Ε Θ Ν Ι Κ Ο Μ Ε Τ Σ Ο Β Ι Ο Π Ο Λ Υ Τ Ε Χ Ν Ε Ι Ο

Σ Χ Ο Λ Η Ν Α Υ Π Η Γ Ω Ν Μ Η Χ Α Ν Ο Λ Ο Γ Ω Ν Μ Η Χ Α Ν Ι Κ Ω Ν

Ε Ρ Γ Α Σ Τ Η Ρ Ι Ο Μ Ε Λ Ε Τ Η Σ Π Λ Ο Ι Ο Υ

Καθηγητής Απ. Παπανικολάου

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ

«ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

Θέμα:

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ & ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗΣ *ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX - EEDI) ΣΕ ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΑ ΠΛΟΙΑ (Ro-Ro Cargo Ships) & ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ-ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΑ* ΠΛΟΙΑ *(Ro-Ro / Passenger Ships*)»

Αλησαφάκη Γ. Αιμιλία

Διπλ. Ναυπηγός Μηχ/γος Μηχ/κος Ε.Μ.Π.

Ιούλιος, 2013

Περιεχόμενα

Περίληψη 5

Abstract 8

1. Εισαγωγή 10

2. Ανασκόπηση Διεθνών Κανονισμών επί του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) με έμφαση στα Οχηματαγωγά Ο/Γ & Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία 13

3. Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO για τον Υπολογισμό του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) στα Νέα Πλοία 17

4. Μεθοδολογία Υπολογισμού Γραμμών Αναφοράς του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας με έμφαση στα Ο/Γ & Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία 21

5. Παρουσίαση Στατιστικού Δείγματος Υπό Μελέτη Πλοίων 34

5.1 Οχηματαγωγά Ο/Γ Πλοία 34

5.2 Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Ε/Γ -Ο/Γ Πλοία 41

6. Διερεύνηση Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) για Οχηματαγωγά Ο/Γ & Επιβατηγά – Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία 48

6.1 Μεθοδολογία 48

6.2 Οχηματαγωγά Ο/Γ Πλοία 51

6.3 Επιβατηγά –Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία 59

7. Συμπεράσματα 68

Βιβλιογραφία 73

Παραρτήματα 75

Παράρτημα I: Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου Holtrop & Παραδοχών κατά την Εφαρμογή της 76

Παράρτημα II: Πίνακες για Υπολογισμό Εκθετών της Σχεδιαστικής Μεταβλητής Ship Design Variable (SDV) 78

Παράρτημα III: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Οχηματαγωγά Πλοία 84

Παράρτημα VI: Διαγράμματα Ισχύος ως προς B/T για Οχηματαγωγά Πλοία 87

Παράρτημα V: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford ως προς Πλάτος (Μέσο Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος) 90

Παράρτημα VI: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford ως προς Βύθισμα (Μέσο Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος) 100

Παράρτημα VII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία 110

Παράρτημα VIII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς Β/Τ για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία 113

Παράρτημα IX: Διαγράμματα Αντίστασης για την Εύρεση των Δεικτών Mumford ως προς το Πλάτος (Μέσο Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος) 116

Παράρτημα X: Διαγράμματα Αντίστασης για την Εύρεση των Δεικτών Mumford ως προς Βύθισμα (Μέσο Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος)..... 128

Παράρτημα XI: Πρωτότυπο Κείμενο των Προτάσεων IMO MEPC 64/4/14 , MEPC 65/4/4 & MEPC 65/4/18 (στην Αγγλική) 140

Περίληψη

Η Ναυτιλία, αν και σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς συνεισφέρει λιγότερο στις εκπομπές αερίων ρύπων, παρόλα αυτά λόγω του συνεχώς αυξανόμενου μεγέθους της, κρίθηκε απαραίτητη η εφαρμογή περιοριστικών μέτρων των εκπομπών αυτών με έναρξη ισχύος από 1/1/2013.

Στην εργασία αυτή γίνεται καταρχήν μία εισαγωγή (Κεφάλαιο 1) σχετικά με την κλιματική αλλαγή στον πλανήτη μας. Ακολουθεί στο Κεφάλαιο 2 μία καταγραφή των περιοριστικών μέτρων που επιβάλλονται στη Ναυτιλία, με έμφαση στο Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) νέων πλοίων. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται οι κατευθυντήριες οδηγίες του IMO για τον υπολογισμό του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) στα νέα πλοία, ενώ το επόμενο Κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στη μεθοδολογία για τα Οχηματαγωγά Ο/Γ Πλοία (Ro-Ro Cargo Ships) & Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία (Ro-Ro/Passenger Ships).

Ακολουθεί στο Κεφάλαιο 5 αναλυτική περιγραφή του υπό μελέτη δείγματος των Οχηματαγωγών Ο/Γ πλοίων (Ro-Ro Ships) και Επιβατηγών-Οχηματαγωγών Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων (Ro-Ro/Passenger Ships) με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία στη βάση δεδομένων IHS-Fairplay World Shipping Encyclopaedia ver.12.01 .

Εν συνεχεία, στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία, με την οποία γίνεται διερεύνηση του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI για αυτά τα αντιπροσωπευτικά δείγματα πλοίων Οχηματαγωγών Ο/Γ (Ro-Ro Ships) & Επιβατηγών-Οχηματαγωγών Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Ro/Passenger Ships). Η πρόβλεψη της αντίστασης στην παρούσα μελέτη επιτυγχάνεται με βάση τη μέθοδο του Holtrop (1984) και η μεταβολή της σε σχέση με πλάτος / βύθισμα συγκρίνεται με τους αντίστοιχους δείκτες Mumford (Παπανικολάου, 2009), καθώς και τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται με βάση τη μέθοδο των Guldhammer & Harvald (1974), όπως επικαιροποιήθηκε από τον Harvald (1984) και δημοσιεύτηκαν από τον Kristensen (2012). Βάσει της μεθοδολογίας της παρούσας μελέτης, προτείνονται εναλλακτικές τιμές για τους ήδη προταθέντες εκθέτες των αδιάστατων μεταβλητών της Ship Design Variable (SDV) των προτάσεων IMO MEPC 65/4/4 (2013) & IMO MEPC 64/4/14 (2012). Οι υπολογισμοί Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI για τα πλοία των υπό εξέταση δειγμάτων συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί σύμφωνα με τις τελευταίες προτάσεις στην 64^{η} και 65^{η} Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος του IMO MEPC 64 (2012) και IMO MEPC 65 (2013). Τα συμπεράσματα που εξάγονται, μελετώντας και συγκρίνοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα, καταγράφονται στο Κεφάλαιο 7.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση της βιβλιογραφίας και τα έντεκα -11- Παραρτήματα, ως ακολούθως:

Στο Παράρτημα I περιγράφεται συνοπτικά η χρησιμοποιούμενη Μέθοδος Holtrop και οι παραδοχές που λαμβάνονται κατά την εφαρμογή της.

Στο Παράρτημα II δίνονται πίνακες μεταβολών μέσων τιμών χαρακτηριστικών μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των αντίστοιχων εκθετών των λόγων των μεταβλητών Ship Design Variable (SDV), σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία.

Στο Παράρτημα III δίνονται διαγράμματα ισχύος σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop ως προς το λόγο L/B για Οχηματαγωγά Πλοία. Στους υπολογισμούς αυτούς μεταβάλλεται ο συντελεστής γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα IV φαίνονται διαγράμματα ισχύος σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop ως προς το λόγο B/T για Οχηματαγωγά Πλοία. Στους υπολογισμούς αυτούς μεταβάλλεται ο συντελεστής γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα V δίνονται τα διαγράμματα συνολικής αντίστασης κατά Holtrop, που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του πλάτους του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος για σταθερό συντελεστή γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα VI δίνονται τα διαγράμματα συνολικής αντίστασης κατά Holtrop, που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του βυθίσματος του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος για σταθερό συντελεστή γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα VII δίνονται διαγράμματα ισχύος σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop ως προς το λόγο L/B για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία. Στους υπολογισμούς αυτούς μεταβάλλεται ο συντελεστής γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα VIII φαίνονται διαγράμματα ισχύος σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop ως προς το λόγο B/T για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία. Στους υπολογισμούς αυτούς μεταβάλλεται ο συντελεστής γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα IX δίνονται τα διαγράμματα συνολικής αντίστασης κατά Holtrop, που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του πλάτους του μέσου Επιβατηγού-Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος για σταθερό συντελεστή γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα X δίνονται τα διαγράμματα συνολικής αντίστασης κατά Holtrop, που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του βυθίσματος του μέσου Επιβατηγού-Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος για σταθερό συντελεστή γάστρας C_b.

Στο Παράρτημα XI παρατίθεται για λόγους πληρότητας το πρωτότυπο κείμενο στην Αγγλική της πρότασης IMO MEPC 64/4/14, 29-12-2012, “Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Shiptypes into the Energy Efficiency Regulatory Framework”, της αναθεώρησής της στην πρόσφατη Σύνοδο MEPC 65 τον Μάϊο του 2013, συγκεκριμένα της IMO MEPC 65/4/4, “Revised Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro

Passenger Ship Types into the IMO Energy Efficiency Regulatory Framework", καθώς και των αντιρρήσεων επί των ανωτέρω προτάσεων που υποβλήθηκαν στην MEPC 65/4/18, "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".

Λέξεις-Κλειδιά:

Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI), Γραμμή Αναφοράς, Οχηματαγωγά Πλοία, Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία, Μέθοδος Holtrop, Μέθοδος Guldhammer & Harvald, Δείκτες Mumford, Διαγράμματα Ισχύος, Σχεδιαστική Μεταβλητή Πλοίου SDV, Διορθωτικός Παράγοντας f_{jRoRo}*, Διορθωτικός Παράγοντας* f_{cRoPax} .

Abstract

Shipping, although compared with other means of transport contributes less to the Greenhouse Gas Emissions, however due to its constantly increasing size, it was judged necessary to implement restrictive emissions measures with effect from 1/1/2013.

After an introduction on climate change on Chapter 1, the restrictive measures imposed on Shipping, focusing on Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships follow in Chapter 2. Chapter 3 describes the IMO guidelines for calculating the Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships, while the next Chapter 4 focuses on the methodology for Ro-Ro Cargo Ships & Ro-Ro/Passenger Ships.

Chapter 5 provides a detailed description of the sample of the vessels under study, namely Ro-Ro Cargo Ships and Ro-Ro/Passenger Ships, based on the IHS-Fairplay World Shipping Encyclopaedia ver.12.01 database.

Subsequently, in Chapter 6 the used methodology on the development of the Energy Efficiency Design Index EEDI for these representative samples of vessels is presented in detail. The prediction of resistance in this study is achieved by the Holtrop method (1984) and relative exponents by small variations of breadth and draught are compared with corresponding Mumford indices (Papanikolaou, 2009), as well as with the corresponding data according to Guldhammer & Harvald method (1974), as updated by Harvald (1984) and published by Kristensen (2012). Then, based on the proposed methodology, alternative values for previously submitted exponents for the ratios of the Ship Design Variable (SDV) are proposed and compared with the corresponding values, such as those being developed in accordance with the latest recommendations in the 64th and 65th Sessions of the Marine Environment Protection Committee of IMO MEPC 64 (2012) and IMO MEPC 65 (2013), namely IMO MEPC 65/4/4 (2013) & IMO MEPC 64/4/14 (2012). The conclusions reached by comparing the diagrams are listed in Chapter 7. The study concludes with the references, as well as the eleven -11- Appendices as follows:

Appendix I describes briefly the used Holtrop method and the basic assumptions applied in this study.

Appendix II provides tables with the variations of the average values of the ship principal dimensions used for calculating the respective exponents of the ratios of the Ship Design Variables (SDV), according to the proposed methodology.

In Appendix III, Power diagrams according to the Holtrop method versus L/B for Ro-Ro Cargo Ships are provided (C_b variable).

In Appendix IV, Power diagrams according to the Holtrop method versus B/T for Ro-Ro Cargo Ships are provided (C_b variable).

In Appendix V, Resistance diagrams according to the Holtrop method versus small changes of Breadth B_1/B_0 are presented in order to calculate the relevant Mumford Indices for the average Ro-Ro Cargo Ship of the sample.

In Appendix VI, Resistance diagrams according to the Holtrop method versus small changes of Draught T_1/T_0 are presented in order to calculate the relevant Mumford Indices for the average Ro-Ro Cargo Ship of the sample.

In Appendix VII, Power diagrams according to the Holtrop method versus L/B for Ro-Ro Passenger Ships are provided (C_b variable).

In Appendix VIII, Power diagrams according to the Holtrop method versus B/T for Ro-Ro Passenger Ships are provided (C_b variable).

In Appendix XI, Resistance diagrams according to the Holtrop method versus small changes of Breadth B_1/B_0 are presented in order to calculate the relevant Mumford Indices for the average Ro-Ro Passenger Ship of the sample.

In Appendix X, Resistance diagrams according to the Holtrop method versus small changes of Draught T_1/T_0 are presented in order to calculate the relevant Mumford Indices for the average Ro-Ro Passenger Ship of the sample.

The Appendix XI provides the original English text of the IMO MEPC 64/4/14, 29-12-2012, "Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Shiptypes into the Energy Efficiency Regulatory Framework", as submitted by Germany, Sweden and the Community of European Shipyards' Association (CESA) , as well as its revision, namely the IMO, MEPC 65/4/4, "Revised Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Ship Types into the IMO Energy Efficiency Regulatory Framework", as submitted by Germany, Sweden, Community of European Shipyards Associations (CESA) and INTERFERRY, on 8th February 2013, & finally the IMO MEPC 65/4/18, "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", as submitted by Denmark and Japan, 8th March 2013.

Key-words:

Energy Efficiency Design Index (EEDI), Reference Line, Ro-Ro Cargo Ships, Ro-Ro/Passenger Ships, Holtrop Method, Guldhammer & Harvald Method, Mumford Indices, *Ship Power Diagrams, Ship Design Variable (SDV), Correction Factor* f_{jRoRo}, *Capacity Correction Factor* f_{cRoPax} .

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τη ναυτιλία. Τα καυσαέρια από τους ναυτικούς κινητήρες, όπως και από κάθε άλλη μηχανή εσωτερικής καύσης, έχουν αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον και στο κλίμα του πλανήτη. Οι κυριότεροι ρύποι που εκπέμπονται με τη λειτουργία των ναυτικών κινητήρων είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x), οι οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC-volatile organic compounds), το μονοξείδιο του αζώτου (CO) και τα σωματίδια (PM-particulate matter).

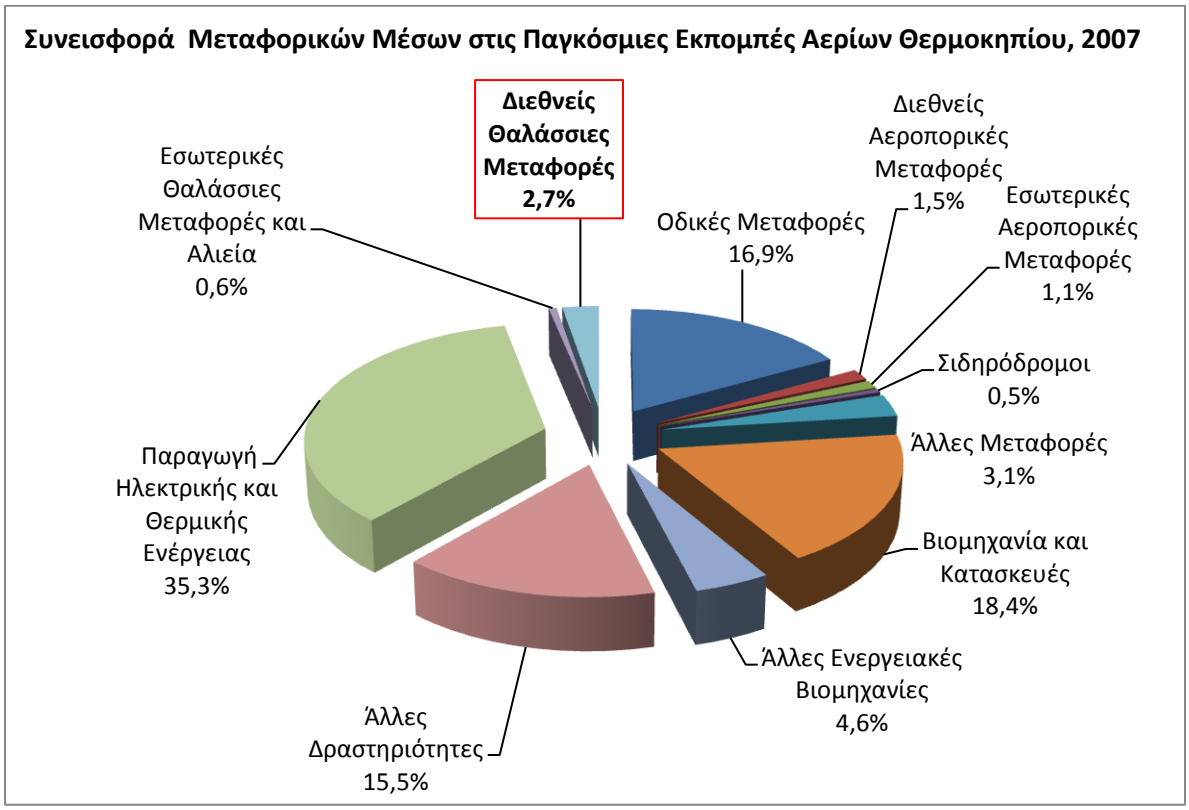
Το κλίμα της Γης διαμορφώνεται από μια συνεχή ροή ενέργειας από τον ήλιο. Θερμική ενέργεια, προερχόμενη από τις ακτίνες του ήλιου, διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα και θερμαίνει την επιφάνεια της Γης έτσι, ώστε να καθίσταται δυνατή η επιβίωση στον πλανήτη μας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η Γη εκπέμπει τη θερμική ενέργεια (υπέρυθρη ακτινοβολία) πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα ποσοστό αυτής της θερμότητας απορροφάται από αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το όζον (O_3) και οι υδρατμοί, γνωστά και ως αέρια του θερμοκηπίου. Αυτά τα αέρια, σε φυσικές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα, λειτουργούν ως θερμοκήπιο και εγκλωβίζουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα, αποτρέποντας την αντανάκλασή της πολύ μακριά από τη Γη και διατηρώντας με αυτό τον τρόπο τη μέση θερμοκρασία της Γης σε ευνοϊκό και επαρκές επίπεδο για τη διατήρηση της ζωής.

Οι ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί ανησυχητικά τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω των εντεινόμενων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων παγκοσμίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενισχύεται η υπερθέρμανση του πλανήτη. Η αλλαγή του κλίματος έχει αναμφίβολα εμφανή αποτελέσματα, που εκτείνονται από την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, έως την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σαν άμεσο επακόλουθο της τήξης των πολικών παγετών, καθώς και τη συχνότερη εμφάνιση καταιγίδων και πλημμυρών [IPPC, 2007]. Οι μεταβολές αυτές επιφέρουν με τη σειρά τους σοβαρές επιπτώσεις στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, τους υδάτινους πόρους, τη δημόσια υγεία, την προσφορά τροφής, τη βιομηχανία, τις γεωργικές καλλιέργειες, τις μεταφορές και τις υποδομές.

Για να μετριαστούν οι προβλέψεις για τα καταστροφικά αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής που προέρχεται από την υπερθέρμανση του πλανήτη, οι εκπομπές που οφείλονται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες πρέπει να σταθεροποιηθούν και να μειωθούν. Αυτό αποτελεί μια παγκόσμια πρόκληση. Η εισαγωγή του Πρωτοκόλλου του Κυότο (Δεκέμβριος 1997) στο Διεθνές Δίκαιο υπήρξε ένα απαραίτητο πρώτο βήμα ενάντια στην αλλαγή του κλίματος. Η Συνθήκη αυτή, που τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, αποτέλεσε τη βάση για την ολοένα και πιο αποδοτική δράση διεθνώς ενάντια στην αλλαγή του κλίματος. Στόχος της Διάσκεψης της Κοπεγχάγης, που διεξήχθη το Δεκέμβριο του 2009, ήταν να επιτευχθεί μια παγκόσμια συμφωνία για την κλιματική αλλαγή, διάδοχη του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή που

πραγματοποιήθηκε στο Κανκούν του Μεξικό το Δεκέμβριο του 2010, αφορά την 6η Σύνοδο των Μερών του Πρωτοκόλλου του Κυότο.

Δεκάδες εκατοντάδες πλοίων καθημερινά μεταφέρουν παγκοσμίως ποικιλλία αγαθών, τα οποία είναι απαραίτητα για την επιβίωση και ανάπτυξη της ανθρωπότητας παγκοσμίως, από τα βασικά είδη πρώτων υλών, διατροφής και ένδυσης, μέχρι ανώτερου επιπέδου βιομηχανικά προϊόντα (αυτοκίνητα, κ.α.). Είναι εύλογο ότι τα πλοία για να κινηθούν απαιτούν καύσιμο, το οποίο με τη σειρά του επιβαρύνει το περιβάλλον και συνεισφέρει στην κλιματική αλλαγή του πλανήτη. Συνολικά, για το έτος 2007 η συνεισφορά των πλοίων στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανέρχεται μόλις στο 2.7% του συνόλου των μεταφορών στον πλανήτη μας (ποσοστό ισοδύναμο με 870 εκατομμύρια τόννους), όπως αποκάλυψε το 2009 η 2η Μελέτη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού IMO (MEPC 59/INF.10), από την οποία λαμβάνεται το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 1.1: Κατανομή Παγκόσμιων Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου ανά Μεταφορικό Μέσο **(**IMO, MEPC 59/INF.10)

Επομένως τα πλοία, με τα οποία μεταφέρεται η συντριπτική πλειοψηφία (90%) του παγκόσμιου εμπορίου, είναι στατιστικά τα λιγότερο περιβαλλοντικά επιβλαβή μέσα μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγική τους αξίας. Σε σύγκριση με τη βιομηχανία της ξηράς, η ναυτιλία συνεισφέρει ελάχιστα στη ρύπανση του θαλασσίου περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την ίδια μελέτη του IMO (MEPC 59/INF.10), εάν δε λάβουν χώρα κατασταλτικές ενέργειες, η συνεισφορά της ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου το 2050 θα ανέρχεται στο 18% . Επιπλέον, το ποσοστό συνεισφοράς της διεθνούς ναυτιλίας το 2007, αν και μικρό (μόλις 2,7%), δεν παύει να είναι

συγκρίσιμο με το αντίστοιχο ποσοστό συνεισφοράς μιας μεγάλης εθνικής οικονομίας και άρα απαιτεί μείωση (ICS, 2009).

Συνεπώς, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή και η ολοένα αυξανόμενη ρύπανση του αέριου περιβάλλοντος, κατέστησε επιτακτική την ανάγκη για υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης και καταστολής του φαινομένου, ακόμη και στις θαλάσσιες μεταφορές, τα οποία στοχεύουν στη σταδιακή μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO_2 στη διεθνή ναυτιλία, και τελικά στην οικονομία καυσίμου.

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (SEEMP) αποτελούν πρωτοποριακά «κλειδιά» στην προσπάθεια αυτή, ενώ η εφαρμογή τους είναι υποχρεωτική ήδη από τις αρχές του τρέχοντος έτους 2013.

2. Ανασκόπηση Διεθνών Κανονισμών επί του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) με έμφαση στα Οχηματαγωγά Ο/Γ & Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) υιοθέτησε το 1973 την Διεθνή Σύμβαση MARPOL, η οποία τροποποιήθηκε με τα πρωτόκολλα του 1978 και του 1997 και τηρείται μέχρι σήμερα επικαιροποιημένη με τις εκάστοτε τροποποιήσεις της.

Η Διεθνής Σύμβαση MARPOL πραγματεύεται τις ακόλουθες μορφές ρύπανσης προερχόμενης από τα πλοία:

- Πετρελαιοειδή μίγματα και κατάλοιπα
- Επιβλαβείς υγρές ουσίες χύδην
- Επικίνδυνα συσκευασμένα φορτία
- Λύματα
- Στερεά απορρίμματα
- Αέρια ρύπανση

Στα πλαίσια της Διεθνούς Σύμβασης Περιορισμού Θαλάσσιας Ρύπανσης MARPOL 73/78, το 1997 εγκρίθηκε το Παράρτημα VI, το οποίο περιλαμβάνει κανονισμούς που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Από 1^{η} Ιανουαρίου του τρέχοντος έτους 2013, τέθηκε σε ισχύ - ύστερα από την ψήφιση της Πρότασης IMO MEPC 203(62) το 2011 - το Αναθεωρημένο Παράρτημα VI της MARPOL, σχετικό με τους Κανονισμούς Πρόληψης Αέριας Ρύπανσης από τα Πλοία και αποτελούμενο συνολικά από 4 Κεφάλαια και 8 Παραρτήματα. Σημειώνεται ότι το Κεφάλαιο 4 με τίτλο «Κανονισμοί Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίων» απαρτίζεται από τον Κανονισμό 19 (με τίτλο «Εφαρμογή»), Κανονισμό 20 (με τίτλο «Επιτευχθής Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)»), Κανονισμό 21 (με τίτλο «Απαιτούμενος Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)»), Κανονισμό 22 (με τίτλο «Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (SEEMP)») και Κανονισμό 23 (με τίτλο «Προτάσεις Βελτίωσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίων»).

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) προτάθηκε με σκοπό την προώθηση της χρήσης αποδοτικότερων (με την έννοια των λιγότερων ρυπογόνων) μηχανών και λοιπού εξοπλισμού εν πλω έτσι, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος. Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index - EEDI) απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας ανά τόνο και ναυτικό μίλι 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 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός IMO στοχεύει στην αδιάλλειπτη προώθηση

καινοτόμων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών από τη φάση της σχεδίασης του πλοίου.

Ο δείκτης αυτός δεν προκαθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα επιτευχθεί, αλλά επιτρέπει την επιλογή της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί για το κάθε πλοίο, και κατά μία έννοια αξιολογεί την επίδοσή του. Ανήκει στο λεγόμενο τύπο «*non-prescriptive* & *performance-based*» μηχανισμό. Οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές είναι ελεύθεροι να επιλέξουν την κατά το δυνατόν βέλτιστη λύση, αρκεί τελικά ο Επιτευχθής Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Attained Energy Efficiency Design Index - $EEDI_{attained}$ να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο απαιτούμενο $EEDI_{Required}$. Ο τύπος για τον EEDI βασίζεται σε διάφορες τεχνικές παραμέτρους και καταλήγει σε έναν συγκεκριμένο αριθμό για κάθε πλοίο, ο οποίος εκφράζει τα γραμμάρια CO_2 που παράγονται ανά μονάδα μεταφορικού έργου (gCO_2/capacity×mile). Όσο πιο μικρός είναι ο δείκτης, τόσο πιο αποδοτικό θεωρείται το πλοίο.

Το επίπεδο μείωσης του CO_2 (για τα περισσότερα πλοία μετρούμενο 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 προδιαγραφεί μέχρι την περίοδο 2025-2030, όπου έχει οριστεί μείωση έως και 30%. Τα επίπεδα αυτά καθορίζονται με βάση μία γραμμή *Baseline*, η οποία αντιπροσωπεύει τη μέση αποδοτικότητα πλοίων που κατασκευάστηκαν από το 2000-2010. Έχει υπολογιστεί (βλ. MEPC 63/INF.2) ότι η εφαρμογή θα έχει ως αποτέλεσμα το έτος 2030μεταξύ 180-240 χιλιάδες τόνων CO_2 λιγότερα στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την ποσότητα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα χωρίς την εφαρμογή των μέτρων αυτών, με έναρξη το έτος 2013.

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) αναπτύχθηκε για τα μεγαλύτερα και ενεργειακά πιο απαιτητικά πλοία του παγκόσμιου εμπορικού στόλου και αναμένεται να καλύψει περίπου το 72% των εκπομπών από τα νεότευκτα πλοία του τύπου που καθορίζονται στις προτάσεις που ψηφίστηκαν (MEPC-61/WP10, Annex 2). Για τα πλοία που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, τα οποία είναι Οχηματαγωγά (Ro-Ro Cargo Ships) & Επιβατηγά / Οχηματαγωγά (Ro-Ro / Passenger Ships), λόγω σχεδιαστικών και λειτουργικών ιδιαιτεροτήτων, δεν έχει ακόμη ψηφιστεί η οριστική πρόταση που τα αφορά. Το πρόβλημα στα πλοία αυτού του τύπου έγκειται στο γεγονός ότι η σχεδίασή τους τυπικά περιορίζεται από συγκεκριμένες διαδρομές δρομολογίων (με ανάλογο περιορισμό στις διαστάσεις) ή/και από στενά χρονοδιαγράμματα παράδοσης φορτίου. Συνεπώς, παρουσιάζεται μεγάλη διασπορά μεταξύ της ταχύτητας σχεδίασης και λειτουργίας των πλοίων αυτών, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε ευρύ φάσμα απαιτήσεων προωστήριας δύναμης και συνεπώς σε αντίστοιχη υψηλή διακύμανση του υπολογισθέντος δείκτη EEDI για τα πλοία αυτά.

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) πρωτοεμφανίζεται προ πενταετίας στη 57^{η} Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος του IMO MEPC 57 τον Απρίλιο του 2008, μετά την οποία υποβλήθηκαν οι προτάσεις της Δανίας (GHG-WG 1/2/1) και Ιαπωνίας (GHG-WG 1/2/2), εμπεριέχοντας αναφορές σε επερχόμενους δείκτες και γραμμές αναφοράς, στις οποίες τα Οχηματαγωγά εμπεριέχονται στην ευρύτερη ομάδα των Ro-Ro Cargo Ships και τα Επιβατηγά / Οχηματαγωγά στην ομάδα των Επιβατηγών - Passenger Ship Group. Οι πρώτες οδηγίες, μετά από κάποιες βελτιώσεις,

παρουσιάζονται στην 58η Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος του IMO MEPC 58 τον Οκτώβριο του 2008 από τη Δανία (MEPC 58/4/8), όπου αναφέρεται ότι, ενώ για τα περισσότερα πλοία το μέγεθος του βάρους DWT είναι κατάλληλο για να ληφθεί στους υπολογισμούς EEDI, για τα υπό εξέταση πλοία Ο/Γ & Ε/Γ-Ο/Γ το μέγεθος της ολικής χωρητικότητας GT σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση (International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969) κρίνεται καταλληλότερο, αν και δεν ανταποκρίνεται άμεσα στη χωρητικότητα των πλοίων αυτών, γι' αυτό και αργότερα αναθεωρείται η χρήση του μεγέθους αυτού.

Στην επόμενη Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος του IMO MEPC 59 τον Ιούλιο του 2009, περαιτέρω προβλήματα για τα πλοία αυτά συζητήθηκαν, συμπεριλαμβανομένων των προκλήσεων των ακτοπλοϊκών δρομολογίων, διαφορετικών τύπων πρόωσης, υψηλών τιμών ισχύος βοηθητικών μηχανών, μεθόδων ανάκτησης ισχύος, κλπ. Οι αμφιβολίες της χρήσης του μεγέθους της ολικής χωρητικότητας GT φάνηκε να αποζημιώνονται με τη χρήση κατάλληλου διορθωτικού συντελεστή (MEPC 59 / 4 / 2).

Οι προτάσεις αυτές ψηφίστηκαν στην 60η Σύνοδο IMO MEPC 60 τον Απρίλιο του 2010 και συμφωνήθηκε να μην εφαρμοστεί ακόμη ο Κανονισμός 21 του Παραρτήματος 6 της MARPOL 73/78 σχετικά με την απαίτηση της τιμής του Επιτευχθέντος Δείκτη EEDI να είναι μικρότερη της αντίστοιχης τιμής του Απαιτούμενου Δείκτη EEDI *("Attained EEDI ≤ Required EEDI"*) σε Επιβατηγά, Οχηματαγωγά και Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Πλοία μέχρι να καθοριστεί κατάλληλη EEDI baseline, απόφαση που επικυρώνεται και κατά την 61η Σύνοδο MEPC 61 τον Οκτώβριο του 2010, όπου και ορίζεται κατάλληλο χρονοδιάγραμμα.

Κατά την 62η Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC) τον Ιούλιο του 2011, ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) έγινε υποχρεωτικός για όλα τα νεότευκτα πλοία με την υιοθέτηση των τεχνικών μέτρων μείωσης εκπομπών CO_2 από τα πλοία, τα οποία φέρουν τον τίτλο: «Κανονισμοί Ενεργειακής Αποδοτικότητας των Πλοίων».

Τα μέτρα αυτά περιέχουν ένα σύνολο κανονισμών που αποτελούν το νέο Κεφάλαιο 4 του Παραρτήματος VI ΔΣ MARPOL και τέθηκαν σε ισχύ την 1-1-2013. Σύμφωνα με το νέο αυτό Κεφάλαιο, τα πλοία προβλέπεται να είναι εφοδιασμένα με:

- Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (IEEC) για νέα πλοία άνω των 400 GT, τα οποία εκτελούν διεθνείς πλόες.
- Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (SEEMP) για νέα και υπάρχοντα πλοία άνω των 400 GT.
- Τεχνικό Φάκελο Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI Technical File), στον οποίο καταγράφεται η διαδικασία υπολογισμού του επιτευχθέντος EEDI.

Αυτό αποτέλεσε και το πρώτο σημαντικό βήμα μετά την υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κυότο.

Στην επόμενη σύνοδο του IMO MEPC 63, υιοθετήθηκαν τέσσερις σημαντικές αποφάσεις προκειμένου να εφαρμοστεί αποδοτικότερα το πλαίσιο κανονισμών που προδιαγράφεται στο Παράρτημα VI της ΔΣ MARPOL, και συγκεκριμένα οι αποφάσεις: Resolutions

MEPC.212(63), MEPC.213(63), MEPC.214(63) & MEPC.215(63), που αναγράφονται στη βιβλιογραφία.

Κατά την 64η Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC), και σύμφωνα με τις οδηγίες που υιοθετήθηκαν στην προηγούμενη Σύνοδο MEPC 63, προτάθηκε από Γερμανία, Σουηδία & Ένωση Ευρωπαϊκών Ναυπηγείων CESA , κατάλληλη μεθοδολογία σύμφωνα με την MEPC 64/4/14 για τα Οχηματαγωγά Ο/Γ & Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ & Πλοία. Το πρωτότυπο κείμενο αυτής παρατίθεται στο Παράρτημα XI.

Η πρόταση αυτή (MEPC 64/4/14) βελτιώθηκε με την υποβολή από Γερμανία, Σουηδία, Ένωση Ευρωπαϊκών Ναυπηγείων-CESA & INTERFERRY, το Μάϊο του 2013, της MEPC 65/4/4 (Παράρτημα XI) έτσι, ώστε να διευκολυνθεί η οριστικοποίηση των διορθωτικών συντελεστών για τα πλοία αυτά και η τελική ένταξή τους στον Κανονισμό 21 του αναθεωρημένου Παραρτήματος VI της MARPOL.

Παρόλ' αυτά, η πρόταση IMO MEPC 65/4/18 (Παράρτημα XI), που υποβλήθηκε από Δανία & Ιαπωνία στην ίδια σύνοδο το Μάϊο 2013, εκφράζει σοβαρές ανησυχίες σχετικά με την υιοθέτηση της παραπάνω μεθοδολογίας και προτείνει άμεση αναθεώρηση.

3. Κατευθυντήριες Οδηγίες του IMO για τον Υπολογισμό του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) στα Νέα Πλοία

Στις 2 Μαρτίου 2012 υιοθετήθηκε η οδηγία MEPC 212(63), "*2012 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships*" που περιγράφει τον τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI για νέα πλοία σύμφωνα με τον τύπο:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} f_j\right)\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}\right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}*\right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}\right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}**\right)}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Παρακάτω επεξηγούνται οι όροι που εμφανίζονται στον ανωτέρω τύπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI):

<u>Παράγοντας C_F</u>

Ο παράγοντας C_F είναι ένας αδιάστατος παράγοντας μετατροπής της ποσότητας καυσίμων που καταναλώνονται μετρημένης σε (gr), σε εκπεμπόμενο CO_2 μετρούμενο επίσης σε (gr) και βασισμένο στο περιεχόμενο άνθρακα. Οι δείκτες $_{MEi}$ και $_{AEi}$ αναφέρονται αντίστοιχα στην κύρια μηχανή και στις βοηθητικές μηχανές. Ο παράγοντας C_F αντιστοιχεί στο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε κατά τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου και υπάρχει σε κατάλληλο τεχνικό φάκελο. Η τιμή του παράγοντα C_F διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 3.1: Τιμές Παράγοντα C_F για Διάφορους Τύπους Πλοίων

Τύπος Καυσίμου	Κωδικοποίηση	Περιεχόμενο σε C	C_F (t-CO2/t-Fuel)
1. Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Βαθμοί από DMX ως DMC	0.8744	3.206
2. Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Βαθμοί από RMA ως RMD	0.8594	3.151
3. Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Βαθμοί από RME ως RMK	0.8493	3.114
4. Liquified Petroleum Gas (LPG)	Προπάνιο Βουτάνιο	0.8182 0.8264	3.000 3.030
5. Liquified Natural Gas (LNG)		0.7500	2.750

Ταχύτητα αναφοράς V_{ref}

Η ταχύτητα αναφοράς V_{ref} είναι η ταχύτητα του πλοίου, μετρούμενη σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (knots) σε βαθειά νερά και σε έμφορτη κατάσταση που αντιστοιχεί στη χωρητικότητα που ορίζεται παρακάτω, με ισχύ στον άξονα από τις κύριες μηχανές όπως ορίζεται παρακάτω και υποθέτοντας ήρεμο καιρό χωρίς αέρα και κύματα.

Χωρητικότητα (Capacity)

Η χωρητικότητα (Capacity) ορίζεται όπως παρακάτω για τους διάφορους τύπους πλοίων:

- Για τα πλοία bulk carriers, tankers, gas tankers, ro-ro cargo ships, general cargo ships, refrigerated cargo carriers και combination carriers, το Deadweight (tonnes) του πλοίου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως Capacity.
- Για τα πλοία containerships, ποσοστό 70% του Deadweight (DWT) του πλοίου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως Capacity.
- Για τα πλοία passenger ships και ro-ro passenger ships, η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης της Χωρητικότητας του 1969, Annex I, regulation 3, προτάθηκε αρχικώς να χρησιμοποιηθεί ως Capacity, για να αρθεί για τα πλοία Ε/Γ-Ο/Γ (ro-ro passenger ships) και να λαμβάνεται τελικά και για αυτά τα πλοία το Deadweight με χρήση κατάλληλου διορθωτικού συντελεστή $f_{cRo\text{-}Pax}$.

Πρόσθετο Βάρος (Deadweight)

Το Deadweight ορίζεται ως η διαφορά σε τόννους μεταξύ του εκτοπίσματος (Displacement) ενός πλοίου σε νερό με σχετική πυκνότητα 1,025 kg/m^3 στο έμφορτο βύθισμα θέρους και του βάρους του άφορτου πλοίου (lightweight). Το έμφορτο βύθισμα θέρους πρέπει να ληφθεί ίσο με το μέγιστο βύθισμα θέρους, όπως πιστοποιείται στο εγκεκριμένο Εγχειρίδιο Ευστάθειας από την αρμόδια Αρχή ή άλλους Οργανισμούς διαπιστευμένους από την Αρχή.

Ισχύς P

Ισχύς P είναι η ισχύς των κύριων και βοηθητικών μηχανών, μετρούμενη σε (kW). Οι δείκτες $_{ME}$ και $_{AE}$ αναφέρονται στην κύρια μηχανή και στις βοηθητικές μηχανές αντίστοιχα. Μέσω του i γίνεται άθροιση όλων των μηχανών μέχρι τον συνολικό αριθμό των μηχανών ($_{nME}$). Οι δείκτες $_{PTI}$ και $_{PTO}$ αναφέρονται στις περιπτώσεις ύπαρξης κινητήρα ισχύος και γεννήτριας ισχύος αντίστοιχα.

Για κάθε κύρια μηχανή η ισχύς $P_{ME(i)}$ ισούται με το 75 % της εγκατεστημένης ισχύος MCR. Για τον υπολογισμό του EEDI, η τιμή του MCR λαμβάνεται από το πιστοποιητικό EIAPP

(Engine International Air Pollution Prevention) των κύριων μηχανών και εάν δεν υπάρχει το πιστοποιητικό EIAPP, λαμβάνεται η τιμή που αναγράφεται στην ετικέτα της μηχανής. Ο Κανονισμός προδιαγράφει ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση του κινητήρα ισχύος στην ενίσχυση της προωστήριας ισχύος (Power Take In) και της γεννήτριας ισχύος στην απώλεια της προωστήριας ισχύος (Power Take Off).

Η ισχύς των βοηθητικών μηχανών P_{AE} καθορίζεται από την απαιτούμενη βοηθητική ισχύ για την παροχή του μέγιστου κανονικού φορτίου εν πλω έτσι, ώστε το πλοίο να κινηθεί με την ταχύτητα αναφοράς V_{ref}, το οποίο περιλαμβάνει την απαραίτητη ισχύ για τα μηχανήματα/συστήματα πρόωσης και τους χώρους ενδιαίτησης, π.χ. αντλίες κύριας μηχανής, συστήματα ναυσιπλοΐας και εξοπλισμός για την ανθρώπινη επιβίωση, δεν περιλαμβάνει όμως την ισχύ για μη προωστήριες εγκαταστάσεις όπως πλευρικές έλικες, αντλίες φορτίου, μηχανισμούς ανύψωσης φορτίου, αντλίες έρματος, διατήρησης φορτίου π.χ. ψυγεία και ανεμιστήρες κυτών.

Η ισχύς των βοηθητικών μηχανών P_{AE} για πλοία με κύρια μηχανή μεγαλύτερη ή ίση με 10000 kW υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{AE(MCRME\geq 10000KW)} = \left(0.025 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right) + 250$$

Για πλοία με κύρια μηχανή μικρότερη των 10000 kW, η ισχύς των βοηθητικών μηχανών P_{AE} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{AE(MCRME<10000KW)} = \left(0.05 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right)$$

Το ποσό μείωσης της μηχανικής ισχύος για την πρόωση στο 75% της ισχύος της κύριας μηχανής από την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής εξοικονόμησης αναφέρεται ως $P_{eff(i)}$. Το ποσό μείωσης της ηλεκτρικής ισχύος μετρούμενο στην τιμή $P_{ME(i)}$ από την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής εξοικονόμησης αναφέρεται ως $P_{AEeff(i)}$.

Σημειώνεται ότι, στον υπολογισμό του EEDI οι τιμές για την ταχύτητα αναφοράς Vref, την χωρητικότητα και την ισχύ πρέπει να είναι σε συμφωνία μεταξύ τους.

<u>Ειδική κατανάλωση καυσίμων (SFC)</u>

Η ειδική κατανάλωση καυσίμων (SFC) είναι η πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμων, μετρούμενη σε g/kWh. Οι δείκτες $_{ME(i)}$ και $_{AE(i)}$ αναφέρονται στην κύρια μηχανή και στις

βοηθητικές μηχανές αντίστοιχα. Η ειδική κατανάλωση καυσίμων των βοηθητικών μηχανών SFC_{AE} προκύπτει από το μέσο όρο σταθμισμένο με βάση την ισχύ των επιμέρους βοηθητικών μηχανών $SFC_{AE(i)}$.

Διορθωτικός παράγοντας f_j

Ο διορθωτικός παράγοντας f_j υπεισέρχεται για να ληφθούν υπόψη σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες των πλοίων που τα οδηγούν να εμφανίζουν πλεόνασμα στην εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης. Οι διορθωτικοί παράγοντες f_j για τα σκάφη που σχεδιάζονται για λειτουργία σε πάγο λαμβάνονται υπόψη για διάφορους τύπους πλοίων και δίδονται ως συνάρτηση του μήκους μεταξύ καθέτων L_{PP}. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο διορθωτικός παράγοντας f_j ισούται με τη μονάδα, άρα $f_{jmax} = 1$.

Παράγοντας διαθεσιμότητας f_{eff}

Στον αριθμητή της σχέσης υπολογισμού του EEDI προβλέπεται ένας παράγοντας διαθεσιμότητας $f_{eff(i)}$ για κάθε καινοτόμο τεχνολογία που εφαρμόζεται στο σκάφος, για να υπολογίσει το ποσοστό του χρόνου όπου η τεχνολογία είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της πλεύσης.

Διορθωτικός συντελεστής f_w

Ο διορθωτικός συντελεστής f_w είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μείωση της ταχύτητας σε χαρακτηριστικές καταστάσεις θάλασσας με συγκεκριμένο ύψος κύματος, συχνότητα κυματισμού και ταχύτητα ανέμου. Ο υπολογισμός του διορθωτικού συντελεστή f_w μπορεί να γίνει είτε πειραματικά για το συγκεκριμένο πλοίο, είτε να εξαχθεί από πίνακες που έχουν βασιστεί σε δεδομένα από πραγματικές μειώσεις ταχύτητας όσο το δυνατόν περισσότερων υπαρχόντων πλοίων στη χαρακτηριστική κατάσταση θάλασσας.

Διορθωτικός παράγοντας f_i

Ο διορθωτικός παράγοντας f_i υπεισέρχεται για να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί στη χωρητικότητα ενός σκάφους που προέρχονται από κανονισμούς και τεχνικές ιδιαιτερότητες. Οι διορθωτικοί παράγοντες f_i για τα σκάφη που σχεδιάζονται για λειτουργία σε πάγο λαμβάνονται υπόψη για διάφορους τύπους πλοίων και δίδονται ως συνάρτηση του μήκους μεταξύ καθέτων L_{PP}. Επίσης, για τα Bulk Carriers και τα Tankers που έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τα Common Structural Rules προβλέπεται σχέση υπολογισμού του διορθωτικού παράγοντα f_i. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο διορθωτικός παράγοντας f_i ισούται με τη μονάδα, άρα $f_{imin} = 1$.

Διορθωτικός παράγοντας f_c

Ο διορθωτικός παράγοντας f_c για τη κυβική χωρητικότητα υπεισέρχεται για να ληφθούν υπόψη μεγάλες αποκλίσεις στην κυβική χωρητικότητα των κυτών των πλοίων. Η τιμή του διορθωτικού παράγοντα f_c εξαρτάται από το λόγο του Deadweight, όπως ορίζεται παραπάνω, προς την ολική κυβική χωρητικότητα των κυτών.

4. Μεθοδολογία Υπολογισμού Γραμμών Αναφοράς του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας με έμφαση στα Ο/Γ & Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

Κατά κοινή παραδοχή, η μεθοδολογία υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) στα πλοία τύπου Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό του απαιτούμενου EEDI. Για το λόγο αυτό, σε πρώτη φάση, τα πλοία αυτά εξαιρέθηκαν από την εφαρμογή του EEDI κατά την 63^{η} Σύνοδο MEPC 63 το 2012.

Για τα πλοία αυτού του τύπου, η δυσκολία στον καθορισμό κατάλληλης γραμμής αναφοράς έγκειται στο εύρος σχεδιαστικών παραμέτρων και στην ποικιλλία των συνθηκών λειτουργίας και του υπηρεσιακού τους προφίλ, που καταλήγει σε μη ικανοποιητικό βαθμό συσχέτισης (χαμηλή τιμή συντελεστή R^2). Για παράδειγμα, κάποια Ε/Γ-Ο/Γ πλοία μεταφέρουν σχετικά λίγους επιβάτες και περισσότερο φορτίο, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν υψηλή τιμή DWT, ενώ άλλα μεταφέρουν μεγαλύτερο αριθμό επιβατών με ιδιαίτερη έμφαση στην παροχή υπηρεσιών προς τους επιβάτες, άρα σχετικά χαμηλή τιμή DWT. Και στις δύο περιπτώσεις, βέβαια, απαιτείται επαρκής όγκος, ο οποίος είναι ανάλογος της χωρητικότητας GT του πλοίου. Για το λόγο αυτό, στην περίπτωση των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων, αρχικά προτάθηκε το μέγεθος της χωρητικότητας GT ως χωρητικότητα (Capacity) αντί του Πρόσθετου Βάρους DWT. Άλλο παράδειγμα, οι τερματικοί σταθμοί αυτού του είδους πλοίων τοποθετούνται πολύ κοντά σε υποδομές ξηράς, πράγμα που με τη σειρά του θέτει γεωμετρικούς περιορισμούς σχεδίασης, κυρίως σε σχέση με το μέγιστο βύθισμα των πλοίων αυτών. Επιπλέον, ολοένα και περισσότερα τέτοιου είδους πλοία παρέχουν υπηρεσίες με πολύ στενά χρονικά όρια παράδοσης φορτίου, όπου η συχνότητα δρομολογίων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα «οφέλους προς την κοινωνία» (σε αντιστοιχία με τον αριθμητή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index - EEDI).

Από τα παραπάνω είναι εύλογο ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη σχέση ταχύτητας-ισχύος που επηρεάζει το ενεργειακό φορτίο των πλοίων αυτών.

Στις 2 Μαρτίου 2012 ο IMO υιοθέτησε την οδηγία MEPC 215(63), "*Guidelines for Calculation of Reference Lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*" που περιγράφει τον τρόπο υπολογισμού των γραμμών αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν στο Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI.

Σύμφωνα με την οδηγία MEPC 215(63), θα αναπτυχθούν γραμμές αναφοράς για όλους τους τύπους πλοίων στα οποία έχει εφαρμογή ο κανονισμός 21 της MARPOL Annex VI. Η γραμμή αναφοράς (Reference Line) ορίζεται ως μια καμπύλη που αναπαριστά μια μέση ενδεικτική τιμή, η οποία έχει προέλθει από παρεμβολή πάνω σε ένα σύνολο μεμονωμένων ενδεικτικών τιμών μιας συγκεκριμένης ομάδας πλοίων.

Οι τιμές της γραμμής αναφοράς γενικότερα ακολουθούν μια εξίσωση της μορφής:

$$a \times (\text{Capacity})^{-c}$$

Οι παράμετροι a και c προσδιορίζονται από την παρεμβολή καμπύλης εκθετικής μορφής πάνω στα σημεία της ενδεικτικής τιμής του κάθε πλοίου. Τα πλοία που απέχουν παραπάνω από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης αφαιρούνται από το δείγμα και η γραμμή αναφοράς επαναπροσδιορίζεται.

Ο τύπος υπολογισμού της Εκτιμώμενης Ενδεικτικής Τιμής (Estimated Index Value) κάθε πλοίου σύμφωνα με τη MEPC 215(63) είναι ο ακόλουθος:

$$Estimated\ Index\ Value = \frac{C_F \times (190 \times \sum P_{MEi} + 215 \times P_{AE})}{Capacity \times V_{ref}}$$

Έτσι, η Εκτιμώμενη Ενδεικτική Τιμή υπαρχόντων πλοίων αποτελεί και μια Εκτιμώμενη Τιμή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας ($EEDI_{est}$). Στη βιβλιογραφία του IMO, η παραπάνω σχέση υπολογισμού αναφέρεται και ως *Traditional* ή *Original* EEDI. Για τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς, γίνονται κάποιες παραδοχές για τον υπολογισμό της Εκτιμώμενης Ενδεικτικής Τιμής EEDI του πλοίου:

- Ο συντελεστής $C_F = C_{F,ME} = C_{F,AE}$ της εκπομπής CO_2 θεωρείται σταθερός για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές και ίσος με 3,1144 g CO_2 / g καυσίμου.
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για όλους τους τύπους πλοίων είναι σταθερή για τις κύριες μηχανές και ίση με SFC_{ME} = 190 g / kWh.
- Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ισούται προς το 75% της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος (MCR_{ME}).
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για όλους τους τύπους πλοίων είναι σταθερή για τις βοηθητικές μηχανές και ίση με SFC_{AE} = 215 g / kWh.
- Η ισχύς των βοηθητικών μηχανών P_{AE} υπολογίζεται με βάση τις παραγράφους 2.5.6.1 και 2.5.6.2 του Παραρτήματος της IMO MEPC.212(63).
- Η χωρητικότητα Capacity λαμβάνεται ίση με το 100% του Deadweight για τα υπό μελέτη πλοία τύπου Ro-Ro Cargo , ενώ για τα Ro-Ro Passenger λαμβάνεται ένα διορθωμένο DWT΄.
- Η ταχύτητα υπηρεσίας V_{ref} δίδεται σε knots και αναφέρεται σε κατάσταση πλήρους φόρτωσης, σε ήρεμη θάλασσα και στο 75% της μέγιστης ισχύος της μηχανής.
- Κανένας διορθωτικός παράγοντας δεν χρησιμοποιείται.
- Καμία εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής εξοικονόμησης δεν λαμβάνεται υπόψη στη διαμόρφωση των γραμμών αναφοράς $P_{eff} = P_{AEeff} = P_{PTI} = 0$.

Στη συνέχεια σχολιάζεται το κατά πόσο είναι εφικτή η μεταβολή των όρων που εμφανίζονται στον τύπο του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI). Ο αδιάστατος παράγοντας C_F μετατροπής της ποσότητας καυσίμων σε εκπεμπόμενο CO_2 εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε C. Παρατηρείται ότι, στα αέρια καύσιμα η τιμή αυτή είναι λιγότερη από ότι στο πετρέλαιο, άρα η χρήση αερίων καυσίμων οδηγεί σε μείωση εκπομπών. Ωστόσο, η χαμηλότερη αυτή τιμή του C_F δεν αντιστοιχεί σε απόλυτη μείωση των εκπομπών CO_2 , διότι πρέπει να συνυπολογιστεί και η θερμική απόδοση.

Η ειδική κατανάλωση καυσίμων (SFC) δε δίνει πολλές δυνατότητες μείωσης, αφού οι σύγχρονες μηχανές όλων των κατασκευαστών δουλεύουν με μεγάλο θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης.

Η χωρητικότητα εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου. Αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες εναλλακτικές προτάσεις, π.χ. με κατασκευαστική βελτιστοποίηση που οδηγεί σε μείωση του βάρους του άφορτου πλοίου, βελτιωμένη σχεδίαση εσωτερικών χώρων, κ.α.

Μείωση ισχύος μπορεί να επέλθει με υδροδυναμική βελτιστοποίηση έτσι, ώστε να μειωθεί η αντίσταση τριβής και η αντίσταση κυματισμού. Οι κύριες περιοχές που επιδέχονται βελτιστοποίησης είναι το πρωραίο και πρυμναίο τμήμα του πλοίου. Η μείωση της ταχύτητας οδηγεί προφανώς σε μείωση της ισχύος, όμως δεν πρέπει να παραβλέπεται ο πρωταγωνιστικός ρόλος της ταχύτητας στα υπό μελέτη πλοία ειδικά σε αυτά που εκτελούν βραχείς πλόες με πολύ στενά χρονικά περιθώρια στα δρομολόγια, για τα οποία το «όφελος προς την κοινωνία» αποτελεί και η ίδια η ταχύτητά τους, για την οποία άλλωστε πληρώνει ο ναυλωτής/επιβάτης. Η μείωση της ταχύτητας στα πλοία αυτά θέτει σημαντικό εμπόδιο στην αποτελεσματικότητα του ρόλου τους, επιφέροντας έμεσο αντίκτυπο σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα (αποθήκες, εργοστάσια, μονάδες συναρμολόγησης, κ.α.). Από την άλλη, η μείωση της ισχύος στα πλοία αυτού του τύπου θα δημιουργούσε κινδύνους λόγω μη επαρκούς περίσσειας ισχύος σε περιπτώσεις ελιγμών και μη επαρκούς ισχύος πρόωσης σε συγκεκριμένες περιπτώσεις θαλασσοταραχής, που μπορούν ακόμη και να οδηγήσουν σε διακοπή της λειτουργίας τους και στροφή των πελατών τους σε άλλα μέσα μεταφοράς με άμεσο επακόλουθο τελικά μεγαλύτερες εκπομπές CO_2 (Deltamarine, 2011).

