμα 6.4) ότι αυτός παρουσιάζει μια ελαφρώς μειούμενη τιμή τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλετε στην αύξηση της χωρητικότητας των πλοίων σε συνδυασμό με τη χρήση προηγμένων, πιο αποδοτικών συστημάτων πρόωσης σε συνδυασμό με καλύτερο σχεδιασμό της γάστρας και κατ' επέκταση της εγκατεστημένης ισχύος. Σημειώνεται ότι σε πρώτη φάση, στον μέγεθος «Capacity» που υπεισέρχεται στον παρονομαστή του EEDI θέτουμε την ολική χωρητικότητα σε GT, καθώς αυτή είναι η κύρια σκέψη του IMO για τα επιβατηγά πλοία.



Διάγραμμα 6.4

6.2 Ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου

Μία δίκαιη γραμμή αναφοράς, θα πρέπει να αντιπροσωπεύει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη μέση επίδοση των πλοίων, σύμφωνα με τα υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία για τον τύπο πλοίου που εξετάζεται. Αυτό σημαίνει ότι η τιμές του δείκτη για τα πλοία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην γραμμή που παρεμβάλλεται με παλινδρόμηση, εμφανίζοντας υψηλή συσχέτιση και χαμηλή τυπική απόκλιση. Παράλληλα, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα πλοία που έχει διαπιστωθεί ότι είναι αποδοτικά παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή του δείκτη από τα μη αποδοτικά.

Έχοντας την πρόταση που υποβλήθηκε στον IMO για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (MEPC 64/4/14 και 65/4/4) δοκιμάζουμε τους εκθέτες που προτείνονται για τα πλοία αυτά στα πλοία αναψυχής που μας ενδιαφέρουν. Συγκεκριμένα στο Διάγραμμα 6.5 τη γραμμή αναφοράς που προκύπτει αν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:

$$EEDI = \frac{C_F \times SFC \times 0,75 \times P_{INSTALLED}}{Capacity \times V_{ref}}$$

Όπου:

- C_f η εκπομπή CO₂ η οποία θεωρείται σταθερή για όλες τις μηχανές, και ίση με 3,1144 g CO₂/g καυσίμου
- SFC (Specific Fuel Consumption) η ειδική κατανάλωση των μηχανών, οι οποίες στα ντηζελο-ηλεκτρικά συστήματα θεωρούνται βοηθητικές, ίση με 215 g/kWh
- Capacity: όπως έχει ήδη προταθεί από τον IMO, η ολική χωρητικότητα σε GT

-Pinstalled η εγκατεστημένη ισχύς

Σημειώνεται ότι στα πλοία που χρησιμοποιούν νηζελο-ηλεκτρικό σύστημα δεν είναι εφικτό να γίνει διαχωρισμός της ισχύος πρόωσης από τη βοηθητική ισχύ και έτσι η ισχύς θεωρείται ότι παρέχεται από βοηθητικές μηχανές. Θεωρούμε ότι στην κατάσταση αναφοράς χρησιμοποιείται το 75% αυτής.

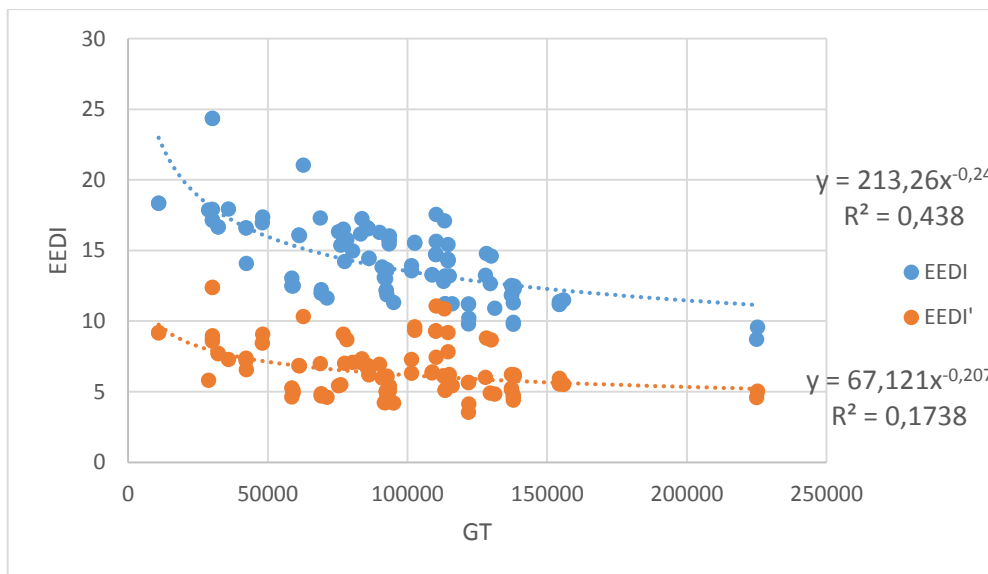
-Vref η ταχύτητα αναφοράς

Θεωρούμε ότι η ταχύτητα που δίνεται στη βάση δεδομένων, αντιστοιχεί στο 75% της εγκατεστημένης ισχύος. Όσα στοιχεία κρίθηκαν λανθασμένα διορθώθηκαν από πηγές στο διαδίκτυο.

Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η γραμμή αναφοράς που προκύπτει εφαρμόζεται την παραπάνω σχέση, αλλά και η διορθωμένη γραμμή αναφοράς που προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή:

$$f_j = \frac{1}{Fn^{2,5} \times \left(\frac{L}{B}\right)^{0,75} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,75} \times \left(\frac{L}{1}\right)^1}$$

Δηλαδή, $EEDI' = EEDI \times f_j$



Διάγραμμα 6.5

Παρατηρούμε ότι η συσχέτιση των σημείων μειώνεται αντί να αυξάνεται, συνεπώς οι εκθέτες αυτοί δεν μπορούν να εφαρμοστούν για τα μεγάλα πλοία αναψυχής που μας ενδιαφέρουν. Ο Hans Otto Kristensen, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5, έκανε στο DTU μία μελέτη ισχυριζόμενος ότι οι εκθέτες που χαρακτηρίζουν τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία είναι διαφορετικοί από αυτοί που προτάθηκαν στον IMO.

Στη μελέτη αυτή για τον υπολογισμό των σχετικών εκθετών από τα μεγέθη αυτά F_n , L/B , B/T και $L/\nabla^{1/3}$ κρατούνται σταθερά τα τρία και μεταβάλλεται το ένα. Για κάθε τιμή των μεγεθών υπολογίζεται η ισχύς πρόωσης και βρίσκεται η σχέση ισχύος με το αντίστοιχο μέγεθος που μεταβάλλεται κάθε φορά. Η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί για τα πλοία αναψυχής και θα μελετηθεί το κατά πόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αυτή για τον προσδιορισμό μίας γραμμής αναφοράς του ΕΕΔΙ για αυτά. Επίσης, θα γίνει σύγκριση αυτών με τα Ε/Γ-Ο/Γ. Σημειώνεται ότι στην παρούσα Διπλωματική Εργασία η ισχύς πρόωσης υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop^[41] (and Mennen)^[42].

Από τα πλοία που εξετάσαμε προέκυψαν οι ακόλουθοι εκθέτες (Πίνακας 6.3), ενώ παραδείγματα υπολογισμών φαίνονται στο Παράρτημα για 3 πλοία μήκους (L_{BP}) 245, 260 και 297m.

F_n	2,9 έως 3,1
$\frac{L}{B}$	0,7 έως 1,5
$\frac{B}{T}$	0,5 έως 1
$\frac{L}{\nabla^{1/3}}$	-2,2 έως -4,7

Πίνακας 6.3

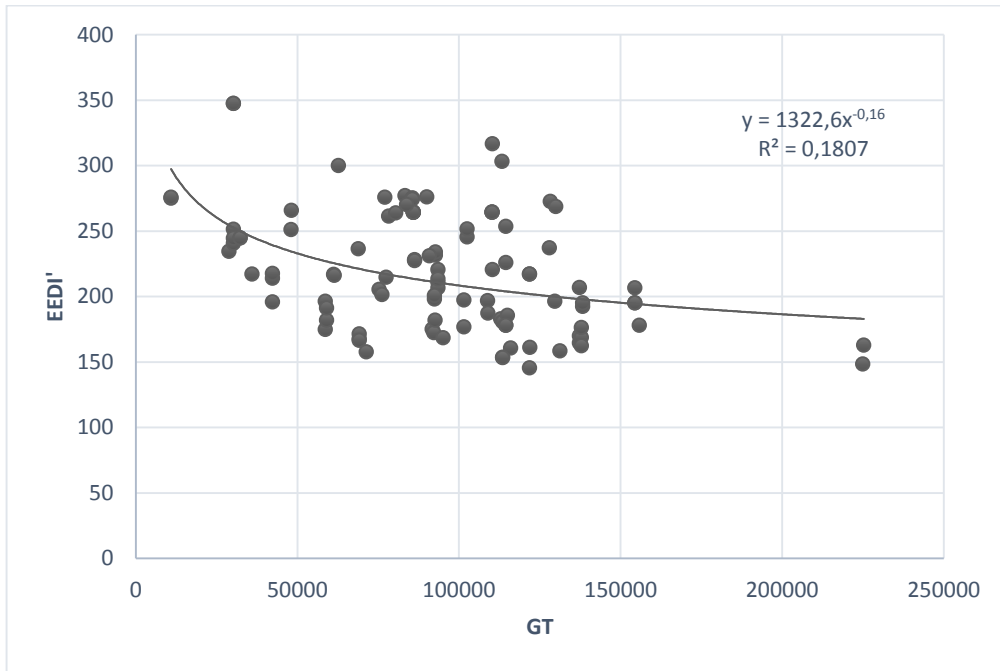
Άρα για ένα μέσο πλοίο ισχύει η σχέση που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 5 γράφεται:

$$P \leq Const \times F_n^3 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^{-3,5} \times L^{2,5}$$

Η οποία γράφεται ισοδύναμα ως:

$$P \leq Const \times L^{0,5} \times F_n^3 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^{-1,5} \times \nabla^{0,667}$$

Οπότε προκύπτει η ακόλουθη γραμμή αναφοράς:



Διάγραμμα 6.6

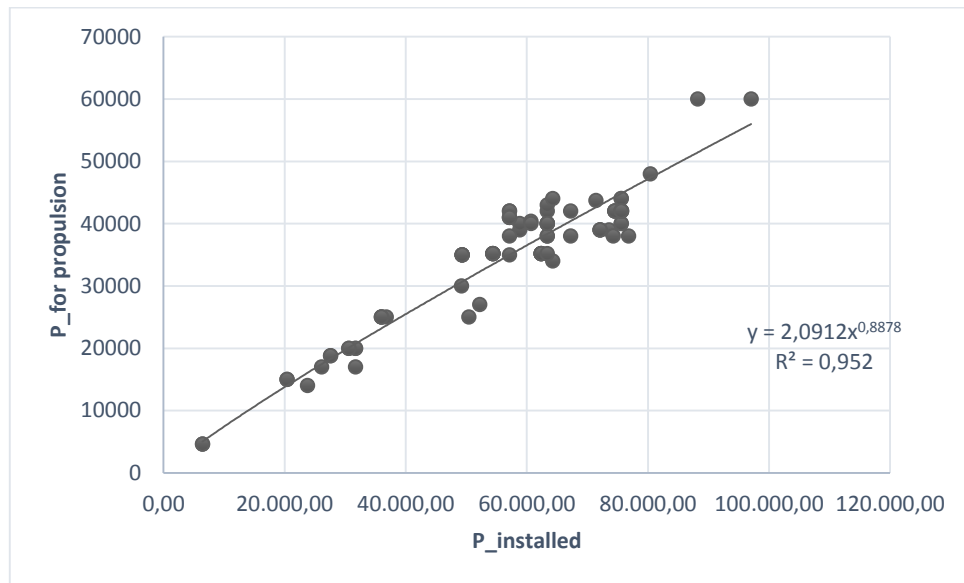
6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση των πλοίων αναψυχής με τα Ε/Γ-Ο/Γ

Η γραμμή αναφοράς που παρουσιάστηκε (Διάγραμμα 6.6) παρουσιάζει πολύ μικρή συσχέτιση. Συνεπώς, δεν θεωρείται ικανοποιητική και προτείνεται περαιτέρω επεξεργασία και μελέτη.

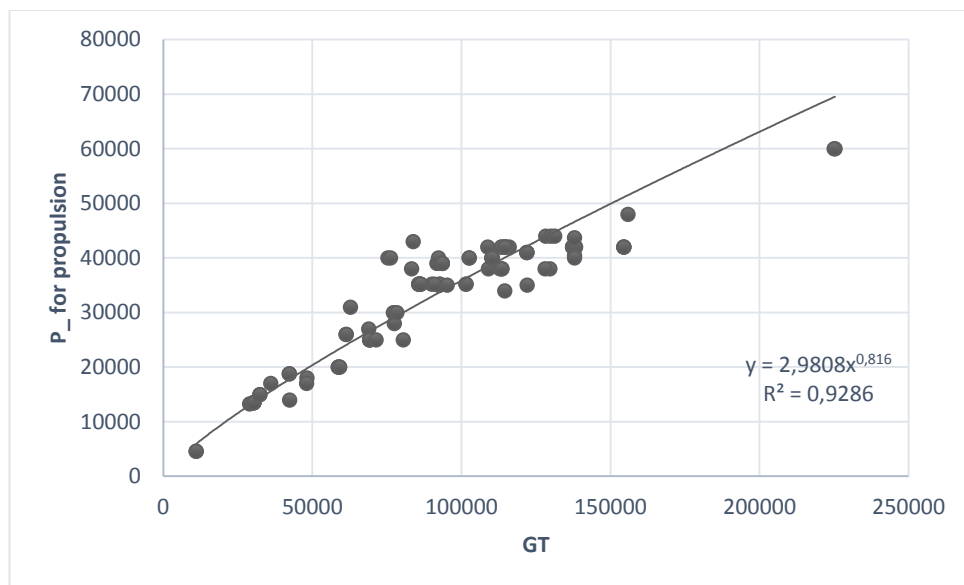
Αρχικά, πρέπει να τονιστεί ότι στα περισσότερα πλοία αναψυχής λιγότερο από το 70% της εγκατεστημένης ισχύος προορίζεται για την πρόωση του πλοίου, ενώ το υπόλοιπο προορίζεται για τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου^[13]. Συνεπώς, ο συντελεστής διόρθωσης f_j δεν κρίνεται ορθό να εφαρμοστεί σε όλη την εγκατεστημένη ισχύ, καθώς το ποσοστό που δεν διατίθεται για την πρόωση του πλοίου είναι μεγάλο και δεν υπάρχει εξάρτηση αυτού με τις αδιάστατες παραμέτρους (F_n , L/B , B/T και $L/\nabla^{1/3}$) όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω.

Μετά από εκτενή έρευνα στο διαδίκτυο, βρέθηκαν λεπτομέρειες για την πρόωση των πλοίων με νηζελο-ηλεκτρική πρόωση. Συγκεκριμένα, βρέθηκε η ισχύς των ηλεκτροκινητήρων για τα 103 πλοία αναψυχής τα οποία μας ενδιαφέρουν.

Η σχέση της ισχύος αυτής με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ αλλά και με τη χωρητικότητα των πλοίων φαίνεται στα Διαγράμματα 6.7 και 6.8.



Διάγραμμα 6.7



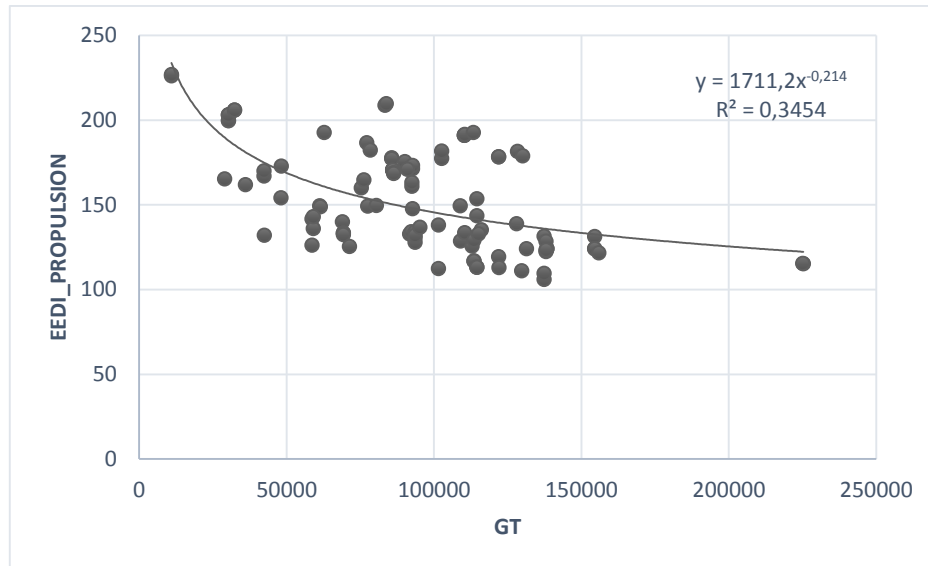
Διάγραμμα 6.8

Τα αποτελέσματα της έρευνας στο διαδίκτυο σχετικά με την ισχύ για την πρόωση του πλοίου φαίνονται ικανοποιητικά καθώς παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση και κανένα δεν απέχει πολύ από τη γραμμή τάσης στα διαγράμματα αυτά.

Η ισχύς που καταναλώνεται για την πρόωση υπολογίζεται να είναι αυτή των ηλεκτροκινητήρων διαιρούμενη με έναν βαθμό απόδοσης των γεννητριών ίσο με 0,95 και απώλειες μέχρι το σύστημα πρόωσης της τάξης του 8% (MEPC 63/4/3) ^[33].