Πολλά από τα υπό μελέτη πλοία, προκειμένου να έχουν ασφαλή, οικονομικά συμφέρουσα και αποδοτική λειτουργία, διαθέτουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο πλεονάζουσας εγκατεστημένης ισχύος. Ένας λόγος πηγάζει από τη λειτουργία τους σε περιοχές με διαφορετικές και εναλλασσόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως: ισχυρά θαλάσσια ρεύματα ή μετωπικοί άνεμοι σε ορισμένες διαδρομές, απαίτηση να μην παρεκκλίνουν του δρομολογίου τους, ακόμη και σε ρηχά θαλάσσια νερά όπου η ισχύς προκειμένου να διατηρηθεί η συγκεκριμένη ταχύτητα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, εκτέλεση χειμερινών πλόων, όπου οι συνθήκες παγετού ποικίλλουν ανά περιοχή και έτος. Άλλη αιτία για την επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ αποτελεί το γεγονός ότι, τα πλοία αυτού του τύπου συνήθως σχεδιάζονται με δύο άξονες, κάθε ένας από τους οποίους διαθέτει δύο μηχανές. Αυτή η διάταξη αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία των υπηρεσιών των πλοίων αυτών, επιτρέποντας επισκευή και συντήρηση ακόμη και σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, και συνάμα δίνοντας την ευχέρεια της διατήρησης της υπηρεσιακής ταχύτητας, είτε με δύο είτε με τρεις μηχανές σε λειτουργία. Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις λειτουργούν και οι τέσσερις μηχανές μαζί, συνεπώς η διάταξη αυτή δεν προάγει μεγαλύτερες εκπομπές CO_2. Εξάλλου, θέματα ασφαλείας, ειδικά σε άσχημες καιρικές συνθήκες, απαιτούν - ιδιαίτερα στο λιμάνι - άριστες ελικτικές ικανότητες, που μεταφράζεται σε επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ, η οποία όμως δεν χρησιμοποιείται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Αλλά και σε περιπτώσεις ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, τα πλοία αυτά πρέπει να επιδείξουν άριστες ελικτικές ικανότητες, ακόμη και σε μικρούς ή κυκλοφοριακά φορτισμένους λιμένες, με άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση της ισχύος βοηθητικών μηχανών, η οποία είναι άλλωστε εύλογη και λόγω των διαφορετικών επιπέδων άνεσης και πολυτέλειας που παρέχονται στους επιβάτες (Deltamarine, 2011).

Εκτός αυτών, βέβαια, υπάρχουν μια σειρά εναλλακτικών μέτρων που μπορούν να οδηγήσουν στη δραστική εξοικονόμηση καυσίμου με άμεσο αντίκτυπο στην μείωση των εκπεμπόμενων αερίων.

Για παράδειγμα, μια καλά σχεδιασμένη έλικα και σύστημα πηδαλίου μπορεί να δώσει σημαντική οικονομία καυσίμου (λ.χ. σύστημα “Costa-Bulb” , “Speed-Nozzle”, κ.α.)

Εξάλλου, η επιλογή κατάλληλων αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων συντελεί αποφασιστικά στη μείωση της αντίστασης.

Η καλλιέργεια της ευαισθητοποίησης του πληρώματος ως προς την ενεργειακή κατανάλωση εν πλω αποτελεί μια επιπλέον λύση προς αυτή την κατεύθυνση.

Δεν υπάρχει αντίρρηση ότι, η βελτιστοποίηση της σχεδίασης της γάστρας αποτελεί πάντα ένα πολύ δυναμικό πεδίο προκλήσεων για τον ναυπηγό σχεδιαστή, με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης της λειτουργίας του πλοίου.

Αναμφισβήτητα δε, η βέλτιστη επιλογή μηχανολογικής εγκατάστασης συνδυασμένη με εγκατάσταση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας, συστημάτων ανακυκλοφορίας καυσαερίων και με μια πλειάδα άλλων μέτρων ανάλογα του τύπου του πλοίου και του υπηρεσιακού του προφίλ, οδηγεί σε πλοία με βελτιωμένη απόδοση, που είναι οπωσδήποτε φιλικότερα προς το περιβάλλον

Σε κάθε περίπτωση, τα πλοία μελλοντικά είναι υποχρεωμένα να αυξήσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα τους, καθώς ο επιτευχθής Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας κάθε νέου πλοίου οφείλει να βρίσκεται κάτω ή το πολύ πάνω στην εκάστοτε γραμμή αναφοράς.

Οι γραμμές αναφοράς σε δεδομένα χρονικά διαστήματα θα πολλαπλασιάζονται με συντελεστές μείωσης με απώτερο σκοπό να ενθαρρύνεται η βελτιστοποίηση στη σχεδίαση των πλοίων και η μείωση του ενεργειακού τους αποτυπώματος.

Με έναρξη το έτος 2013, κάθε νέο πλοίο ή κάθε πλοίο που έχει υποστεί σημαντική μετασκευή και έχει ολική χωρητικότητα μεγαλύτερη από 400 GT, πρέπει να ικανοποιεί το ακόλουθο κριτήριο:

$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} = (1\text{-}x)\ \text{Reference Line Value},$$

όπου x συντελεστής μείωσης δείκτη στις διάφορες φάσεις ανάλογα με το μέγεθός του πλοίου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Συντελεστής Μείωσης x Δείκτη EEDI ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου

Τύπος Πλοίου	**Μέγεθος**	**Φάση 0 1-1-2013 έως 31-12-2014**	**Φάση 1 1-1-2015 έως 31-12-2019**	**Φάση 2 1-1-2020 έως 31-12-2024**	**Φάση 3 1-1-2025 και μετά**
Containership	>15000 DWT	0	10	20	30
	10000-15000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo Ship	>15000 DWT	0	10	15	30
	3000-15000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated Cargo Ship	>5000 DWT	0	10	15	30
	3000-15000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination Carrier	>20000 DWT	0	10	20	30
	4000-20000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Ro-Ro Cargo Ship	>2000 DWT	n/a	0	15	30
Ro-Ro Passenger Ship	>2000 DWT	n/a	0	15	30

*Ο συντελεστής μείωσης υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου, με τη μικρότερη τιμή του συντελεστή μείωσης να εφαρμόζεται στα μικρότερα πλοία.

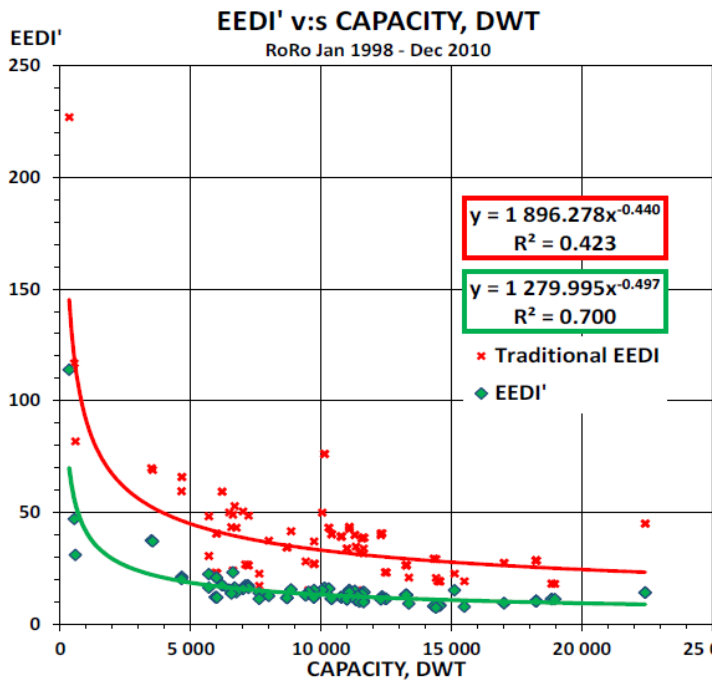
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η γραμμή αναφοράς για τα πλοία τύπου Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger δεν συμπεριλήφθηκε στη 63^{η} Σύνοδο MEPC 63 του IMO. Η μεγάλη διασπορά στο δείγμα με τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του EEDI (Traditional EEDI) οδηγούσε σε μικρούς μη αποδεκτούς συντελεστές συσχέτισης R^2.

Στην 64^{η} Σύνοδο με τη πρόταση MEPC 64/4/14 που υποβλήθηκε από τη Σουηδία, Γερμανία και την Ευρωπαϊκή Ένωση Ναυπηγείων Community of European Shipyards' Associations (CESA), για πρώτη φορά ορίστηκε γραμμή αναφοράς για τα πλοία τύπου Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger.

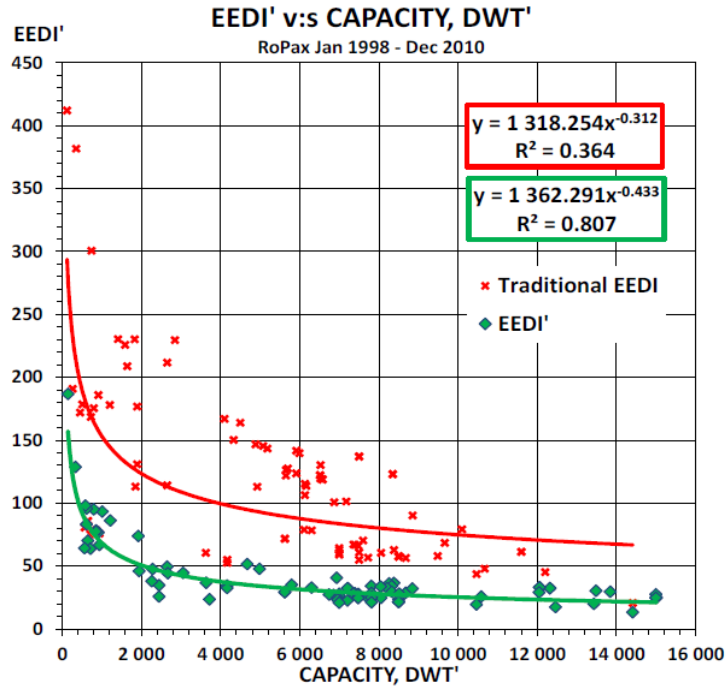
Στα παρακάτω σχήματα για τους δύο τύπους πλοίων φαίνεται η σημαντική μείωση του R^2 και η μετατόπιση προς τα κάτω της γραμμής αναφοράς σε σύγκριση με τη γραμμή αναφοράς του παραδοσιακού $EEDI_{Traditional}$.

Για τα πλοία τύπου Ro-Ro cargo, ο συντελεστής συσχέτισης αυξήθηκε από 0,423 σε 0,700.

Για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger, η βελτίωση της συσχέτισης υπήρξε ακόμα πιο έντονη, αφού ο συντελεστής R^2 από 0,364 ανέβηκε στο 0,807.



Σχήμα 4.1: Προτεινόμενη γραμμή αναφοράς για τα πλοία τύπου Ro-Ro Cargo σύμφωνα με τη MEPC 64/4/14.



Σχήμα 4.2: Προτεινόμενη γραμμή αναφοράς για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger σύμφωνα με τη MEPC 64/4/14.

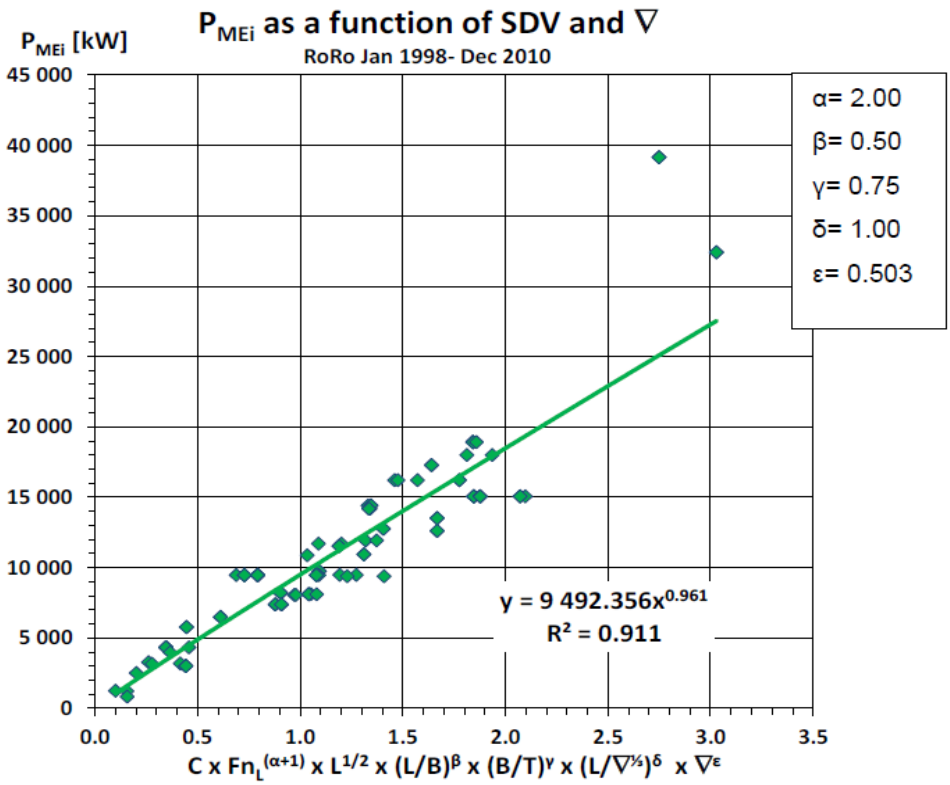
Η μεγάλη διασπορά στο διάγραμμα EEDI-DWT σύμφωνα με τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Traditional EEDI) για τα υπό μελέτη πλοία Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger, έπρεπε να αντισταθμιστεί με κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες.

Για τη μείωση της τιμής R^2 του δείγματος, στην MEPC 64/4/14 εισάγεται η σχεδιαστική μεταβλητή του πλοίου SDV που μπορεί να συναντηθεί με τις παρακάτω δύο μορφές των εξισώσεων (1) και (2).

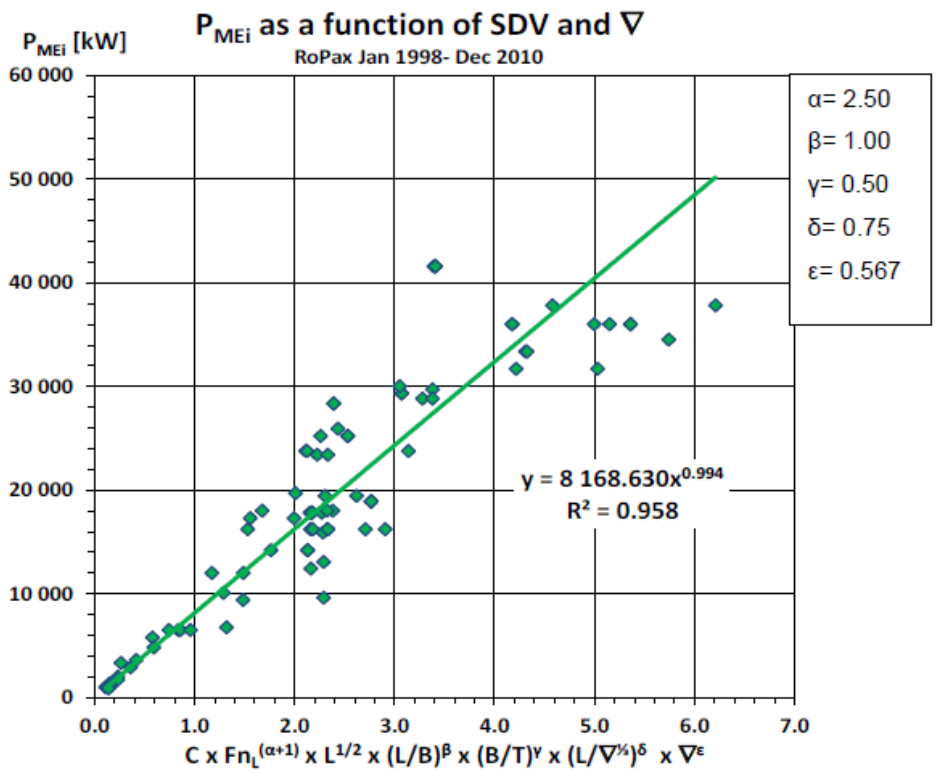
$$\mathrm{SDV_{PME}} = \mathrm{Const.} \times \mathrm{L_{PP}}^{\frac{1}{2}} \times \mathrm{Fn_L}^{(a+1)} \times \left(\frac{\mathrm{L_{PP}}}{\mathrm{B}}\right)^{\beta} \times \left(\frac{\mathrm{B}}{\mathrm{T}}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{\mathrm{L_{PP}}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \times \nabla^{\varepsilon} \quad (1)$$

$$SDV_{EEDI} = Fn_L^{\alpha} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \quad (2)$$

Η πρόταση MEPC 64/4/14 θεμελιώθηκε πάνω στην παραδοχή ότι υπάρχει γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου του πλοίου SDV_{PME}.



Σχήμα 4.3: Η γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής μεταβλητής SDV_{PME} για τα πλοία τύπου Ro-Ro Cargo σύμφωνα με την MEPC 64/4/14.



Σχήμα 4.4: Η γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής μεταβλητής SDV_{PME} για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger σύμφωνα με την MEPC 64/4/14.

Η σχεδιαστική μεταβλητή του πλοίου SDV, και στις δύο μορφές της (1) & (2), οι οποίες αναφέρονται παραπάνω, απαρτίζεται από τα παρακάτω πέντε κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη του πλοίου:

Vref = Την ταχύτητα αναφοράς του πλοίου σε κόμβους (kn),

L_{PP} = Το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου σε μέτρα (m),

B = Το πλάτος του πλοίου σε μέτρα (m),

T = Το βύθισμα στην έμφορτη ίσαλο θέρους του πλοίου σε μέτρα (m),

∇ = Τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου στο έμφορτο βύθισμα θέρους σε κυβικά μέτρα (m^3).

Στη σχεδιαστική μεταβλητή του πλοίου SDV_{EEDI} , όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μεγέθη έχουν μετατραπεί στα τέσσερα -4- παρακάτω αδιάστατα μεγέθη, τα οποία έχουν σημαντική επίδραση στο διάγραμμα ισχύος πρόωσης – ταχύτητας ενός πλοίου:

Αριθμός Froude

Ο αριθμός Froude μπορεί να οριστεί ως το αδιάστατο μέγεθος της ταχύτητας σύμφωνα με τη σχέση:

$$Fn_L = \frac{0{,}5144 \times V_S}{\sqrt{g \times L_{PP}}}$$

Όταν δύο πλοία έχουν τον ίδιο αριθμό Froude, το σχετικό μέγεθος της αντίστασης κυματισμού μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμο για τα δύο πλοία. Για πλοία που εκτελούν κοντινούς πλόες γενικότερα, και ειδικότερα στα πλοία τύπου Ro-Ro, το ποσοστό της αντίστασης κυματισμού αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ολικής αντίστασης.

Λόγος μήκους προς πλάτος (L_{PP}/B)

Ο λόγος μήκους προς πλάτος έχει σημαντική επίδραση στην αντίσταση και στις ελικτικές ικανότητες του πλοίου και πρέπει να ληφθεί υπόψη σε σχεδιάσεις με περιορισμό στο βύθισμα.

Λόγος πλάτους προς βύθισμα (B/T)

Ο λόγος πλάτους προς βύθισμα σχετίζεται με την αντίσταση κυματισμού και την αντίσταση τριβής του πλοίου. Επιπλέον, ο λόγος πλάτους προς βύθισμα έχει σημαντική επίδραση στην βρεχόμενη επιφάνεια και στον συντελεστή ομμόρου του πλοίου.

Συντελεστής λυγηρότητας ($L_{PP}/\nabla^{1/3}$)

Ο συντελεστής λυγηρότητας αναπαριστά το λόγο του μήκους του πλοίου προς την τρίτη ρίζα του βυθισμένου όγκου και αποτελεί μέτρο για το πόσο λεπτόγραμμο είναι ένα πλοίο.

Συγκρίνοντας τις (1) & (2), παρατηρείται ότι στη μεταβλητή SDV_{PME} (1) εμφανίζονται επιπλέον μια σταθερά Const., το μήκος L_{PP} και το εκτόπισμα ∇ του πλοίου στο γινόμενο σε σύγκριση με τη μεταβλητή SDV_{EEDI} (2). Μια ακόμη διαφορά είναι ο αυξημένος εκθέτης κατά μία μονάδα του αριθμού Froude στη μεταβλητή SDV_{PME} σε σχέση με τη μεταβλητή SDV_{EEDI}. Επισημαίνεται το γεγονός ότι, ο όρος $L_{PP}^{1/2} \times F_{nL}^{\alpha+1}$, όταν διαιρεθεί με την ταχύτητα που εμφανίζεται στον παρονομαστή της σχέσης υπολογισμού του EEDI, τότε απλοποιείται σε Fn_L^{α}.

Στην MEPC 64/4/14 υπεισέρχεται για πρώτη φορά ο διορθωτικός παράγοντας f_j για να ληφθούν υπόψη σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη πλοίων Ro-Ro Cargo και Ro-Ro Passenger (Ro-Pax), που τα οδηγούν στο να εμφανίζουν μεγάλη διασπορά στην εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι, ο συγκεκριμένος παράγοντας λαμβάνει τιμές μικρότερες της μονάδας, οπότε διορθώνει προς τα κάτω την εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης. Η σχέση ορισμού του διορθωτικού παράγοντα f_{jRoRo} είναι ίδια για τους δύο τύπους πλοίων και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{jRoRo} = 1/SDV_{EEDI} = 1/(Fn_L^{\alpha} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta}) \quad (3)$$

Οι εκθέτες των μεταβλητών ωστόσο είναι διαφορετικοί για τους δύο τύπους πλοίων και οι τιμές τους εμφανίζονται στον Πίνακα 4.2. Για λόγους πληρότητας εμφανίζονται και οι εκθέτες για τα Ro-Ro Passenger (Ro-Pax),όπως τροποποιήθηκαν στην πρόσφατη MEPC 65 (Μάϊος 2013). Επισημαίνεται ότι, στην ανανεωμένη πρόταση MEPC 65/4/4 δεν προτάθηκαν αλλαγές στους εκθέτες των πλοίων τύπου Ro-Ro Cargo.

Πίνακας 4.2: Εκθέτες α,β,γ,δ, και ε της Σχεδιαστικής Μεταβλητής SDV σύμφωνα με MEPC 64/4/14 & MEPC 65/4/4 για τους υπό μελέτη τύπους πλοίων

	α	**β**	**γ**	**δ**	**ε**
Ro-Ro (MEPC 64/4/14)	2,00	0,50	0,75	1,00	0,503
Ro-Pax (MEPC 64/4/14)	2,50	1,00	0,50	0,75	0,567
Ro-Pax (MEPC 65/4/4)	2,50	0,75	0,75	1,00	0,567

Η εισαγωγή του διορθωτικού παράγοντα f_{jRoRo} της συγκεκριμένης μορφής στη σχέση υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας $EEDI_{est}$, έχει σαν αποτέλεσμα να αποκτήσει η γραμμή αναφοράς την επιθυμητή εκθετική μορφή a x Cap^{-c}. Αυτό έγινε με την παραδοχή ότι το DWT είναι γραμμικώς ανάλογο του εκτοπίσματος.

Παρακάτω δίδονται οι μαθηματικές εκφράσεις των παραδοχών που έγιναν κατά την MEPC 64/4/14 έτσι, ώστε να ικανοποιηθούν οι πολιτικές πιέσεις και να καταλήξουν σε μια σχέση για τον EEDI ως συνάρτηση της επιθυμητής μορφής ως προς το Capacity.

1η παραδοχή: Γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου του πλοίου SDV_{PME}.

$$P_{ME} \leq Const. \times L_{PP}^{\frac{1}{2}} \times Fn_L^{(a+1)} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \times \nabla^{\varepsilon}$$

2η παραδοχή: Εισαγωγή του διορθωτικού παράγοντα f_{jRoRo} για τη μείωση της ισχύος της κύριας μηχανής έτσι, ώστε ταυτόχρονα να μειωθεί η διασπορά του δείγματος.

$$f_{jRoRo} = 1/(Fn_L^{\alpha} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta})$$

3η παραδοχή: Η χωρητικότητα, που σε αυτούς τους τύπους πλοίων ισούται προς 100% DWT, είναι γραμμικώς ανάλογη του όγκου εκτοπίσματος.

$$Capacity = DWT = C_1 \times \nabla$$

Η Εκτιμώμενη Τιμή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας ($EEDI_{est}$) για τα υπό μελέτη πλοία δίνεται από τη σχέση:

$$EEDI_{est} = f_{jRoRo} \times \frac{C_F \times (190 \times \sum P_{MEi} + 215 \times P_{AE})}{Capacity \times V_{ref}}$$

Στην παραπάνω σχέση μπορεί να γίνει η απλουστευτική παραδοχή ότι η κύρια μηχανή κατέχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην εκπομπή του CO_2, δηλαδή ο αριθμητής της παραπάνω παράστασης μπορεί να αντικατασταθεί από τη σχέση της 1ης παραδοχής.

Εάν αντικατασταθούν και οι τιμές του f_{jRoRo} και Capacity σύμφωνα με τη 2η και 3η παραδοχή αντίστοιχα, τότε η τιμή του EEDI παίρνει την ακόλουθη απλή μορφή:

$$EEDI = \frac{Const.' \times \nabla^{\varepsilon}}{C_1 \times \nabla} \quad ,$$

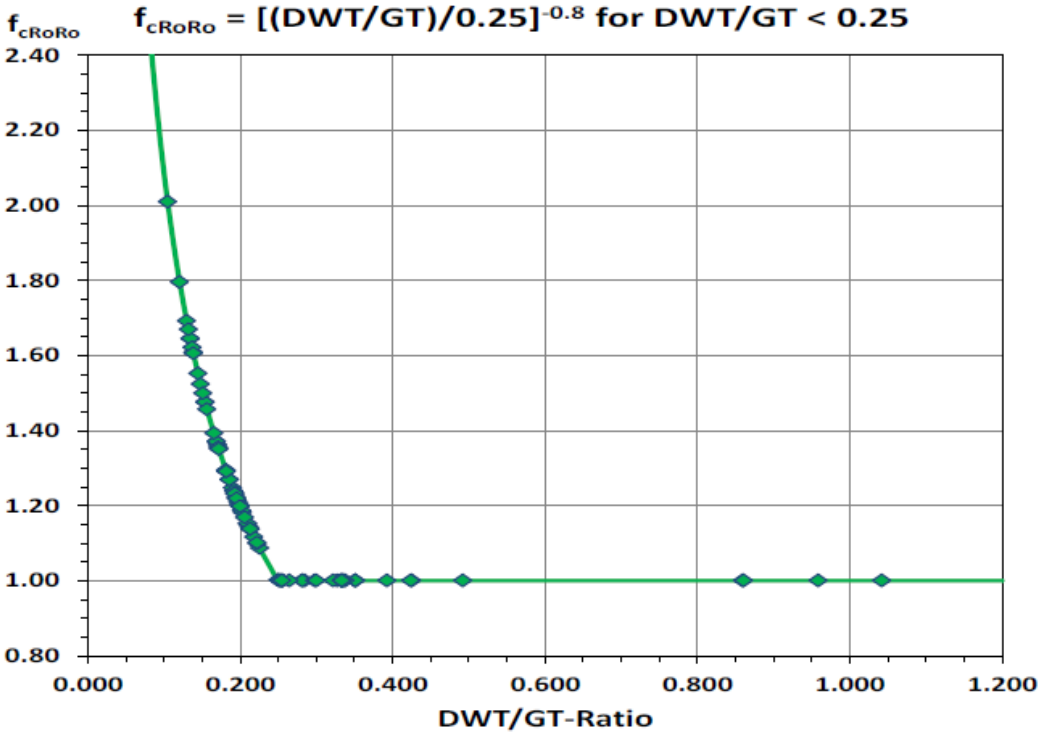
και τελικά προκύπτει:

$$EEDI = C \times \nabla^{\varepsilon - 1} \quad \sim \quad \mathrm{a} \times Capacity^{-c}.$$

Ειδικά, για τα πλοία τύπου Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Ro Passenger) εφαρμόζεται ένας επιπλέον διορθωτικός παράγοντας f_{cRoPax}. Για να ληφθούν υπόψη οι μεγάλες χωρητικότητες που εμφανίζουν τα πλοία με μεγάλους χώρους ενδιαίτησης εισάγεται ο παράγοντας f_{cRoPax} , ο οποίος λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας σύμφωνα με την παρακάτω σχέση και διορθώνει προς τα πάνω το Deadweight:

$$f_{CRoPax} = \left(\frac{\left(\frac{DWT}{GT}\right)}{0.25} \right)^{0.8}$$

Ο διορθωτικός παράγοντας f_{cRoPax} εφαρμόζεται όταν ο λόγος DWT / GT έχει τιμή μικρότερη της μέσης τιμής του συγκεκριμένου λόγου, ο οποίος για το υπό εξέταση δείγμα πλοίων Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Ro Passenger) της MEPC 64/4/14 ισούται προς 0.25 .



Σχήμα 4.5: Η εφαρμογή του διορθωτικού παράγοντα f_{cRoPax} για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger σύμφωνα με τη MEPC 64/4/14.

Με την εισαγωγή του διορθωτικού παράγοντα f_{cRoPax} , στη σχέση υπολογισμού του EEDI για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger ως Capacity λαμβάνεται το διορθωμένο Deadweight DWT'. Δηλαδή για τα πλοία που έχει εφαρμογή ο διορθωτικός παράγοντας f_{cRoPax} ισχύει ότι Capacity = f_{cRoPax} x Deadweight, ενώ για τα πλοία που δεν έχει εφαρμογή ο διορθωτικός παράγοντας f_{cRoPax} , ισχύει ότι Capacity = 100% Deadweight. Η εισαγωγή του διορθωτικού παράγοντα f_{cRoPax} ακυρώνει την πρόταση που εμφανίστηκε στη MEPC 212(63) και θεωρούσε ως Capacity την ολική χωρητικότητα Gross Tonnage για το συγκεκριμένο τύπο πλοίων.

Συνοψίζοντας, ο τύπος υπολογισμού της Εκτιμώμενης Ενδεικτικής Τιμής (Estimated Index Value) μετά την εφαρμογή της πρότασης MEPC 64/4/14 για τους δύο τύπους πλοίων δίνεται παρακάτω:

<u>Για τα πλοία τύπου Ro-Ro cargo:</u>

$$EEDI_{est} = \frac{f_{jRoRo} \times C_F \times (190 \times \sum P_{MEi} + 215 \times P_{AE})}{Capacity \times V_{ref}}$$

<u>Για τα πλοία τύπου Ro-Ro Passenger:</u>

$$EEDI_{est} = \frac{f_{jRoRo} \times C_F \times (190 \times \sum P_{MEi} + 215 \times P_{AE})}{f_{cRoPax} \times \ Capacity \times V_{ref}}$$

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, οι διορθωτικοί παράγοντες f_{jRoRo} και f_{cRoPax} λαμβάνονται υπόψη τόσο στον καθορισμό της γραμμής αναφοράς για τους συγκεκριμένους τύπους πλοίων, όσο και στον επιτευχθέντα Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας των νέων πλοίων (attained EEDI).

Οι γραμμές αναφοράς που έχουν καθοριστεί μέχρι σήμερα και πρόκειται να ενσωματωθούν στον κανονισμό 21 του παραρτήματος VI της MARPOL φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.3 : Γραμμές Αναφοράς ανά Τύπο Πλοίου

Τύπος πλοίου σύμφωνα με Κανονισμό 2 Παρατήματος VI του Κεφαλαίου 1 της MARPOL 73/78	a	Capacity	c
2.25 Bulk Carrrier	961.79	DWT του πλοίου	0.477
2.26 Gas Carrier	1120.00	DWT του πλοίου	0.456
2.27 Tanker	1218.80	DWT του πλοίου	0.488
2.28 Container Ship	174.22	DWT του πλοίου	0.201
2.29 General Cargo Ship	107.48	DWT του πλοίου	0.216
2.30 Refrigerated Cargo Carrier	227.01	DWT του πλοίου	0.244
2.31 Combination Carrier	1219.00	DWT του πλοίου	0.488
2.34 Ro-Ro Cargo Ship	1280.00	DWT του πλοίου	0.497
2.35 Ro-Ro Passenger Ship	1362.29	DWT του πλοίου	0.433

5. Παρουσίαση Στατιστικού Δείγματος Υπό Μελέτη Πλοίων

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι ακόλουθοι τύποι πλοίων, σε συμφωνία με τους Κανονισμούς 2.34 και 2.35 του Παρατήματος VI του Κεφαλαίου 1 της MARPOL 73/78 σε συνδυασμό με IMO MEPC 61/WP.10, Annex 2, Table 1:

Οχηματαγωγά Πλοία και συγκεκριμένα τα Ro-Ro Cargo Ships:

- Ro-Ro Cargo Ship, με κωδικό τύπου πλοίου κατά Statcode-5 A35A2RR: Ro-Ro Cargo Ship
- Ro-Ro Cargo Ship, με κωδικό τύπου πλοίου κατά Statcode-5 A35A2RT: Rail Vehicles Carrier

Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Πλοία και συγκεκριμένα τα Passenger Ro-Ro Cargo Ships:

- Passenger / Ro-Ro Cargo Ship (vehicles), με κωδικό τύπου πλοίου κατά Statcode-5 A36A2PR
- Passenger / Ro-Ro Cargo Ship (vehicles/rail), με κωδικό τύπου πλοίου κατά Statcode-5 A36A2PR

Τα υπό μελέτη πλοία εξάγονται με κατάλληλα ερωτήματα από τη Βάση Δεδομένων HIS Fairplay World Shipping Encyclopaedia version 12.01 για τους τύπους των υπό μελέτη πλοίων και για έτος ναυπήγησης από το 1990 μέχρι 2012. Από το αρχικό πλήθος διαθέσιμων πλοίων, τελικά λαμβάνονται για περαιτέρω επεξεργασία 154 πλοία τύπου Οχηματαγωγά Πλοία Ο/Γ (Ro-Ro Cargo Ships) και 181 πλοία τύπου Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Πλοία (Passenger / Ro-Ro Cargo Ships), για τα οποία ικανοποιούνται τα κριτήρια εφαρμογής EEDI και διαθέτουν τεχνικά στοιχεία επαρκή.

5.1 Οχηματαγωγά Ο/Γ Πλοία

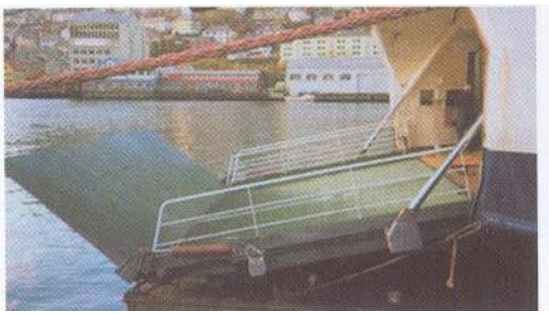
Στα Οχηματαγωγά Πλοία Ο/Γ αντιστοιχεί ο αγγλικός όρος «Ro-Ro Cargo Ships» που αποτελεί τη σύντμηση της έκφρασης «Roll-on / Roll-off» και αφορά τον τρόπο (κίνηση με ρόδες) φόρτωσης και εκφόρτωσης του φορτίου επί του πλοίου (DTU, 2002). Κάποια από αυτά σχεδιάζονται για μεταφορά βαρέων φορτίων και κάποια άλλα για μεταφορά ελαφρύτερων φορτίων, τα οποία όμως καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και συνεπώς ο λόγος DWT/V_{cargo} ποικίλλει. Στην 62^{η} Σύνοδο IMO MEPC συμφωνήθηκε να διαχωριστούν τα πλοία αυτά σε Ro-Ro Cargo Ships (Vehicles Carriers), τα οποία σχεδιάζονται για τη μεταφορά Ι.Χ. φορτηγών και δεν εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, και σε Ro-Ro Cargo Ships που σχεδιάζονται για τη μεταφορά φορτίου «Roll-on / Roll-off» σύμφωνα με τον Κανονισμό 2.34 του Παρατήματος VI του Κεφαλαίου Ι της MARPOL (βλ. MEPC 203(62).

Στα πλοία αυτά, για τη διευκόλυνση της φορτω-εκφόρτωσης χρησιμοποιούνται ειδικές πόρτες και ράμπες, οι οποίες όχι μόνο καθιστούν πιο γρήγορη τη φόρτωση / εκφόρτωση,

αλλά επιπλέον την ανεξαρτητοποιούν από τις λιμενικές υποδομές. Οι ράμπες έχουν γενικά υψηλές απαιτήσεις σε κόπωση, αντοχή, κλείσιμο, στεγανότητα και ασφάλεια. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι εξ' αυτών ενδεικτικά φαίνονται παρακάτω (Van Dokkum, 2003) :

Σχήμα 5.1: Ράμπα «*Quarter Ramp*»

Σχήμα 5.2: Συνδυασμός Πρυμναίας Πόρτας και Ράμπας

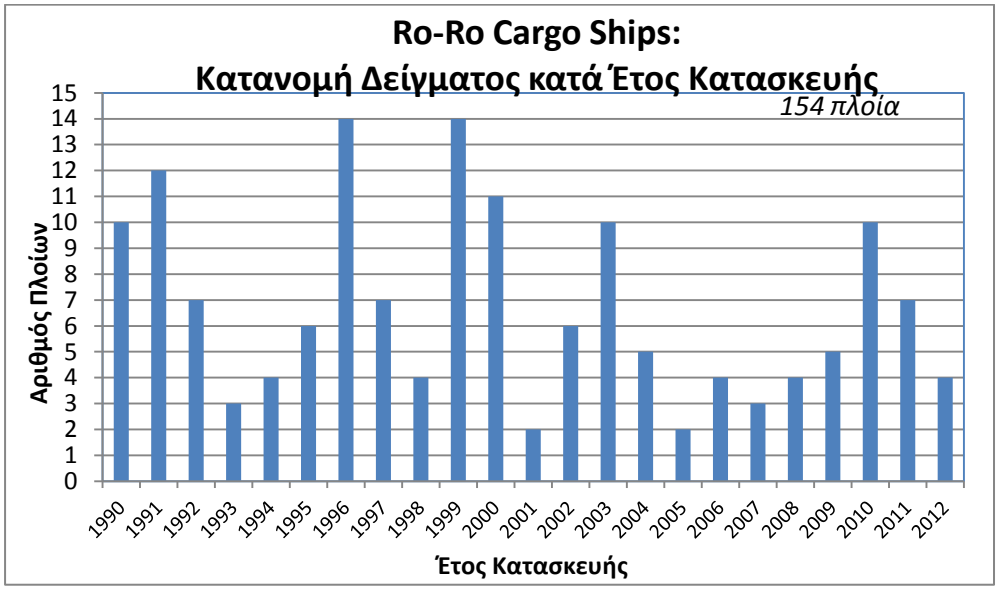


Σχήμα 5.3: Ράμπα με πτερύγιο

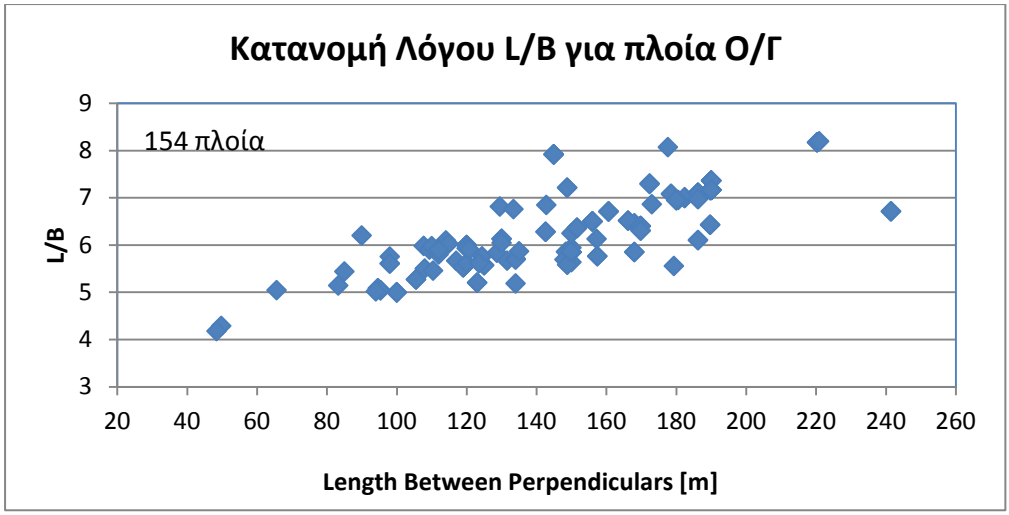
Σχήμα 5.4: Πλοίο με «*Quarter Ramp*» στην πρύμνη και Ευθεία Ράμπα (Straight Ramp) στο Πλάι

Αναμφισβήτητα, τα Οχηματαγωγά Πλοία Ο/Γ (Ro-Ro Cargo Ships) αποτελούν έναν από τους πιο πετυχημένους τύπους πλοίων που λειτουργούν στις μέρες μας. Χάρη στην ευελιξία τους και στην ικανότητά τους να ενσωματώνονται εντός των άλλων μεταφορικών μέσων και ταχυτήτων λειτουργίας, έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλείς σε πολλές θαλάσσιες διαδρομές.

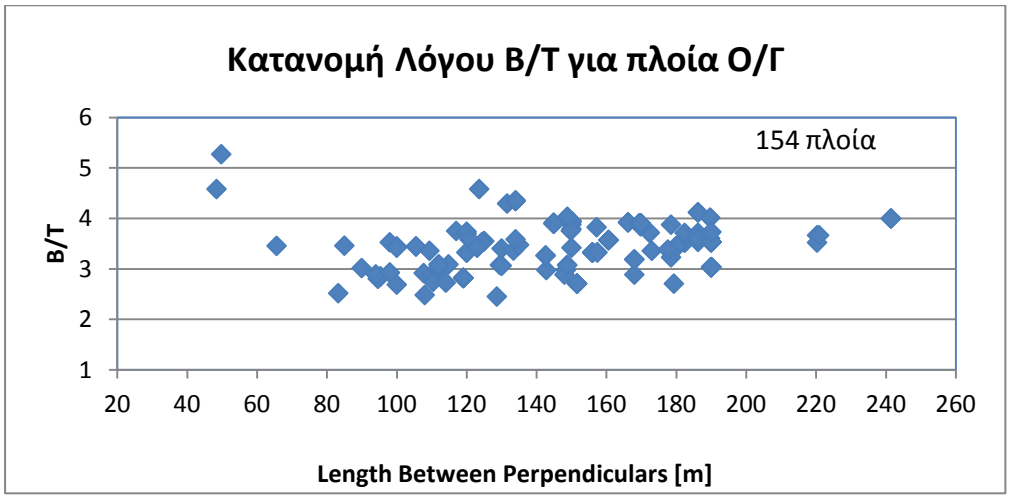
Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορα διαγράμματα σχετικά με την κατανομή τεχνικών μεγεθών των 154 πλοίων του δείγματος.



Σχήμα 5.5: Κατανομή Δείγματος ανά Έτος Κατασκευής (Ro-Ro Cargo Ships)

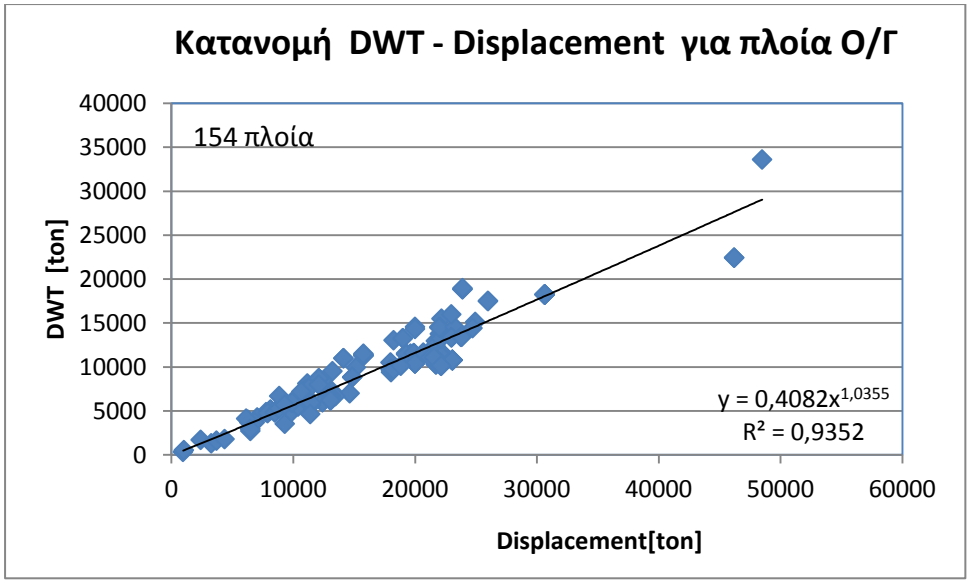


Σχήμα 5.6: Κατανομή Λόγου Μήκους Μεταξύ Καθέτων προς Πλάτους ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)

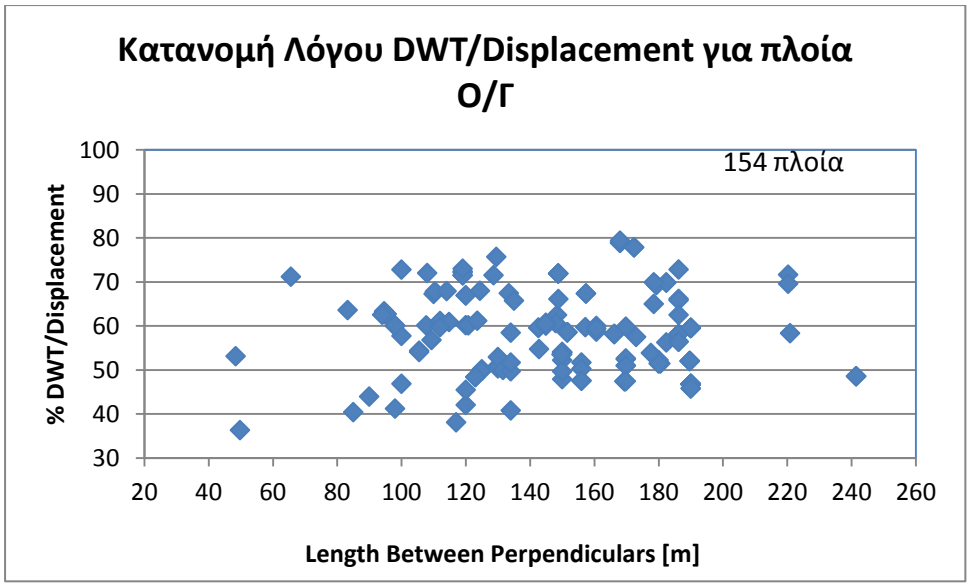


Σχήμα 5.7: Κατανομή Λόγου Πλάτους προς Βύθισμα ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)

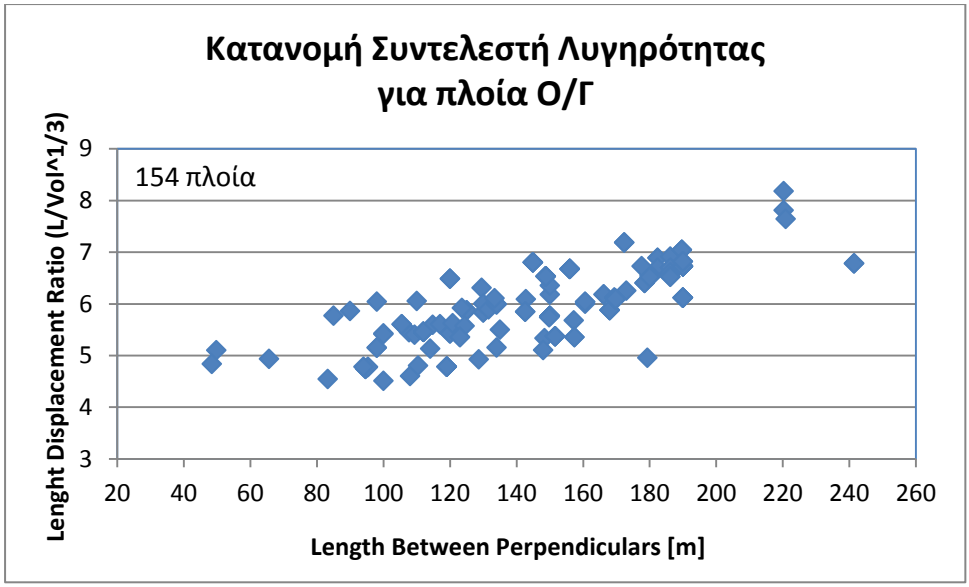
Στο παρακάτω διάγραμμα του Σχήματος 5.8 επαληθεύεται με καλή αξιοπιστία (R^2=0.94) η γραμμική εξάρτηση DWT-Εκτοπίσματος και στα πλοία του δείγματος της συγκεκριμένης μελέτης, η οποία αποτελεί μια από τις παραδοχές της πρότασης MEPC 64/4/14.



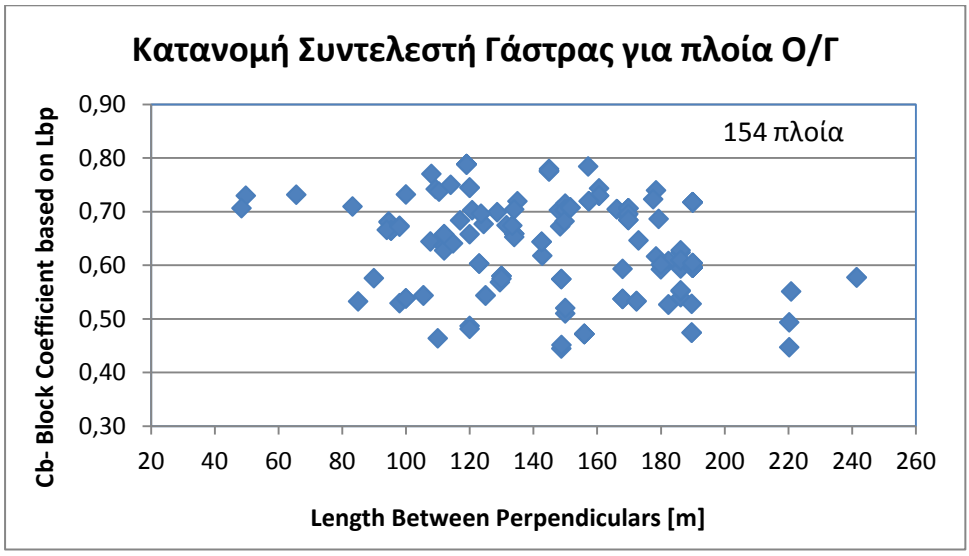
Σχήμα 5.8: Κατανομή DWT ως προς Εκτόπισμα (Ro-Ro Cargo Ships)



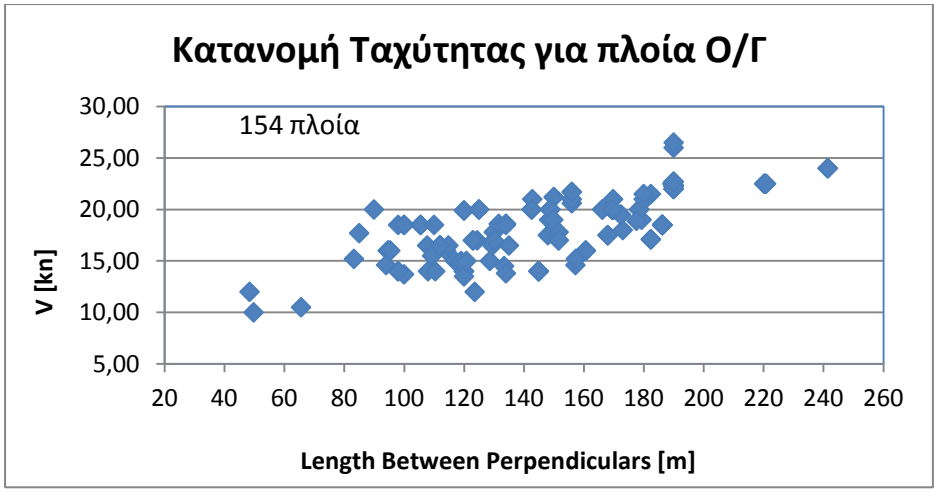
Σχήμα 5.9: Κατανομή Λόγου DWT προς Εκτόπισμα σε ποσοστό % ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)



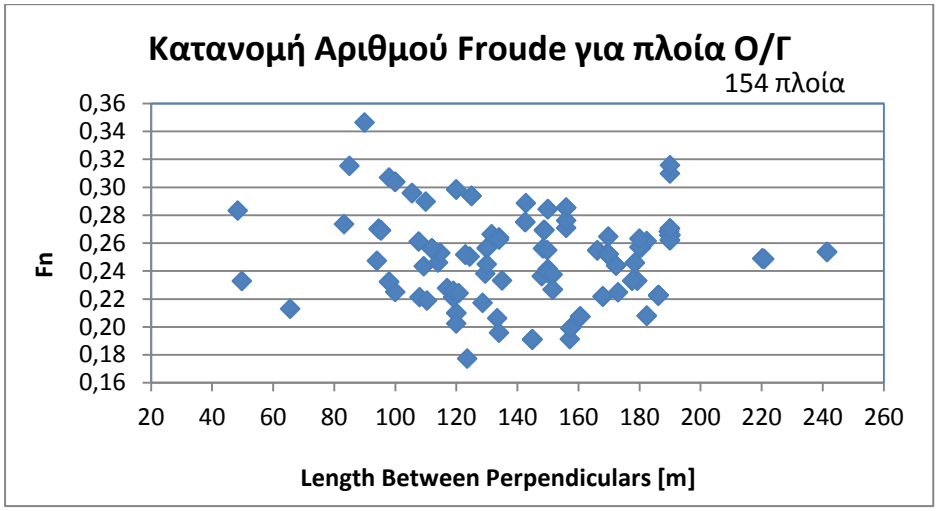
Σχήμα 5.10: Κατανομή Συντελεστή Λυγηρότητας ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)



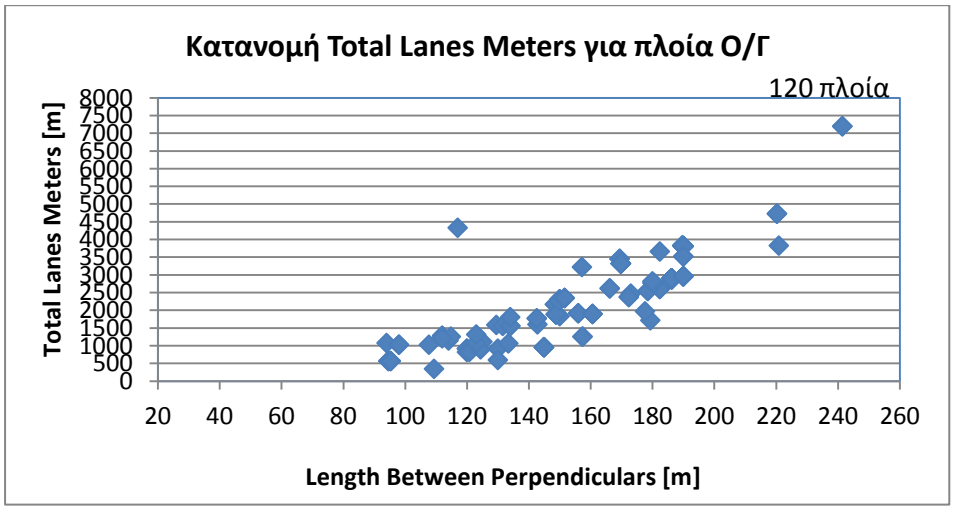
Σχήμα 5.11: Κατανομή Συντελεστή Γάστρας C_b ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)



Σχήμα 5.12: Κατανομή Ταχύτητας ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)



Σχήμα 5.13: Κατανομή Αριθμού Froude ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)

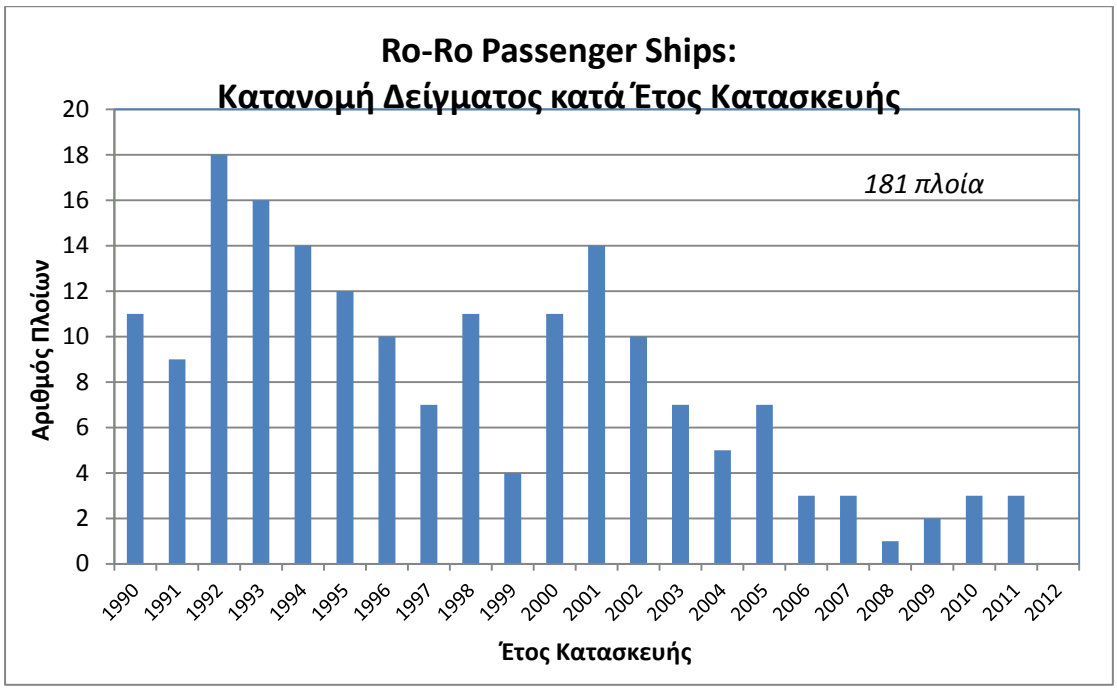


Σχήμα 5.14: Κατανομή Ολικών Λωρίδων Ι.Χ. ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Cargo Ships)

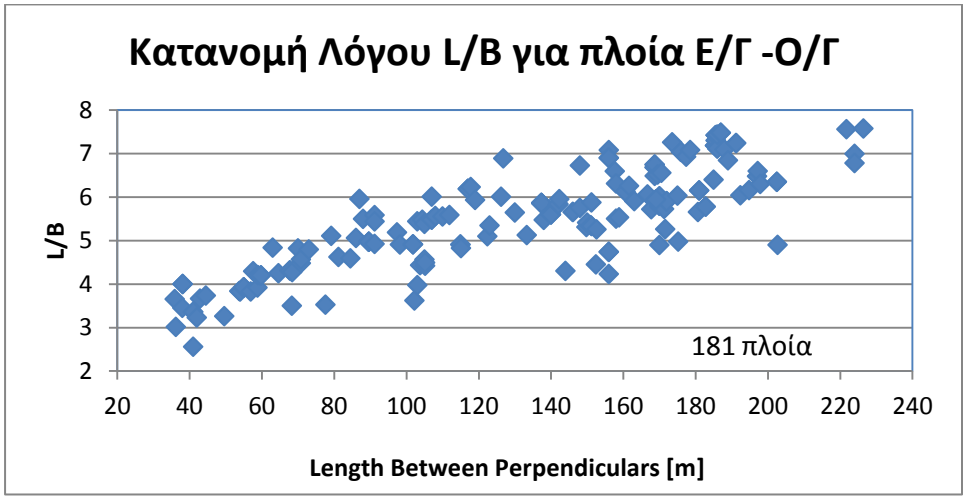
5.2 Επιβατηγά / Οχηματαγωγά Ε/Γ -Ο/Γ Πλοία

Το Επιβατηγό / Οχηματαγωγό Πλοίο είναι το επιβατηγό πλοίο με χώρους για φορτίο ro-ro, σύμφωνα με τις τροποποιήσεις του Κεφαλαίου II-1 της Διεθνούς Σύμβασης International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) 1974, αλλά και με τον Κανονισμό 2.35 του Παρατήματος VI του Κεφαλαίου I της MARPOL.