Για την ισχύ πρόωσης λοιπόν χρησιμοποιούμε τον διορθωτικό συντελεστή που βρέθηκε προηγουμένως δηλαδή:

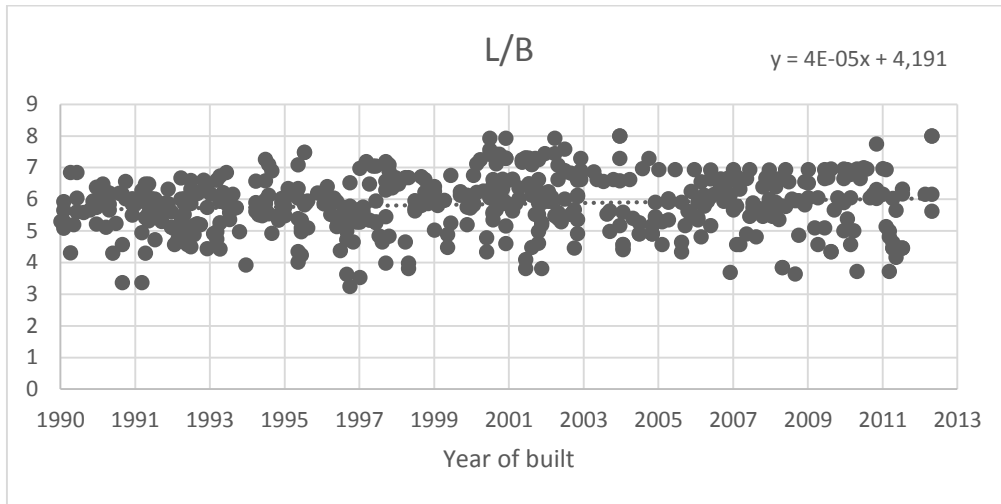
$$f_j = \frac{1}{Fn^2 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\sqrt[3]{1}}\right)^{-1,5}}$$



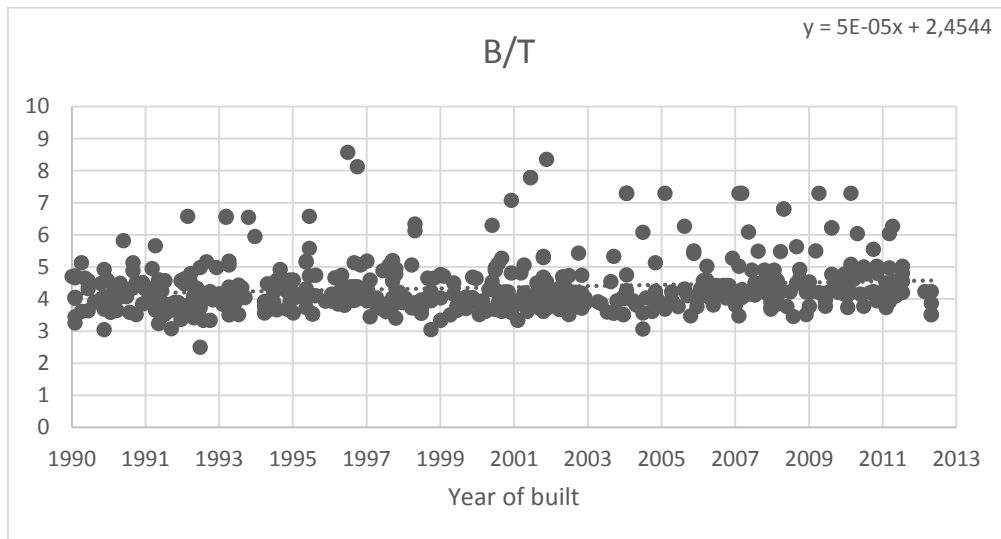
Διάγραμμα 6.9

Στο Διάγραμμα 6.9 φαίνεται ο ΕΕΔΙ διορθωμένος με τον συντελεστή f_j , λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ισχύ που παρέχεται για την πρόωση του πλοίου. Η συσχέτιση (R^2) είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη περίπτωση, ωστόσο εξακολουθεί να μην είναι ικανοποιητική. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η σύγκριση των πλοίων αναψυχής με τα Ε/Γ-Ο/Γ για τα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος επιτυχώς.

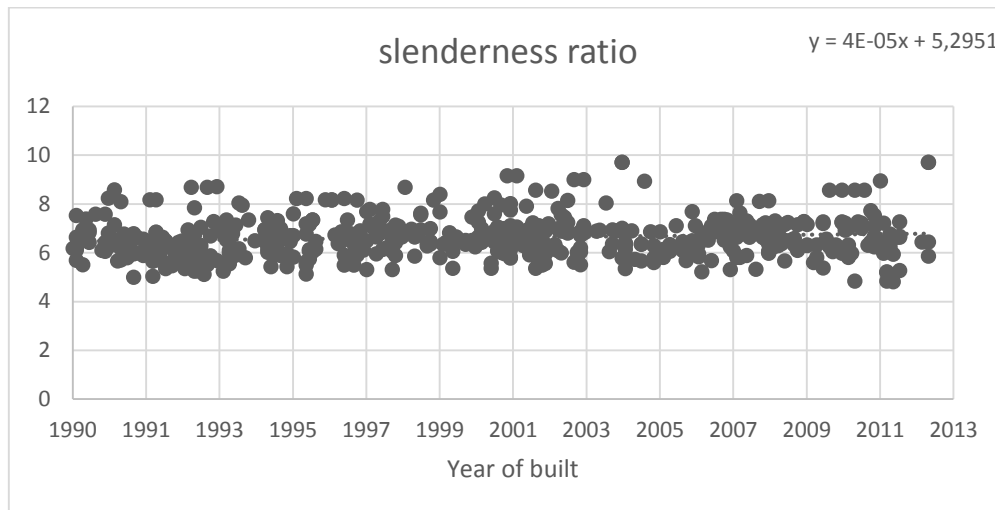
Για τα Ε/Γ-Ο/Γ, βλέπουμε στα παρακάτω διαγράμματα πως μεταβάλλονται οι λόγοι των βασικών τους διαστάσεων από το 1990.



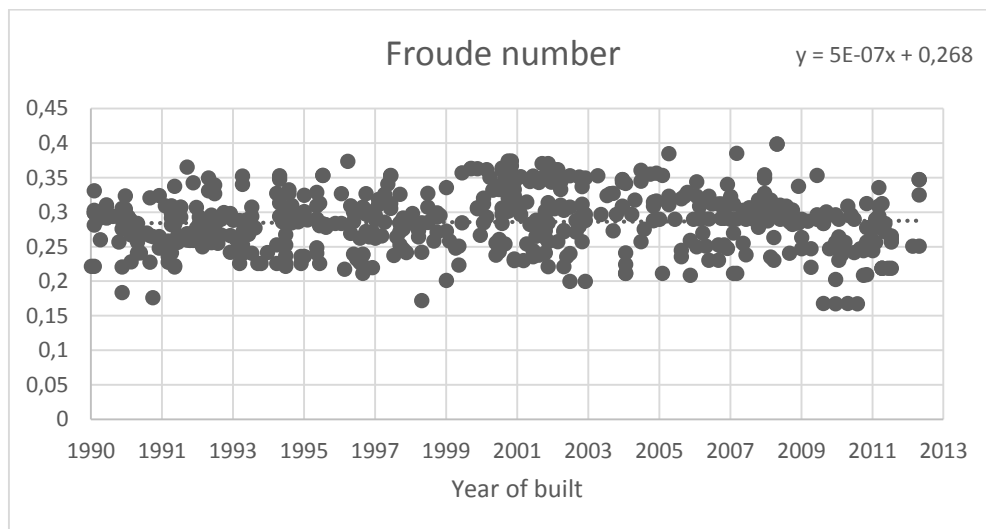
Διάγραμμα 6.10



Διάγραμμα 6.11



Διάγραμμα 6.12



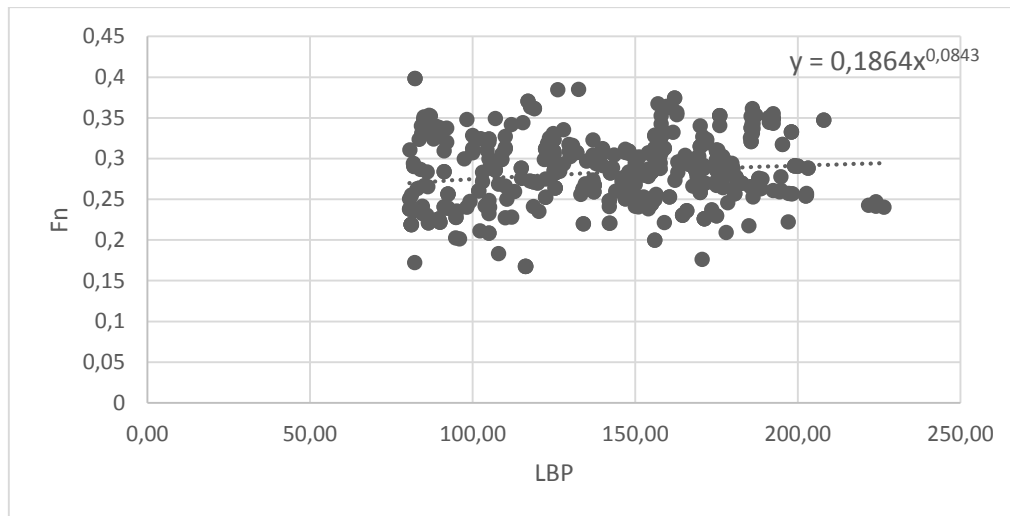
Διάγραμμα 6.13

Μέση τιμή	Πλοία αναψυχής	Ε/Γ-Ο/Γ
L/B	7,22	5,8
B/T	4,28	4,3
Slenderness ratio	6,89	6,6
Froude number	0,23	0,29

Πίνακας 6.4

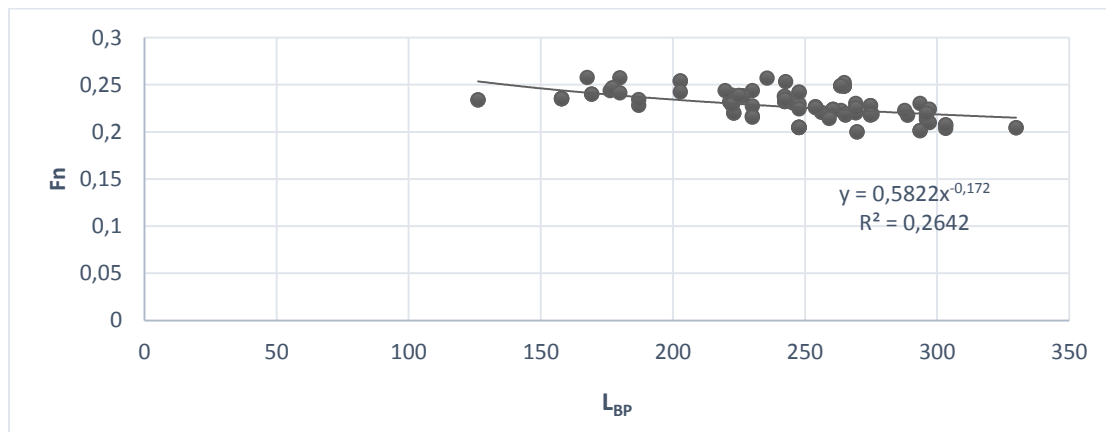
Παρατηρούμε ορισμένες σημαντικές διαφορές στις βασικές παραμέτρους των πλοίων αυτών αν τις συγκρίνουμε με τα πλοία αναψυχής (Κεφάλαιο 4) ειδικά όσον αφορά τον αριθμό Froude, το λόγο L/B, αλλά και το λόγο λυγηρότητας. Επίσης για

τα Ε/Γ-Ο/Γ στον αριθμό Froude παρατηρείται (Διάγραμμα 6.13) μία μικρή αύξηση του με την αύξηση του μήκους.



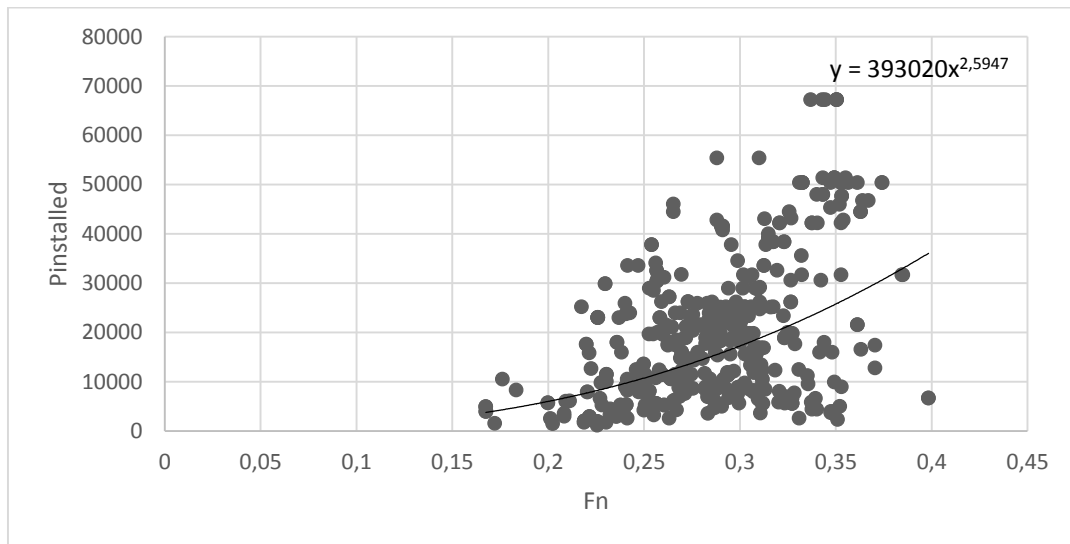
Διάγραμμα 6.14

Για πλοία αναψυχής παρατηρείται το αντίθετο (Διάγραμμα 6.15).



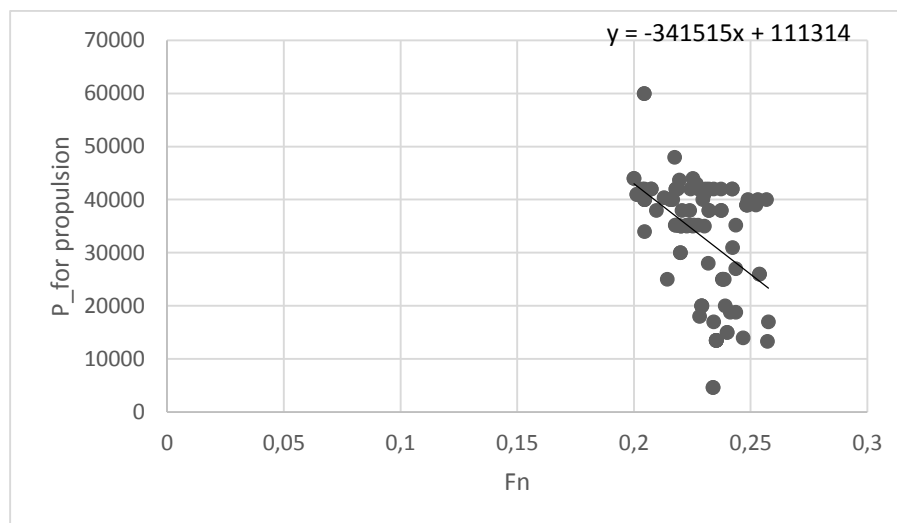
Διάγραμμα 6.15

Επιπρόσθετα, παρατηρούμε ότι ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για τη μείωση της συσχέτισης για τα πλοία αυτά είναι ο αριθμός Froude. Πιο συγκεκριμένα, για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 400GT, μήκος μεγαλύτερο των 80m και με αριθμό Froude μικρότερο του 0,35) η εγκατεστημένη ισχύς φαίνεται σαν συνάρτηση του αριθμού Froude στο Διάγραμμα 6.16. Για τα πλοία αυτά είναι προφανές ότι όταν αυξάνεται ο αριθμός Froude αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς. Η απόκλιση μερικών σημείων στο διάγραμμα αυτό οφείλεται ενδεχομένως στον διαφορετικό τύπο πρόωσης. Τα στοιχεία που παρατίθενται είναι από τη IHS Fairplay World Shipping Encyclopedia version 12.01



Διάγραμμα 6.16

Ωστόσο, για τα πλοία αναψυχής που μας ενδιαφέρουν προκύπτει το Διάγραμμα 6.17 όπου φαίνεται να υπάρχει αντίθετη συμπεριφορά. Η εγκατεστημένη ισχύς πρόωσης μειώνεται με την αύξηση του αριθμού Froude:



Διάγραμμα 6.17

Οπότε βλέπουμε ότι δεν ισχύει η ανάλογη σχέση για τα πλοία αναψυχής και συμπεραίνουμε ότι ο αριθμός Froude ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη χαμηλή συσχέτιση των σημείων όταν χρησιμοποιούμε τον συντελεστή f_j .

6.4 Εναλλακτικές προτάσεις

6.4.1 Περιγραφή

Σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις στην παρούσα Διπλωματική Εργασία προτείνεται η ακόλουθη διαδικασία προκειμένου να επιτευχθεί ο προσδιορισμός μίας δίκαιης γραμμής αναφοράς με υψηλή συσχέτιση, αλλά παράλληλα επιχειρείται ο τρόπος προσέγγισης να συμβαδίζει με αυτόν της μεθόδου που προτάθηκε για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (MEPC 64/4/14).

Αρχικά προτείνεται ο διαχωρισμός της ισχύος πρόωσης από την ισχύ που παρέχεται για τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου και η χρήση δύο διαφορετικών διορθωτικών συντελεστών για καθεμία από αυτές. Ο διαχωρισμός αυτός φαίνεται να αποτελεί μία καλή προσέγγιση για τα πλοία αναψυχής, καθώς όπως αναφέρθηκε, στα πλοία αυτά η εγκατεστημένη ισχύς για τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου, εκτός της πρόωσης, είναι συνήθως πάνω από το 30% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Για το λόγο αυτό πρέπει η ισχύς αυτή να μελετηθεί ξεχωριστά.

Έτσι, χωρίζουμε τον δείκτη σε 2 μέρη έτσι ώστε το ένα να αντιπροσωπεύει την ισχύ πρόωσης και το άλλο την υπόλοιπη ισχύ, χρησιμοποιώντας διαφορετικό διορθωτικό συντελεστή για τον κάθε όρο.

$$EEDI = EEDI_{propulsion} + EEDI_{auxiliary}$$

$$= 3,1144 \times 215 \times f_j \times \frac{0.75 \times P_{propulsion}}{Capacity \times V_{ref}} + 3,1144 \times 215 \times f_C \times \frac{0.75 \times P_{auxiliaries}}{Capacity \times V_{ref}}$$

$$= 3,1144 \times 215 \times \left(f_j \times \frac{0.75 \times P_{propulsion}}{Capacity \times V_{ref}} + f_C \times \frac{0.75 \times P_{auxiliaries}}{Capacity \times V_{ref}} \right)$$

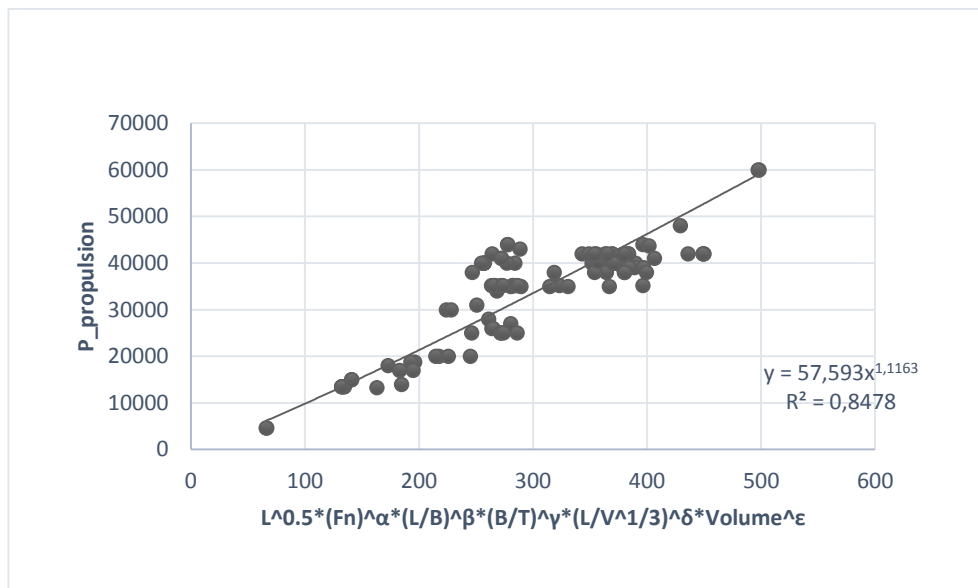
$$= 3,1144 \times 215 \times \left(f_j \times \frac{0.75 \times P_{propulsion}}{Capacity \times V_{ref}} + f_C \times \frac{0.75 \times (P_{total} - P_{propulsion})}{Capacity \times V_{ref}} \right)$$

Καθώς δεν έχουμε περισσότερα στοιχεία κάνουμε την παραδοχή ότι στην κατάσταση αναφοράς χρησιμοποιείται το 75% της ισχύος πρόωσης και το 75% της υπόλοιπης ισχύος.

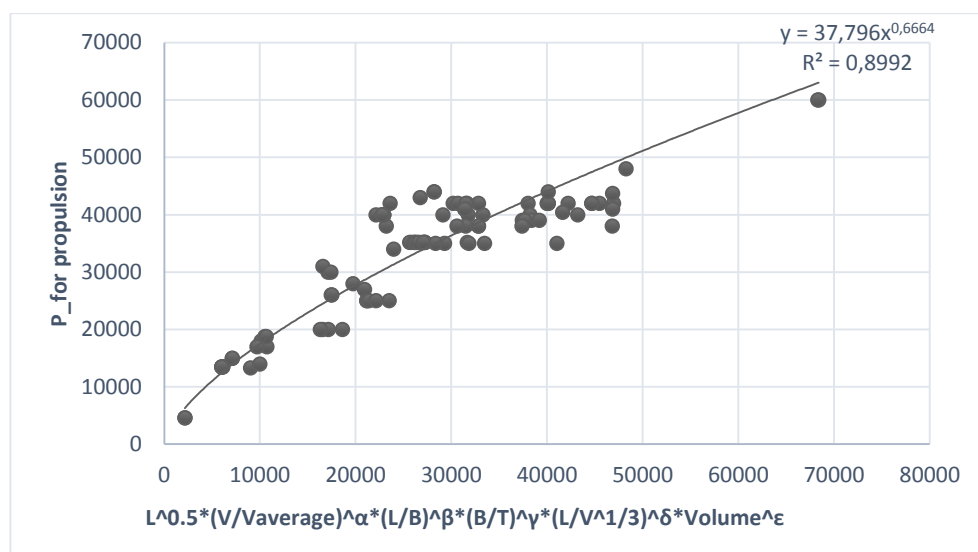
Επίσης, αντί να χρησιμοποιήσουμε τον αριθμό Froude, που όπως αναφέρθηκε μειώνει το R² στα πλοία αναψυχής, προτείνεται η χρήση του λόγου: ταχύτητα του πλοίου προς τη μέση ταχύτητα των πλοίων (21,45 knots) από τα οποία θα προκύψει η γραμμή αναφοράς. Με τον τρόπο αυτό, ο συντελεστής παραμένει αδιάστατος, ενώ όσο αυξάνεται η ταχύτητα ενός πλοίου η επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη γίνεται μεγαλύτερη. Έτσι, η πρόταση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με την μέθοδο που μελετήθηκε στο Κεφάλαιο 5.

Η εγκυρότητα της χρήσης του συντελεστή f_j επιβεβαιώνεται με τα παρακάτω διαγράμματα όπου φαίνεται ότι με τη χρήση του λόγου των ταχυτήτων, όπως αναφέρεται παραπάνω, παρατηρείται αρκετά μεγαλύτερη συσχέτιση από ότι με τη χρήση του αριθμού Froude.

$$f_j = \frac{1}{\left(\frac{V_{ref}}{21,45}\right)^2 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\sqrt[3]{1}}\right)^{-1,5}}$$



Διάγραμμα 6.18



Διάγραμμα 6.19

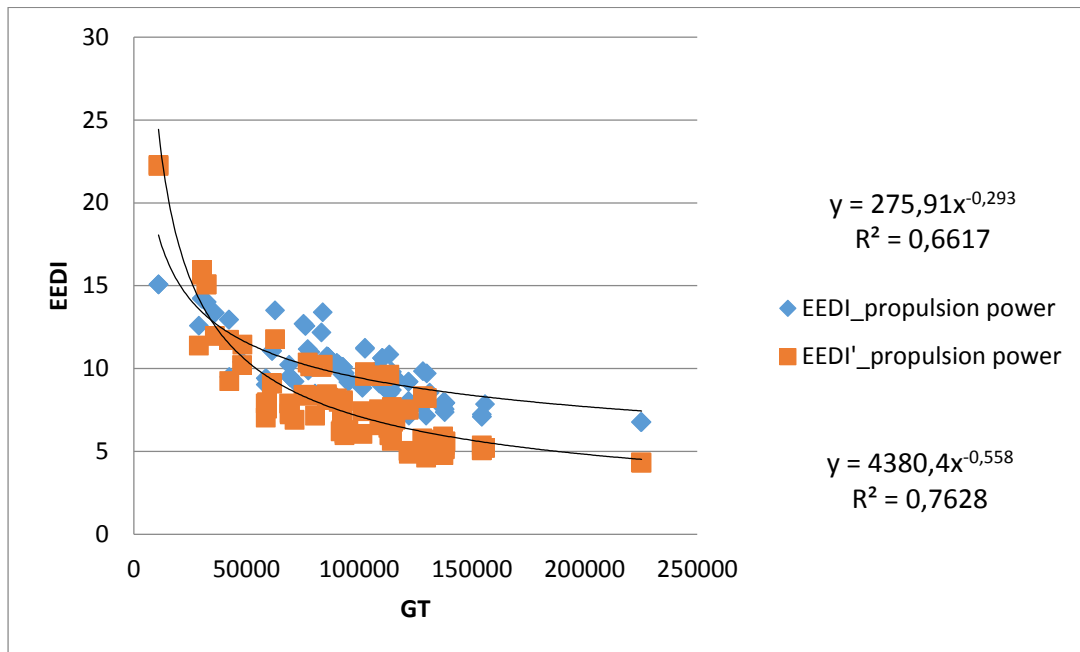
Σε πρώτη φάση στην παράμετρο «Capacity» που υπεισέρχεται στον παρονομαστή του ΕΕΔΙ, θέτουμε την ολική χωρητικότητα (σε GT), καθώς όπως αυτή είναι η κύρια σκέψη του IMO.

Για την ισχύ που παρέχεται για τις υπόλοιπες ανάγκες του πλοίου χρησιμοποιούμε μία διαφορετική διόρθωση χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή που είναι ίσος με το

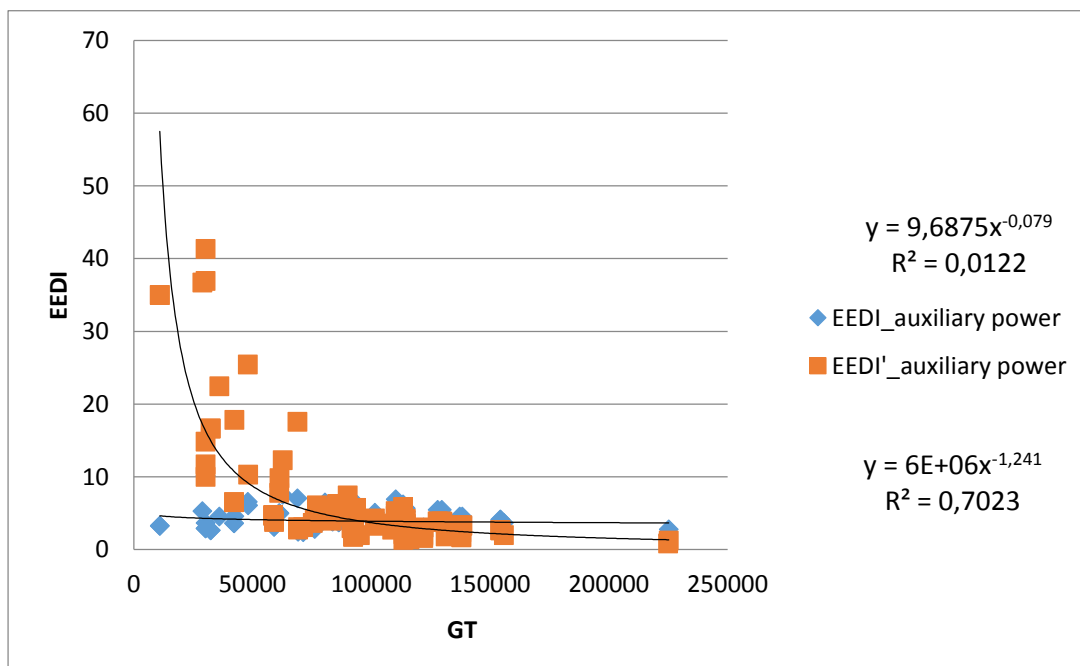
μέσο αριθμό επιβατών από τα πλοία που έχουμε (δηλαδή 2834 επιβάτες) προς τον αριθμό των επιβατών που μεταφέρει το πλοίο, δηλαδή

$$f_c = \frac{\text{average number of passengers}}{\text{number of passengers}} = \frac{2834}{\text{number of passengers}}$$

Έτσι προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα, όπου φαίνεται η αρχική μορφή πριν τη χρήση του κάθε συντελεστή, για την ισχύ πρόωσης και για την υπόλοιπη ισχύ.

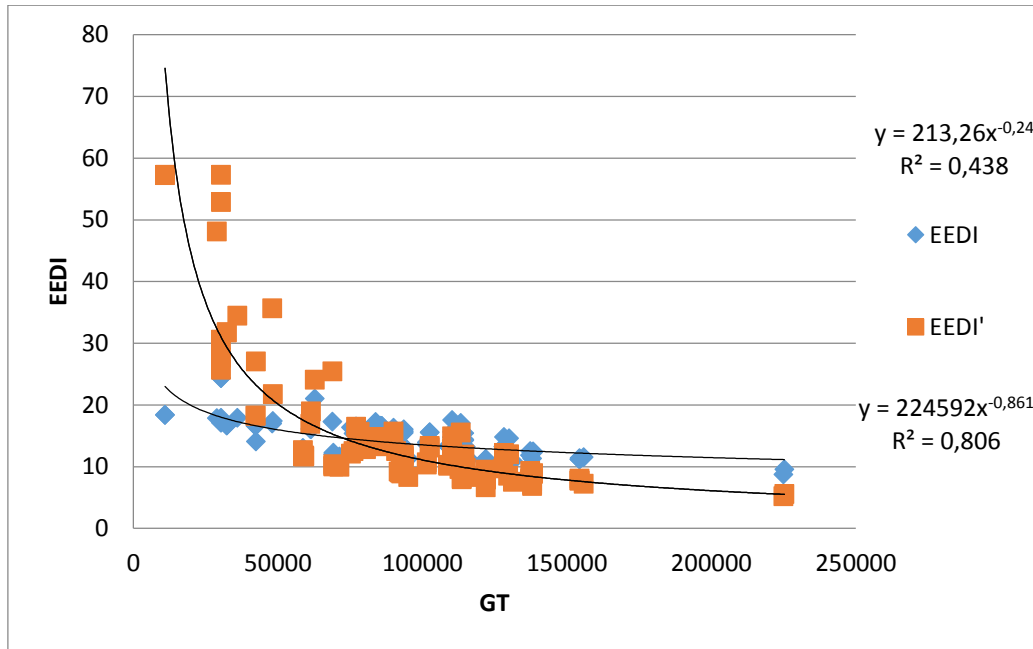


Διάγραμμα 6.20



Διάγραμμα 6.21

Συνολικά φαίνεται η προτεινόμενη γραμμή αναφοράς, προσθέτοντας τους δύο όρους του δείκτη:



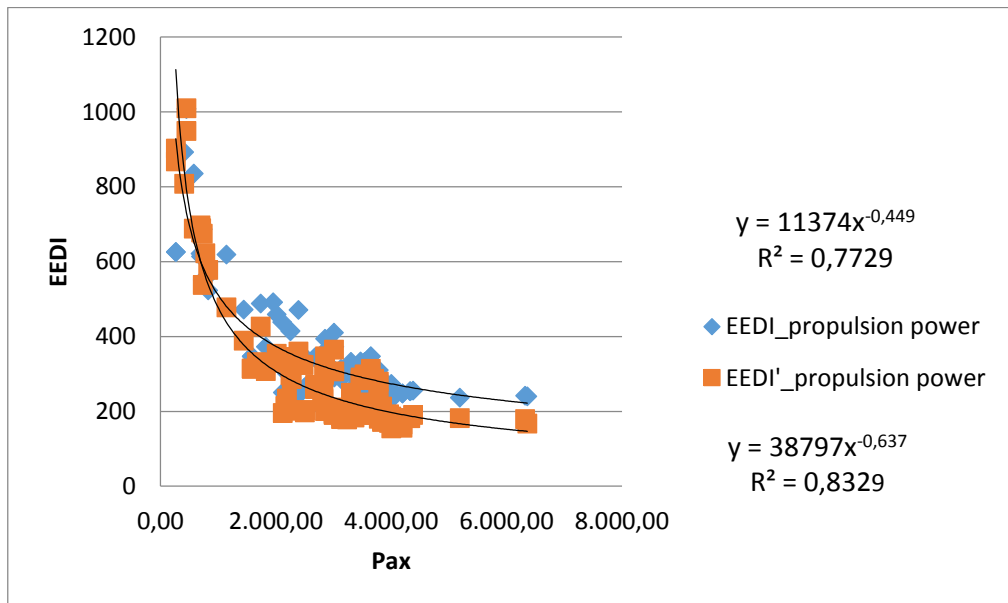
Διάγραμμα 6.22

Η γραμμή αναφοράς φαίνεται να είναι αρκετά ικανοποιητική και η συσχέτιση μεγάλη, υποδεικνυόμενη από το $R^2=0,806$ που είναι αρκετά υψηλό, δεδομένου ότι για τα πλοία μεταφοράς τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων το R^2 της γραμμής αναφοράς που έχει καθοριστεί είναι ίσο με 0,6191.

Μία ακόμα εναλλακτική πρόταση είναι να ακολουθηθεί η ίδια ακριβώς διαδικασία αλλά στην παράμετρο «Capacity» να θέσουμε τον μέγιστο αριθμό των επιβατών. Τότε για τον όρο που περιλαμβάνει την ισχύ πρόωσης, χρησιμοποιώντας τον διορθωτικό συντελεστή

$$f_j = \frac{1}{\left(\frac{V_{ref}}{21,45}\right)^2 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{-1,5}}$$

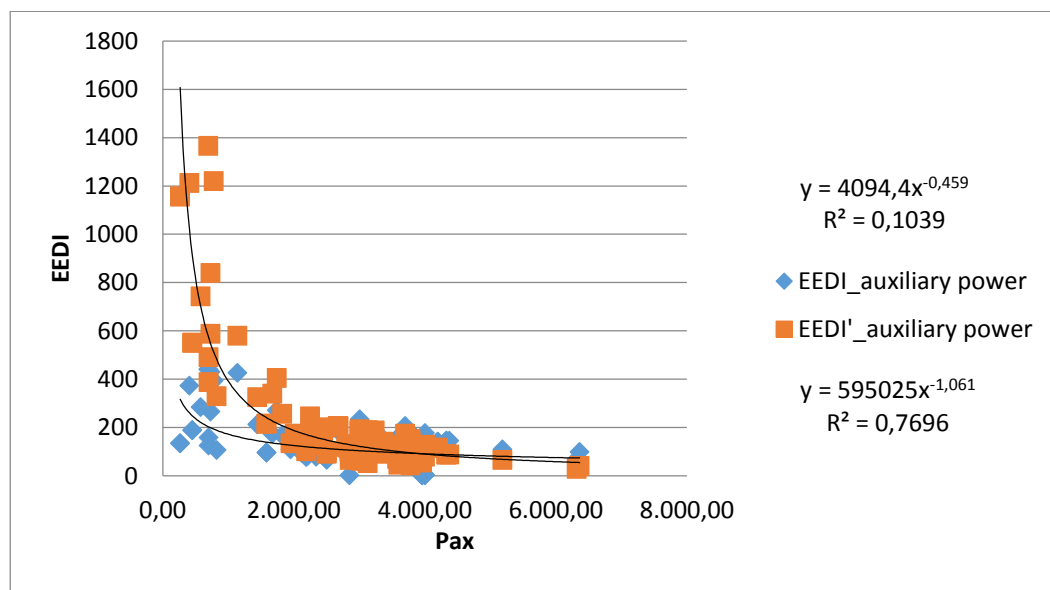
προκύπτει:



Διάγραμμα 6.23

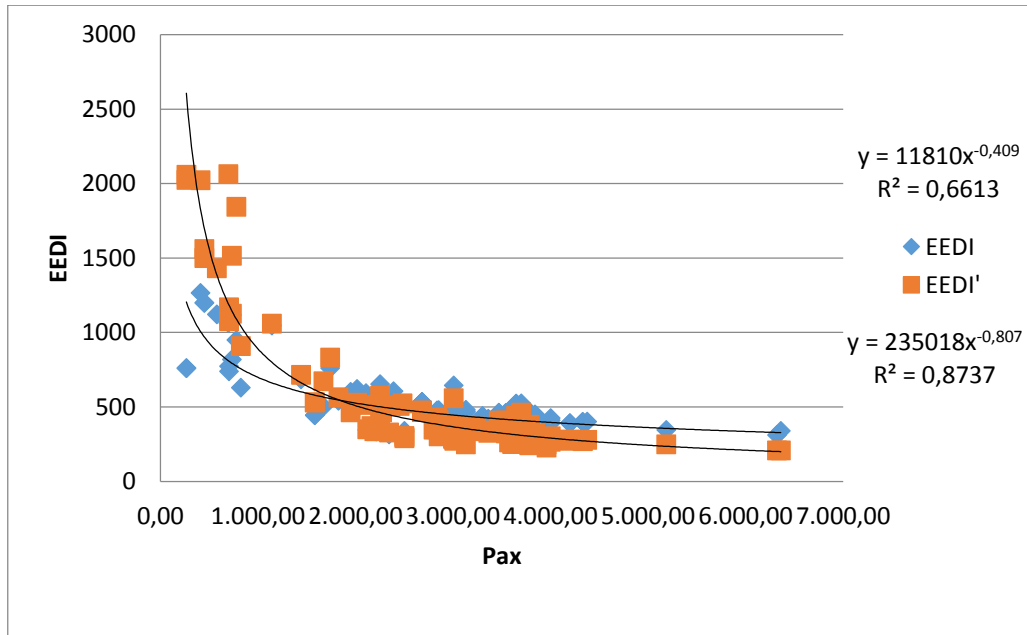
Για την ισχύ που παρέχεται για τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου χρησιμοποιούμε σαν διορθωτικό συντελεστή το λόγο της μέσης χωρητικότητας σε GT (ίση με 93698 GT) των πλοίων που χρησιμοποιούμε προς την χωρητικότητα του πλοίου.

$$f_c = \frac{\text{average gross tonnage}}{\text{gross tonnage}} = \frac{9369}{\text{gross tonnage}}$$



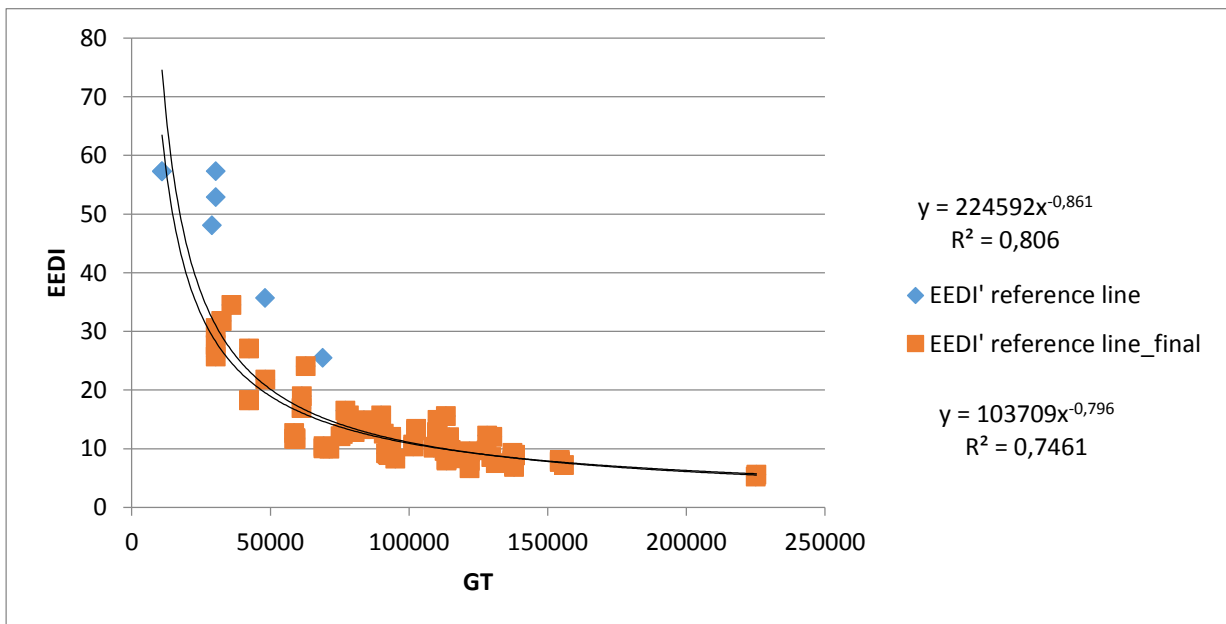
Διάγραμμα 6.24

Τελικά προκύπτει το Διάγραμμα 6.25. Είναι εμφανές ότι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συσχέτιση.

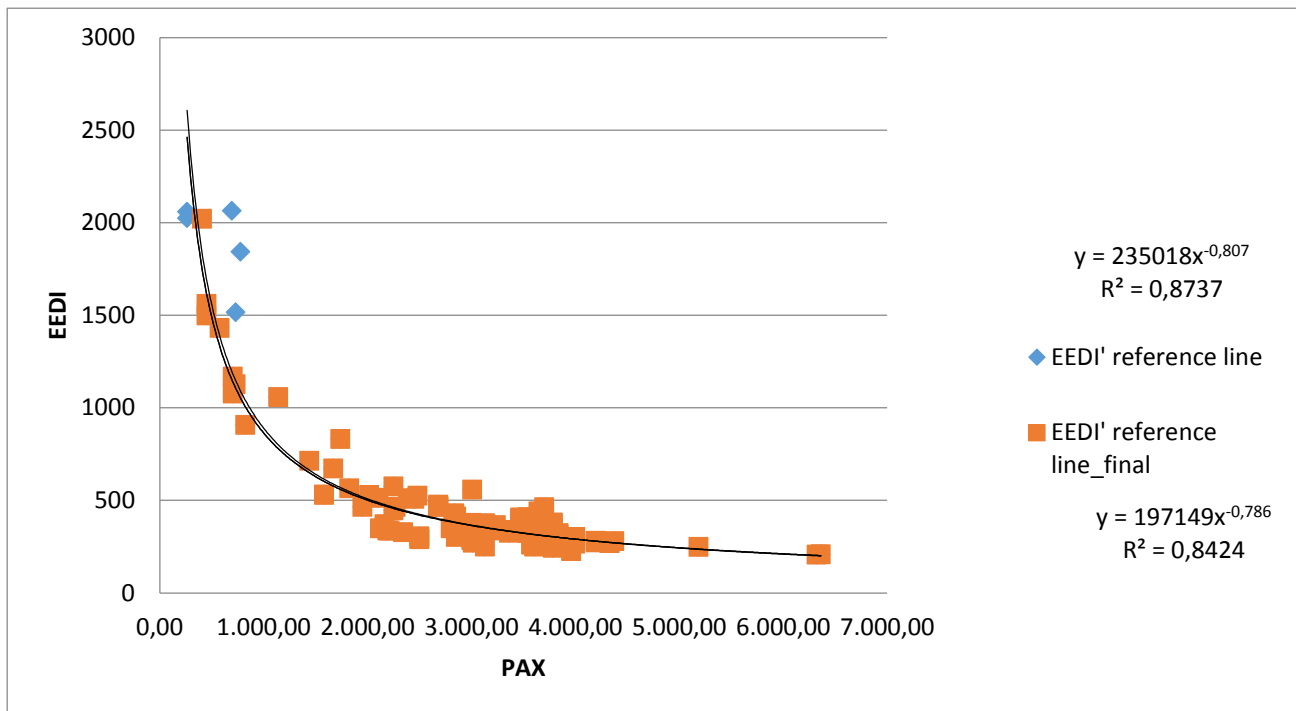


Διάγραμμα 6.25

Σύμφωνα με τους κανονισμούς (MEPC 215(63))^[53], στα διαγράμματα αυτά δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη τα σημεία που απέχουν περισσότερο από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης από την γραμμή αναφοράς. Τα σημεία από αυτά λοιπόν απορρίπτονται και προκύπτει μία νέα γραμμή. Συγκεκριμένα για τις δύο περιπτώσεις προκύπτουν τα Διαγράμματα 6.26 και 6.27:



Διάγραμμα 6.26



Διάγραμμα 6.27

Με μπλε χρώμα φαίνονται τα πλοία που απορρίπτονται λόγω μεγάλης απόκλισης από τη γραμμή αναφοράς. Συγκεκριμένα έχουμε για την καθεμία από τις δύο προτάσεις:

- A. Στο Διάγραμμα 6.26, απορρίπτονται 7 πλοία. Σημειώνεται ότι απομένουν 96 πλοία από τα οποία τα 43 βρίσκονται κάτω από τη γραμμή.
- B. Στο Διάγραμμα 6.27, απορρίπτονται 5 πλοία. Σημειώνεται ότι από τα 98 πλοία, τα 44 βρίσκονται κάτω από τη γραμμή.

Σημειώνεται ότι στις δύο περιπτώσεις απορρίπτονται τα ίδια 5 πλοία, με τη διαφορά ότι στην περίπτωση A απορρίπτονται δύο ακόμα (σύνολο 7).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Σύνοψη και σχολιασμός των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

7.1 Σύνοψη μεθόδου

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, η μέθοδος που προτάθηκε στην 64^η Σύνοδο της ΜΕΡC (64/4/14) για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία προκειμένου να καθοριστεί μια δίκαιη γραμμή αναφοράς του EEDI, δεν παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν αυτή εφαρμόζεται στα μεγάλα πλοία αναψυχής. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση του διορθωτικού συντελεστή f_j που υπολογίζεται για τα πλοία αναψυχής οδηγεί σε γραμμή αναφοράς με πολύ μικρότερη συσχέτιση των σημείων, από την ήδη μικρή της αρχικής γραμμής αναφοράς. Αυτό ισχύει τόσο αν χρησιμοποιήσουμε τους εκθέτες α , β , γ και δ που προτάθηκαν για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία, όσο και με τους εκθέτες που υπολογίστηκαν για τα πλοία αναψυχής με τη μέθοδο υπολογισμού αντίστασης και πρόωσης του Holtrop όπως αναλύεται στο Παράρτημα.

Η διαφορά αυτή, όπως ήδη αναφέρθηκε οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, τα πλοία αναψυχής έχουν πολύ μεγαλύτερη ανάγκη σε ισχύ για ενδιαιτήση και βοηθητικές λειτουργίες από τα Ε/Γ-Ο/Γ και κατά συνέπεια, μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος δεν προορίζεται για την πρόωση του πλοίου. Δεύτερον, με βάση τα στοιχεία που βρέθηκαν στο διαδίκτυο και στοιχεία από την βάση δεδομένων IHS Fairplay, οι δύο αυτές κατηγορίες πλοίων παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά όσον αφορά τη σχέση της ισχύος πρόωσης με τον αριθμό Froude. Δηλαδή, στα πλοία αναψυχής, υπάρχει μία τάση πλοία με υψηλότερο αριθμό Froude να έχουν λιγότερη εγκατεστημένη ισχύ, ενώ στα Ε/Γ-Ο/Γ παρατηρείται το αντίθετο. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία λειτουργούν σε πολύ υψηλότερους αριθμούς Froude σε σύγκριση με τα πλοία αναψυχής, λόγω της πίεσης που υφίστανται για μεγάλη συχνότητα δρομολογίων προς όφελος της κοινωνίας.

Έτσι, στα πλαίσια αυτής της Εργασίας, προτείνεται αρχικά ο διαχωρισμός του EEDI σε δύο όρους εκ των οποίων ο ένας θα περιλαμβάνει την ισχύ πρόωσης στον αριθμητή και ο άλλος την υπόλοιπη εγκατεστημένη ισχύ. Ο κάθε όρος πολλαπλασιάζεται με διαφορετικό συντελεστή διόρθωσης για περαιτέρω αύξηση της συσχέτισης των δεδομένων. Ο όρος του EEDI που εμπεριέχει την ισχύ πρόωσης διορθώνεται με έναν τροποποιημένο συντελεστή f_j και ο άλλος όρος με ένα δεύτερο νέο διορθωτικό συντελεστή f_c . Δηλαδή:

$$EEDI = 3,1144 \times 215 \times \left(f_j \times \frac{0.75 \times P_{propulsion}}{Capacity \times V_{ref}} + f_c \times \frac{0.75 \times P_{auxiliaries}}{Capacity \times V_{ref}} \right)$$

Προκειμένου να μην χρησιμοποιηθεί ο αριθμός Froude, καθώς αυτός μειώνει το R^2 , προτείνεται αντί αυτού η χρήση της ταχύτητας του. Για να παραμείνει ο συντελεστής διόρθωσης f_j αδιάστατος, προτείνεται επίσης η διαίρεση της ταχύτητας με τη μέση ταχύτητα των πλοίων τα οποία χρησιμοποιούμε για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς. Ο λόγος αυτός υψώνεται στον εκθέτη που βρέθηκε για τον αριθμό Froude, καθώς η εξάρτηση της απαιτούμενης ισχύος από την ταχύτητα και

από τον αριθμό Froude είναι η ίδια. Έτσι, ο σκοπός της εισαγωγής του συντελεστή f_j που είναι να δίνεται περιθώριο λειτουργίας σε υψηλές ταχύτητες, επιτυγχάνεται, ενώ αυτός παραμένει αδιάστατος.

Τα παραπάνω γίνονται δύο φορές καθώς δεν είναι ξεκάθαρο ακόμα τι πρέπει να χρησιμοποιηθεί στον παρονομαστή του EEDI στη θέση της παραμέτρου «Capacity» για τα πλοία αυτά. Η κύρια πρόταση του IMO για τα επιβατηγά πλοία είναι η χρήση της ολικής χωρητικότητας (σε GT), ωστόσο έχουν γίνει προτάσεις^[48] σχετικά με τη χρήση του μέγιστου αριθμού επιβατών. Έτσι, έχουμε 2 περιπτώσεις, θεωρώντας ως «Capacity»:

A. την ολική χωρητικότητα

B. το μέγιστο αριθμό των επιβατών

Τα αποτελέσματα και των δύο προτάσεων που έγιναν στην Εργασία αυτή φαίνονται ικανοποιητικά, ωστόσο αμφισβητείται το κατά πόσο η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη καθώς στους δύο διορθωτικούς συντελεστές χρησιμοποιείται εκτός από τη μέση τιμή των ταχυτήτων στον συντελεστή f_j , η μέση τιμή του αριθμού των επιβατών (στην Α περίπτωση) και της χωρητικότητας (στη Β περίπτωση) στον συντελεστή f_c . Τονίζεται ότι η μέση τιμή των παραπάνω μεγεθών προκύπτει από τη συγκεκριμένη βάση δεδομένων και μετά από την επιλογή των συγκεκριμένων πλοίων. Το ζήτημα αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση και θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση και προσεκτική μελέτη.

Επίσης, τα πλοία που χρησιμοποιήθηκαν είναι μόνο αυτά που έχουν νηζελω-ηλεκτρική πρόωση. Για τα υπόλοιπα πλοία, με συμβατική και μη πρόωση, δεν βρέθηκαν επαρκή στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά αφορούν δεδομένα σχετικά με την ισχύ πρόωσης και την ισχύ για τις υπόλοιπες λειτουργίες αλλά και για πλοία με συνδυασμό συστημάτων πρόωσης (π.χ. συνδυασμό κινητήρα ντήζελ με αεριοστροβίλους) δεν βρέθηκαν επαρκή στοιχεία για το ποια από αυτά χρησιμοποιούνται στην κατάσταση υπηρεσίας. Προτείνεται λοιπόν, μελέτη και έρευνα σχετικά με τα υπόλοιπα πλοία καθώς στη γραμμή αναφοράς θα πρέπει να εμπεριέχονται όλα τα υπάρχοντα πλοία αναψυχής και δεν είναι δυνατό να εξαιρεθούν από τον κανονισμό του EEDI μερικά από αυτά.

Τέλος, επισημαίνεται ότι στη βάση δεδομένων IHS Fairplay που χρησιμοποιήθηκε εντοπίστηκαν τα παρακάτω:

-υπάρχει ασάφεια σχετικά με την ταχύτητα και σε τι ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος αντιστοιχεί αυτή

-λάθη όσον αφορά το πλάτος. Σε κάποια πλοία δίνεται το πλάτος στην ίσαλο, ενώ σε άλλα δίνεται το μέγιστο πλάτος των υπερκατασκευών που στα πλοία αναψυχής είναι μεγάλο

-δεδομένα σε πολλά πλοία ήταν κενά

-βασικά στοιχεία για την εφαρμογή της μεθόδου όπως η ισχύς πρόωσης των ηλεκτροκινητήρων και η διάμετρος της έλικας δεν δίνονται

Τα δεδομένα που κρίθηκαν λανθασμένα διορθώθηκαν, ενώ όσα θεωρήθηκαν απαραίτητα για τη μελέτη και έλειπαν προστέθηκαν μετά από εκτενή έρευνα στο διαδίκτυο. Συνεπώς, δεν μπορεί να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο ύπαρξης λαθών και αποκλίσεων.

7.2 Σχολιασμός και σύγκριση εναλλακτικών προτάσεων και αποτελεσμάτων

Και οι δύο γραμμές αναφοράς που προτείνονται στα πλαίσια της παρούσας Εργασίας φαίνονται ικανοποιητικές όσον αφορά τη συσχέτιση (R^2), με την δεύτερη να είναι καλύτερη από αυτή την άποψη. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την πρόταση Α, το R^2 από 0,438 που είναι αρχικά (χρησιμοποιώντας τον αρχικό τύπο του EEDI χωρίς τη χρήση συντελεστών διόρθωσης - μπλε γραμμή Διαγράμματος 6.22), ακολουθώντας τη διαδικασία που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6, αυξάνεται σε 0,7461 (κόκκινη γραμμή Διαγράμματος 6.26). Αντίστοιχα, σύμφωνα με την πρόταση Β, από 0,6613 αυξάνεται σε 0,8424 (Διαγράμματα 6.25 και 6.27). Οι αυξήσεις αυτές είναι σημαντικές. Παρατηρείται επίσης ότι και οι δύο προτεινόμενες γραμμές αναφοράς αντιπροσωπεύουν εξίσου και σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό το μέσο πλοίο. Αυτό φαίνεται τόσο από το ικανοποιητικό R^2 όσο και από τον αριθμό των πλοίων που βρίσκονται πάνω και κάτω από αυτές. Συγκεκριμένα, και στις δύο περιπτώσεις, το 45% των πλοίων βρίσκονται κάτω και τα υπόλοιπα πάνω από αυτές (Διαγράμματα 6.26 και 6.27).