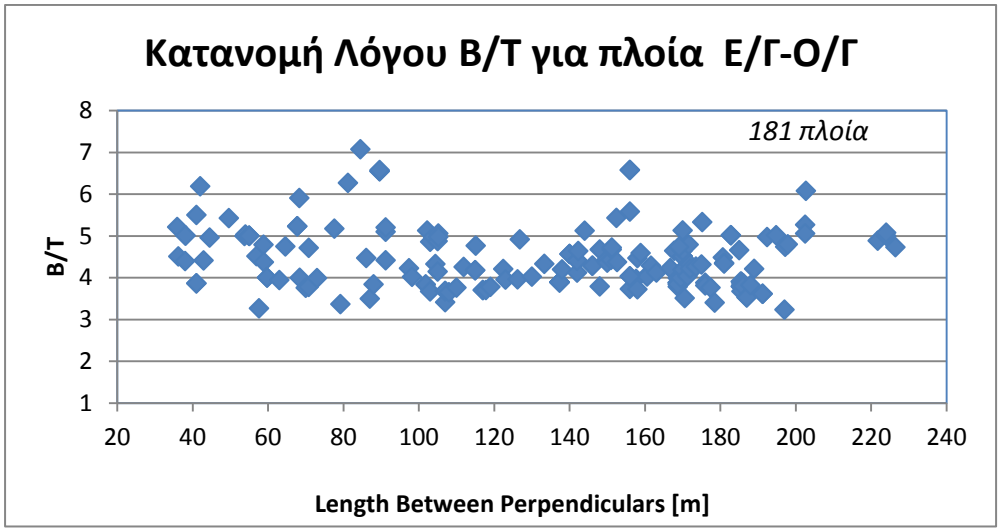
Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορα διαγράμματα σχετικά με την κατανομή τεχνικών μεγεθών των 181 πλοίων του δείγματος.



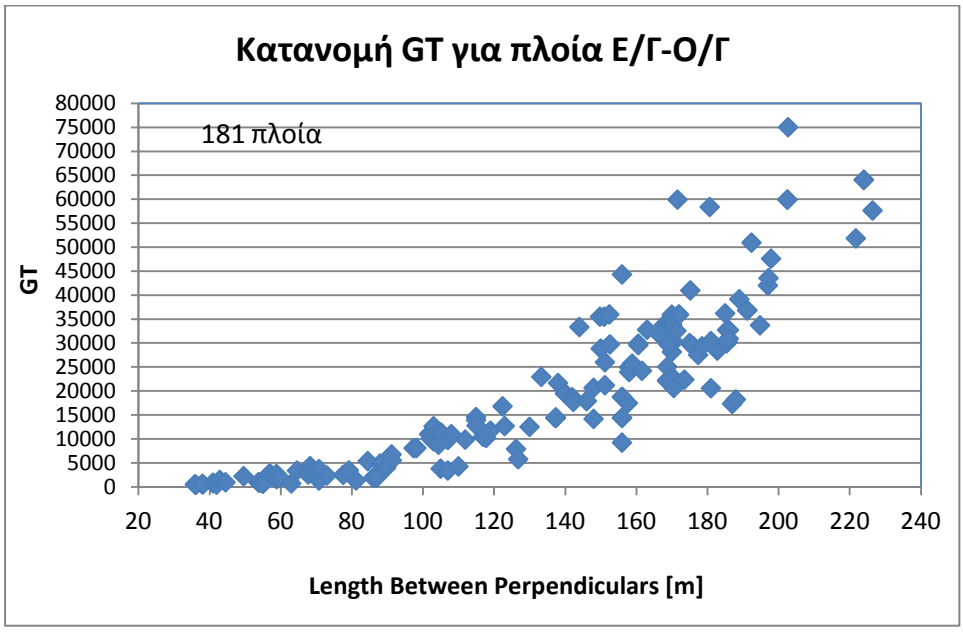
Σχήμα 5.15: Κατανομή Δείγματος ανά Έτος Κατασκευής (Ro-Ro Passenger Ships)



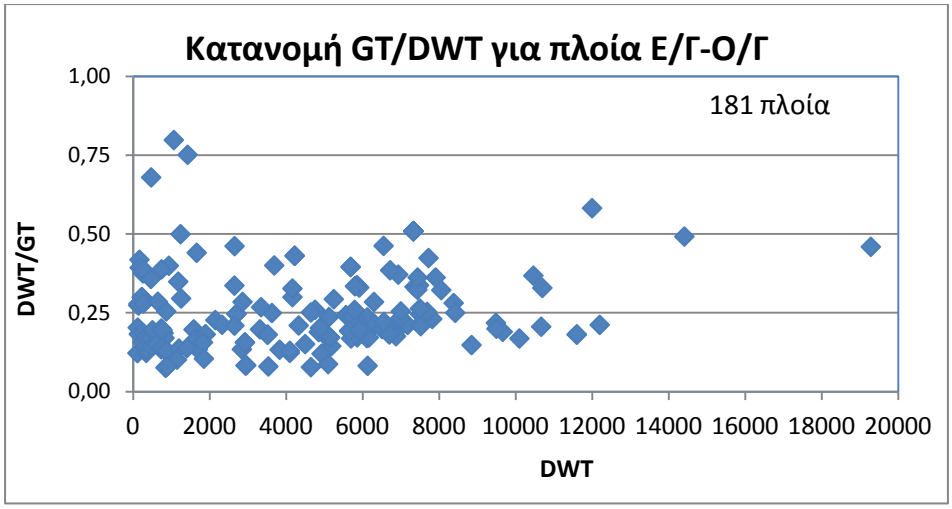
Σχήμα 5.16: Κατανομή Λόγου Μήκους Μεταξύ Καθέτων προς Πλάτους ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



Σχήμα 5.17: Κατανομή Λόγου Πλάτους προς Βύθισμα ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)

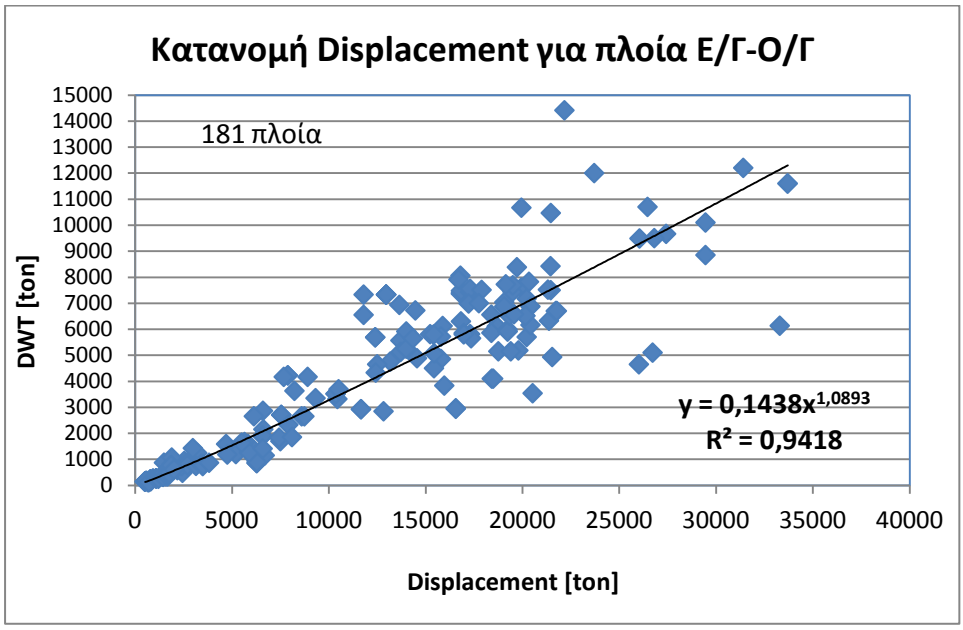


Σχήμα 5.18: Κατανομή Ολικής Χωρητικότητας GT ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)

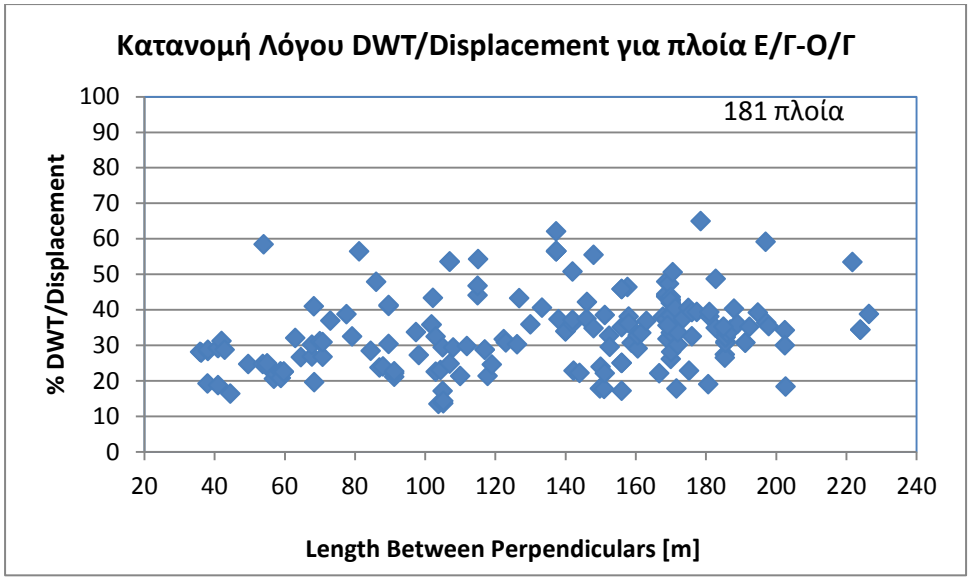


Σχήμα 5.19: Κατανομή Λόγου DWT προς Ολική Χωρητικότητα GT ως προς DWT (Ro-Ro Passenger Ships)

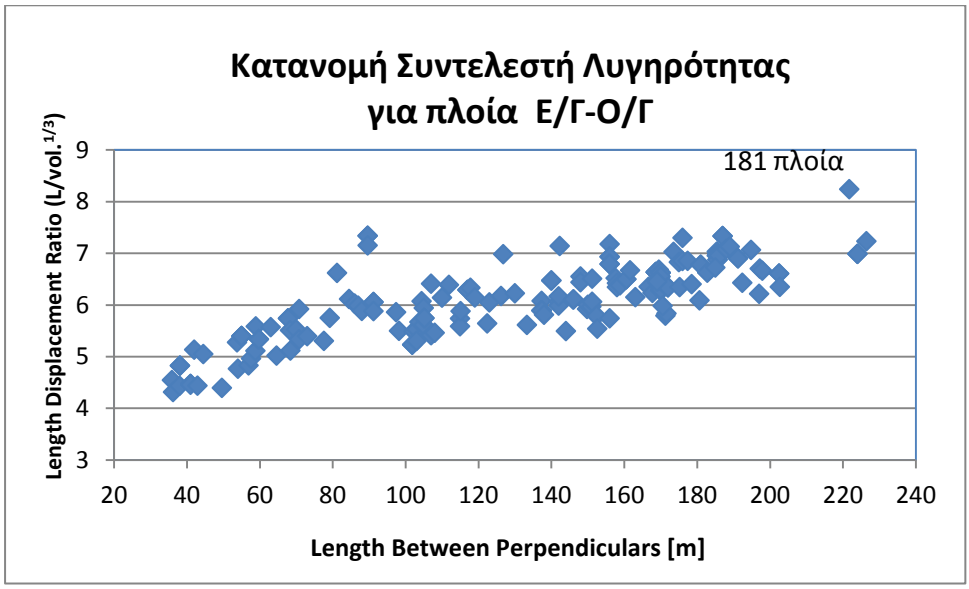
Στο παρακάτω διάγραμμα του Σχήματος 5.20 επαληθεύεται με καλή αξιοπιστία (R^2=0.94) η γραμμική εξάρτηση DWT-Εκτοπίσματος πλοίων δείγματος, πάνω στην οποία θεμελιώνεται η παραδοχή της πρότασης MEPC 64/4/14 (συντελεστής *ε*).



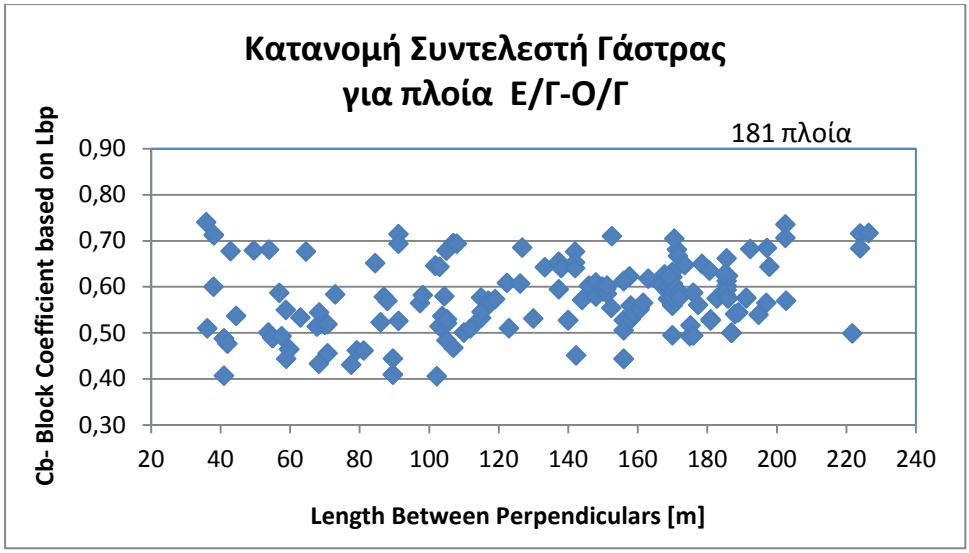
Σχήμα 5.20: Κατανομή DWT ως προς Εκτόπισμα (Ro-Ro Passenger Ships)



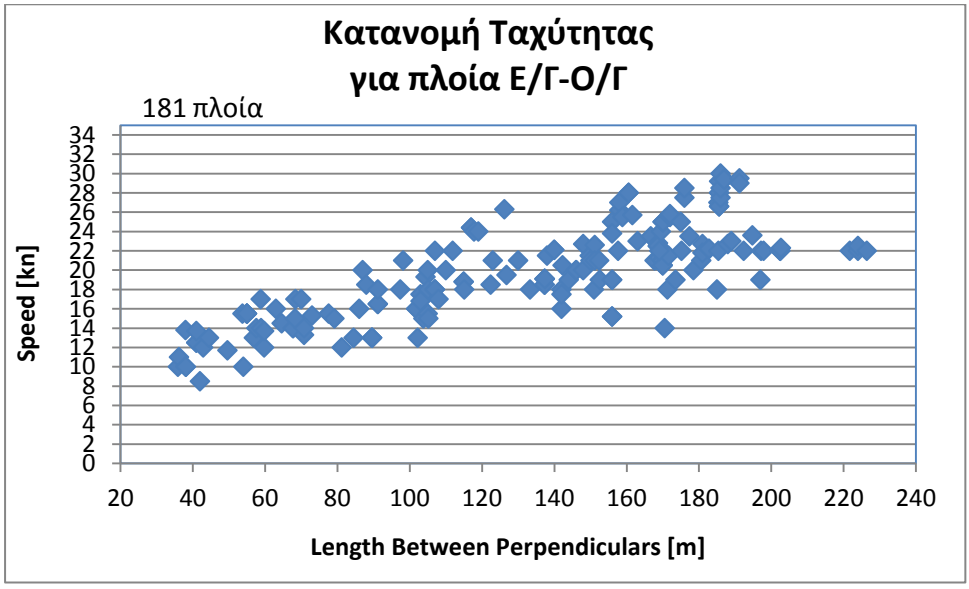
Σχήμα 5.21: Κατανομή Λόγου DWT προς Εκτόπισμα σε ποσοστό % ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



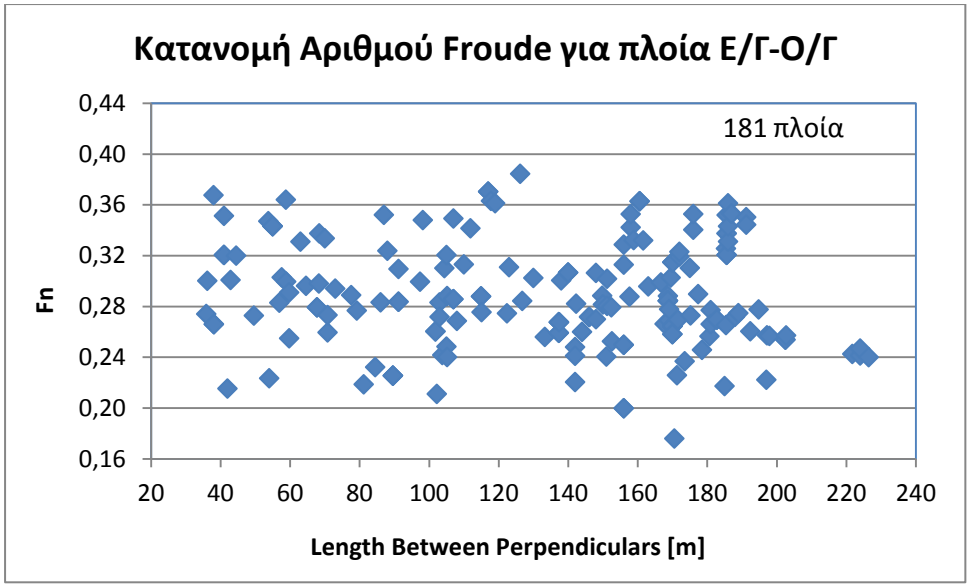
Σχήμα 5.22: Κατανομή Συντελεστή Λυγηρότητας ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



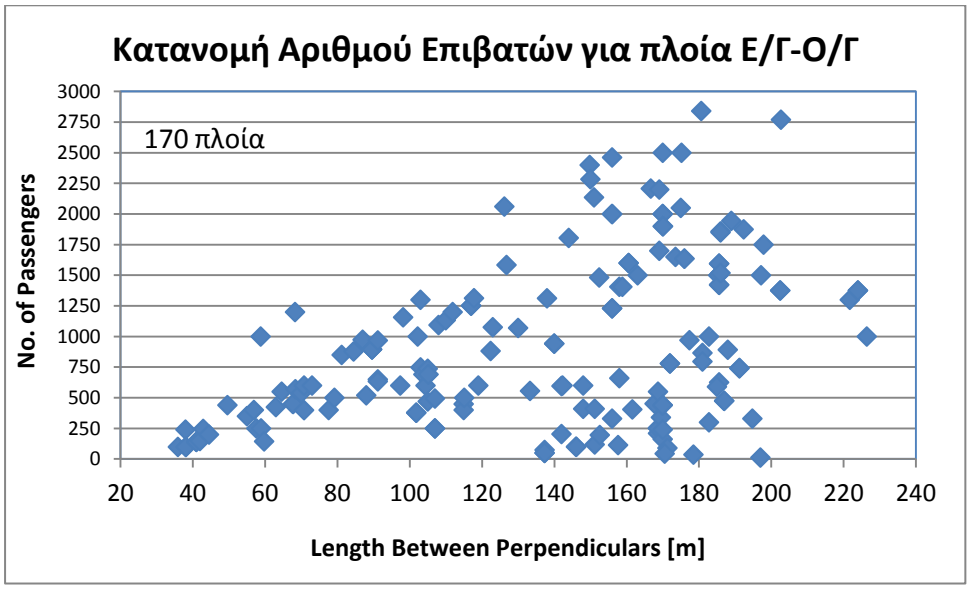
Σχήμα 5.23: Κατανομή Συντελεστή Γάστρας C_b ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



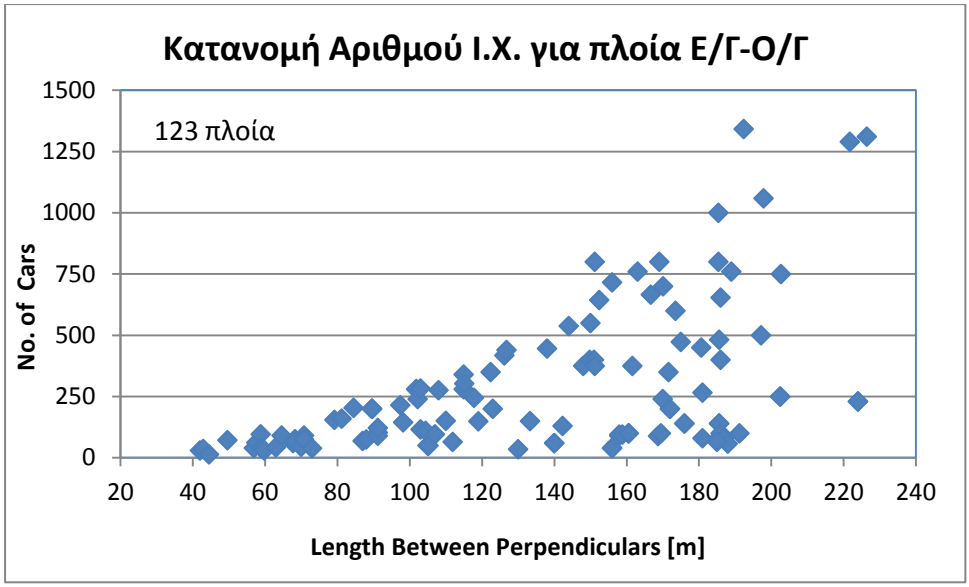
Σχήμα 5.24: Κατανομή Ταχύτητας ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



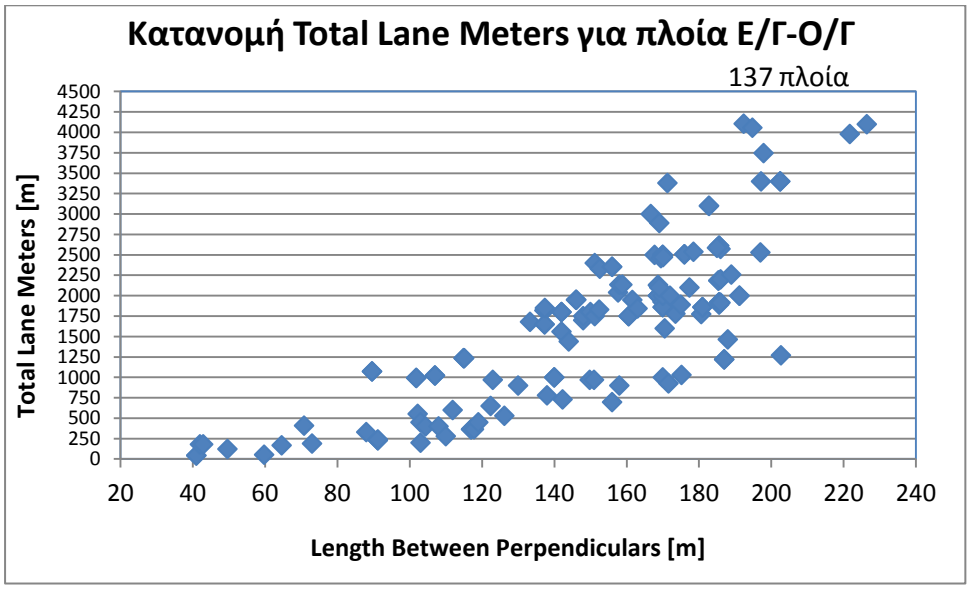
Σχήμα 5.25: Κατανομή Αριθμού Froude ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



Σχήμα 5.26: Κατανομή Αριθμού Επιβατών ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



Σχήμα 5.27: Κατανομή Αριθμού Ι.Χ. ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)



Σχήμα 5.28: Κατανομή Ολικών Μέτρων Λωρίδων Ι.Χ. ως προς το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (Ro-Ro Passenger Ships)

6. Διερεύνηση Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας Energy Efficiency Design Index (EEDI) για Οχηματαγωγά Ο/Γ & Επιβατηγά – Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

6.1 Μεθοδολογία

Η μεγάλη διασπορά στο διάγραμμα EEDI-DWT του παραδοσιακού Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας $EEDI_{trad}$ για τα πλοία Ro-Ro και Ro-Pax αντισταθμίστηκε με την εύρεση γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της σχεδιαστικής μεταβλητής του πλοίου SDV_{PME} και της ισχύος P_{ME} της κύριας μηχανής που ισούται με το 75 % της MCR. Η σχεδιαστική μεταβλητή του πλοίου SDV_{PME} που προτάθηκε από τους Σουηδούς στη MEPC 64 εκφράζεται ως γινόμενο χαρακτηριστικών μεγεθών και αδιάστατων παραμέτρων του πλοίου. Με πράξεις στους εκθέτες των μεταβλητών, όπως εμφανίζεται λεπτομερώς παρακάτω, η σχεδιαστική μεταβλητή του πλοίου SDV_{PME} αναλύεται σε γινόμενο πέντε κύριων χαρακτηριστικών μεγεθών του πλοίου ως εξής:

$$SDV_{PME} \approx L_{PP}^{\frac{1}{2}} \times Fn_L^{(\alpha+1)} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \times \nabla^{\varepsilon} =$$

$$= L_{PP}^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{V}{(g \times L_{PP})^{\frac{1}{2}}}\right)^{(\alpha+1)} \times \left(\frac{L_{PP}}{B}\right)^{\beta} \times \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \times \left(\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \times \nabla^{\varepsilon} =$$

$$= L_{PP}^{\frac{1}{2}} \times L_{PP}^{-\frac{1}{2}} \times V^{(\alpha+1)} \times L_{PP}^{-\frac{\alpha}{2}} \times L_{PP}^{\beta} \times B^{-\beta} \times B^{\gamma} \times T^{-\gamma} \times L_{PP}^{\delta} \times \nabla^{-\frac{\delta}{3}} \times \nabla^{\varepsilon} =$$

$$= V^{(\alpha+1)} \times L_{PP}^{-\frac{\alpha}{2}+\beta+\delta} \times B^{-\beta+\gamma} \times T^{-\gamma} \times \nabla^{-\frac{\delta}{3}+\varepsilon}$$

Οπότε, σύμφωνα με την MEPC 64, η ισχύς P_{ME} της κύριας μηχανής μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από το γινόμενο πέντε χαρακτηριστικών μεγεθών του πλοίου σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{ME} = Const. \times V^{(\alpha+1)} \times L_{PP}^{-\frac{\alpha}{2}+\beta+\delta} \times B^{-\beta+\gamma} \times T^{-\gamma} \times \nabla^{-\frac{\delta}{3}+\varepsilon}$$

Ο υπολογισμός των εκθετών στο δεύτερο μέλος της παραπάνω εξίσωσης είναι δύσκολος, αφού πρόκειται για γινόμενο πέντε μεταβλητών.

Ωστόσο, η παραπάνω δυσκολία μπορεί να αρθεί μέσω της παρακάτω προσέγγισης:

Με τη βοήθεια της μεθόδου Holtrop , γίνεται ο υπολογισμός της ισχύος της κύριας μηχανής μέσω του καθορισμού της τιμής διαφόρων μεταβλητών. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο Holtrop και κρατώντας σταθερές τις τέσσερις από τις πέντε μεταβλητές της παραπάνω σχέσης, τότε

πρακτικά ο υπολογισμός της ισχύος P_{ME} της κύριας μηχανής ανάγεται σε πρόβλημα μιας μεταβλητής, αφού οι υπόλοιπες μεταβλητές μπορούν να αντικατασταθούν από μία σταθερά.

Στην περίπτωση της μιας μεταβλητής, ο εκθέτης της μεταβλητής μπορεί να προσεγγιστεί μέσω του ορισμού της παραγώγου, η οποία ισούται με την κλίση της συνάρτησης για πολύ μικρές μεταβολές της x μεταβλητής.

Έστω, ότι κρατάμε σταθερό το μήκος L_{pp}, το πλάτος B, το βύθισμα T και τον όγκο ∇ του πλοίου, τότε η ισχύς για μεμονωμένες μεταβολές της ταχύτητας μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$P_{ME} = Const.' \times \mathrm{V}^{(\alpha+1)}$$

Ο εκθέτης της μεταβλητής της ταχύτητας, δηλαδή το (α+1) μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση:

$$(a+1) = P'_{ME} \times \frac{\mathrm{V}_0}{P_{ME_0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta V} \times \frac{\mathrm{V}_0}{P_{ME_0}} \text{ , όταν το } \Delta V \rightarrow 0.$$

Για την εύρεση των υπολοίπων εκθετών, παραμένουν σταθερά τα αντίστοιχα τέσσερα από τα πέντε χαρακτηριστικά μεγέθη και προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\left(-\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta\right) = P'_{ME} \times \frac{L_{PP0}}{P_{ME_0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta L_{PP}} \times \frac{\mathrm{L}_{PP0}}{P_{ME_0}} \text{ , όταν το } \Delta L_{PP} \rightarrow 0.$$

$$(-\beta + \gamma) = P'_{ME} \times \frac{B_0}{P_{ME_0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta B} \times \frac{B_0}{P_{ME_0}} \text{ , όταν το } \Delta B \rightarrow 0.$$

$$-\gamma = P'_{ME} \times \frac{\mathrm{T}_0}{P_{ME_0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta T} \times \frac{T_0}{P_{ME_0}} \text{ , όταν το } \Delta T \rightarrow 0.$$

$$\left(-\frac{\delta}{3} + \varepsilon\right) = P'_{ME} \times \frac{\nabla_0}{P_{ME_0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta \nabla} \times \frac{\nabla_0}{P_{ME_0}} \text{ , όταν το } \Delta \nabla \rightarrow 0.$$

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, είναι αντίστοιχη της μεθόδου Normand για τον υπολογισμό του εκτοπίσματος Δ με βάση την εξίσωση εκτοπίσματος (Παπανικολάου, 2009). Όπως και στη Μέθοδο Normand, έτσι και σε αυτή την περίπτωση, η ακρίβεια των υπολογισμών εξαρτάται από την αξιοπιστία της υπόθεσης ότι οι εκθέτες είναι ανεξάρτητοι από την ισχύ της κύριας μηχανής και των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών. Όπως και στη μέθοδο Normand, η υπόθεση αυτή ισχύει μόνο για μικρές μεταβολές.

Η μεταβολή της ισχύος της κύριας μηχανής ΔP_{ME} που εμφανίζεται στις παραπάνω σχέσεις υπολογίζεται με τη βοήθεια της μεθόδου Holtrop, εφαρμόζοντας μικρές μεταβολές στην εκάστοτε σχεδιαστική παράμετρο.

Στις παραπάνω σχέσεις εμφανίζεται ένα πατρικό πλοίο αναφοράς με βάση το οποίο θα υπολογιστούν οι εκθέτες, που αντιστοιχούν στα πέντε χαρακτηριστικά μεγέθη V_0, L_{PP0}, B_0, T_0 και ∇_0 , καθώς και την ισχύ κύριας μηχανής P_{ME0} ,.

Γενικότερα, πρέπει να υπάρχει ένα πατρικό πλοίο αναφοράς πάνω στο οποίο θα γίνουν όλες οι μεμονωμένες μεταβολές των μεγεθών. Το πλοίο αναφοράς επιλέγεται τέτοιο, ώστε να προσδιορίζεται από τις μέσες τιμές των πέντε χαρακτηριστικών μεγεθών του συνόλου των πλοίων που απαρτίζουν το υπό μελέτη στατιστικό δείγμα. Ειδικά για το μέσο όγκο εκτοπίσματος ∇ αναφέρεται ότι, ο υπολογισμός του έγινε με τη βοήθεια του μέσου συντελεστή γάστρας C_B. Δηλαδή, ο μέσος συντελεστής γάστρας C_B πολλαπλασιάστηκε με το μέσο μήκος, πλάτος και βύθισμα για να υπολογιστεί ο μέσος όγκος εκτοπίσματος ∇. Αυτό έγινε γιατί θεωρήθηκε ότι ο μέσος συντελεστής γάστρας C_B αντιπροσωπεύει καλύτερα τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του πλοίου σε σχέση με το μέσο όγκο εκτοπίσματος. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκε από το δείγμα πλοίων για τα Ro-Ro και τα Ro-Pax, ένα *Μέσο Πλοίο Υπολογισμών*, αντιπροσωπευτικό της κάθε κατηγορίας πλοίων.

Πίνακας 6.1: Διαστάσεις Μέσων Πλοίων Δείγματος Ο/Γ & Ε/Γ-Ο/Γ

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών	Ro-Ro	Ro-Pax
L_{PP} [m]	148.54	132.80
B [m]	23.40	23.29
T [m]	6.85	5.34
V[kn]	18.33	19.79
C_B	0.640	0.576
∇ [m^3]	15238.00	9519.91
Δ [ton]	15618.95	9757.90

Στο Παράρτημα ΙΙ εμφανίζονται οι μεμονωμένες μικρές μεταβολές των χαρακτηριστικών μεγεθών και οι υπολογισμοί των αντίστοιχων εκθετών.

Στο αμέσως επόμενο βήμα, υπολογίστηκαν οι εκθέτες α, β, γ, δ και ε που εμφανίζονται στις δύο μορφές της σχεδιαστικής μεταβλητής του πλοίου SDV για τους δύο τύπους πλοίων και εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.2: Εκθέτες Σχεδιαστικής Μεταβλητής SDV (Μη-Γραμμική Προσέγγιση)

	α	**β**	**γ**	**δ**	**ε**
Ro-Ro Cargo	2,80	1,89	1,26	-1,84	0,93
Ro-Ro Passenger	2,79	1,97	1,40	-2,07	0,93

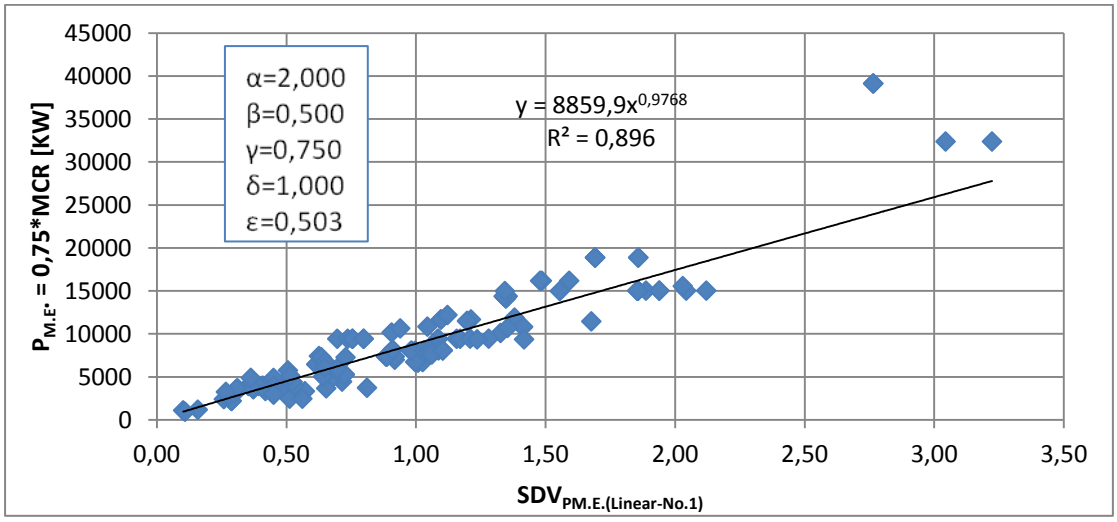
Ο υπολογισμός των εκθετών α, β, γ, δ και ε του επόμενου Πίνακα 6.3 έγινε για να βρεθεί μια νέα γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου του πλοίου SDV_{PME} στους συγκεκριμένους τύπους πλοίων, όπου οι εκθέτες να είναι εναρμονισμένοι και κοντά στις τιμές που προέκυψαν σύμφωνα με την ορθολογική θεώρηση της Μη-Γραμμικής Προσέγγισης.

Πίνακας 6.3: Εκθέτες Σχεδιαστικής Μεταβλητής SDV (Γραμμική Προσέγγιση No.2)

	α	**β**	**γ**	**δ**	**ε**
Ro-Ro Cargo	2,000	2,000	1,500	-1,000	0,503
Ro-Ro Passenger	2,000	2,000	1,500	-1,000	0,567

6.2 Οχηματαγωγά Ο/Γ Πλοία

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου του πλοίου SDV_{PME}, οι εκθέτες α, β, γ, δ, και ε που προτάθηκαν στην MEPC 64/4/14 για τα Ο/Γ πλοία εφαρμόζονται στα υπό μελέτη πλοία.



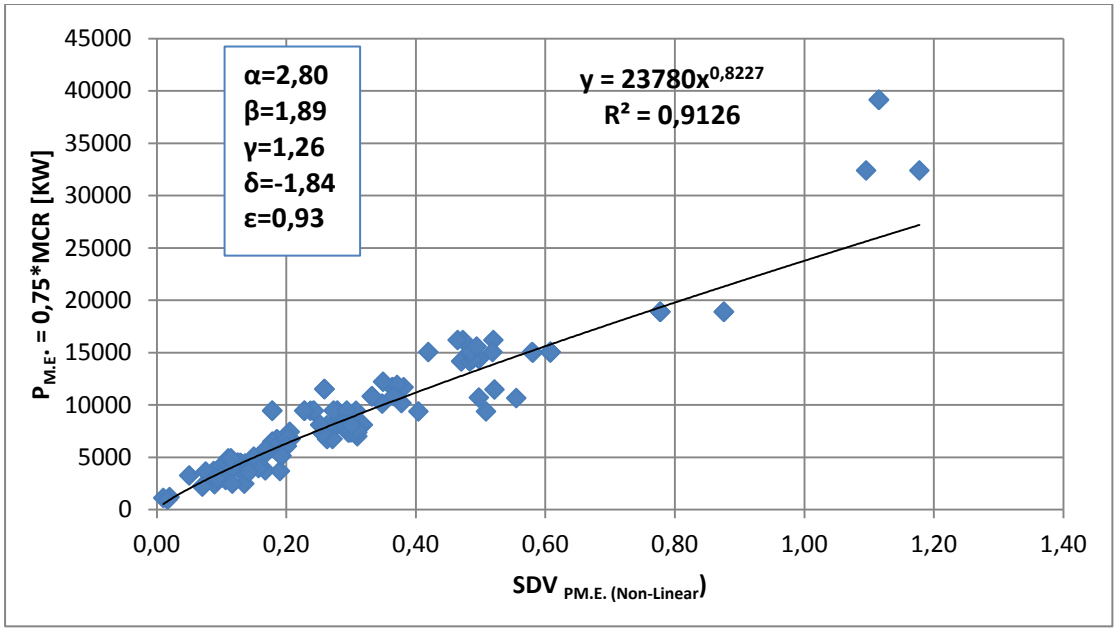
Σχήμα 6.1: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που προτάθηκαν στη MEPC 64/4/14 για Ο/Γ

Από το παραπάνω σχήμα, επιβεβαιώνεται η γραμμική εξάρτηση των δύο μεταβλητών και στο υπό μελέτη δείγμα πλοίων με έτος ναυπήγησης από το 1990 μέχρι το 2012. Ο συντελεστής συσχέτισης του υπό μελέτη δείγματος ισούται προς R^2=0.896 και είναι συγκρίσιμος με τον αντίστοιχο που παρουσιάστηκε στο δείγμα της MEPC 64/4/14 και είναι ίσος προς R^2=0.911 για πλοία με έτος ναυπήγησης από το 1998 έως το 2010.

Στο επόμενο βήμα χρησιμοποιούνται οι εκθέτες που βρέθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών που προέκυψε από το υπό μελέτη δείγμα Ο/Γ πλοίων, όπως υπολογίστηκαν αναλυτικά στο Παράρτημα ΙΙ. Οι συγκεκριμένοι εκθέτες χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα πλοία του δείγματος για να ληφθεί μια πρώτη προσέγγιση της σχέσης της κύριας μηχανής με την παράμετρο SDV_{PME} βασισμένοι στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της μεθόδου Holtrop. Το αποτέλεσμα που προκύπτει για τα Ο/Γ πλοία είναι ότι η ισχύς της κύριας μηχανής δεν είναι γραμμική με τη σχεδιαστική παράμετρο SDV_{PME}. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.2, η ισχύς προσεγγίζεται καλύτερα όταν η παράμετρος SDV_{PME} λάβει τον εκθέτη 0.82.

Ιδιαίτερη επισήμανση πρέπει να γίνει στον εκθέτη δ του συντελεστή λυγηρότητας $L_{pp} / \nabla^{1/3}$. Σύμφωνα με την MEPC 64/4/14, η ισχύς της μηχανής, επομένως και η αντίσταση του πλοίου, είναι ανάλογη της τιμής του συντελεστή λυγηρότητας $L_{pp} / \nabla^{1/3}$, αφού το δ ισούται προς 1. Με βάση την παρούσα μεθοδολογία, ο εκθέτης είναι αρνητικός και ίσος προς -1,86 πράγμα το οποίο υποδηλώνει ότι, αύξηση της τιμής του συντελεστή λυγηρότητας οδηγεί σε μείωση της αντίστασης. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι, για ταχέα σκάφη ο υψηλός

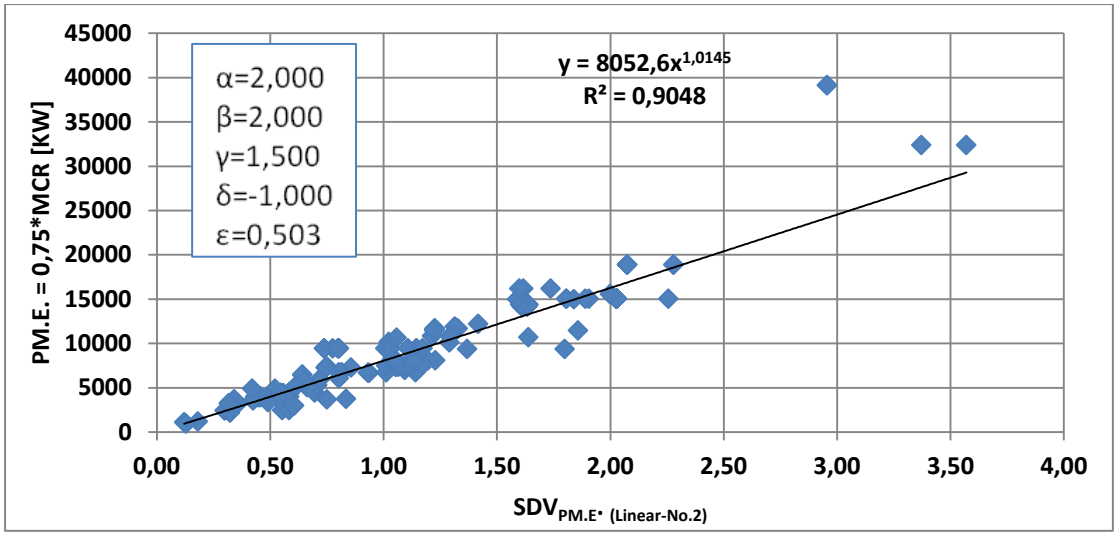
συντελεστής λυγηρότητας επιδρά θετικά στη μείωση της έντασης των δημιουργούμενων κυμάτων και κατ' επέκταση της αντίστασης κυματισμού (Papanikolaou, 2009).



Σχήμα 6.2: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών (Μη-Γραμμική Προσέγγιση) για Ο/Γ

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της Μη-Γραμμικής Προσέγγισης του Σχήματος 6.2 είναι ο πολύ καλός βαθμός συσχέτισης R^2=0.913, ο οποίος είναι βελτιωμένος σε σύγκριση με το R^2=0.896 του Σχήματος 6.1 της Σουηδικής Πρότασης MEPC 64/4/14, παρόλο που το υπό μελέτη δείγμα είναι πολυπληθέστερο.

Στο επόμενο στάδιο, έγινε προσπάθεια – έχοντας ως αφετηρία τους εκθέτες της Μη Γραμμικής Προσέγγισης - με κατάλληλες αυξομειώσεις να επιτευχθεί μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο υπό εξέταση μεταβλητών. Παρατηρήθηκε ότι, η γραμμικότητα δεν μπορούσε να επιτευχθεί για κανένα από τους δυνατούς συνδυασμούς στις τιμές των εκθετών α, β, γ και δ, όσο η τιμή του εκθέτη ε παρέμενε μεγαλύτερη του 0,6.

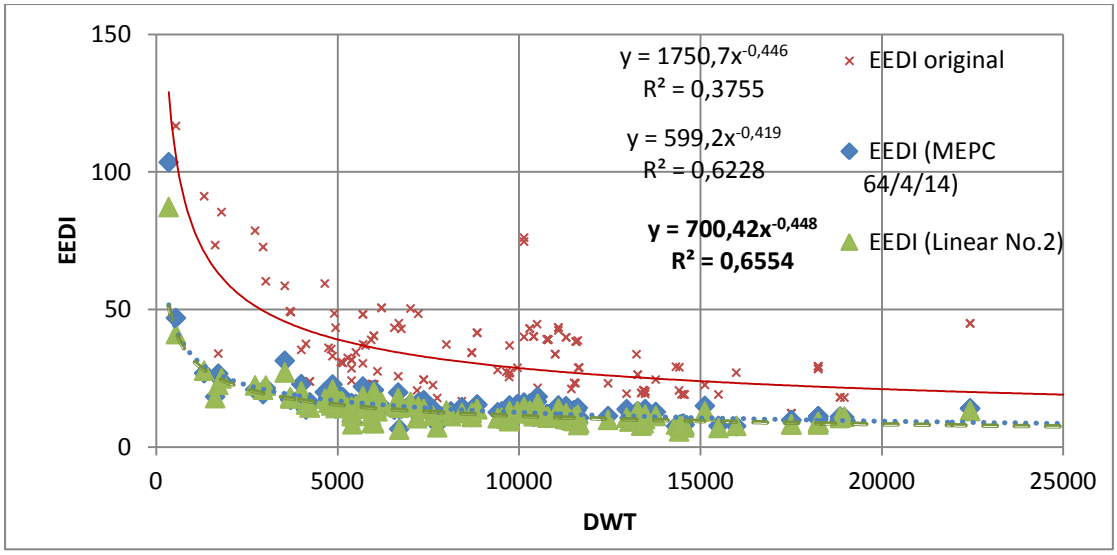


Σχήμα 6.3: Η γραμμική εξάρτηση της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} ως προς την παράμετρο SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες της Γραμμικής Προσέγγισης Linear No.2 που υπολογίστηκαν στην παρούσα μελέτη για Ο/Γ

Λήφθηκε τιμή του εκθέτη ε=0,503 ίση με αυτή της πρότασης που παρουσιάστηκε στην MEPC 64/4/14 και οι υπόλοιποι εκθέτες ρυθμίστηκαν έτσι, ώστε να μας δώσουν μια γραμμική σχέση, αλλά ταυτόχρονα να είναι συμβατοί και με αυτούς που προέκυψαν από την υδροδυναμική μελέτη. Οι εκθέτες που βρέθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.3, στο οποίο διαπιστώνεται και η γραμμικότητα των μεταβλητών P_{ME} & SDV_{PME}.

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι, η δεύτερη γραμμικότητα (Linear No.2) βασίζεται σε εκθέτες β, γ και δ εντελώς διαφορετικούς από τους αντίστοιχους της πρώτης γραμμικής σχέσης (Linear No.1) που προτάθηκαν στην MEPC 64/4/14 (2012). Συγκρίνοντάς τους μεταξύ τους και έχοντας ως βάση τους εκθέτες της MEPC 64/4/14, ο εκθέτης β είναι τετραπλάσιος, ο εκθέτης γ είναι διπλάσιος, ενώ ο εκθέτης δ είναι αντίθετος.

Οι δύο προαναφερόμενες ομάδες εκθετών που δίνουν γραμμική σχέση, δηλαδή Linear No.2 και MEPC 64/4/14 (Linear No.1), χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI διορθώνοντας την ισχύ της κύριας μηχανής με τον παράγοντα f_{jRoRo}. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4, και οι δύο γραμμές αναφοράς παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά σε σύγκριση με τη γραμμή αναφοράς που προκύπτει από τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI original. Η γραμμή αναφοράς Linear No.2 ταυτίζεται με την αντίστοιχη της MEPC 64/4/14 και βρίσκονται χαμηλότερα της EEDI original.



Σχήμα 6.4: Γραμμές αναφοράς για Ο/Γ πλοία σύμφωνα με τρείς διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI

Ακολούθως, υπολογίστηκε η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} σύμφωνα με τις γραμμές αναφοράς που προέκυψαν κατά την παλινδρομική ανάλυση από τις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς την ισχύ, Γραμμική και Μη-Γραμμική.

Στη Γραμμική Προσέγγιση της πρότασης MEPC 64/4/14, η ισχύς υπολογίστηκε από τη σχέση $P_{ME} = 8859{,}9 \times SDV_{PME}^{0.9768}$.

Στη Μη-Γραμμική προσέγγιση της παρούσας μελέτης, η ισχύς υπολογίστηκε από τη σχέση $P_{ME} = 23780 \times SDV_{PME}^{0.8227}$.

Υπενθυμίζεται ότι, κατά τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμό του EEDI, η $P_{ME} = 0.75 \times MCR$.

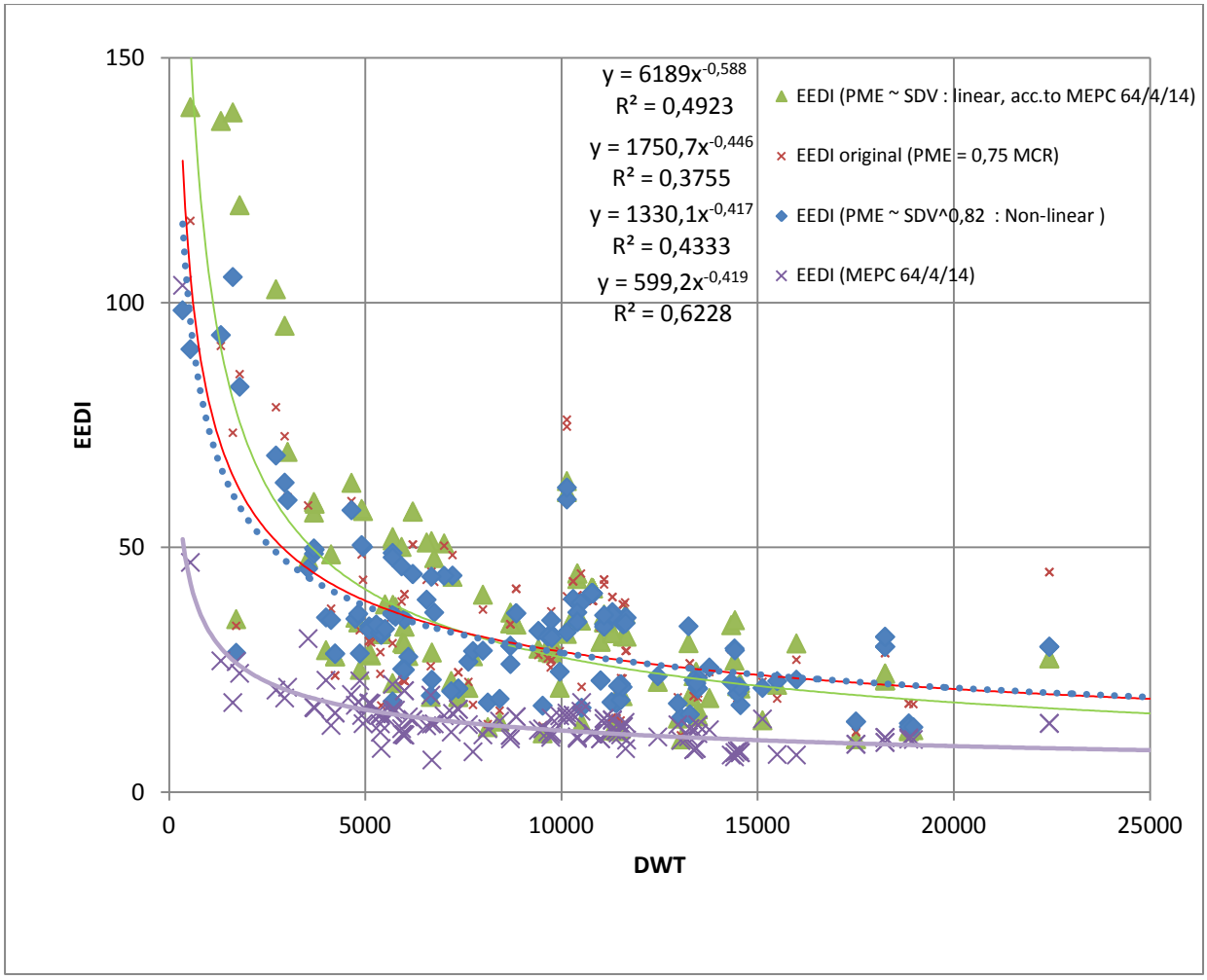
Στο επόμενο Σχήμα 6.5 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες γραμμές αναφοράς σύμφωνα με τους προαναφερόμενους τρόπους υπολογισμού της ισχύος P_{ME}.

Η γραμμή αναφοράς της Μη-Γραμμικής προσέγγισης είναι παραπλήσια με τη γραμμή αναφοράς του παραδοσιακού τρόπου υπολογισμού του EEDI original.

Η γραμμή αναφοράς σύμφωνα με τη Γραμμική Προσέγγιση της MEPC 64/4/14 βρίσκεται υψηλότερα από όλες για πλοία μέχρι 8000 DWT.