Η γραμμή αναφοράς που προκύπτει σύμφωνα με την Α πρόταση είναι πιο κοντά στις τιμές του EEDI (προκύπτουν από τον Πίνακα 3.1) και στη φιλοσοφία των γραμμών αναφοράς που έχουν προταθεί για τα υπόλοιπα πλοία. Επίσης, η χρήση της ολικής χωρητικότητας στη θέση της παραμέτρου Capacity στον παρονομαστή του EEDI κρίνεται πιο σωστή καθώς είναι καθορισμένο μέγεθος για κάθε πλοίο (σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη Μέτρησης Ολικής Χωρητικότητας Πλοίων του 1969) και αποτελεί μία έκφραση του μεγέθους του. Έτσι, είναι ένα εύχρηστο μέγεθος που μπορεί να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του DWT που χρησιμοποιείται για τα υπόλοιπα πλοία που καλύπτονται από τους κανονισμούς μέχρι σήμερα, το οποίο όμως δεν είναι αντιπροσωπευτικό του μεγέθους για τα επιβατηγά πλοία.

Αντίθετα, η χρήση του αριθμού των επιβατών στη θέση του Capacity μπορεί να προκαλέσει προβλήματα καθώς αυτός είναι σχεδόν πάντα μικρότερος από τον μέγιστο επιτρεπόμενο. Αυτό επηρεάζει άμεσα τον λόγο PAX/GT και κατ' επέκταση το επίπεδο πολυτέλειας. Δηλαδή, το κάθε πλοίο κρίνεται με βάση τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό των επιβατών, καθώς μέσω αυτού και χρησιμοποιώντας τη γραμμή αναφοράς, καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του δείκτη. Το πλοίο όμως στην πραγματικότητα θα μεταφέρει λιγότερους επιβάτες και θα έπρεπε

σύμφωνα με όσα έχουν ειπωθεί να επιτρέπεται για αυτό χαμηλότερη τιμή του δείκτη. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή δίνει μεγαλύτερο R^2 (ίσο με 0,8424, περίπου κατά 0,1 από αυτό που επιτυγχάνεται στην πρώτη περίπτωση). Η διαφορά είναι σημαντική και σημαίνει ότι αυτή η γραμμή αναφοράς είναι πιο δίκαιη και αντιπροσωπεύει καλύτερα το μέσο πλοίο.

Σημειώνεται ότι η χρήση του μέσου όρου της ταχύτητας και του αριθμού των επιβατών που υπεισέρχονται στον συντελεστή f_c (στην Α και στη Β περίπτωση αντίστοιχα) δεν είναι ιδιαίτερα βολική καθώς διαφέρει ανάλογα με την εκάστοτε βάση δεδομένων. Δηλαδή, κατασκευή νέων πλοίων και απόσυρση παλαιών είναι πιθανό να αλλάξουν σημαντικά τα μεγέθη αυτά. Ωστόσο, στα πλαίσια αυτής της εργασίας προτείνεται η χρήση τους, καθώς χωρίς αυτή η συσχέτιση των σημείων είναι ιδιαίτερος χαμηλή και άρα όχι ικανοποιητική.

Τέλος, τονίζεται ακόμα ότι τα πλοία που χρησιμοποιήθηκαν είναι πολύ λίγα σε σχέση με αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των γραμμών αναφοράς για τις υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων, καθώς ο αριθμός των πλοίων αναψυχής είναι περιορισμένος. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα δεν είναι ασφαλή καθώς πιθανά λάθη στα δεδομένα, μπορεί να οδηγούν σε σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα.

7.2.1 Σχολιασμός συντελεστή f_j

Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του συντελεστή διόρθωσης f_j χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να ελεγχθεί η εφαρμογή της πρότασης που έγινε για τα Ε/Γ-Ο/Γ, στα πλοία αναψυχής.

Οι εκθέτες που προέκυψαν (οι υπολογισμοί για τρία αντιπροσωπευτικά πλοία παρουσιάζονται στο Παράρτημα) για τα πλοία αναψυχής φαίνεται να αρκετά κοντά σε αυτούς που παρουσιάστηκαν στον ΙΜΟ στην 64^η Σύνοδο για τα Ε/Γ-Ο/Γ, με εξαίρεση τον εκθέτη του λόγου λυγρότητας, στον οποίο παρατηρείται μεγάλη διαφορά και αυτός δεν συμπίπτει ούτε με την πρόταση του Kristensen.

Η συσχέτιση των σημείων που προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή αυτό τον ΕΕΔΙ έχοντας στον αριθμητή όλη την εγκατεστημένη ισχύ είναι αρκετά μικρότερη από αυτήν που προκύπτει πολλαπλασιάζοντάς τον με τον όρο του ΕΕΔΙ που εμπεριέχει μόνο την ισχύ για την πρόωση του πλοίου (Διαγράμματα 6.6 και 6.9). Σε κάθε περίπτωση η συσχέτιση είναι μικρή και δεν είναι επαρκής για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η τροποποίηση του:

$$f_j = \frac{1}{\left(\frac{V_{ref}}{21,45}\right)^2 \times \left(\frac{L}{B}\right)^1 \times \left(\frac{B}{T}\right)^{0,8} \times \left(\frac{L}{\frac{1}{\sqrt{3}}}\right)^{-1,5}}$$

Ωστόσο, είναι εμφανές ότι η χρήση του συγκεκριμένου συντελεστή δεν αφήνει περιθώρια μείωσης της τιμής του δείκτη με μείωση της ταχύτητας, όπως γίνεται

σύμφωνα με την υπάρχουσα πρόταση του IMO για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς. Αυτό διότι, στον τύπο υπεισέρχεται η ισχύς στον αριθμητή και η ταχύτητα στον κύβο στον παρονομαστή. Οπότε οι πλοιοκτήτες θα πρέπει να καταφύγουν σε άλλους τρόπους.

Επίσης, αυτό σημαίνει ότι επιτρέπεται ακόμα και η αύξηση της ταχύτητας, παρόλο που αυτό συνεπάγεται μεγάλη αύξηση της ισχύος και κατ' επέκταση των εκπεμπόμενων ρύπων. Ωστόσο, είναι κοινώς αποδεκτό, ότι τα επιβατηγά πλοία είναι μία ιδιαίτερη κατηγορία πλοίων για τα οποία η επίτευξη υψηλών ταχυτήτων είναι μείζονος σημασίας και προς όφελος της κοινωνίας. Έτσι, μείωση αυτής, θα οδηγήσει σε προβλήματα στην εξυπηρέτηση των επιβατών για μακρινούς προορισμούς με αποτέλεσμα οι επιβάτες να προτιμήσουν άλλα μέσα μεταφοράς. Για τα πλοία αναψυχής αυτό δεν ισχύει καθώς ταξιδεύουν συνήθως τις βραδινές ώρες και μεταξύ κοντινών σχετικά προορισμών. Ακόμα, η παραμονή στο πλοίο είναι μέρος της ψυχαγωγίας των επιβατών, καθώς τα πλοία αυτά είναι ιδιαιτέρως πολυτελή και παρέχουν πολυάριθμες δραστηριότητες και ανέσεις. Έτσι, στα πλοία αυτά η ανάπτυξη πολύ υψηλών ταχυτήτων δεν είναι απαραίτητη καθώς σκοπός δεν είναι η μεταφορά των επιβατών αλλά η ψυχαγωγία επί του πλοίου και η επίσκεψη κάποιων τουριστικών προορισμών, αλλά τα πλοία αυτά προκειμένου να είναι ελκυστικά πρέπει να διατηρήσουν τις υπάρχουσες ταχύτητες. Διαφορετικά, η παραμονή επί του πλοίου θα είναι πολύ μεγάλη και οι επιβάτες θα οδηγηθούν σε άλλους τρόπους διασκέδασης και τουρισμού.

Σημειώνεται επίσης ότι στην πρόταση που έγινε για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία, χρησιμοποιήθηκαν στον συντελεστή f_j σχεδιαστικές παράμετροι που επηρεάζουν τη σχέση ταχύτητας-ισχύος. Ο αριθμός Froude αποτελεί μία τέτοια παράμετρο. Με την αντικατάσταση αυτού με την ταχύτητα του πλοίου και διαίρεση αυτής με τη μέση ταχύτητα των πλοίων αλλοιώνεται κατά κάποιο τρόπο το νόημα αυτό καθώς δεν αναφερόμαστε πια σε σχεδιαστική παράμετρο που επηρεάζει τη σχέση ταχύτητα ισχύος αλλά για στην ίδια την ταχύτητα. Στα πλαίσια αυτής της Διπλωματικής Εργασίας αυτό κρίνεται αποδεκτό, δεδομένου ότι για τα πλοία αυτά η χρήση του αριθμού Froude οδηγεί σε χαμηλή συσχέτιση των σημείων και κατ' επέκταση σε μη αποδεκτή γραμμή αναφοράς.

Παρατηρούμε επίσης ότι ο συντελεστής f_j είναι ανάλογος της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης. Πιο αναλυτικά, όσο αυξάνεται για παράδειγμα ο λόγος B/T αυξάνεται και η απαιτούμενη ισχύς για δεδομένη ταχύτητα. Συνεπώς, με τη χρήση αυτού του συντελεστή, δίνεται η δυνατότητα στο πλοίο να αυξήσουν τον λόγο B/T. Καθώς αυξάνεται ο παρονομαστής, δίνεται ένα περιθώριο αύξησης και στον αριθμητή προς αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος. Με τον τρόπο αυτό ευνοούνται κάποιες σχεδιάσεις οι οποίες δεν είναι καλές από υδροδυναμική σκοπιά. Αυτό, γίνεται λόγω των ειδικών γεωμετρικών απαιτήσεων και περιορισμών των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων και των πλοίων αναψυχής. Τελικά, με αυτή τη θεώρηση αν συγκριθούν δύο παρόμοια πλοία με την ίδια ταχύτητα αναφοράς και τους ίδιους αδιάστατους λόγους και το ένα πλοίο απαιτεί λιγότερη ισχύ από άλλο, τότε αυτό θεωρείται ότι είναι μάλλον πιο

καλό από άποψη υδροδυναμικού σχεδιασμού. Έτσι, το πλοίο αυτό παρουσιάζει μικρότερη τιμή του EEDI.

Στον EEDI, όπως αυτός έχει καθοριστεί από τον IMO, κάτι τέτοιο δεν λαμβάνεται υπόψη. Για τις 7 κατηγορίες πλοίων που συμπεριλαμβάνονται μέχρι στιγμής στους κανονισμούς, αύξηση του λόγου B/T που έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της απαιτούμενης ισχύος, συντελεί σε αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και του επιτευχθέντος EEDI.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όλη η προσέγγιση αυτή, μέσω του συντελεστή f_j , θα «αδικήσει» κατά κάποιο τρόπο τους υπόλοιπους τύπους πλοίων. Επομένως, το ζήτημα αυτό θα πρέπει να εξετασθεί λεπτομερώς από τον IMO.

7.2.2 Σχολιασμός συντελεστή f_c

Στην περίπτωση Α όπου στην παράμετρο «Capacity» του EEDI υπεισέρχεται η ολική χωρητικότητα (σε GT), ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως:

$$f_c = \frac{\text{average number of passengers}}{\text{number of passengers}} = \frac{2834}{\text{number of passengers}}$$

Έτσι, ο συντελεστής μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των επιβατών. Αν για παράδειγμα δύο πλοία με το ίδιο μέγεθος (σε GT) και την ίδια εγκατεστημένη ισχύ έχουν διαφορά στον αριθμό επιβατών που μεταφέρουν τότε το πλοίο που μεταφέρει περισσότερους επιβάτες, είναι λιγότερο πολυτελές (μικρότερο GT/PAX) και προσφέρει μεγαλύτερο όφελος στην κοινωνία. Επίσης, η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά άτομο και κατ' επέκταση οι εκπομπές CO₂ ανά άτομο είναι λιγότερες και για το λόγο αυτό, ο συντελεστής υπεισέρχεται στον αριθμητή του EEDI, μειώνοντας την τιμή του δείκτη, ευνοώντας το πλοίο αυτό.

Στην περίπτωση Β, όπου θεωρούμε ως «Capacity» τον μέγιστο αριθμό επιβατών, χρησιμοποιούμε τον συντελεστή:

$$f_c = \frac{\text{average gross tonnage}}{\text{gross tonnage}} = \frac{9369}{\text{gross tonnage}}$$

Έτσι, για δύο πλοία με τον ίδιο μέγιστο αριθμό επιβατών και την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, το πλοίο που είναι μεγαλύτερο παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή του δείκτη, καθώς η απαιτούμενη ενέργεια ανά GT είναι μικρότερη και συνεπώς το πλοίο είναι πιο αποδοτικό και καλύτερα σχεδιασμένο από υδροδυναμική άποψη.

Παρατήρηση:

Έγινε δοκιμή να μπει στον παρονομαστή ενός συντελεστή διόρθωσης της μορφή

$$f_c = \left(\frac{\frac{GT}{PAX}}{\left(\frac{GT}{PAX} \right)_{\text{average value}}} \right)^x, \text{ όπου } x < 0, \text{ κατ' αντιστοιχία του συντελεστή } f_c \text{ που}$$

προτάθηκε για τα Ε/Γ-Ο/Γ στην πρόταση που μελετήθηκε στην παρούσα

Διπλωματική Εργασία (ΜΕΡC 64/4/14). Έτσι με την αύξηση του αριθμού των επιβατών μειώνεται η τιμή του δείκτη, καθώς το μεταφορικό έργο του πλοίου θα αυξάνεται. Ωστόσο τα αποτελέσματα του συντελεστή αυτού δεν ήταν ικανοποιητικά, δηλαδή το R^2 ήταν πολύ μικρό και για το λόγο αυτό δεν γίνεται περαιτέρω ανάλυση.

7.2.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την πρόταση Α

Αρχικά, παρατηρούμε (Πίνακας 7.1) ότι δεν ευνοείται καμία κατηγορία πλοίων (όσον αφορά το μέγεθός τους), καθώς σε όλες περίπου τα μισά πλοία βρίσκονται πάνω από τη γραμμή αναφοράς και τα άλλα μισά κάτω από αυτή. Τονίζεται όμως ότι τα πλοία που είχαν μεγαλύτερη απόκλιση από την γραμμή αναφοράς από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης και συνεπώς απορρίφθηκαν είναι αυτά με χωρητικότητα κάτω από 50.000GT και ένα μόνο με χωρητικότητα μεταξύ 50.000-100.000GT. Από της υπόλοιπες κατηγορίες δεν απορρίφθηκε κανένα πλοίο.

GT	Αρχικός αριθμός πλοίων	Τελικός αριθμός πλοίων	Πλοία που βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς
10.000-50.000	16	10	5
50.000-10.0000	42	41	18
100.000-15.0000	39	39	18
150.000-200.000	4	4	1
200.000-250.000	2	2	1
Σύνολο	103	96	43

Πίνακας 7.1

Επίσης, μετά από ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα των πλοίων επηρεάζει σε κάποιο βαθμό το αν αυτά θα βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη γραμμή αναφοράς. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζουν τα πλοία που έχουν ταχύτητα μεταξύ 19 έως 20 knots και 21 έως 22 knots (μόνο 11 από τα 50 πλοία βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς). Για τις υπόλοιπες ταχύτητες κατηγορίες ταχυτήτων 32 από τα 46 βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς). Σημειώνεται ότι στις ταχύτητες μεταξύ 19-22knots έχουμε πολύ περισσότερα πλοία, ενώ για τις άλλες ταχύτητες τα πλοία είναι λίγα, οπότε το αποτέλεσμα μπορεί να είναι τυχαίο. Για το λόγο αυτό τονίζεται ξανά η αναγκαιότητα εύρεσης στοιχείων για περισσότερα πλοία προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι πιο αντιπροσωπευτικά και να προκύψει κάποιο ουσιαστικό συμπέρασμα.

Σε κάθε περίπτωση, τα πλοία που έχουν υψηλότερες ταχύτητες (πάνω από 22knots) δεν αντιμετωπίζουν δυσκολία στη συμμόρφωση με τον ΕΕΔΙ σύμφωνα με αυτή τη

γραμμή αναφοράς. Ωστόσο, είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι εκπομπές ρύπων αυτών είναι αυξημένες και σύμφωνα με τη φιλοσοφία των υπάρχοντων κανονισμών, τα πλοία αυτά θα έπρεπε να βρίσκονται πάνω από τη γραμμή αναφοράς.

Εύρος ταχύτητας	Τελικός αριθμός πλοίων	Πλοία που βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς
$V \leq 19$	6	2
$19 < V \leq 20$	15	2
$20 < V \leq 21$	10	5
$21 < V \leq 22$	35	9
$22 < V \leq 23$	18	16
$23 < V \leq 24$	6	6
$24 < V \leq 25$	6	3
Σύνολο	96	43

Πίνακας 7.2

Τέλος, (Πίνακας 7.3) γίνεται σύγκριση έξι τυχαίων πλοίων από τα 96 που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Συγκρίνονται ανά δύο μεταξύ τους πλοία που έχουν περίπου την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, σύμφωνα με την πρόταση Α (όπου ως χωρητικότητα θεωρούμε την ολική σε GT).

Ship Name	GT	PAX	PAX/GT	Service speed [knots]	Total kW	P for propulsion	SVD=1/fj	EEDI'	EEDI' < EEDI required	C _R
Carnival Miracle	85942	2680	0,0312	22,0	62370	35200	1,318	14,326	FALSE	2,55364E-06
Caribbean Princess	85676	3592	0,0318	22,0	63360	38000	1,368	9,601	TRUE	3,03824E-06
Carnival Pride	85920	2680	0,0312	22,0	62370	35200	1,318	14,330	FALSE	2,55364E-06
Norwegian Star	91740	3000	0,0327	24,6	58800	39000	1,590	9,201	TRUE	2,48947E-06
Costa Pacifica	87300	3780	0,0330	21,5	75600	42000	1,363	11,406	FALSE	3,11813E-06
Disney Dream	129690	4000	0,0308	23,5	76800	38000	1,544	8,530	TRUE	2,48641E-06

Πίνακας 7.3

Όταν συγκρίνουμε τα πλοία Carnival Miracle και Caribbean Princess παρατηρούμε ότι το πρώτο πλοίο μεταφέρει περίπου 1000 επιβάτες λιγότερους ενώ η εγκατεστημένη ισχύς σε αυτό είναι μόλις 1000kW μικρότερη. Συνεπώς το πλοίο αυτό βρίσκεται πάνω από τη γραμμή αναφοράς, ενώ το δεύτερο κάτω από αυτή. Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρώτο πλοίο είναι καλύτερα σχεδιασμένο από υδροδυναμική άποψη. Αυτό υποδηλώνεται από την μικρότερη ισχύ που παρέχεται για την πρόωση για το ίδιο μέγεθος πλοίου, αλλά και από το μικρότερο συντελεστή αντίστασης (C_R). Η μεταφορά 1000 επιπλέον επιβατών όμως με την σχεδόν την ίδια εγκατεστημένη ισχύ κρίνεται πιο σημαντική.

Συγκρίνοντας τα πλοία Carnival Pride και Norwegian Star, βλέπουμε ότι το δεύτερο πλοίο έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και σημαντικά μεγαλύτερη ταχύτητα με λίγο μεγαλύτερη ισχύ πρόωσης. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο είναι καλύτερα σχεδιασμένο από υδροδυναμική άποψη. Επίσης, σημειώνεται ότι μεταφέρει περισσότερους επιβάτες. Ωστόσο, το πλοίο αυτό έχει μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ από το πρώτο. Έτσι, το πλοίο αυτό βρίσκεται κάτω από τη γραμμή αναφοράς, ενώ το πρώτο πάνω από αυτή.

Στην τελευταία περίπτωση, συγκρίνοντας τα πλοία Costa Pacifica και Disney Dream, αυτά διαφέρουν στην ισχύ μόνο κατά 800Kw. Ωστόσο, το πλοίο με την μικρότερη ισχύ, είναι περίπου κατά 42000GT μικρότερο, η ταχύτητα του είναι μικρότερη κατά 2 knots και μεταφέρει 200 επιβάτες λιγότερους. Τέλος, και η ισχύς πρόωσης του δεύτερου είναι μικρότερη, γεγονός που υποδεικνύει και πάλι υδροδυναμικά καλύτερο σχεδιασμό και το πλοίο έχει μικρότερο C_R . Τα αποτελέσματα όσον αφορά τον επιτευχθέντα EEDI για τα πλοία αυτά φαίνονται λογικά.

7.2.4 Ανάλυση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την πρόταση Β

Αρχικά, παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση δεν ευνοείται καμία κατηγορία πλοίων (όσον αφορά το μέγεθός τους). Μόνο τα δύο μεγάλα πλοία (200.000-250.000GT) είναι και τα δύο πάνω από τη γραμμή αναφοράς, αλλά δεδομένου ότι αυτά είναι μόνο δύο δεν είναι δυνατό να προκύψει ασφαλές συμπέρασμα. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση αυτή τα πλοία που απείχαν πάνω από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης από τη γραμμή αναφοράς και συνεπώς απορρίφθηκαν ήταν όλα κάτω των 50.000GT

GT	Αρχικός αριθμός πλοίων	Τελικός αριθμός πλοίων	Πλοία που βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς
10.000-50.000	16	11	6
50.000-100.000	42	42	19
100.000-150.000	39	39	17
150.000-200.000	4	4	2
200.000-250.000	2	2	-
Σύνολο	103	98	44

Πίνακας 7.4

Επίσης, μετά από ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα των πλοίων επηρεάζει το αν αυτά θα βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη γραμμή αναφοράς. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζουν τα πλοία που έχουν μεταξύ 19 έως 22 knots και 24 έως 25 knots (μόνο 19 από τα 62 πλοία βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς). Για τις υπόλοιπες ταχύτητες 25 από τα 36 βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς. Στο σημείο αυτό τονίζεται ξανά η αναγκαιότητα εύρεσης στοιχείων για περισσότερα πλοία προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι πιο αντιπροσωπευτικά.

Εύρος ταχύτητας	Αριθμός πλοίων	Πλοία που βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς
$V \leq 19$	6	4
$19 < V \leq 20$	15	3
$20 < V \leq 21$	11	3
$21 < V \leq 22$	36	13
$22 < V \leq 23$	18	14
$23 < V \leq 24$	6	5
$24 < V \leq 25$	6	2
Σύνολο	98	44

Πίνακας 7.5

Τέλος, (Πίνακας 7.6) γίνεται σύγκριση έξι τυχαίων πλοίων από τα 103 που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Συγκρίνονται ανά δύο μεταξύ τους πλοία που έχουν περίπου την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, σύμφωνα με την πρόταση Β (όπου ως χωρητικότητα θεωρούμε το μέγιστο αριθμό επιβατών).

Ship Name	GT	PAX	PAX/GT	Service speed [knots]	Total kW	P for propulsion	SVD=1/fj	EEDI'	EEDI'<EEDI required	C _R
Carnival Miracle	85942	2680	0,0312	22,0	62370	35200	1,318	465,923	FALSE	2,55364E-06
Caribbean Princess	85676	3592	0,0318	22,0	63360	38000	1,368	307,196	TRUE	3,03824E-06
Carnival Pride	85920	2680	0,0312	22,0	62370	35200	1,318	465,976	FALSE	2,55364E-06
Norwegian Star	91740	3000	0,0327	24,6	58800	39000	1,59	289,032	TRUE	2,48947E-06
Costa Pacifica	87300	3780	0,0330	21,5	75600	42000	1,363	377,325	FALSE	3,11813E-06
Disney Dream	129690	4000	0,0308	23,5	76800	38000	1,544	283,255	TRUE	2,48641E-06

Πίνακας 7.6

Βλέπουμε ότι τα πλοία έχουν την ίδια συμπεριφορά που είχαν και χρησιμοποιώντας την Α πρόταση για τη γραμμή αναφοράς. Συνεπώς, ισχύουν οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα τις παραγράφου 7.2.3. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα πλοία παρουσιάζουν περίπου την ίδια συμπεριφορά στις προτάσεις Α και Β.

7.2.5 Συμπέρασμα από την ανάλυση των δύο εναλλακτικών προτάσεων (Α και Β)

Από τις δύο εναλλακτικές προτάσεις που προτάθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, φαίνεται να προκύπτουν σε γενικές γραμμές παρόμοια αποτελέσματα όπως φαίνεται από την ανάλυση που γίνεται στις παραγράφους 7.2.3 και 7.2.4.

Μετά από περαιτέρω επεξεργασία των στοιχείων, παρατηρείται ότι από τα 96 πλοία που απομένουν, μετά την απόρριψη όσων απέχουν από τη γραμμή αναφοράς περισσότερο από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης, τα 71 παρουσιάζουν κοινή συμπεριφορά. Δηλαδή, όσα βρίσκονται κάτω από τη γραμμή αναφοράς στην περίπτωση Α, βρίσκονται κάτω από αυτή και στην περίπτωση Β και το αντίθετο. Μόνο τα 17 παρουσιάζουν αντίστροφη συμπεριφορά. Τα πλοία αυτά είναι διαφόρων χωρητικότητας, μεταφορικών ικανοτήτων (εννοώντας τον μέγιστο αριθμό επιβατών), ταχυτήτων και λόγω του μικρού αριθμού των διαθέσιμων πλοίων είναι δύσκολο να προκύψει ασφαλές συμπέρασμα. Ωστόσο, τονίζεται ότι τα 15 πλοία που παρουσιάζουν αυτή τη συμπεριφορά, απέχουν και στις δύο περιπτώσεις λίγο από τη γραμμή αναφοράς (πάνω από αυτήν στη μία περίπτωση και κάτω από αυτήν στην άλλη).

7.3 Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα υπαρκτό πρόβλημα μείζονος σημασίας. Οφείλεται κατά κύριο λόγο στο τεχνητό φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο επιβαρύνεται από την ανθρωπογενή δραστηριότητα και συμβάλει στην κλιματική αλλαγή. Οι συνέπειες θα είναι καταστροφικές για τον πλανήτη μας αν δεν ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό των ρύπων που επιβαρύνουν το φαινόμενο αυτό. Η ναυτιλία, αν και θεωρείται ιδιαίτερα αποδοτικό μέσο μεταφοράς, επιβαρύνει και αυτή σε σημαντικό βαθμό το φαινόμενο αυτό. Δεδομένου ότι αναμένεται αύξηση της ζήτησης των θαλασσίων μεταφορών τα επόμενα χρόνια, η άμεση λήψη μέτρων στον τομέα αυτό είναι αναγκαία. Ένα από αυτά τα μέτρα είναι δείκτης EEDI.

Τα πλοία αναψυχής είναι μία πολύ ιδιαίτερη κατηγορία πλοίων η οποία δεν έχει σκοπό τη μεταφορά των επιβατών αλλά τη διαμονή τους και την επίσκεψη ορισμένων τουριστικών προορισμών. Έτσι, ο σχεδιασμός τους είναι πολύ διαφορετικός από τα άλλα επιβατηγά πλοία και είναι επιτακτική η ανάγκη καθορισμού μίας ξεχωριστής γραμμής αναφοράς του EEDI για αυτά.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου που προτάθηκε στην 64^η Σύνοδο της MEPC(64/4/14) για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία στα μεγάλα πλοία αναψυχής. Τα αποτελέσματα δεν κρίνονται ικανοποιητικά και έτσι γίνεται διερεύνηση των παραγόντων που ευθύνονται για την διαφορά στη συμπεριφορά των δύο τύπων πλοίων. Μετά τον εντοπισμό αυτών, παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές προτάσεις παραπλήσιες με την πρόταση που μελετήθηκε, οι οποίες φαίνονται να είναι αρκετά ικανοποιητικές με υψηλή συσχέτιση των σημείων και δίκαιη αντιμετώπιση των πλοίων.

Ωστόσο, κατά την επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάστηκαν ορισμένες δυσκολίες. Αυτές αφορούν αρχικά τη βάση δεδομένων του Lloyd's Register IHS Fairplay, όπου η δυσκολία έγκειται κυρίως στην έλλειψη δεδομένων αλλά και σε λανθασμένα δεδομένα. Επίσης, στις γραμμές αναφοράς δεν ήταν εφικτό να ληφθούν υπόψη τα πλοία με συμβατική ή υβριδική πρόωση αλλά και πλοία που λειτουργούν με αεριοστροβίλους. Η μελέτη αφορά μόνο τα πλοία με νηζελο-ηλεκτρική πρόωση καθώς μόνο για αυτά τα πλοία βρέθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία. Τονίζεται όμως ότι αυτό δεν αποτελεί μεγάλο πρόβλημα καθώς σε αυτή την κατηγορία φαίνεται να ανήκει η συντριπτική πλειοψηφία των μεγάλων πλοίων αναψυχής.

Συμπερασματικά, προτείνεται περαιτέρω έρευνα και μελέτη σχετικά με την ενσωμάτωση των πλοίων αναψυχής στους κανονισμούς του EEDI. Αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς τα πλοία αυτά παρά το ότι είναι λίγα σε αριθμό, ευθύνονται για δυσανάλογα μεγάλο ποσοστό των εκπομπών αερίων ρύπων. Έτσι, είναι αναγκαίος ο καθορισμός μίας δίκαιης και αποτελεσματικής γραμμής αναφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia (Μάρτιος 2013), "Φαινόμενο του Θερμοκηπίου",
<<http://el.wikipedia.org/wiki/>>
- [2] Wikipedia (Μάρτιος 2013), "Πρωτόκολλο του Κιότο",
<<http://el.wikipedia.org/wiki/>>
- [3] International Maritime Organization (2009): 2nd GHG IMO Study
- [4] DNV (2009), «Pathway to low carbon shipping: Abatement potentials towards 2030»,
<<http://www.dnv.com>>
- [5] DNV (2012), «Pathway to low carbon shipping: Abatement potentials towards 2050»,
< <http://www.dnv.com>>
- [6] Community of European Shipyards Associations (CESA) (6 February 2009), «CO2 Reduction requires efficient instruments based on sound technical solutions», IMO GHG-WG 2/2/22
- [7] Haakon Lindstad, Bjorn E. Asbjørnslett, Anders H. Strømman (2010), «The importance of economies of scale for reductions in greenhouse gas emissions from shipping», NTNU and MARINTEK
- [8] Haakon Lindstad ,BjørnE.Asbjørnslett, AndersH.Strømman (2010), «Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds», NTNU and MARINTEK
- [9] Corbett, J.J., Wang, H., Winebrake, J.J. (2009), «The effectiveness and cost of speed reductions on emissions from international shipping», Transportation Research
- [10] Psaraftis, H.N., Kontovas, C.A. (2009), «CO2 emissions statistics for the world commercial fleet», WMU Journal of Maritime Affairs 8, 1–25
- [11] CE Delft (December 2009), «Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport»
- [12] General Electric
<<http://www.genewscenter.com/Press-Releases/GE-Power-Conversion-s-Technology-Helps-Make-the-Next-Generation-of-Cruise-Ships-Cleaner-and-Greener-3e73.aspx>>
- [13] Kai Levander (2009), «Cruise ships: Success factors for the design», IMDC 10th International Marine Design Conference, Trondheim, May 26-29 2009
- [14] Ν. Π. Κυρτάτος (2007), «Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίου»
- [15] Δρ Ι. Κ. Χατζηλάου, Ι. Μ. Προυσαλίδης, Δρ Γ. Αντωνόπουλος, Ι. Κ. Γύπαρης ΠΝ, Π. Βαλλιανάτος (2006), «Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο» , ΤΕΕ
- [16] Γ.Κ. Πολίτη (Μάιος 2008), Σημειώσεις μαθήματος «Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου», ΕΜΠ
- [17] Απόστολος Δ. Παπανικολάου (1988) ,Μελέτη Πλοίου, Τόμος Β: Εγχειρίδιο Μελέτης
- [18] Απόστολος Δ. Παπανικολάου (2009), Μελέτη Πλοίου, Τεύχος 1: Μεθοδολογίες Προμελέτης
- [19] Man Diesel & Turbo, «Basic Principles of Ship Propulsion»,
<http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of5405/5510_0004_03ppr_low.pdf>
- [20] MAN, Diesel-electric Propulsion Plants: «A brief guideline how to design a diesel electric Propulsion Plants»,
<http://www.mandiesel.com.cn/files/news/files_of16035/DEpropulsion%20plant_guideline.PDF>
- [21] Rolls-Royce
<http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth_thrusters/>
- [22] Alf Kåre Ådnanes (2003), «Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion» ,ABB AS Marine
- [23] Νικόλαος Π. Κυρτάτος (1993), Ναυτικοί Κινητήρες Diesel, Θέματα Σχεδίασης και Λειτουργίας

- [24] CMTI(2010), «Energy efficiency of small ships and non conventional propelled ships», 2010
- [25] Conor Walsh, Alice Bows (2010), «Size matters: Exploring the importance of vessel characteristics to inform estimates of shipping emissions»
- [26] Hans Otto Holmegaard Kristensen (2012), «Back to basics and block coefficients», DTU, , RINA The Naval Architect February 2012
- [27] SAM Electronics, «Electrical propulsion and power distribution systems for cruise liners, ferries and other ships with special requirements»
<<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0515p008%20sam%20electronics%20compiles%20with%20the%20growing%20market.pdf>>
- [28] Dr Alan J Murphy and Dr Kayvan Pazouki (2012), «Exhaust emissions prediction and mitigation», Newcastle University, RINA The Naval Architect May 2012
- [29] Serge Toxopeus and Giedo Loeff (2002), «Manoeuvring Aspects of Fast Ships with Pods», 3rd International EuroConference on High-Performance Marine Vehicles HIPER'02, Bergen, 14-17 September 2002
- [30] Kenneth Jofs (2004), Gas Turbine Technology for Advanced Cruise Ships, Rolls-Royce Merchant Marine, Business Briefing: Global Cruise 2004
- [31] Kurimo (1998), Sea trial experience of the first passenger cruiser with podded propulsors
- [32] Cruise Lines International Association (CLIA) (February 2009), Attained Index definition for passenger ships only, IMO GHG-WG 2/2/21
- [33] Cruise Lines International Association (CLIA) (November 2011), «Development of an EEDI reference line for new cruise passenger ships», IMO MEPC 63/4/3
- [34] Cruise Lines International Association (CLIA) (8 February 2013), «Energy efficiency for cruise passenger ships», IMO MEPC 65/4/6
- [35]<http://www.worldcruiseindustryreview.com/feature_articles/WCR029/Green-collective.pdf>
- [36] Stefan Kruger (2012), «The energy efficiency design index for RoRo Vessels, ,Technische Universität Hamburg-Harburg», Hamburg, Germany
- [37] Stefan Kruger (2011), «Mathematical Evaluation of the Applicability of the EEDI-Concept for RoRo- vessels», TU- Hamburg Harburg, Inst. of Ship Design and Ship Safety
- [38] Germany, Sweden and the Community of European Shipyards' Associations (June 2012), Proposal for the inclusion of the ro-ro cargo and ro-ro passenger ship types into the energy efficiency regulatory framework, IMO (MEPC 64/4/14)
- [39] Denmark and Japan (March 2013), Comments on the method to include the ro-ro cargo and ro-ro passenger ship types into the IMO energy efficiency regulatory framework as proposed in MEPC 64/4/14 and MEPC 65/4/4 , IMO (MEPC 65/4/18)
- [40] Hans Otto Kristensen (2012), «Analysis of a new proposal (MEPC 64/4/14) to include the Ro-Ro ship types in the energy efficiency (EEDI) regulation framework», DTU
- [41] J.Holtrop (November 1984), «A statistical re-analysis of resistance and propulsion data», International Shipbuilding Progress 31
- [42] J.Holtrop and G.G.J. Mennen (July 1982), «An approximate power prediction method», International Shipbuilding Progress, Vol. 29
- [43] Germany, Sweden, Community of European Shipyards Associations (CESA) and INTERFERRY (8 February 2013), «Revised proposal for the inclusion of the ro-ro cargo and ro-ro passenger ship types into the IMO energy efficiency regulatory framework», IMO MEPC 65/4/4
- [44] Royal Institute of Naval Architects
<www.rina.org.uk>
- [45] CMTI (2009), «The IMO Energy Efficiency Design Index: A Netherlands Trend Study»

- [46] Hans Otto Holmegaard Kristensen (2012), «Back to basics», DTU, RINA The Naval Architect March 2012
- [47] Gratsos, G.A., H. N. Psaraftis, P. Zachariadis (2009), “Life cycle cost of maintaining the effectiveness of a ships structure and environmental impact of ship design parameters: an update”, RINA Conference on the Design and Operation of Bulk Carriers, Athens, Greece, Oct. 26-27, 2009.
- [48] Deltamarin (2009), «EEDI tests and trials for EMSA: Applicability and Refinement of the EEDI for RoRo, RoPax Vessels», Report for Project 6543
- [49] IMO (2005-2013), MEPC SESSIONS (53, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 και 65)
<www.imo.org>
- [50] IMO Resolution A. 963(23): IMO policies and practices related to the reduction of greenhouse gas emissions from ships.
- [51] IMO (August 2009), MEPC.1/Circ.681: Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy Efficiency Design Index for New Ships
- [52] IMO (August 2009), MEPC.1/Circ.684: Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)
- [53] IMO (2011-2012), RESOLUTIONS: MEPC.203(62); MEPC.212(63); MEPC.213(63); MEPC.214(63); MEPC.215(63)
- [54] Greece (January 2010), Comments on the EEDI Baseline Formula, IMO MEPC 60/4/15
- [56] <<http://www.nedcruise.info/>>
- [57] <<http://www.ship-technology.com/projects>>
- [58] GL Group
<<http://www.gl-group.com/en/15494.php>>

Βάση δεδομένων

IHS Fairplay World Shipping Encyclopedia version 12.01

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Μέθοδος υπολογισμού αντίστασης και πρόωσης πλοίου κατά Holtrop & Mennen και παραδείγματα

Η μέθοδος Holtrop & Mennen εξελίχθηκε με βάση τη σταδιακή ανάλυση όλων των διαθέσιμων δεδομένων από πειράματα προτύπων αλλά και αποτελεσμάτων σε πραγματική κλίμακα που διέθετε έως το 1989 η Πειραματική Δεξαμενή της Ολλανδίας (Netherlands Ship Model Basin).

Σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop & Mennen η συνολική αντίσταση δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{\text{TOTAL}} = R_F \cdot (1 + k_1) + R_{\text{APP}} + R_W + R_B + R_{\text{TR}} + R_A$$

Όπου:

R_F αντίσταση τριβής με βάση τον τύπο κατά ITTC-1957

$(1 + k_1)$ συντελεστής μορφής για την προσαύξηση της αντίστασης μορφής της γάστρας σε σχέση με την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας

R_{APP} αντίσταση των παρελκομένων

R_W αντίσταση κυματισμού

R_B πρόσθετη αντίσταση λόγω βολβοειδούς πλώρης

R_{TR} αντίσταση λόγω βυθισμένου καθρέπτη πρύμνης

R_A αντίσταση συσχέτισης μοντέλου-πλοίου (λαμβάνει υπόψη την αντίσταση του αέρα και την τραχύτητα της γάστρας).

Για τον υπολογισμό της με τη μέθοδο αυτή κάνουμε ορισμένες βασικές παραδοχές οι οποίες αναφέρονται παρακάτω:

1. Υποθετούμε πυκνότητα του νερού ίση με 1025 kg/m^3 .
2. Το μήκος του πλοίου στην ίσαλο θεωρείται ότι είναι ίσο με $L_{BP}/0,97$ ^[14]
3. Η βρεχόμενη επιφάνεια των παρελκομένων υπολογίζεται ίση με το 2% της συνολικής βρεχόμενης επιφάνειας του πλοίου.
4. Το LCB θεωρείται στη θέση $X=0$ καθώς δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για τον υπολογισμό του και η διαγωγή μηδενική ($T_A = T_F = T$).

Τα παραπάνω είναι λογικές προσεγγίσεις καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Για τον υπολογισμό της ισχύος πρόωσης έγιναν επιπροσθέτως οι παρακάτω παραδοχές:

5. Θεωρούμε ότι η διάμετρος της έλικας είναι ίση με το 0,67 του βυθίσματος που δίνεται στη βάση δεδομένων. Αυτό φαίνεται να είναι μία καλή προσέγγιση καθώς βρέθηκε η διάμετρος πλοίων στο διαδίκτυο για τα οποία ισχύει αυτή η σχέση.
6. Ο λόγος $P/D=1$

7. Ο αριθμό πτερυγίων της προπέλας θεωρείται ίσος με 5 από στοιχεία για πλοία που βρέθηκαν στο διαδίκτυο για κάποια πλοία

Για την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του βαθμού απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή. Αυτό γίνεται με χρήση των συστηματικών σειρών ελίκων. Οι σειρές Wageningen B-series δίνουν μία πολυωνμική αναπαράσταση των συντελεστών ώσης και ροπής. Για αριθμό Reynolds διαφορετικό από 10^6 οι συντελεστές αυτοί πρέπει να διορθωθούν σύμφωνα με τη μέθοδο της ITTC-1978.

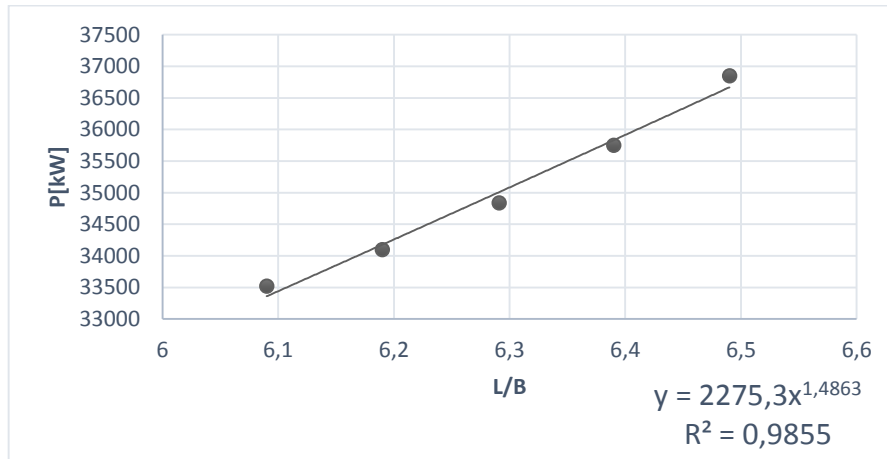
Η απαιτούμενη ισχύς στον άξονα της έλικας υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο $P_S = \frac{P_E}{n_R n_0 n_S \left(\frac{1-\xi}{1-w} \right)}$

Παράδειγμα υπολογισμών για το πλοίο Golden Princess:

Μεταβολή του λόγου L_{wl}/B

$\frac{L}{T}$	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49
$\frac{B}{T}$	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76
$\frac{L_{WL}}{\frac{1}{\sqrt{3}}}$	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
L_{BP}	245,30	245,30	245,30	245,30	245,30
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	252,89	252,89	252,89	252,89	252,89
B	41,53	40,85	40,20	39,58	38,97
T	8,73	8,59	8,45	8,32	8,19
Cb	0,573	0,592	0,612	0,631	0,650
Volume[m ³]	52497,56	52497,56	52497,56	52497,56	52497,56
V[kn]	22	22	22	22	22
$F_{n,wl}$	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227
P_{total} [kW]	33519,31	34094,16	34836,47	35747,66	36847,19

Πίνακας 1



Διάγραμμα 1

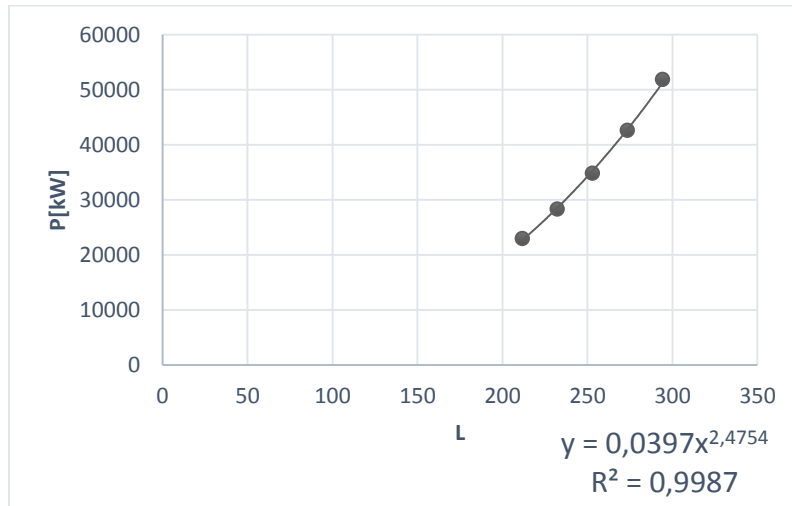
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,207	0,83
22	0,227	1,49
24	0,248	0,94

Πίνακας 2

Μεταβολή του L_{wl}

$\frac{L}{T}$	6,29	6,29	6,29	6,29	6,29
$\frac{B}{T}$	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76
$\frac{L_{WL}}{\frac{1}{\nabla^3}}$	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
L_{BP}	205,30	225,30	245,30	265,30	285,30
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	211,65	232,27	252,89	273,51	294,13
B	33,64	36,92	40,2	43,48	46,76
T	7,07	7,76	8,45	9,14	9,83
Cb	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Volume[m ³]	30776,3	40675,37	52497,56	66413,60	82594,20
V[kn]	20,13	21,08	22	22,88	23,72
Fn, _{wl}	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227
P _{total} [kW]	22988,26	28330,06	34836,47	42642,95	51890,78

Πίνακας 3



Διάγραμμα 2

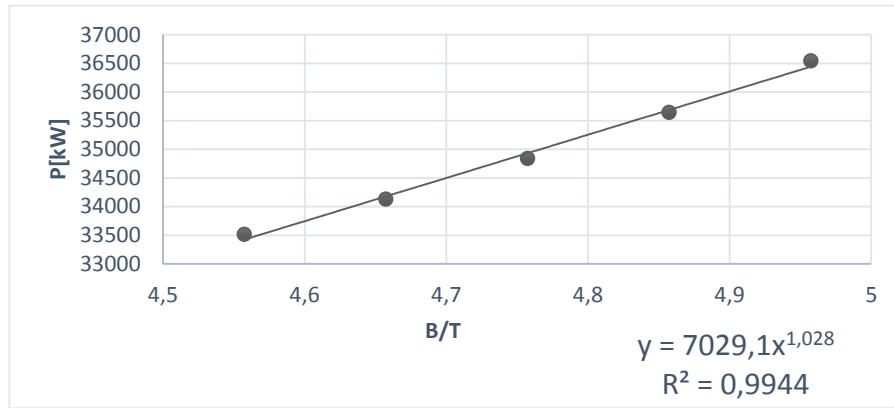
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,207	2,36
22	0,227	2,48
24	0,248	2,61

Πίνακας 4

Μεταβολή του λόγου B/T

$\frac{L}{T}$	6,29	6,29	6,29	6,29	6,29
$\frac{B}{T}$	4,56	4,66	4,76	4,86	4,96
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{1}}$	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
L_{BP}	245,30	245,30	245,30	245,30	245,30
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	252,89	252,89	252,89	252,89	252,89
B	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20
T	8,82	8,63	8,45	8,28	8,11
Cb	0,585	0,598	0,611	0,624	0,637
Volume[m ³]	52497,56	52497,56	52497,56	52497,56	52497,56
V[kn]	22	22	22	22	22
Fn,wl	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227
P _{total} [kW]	33514,9381	34129,546	34836,47	35641,4291	36543,96

Πίνακας 5



Διάγραμμα 3

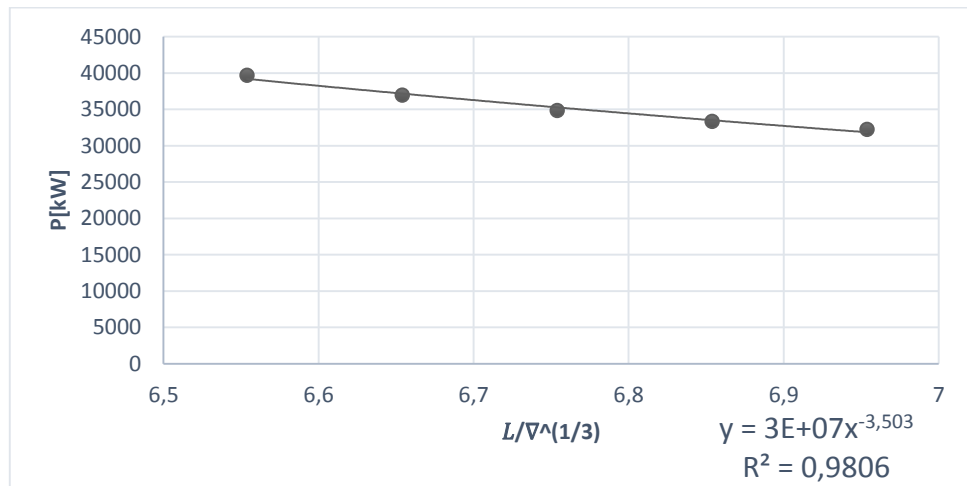
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,207	0,66
22	0,227	1,03
24	0,248	0,71

Πίνακας 6

Μεταβολή του λόγου $\frac{L_{WL}}{V^{\frac{1}{3}}}$

$\frac{L}{T}$	6,29	6,29	6,29	6,29	6,29
$\frac{B}{T}$	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76
$\frac{L_{WL}}{V^{\frac{1}{3}}}$	6,55	6,65	6,75	6,85	6,95
L _{BP}	245,30	245,30	245,30	245,30	245,30
L _{wl} =L _{BP} /0,97	252,89	252,89	252,89	252,89	252,89
B	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20
T	8,82	8,63	8,45	8,28	8,11
C _b	0,669	0,639	0,611	0,585	0,560
Volume[m ³]	57451,83	54900,25	52497,56	50233,05	48096,94
V[kn]	22	22	22	22	22
Fn _{wl}	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227
P _{total} [kW]	39685,68	36933,81	34836,47	33328,43	32241,92

Πίνακας 7

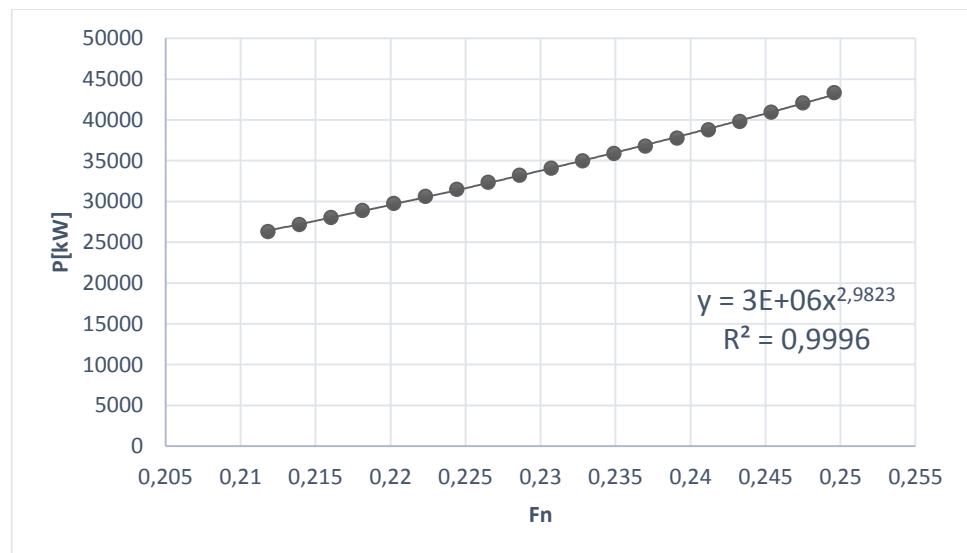


Διάγραμμα 4

V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,207	-2,22
22	0,227	-3,50
24	0,248	-2,99

Πίνακας 8

Για το ίδιο πλοίο φαίνεται η μεταβολή της ισχύος συναρτήσει του αριθμού Froude.