Και οι τρεις γραμμές αναφοράς που προκύπτουν με βάση την ισχύ της κύριας μηχανής P_{ME} είναι αισθητά υψηλότερα από την τέταρτη γραμμή αναφοράς που έχει υπολογιστεί με βάση τον διορθωτικό παράγοντα f_{jRoRo} της MEPC 64/4/14.

Είναι εμφανές ότι, η καλύτερη συσχέτιση αποδίδεται στη γραμμή αναφοράς που υπολογίζεται με τον διορθωτικό παράγοντα f_{jRoRo} .



Σχήμα 6.5: Γραμμές αναφοράς για Ο/Γ πλοία σύμφωνα με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI

Ειδικά για τους εκθέτες β & γ της σχεδιαστικής παραμέτρου SDV, υπολογίζονται οι τιμές τους επιπλέον και για Ο/Γ πλοία με τρία διαφορετικά μήκη: 120μ., 150μ. και 180μ. και τυπικές κύριες διαστάσεις και συντελεστή γάστρας C_b εντός του στατιστικού δείγματος, όπως φαίνεται στους παρακάτω συνοπτικούς πίνακες. Ο υπολογισμός της ισχύος γίνεται για τρεις διαφορετικούς αριθμούς Froude (0,24, 0,26 και 0,28) σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop. Οι τιμές που προκύπτουν συγκρίνονται με τις αντίστοιχες από Guldhammer & Harvald (1974) και δημοσιεύονται από Kristensen (2012). Τα αντίστοιχα διαγράμματα, σύμφωνα με τα οποία καταρτίζονται οι πιο κάτω πίνακες, φαίνονται στα Παραρτήματα III & IV.

Πίνακας 6.4: Πίνακας για τιμές εκθέτη β, για διάφορες τιμές του λόγου L/B & C_b για Ο/Γ

Ro-Ro Cargo Ships ***L/B: 6.10-6.50 , C_b : 0.603-0.685***					
L [m]	**L/B**	***L/B***	**B/T**	**L/V $^{1/3}$**	**Fn**
	β	***β***			
	κατά Holtrop (1,94-2,47)	***κατά Guldhammer & Harvald (2,47-5,87)***			
120	1,94	*2,47*	3,5	6,0	0,24
120	1,96	*3,62*	3,5	6,0	0,26
120	2,38	*5,62*	3,5	6,0	0,28
150	1,99	*2,52*	3,5	6,0	0,24
150	2,00	*3,70*	3,5	6,0	0,26
150	2,43	*5,77*	3,5	6,0	0,28
180	2,02	*2,55*	3,5	6,0	0,24
180	2,03	*3,77*	3,5	6,0	0,26
180	2,47	*5,87*	3,5	6,0	0,28

Πίνακας 6.5: Πίνακας για τιμές εκθέτη γ, για διάφορες τιμές του λόγου B/T & C_b για Ο/Γ

Ro-Ro Cargo Ships ***B/T: 3.3-3.7 , Cb: 0.606-0.680***					
L [m]	**L/B**	**B / T (3.30-3.70)**	***B / T***	**L/V $^{1/3}$**	**Fn**
		γ	***γ***		
		κατά Holtrop (1,30-1,60)	***κατά Guldhammer & Harvald (1,86 – 3,58)***		
120	6,30	1,30	*1,86*	6,0	0,24
120	6,30	1,32	*2,44*	6,0	0,26
120	6,30	1,57	*3,46*	6,0	0,28
150	6,30	1,31	*1,88*	6,0	0,24
150	6,30	1,32	*2,48*	6,0	0,26
150	6,30	1,58	*3,52*	6,0	0,28
180	6,30	1,33	*1,90*	6,0	0,24
180	6,30	1,34	*2,52*	6,0	0,26
180	6,30	1,60	*3,58*	6,0	0,28

Παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν κατά Holtrop (1984) είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν σύμφωνα με τη μέθοδο των Guldhammer & Harvald (1974) και όπως δημοσιεύονται από τον Kristensen (2012). Σε κάθε περίπτωση όμως, το εύρος για τους συντελεστές αυτούς απέχει από την προτεινόμενη στην MEPC 64/4/14 αντίστοιχη σταθερά και έχει άμεση εξάρτηση από τον αριθμό Froude, συνεπώς από την ταχύτητα του πλοίου.

Εξάλλου, από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0») ότι:

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του πλάτους και του βυθίσματος του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος (βλ. Πίνακα 6.1). Οι τιμές των εκθετών κατά Mumford που υπολογίστηκαν φαίνονται στους επόμενους δύο Πίνακες 6.6 & 7 .

Πίνακας 6.6: Εκθέτης κατά Mumford x ως προς μεταβολές Πλάτους για διάφορους αριθμούς Froude για Ο/Γ Πλοία

Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
x	0,7429	0,7431	0,7471	0,7551	0,7704	0,7945	0,8184

Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
x	0,8353	0,8543	0,8934	0,9627	1,0530	1,1401	1,2025

Fn	0,32	0,33	0,34	0,35
x	1,2329	1,2377	1,2288	1,2175

Πίνακας 6.7: Εκθέτης κατά Mumford Y ως προς μεταβολές Βυθίσματος για διάφορους αριθμούς Froude για Ο/Γ Πλοία

Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
y	0,3683	0,3714	0,3766	0,3842	0,3946	0,4076	0,4227

Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
y	0,4403	0,4612	0,4861	0,5134	0,5402	0,5638	0,5835

Fn	0,32	0,33	0,34	0,35
y	0,6001	0,6157	0,6325	0,6524

Παρατηρείται ότι οι δείκτες Mumford αυξάνονται με τον αριθμό Froude (με εξαίρεση στην περίπτωση δεικτών x για μεταβολές πλάτους σε αριθμούς Froude 0.34 & 0.35). Επίσης, παρατηρείται ότι οι δείκτες y για μεταβολές βυθίσματος (βλ. Πίνακα 6.7) είναι μικρότεροι σε σύγκριση με τους αντίστοιχους x για μεταβολές πλάτους (βλ. Πίνακα 6.6). Το ίδιο ισχύει και για άλλους τύπους πλοίων, όπως για Φορτηγά & Αλιευτικά.

Στον επόμενο Πίνακα 6.8 φαίνονται οι αντίστοιχοι εκθέτες που υπολογίστηκαν από έρευνες των Mumford και Moor (Papanikolaou, 2009) για Φορτηγά & Αλιευτικά. Για τα πλοία αυτά, οι εκθέτες Mumford ως προς πλάτος είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους για τα Οχηματαγωγά για αριθμούς Froude άνω της τιμής 0.24. Οι εκθέτες Mumford ως προς βύθισμα για Φορτηγά & Αλιευτικά είναι μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους εκθέτες για τα Οχηματαγωγά.

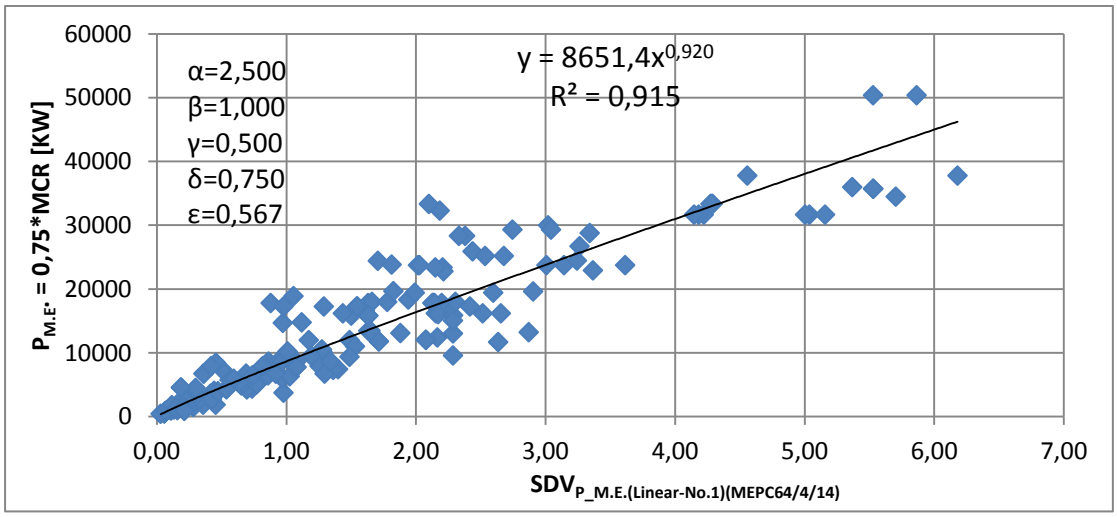
Πίνακας 6.8: Εκθέτες Mumford x=f(Fn), y=f(Fn) για Φορτηγά & Αλιευτικά

F_n		**≤ 0.24**	**0.25**	**0.26**	**0.27**	**0.28**	**0.29**
Φορτηγά	**x**	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	y	0.52	0.53	0.55	0.64	0.74	0.78
Αλιευτικά	**x**	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.745
	y	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
F_n		**0.30**	**0.31**	**0.32**	**0.33**	**0.34**	**0.35**
Φορτηγά	**x**	0.855	0.880	0.945	1.00	-	-
	y	0.80	0.80	0.80	0.80	-	-
Αλιευτικά	**x**	0.78	0.84	0.90	0.95	0.995	1.00
	y	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61

Τα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford x & y για το εύρος των αριθμών Froude (0,18-0,35) του υπό μελέτη δείγματος φαίνονται στα Παραρτήματα V & VI αντίστοιχα.

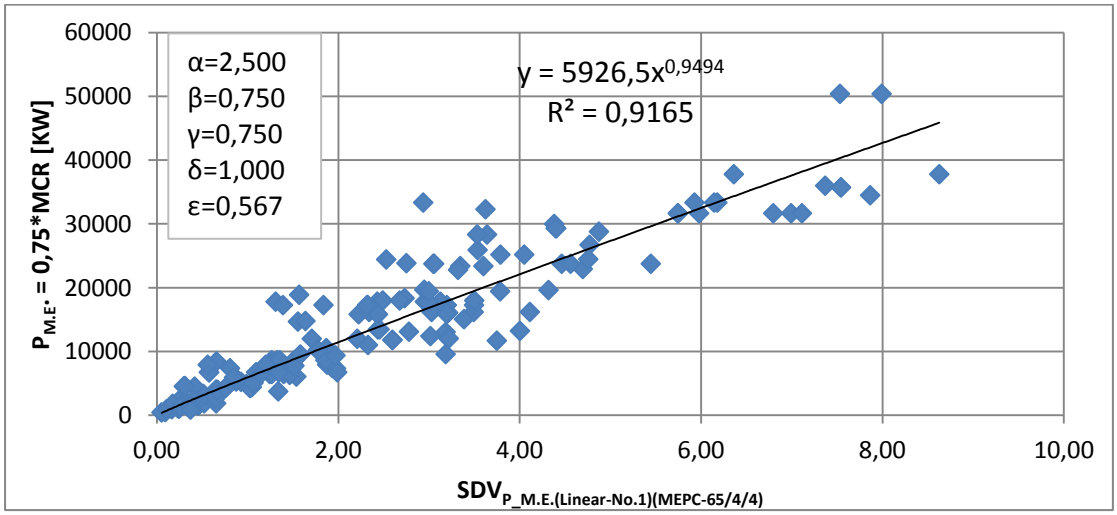
6.3 Επιβατηγά –Οχηματαγωγά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

Για την εξέταση της σχέσης μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου του πλοίου SDV_{PME}, οι εκθέτες α, β, γ, δ, και ε που προτάθηκαν στη MEPC 64/4/14 για τα Ε/Γ- Ο/Γ πλοία εφαρμόστηκαν στα υπό μελέτη πλοία.



Σχήμα 6.6: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που προτάθηκαν στη MEPC 64/4/14 για τα Ε/Γ-Ο/Γ

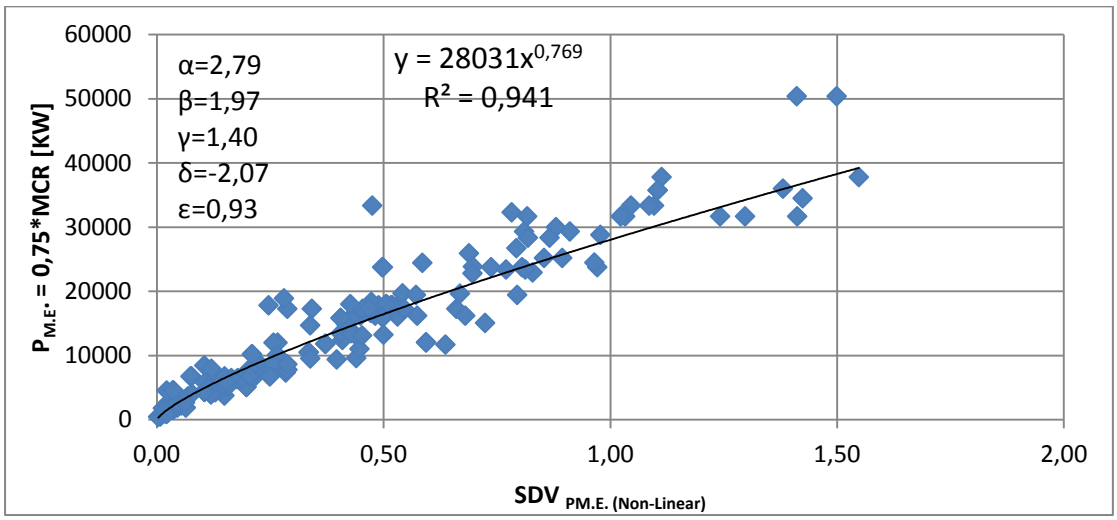
Από το παραπάνω σχήμα, επιβεβαιώνεται η γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου SDV_{PME} και στο δείγμα πλοίων της παρούσας εργασίας. Ο συντελεστής συσχέτισης του υπό μελέτη δείγματος R^2=0.915 είναι συγκρίσιμος με αυτόν που παρουσιάστηκε στο δείγμα της MEPC 64 R^2=0.958. Για λόγους πληρότητας, εμφανίζεται και το αντίστοιχο διάγραμμα σε σχέση με τους εκθέτες που προτάθηκαν για τα Ε/Γ-Ο/Γ στην MEPC-65 το Μάϊο 2013 (σημειώνεται ότι στα Ο/Γ δεν υπήρξε μεταβολή):



Σχήμα 6.7: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που προτάθηκαν στη MEPC 65/4/4 για τα Ε/Γ-Ο/Γ

Στο επόμενο βήμα χρησιμοποιούνται οι εκθέτες που βρέθηκαν από την εφαρμογή της μεθόδου Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών που προέκυψε από το υπό μελέτη δείγμα Ε/Γ- Ο/Γ πλοίων (βλ. Πίνακα 6.1). Οι συγκεκριμένοι εκθέτες χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα πλοία του δείγματος για να ληφθεί μια πρώτη προσέγγιση της σχέσης της κύριας μηχανής με την παράμετρο SDV_{PME} βασισμένοι στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της μεθόδου Holtrop. Το αποτέλεσμα που προκύπτει για τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία είναι ότι η ισχύς της κύριας μηχανής δεν είναι γραμμική με τη σχεδιαστική παράμετρο SDV_{PME}. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.8, η ισχύς προσεγγίζεται καλύτερα όταν η παράμετρος SDV_{PME} λάβει τον εκθέτη 0.769.

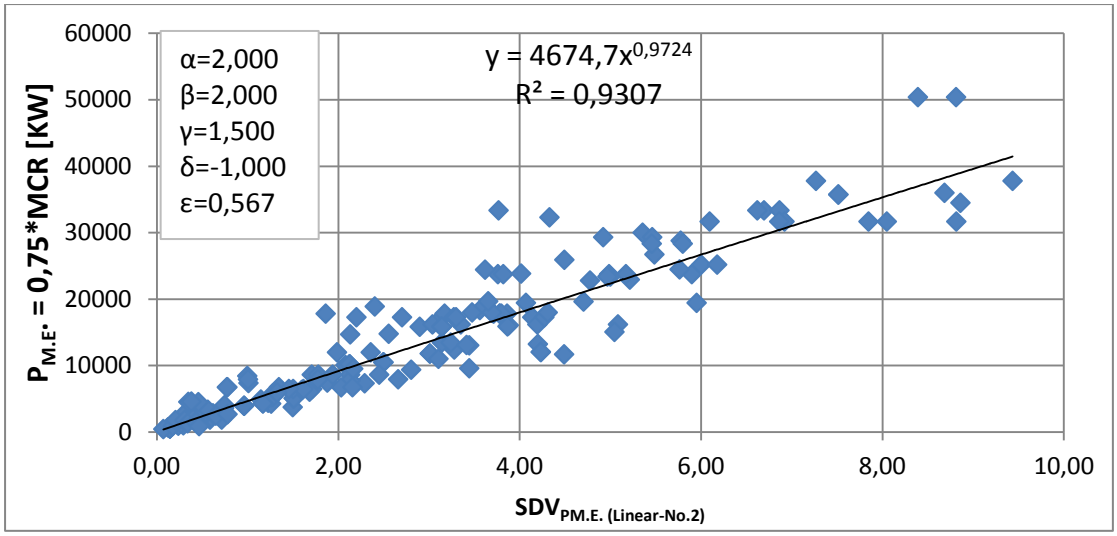
Ιδιαίτερη επισήμανση πρέπει να γίνει στον εκθέτη δ του συντελεστή λυγηρότητας $L_{pp} / \nabla^{1/3}$. Σύμφωνα με τη MEPC 64/4/14, ο εκθέτης δ του συντελεστή λυγηρότητας $L_{pp} / \nabla^{1/3}$ ισούται προς 0.75. Σημειώνεται ότι στη MEPC 65/4/4 λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα. Με βάση την παρούσα μεθοδολογία, ο εκθέτης δ είναι αρνητικός και ίσος προς -2.07 , πράγμα το οποίο εκφράζει ότι, αύξηση της τιμής του συντελεστή λυγηρότητας οδηγεί σε μείωση της αντίστασης. Παρόμοια αντιστροφή πρόσημου παρατηρήθηκε και στα Ο/Γ πλοία.



Σχήμα 6.8: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Ε/Γ-Ο/Γ Πλοίο Υπολογισμών (Μη-Γραμμική Προσέγγιση)

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της Μη-Γραμμικής Προσέγγισης του Σχήματος 6.8 είναι ο πολύ καλός βαθμός συσχέτισης R^2=0.941, ο οποίος είναι βελτιωμένος σε σύγκριση με το αντίστοιχο R^2 των Σχημάτων 6.6 & 6.7 των αντίστοιχων προτάσεων MEPC.

Στο επόμενο στάδιο, έγινε προσπάθεια ξεκινώντας ως αφετηρία από τους εκθέτες της Μη Γραμμικής Προσέγγισης με κατάλληλες αυξομειώσεις να καταλήξουμε σε μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο υπό εξέταση μεταβλητών P_{ME} & SDV_{PME}. Παρατηρήθηκε και σε αυτή την περίπτωση, όπως άλλωστε και στα Ο/Γ ότι, η γραμμικότητα δε γίνεται να επιτευχθεί για κανένα από τους δυνατούς συνδυασμούς στις τιμές των εκθετών α, β, γ και δ όσο η τιμή του εκθέτη ε παραμένει μεγαλύτερη του 0,6.

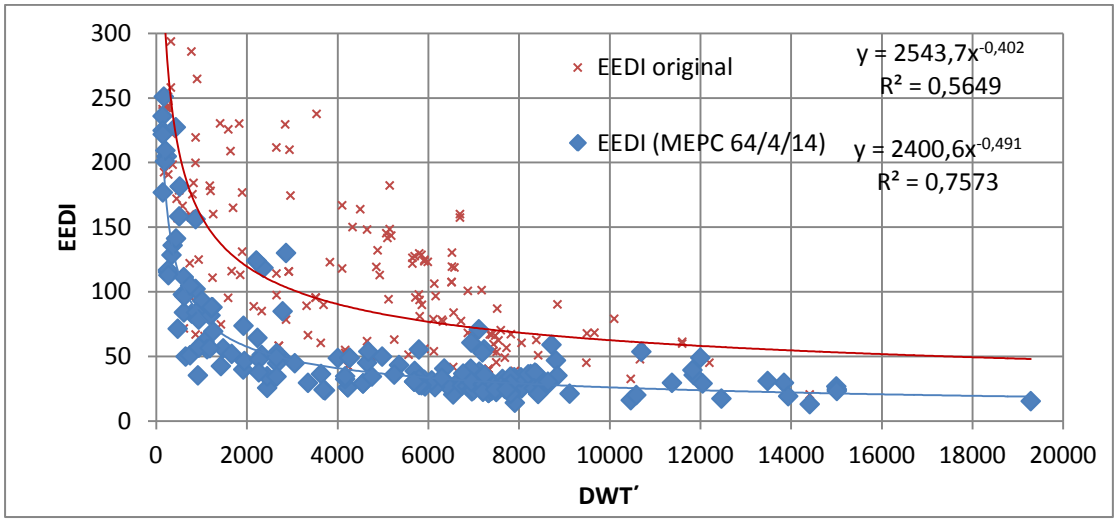


Σχήμα 6.9: Η γραμμική εξάρτηση της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} ως προς την παράμετρο SDV_{PME} με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν στην παρούσα μελέτη για τα Ε/Γ-Ο/Γ

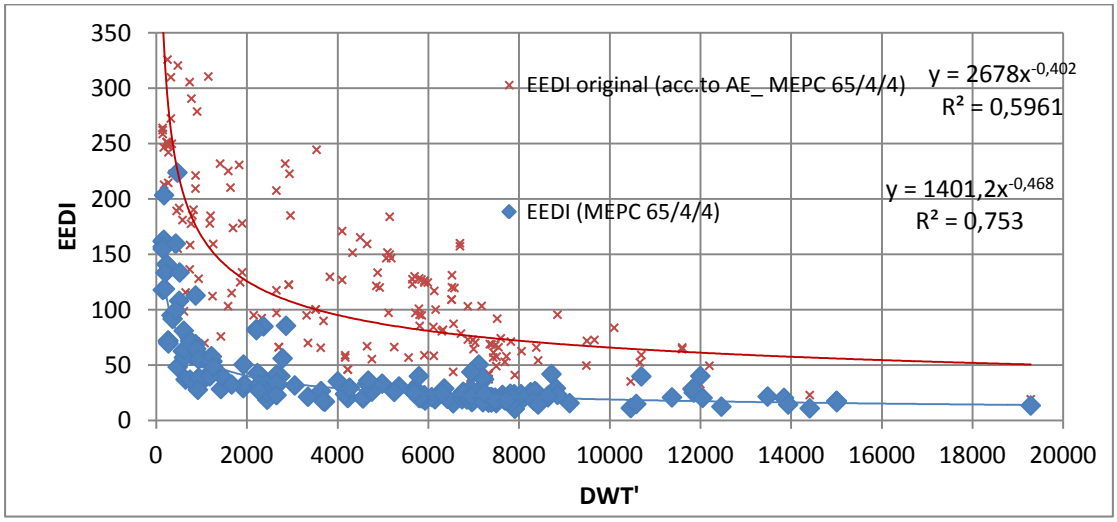
Λήφθηκε τιμή του εκθέτη ε=0,567 ίση με αυτή της πρότασης που παρουσιάστηκε στη MEPC 64/4/14 και οι υπόλοιποι εκθέτες ρυθμίστηκαν έτσι, ώστε να μας δώσουν μια γραμμική σχέση, αλλά ταυτόχρονα να είναι συμβατοί και με αυτούς που προέκυψαν κατά την υδροδυναμική μελέτη. Οι εκθέτες που βρέθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.9, στο οποίο διαπιστώνεται και η γραμμικότητα των μεταβλητών με πολύ καλό βαθμό συχέτισης.

Αξιοσημείωτη είναι ότι η δεύτερη γραμμικότητα (Linear No.2) βασίζεται σε εκθέτες β, γ και δ εντελώς διαφορετικούς σε σχέση με αυτούς της πρώτης γραμμικής σχέσης (Linear No.1)) που προτάθηκαν στην MEPC 64/4/14 & MEPC 65/4/4. Συγκρίνοντάς τους μεταξύ τους και έχοντας ως βάση τους εκθέτες της MEPC 64/4/14 και MEPC 65/4/4, ο εκθέτης β μπορεί να είναι μέχρι και τριπλάσιος, ο εκθέτης γ μέχρι και διπλάσιος, ενώ ο εκθέτης δ είναι αντίθετος της MEPC 65/4/4.

Στα επόμενα δύο σχήματα φαίνεται ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI των πλοίων του υπό εξέταση δείγματος υπολογισμένος στο Σχήμα 6.10 σύμφωνα με MEPC 64/4/14 και στο Σχήμα 6.11 σύμφωνα με MEPC 65/4/4. Και στα δύο αυτά σχήματα παρατηρείται η καλύτερη αξιοπιστία R^2=0.75 των προτάσεων των MEPC σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI, αλλά και οι χαμηλότερες τιμές που επιβάλλονται για τα ίδια πλοία με βάση τις προτάσεις αυτές. Σημειώνεται ότι, η διαφορετική τιμή του βαθμού συσχέτισης του παραδοσιακού τρόπου υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI στα δύο αυτά σχήματα προέρχεται λόγω του ότι στην MEPC 65/4/4 έχει προταθεί διαφορετική σχέση για τον υπολογισμό της ισχύος των βοηθητικών μηχανών των Ε/Γ-Ο/Γ, και συγκεκριμένα η ακόλουθη: $P_{AE} = 0.866 * GT^{0.732}$

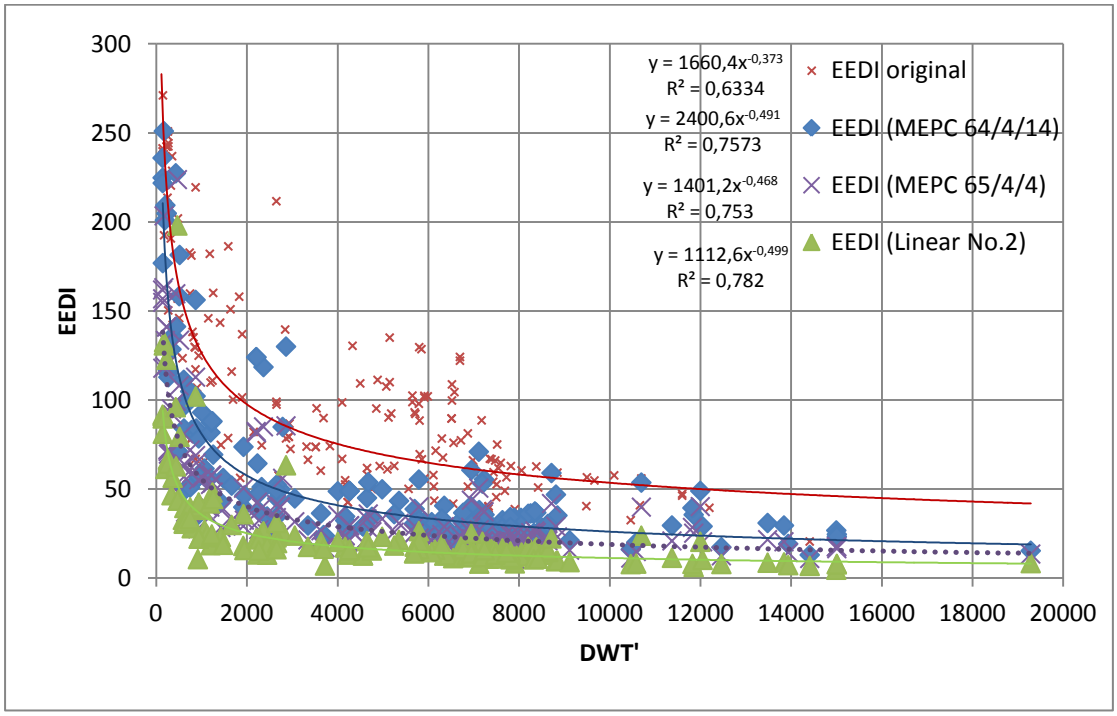


Σχήμα 6.10: Γραμμές αναφοράς για Ε/Γ-Ο/Γ πλοία σύμφωνα με MEPC 64/4/14 και παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI



Σχήμα 6.11: Γραμμές αναφοράς για Ε/Γ-Ο/Γ πλοία σύμφωνα με MEPC 65/4/4 και παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI

Οι τρείς προαναφερόμενες ομάδες εκθετών που δίνουν γραμμική σχέση, δηλαδή Linear No.2, MEPC 64/4/14 και MEPC 65/4/4, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI διορθώνοντας την ισχύ της κύριας μηχανής με τον παράγοντα f_{jRoRo}. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.12, και οι τρεις γραμμές αναφοράς παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά σε σύγκριση με τη γραμμή αναφοράς που προκύπτει από τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI original. Η γραμμή αναφοράς Linear No.2 βρίσκεται πιο χαμηλά από την MEPC 65/4/4, με μεγαλύτερο βαθμό συσχέτισης από την MEPC 64/4/14 & MEPC 65/4/4. Η γραμμή MEPC 65/4/4 βρίσκεται πιο κάτω από την MEPC 64/4/14. Και οι τρεις γραμμές αναφοράς βρίσκονται χαμηλότερα της EEDI original.



Σχήμα 6.12: Γραμμές αναφοράς για Ε/Γ-Ο/Γ πλοία σύμφωνα με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI.

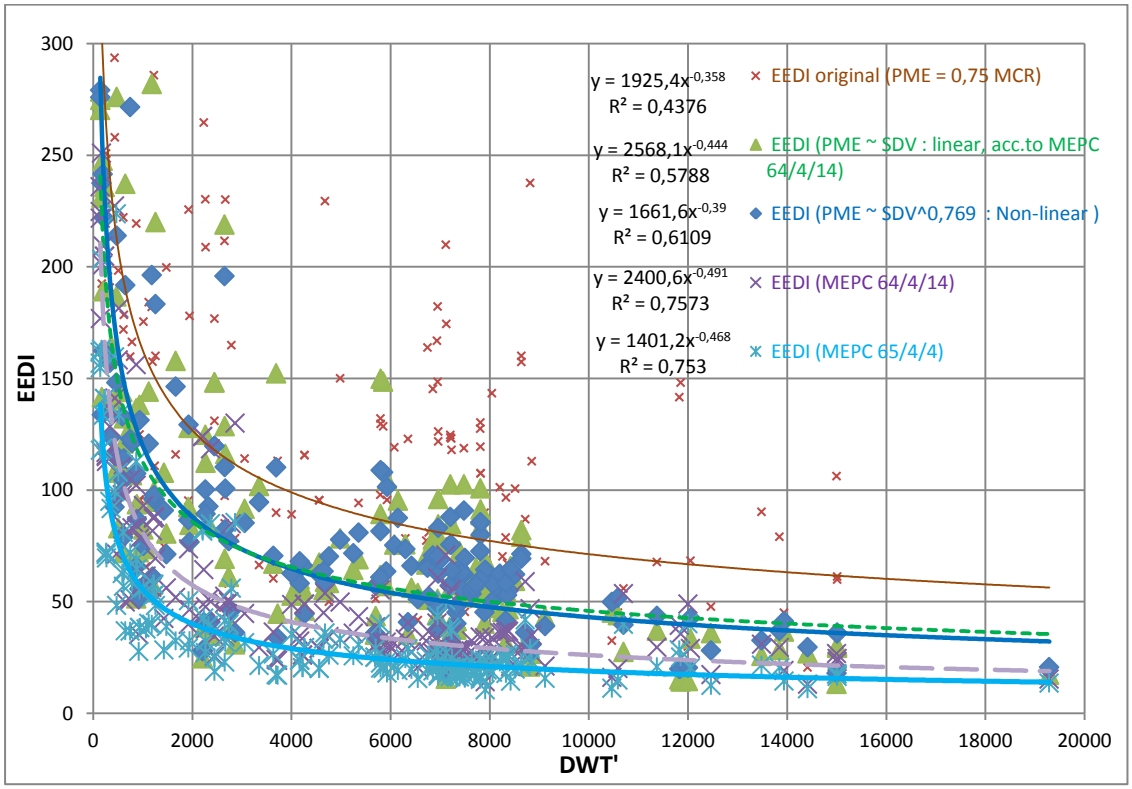
Ακολούθως υπολογίστηκε η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} σύμφωνα με τις γραμμές αναφοράς που προέκυψαν κατά την παλινδρομική ανάλυση από τις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς την ισχύ, Γραμμική και Μη-Γραμμική.

Στη γραμμική προσέγγιση της πρότασης MEPC 64/4/14 η ισχύς υπολογίστηκε από τη σχέση $P_{ME} = 8651{,}4 \times SDV_{PME}^{0.9202}$.

Στη Μη Γραμμική προσέγγιση της παρούσας μελέτης η ισχύς υπολογίστηκε από τη σχέση $P_{ME} = 28031 \times SDV_{PME}^{0.769}$.

Υπενθυμίζεται ότι κατά τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού του EEDI ισχύει: $P_{ME} = 0.75 \times MCR$.

Στο επόμενο Σχήμα 6.13 παρουσιάζονται οι γραμμές αναφοράς για τους παραπάνω τρόπους υπολογισμού της ισχύος P_{ME}. .



Σχήμα 6.13: Γραμμές αναφοράς για Ε/Γ-Ο/Γ πλοία σύμφωνα με πέντε διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI.

Η γραμμή αναφοράς του παραδοσιακού τρόπου υπολογισμού του EEDI original βρίσκεται υψηλότερα από όλες. Η γραμμή αναφοράς της Μη-Γραμμικής προσέγγισης είναι παραπλήσια με τη γραμμή αναφοράς σύμφωνα τη γραμμική προσέγγιση της MEPC 64/4/14. Και οι τρεις γραμμές αναφοράς που προκύπτουν με βάση την ισχύ της κύριας μηχανής P_{ME} είναι αισθητά υψηλότερα από τις γραμμές αναφοράς που έχουν υπολογιστεί με βάση τον διορθωτικό παράγοντα f_{jRoRo} σύμφωνα με MEPC 64/4/14 και MEPC 65/4/4. Είναι εμφανές ότι οι γραμμές αναφοράς που υπολογίζονται με τον διορθωτικό παράγοντα f_{jRoRo} διαθέτουν την καλύτερη συσχέτιση.

Ειδικά για τους εκθέτες β & γ, υπολογίζονται οι τιμές τους για περισσότερα πλοία Ro-Ro Passenger Ships, με τρία διαφορετικά μήκη: 100μ., 140μ. και 180μ. και τυπικές κύριες διαστάσεις για τα μήκη αυτά και εντός του στατιστικού δείγματος, όπως φαίνεται στους παρακάτω συνοπτικούς πίνακες. Ο υπολογισμός της ισχύος γίνεται για τρεις διαφορετικούς αριθμούς Froude (0.24, 0.26 και 0.28) σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop. Οι τιμές που υπολογίζονται συγκρίνονται με τις αντίστοιχες από Guldhammer & Harvald (1974) και δημοσιεύονται από Kristensen (2012).

Τα αντίστοιχα διαγράμματα, σύμφωνα με τα οποία καταρτίζονται οι πιο κάτω πίνακες, φαίνονται στα Παραρτήματα VII & VIII.

Πίνακας 6.8: Πίνακας για τιμές εκθέτη β, για διάφορες τιμές του λόγου L/B & C_b για Ε/Γ-Ο/Γ

Ro-Ro Passenger Ships							
L [m]	*L/B*	*L/B*	B/T	L/B	C_b	L/V ^ $^{1/3}$	Fn
	β	*β*					
	Holtrop (0.89-2.82)	*Guldhammer & Harvald* (1.29-6.69)					
100	0.92	*1.37*	4.0	5.3-5.7	0.520-0.602	6.0	0.24
100	1.12	*1.82*	4.0	5.3-5.7	0.520-0.602	6.0	0.26
100	1.61	*2.75*	4.0	5.3-5.7	0.520-0.602	6.0	0.28
140	2.58	*3.04*	4.0	5.8-6.2	0.623-0.712	6.0	0.24
140	2.66	*4.41*	4.0	5.8-6.2	0.623-0.712	6.0	0.26
140	2.82	*6.69*	4.0	5.8-6.2	0.623-0.712	6.0	0.28
180	0.89	*1.29*	4.0	6.7-7.1	0.523-0.588	7.0	0.24
180	1.12	*1.64*	4.0	6.7-7.1	0.523-0.588	7.0	0.26
180	1.43	*2.37*	4.0	6.7-7.1	0.523-0.588	7.0	0.28

Πίνακας 6.9: Πίνακας για τιμές εκθέτη γ, για διάφορες τιμές του λόγου B/T & C_b για Ε/Γ-Ο/Γ

Ro-Ro Passenger Ships							
L [m]	L/B	B / T	*B / T*	B/T	C_b	L/V $^{1/3}$	Fn
		γ	*γ*				
		Holtrop (0.77-1.85)	*Guldhammer & Harvald* (1.30-4.07)				
100	5.50	0.77	*1.30*	3.8-4.2	0.532-0.588	6.0	0.24
100	5.50	0.88	*1.54*	3.8-4.2	0.532-0.588	6.0	0.26
100	5.50	1.15	*2.01*	3.8-4.2	0.532-0.588	6.0	0.28
140	6.00	1.70	*2.24*	3.8-4.2	0.633-0.700	6.0	0.24
140	6.00	1.74	*2.92*	3.8-4.2	0.633-0.700	6.0	0.26
140	6.00	1.85	*4.07*	3.8-4.2	0.633-0.700	6.0	0.28
180	6.50	1.47	*1.97*	3.8-4.2	0.612-0.677	6.4	0.24
180	6.50	1.48	*2.56*	3.8-4.2	0.612-0.677	6.4	0.26
180	6.50	1.75	*3.58*	3.8-4.2	0.612-0.677	6.4	0.28

Παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν κατά Holtrop (1984) είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν σύμφωνα με τη μέθοδο των Guldhammer & Harvald (1974) και όπως δημοσιεύονται από τον Kristensen (2012). Σε κάθε περίπτωση όμως, το εύρος για τους συντελεστές αυτούς απέχει από την προτεινόμενη στην MEPC 64/4/14 αντίστοιχη σταθερά και έχει άμεση εξάρτηση από τον αριθμό Froude, συνεπώς από την ταχύτητα του πλοίου.

Εξάλλου, από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0») ότι:

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του πλάτους και του βυθίσματος του μέσου Επιβατηγού-Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος (βλ.Πίνακα 6.1). Οι τιμές των εκθετών κατά Mumford που υπολογίστηκαν φαίνονται στους επόμενους δύο Πίνακες 6.10 – 6.11

Πίνακας 6.10: Εκθέτης κατά Mumford X ως προς μεταβολές Πλάτους για διάφορους αριθμούς Froude για Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
x	0,8074	0,8010	0,7962	0,7945	0,7973	0,8023	0,807

Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
x	0,8151	0,8355	0,8737	0,9246	0,9746	1,0117	1,0319

Fn	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
x	1,0389	1,0393	1,0399	1,0460	1,0616	1,0895	1,1311

Πίνακας 6.11: Εκθέτης κατά Mumford Y ως προς μεταβολές Βυθίσματος για διάφορους αριθμούς Froude για Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία

Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
y)	0,3073	0,3093	0,3126	0,3174	0,3242	0,3330	0,3441

Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
y	0,3577	0,3743	0,3934	0,4133	0,4324	0,4501	0,4668

Fn	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
y	0,4838	0,5026	0,5243	0,5496	0,5787	0,6113	0,6464

Παρατηρείται ότι οι δείκτες Mumford αυξάνονται με τον αριθμό Froude.

Επίσης παρατηρείται ότι, οι δείκτες y για μεταβολές βυθίσματος (βλ. Πίνακα 6.11) είναι μικρότεροι σε σύγκριση με τους αντίστοιχους x για μεταβολές πλάτους (βλ. Πίνακα 6.10) . Το ίδιο ισχύει και για άλλους τύπους πλοίων, όπως για Φορτηγά & Αλιευτικά.

Στον Πίνακα 6.8 φαίνονται οι αντίστοιχοι εκθέτες που υπολογίστηκαν από έρευνες των Mumford και Moor (Papanikolaou, 2009) για Φορτηγά & Αλιευτικά. Για τα πλοία αυτά, οι εκθέτες Mumford ως προς πλάτος είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους για τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά για αριθμούς Froude άνω της τιμή 0.26. Οι εκθέτες Mumford ως προς βύθισμα για Φορτηγά & Αλιευτικά είναι μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους εκθέτες για τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά.

Τα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford x & y για το εύρος των αριθμών Froude (0,18-0,38) του υπό μελέτη δείγματος Ε/Γ-Ο/Γ φαίνονται στα Παραρτήματα IX & X αντίστοιχα.

7. Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής, έγινε διερεύνηση σε ένα δείγμα με μεγάλο πλήθος πλοίων από τη βάση δεδομένων HIS Fairplay, World Shipping Encyclopaedia version 12.01, τόσο για πλοία Ο/Γ (Ro-Ro Cargo Ships=*154*), όσο και για Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Ro Passenger Ships=*181*).

Και στους δύο αυτούς τύπους πλοίων επιβεβαιώθηκε η γραμμική εξάρτηση της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} και της σχεδιαστικής παραμέτρου SDV_{PME} , όταν χρησιμοποιηθούν οι εκθέτες α, β, γ, δ & ε που προτάθηκαν στην MEPC 64/4/14. Η προέλευση και ο τρόπος ορισμού αυτών των εκθετών δεν αναφέρεται σε κάποια δημοσίευση.

Στην παρούσα εργασία, με βάση υδροδυναμικά κριτήρια και εφαρμόζοντας την αξιόπιστη μέθοδο Holtrop (1984) για τον υπολογισμό της αντίστασης, έγινε προσπάθεια να βρεθεί μια τεκμηριωμένη τιμή - έστω και προσεγγιστικά - για τους εκθέτες α, β, γ, δ & ε. Με βάση την περιγραφείσα μεθοδολογία και εφαρμόζοντας μικρές μεταβολές σε κάθε ένα από πέντε κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των πλοίων (βλ. Παράρτημα ΙΙ), κατέστη εφικτός ο προσεγγιστικός προσδιορισμός των εκθετών α, β, γ, δ & ε και οι αντίστοιχες τιμές φαίνονται στον επόμενο Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Εκθέτες Σχεδιαστικής Μεταβλητής SDV (Μη-Γραμμική Προσέγγιση)

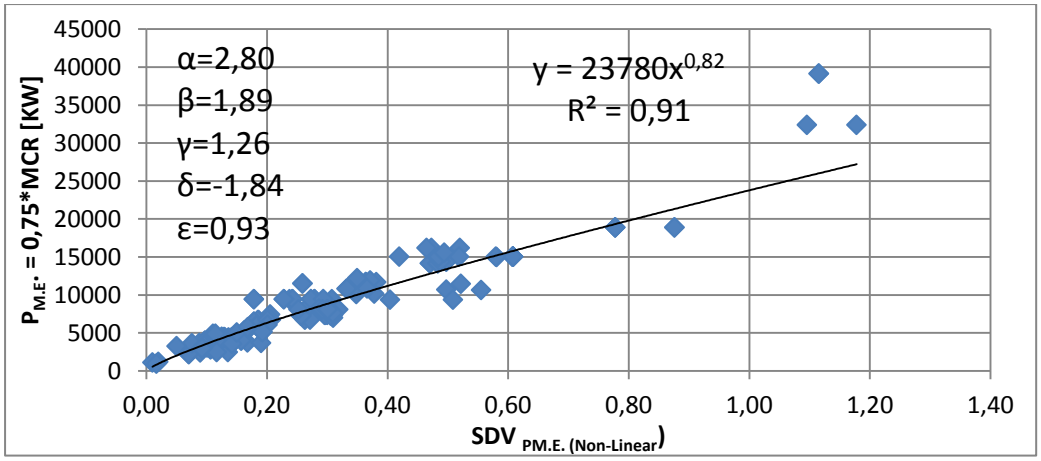
	α	**β**	**γ**	**δ**	**ε**
Ro-Ro Cargo Ships	2,80	1,89	1,26	-1,84	0,93
Ro-Ro Passenger Ships	2,79	1,97	1,40	-2,07	0,93

Η μελέτη αυτή βασισμένη σε υδροδυναμικά κριτήρια έδειξε ότι, και για τους δύο τύπους πλοίων, η εξάρτηση της ισχύος της κύριας μηχανής P_{ME} με τη σχεδιαστική παράμετρο SDV_{PME} δεν είναι γραμμική.

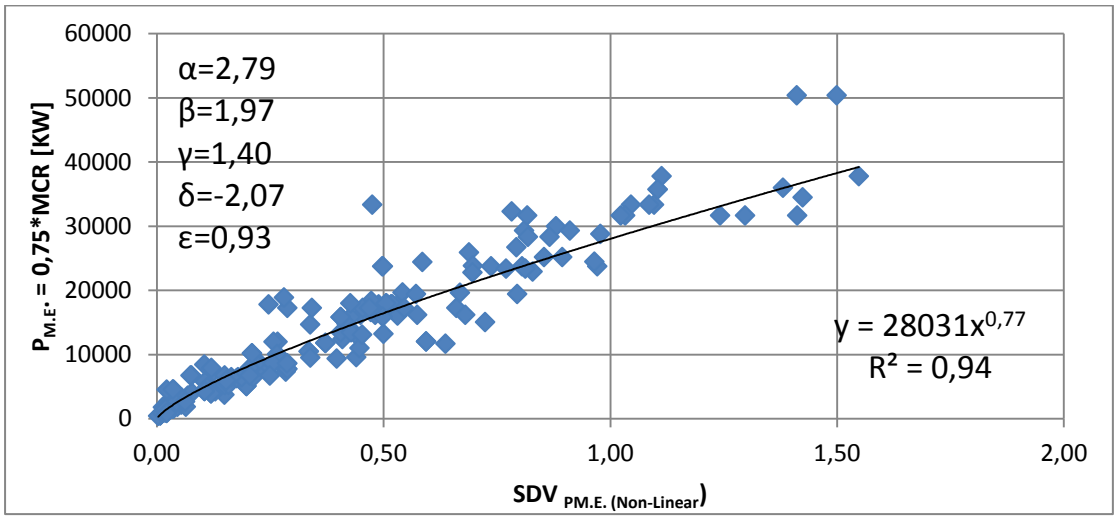
Και για τους δύο τύπους πλοίων, καλύτερη συσχέτιση των μεταβλητών P_{ME} & SDV_{PME} επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της παραπάνω Μη-Γραμμικής προσέγγισης.

Για τα Ο/Γ (Ro-Ro Cargo) πλοία, η ισχύς προσεγγίζεται καλύτερα όταν η σχεδιαστική παράμετρος SDV_{PME} υψωθεί στη δύναμη 0.82 , όπως φαίνεται Σχήμα 7.1.

Για τα Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Pax) πλοία, η καλύτερη προσέγγιση της ισχύος επιτυγχάνεται με εκθέτη 0.77, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2.



Σχήμα 7.1: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} για τα Οχηματαγωγά Πλοία με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών (Μη-Γραμμική Προσέγγιση).



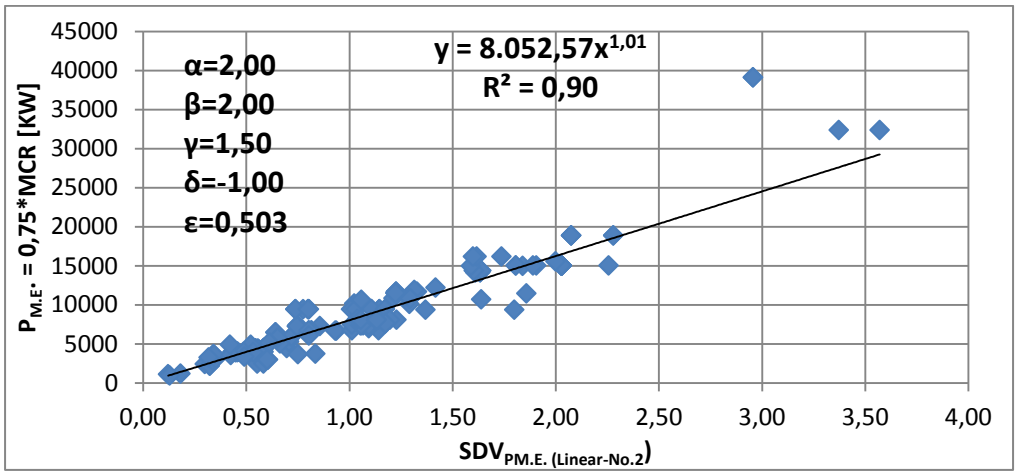
Σχήμα 7.2: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} για τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών (Μη-Γραμμική Προσέγγιση).

Η τιμή του βαθμού συσχέτισης R^2 που προκύπτει με την ανωτέρω Μη-Γραμμική προσέγγιση και για τους δύο τύπους πλοίων είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε αντίστοιχη τιμή Γραμμικής Προσέγγισης, είτε κατά MEPC 64/4/14, είτε κατά MEPC 65/4/4, είτε κατά τη Γραμμική Προσέγγιση της μελέτης Linear No.2 .

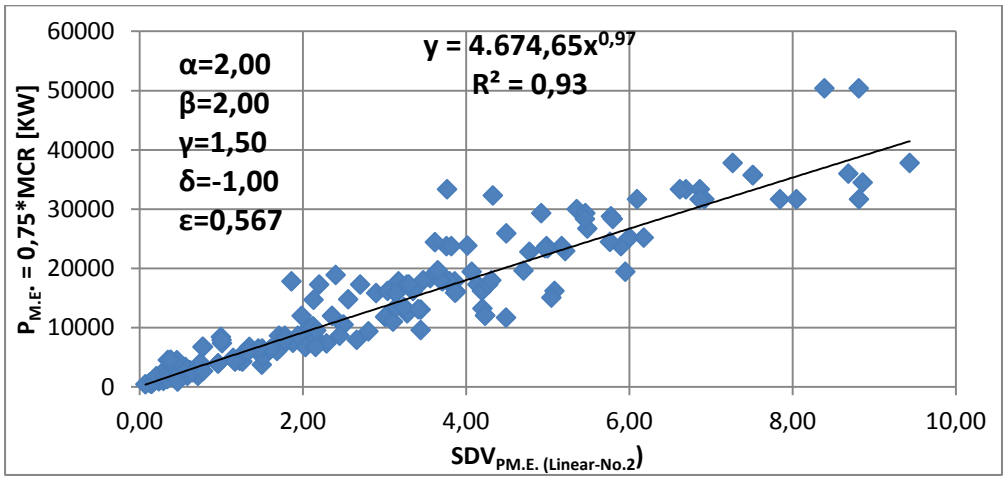
Ένας δεύτερος γραμμικός τρόπος προσέγγισης μεταξύ της ισχύος P_{ME} και της σχεδιαστικής μεταβλητής SDV_{PME} (Linear No. 2) αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη με εκθέτες α, β, γ , δ κατά το δυνατό συμβατούς και όμοιους με αυτούς της Μη-Γραμμικής προσέγγισης. Οι εκθέτες αυτοί ταυτίζονται για τους δύο τύπους πλοίων, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 7.2: Εκθέτες Σχεδιαστικής Μεταβλητής SDV (Γραμμική Προσέγγιση Linear No.2)

	α	β	γ	δ	ε
Ro-Ro Cargo	2,000	2,000	1,500	-1,000	0,503
Ro-Ro Passenger	2,000	2,000	1,500	-1,000	0,567



Σχήμα 7.3: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} για τα Οχηματαγωγά Πλοία με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών (Γραμμική Προσέγγιση).



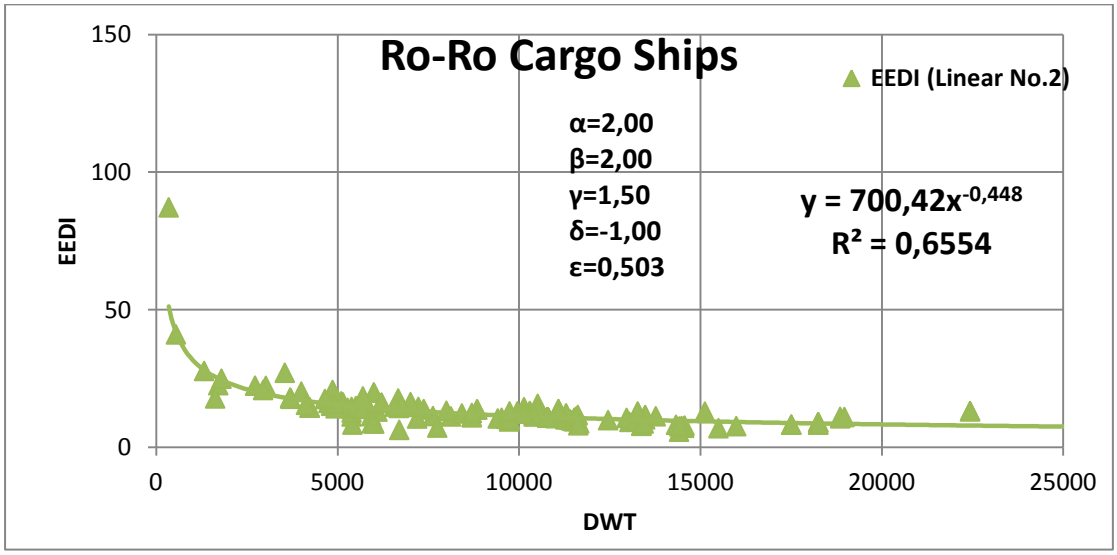
Σχήμα 7.4: Η ισχύς της κύριας μηχανής P_{ME} ως συνάρτηση της παραμέτρου SDV_{PME} για τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία με βάση τους εκθέτες που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Holtrop στο Μέσο Πλοίο Υπολογισμών (Γραμμική Προσέγγιση).

Ο δεύτερος αυτός γραμμικός τρόπος Linear No. 2 βελτιώνει την τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 και στα Ε/Γ-Ο/Γ και στα Ο/Γ .

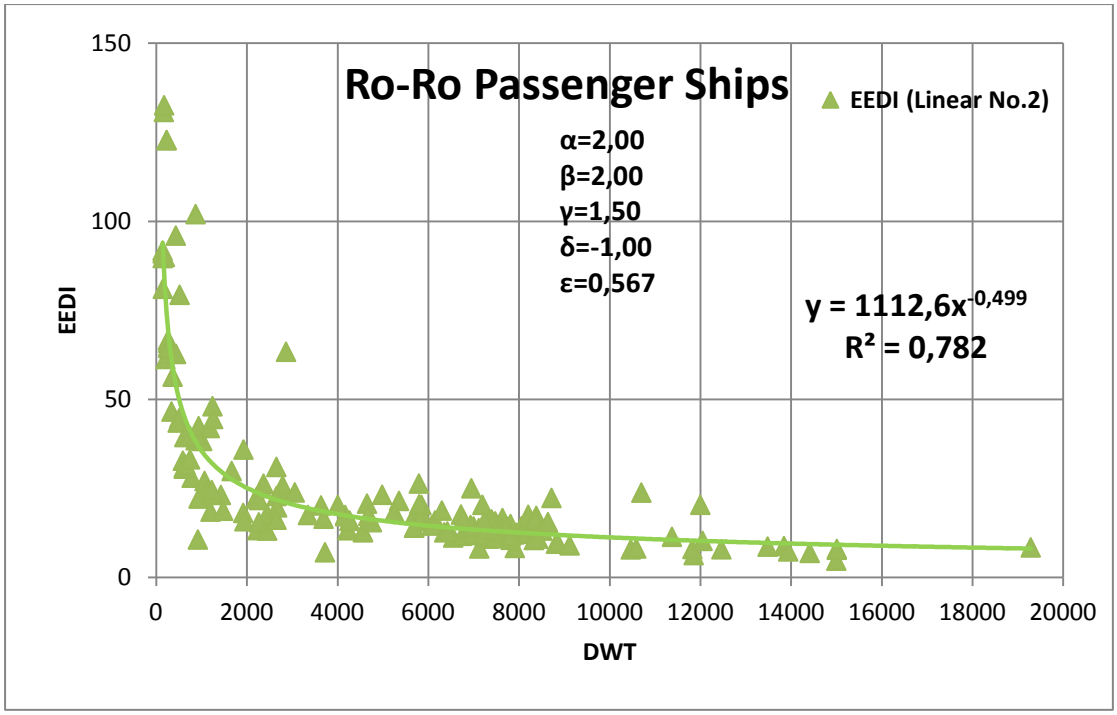
Αξιοσημείωτη είναι η διαφοροποίηση που εμφανίζεται στους εκθέτες β,γ,δ & ε μεταξύ της Γραμμικής και της Μη-Γραμμικής Προσέγγισης. Στον εκθέτη δ του συντελεστή λυγηρότητας, το πρόσημο διαφέρει στις δύο προσεγγίσεις. Με τη Μη-Γραμμική Προσέγγιση που υπολογίστηκε στην παρούσα εργασία προκύπτει ότι, η αύξηση του συντελεστή λυγηρότητας οδηγεί σε μείωση της ισχύος της κύριας μηχανής. Η αντίθετη συμπεριφορά παρατηρείται με τον εκθέτη δ της MEPC 64/4/14 & MEPC 65/4/4/.