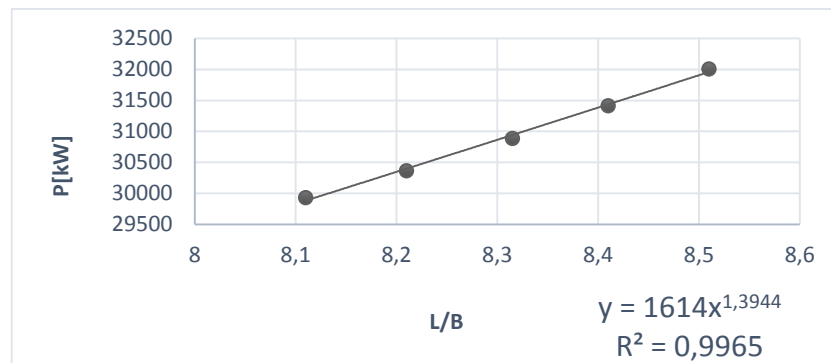
Διάγραμμα 5

Παράδειγμα υπολογισμών για το πλοίο Carnival Miracle:

Μεταβολή του λόγου L_{wl}/B

$\frac{L}{T}$	8,11	8,21	8,31	8,41	8,51
$\frac{B}{T}$	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62
L_{BP}	260,60	260,60	260,6	260,60	260,60
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	268,66	268,66	268,66	268,66	268,66
B	33,13	32,72	32,31	31,95	31,57
T	8,00	7,90	7,80	7,71	7,62
Cb	0,616	0,631	0,647	0,662	0,678
Volume[m ³]	43824,39	43824,39	43824,39	43824,39	43824,39
V[kn]	22	22	22	22	22
$F_{n,wl}$	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
P_{total} [kW]	29945,33	30372,49	30889,59	31410,12	31998,08

Πίνακας 9



Διάγραμμα 6

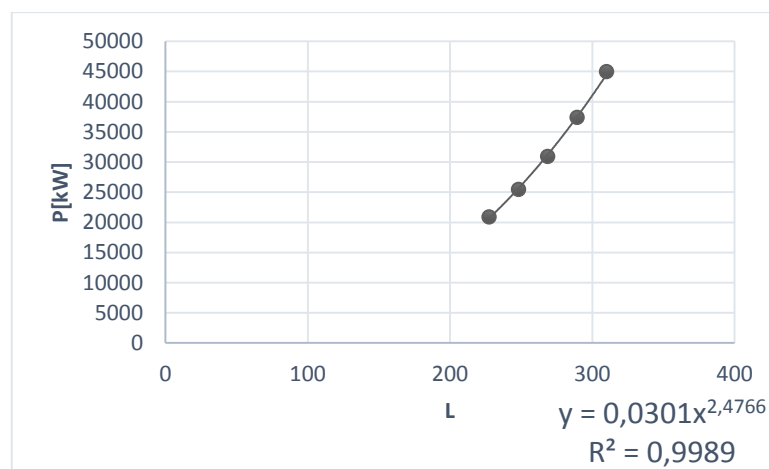
V[kn]	F_n	Εκθέτης
20	0,200	0,80
22	0,220	1,39
24	0,240	0,97

Πίνακας 10

Μεταβολή του L_{wl}

$\frac{L}{T}$	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
$\frac{B}{T}$	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62
L_{BP}	220,60	240,60	260,60	280,60	300,60
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	227,42	248,04	268,66	289,28	309,90
B	27,35	29,83	32,31	34,79	37,267
T	6,60	7,20	7,8	8,40	9,00
Cb	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647
Volume[m ³]	26583,32	34488,91	43824,39	54708,61	67260,42
V[kn]	20,24	21,14	22	22,83	23,63
$F_{n,wl}$	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
P_{total} [kW]	20896,44	25434,98	30889,59	37360,33	44951,24

Πίνακας 11



Διάγραμμα 7

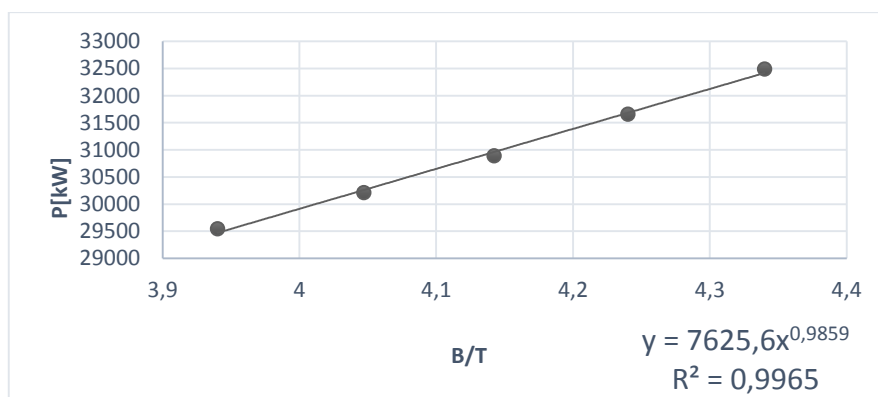
V[kn]	F_n	Εκθέτης
20	0,200	2,22
22	0,220	2,48
24	0,240	2,41

Πίνακας 12

Μεταβολή του λόγου Β/Τ

$\frac{L}{T}$	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
$\frac{B}{T}$	3,94	4,047	4,142308	4,24	4,34
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62
L_{BP}	260,60	260,60	260,60	260,60	260,60
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	268,66	268,66	268,66	268,66	268,66
B	32,31	32,31	32,31	32,31	32,31
T	8,20	7,98	7,80	7,62	7,44
Cb	0,616	0,632	0,647	0,663	0,678
Volume[m ³]	43824,39	43824,39	43824,39	43824,39	43824,39
V[kn]	22	22	22	22	22
Fn,wl	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
P _{total} [kW]	29542,88	30210,68	30889,59	31656,12	32490,77

Πίνακας 13



Διάγραμμα 8

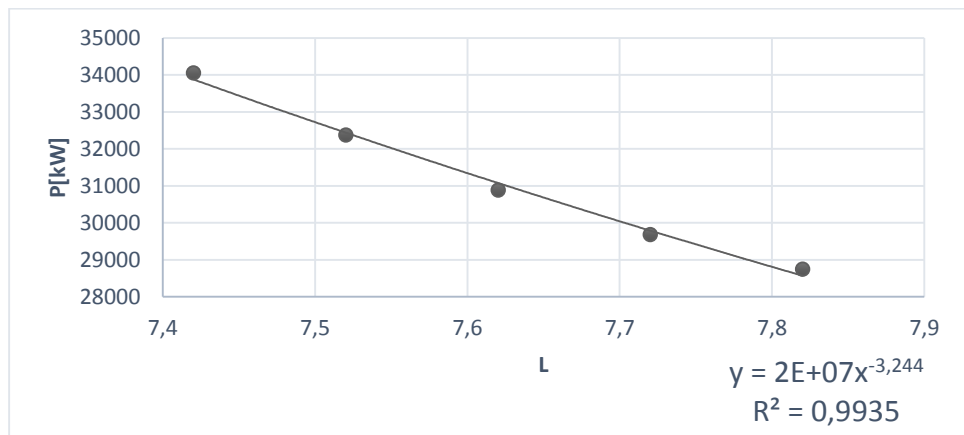
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,200	0,65
22	0,220	0,99
24	0,240	0,76

Πίνακας 14

Μεταβολή του λόγου $\frac{LWL}{\sqrt[3]{V}}$

$\frac{L}{T}$	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32
$\frac{B}{T}$	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
$\frac{LWL}{\sqrt[3]{V}}$	7,42	7,52	7,62	7,72	7,82
L_{BP}	260,60	260,60	260,60	260,60	260,60
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	268,66	268,66	268,66	268,66	268,66
B	32,31	32,31	32,31	32,31	32,31
T	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80
Cb	0,701	0,67	0,647	0,622	0,599
Volume[m ³]	47464,44	45596,02	43824,39	42143,37	40547,23
V[kn]	22	22	22	22	22
F _{n,wl}	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
P _{total} [kW]	39685,68	36933,81	34836,47	33328,43	32241,92

Πίνακας 15

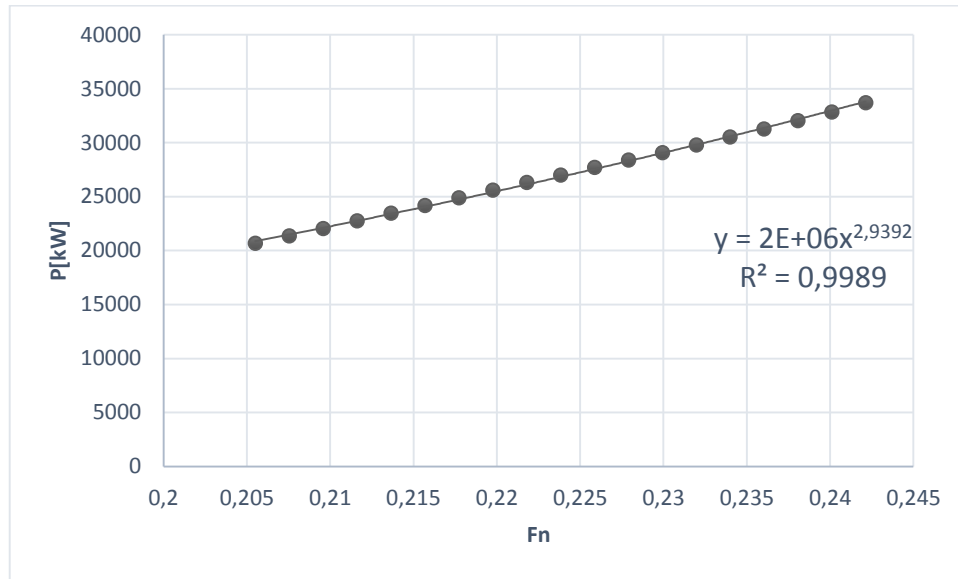


Διάγραμμα 9

V[kn]	F _n	Εκθέτης
20	0,200	-1,99
22	0,220	-3,24
24	0,240	-2,99

Πίνακας 16

Για το ίδιο πλοίο φαίνεται η μεταβολή της ισχύος συναρτήσει του αριθμού Froude.



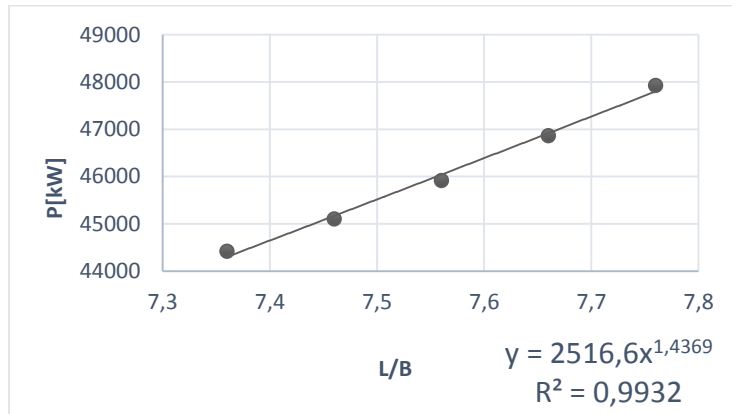
Διάγραμμα 10

Παράδειγμα υπολογισμών για το πλοίο Disney Dream:

Μεταβολή του λόγου L_{wl}/B

$\frac{L}{T}$	7,36	7,46	7,56	7,66	7,76
$\frac{B}{T}$	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
L_{BP}	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	306,19	306,19	306,19	306,19	306,19
B	41,60	41,04	40,59	39,97	39,46
T	8,55	8,43	8,32	8,21	8,11
Cb	0,606	0,622	0,639	0,656	0,673
Volume[m ³]	63956,10	63956,10	63956,10	63956,10	63956,10
V[kn]	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
Fn_{wl}	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
P_{total} [kW]	44419,27	45101,12	45916,92	46862,59	47924,67

Πίνακας 17



Διάγραμμα 11

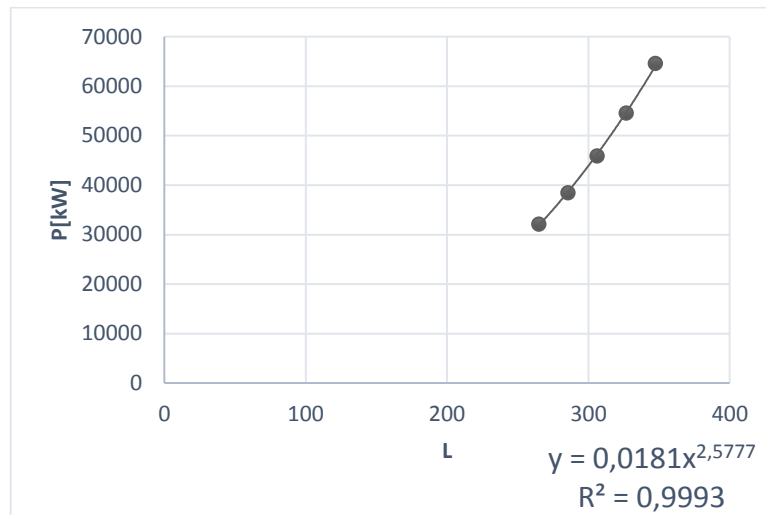
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,202	0,83
22	0,221	1,44
24	0,239	0,99

Πίνακας 18

Μεταβολή του L_{wl}

$\frac{L}{T}$	7,56	7,56	7,56	7,56	7,56
$\frac{B}{T}$	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87
$\frac{L_{WL}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}$	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
L_{BP}	257,00	277,00	297,00	317,00	337,00
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	264,95	285,57	306,19	326,80	347,42
B	35,05	37,77	40,50	43,23	45,95
T	7,20	7,76	8,32	8,88	9,44
Cb	0,620	0,620	0,620	0,620	0,620
Volume[m ³]	41439,26	51886,21	63956,10	77766,11	93433,43
V[kn]	21,8603	22,69497	23,5	24,27836	25,0325209
Fn,wl	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
P _{total} [kW]	32115,70	38465,99	45916,92	54573,18	64573,46

Πίνακας 19



Διάγραμμα 12

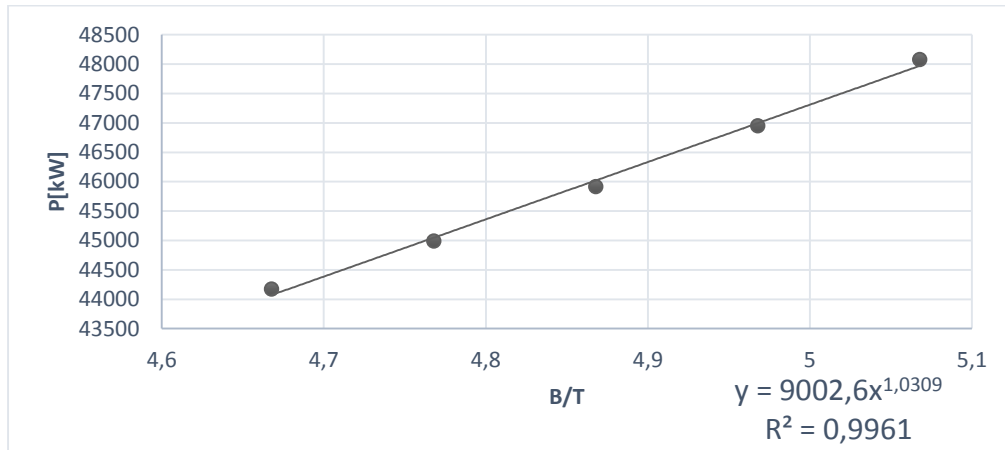
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,200	2,46
22	0,221	2,57
24	0,240	2,70

Πίνακας 20

Μεταβολή του λόγου B/T

$\frac{L}{T}$	7,56	7,56	7,56	7,56	7,56
$\frac{B}{T}$	4,67	4,77	4,87	4,97	5,07
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
L_{BP}	297,00	297,00	297,00	297,00	297,00
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	306,19	306,19	306,19	306,19	306,19
B	40,50	40,50	40,50	40,50	40,50
T	8,68	8,49	8,32	8,15	7,99
Cb	0,613	0,626	0,639	0,652	0,665
Volume[m ³]	63956,10	63956,10	63956,10	63956,10	63956,10
V[kn]	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
Fn,wl	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
P _{total} [kW]	33514,94	34129,55	34836,47	35641,43	36543,96

Πίνακας 21



Διάγραμμα 13

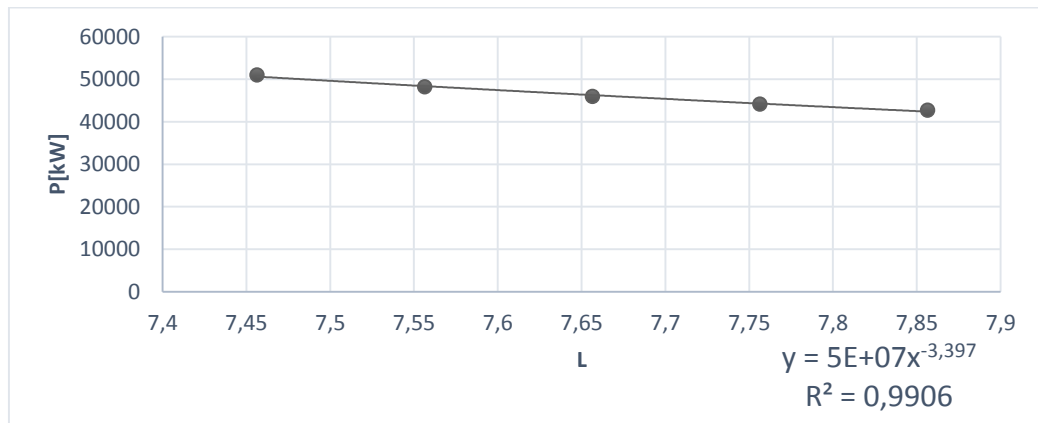
V[kn]	Fn	Εκθέτης
20	0,200	0,66
22	0,221	1,03
24	0,240	0,78

Πίνακας 22

Μεταβολή του λόγου $\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$

$\frac{L}{T}$	7,560137	7,560137	7,560137	7,560137	7,560137
$\frac{B}{T}$	4,867788	4,867788	4,867788	4,867788	4,867788
$\frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$	7,45639	7,55639	7,65639	7,75639	7,85639
L_{BP}	297	297	297	297	297
$L_{wl}=L_{BP}/0,97$	306,1856	306,1856	306,1856	306,1856	306,18567
B	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
T	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32
Cb	0,671	0,645	0,620	0,596	0,574
Volume[m ³]	69241,78	66529,00	63956,10	61514,17	59195,00
V[kn]	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
Fn,wl	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
P _{total} [kW]	39685,68	36933,81	34836,47	33328,43	32241,92

Πίνακας 23

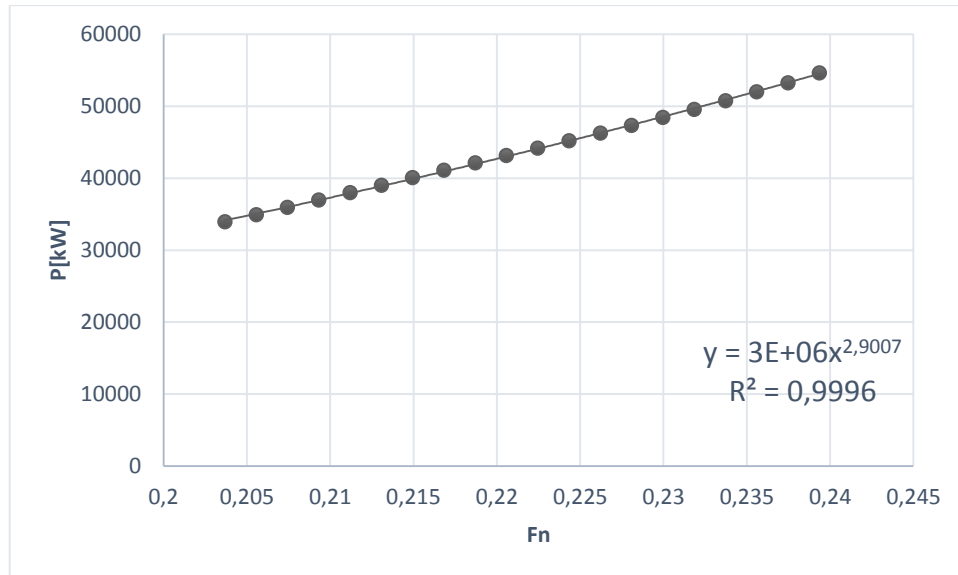


Διάγραμμα 14

V[kn]	Fn	εκθέτης
20	0,200	-2,30
22	0,221	-3,40
24	0,240	-3,00

Πίνακας 24

Για το ίδιο πλοίο φαίνεται η μεταβολή της ισχύος συναρτήσει του αριθμού Froude.



Διάγραμμα 15