Η εισαγωγή της τιμής της ισχύος P_{ME} όπως προέκυψε από τη Μη-Γραμμική Προσέγγιση στη σχέση της εκτιμώμενης τιμής του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας $EEDI_{est}$ για τα υπό μελέτη πλοία οδήγησε σε μείωση της διασποράς των σημείων σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού $EEDI_{orig}$ όπου P_{ME} = 0.75*MCR. Ωστόσο η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 είναι μικρότερη της αντίστοιχης των MEPC 64/4/14 & MEPC 65/4/4/ με τους διορθωτικούς συντελεστές f_{jRoRo} & $_{fCRo\text{-}Pax}$.

Και για τους δύο τύπους πλοίων, όταν χρησιμοποιηθούν στον τύπο του διορθωτικού συντελεστή $f_{jRo\text{-}Ro}$ οι εκθέτες α, β, γ, & δ που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία, ο βαθμός συσχέτισης EEDI-DWT που επιτυγχάνεται είναι καλύτερος από την MEPC 64/4/14, όπως φαίνεται στα επόμενα διαγράμματα για Οχηματαγωγά & Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία.



Σχήμα 7.5: Γραμμή Αναφοράς για Ο/Γ Πλοία σύμφωνα με τους Εκθέτες της Γραμμικής Προσέγγισης Linear No.2



Σχήμα 7.6: Γραμμή Αναφοράς για Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία σύμφωνα με τους Εκθέτες της Γραμμικής Προσέγγισης Linear No.2

Ειδικά για τους εκθέτες β & γ της σχεδιαστικής παραμέτρου SDV, η τάξη μεγέθους των τιμών που προτείνονται στην παρούσα μελέτη επιβεβαιώνονται και από τις τιμές που υπολογίζονται κατά Guldhammer & Harvald (1974) και δημοσιεύονται από Kristensen (2012).

Οι δείκτες Mumford συναρτήσει του αριθμού Froude ως προς πλάτος και βύθισμα που υπολογίστηκαν για τα υπό μελέτη πλοία, είναι υψηλότεροι για Fn>0.26 από τους αντίστοιχους δείκτες για τα φορτηγά και αλιευτικά (Papanikolaou, 2009).

Συνοψίζοντας, τονίζεται η ανάγκη για μείωση των εκπομπών CO_2 σε παγκόσμια κλίμακα. Στην περίπτωση της ναυτιλίας, ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας EEDI, η διερεύνηση του οποίου για Οχηματαγωγά Πλοία και Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία εκπονήθηκε στην παρούσα μελέτη, αποτελεί ένα «κλειδί» προς αυτή την κατεύθυνση.

Η ευαισθητοποίηση για την πρόληψη της ανθρώπινης υγείας και της προστασίας του περιβάλλοντος από τους ρύπους που προέρχονται από τα ναυτιλιακά καύσιμα έχει πυροδοτηθεί με αλματώδεις ρυθμούς. Η περιβαλλοντική συνείδηση έχει αφυπνιστεί έντονα και ολοένα αυστηρότερες απαιτήσεις επιβάλλονται διεθνώς. Όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα πλέον σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος. Συνιστάται, όμως, η λήψη σημαντικών αποφάσεων και κανονιστικών μέτρων να ισορροπούνται κατάλληλα, έχοντας πάντα κατά νου ότι τελικά ο χρόνος και η σύνεση είναι οι καλύτεροι σύμβουλοι.

Βιβλιογραφία

1. Papanikolaou, A., “Ship Design – Methodologies of Preliminary Ship Design” (in Greek: Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Πλοίου), SYMEON Publisher, Athens, Vol. 1, ISBN 978-960-9600-09-01 & Vol. 2, ISBN 978-969-9400-11-4, October 2009.
2. Papanikolaou, A. (ed.), Greek Translation of the Book “Basic Ship Theory, Vol. I” by K J Rawson and E C Tupper, NTUA Press, March 2002.
3. Papanikolaou, A. (ed.), Greek Translation of the Book "Basic Ship Theory, Vol. II" by K J Rawson and E C Tupper, NTUA Press, ISBN 960-254-647-6, Athens 2004.
4. Guldhammer, H. E. and Harvald, S., “A: Ship Resistance”, Akademisk Forlag, 1974.
5. Harvald, S. A., “Resistance and Propulsion of Ships”, Wiley-Interscience Publications, 1984.
6. Holtrop, J. & Mennen, G.G.J., “An Approximate Power Prediction Method”, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, July 1982, pp. 166-170.
7. Holtrop, J. A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data. Int. Shipbuilding Prog., 1984, 31, 272–276.
8. International Chamber of Shipping, ICS, “Shipping, World Trade & the Reduction of CO_2 Emissions”, London, UK, 2009.
9. International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969.
10. International Maritime Organization, IMO MEPC 59/INF.10, “Second IMO GHG Study 2009: Update of the 2000 IMO GHG Study”, 2009.
11. International Maritime Organization, IMO MEPC 61/WP.10, “Reduction of GHG Emissions From Ships”, Report of the Working Group on Energy Efficiency Measures for Ships, 30th September 2010.
12. International Maritime Organization, IMO MEPC 63/INF.2, “Assessment of IMO Mandated Energy Efficiency Measures For International Shipping”, IMO-Study undertaken by Lloyd‘s Register (LR) and Det Norske Veritas (DNV), 31st October 2011.
13. International Maritime Organization, IMO MEPC 64/4/14, 29-12-2012, “Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Shiptypes into the Energy Efficiency Regulatory Framework”, submitted by Germany, Sweden and the Community of European Shipyards’ Association (CESA).
14. International Maritime Organization, IMO Resolution MEPC 212(63), "2012 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships", MEPC 63/23, Annex 8, 2012.
15. International Maritime Organization, IMO Resolution MEPC 214(63), “Guidelines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)”, MEPC 63/23, Annex 10, 2012.

16. International Maritime Organization, IMO Resolution MEPC 215(63), "Guidelines For Calculation of Reference Lines For Use With The Energy Efficiency Design Index (EEDI)", MEPC 63/23, Annex 11, 2012.
17. International Maritime Organization, IMO, MARPOL 73/78, Consolidated Edition 2013.
18. International Maritime Organization, IMO, MEPC 203(62), "Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention For the Prevention of Pollution From Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto", (Inclusion of Regulations On Energy Efficiency of Ships in MARPOL Annex IV), Resolution adopted on 15th July 2011.
19. International Maritime Organization, IMO, MEPC 65/4/18, "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", Submitted by Denmark and Japan, 8th March 2013.
20. International Maritime Organization, IMO, MEPC 65/4/4, "Revised Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Ship Types into the IMO Energy Efficiency Regulatory Framework", Submitted by Germany, Sweden, Community of European Shipyards Associations (CESA) and INTERFERRY, 8 February 2013.
21. International Maritime Organization, IMO, MEPC 65/5/1, "Reduction of GHG Emissions From Ships - Technology Take-up and its Interaction with Operational Energy Efficiency", Submitted by the Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST), 2013.
22. International Maritime Organization, IMO, SOLAS, Consolidated Edition, 2013, Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates
23. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPPC, "Climate Change 2007: Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Core Writing Team: Pachauri R.K. & Reisinger A., (eds)]. IPPC, Geneva, Switzerland, 104 pp, 2007.
24. Kristensen, H. O, "Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships", Project 2010-56 Emissionsstøttesystem. Work Package 2, Report No. 4. 2012.
25. Project Report by Deltamarin for Project No. 6543, "Study on Tests and Trials of the Energy Efficiency Design Index as Developed by the IMO", prepared for European Maritime Safety Agency (EMSA), 24th May 2011.
26. Schneekluth, H. and Bertram, V., "Ship Design For Efficiency and Economy", 2nd edition, 1998 (Butterworth– Heinemann, Oxford).
27. Technical University of Denmark, Friis Allan, Andersen Poul & Jensen Joergen, "Ship Design – Part 2", `Section of Maritime Engineering, Department of Mechanical Engineering, ISBN – 87-89502-56-6, Spring 2002.
28. Van Dokkum, "Ship Knowledge - A Modern Encyclopaedia" , Enkhuizen (The Netherlands) :Dokmar, 2003 (ISBN : 90-806330-2-X).
29. Watson, D. G. M., "Practical Ship Design", Elsevier 1998.
30. World Shipping Encyclopaedia version 12.01 , HIS Fairplay Eds.

Παραρτήματα

Παράρτημα Ι: Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου Holtrop & Παραδοχών κατά την Εφαρμογή της

Παράρτημα ΙΙ: Πίνακες για Υπολογισμό Εκθετών της Σχεδιαστικής Μεταβλητής Ship Design Variable (SDV)

Για τα Οχηματαγωγά Πλοία:

Παράρτημα ΙΙΙ: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Οχηματαγωγά Πλοία

Παράρτημα ΙV: Διαγράμματα Ισχύος ως προς B/T για Οχηματαγωγά Πλοία

Παράρτημα V: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του πλάτους του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος .

Παράρτημα VI: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του βυθίσματος του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος .

Για τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία:

Παράρτημα VII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Επιβατηγά -Οχηματαγωγά Πλοία

Παράρτημα VIII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς B/T για Επιβατηγά -Οχηματαγωγά Πλοία

Παράρτημα IX: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του πλάτους του μέσου Επιβατηγού - Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος .

Παράρτημα X: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford με μικρές μεταβολές του βυθίσματος του μέσου Επιβατηγού -Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος .

Παράρτημα XI: Πρωτότυπο Κείμενο (στην Αγγλική) των προτάσεων IMO MEPC 64/4/14, 29-12-2012, MEPC 65/4/4, καθώς και της MEPC 65/4/18.

Παράρτημα Ι: Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου Holtrop & Παραδοχών κατά την Εφαρμογή της

Ο υπολογισμός της ισχύος στην παρούσα μελέτη γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop (1984). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η συνολική αντίσταση δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

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).

Οι προσεγγίσεις που έχουν γίνει στην παρούσα μελέτη κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι οι ακόλουθες:

1) Από τους γνωστούς εμπειρικούς τύπους για το συντελεστή ισάλου επιφανείας C_{wL}:

$$C_{wL} = \frac{1 + 2 \times C_B}{3}$$

και

$$C_{wL} = 0.7 \times C_P + 0.3$$

λαμβάνεται ο μέσος όρος για να χρησιμοποιηθεί στη μέθοδο.

2) Η εκτίμηση για την τιμή του διαμήκους κέντρου άντωσης LCB ως ποσοστό του μήκους του πλοίου από τη μέση τομή (με θετικές τις τιμές πρώραθεν) λαμβάνεται κατά Schneekluth & Bertram (1998) :

$$LCB = 8.80 - 38.9\ Fn$$

3) Η εγκάρσια επιφάνεια βολβού στο σημείο όπου η ίσαλος επιφάνεια τέμνει το περίγραμμα της πλώρης (transverse bulb area) A_{BT} λαμβάνεται ίση προς 8% της εγκάρσιας επιφάνειας μέσης τομής.
4) Η κατακόρυφη θέση του κέντρου της εγκάρσιας επιφάνειας του βολβού πάνω από την τρόπιδα λαμβάνεται ίση προς το μισό του πρωραίου βυθίσματος, τιμή σύμφωνη και με το άνω όριο κατά Holtrop (1984), ίσο προς 0,6 T_F.
5) Το βυθισμένο μέρος της εγκάρσιας επιφάνειας του καθρέπτη σε μηδενική ταχύτητα A_T (m^2) (Immersed Area of Transom) λαμβάνεται ίσο με μηδέν.
6) Η βρεχόμενη επιφάνεια των παρελκομένων (Appendages Surface) Sapp λαμβάνεται ίση με το 8% της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας (Wetted Surface) S .
7) Η τιμή του συντελεστή παρελκομένων ($1+k_2$) λαμβάνεται ίση με 3.
8) Η διάμετρος της προπέλας D λαμβάνεται ίση με το 0,75 του βυθίσματος T_m.
9) Ο αριθμός των ελίκων N θεωρείται ίσος με 2.
10) Ο βαθμός απόδοσης της έλικας η_0 για λόγους συμβατότητας λαμβάνεται από την προσεγγιστική σχέση που εμφανίζεται στην μελέτη του Hans Otto Kristensen (2012) και δίδεται ως συνάρτηση του συντελεστή ώσης C_{Th} ως εξής:

$$C_{Th} = \frac{T}{\frac{\rho}{2}\pi\frac{Dp^2}{4}V_A^2}$$

$$V_A = V \times (1 - w)$$

$$\eta_0 = \left(\frac{\max(0{,}65 \text{ ή } 0{,}81 - 0{,}014C_{Th})}{1 + \sqrt{C_{Th} + 1}}\right) \times 2$$

11) Ο βαθμός απόδοσης άξονα η_S λαμβάνεται ίσος με 0,96.
12) Ένα περιθώριο λειτουργίας της τάξης του 25% χρησιμοποιείται έτσι, ώστε να ληφθούν υπ' όψιν οι καιρικές συνθήκες και η ρύπανση της γάστρας και της προπέλας στον υπολογισμό της ολικής ισχύος P_{Total}. Ίδιο περιθώριο λειτουργίας εμφανίζεται και στην μελέτη του Kristensen (2012) .

Παράρτημα ΙΙ: Πίνακες για Υπολογισμό Εκθετών της Σχεδιαστικής Μεταβλητής Ship Design Variable (SDV)

Οχηματαγωγά Πλοία:

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Ro	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	148.54	148.34	148.74
B [m]	23.40	23.40	23.40
T [m]	6.85	6.85	6.85
V [kn]	18.33	18.33	18.33
C_B	0.640	0.641	0.639
∇ [m^3]	15238.00	15238.00	15238.00
Δ [ton]	15618.95	15618.95	15618.95
P[KW]	9890.22	9908.30	9872.38

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει:

$$P_{ME} = Const. \times \mathrm{Lpp}^{(-1.35)}$$

Οπότε: β+δ-0.5*α = -1.35 (1)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Ro	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	148.54	148.54	148.54
B [m]	23.40	23.30	23.50
T [m]	6.85	6.85	6.85
V [kn]	18.33	18.33	18.33
C_B	0.640	0.643	0.637
∇ [m^3]	15238.00	15238.00	15238.00
Δ [ton]	15618.95	15618.95	15618.95
P [kW]	9890.22	9917.18	9864.28

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει:

$$P_{ME} = Const. \times \mathrm{B}^{(-0.63)}$$

Οπότε: γ-β = -0.63 (2)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Ro	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	148.54	148.54	148.54
B [m]	23.40	23.40	23.40
T [m]	6.85	6.75	6.95
V [kn]	18.33	18.33	18.33
C_B	0.640	0.649	0.631
∇ [m^3]	15238.00	15238.00	15238.00
Δ [ton]	15618.95	15618.95	15618.95
P [kW]	9890.22	10082.82	9719.12

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει:

$$P_{ME} = Const. \times \mathrm{T}^{(-1.26)}$$

Οπότε: γ = 1.26 (3)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Ro	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	148.54	148.54	148.54
B [m]	23.40	23.40	23.40
T [m]	6.85	6.85	6.85
V [kn]	18.33	18.13	18.53
C_B	0.640	0.640	0.640
∇ [m^3]	15238.00	15238.00	15238.00
Δ [ton]	15618.95	15618.95	15618.95
P [kW]	9890.22	9489.05	10310.02

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει:

$$P_{ME} = Const. \times V^{(3.80)}$$

Οπότε: α + 1 = 3.80 (4)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Ro	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	148.54	148.54	148.54
B [m]	23.40	23.40	23.40
T [m]	6.85	6.85	6.85
V [kn]	18.33	18.13	18.53
C_B	0.640	0.632	0.648
∇ [m^3]	15238.00	15038.00	15438.00
Δ [ton]	15618.95	15413.95	15823.95
P[kW]	9890.22	9696.29	10096.42

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει :

$$P_{ME} = Const. \times \nabla^{(1.54)}$$

Οπότε: ε – δ/3 = 1.54 (5)

Επιλύοντας το σύστημα (1) – (5) προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές εκθετών:

α=2.80

β=1.89

γ=1.26

δ=-1.84

ε=0.93

Επιβατηγά – Οχηματαγωγά Πλοία

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Pax	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	132.80	132.60	133.00
B [m]	23.29	23.29	23.29
T [m]	5.34	5.34	5.34
V [kn]	19.79	19.79	19.79
C_B	0.576	0.577	0.576
∇ [m^3]	9519.91	9519.91	9519.91
Δ [ton]	9757.90	9757.90	9757.90
P [kW]	10668.00	10692.28	10644.07

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει :

$$P_{ME} = Const. \times \mathrm{Lpp}^{(-1.50)}$$

Οπότε: β+δ-α/2 = -1. 50 (1)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Pax	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	132.80	132.80	132.80
B [m]	23.29	23.09	23.49
T [m]	5.34	5.34	5.34
V [kn]	19.79	19.79	19.79
C_B	0.576	0.581	0.571
∇ [m^3]	9519.91	9519.91	9519.91
Δ [ton]	9757.90	9757.90	9757.90
P [kW]	10668.00	10721.88	10617.15

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει :

$$P_{ME} = Const. \times B^{(-0.57)}$$

Οπότε: γ-β = -0.57 (2)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Pax	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	132.80	132.80	132.80
B [m]	23.29	23.29	23.29
T [m]	5.34	5.24	5.44
V [kn]	19.79	19.79	19.79
C_B	0.576	0.587	0.566
∇ [m^3]	9519.91	9519.91	9519.91
Δ [ton]	9757.90	9757.90	9757.90
P [kW]	10668.00	10963.64	10405.91

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει :

$$P_{ME} = Const. \times T^{(-1.40)}$$

Οπότε: γ = -1.40 (3)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Pax	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	132.80	132.80	132.80
B [m]	23.29	23.29	23.29
T [m]	5.34	5.34	5.34
V [kn]	19.79	19.59	19.99
C_B	0.576	0.576	0.576
∇ [m^3]	9519.91	9519.91	9519.91
Δ [ton]	9757.90	9757.90	9757.90
P [kW]	10668.00	10261.97	11079.30

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει :

$$P_{ME} = Const. \times \mathrm{V}^{(3.79)}$$

Οπότε: α + 1 = 3.79 (4)

Μέσο Πλοίο Υπολογισμών Ro-Pax	Πλοίο «0»	Πλοίο «1»	Πλοίο «2»
L_{PP} [m]	132.80	132.80	132.80
B [m]	23.29	23.29	23.29
T [m]	5.34	5.34	5.34
V [kn]	19.59	19.59	19.59
C_B	0.576	0.564	0.589
∇ [m^3]	9519.91	9319.91	9719.91
Δ [ton]	9757.90	9552.90	9962.90
P [kW]	10668.00	10316.48	11043.79

Από την εφαρμογή μεθόδου Holtrop στα παραπάνω πλοία, προκύπτει:

$$P_{ME} = Const. \times \nabla^{(1.62)}$$

Οπότε: ε – δ/3 = 1.62 (5)

Επιλύοντας το σύστημα (1) – (5) προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές εκθετών:

α=2,79

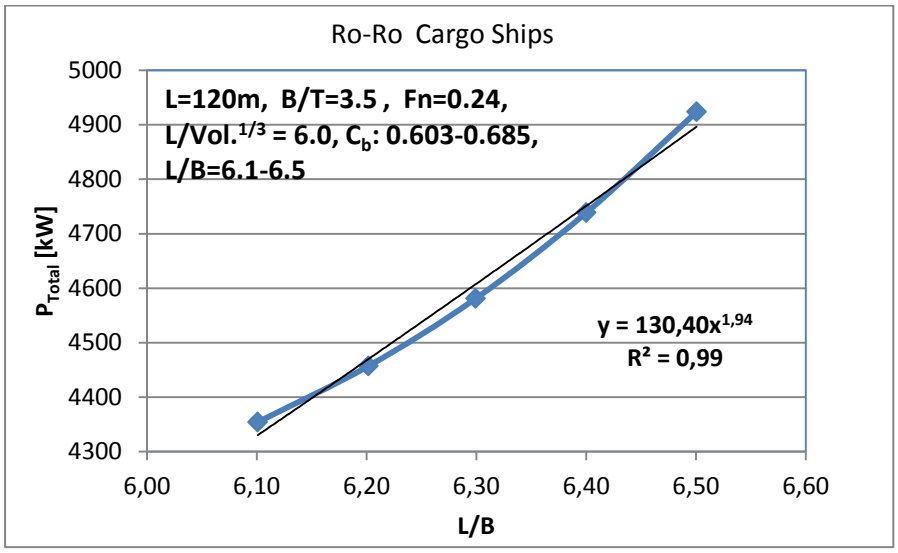
β=1,97

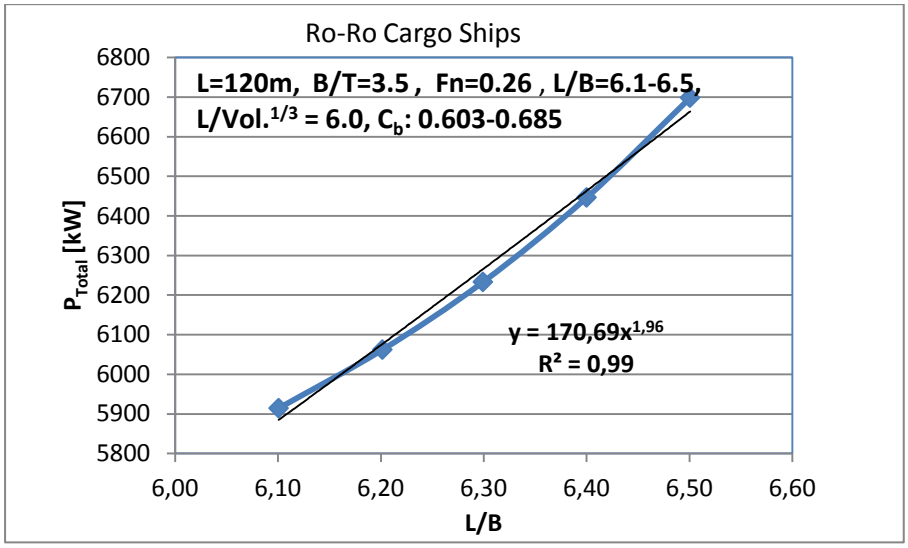
γ=1,40

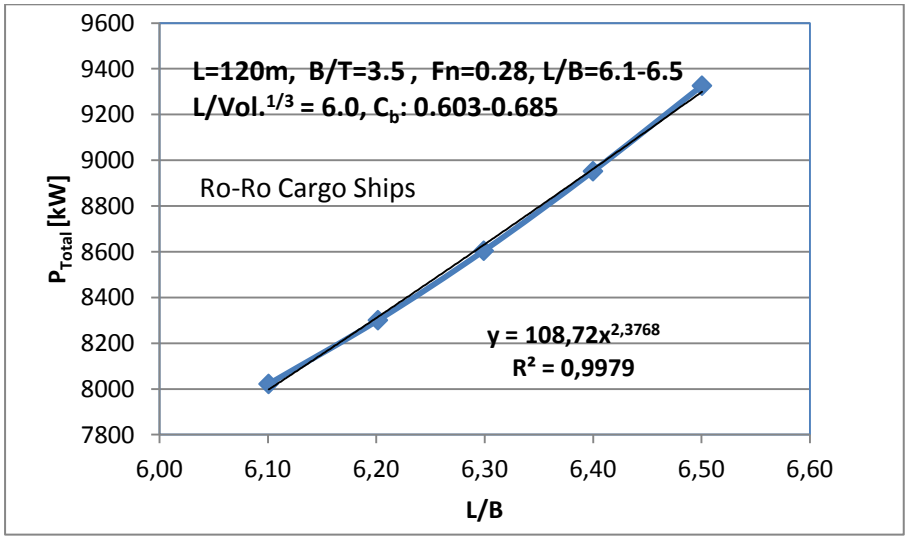
δ=-2,07

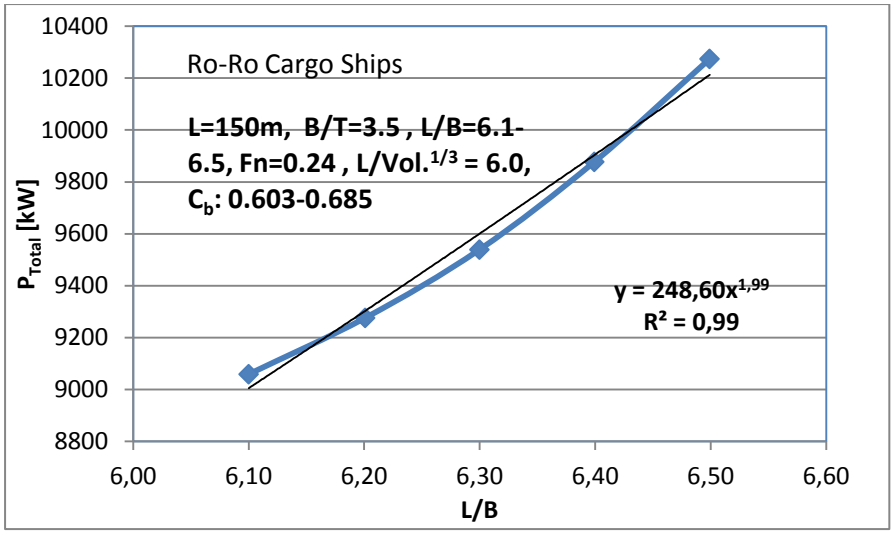
ε=0,93

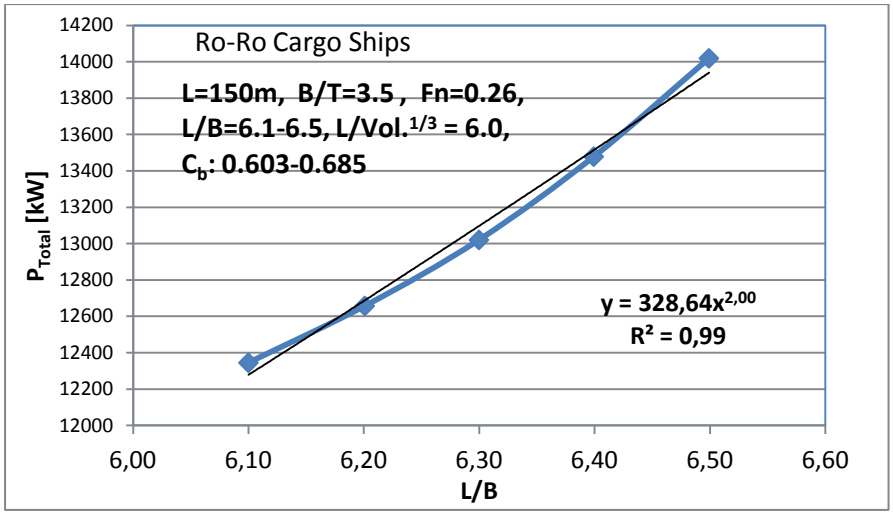
Παράρτημα ΙΙΙ: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Οχηματαγωγά Πλοία

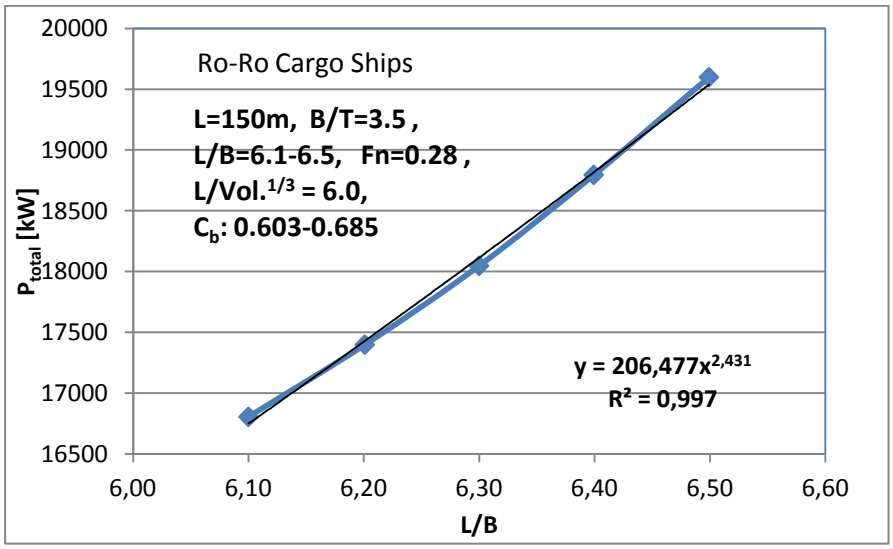


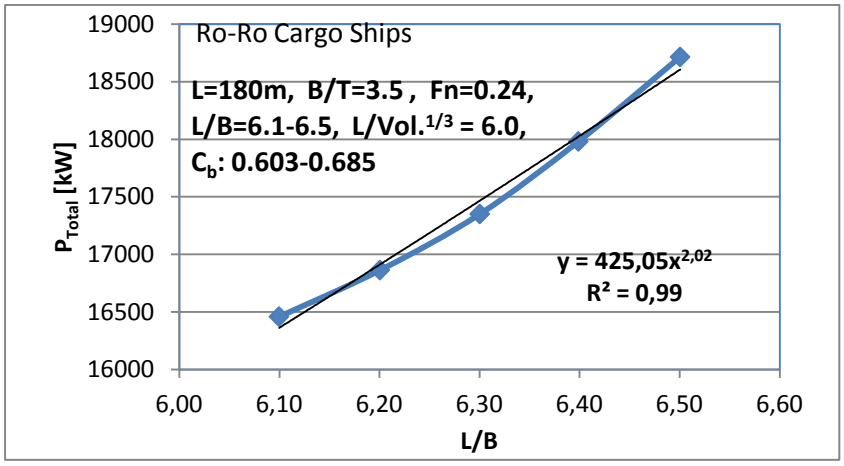


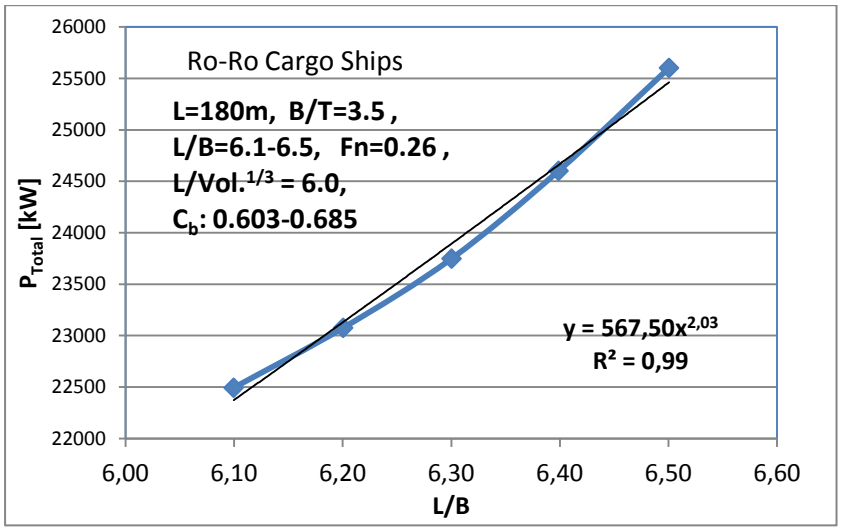


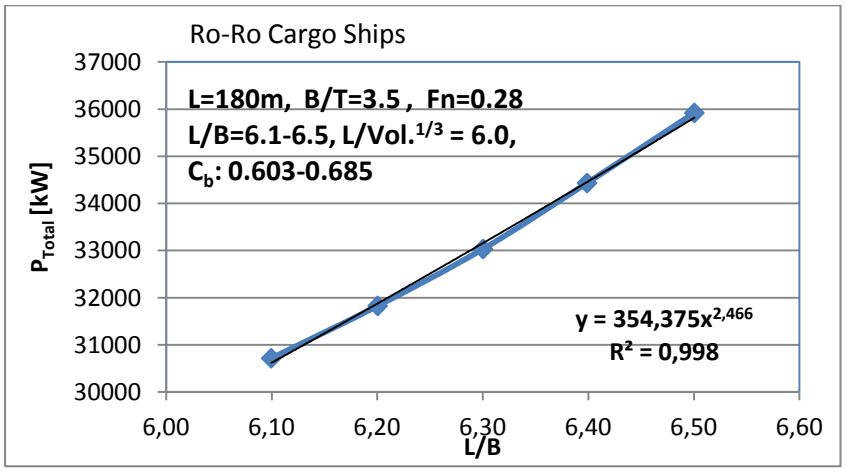

Ro-Ro Cargo Ships
L=150m, B/T=3.5 , L/B=6.1-6.5, Fn=0.24 , L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.603-0.685
y = 248,60x1,99
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
10400
10200
10000
9800
9600
9400
9200
9000
8800
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60


Ro-Ro Cargo Ships
L=150m, B/T=3.5 , Fn=0.26, L/B=6.1-6.5, L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.603-0.685
y = 328,64x2,00
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
14200
14000
13800
13600
13400
13200
13000
12800
12600
12400
12200
12000
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60

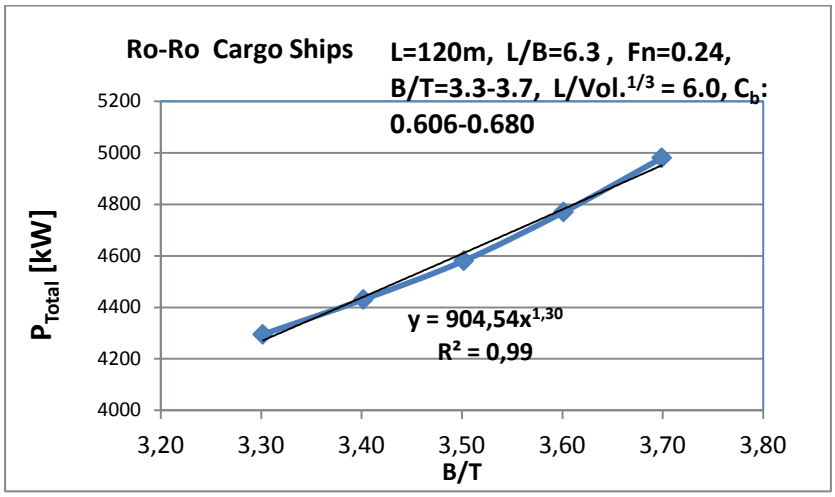

Ro-Ro Cargo Ships
L=150m, B/T=3.5 , L/B=6.1-6.5, Fn=0.28 , L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.603-0.685
y = 206,477x2,431
R² = 0,997
Ptotal [kW]
L/B
20000
19500
19000
18500
18000
17500
17000
16500
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60

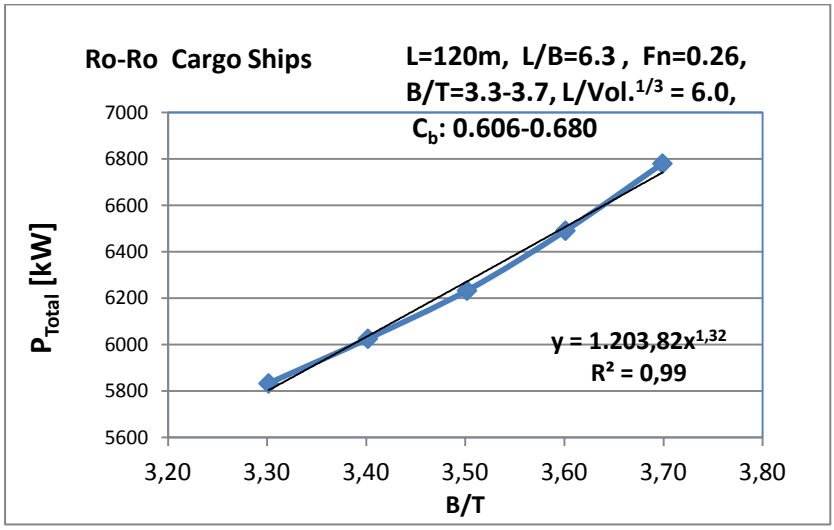

Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, B/T=3.5 , Fn=0.24,
L/B=6.1-6.5, L/Vol.1/3 = 6.0,
Cb: 0.603-0.685
y = 425,05x2,02
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
19000
18500
18000
17500
17000
16500
16000
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60

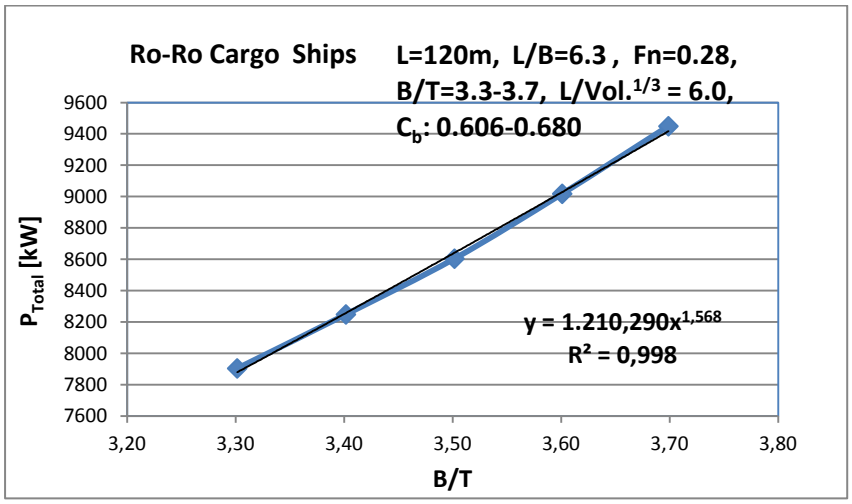

Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, B/T=3.5 ,
L/B=6.1-6.5, Fn=0.26 ,
L/Vol.1/3 = 6.0,
Cb: 0.603-0.685
y = 567,50x2,03
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
26000
25500
25000
24500
24000
23500
23000
22500
22000
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60

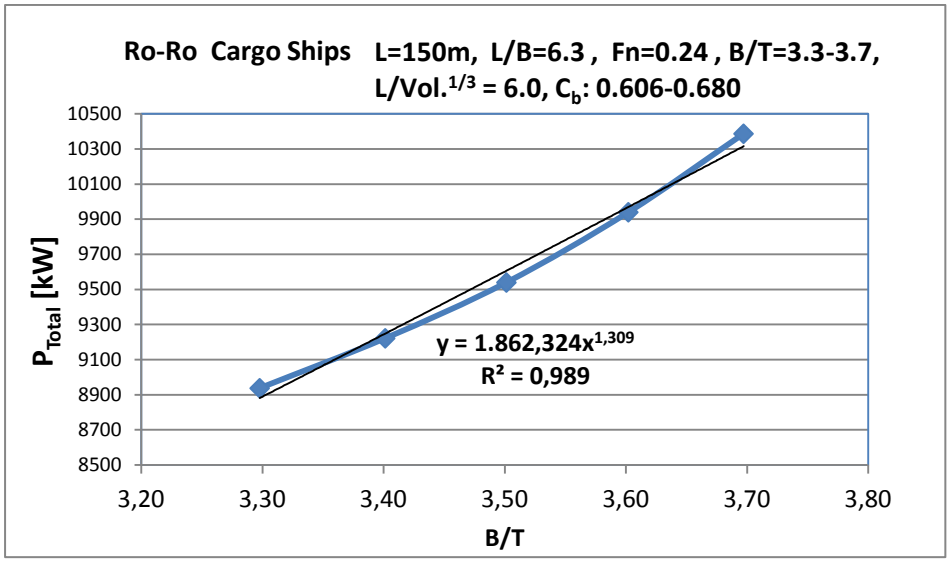

Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, B/T=3.5 , Fn=0.28
L/B=6.1-6.5, L/Vol.1/3 = 6.0,
Cb: 0.603-0.685
y = 354,375x2,466
R² = 0,998
PTotal [kW]
L/B
37000
36000
35000
34000
33000
32000
31000
30000
6,00
6,10
6,20
6,30
6,40
6,50
6,60

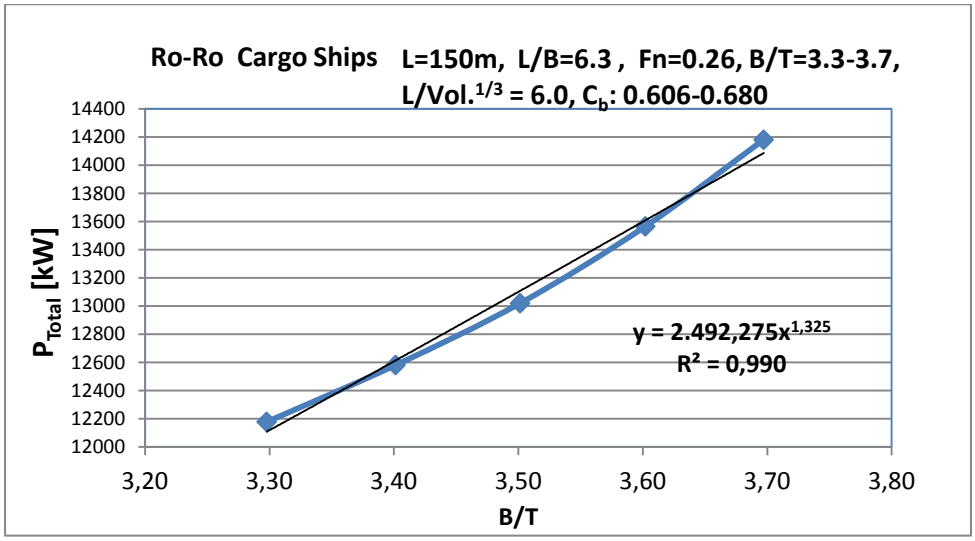
Παράρτημα VI: Διαγράμματα Ισχύος ως προς B/T για Οχηματαγωγά Πλοία

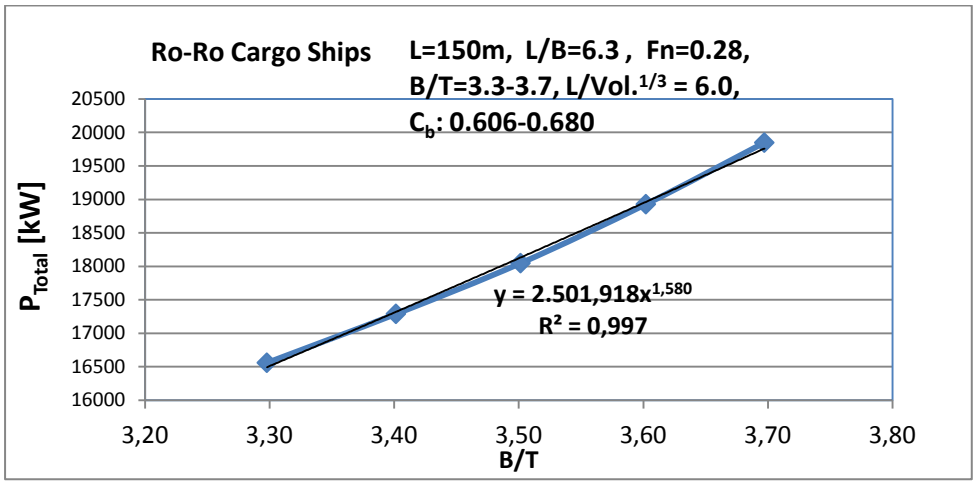


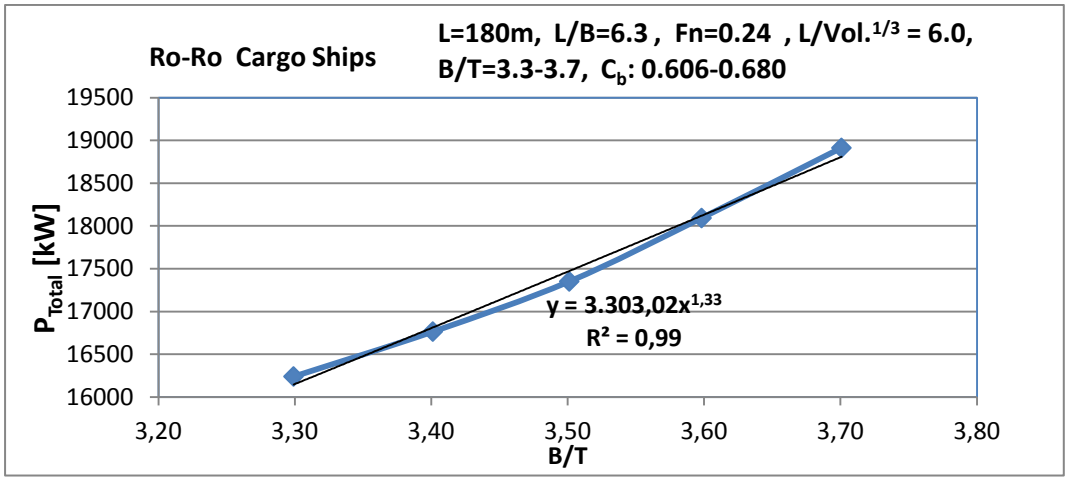


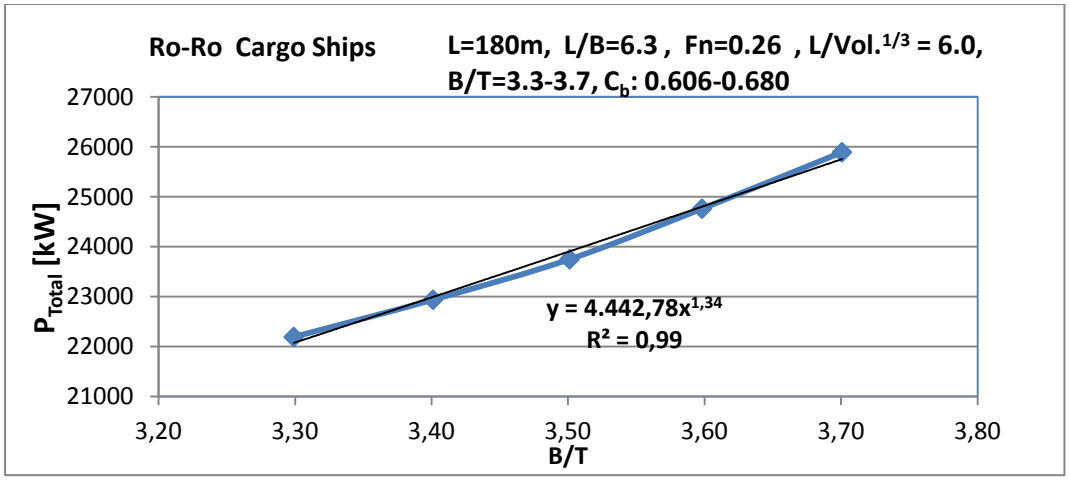


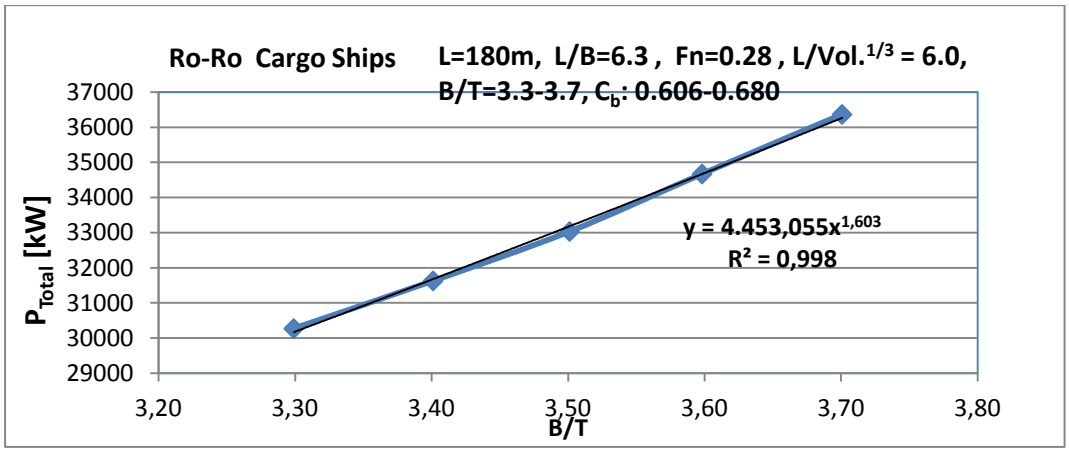

Ro-Ro Cargo Ships L=150m, L/B=6.3 , Fn=0.24 , B/T=3.3-3.7, L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.606-0.680
PTotal [kW]
10500
10300
10100
9900
9700
9500
9300
9100
8900
8700
8500
y = 1.862,324x1,309
R² = 0,989
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T


Ro-Ro Cargo Ships L=150m, L/B=6.3 , Fn=0.26, B/T=3.3-3.7, L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.606-0.680
PTotal [kW]
14400
14200
14000
13800
13600
13400
13200
13000
12800
12600
12400
12200
12000
y = 2.492,275x1,325
R² = 0,990
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T


Ro-Ro Cargo Ships L=150m, L/B=6.3 , Fn=0.28, B/T=3.3-3.7, L/Vol.1/3 = 6.0, Cb: 0.606-0.680
PTotal [kW]
20500
20000
19500
19000
18500
18000
17500
17000
16500
16000
y = 2.501,918x1,580
R² = 0,997
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T


Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, L/B=6.3 , Fn=0.24 , L/Vol.1/3 = 6.0,
B/T=3.3-3.7, Cb: 0.606-0.680
19500
19000
18500
18000
17500
17000
16500
16000
PTotal [kW]
y = 3.303,02x1,33
R² = 0,99
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T


Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, L/B=6.3 , Fn=0.26 , L/Vol.1/3 = 6.0,
B/T=3.3-3.7, Cb: 0.606-0.680
27000
26000
25000
24000
23000
22000
21000
PTotal [kW]
y = 4.442,78x1,34
R² = 0,99
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T


Ro-Ro Cargo Ships
L=180m, L/B=6.3 , Fn=0.28 , L/Vol.1/3 = 6.0,
B/T=3.3-3.7, Cb: 0.606-0.680
37000
36000
35000
34000
33000
32000
31000
30000
29000
PTotal [kW]
y = 4.453,055x1,603
R² = 0,998
3,20
3,30
3,40
3,50
3,60
3,70
3,80
B/T

Παράρτημα V: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford ως προς Πλάτος (Μέσο Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος)

Από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0»):

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του πλάτους του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος. Οι εκθέτες που υπολογίστηκαν φαίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα:

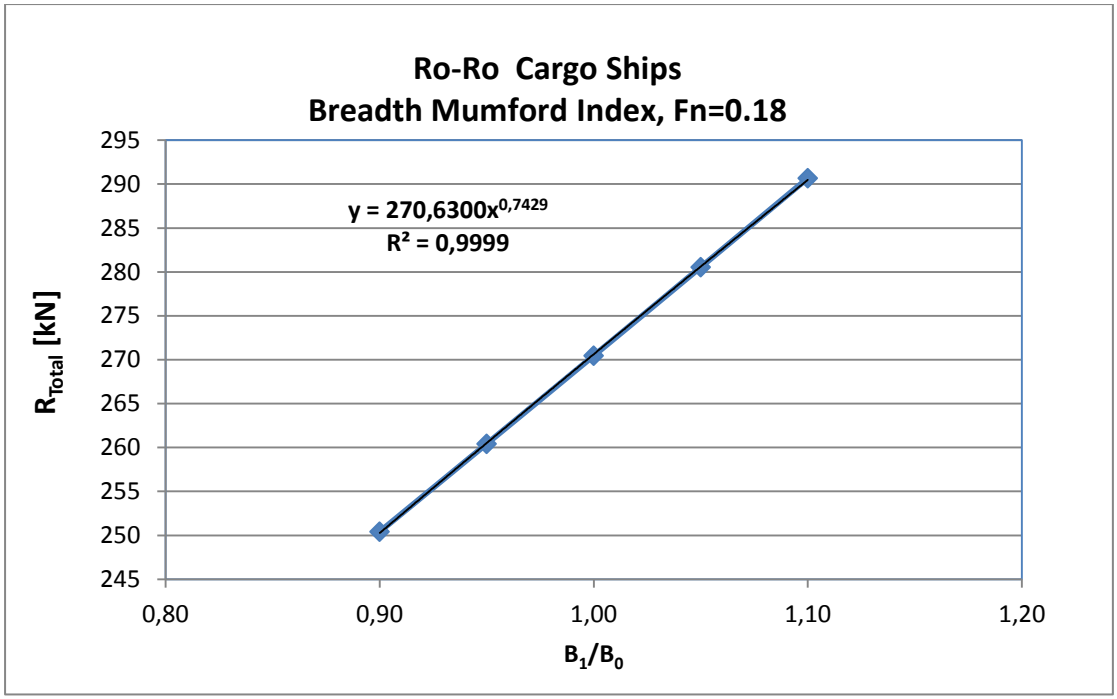
Πίνακας V.I: Εκθέτης κατά Mumford X ως προς μεταβολές Πλάτους για διάφορους αριθμούς Froude για Ο/Γ Πλοία:

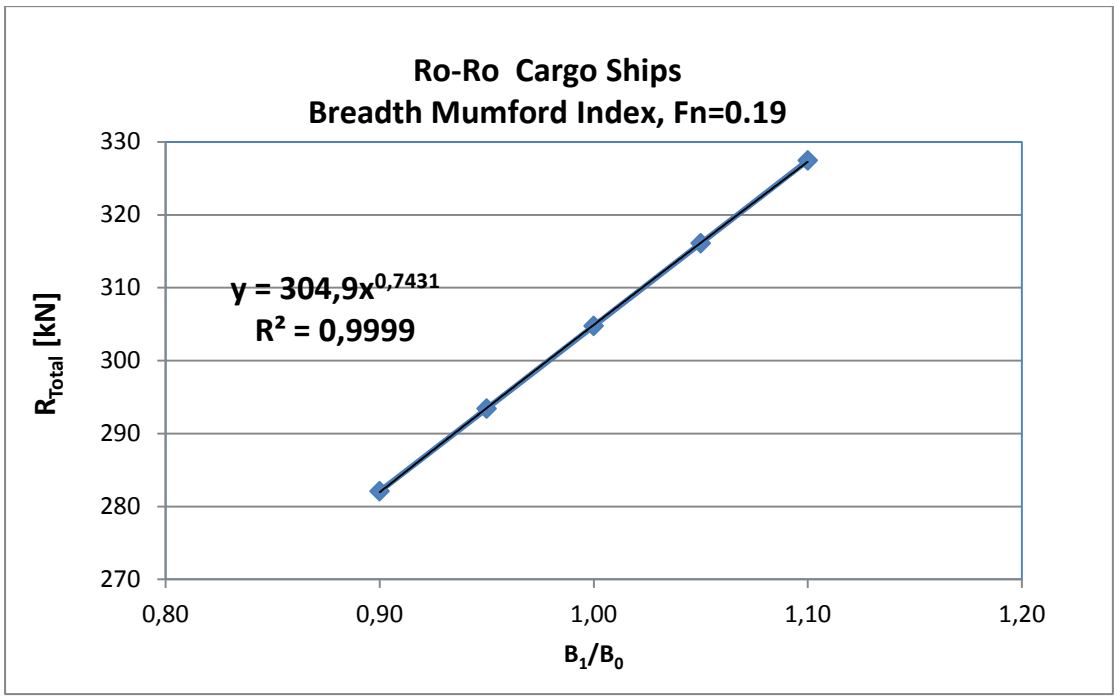
Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
x	0,7429	0,7431	0,7471	0,7551	0,7704	0,7945	0,8184

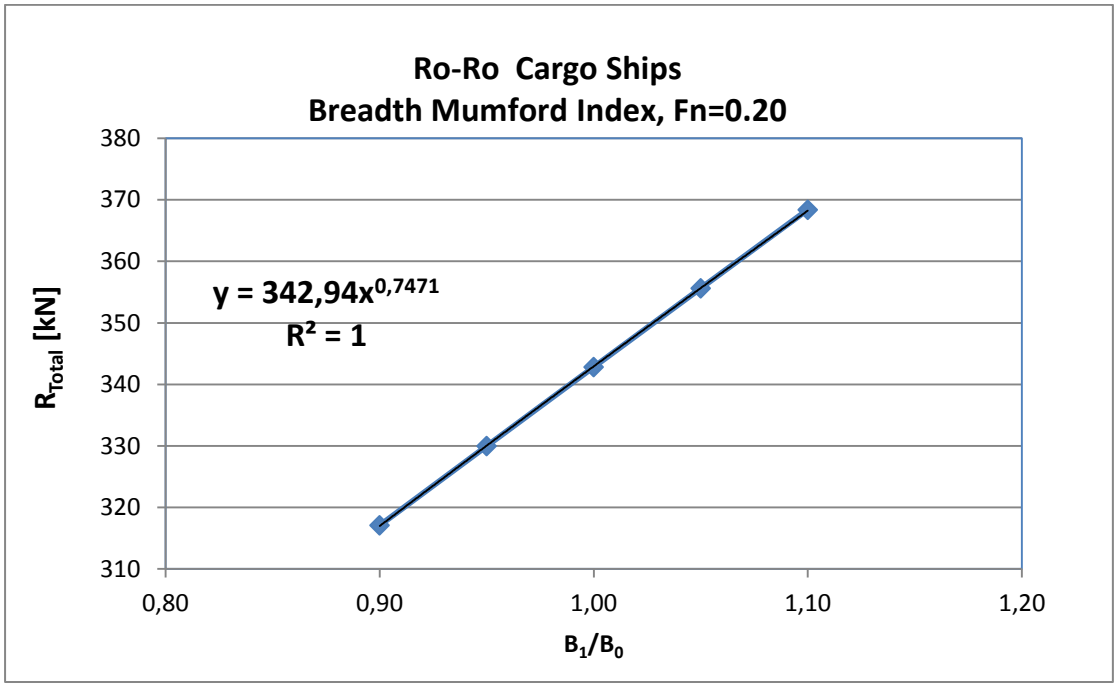
Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
x	0,8353	0,8543	0,8934	0,9627	1,0530	1,1401	1,2025

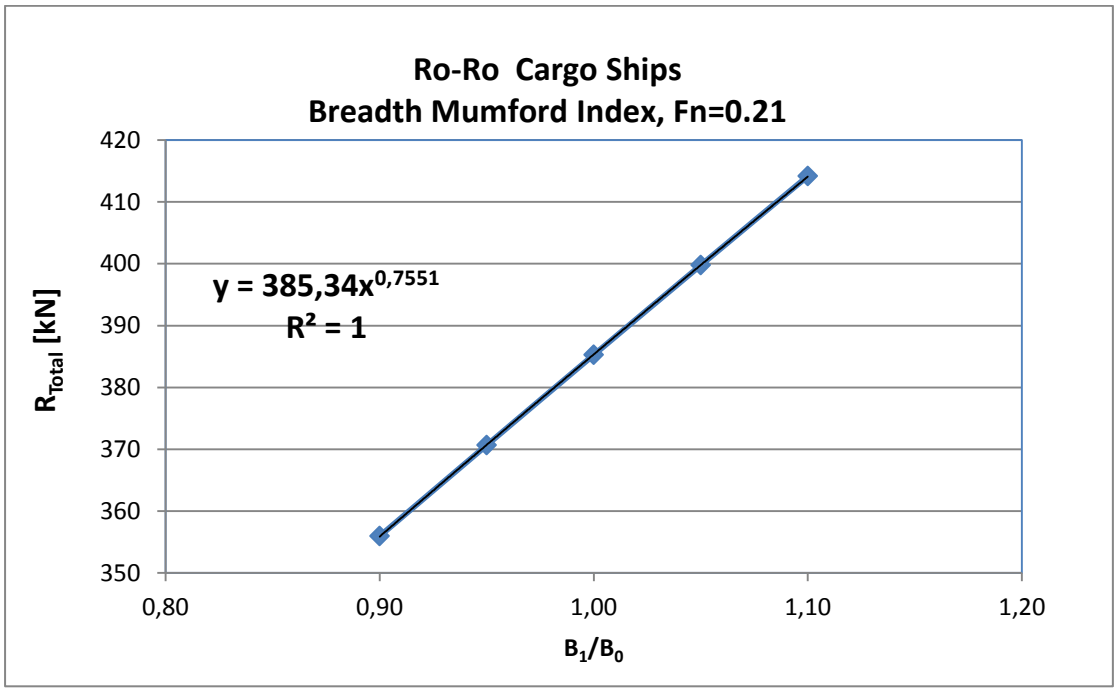
Fn	0,32	0,33	0,34	0,35
x	1,2329	1,2377	1,2288	1,2175

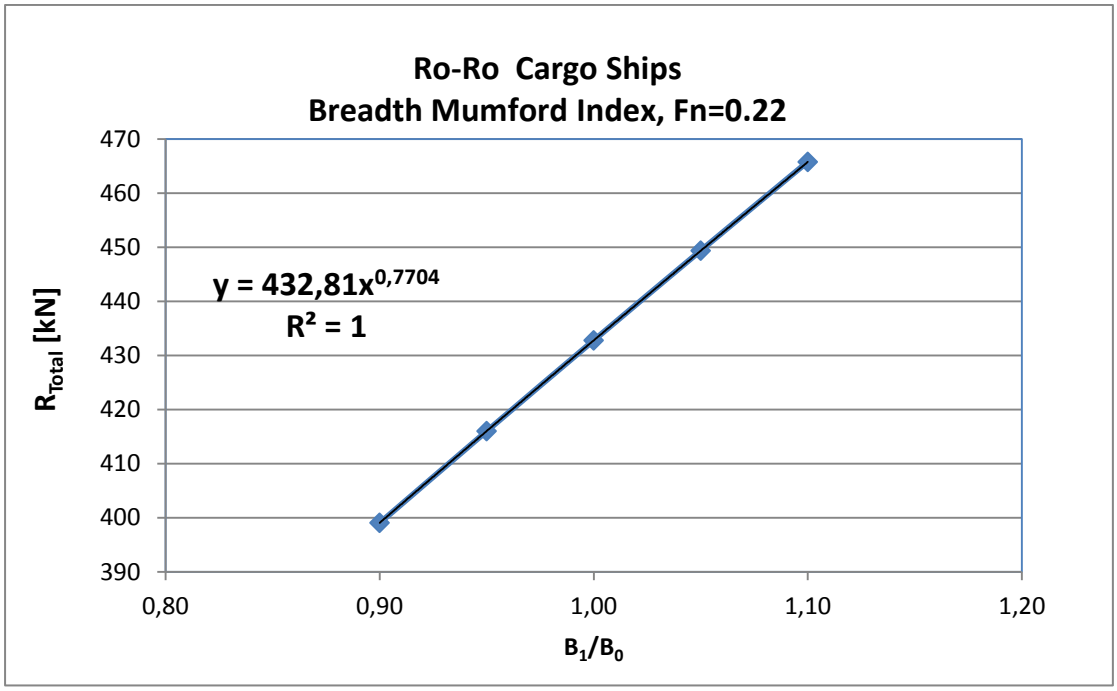
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford x για το εύρος των αριθμών Froude του δείγματος φαίνονται παρακάτω:

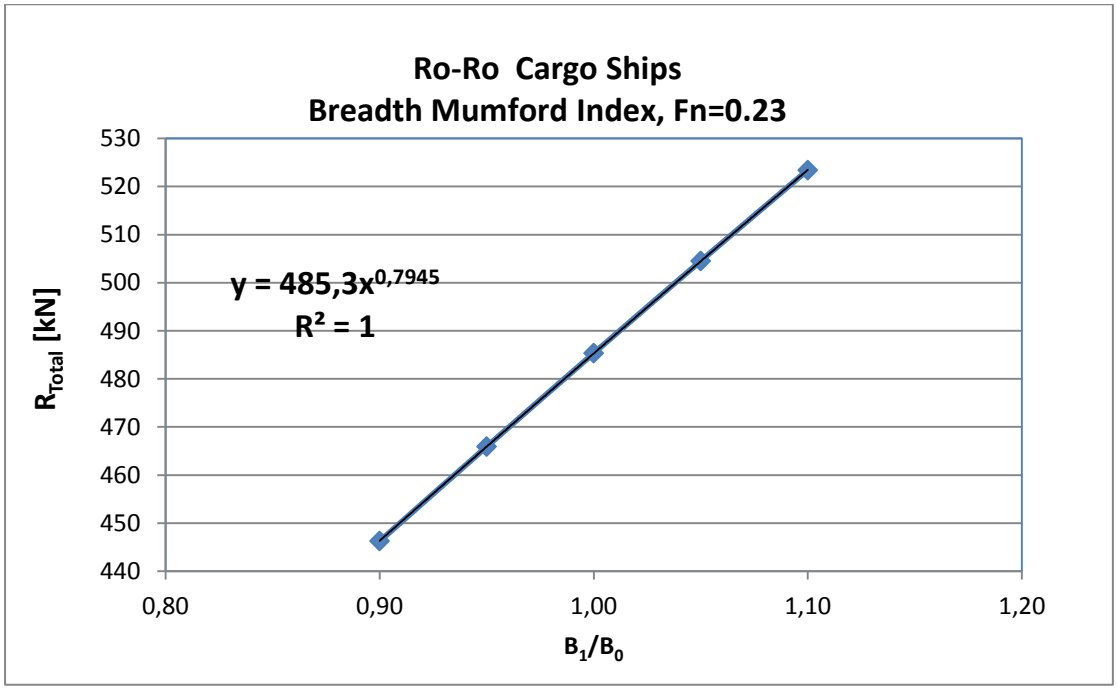

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.18
y = 270,6300x^0,7429
R² = 0,9999
R_Total [kN]
295
290
285
280
275
270
265
260
255
250
245
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

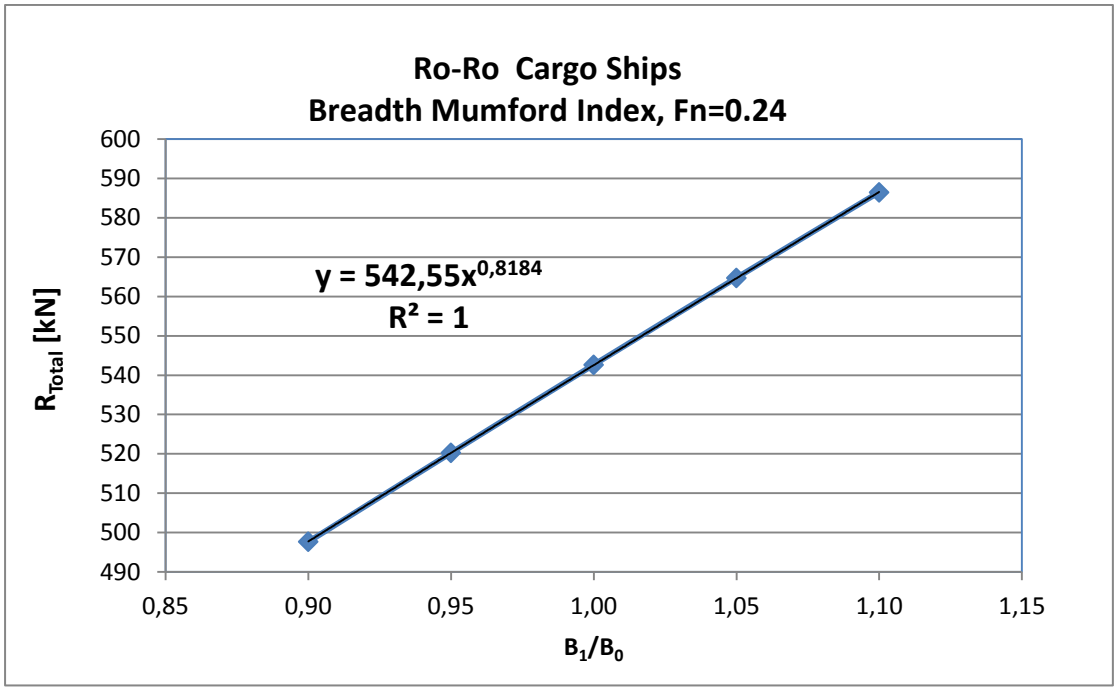

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.19
y = 304,9x^0,7431
R² = 0,9999
R_Total [kN]
330
320
310
300
290
280
270
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

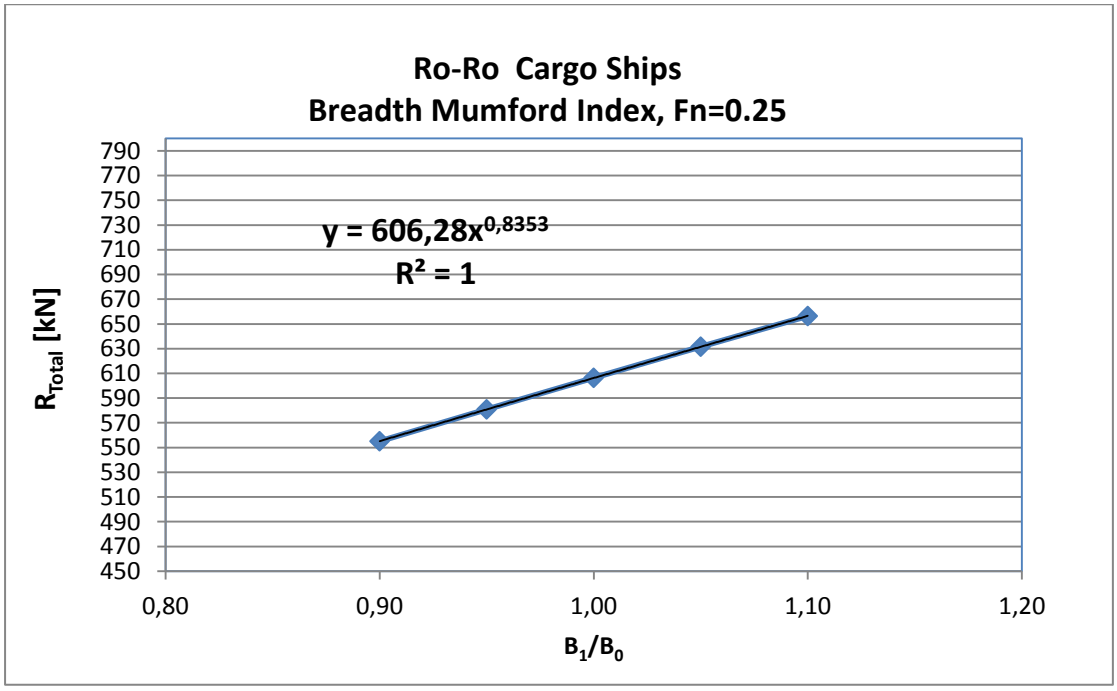

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.20
y = 342,94x^0,7471
R² = 1
R_Total [kN]
380
370
360
350
340
330
320
310
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

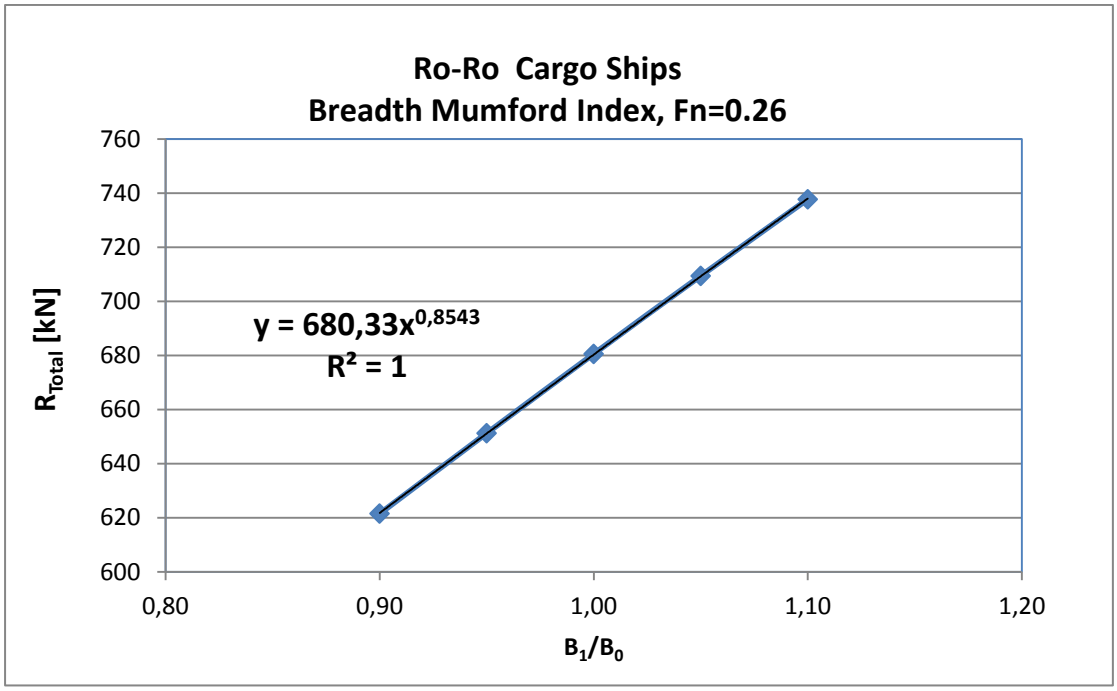

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.21
y = 385,34x^0,7551
R² = 1
R_Total [kN]
420
410
400
390
380
370
360
350
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

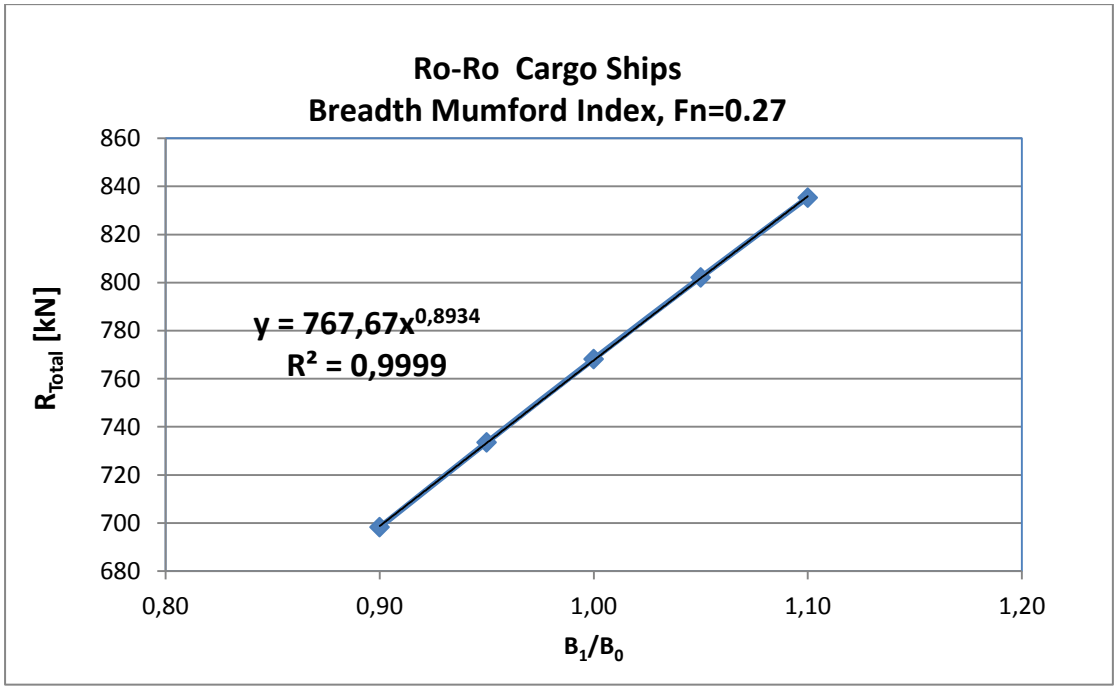

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.22
y = 432,81x^0,7704
R² = 1
R_Total [kN]
470
460
450
440
430
420
410
400
390
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

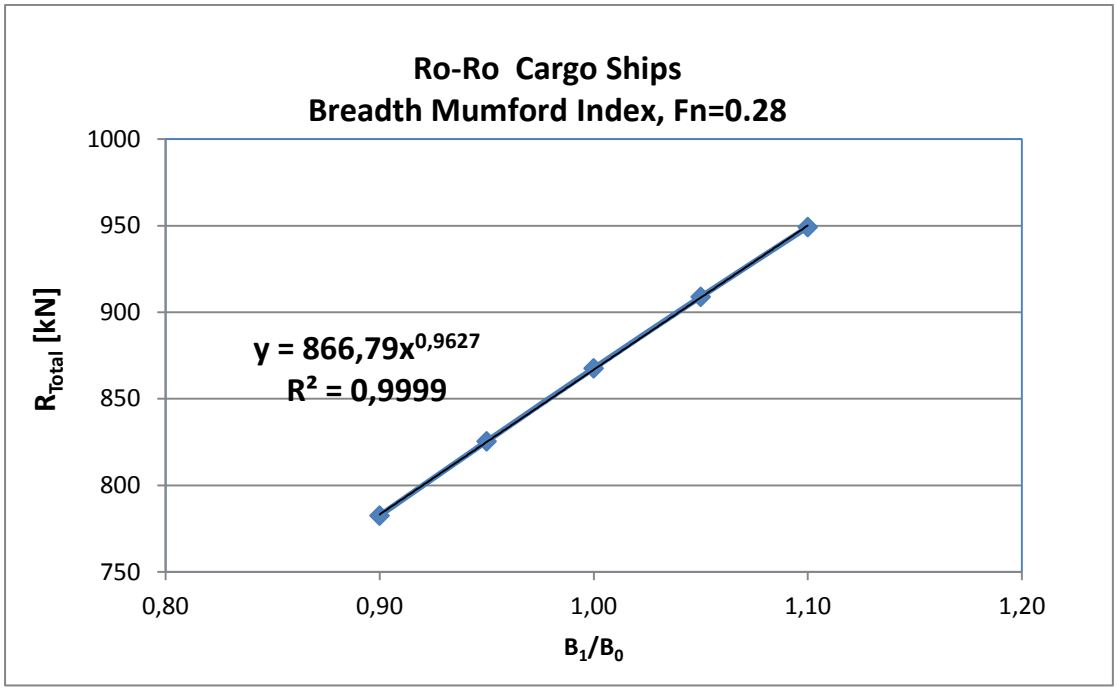

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.23
y = 485,3x^0,7945
R² = 1
R_Total [kN]
530
520
510
500
490
480
470
460
450
440
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

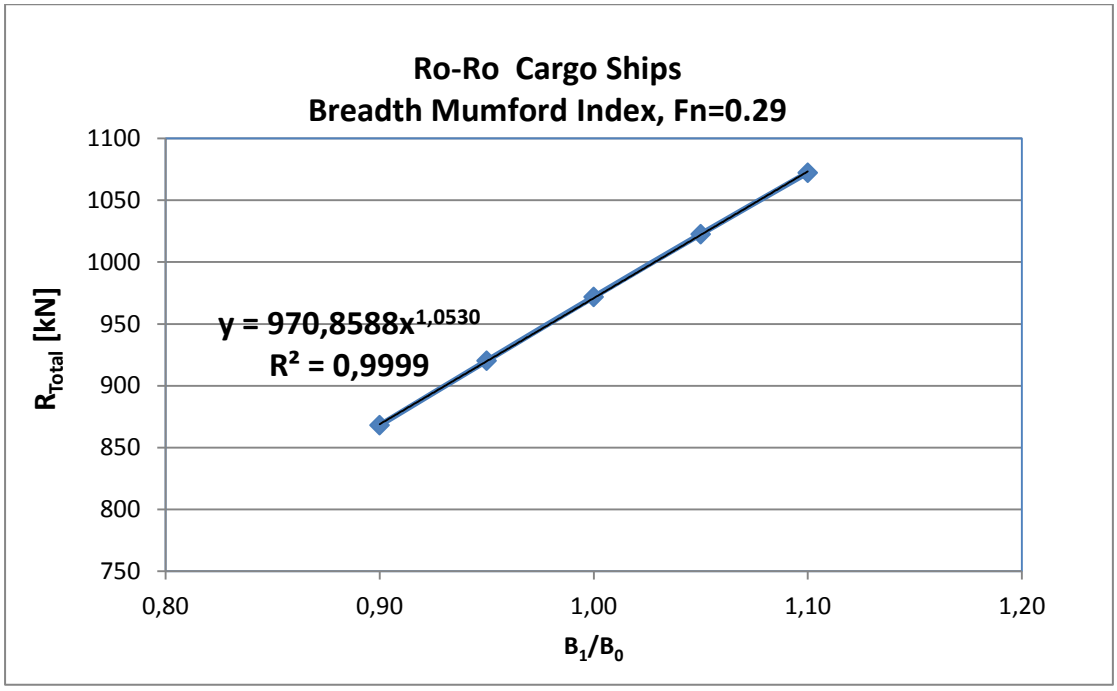

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.24
y = 542,55x^0,8184
R² = 1
R_Total [kN]
600
590
580
570
560
550
540
530
520
510
500
490
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

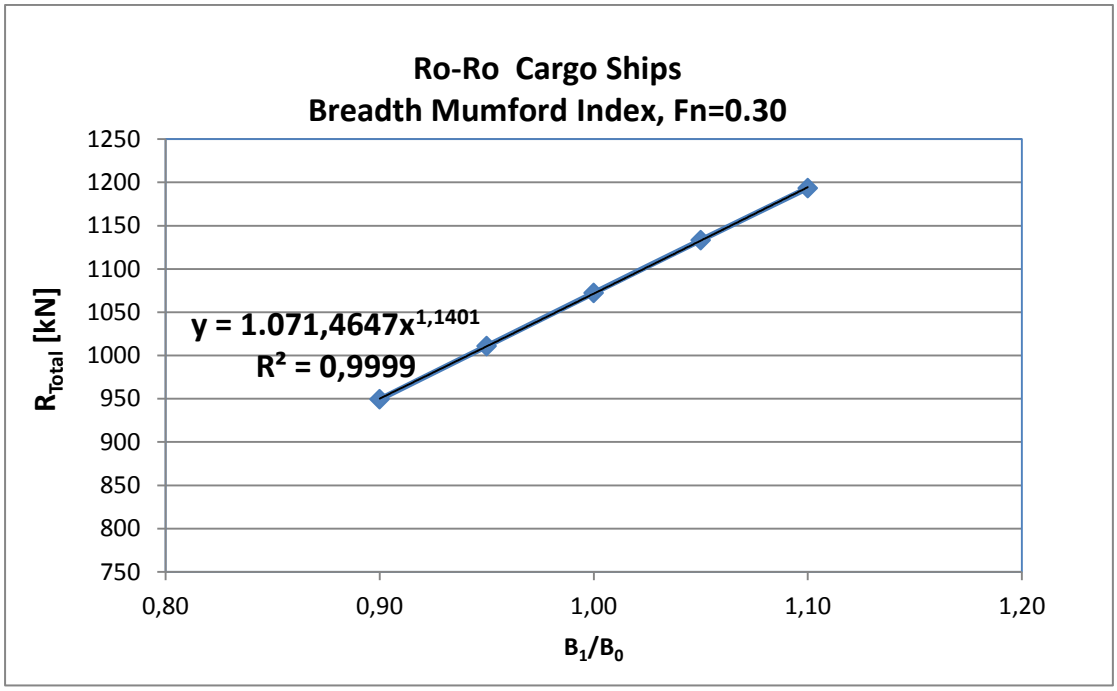

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.25
y = 606,28x^0,8353
R² = 1
R_Total [kN]
790
770
750
730
710
690
670
650
630
610
590
570
550
530
510
490
470
450
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

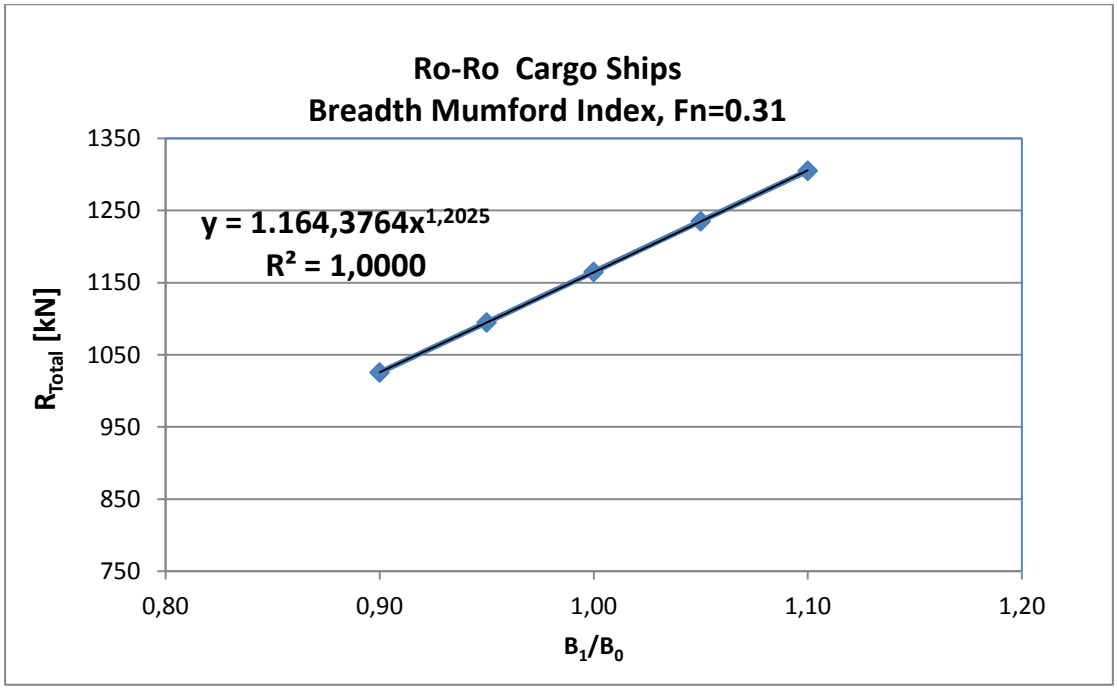

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.26
760
740
720
700
680
660
640
620
600
R_Total [kN]
y = 680,33x^0,8543
R² = 1
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

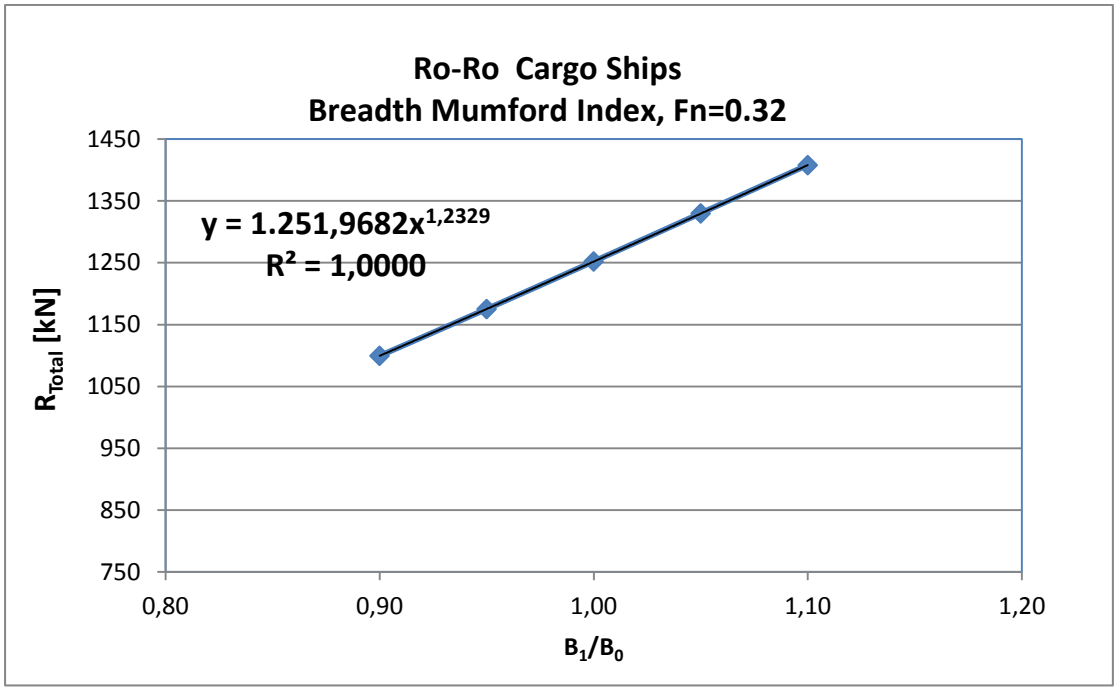

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.27
860
840
820
800
780
760
740
720
700
680
R_Total [kN]
y = 767,67x^0,8934
R² = 0,9999
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

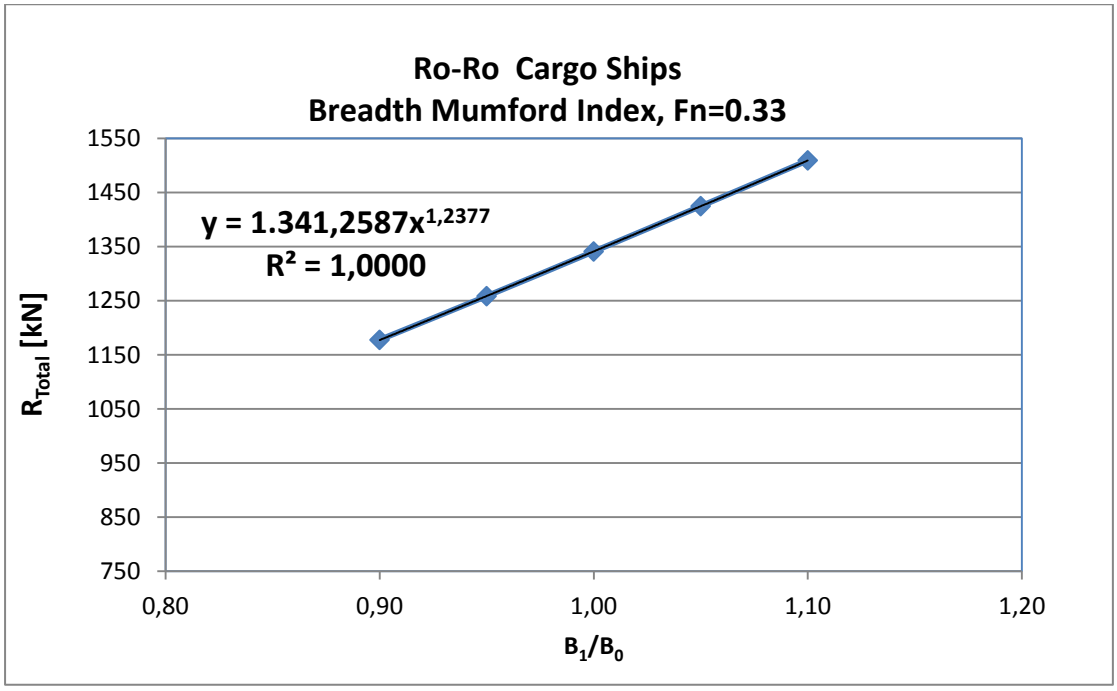

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.28
1000
950
900
850
800
750
R_Total [kN]
y = 866,79x^0,9627
R² = 0,9999
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

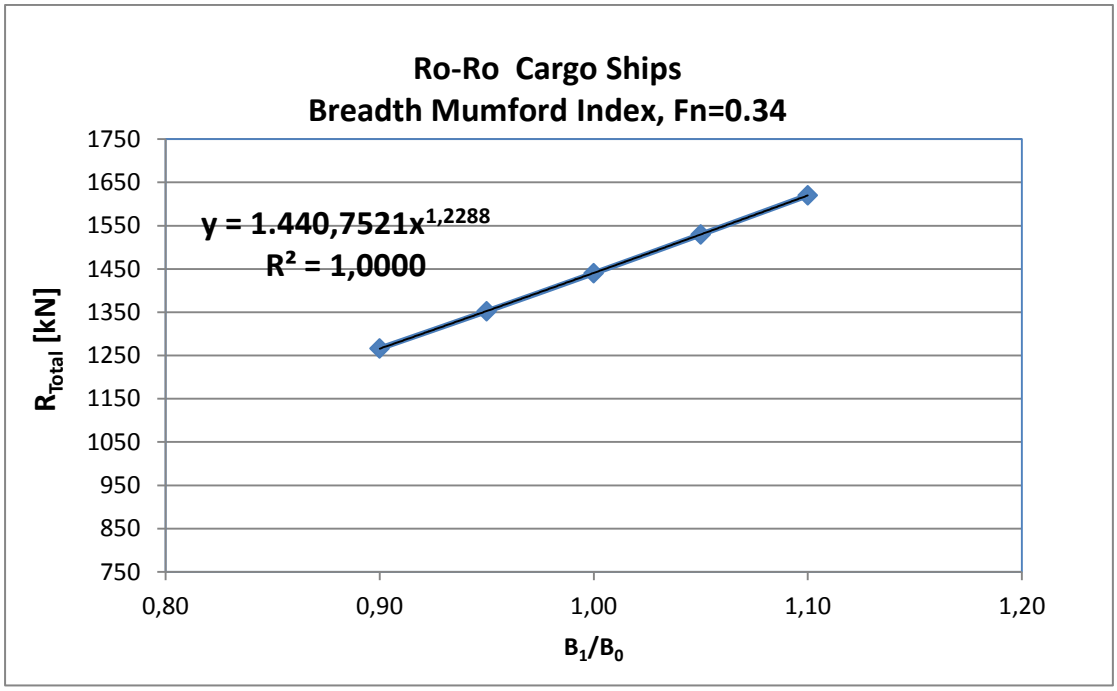

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.29
1100
1050
1000
950
900
850
800
750
R_Total [kN]
y = 970,8588x^1,0530
R² = 0,9999
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

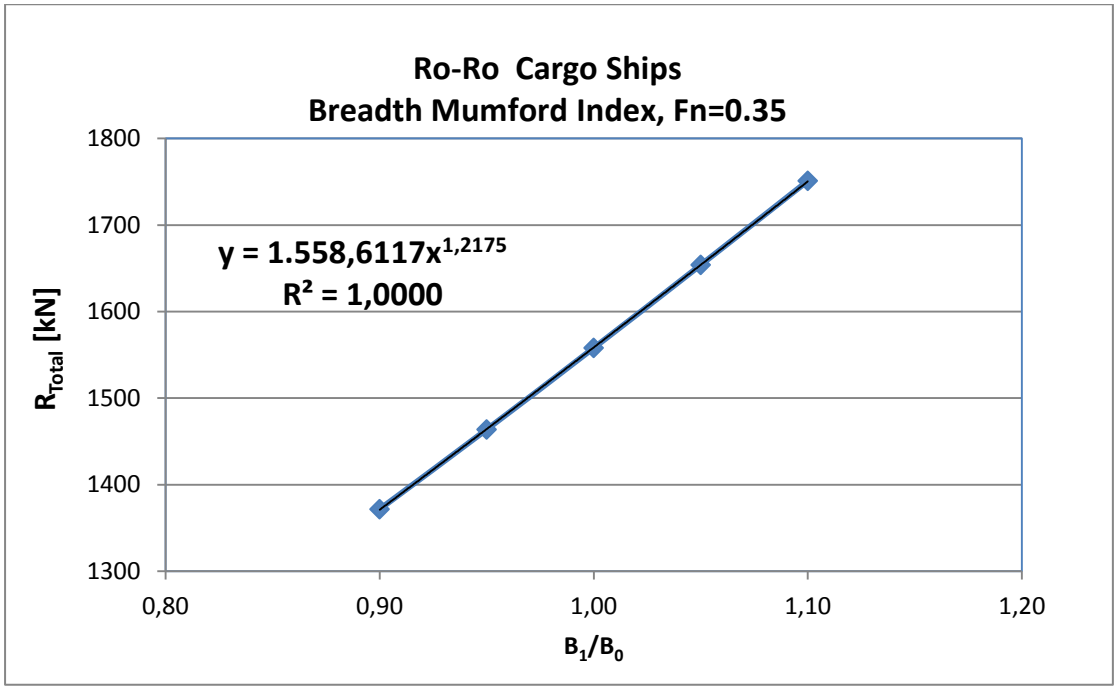

Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.30
y = 1.071,4647x^1,1401
R² = 0,9999
R_Total [kN]
B1/B0
1250
1200
1150
1100
1050
1000
950
900
850
800
750
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20


Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.31
y = 1.164,3764x^1,2025
R² = 1,0000
R_Total [kN]
B1/B0
1350
1250
1150
1050
950
850
750
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20


Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.32
y = 1.251,9682x^1,2329
R² = 1,0000
R_Total [kN]
1450
1350
1250
1150
1050
950
850
750
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0


Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.33
y = 1.341,2587x^1,2377
R² = 1,0000
R_Total [kN]
1550
1450
1350
1250
1150
1050
950
850
750
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0


Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.34
y = 1.440,7521x^1,2288
R² = 1,0000
R_Total [kN]
1750
1650
1550
1450
1350
1250
1150
1050
950
850
750
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0


Ro-Ro Cargo Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.35
y = 1.558,6117x^1,2175
R² = 1,0000
R_Total [kN]
1800
1700
1600
1500
1400
1300
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
B1/B0

Παράρτημα VI: Διαγράμματα Αντίστασης για την εύρεση των δεικτών Mumford ως προς Βύθισμα (Μέσο Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος)

Από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0»):

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του βυθίσματος του μέσου Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος. Οι αντίστοιχοι εκθέτες που υπολογίστηκαν φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

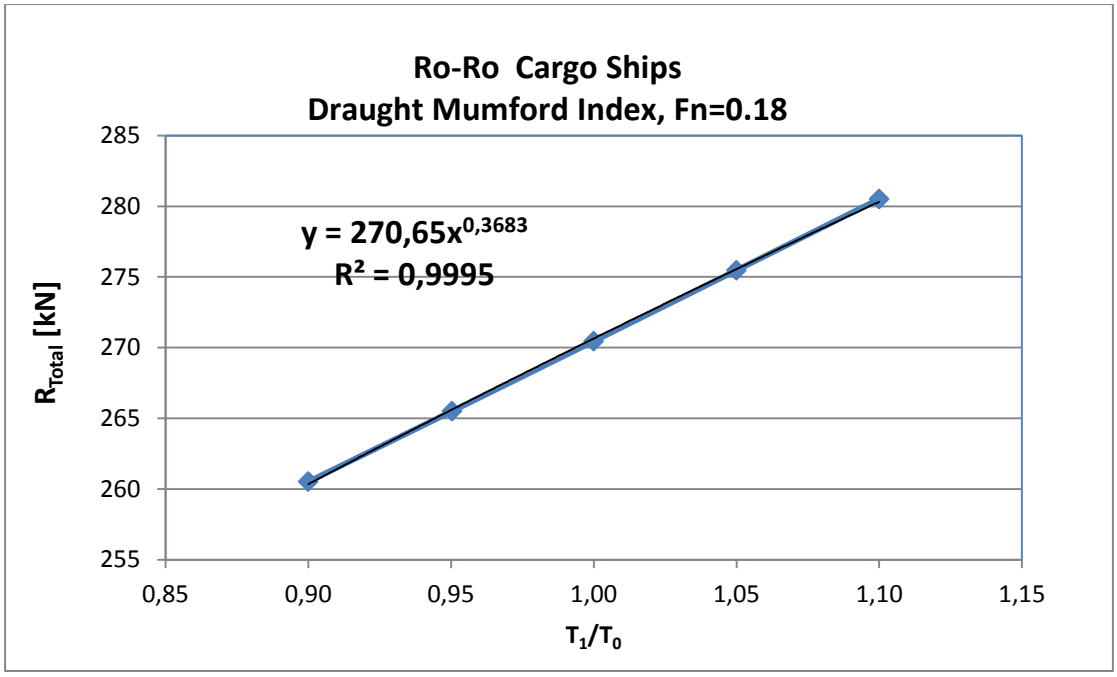
Πίνακας VI.1: Εκθέτης κατά Mumford y ως προς μεταβολές Βυθίσματος για διάφορους αριθμούς Froude για Ο/Γ Πλοία:

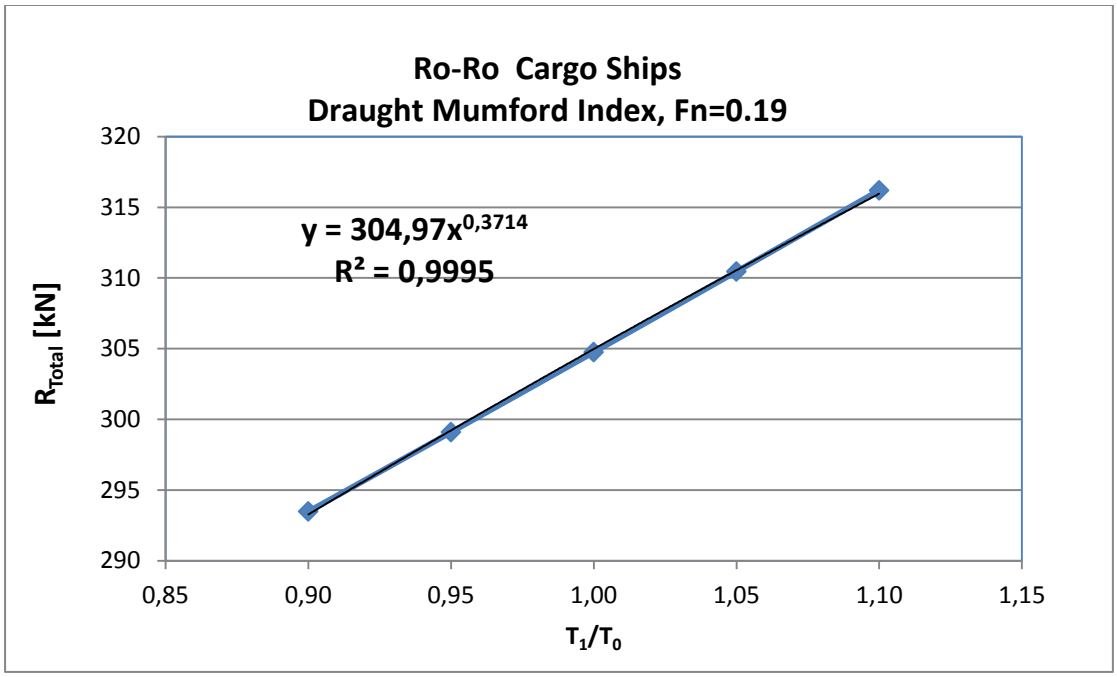
Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
y $_{R(T)}$	0,3683	0,3714	0,3766	0,3842	0,3946	0,4076	0,4227

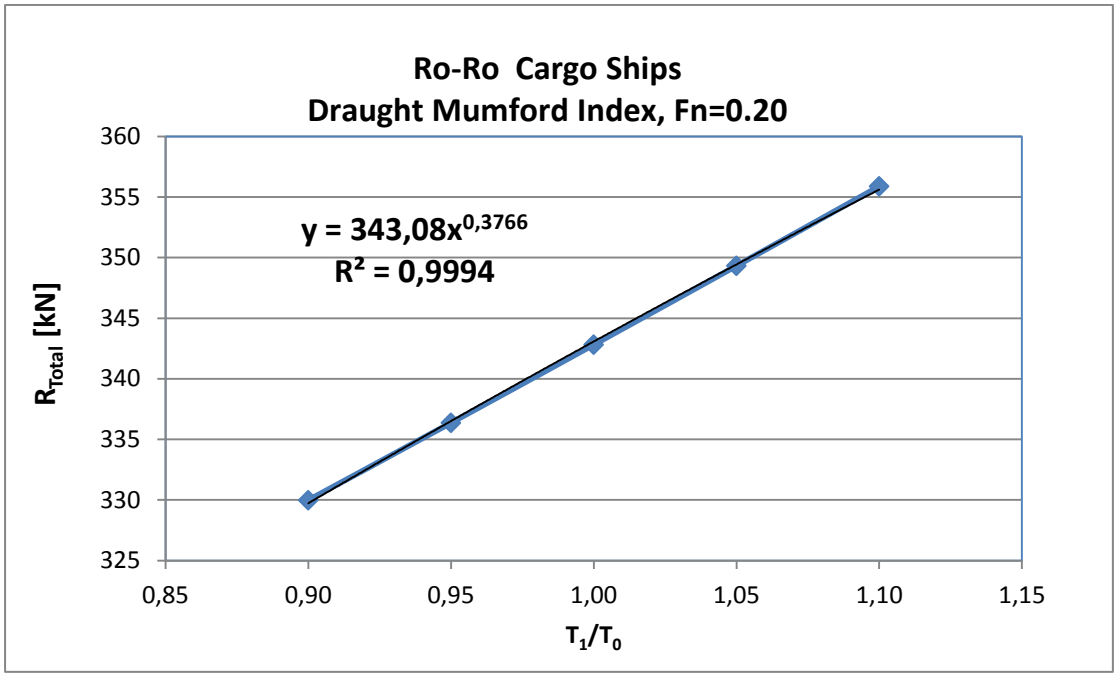
Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
y $_{R(T)}$	0,4403	0,4612	0,4861	0,5134	0,5402	0,5638	0,5835

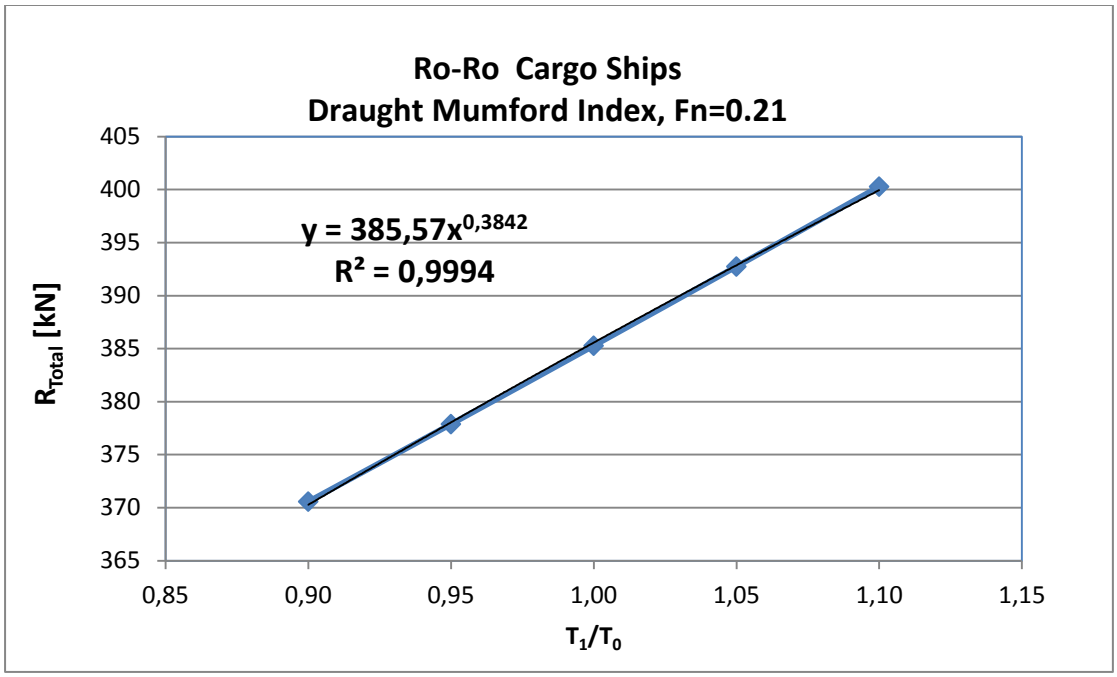
Fn	0,32	0,33	0,34	0,35
y $_{R(T)}$	0,6001	0,6157	0,6325	0,6524

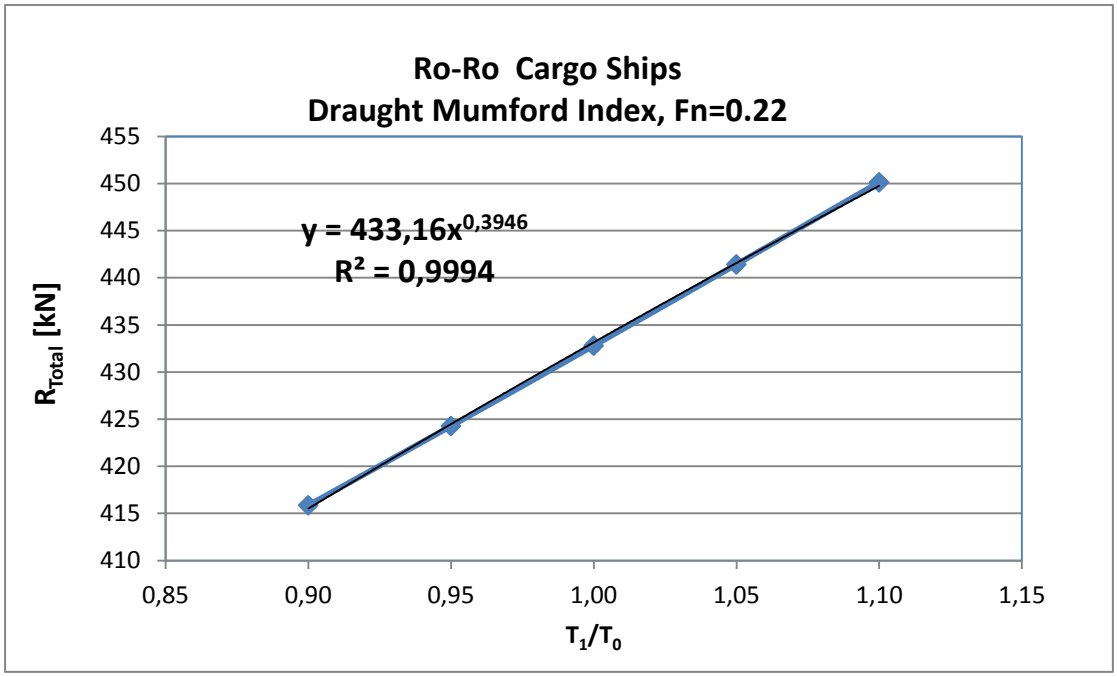
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford Y για το εύρος των αριθμών Froude του δείγματος φαίνονται στα επόμενα.

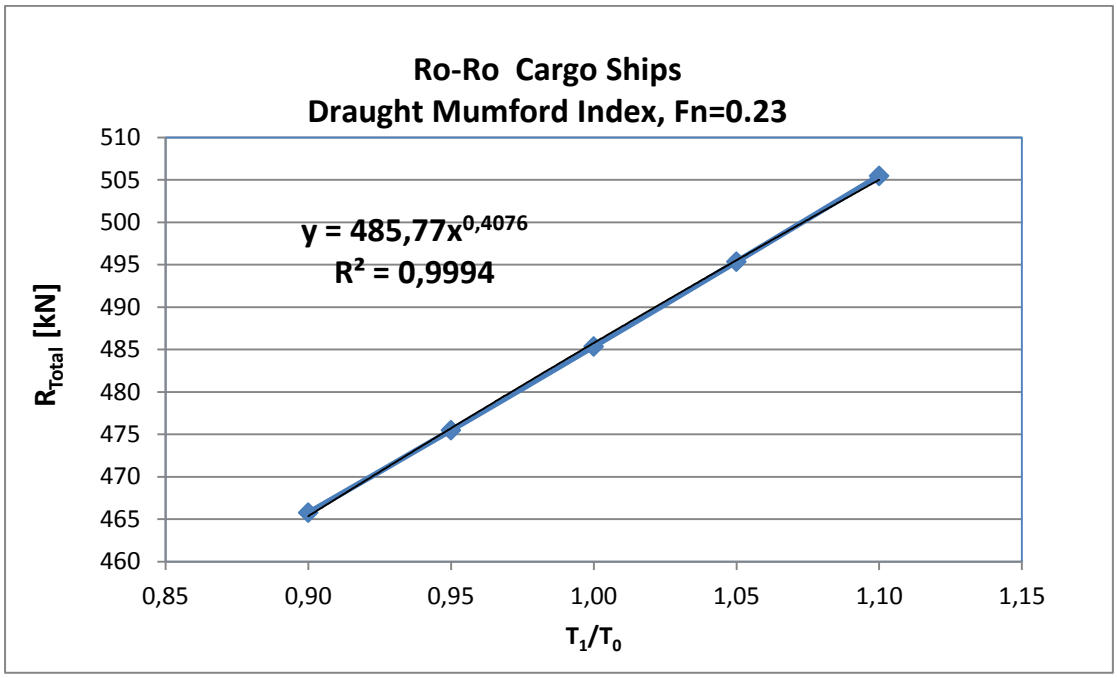

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.18
y = 270,65x^0,3683
R² = 0,9995
R_Total [kN]
285
280
275
270
265
260
255
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

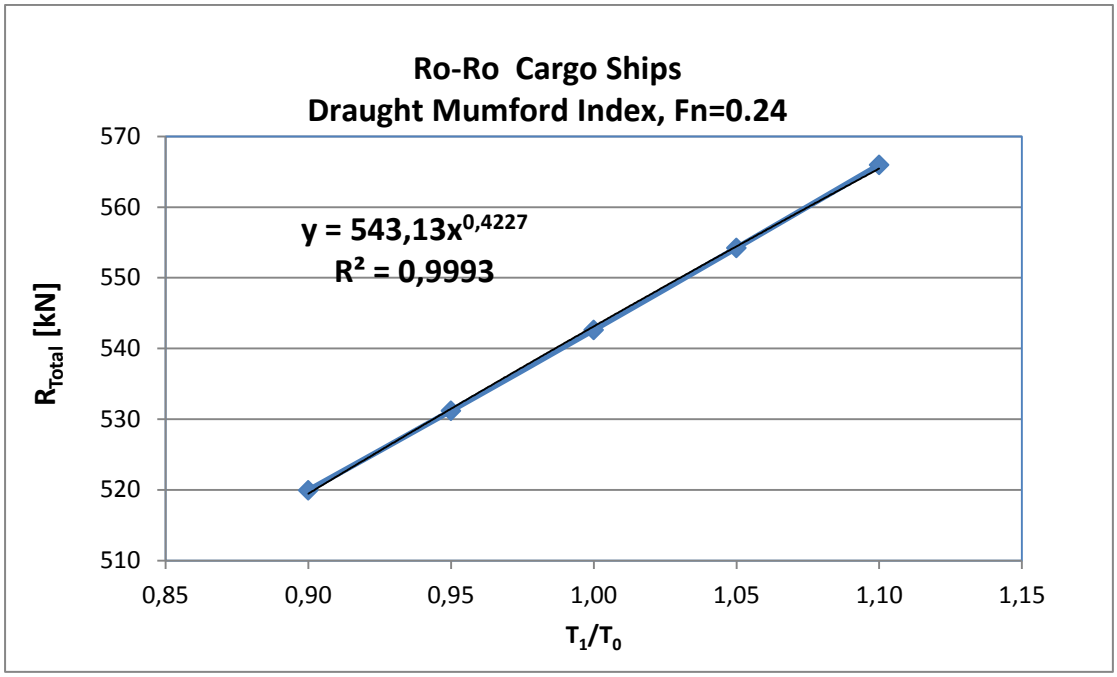

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.19
y = 304,97x^0,3714
R² = 0,9995
R_Total [kN]
320
315
310
305
300
295
290
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

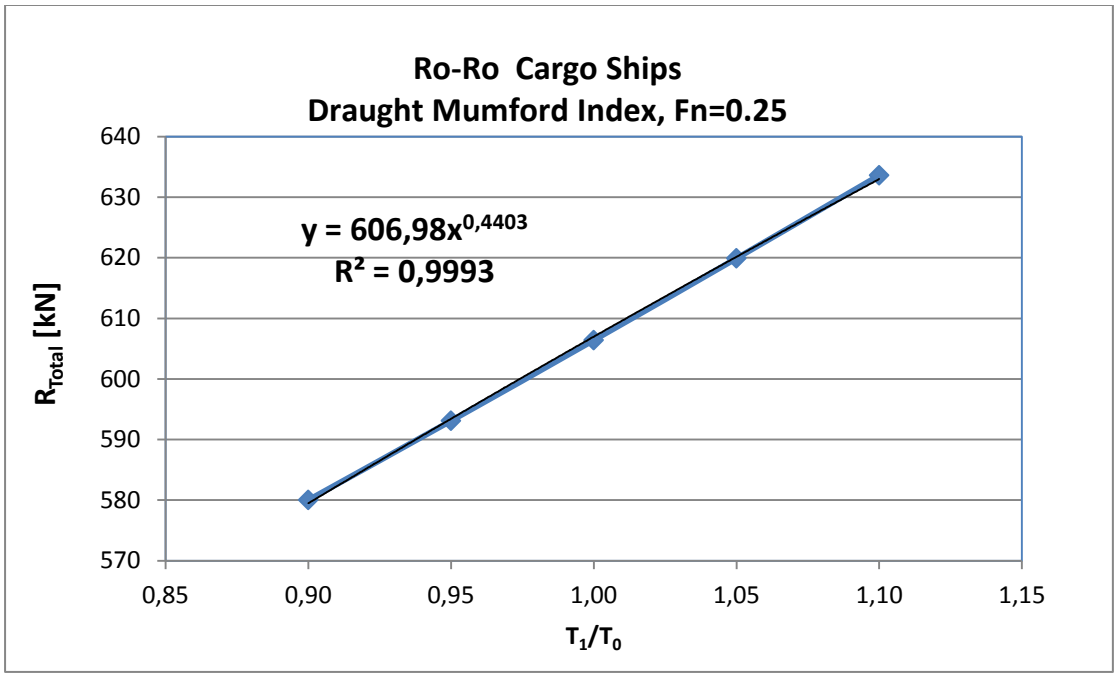

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.20
y = 343,08x^0,3766
R² = 0,9994
R_Total [kN]
360
355
350
345
340
335
330
325
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

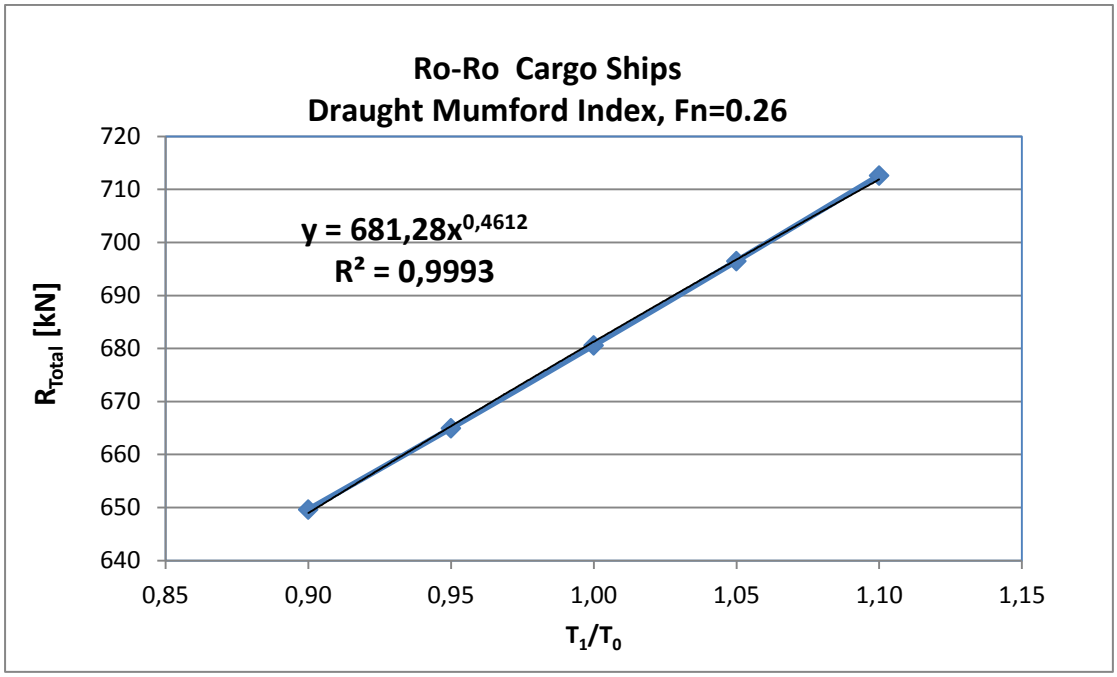

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.21
y = 385,57x^0,3842
R² = 0,9994
R_Total [kN]
405
400
395
390
385
380
375
370
365
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

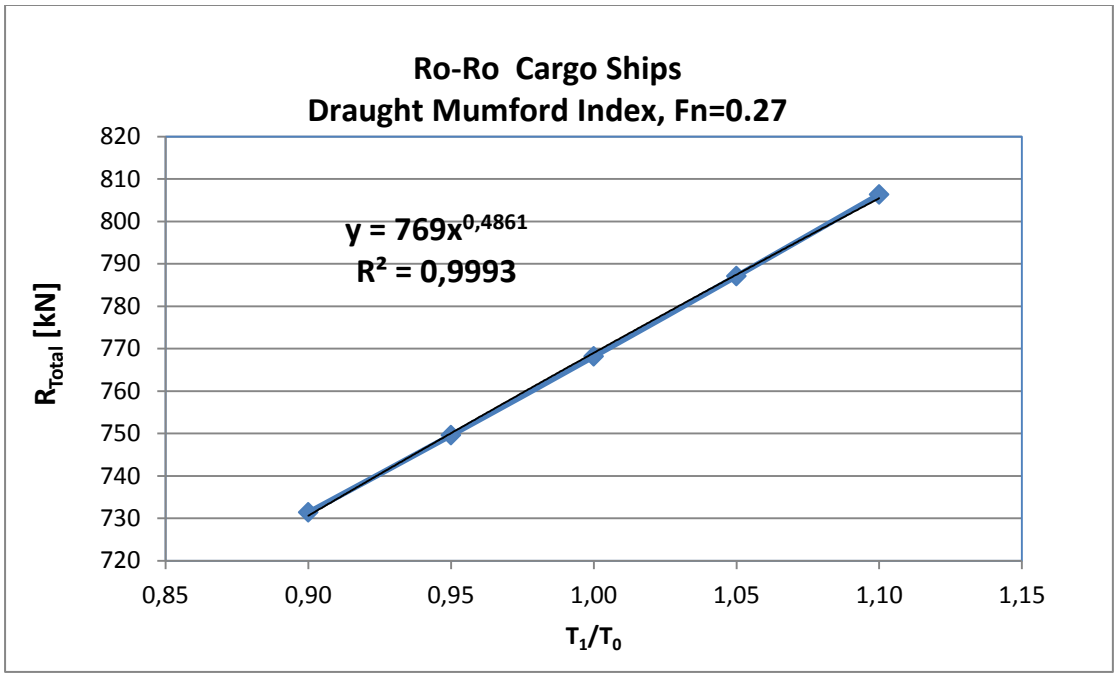

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.22
y = 433,16x^0,3946
R² = 0,9994
R_Total [kN]
455
450
445
440
435
430
425
420
415
410
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

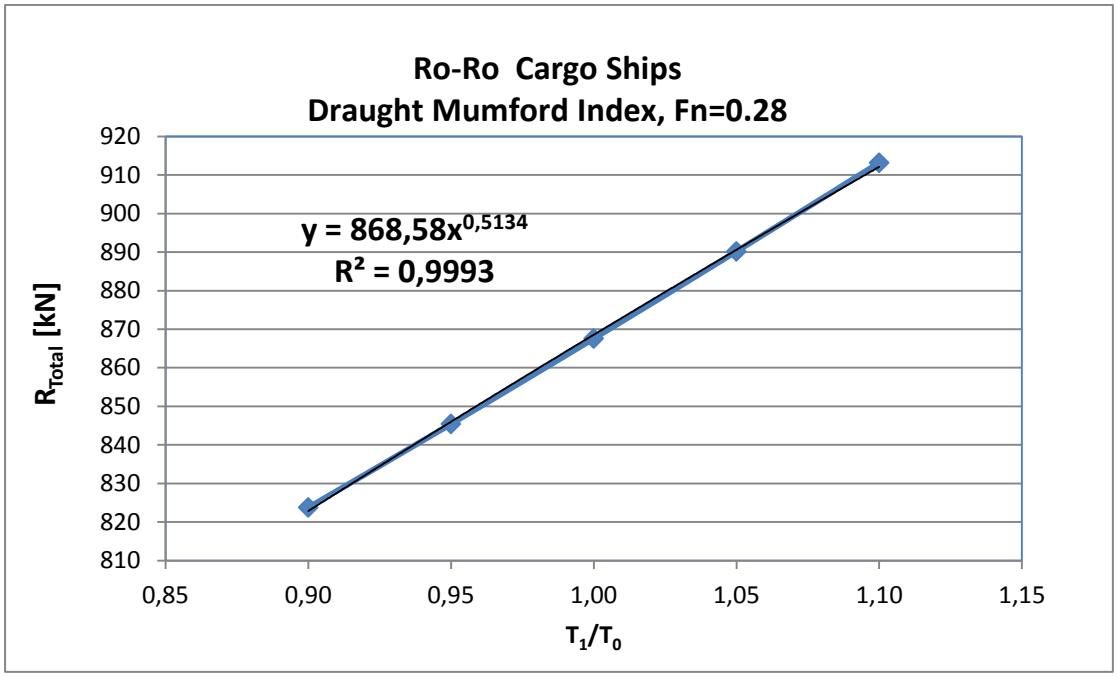

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.23
y = 485,77x^0,4076
R² = 0,9994
R_Total [kN]
510
505
500
495
490
485
480
475
470
465
460
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

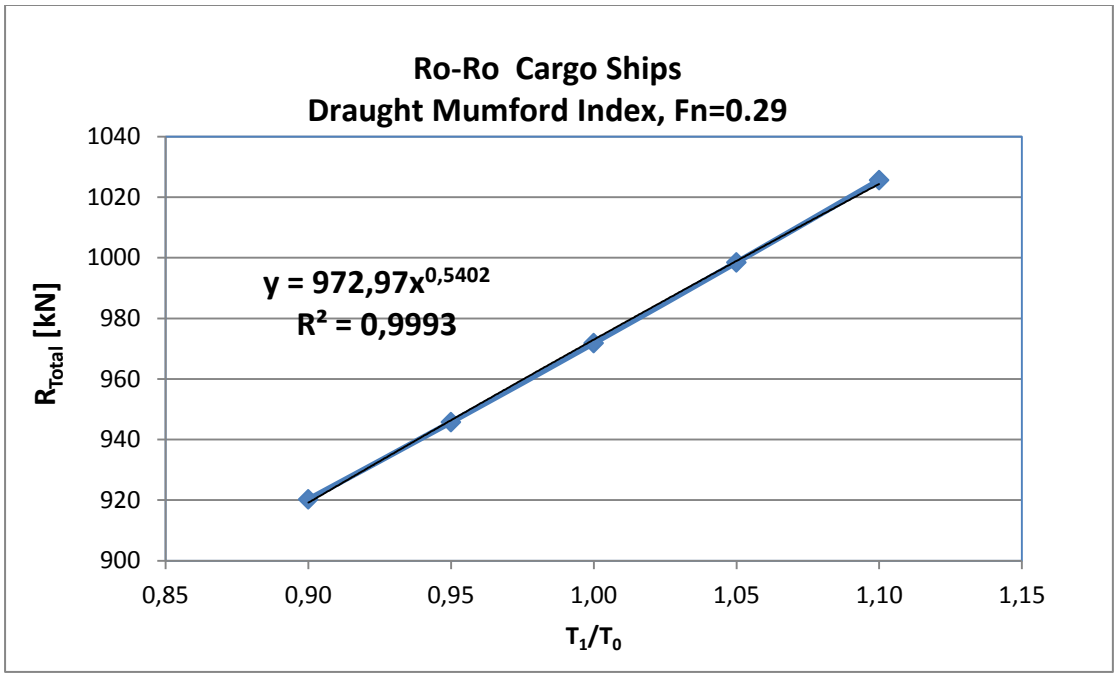

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.24
y = 543,13x^0,4227
R² = 0,9993
R_Total [kN]
570
560
550
540
530
520
510
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

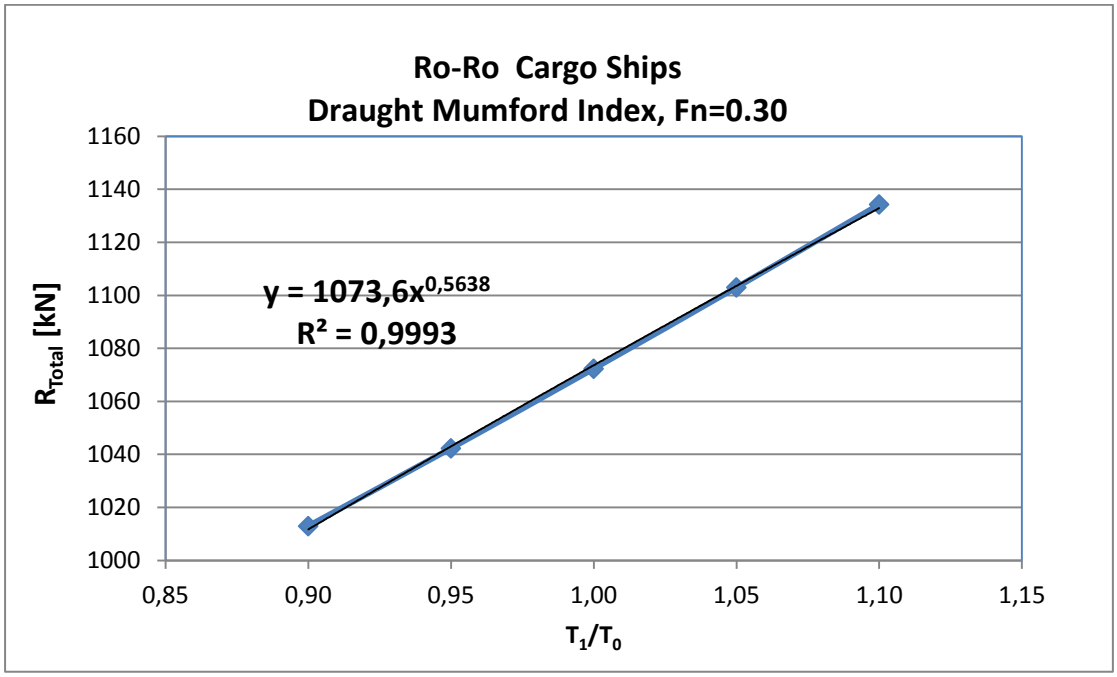

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.25
y = 606,98x^0,4403
R² = 0,9993
R_Total [kN]
640
630
620
610
600
590
580
570
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

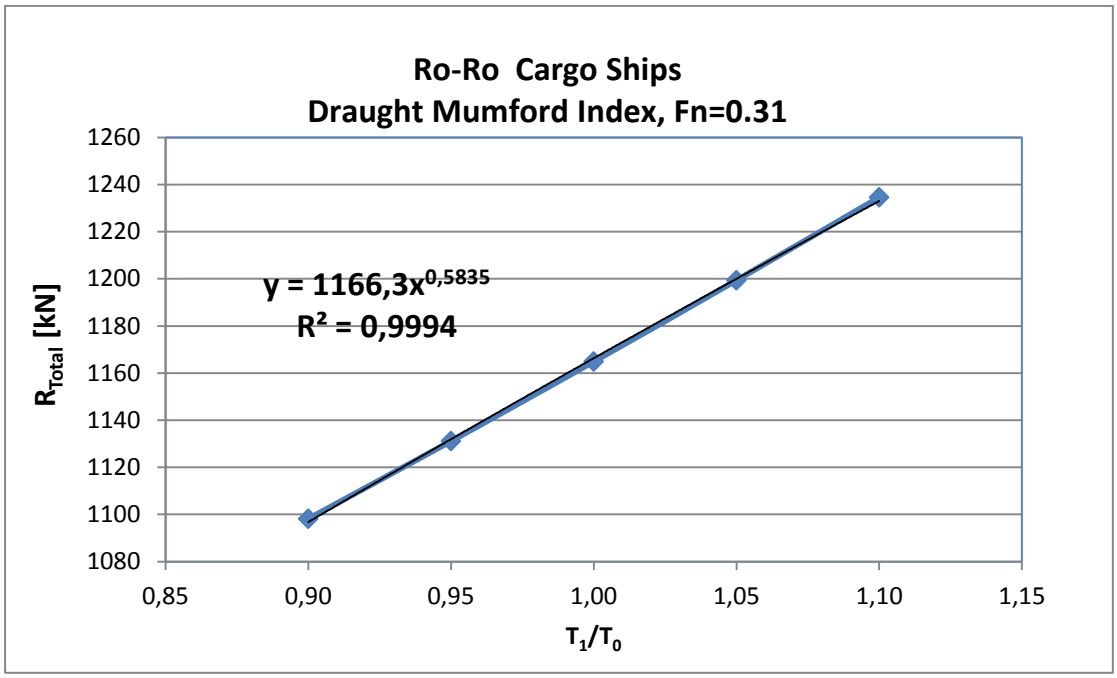

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.26
y = 681,28x^0,4612
R² = 0,9993
R_Total [kN]
720
710
700
690
680
670
660
650
640
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

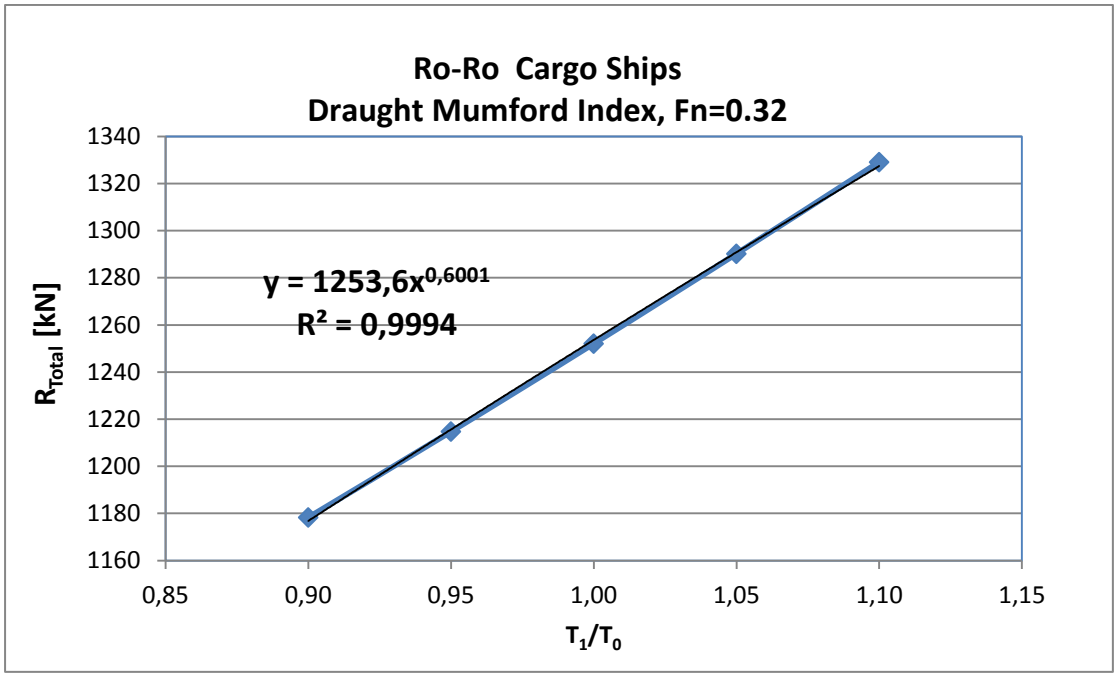

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.27
y = 769x^0,4861
R² = 0,9993
R_Total [kN]
820
810
800
790
780
770
760
750
740
730
720
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

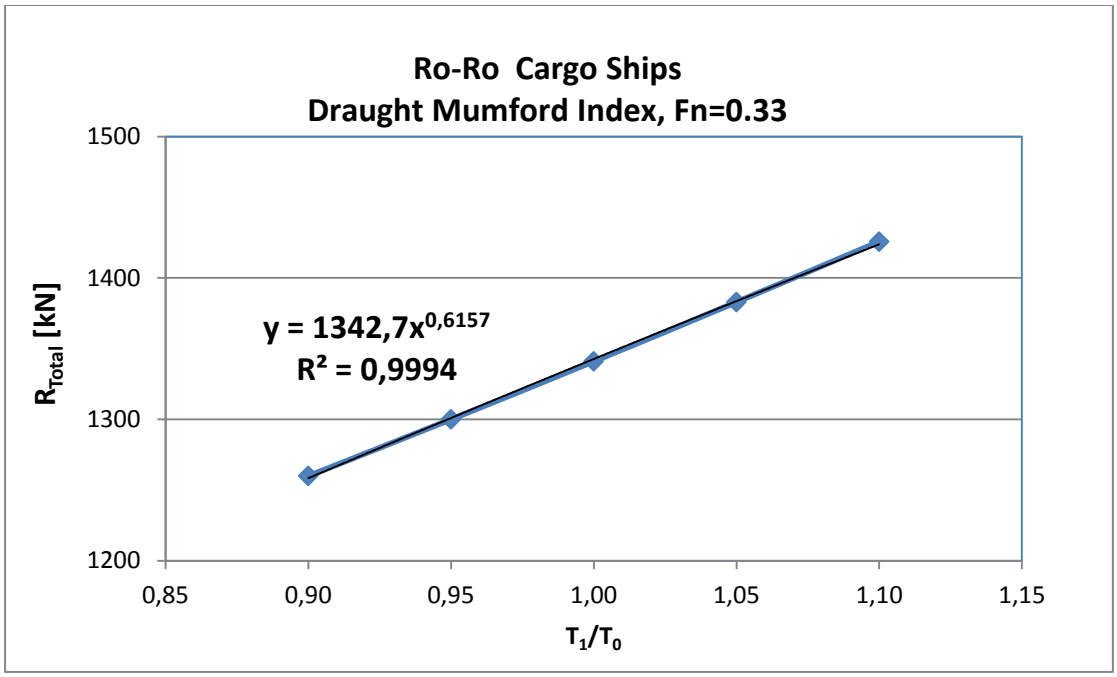

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.28
y = 868,58x^0,5134
R² = 0,9993
R_Total [kN]
920
910
900
890
880
870
860
850
840
830
820
810
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

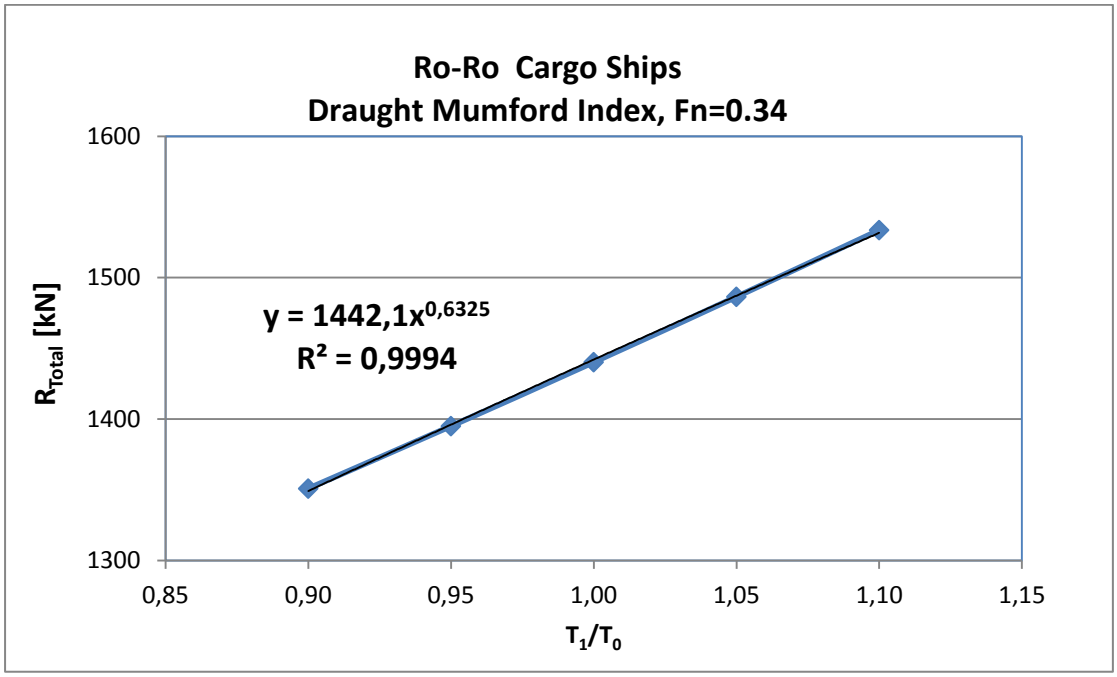

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.29
y = 972,97x^0,5402
R² = 0,9993
R_Total [kN]
1040
1020
1000
980
960
940
920
900
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

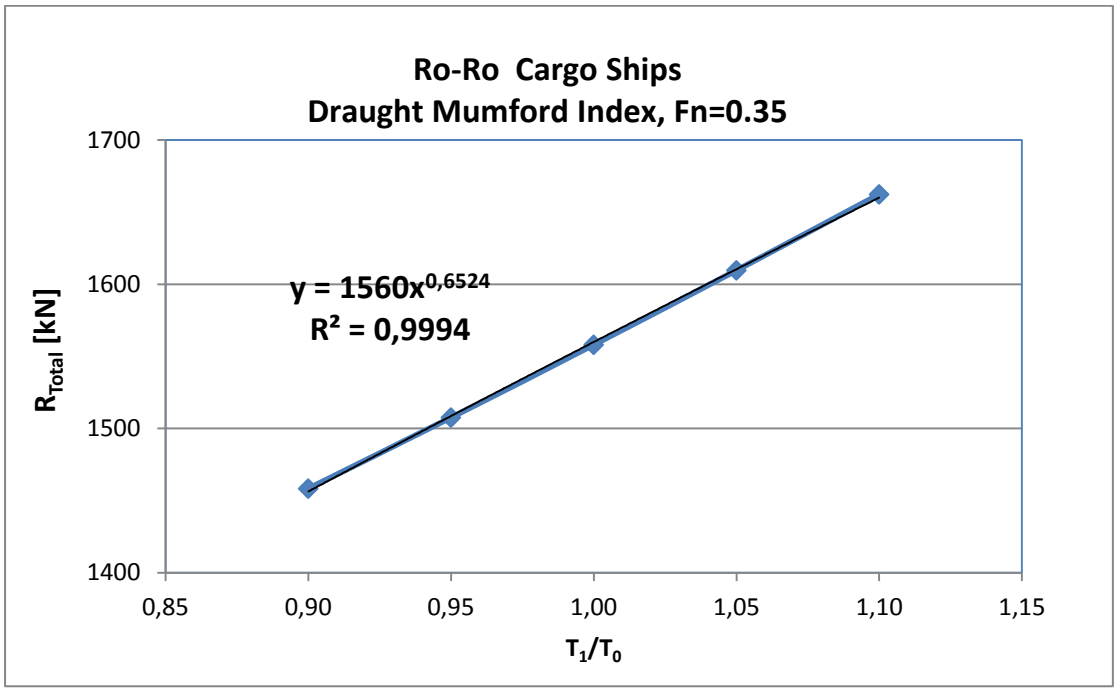

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.30
y = 1073,6x^0,5638
R² = 0,9993
R_Total [kN]
T1/T0
1160
1140
1120
1100
1080
1060
1040
1020
1000
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15


Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.31
y = 1166,3x^0,5835
R² = 0,9994
R_Total [kN]
T1/T0
1260
1240
1220
1200
1180
1160
1140
1120
1100
1080
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

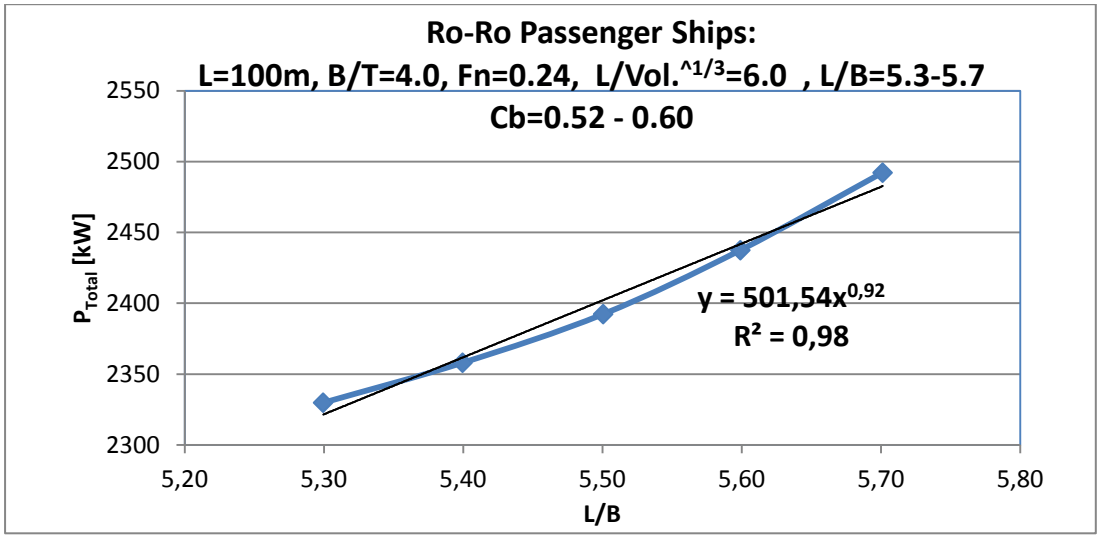

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.32
y = 1253,6x^0,6001
R² = 0,9994
R_Total [kN]
1340
1320
1300
1280
1260
1240
1220
1200
1180
1160
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

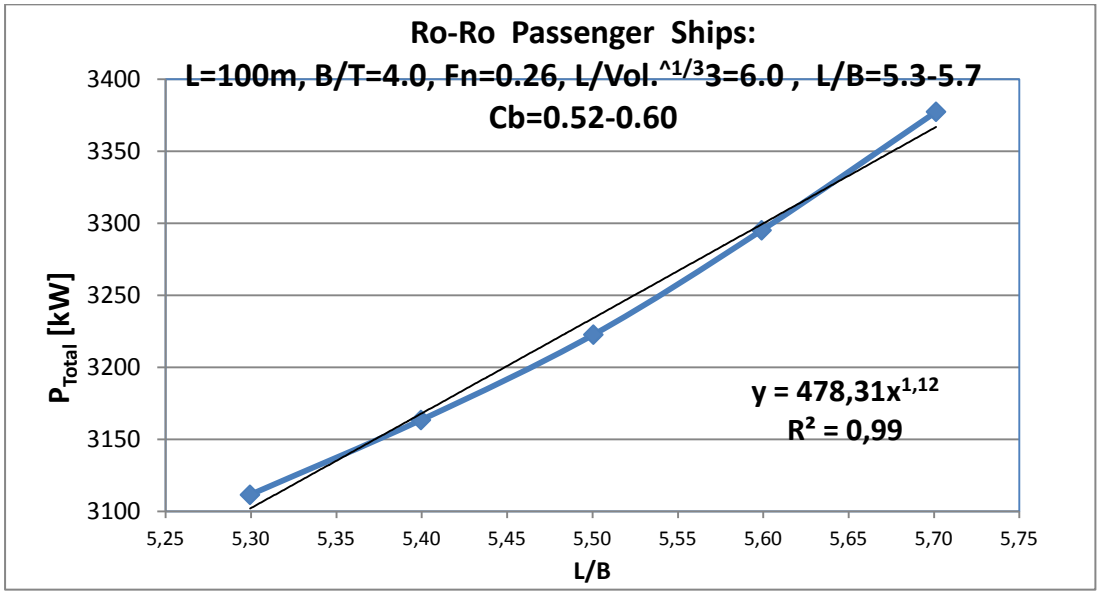

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.33
y = 1342,7x^0,6157
R² = 0,9994
R_Total [kN]
1500
1400
1300
1200
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

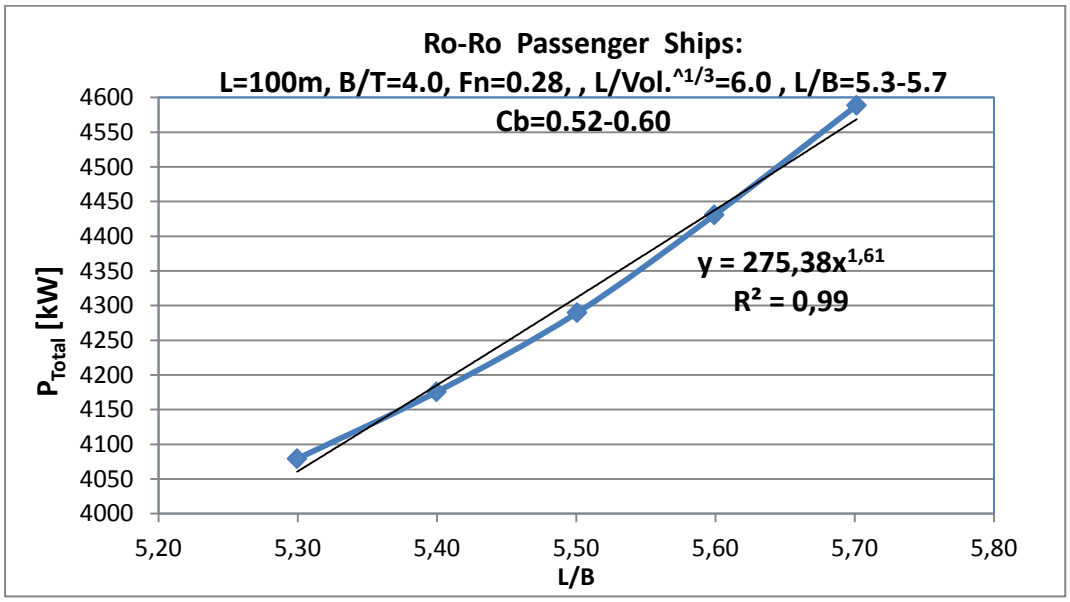

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.34
y = 1442,1x^0,6325
R² = 0,9994
R_Total [kN]
1600
1500
1400
1300
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

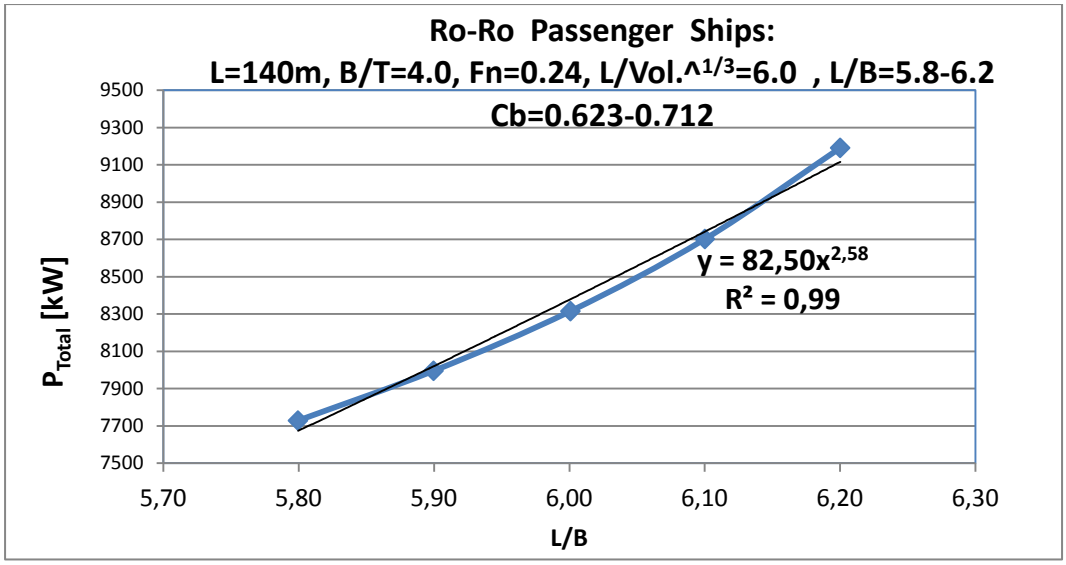

Ro-Ro Cargo Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.35
y = 1560x^0,6524
R² = 0,9994
R_Total [kN]
1700
1600
1500
1400
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

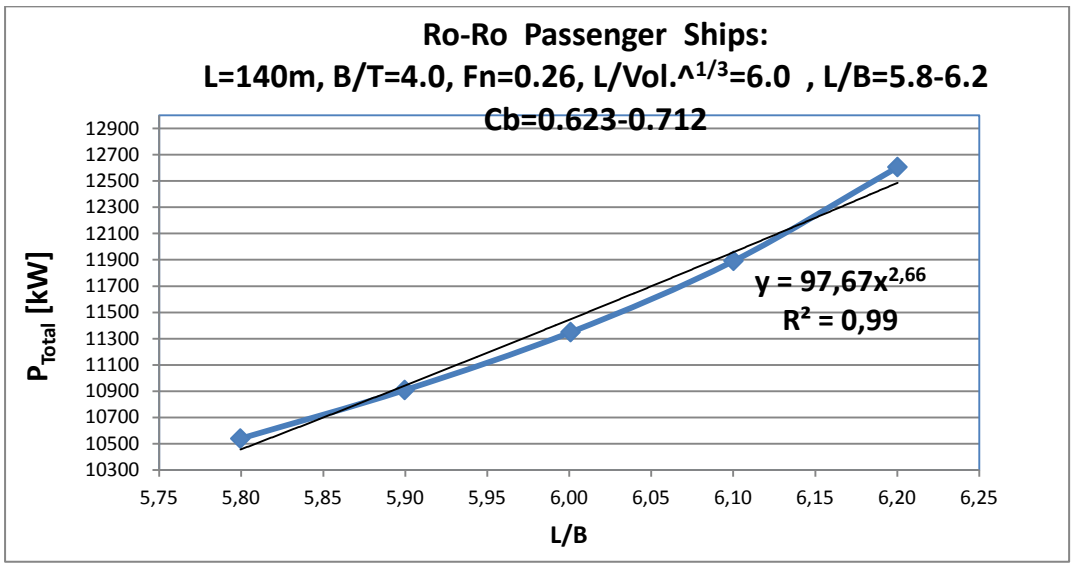
Παράρτημα VII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς L/B για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία

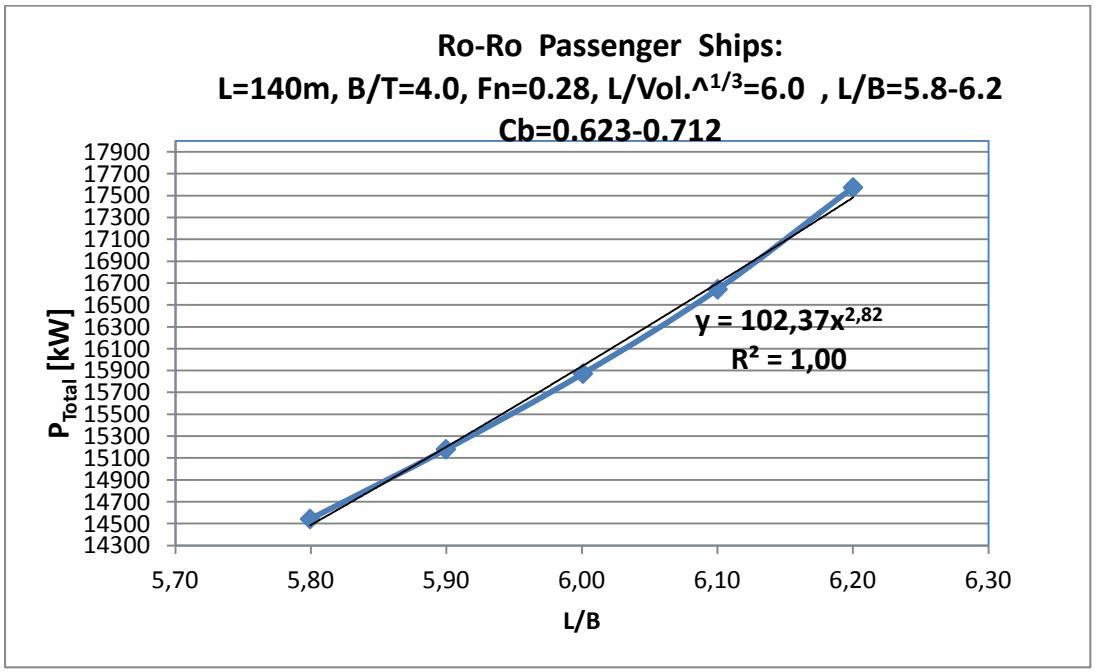


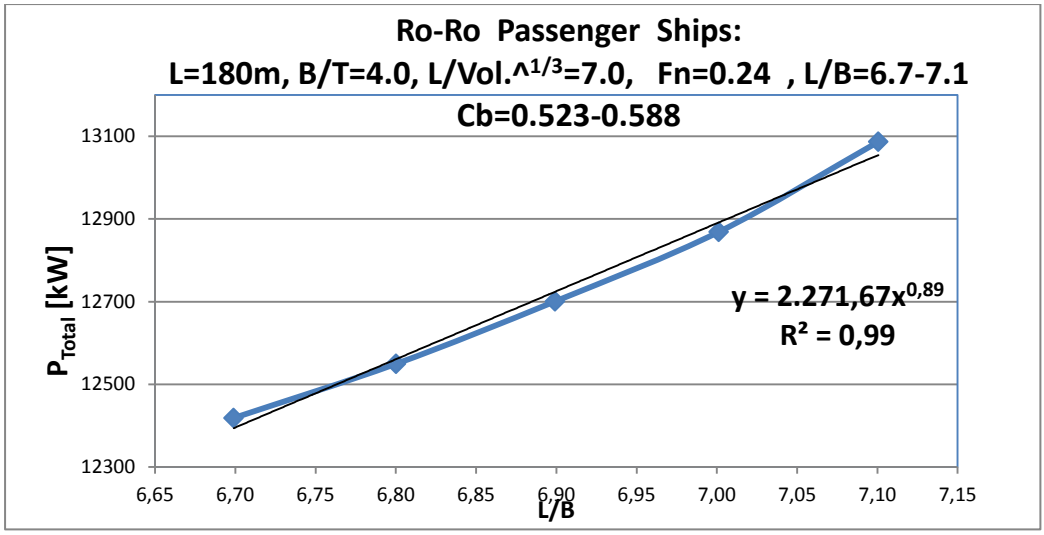


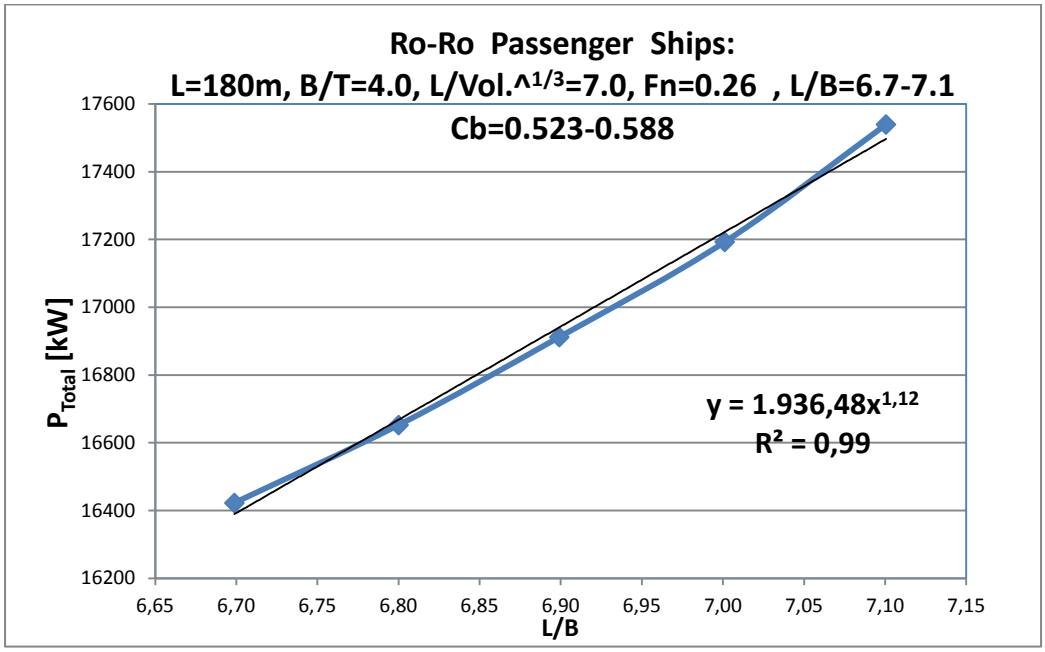


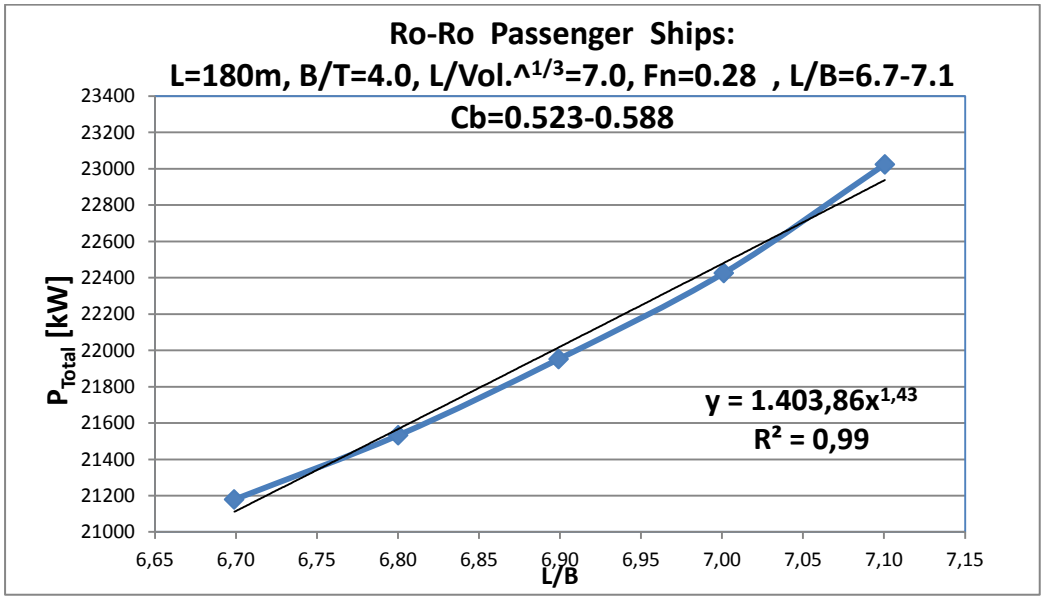

Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, B/T=4.0, Fn=0.24, L/Vol.^1/3=6.0 , L/B=5.8-6.2
Cb=0.623-0.712
y = 82,50x2,58
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
9500
9300
9100
8900
8700
8500
8300
8100
7900
7700
7500
5,70
5,80
5,90
6,00
6,10
6,20
6,30


Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, B/T=4.0, Fn=0.26, L/Vol.^1/3=6.0 , L/B=5.8-6.2
Cb=0.623-0.712
y = 97,67x2,66
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
12900
12700
12500
12300
12100
11900
11700
11500
11300
11100
10900
10700
10500
10300
5,75
5,80
5,85
5,90
5,95
6,00
6,05
6,10
6,15
6,20
6,25

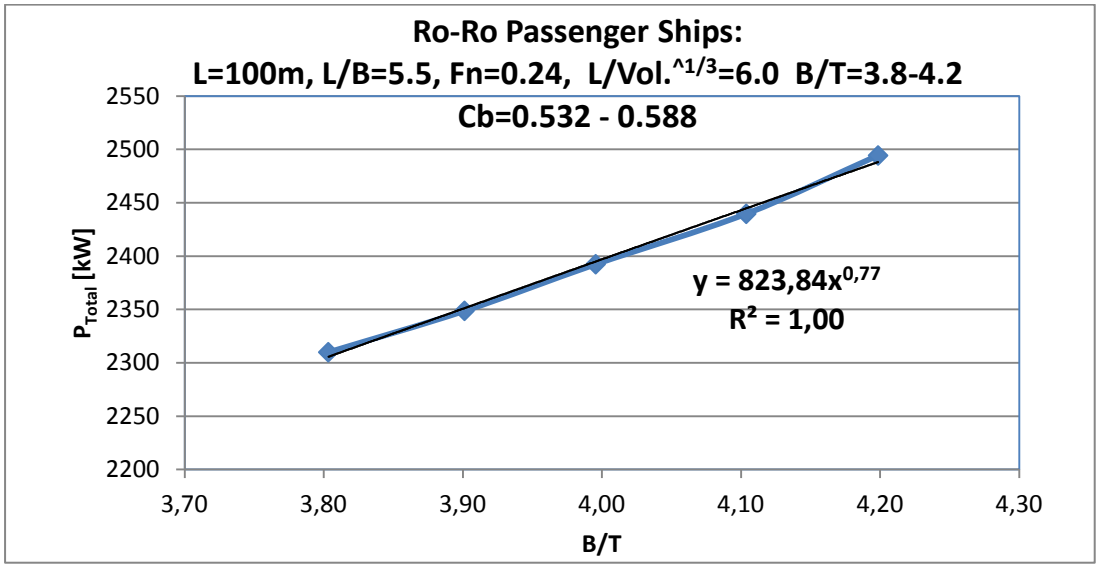

Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, B/T=4.0, Fn=0.28, L/Vol.^1/3=6.0 , L/B=5.8-6.2
Cb=0.623-0.712
y = 102,37x2,82
R² = 1,00
PTotal [kW]
L/B
17900
17700
17500
17300
17100
16900
16700
16500
16300
16100
15900
15700
15500
15300
15100
14900
14700
14500
14300
5,70
5,80
5,90
6,00
6,10
6,20
6,30

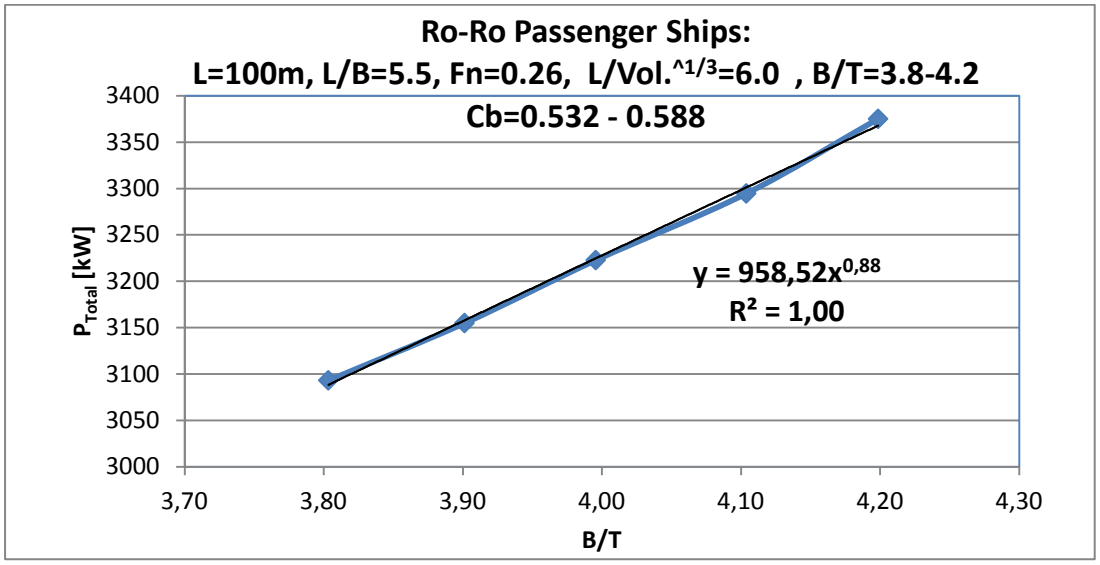

Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, B/T=4.0, L/Vol.^1/3=7.0, Fn=0.24 , L/B=6.7-7.1
Cb=0.523-0.588
y = 2.271,67x0,89
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
13100
12900
12700
12500
12300
6,65
6,70
6,75
6,80
6,85
6,90
6,95
7,00
7,05
7,10
7,15

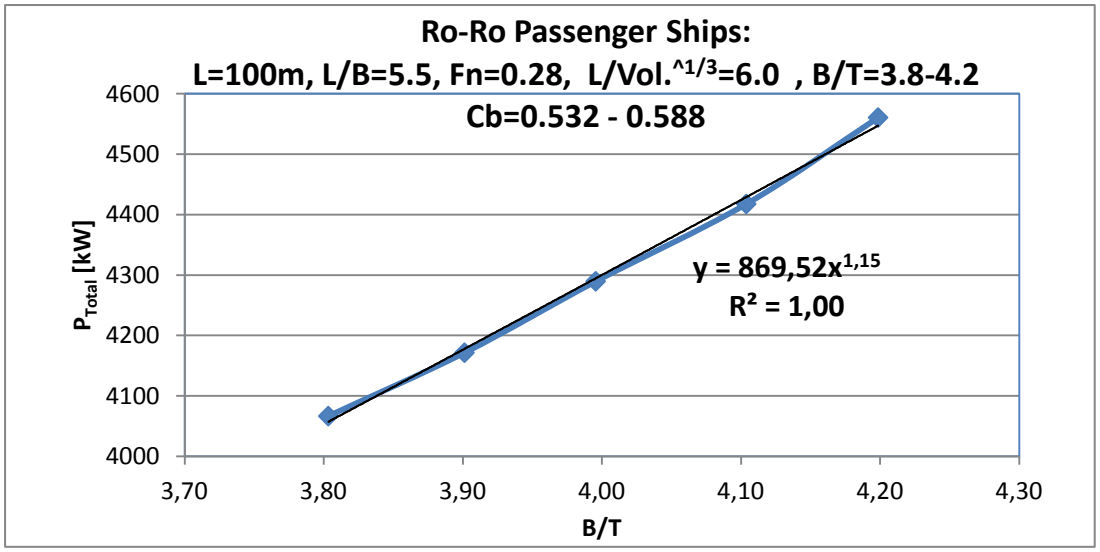

Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, B/T=4.0, L/Vol.^1/3=7.0, Fn=0.26 , L/B=6.7-7.1
Cb=0.523-0.588
y = 1.936,48x1,12
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
17600
17400
17200
17000
16800
16600
16400
16200
6,65
6,70
6,75
6,80
6,85
6,90
6,95
7,00
7,05
7,10
7,15

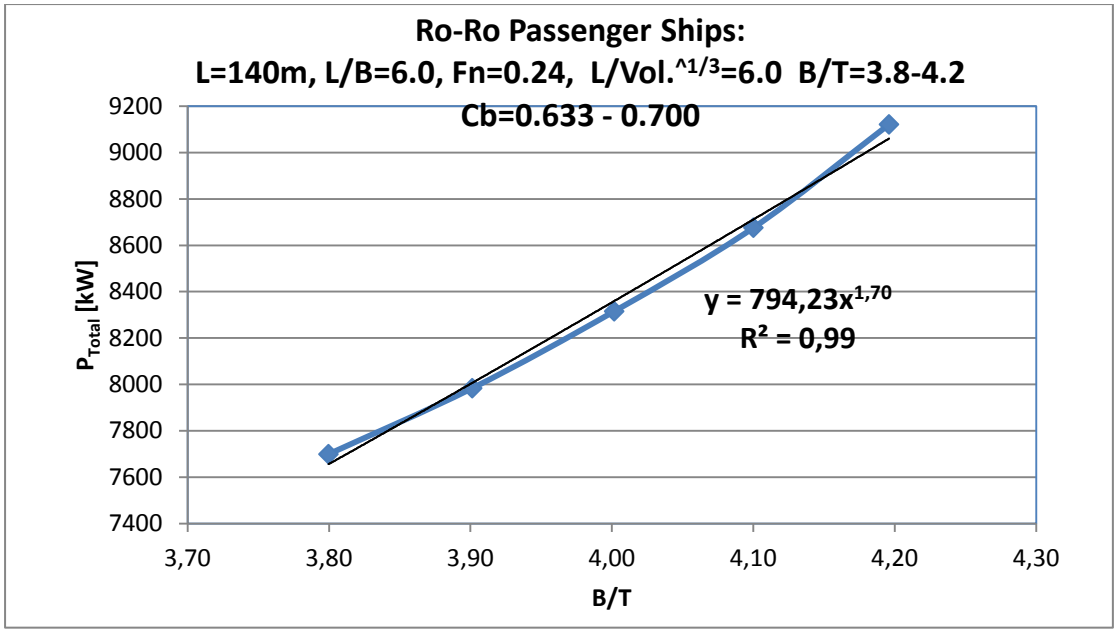

Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, B/T=4.0, L/Vol.^1/3=7.0, Fn=0.28 , L/B=6.7-7.1
Cb=0.523-0.588
y = 1.403,86x1,43
R² = 0,99
PTotal [kW]
L/B
23400
23200
23000
22800
22600
22400
22200
22000
21800
21600
21400
21200
21000
6,65
6,70
6,75
6,80
6,85
6,90
6,95
7,00
7,05
7,10
7,15

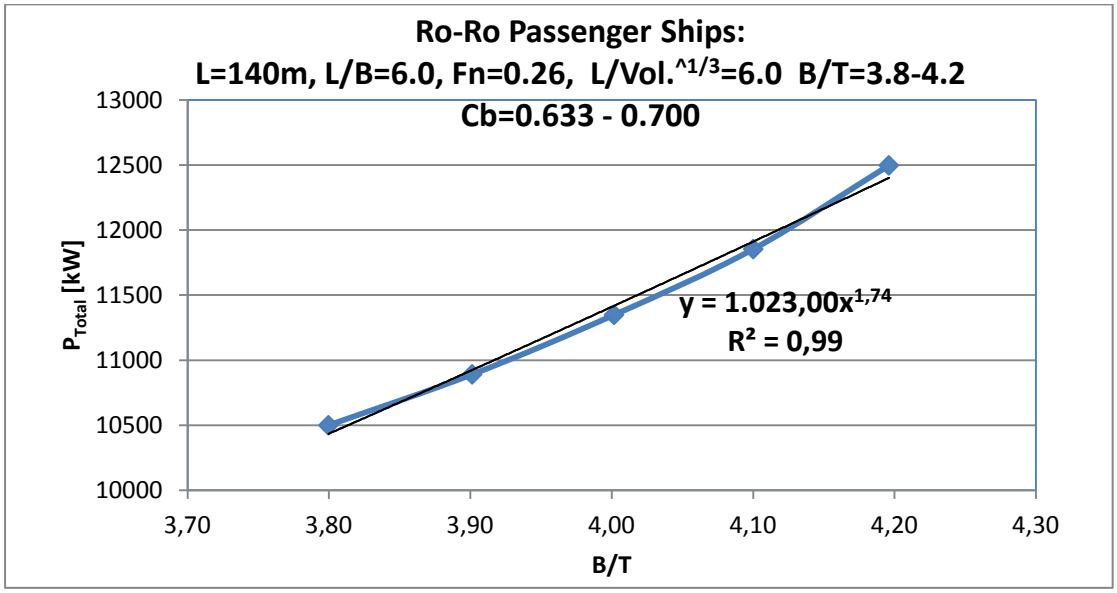
Παράρτημα VIII: Διαγράμματα Ισχύος ως προς B/T για Επιβατηγά - Οχηματαγωγά Πλοία

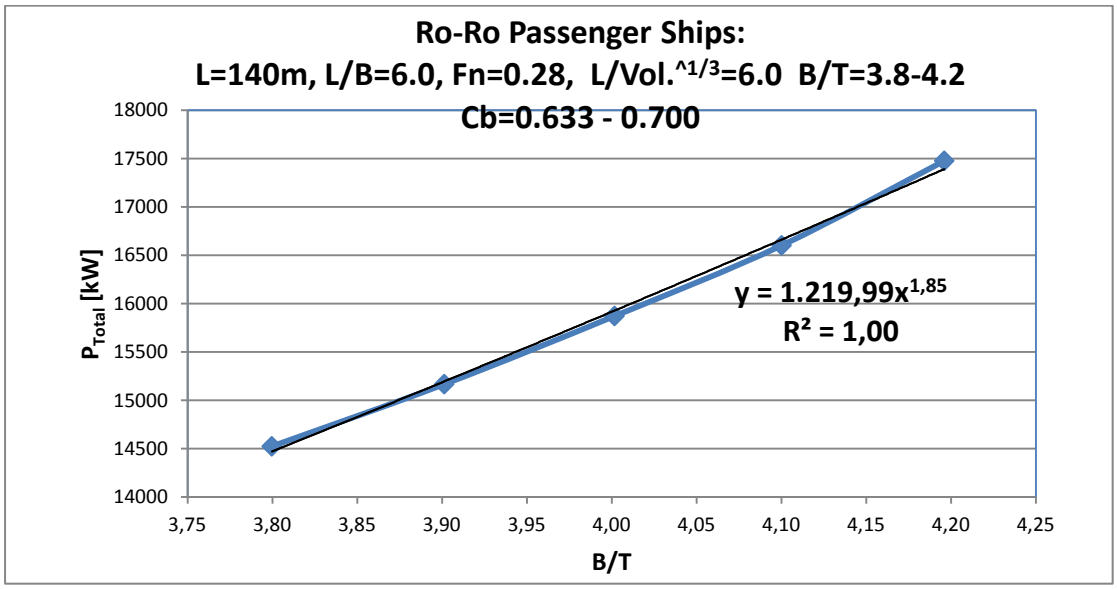


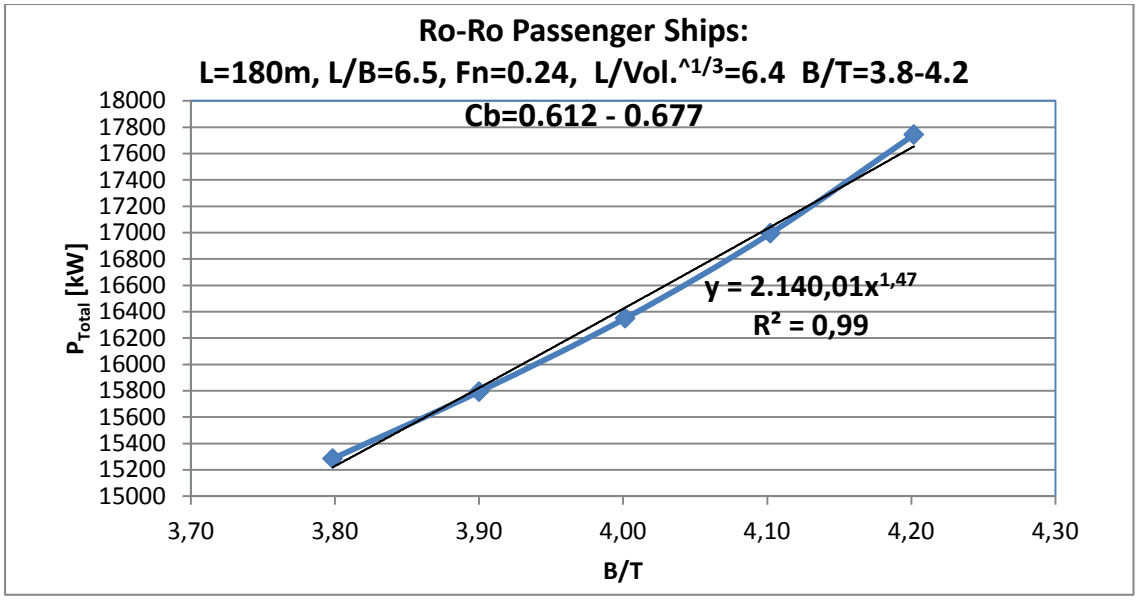


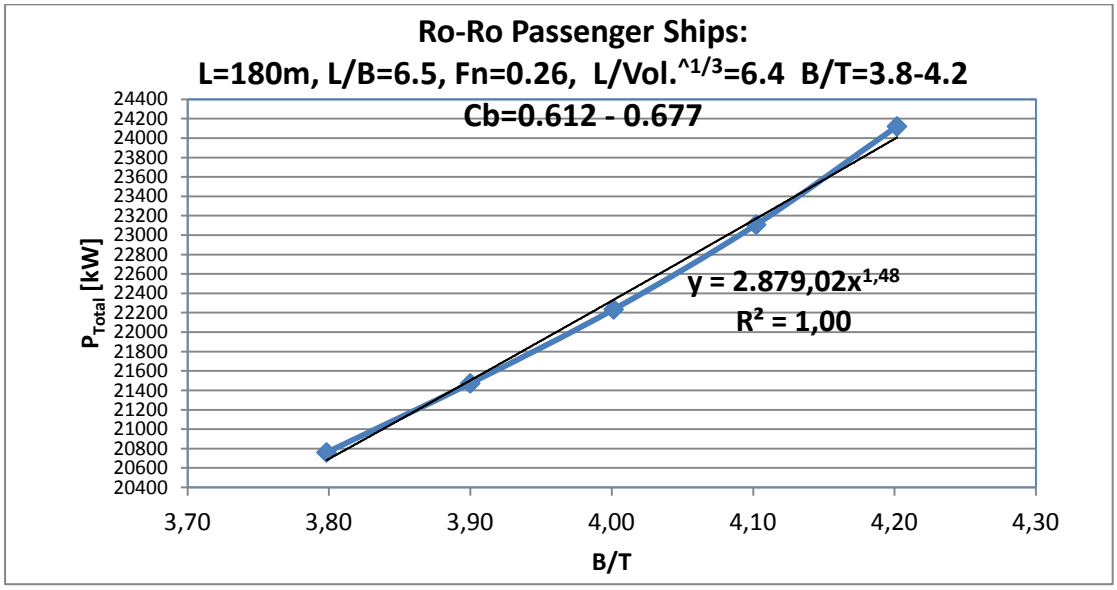


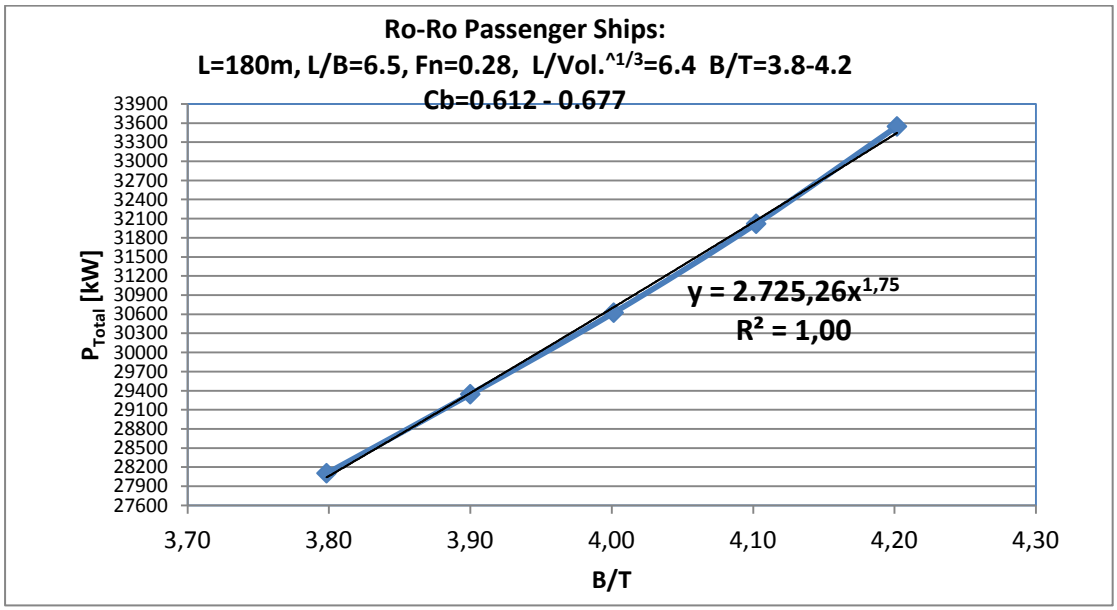

Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, L/B=6.0, Fn=0.24, L/Vol.^1/3=6.0 B/T=3.8-4.2
Cb=0.633 - 0.700
y = 794,23x1,70
R² = 0,99
PTotal [kW]
B/T
9200
9000
8800
8600
8400
8200
8000
7800
7600
7400
3,70
3,80
3,90
4,00
4,10
4,20
4,30


Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, L/B=6.0, Fn=0.26, L/Vol.^1/3=6.0 B/T=3.8-4.2
Cb=0.633 - 0.700
y = 1.023,00x1,74
R² = 0,99
PTotal [kW]
B/T
13000
12500
12000
11500
11000
10500
10000
3,70
3,80
3,90
4,00
4,10
4,20
4,30


Ro-Ro Passenger Ships:
L=140m, L/B=6.0, Fn=0.28, L/Vol.^1/3=6.0 B/T=3.8-4.2
Cb=0.633 - 0.700
y = 1.219,99x1,85
R² = 1,00
PTotal [kW]
B/T
18000
17500
17000
16500
16000
15500
15000
14500
14000
3,75
3,80
3,85
3,90
3,95
4,00
4,05
4,10
4,15
4,20
4,25


Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, L/B=6.5, Fn=0.24, L/Vol.^1/3=6.4 B/T=3.8-4.2
Cb=0.612 - 0.677
y = 2.140,01x1,47
R² = 0,99
PTotal [kW]
B/T


Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, L/B=6.5, Fn=0.26, L/Vol.^1/3=6.4 B/T=3.8-4.2
Cb=0.612 - 0.677
y = 2.879,02x1,48
R² = 1,00
PTotal [kW]
B/T


Ro-Ro Passenger Ships:
L=180m, L/B=6.5, Fn=0.28, L/Vol.^1/3=6.4 B/T=3.8-4.2
Cb=0.612 - 0.677
y = 2.725,26x1,75
R² = 1,00
PTotal [kW]
B/T

Παράρτημα IX: Διαγράμματα Αντίστασης για την Εύρεση των Δεικτών Mumford ως προς το Πλάτος (Μέσο Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος)

Από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0»):

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του πλάτους του μέσου Επιβατηγού - Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος. Οι εκθέτες που βρέθηκαν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

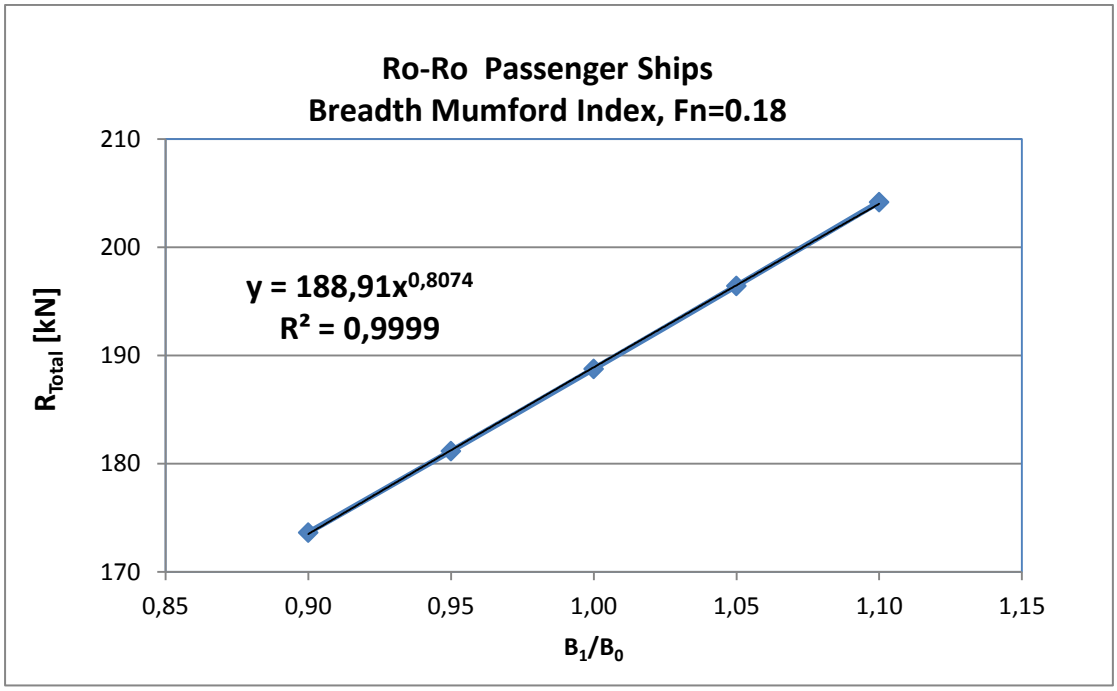
Πίνακας IX.1: Εκθέτης κατά Mumford x ως προς μεταβολές Πλάτους για διάφορους αριθμούς Froude για Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία:

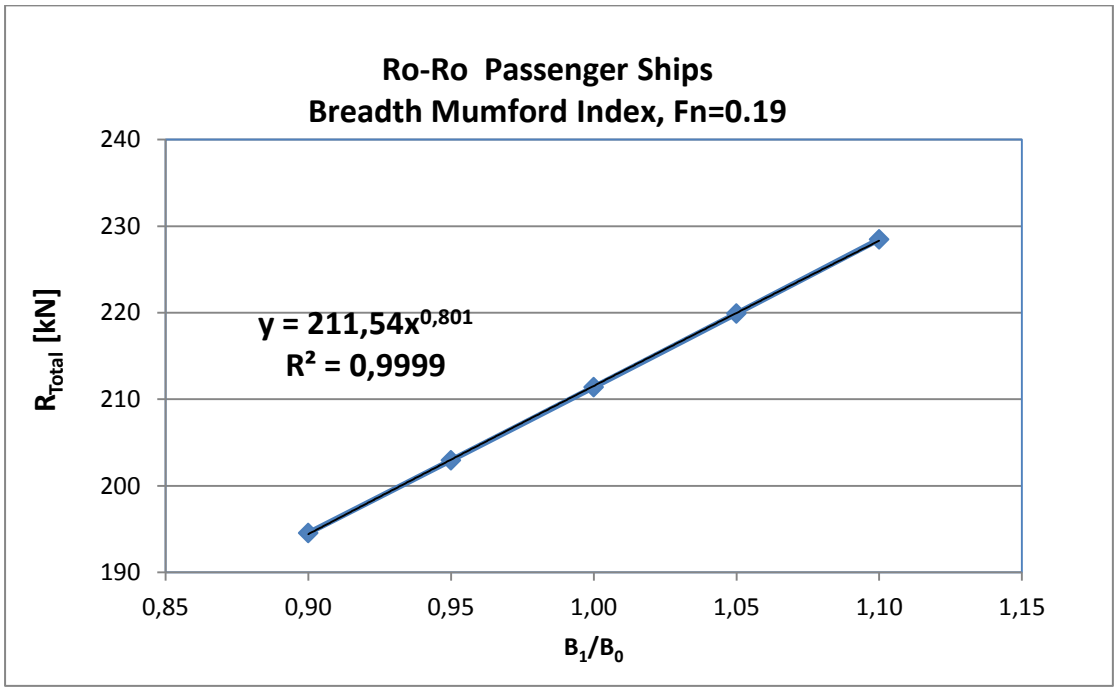
Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
x $_{R\,(B)}$	0,8074	0,8010	0,7962	0,7945	0,7973	0,8023	0,807

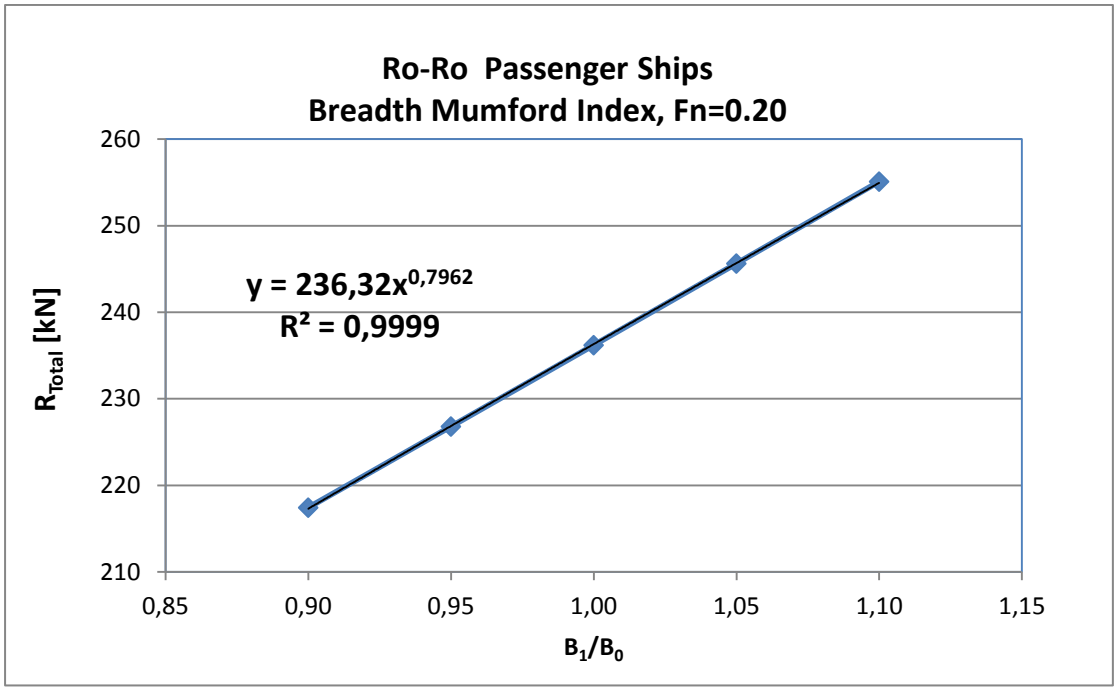
Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
x $_{R\,(B)}$	0,8151	0,8355	0,8737	0,9246	0,9746	1,0117	1,0319

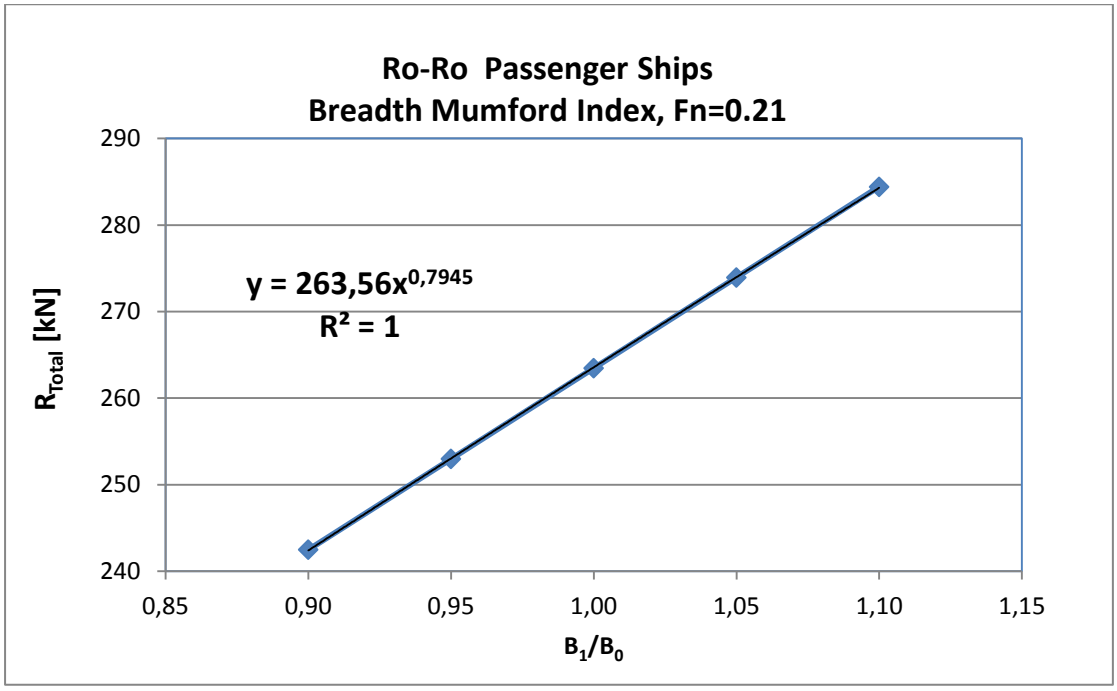
Fn	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
x $_{R(B)}$	1,0389	1,0393	1,0399	1,0460	1,0616	1,0895	1,1311

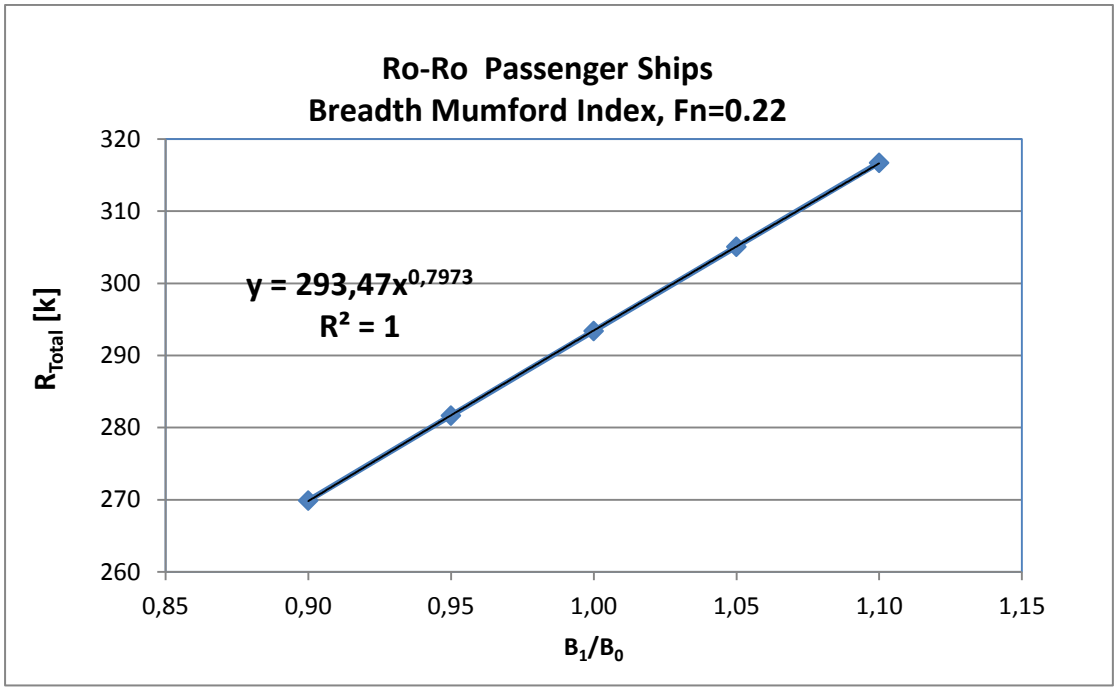
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford x για το εύρος των αριθμών Froude του δείγματος φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

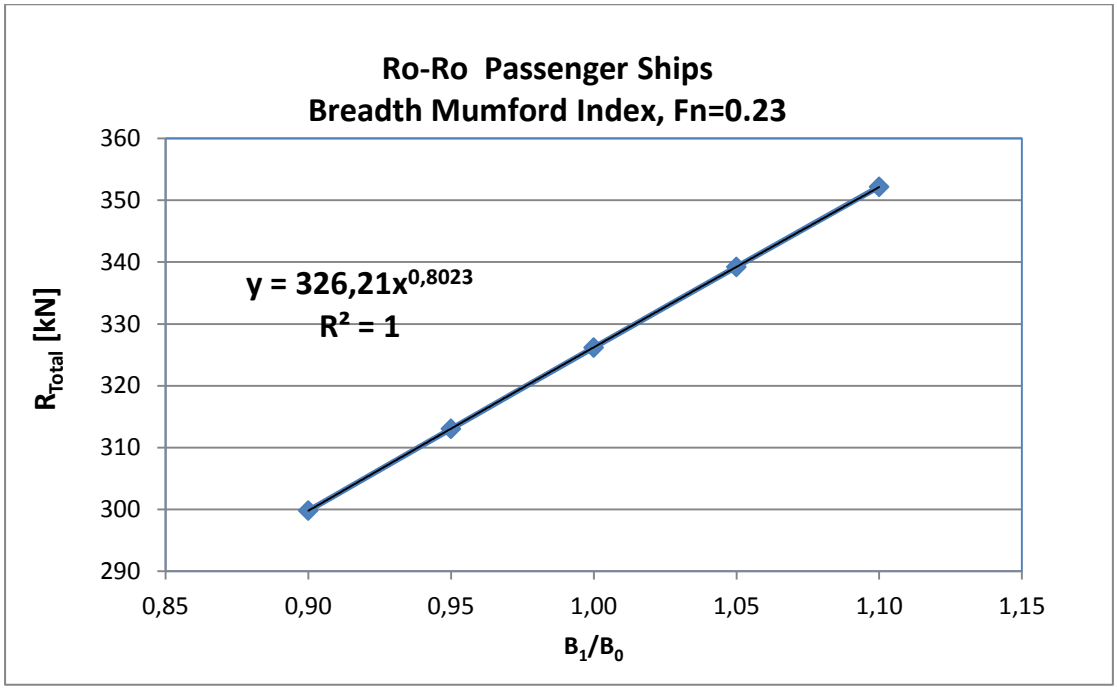

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.18
y = 188,91x^0,8074
R² = 0,9999
R_Total [kN]
B1/B0
210
200
190
180
170
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

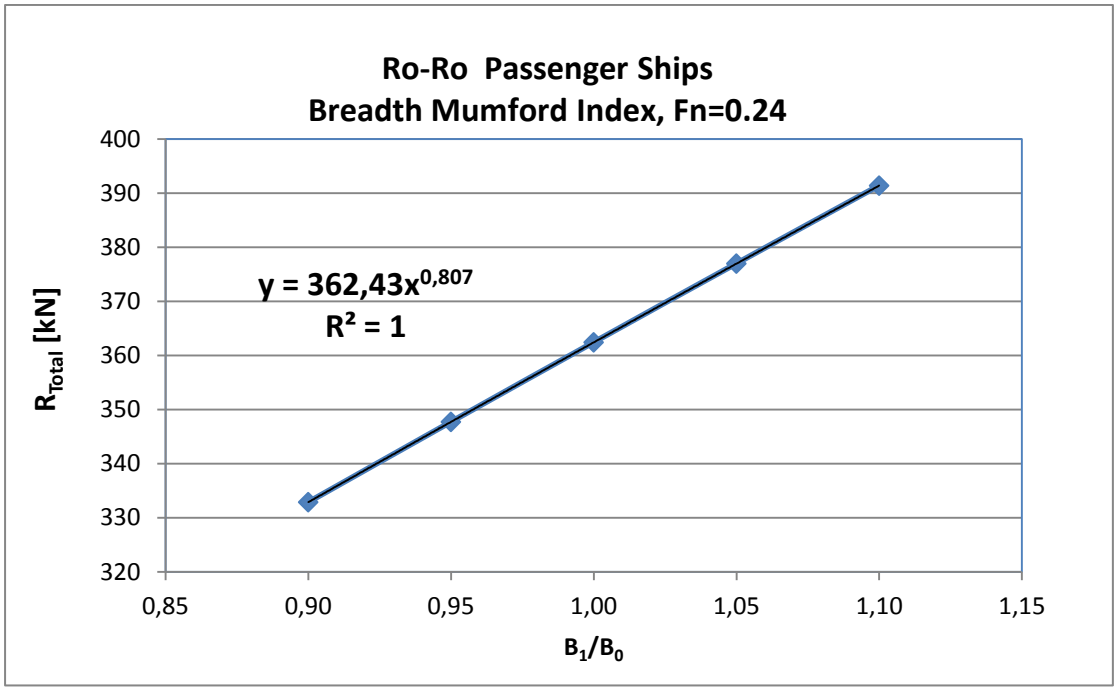

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.19
y = 211,54x^0,801
R² = 0,9999
R_Total [kN]
B1/B0
240
230
220
210
200
190
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

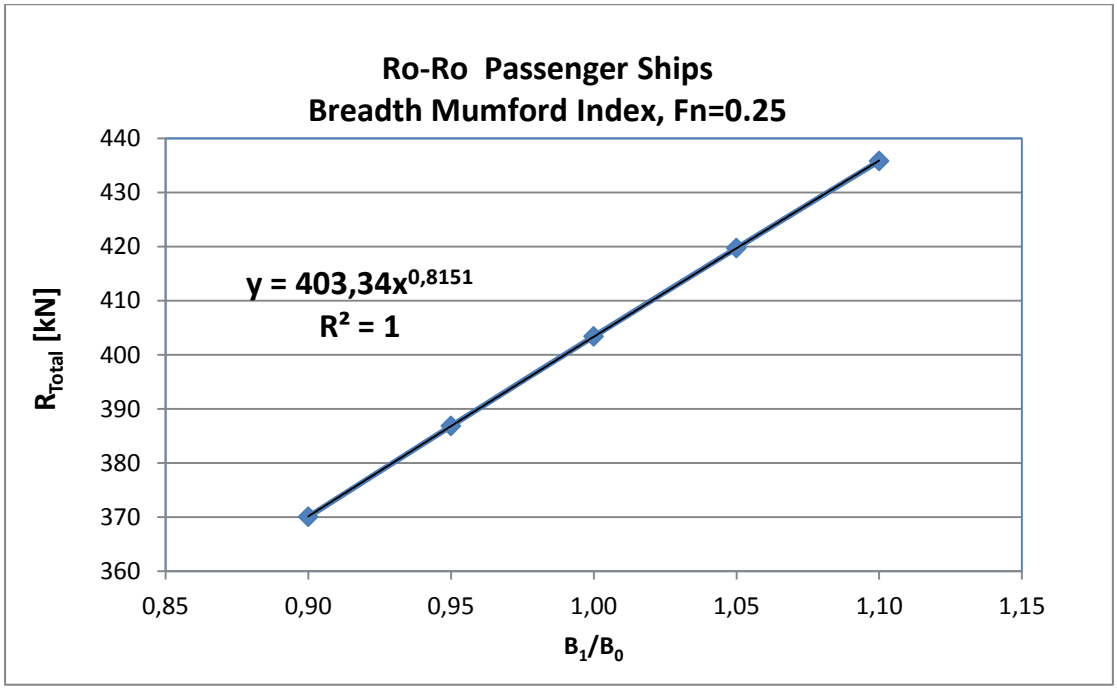

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.20
y = 236,32x^0,7962
R² = 0,9999
R_Total [kN]
260
250
240
230
220
210
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

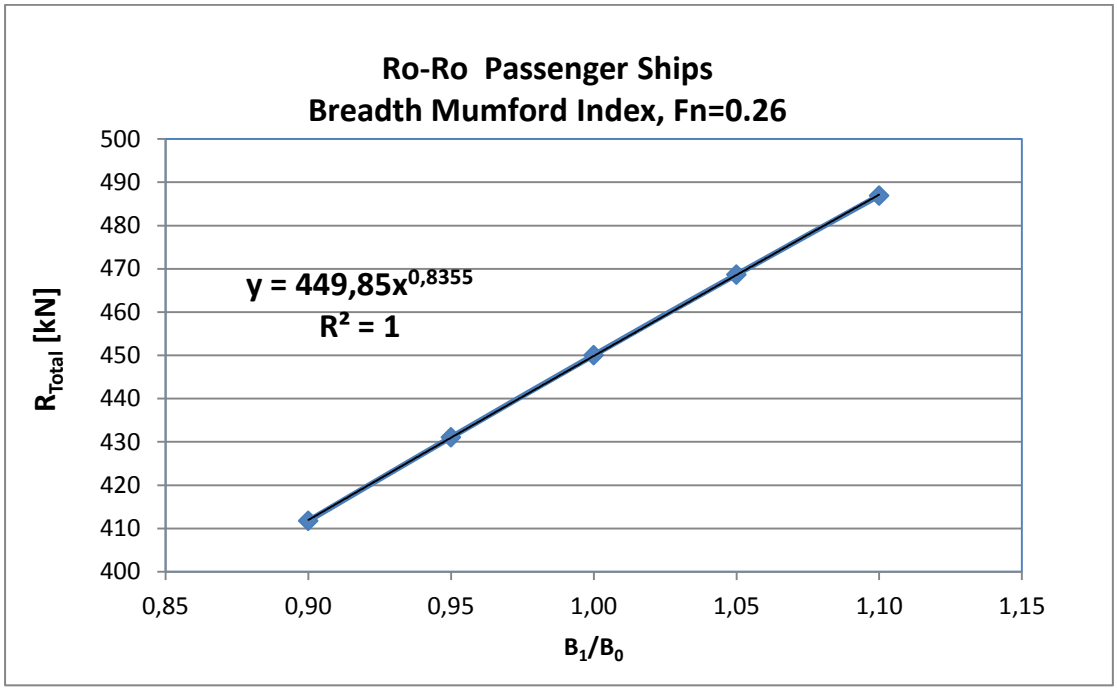

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.21
y = 263,56x^0,7945
R² = 1
R_Total [kN]
290
280
270
260
250
240
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

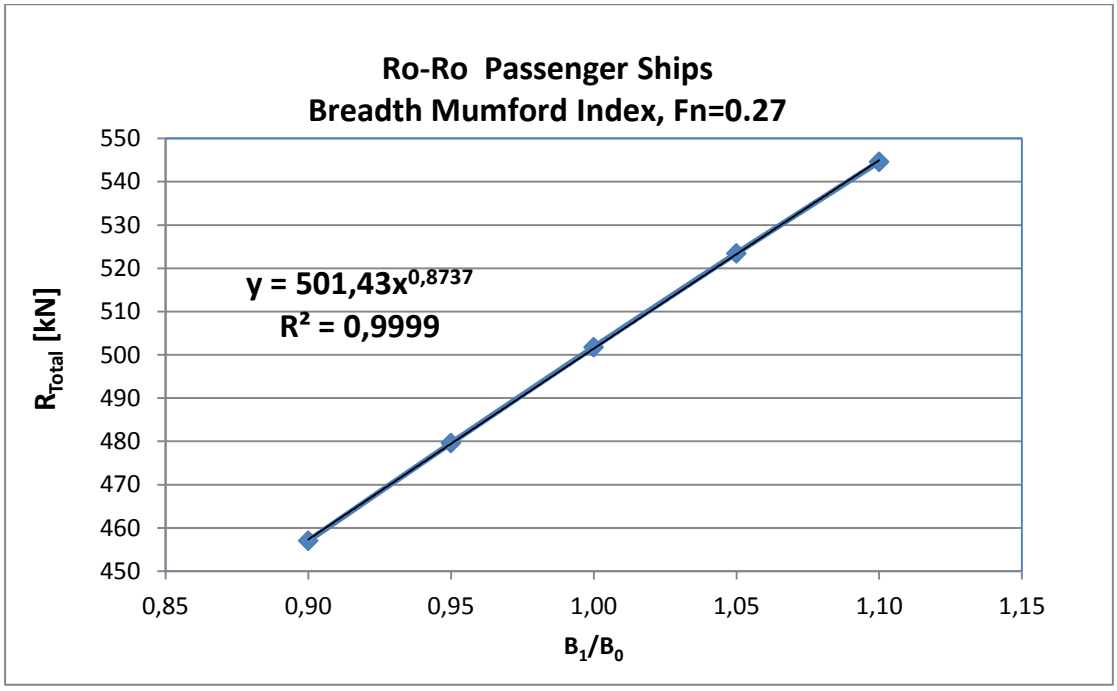

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.22
y = 293,47x^0,7973
R² = 1
R_Total [k]
B1/B0
320
310
300
290
280
270
260
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

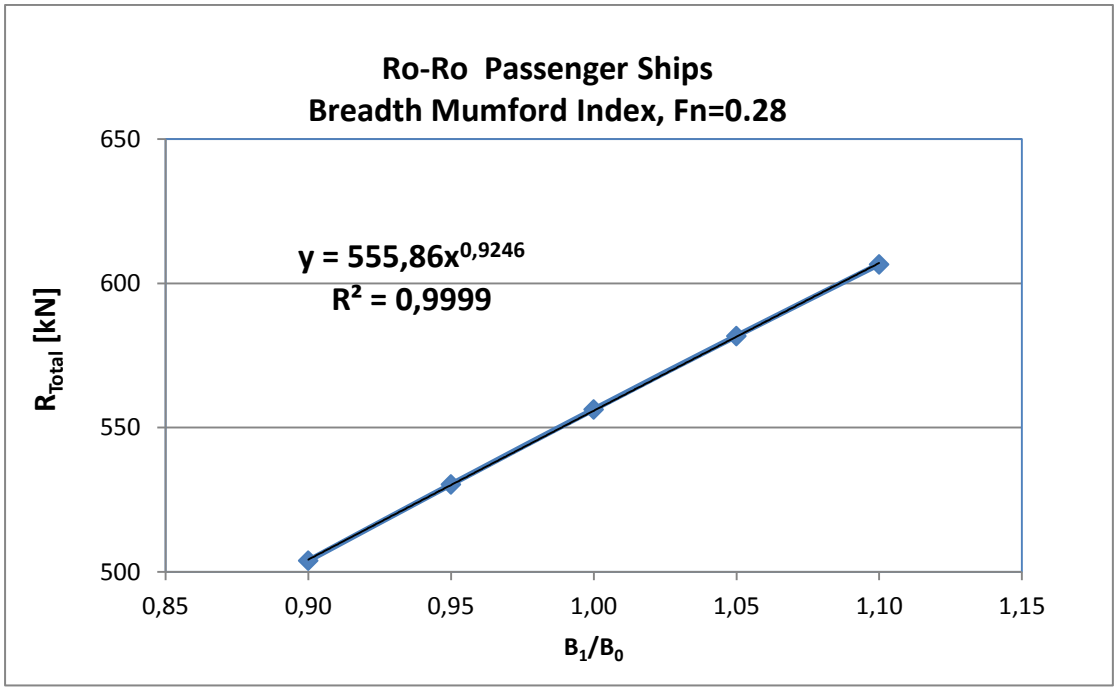

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.23
y = 326,21x^0,8023
R² = 1
R_Total [kN]
B1/B0
360
350
340
330
320
310
300
290
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

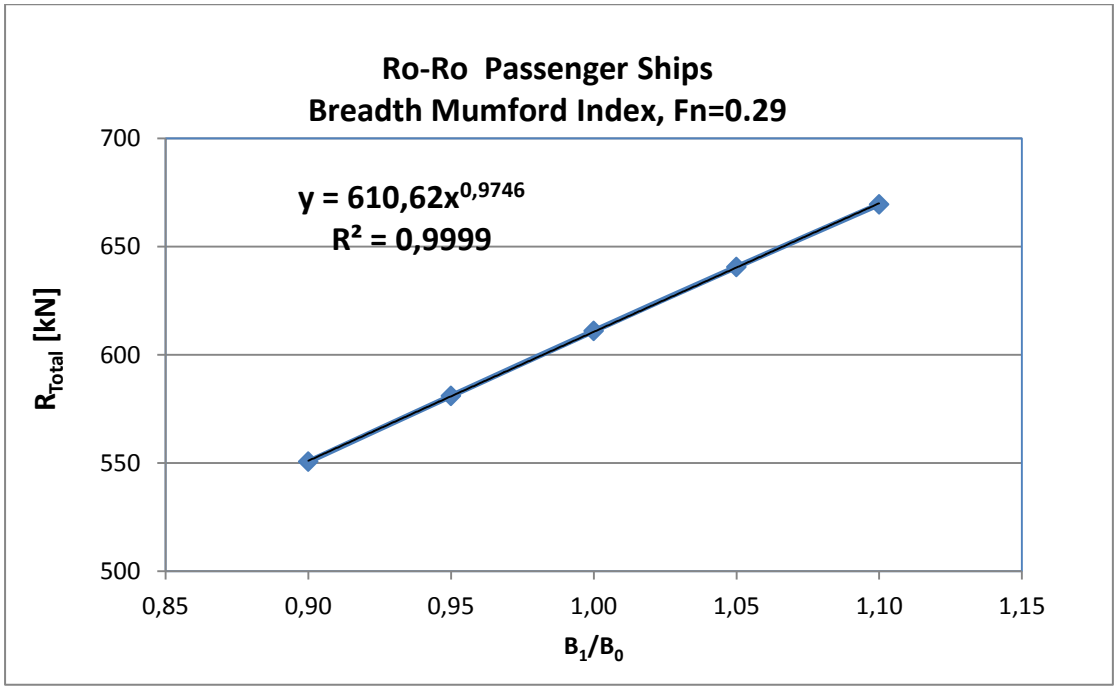

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.24
y = 362,43x^0,807
R² = 1
R_Total [kN]
400
390
380
370
360
350
340
330
320
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

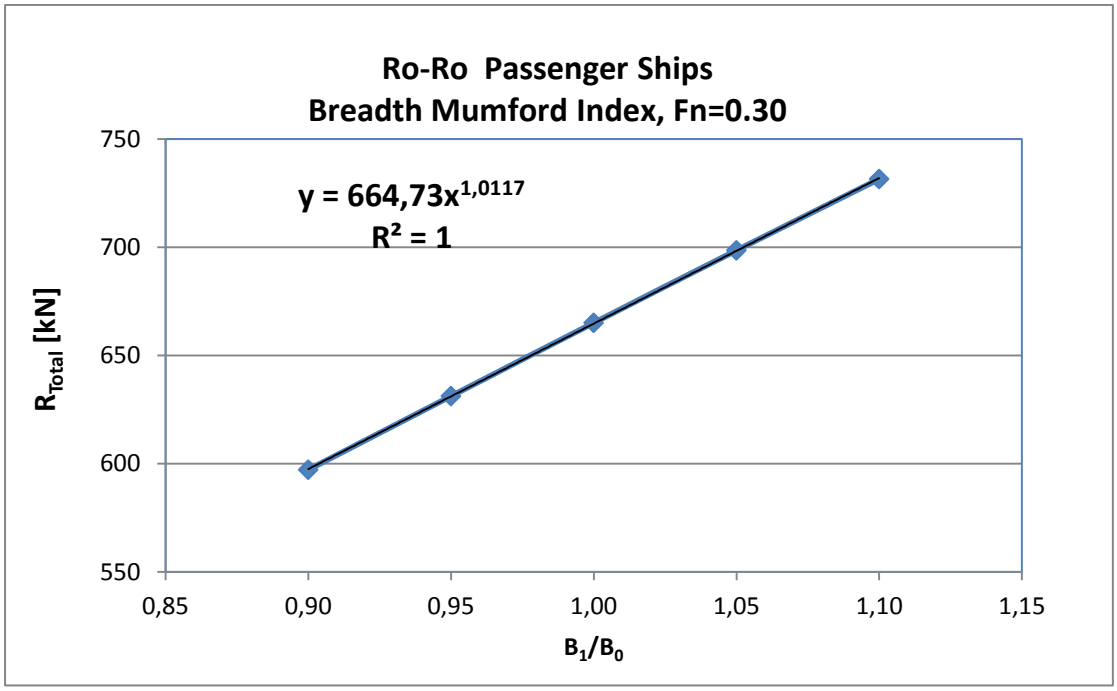

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.25
y = 403,34x^0,8151
R² = 1
R_Total [kN]
440
430
420
410
400
390
380
370
360
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

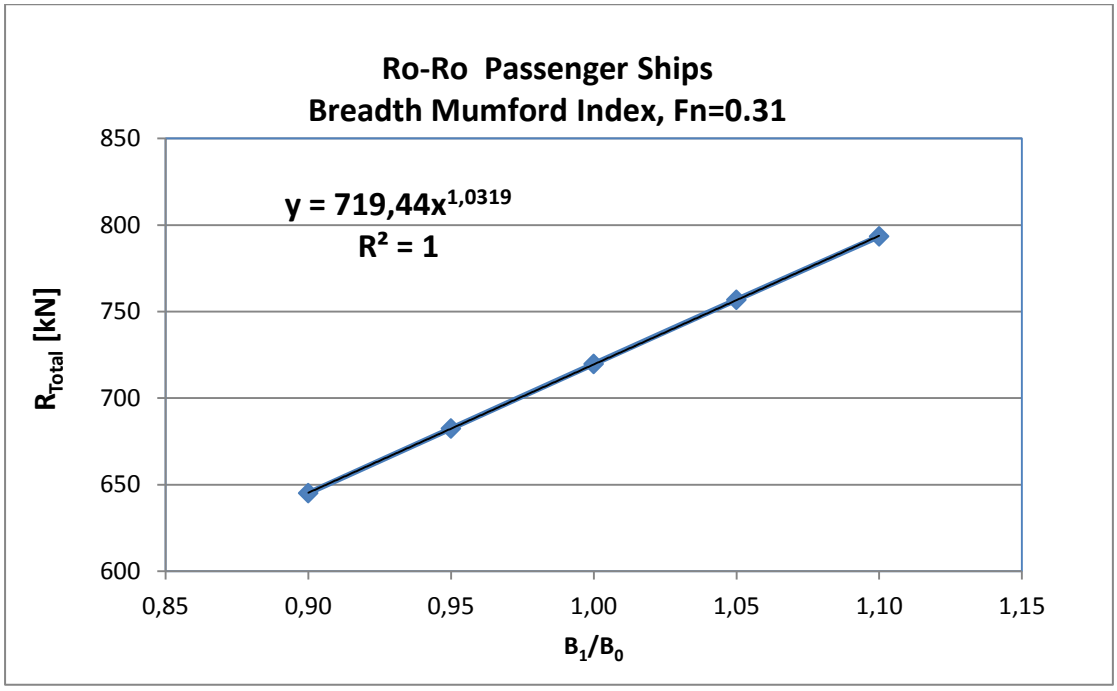

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.26
y = 449,85x^0,8355
R² = 1
R_Total [kN]
500
490
480
470
460
450
440
430
420
410
400
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

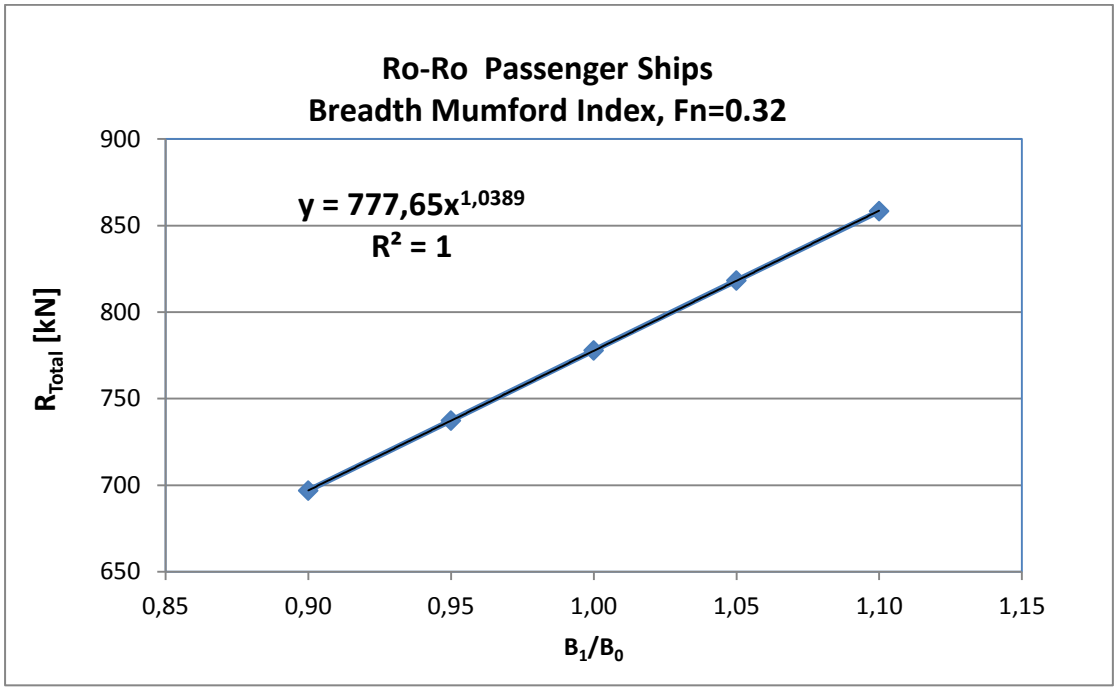

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.27
y = 501,43x^0,8737
R² = 0,9999
R_Total [kN]
550
540
530
520
510
500
490
480
470
460
450
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

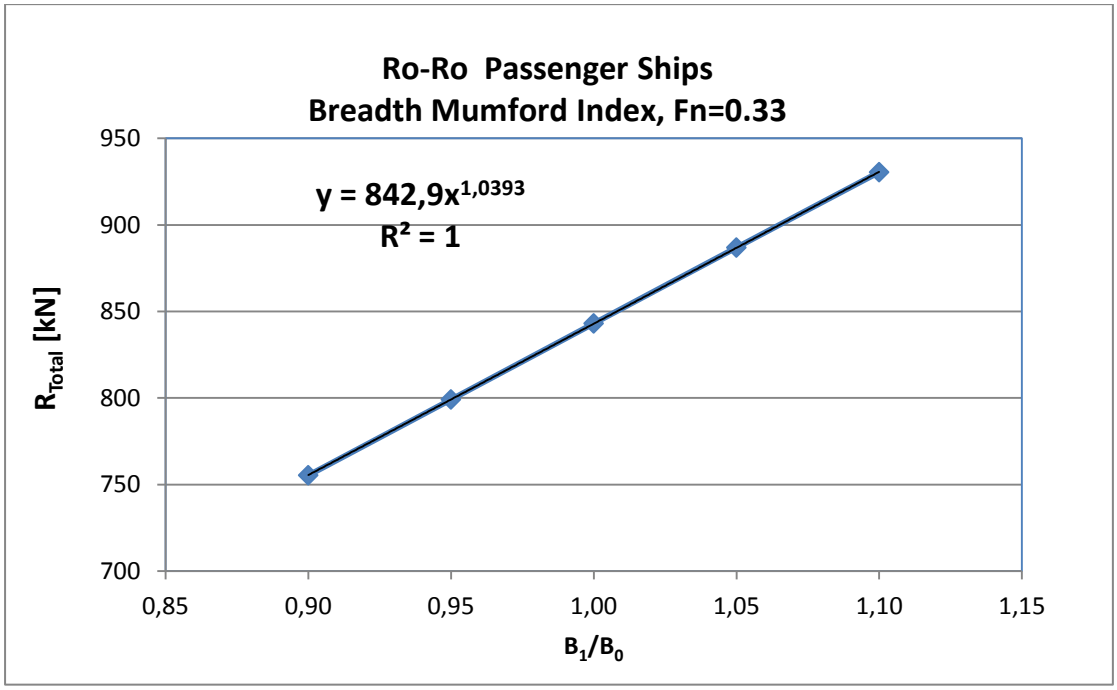

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.28
y = 555,86x^0,9246
R² = 0,9999
R_Total [kN]
650
600
550
500
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

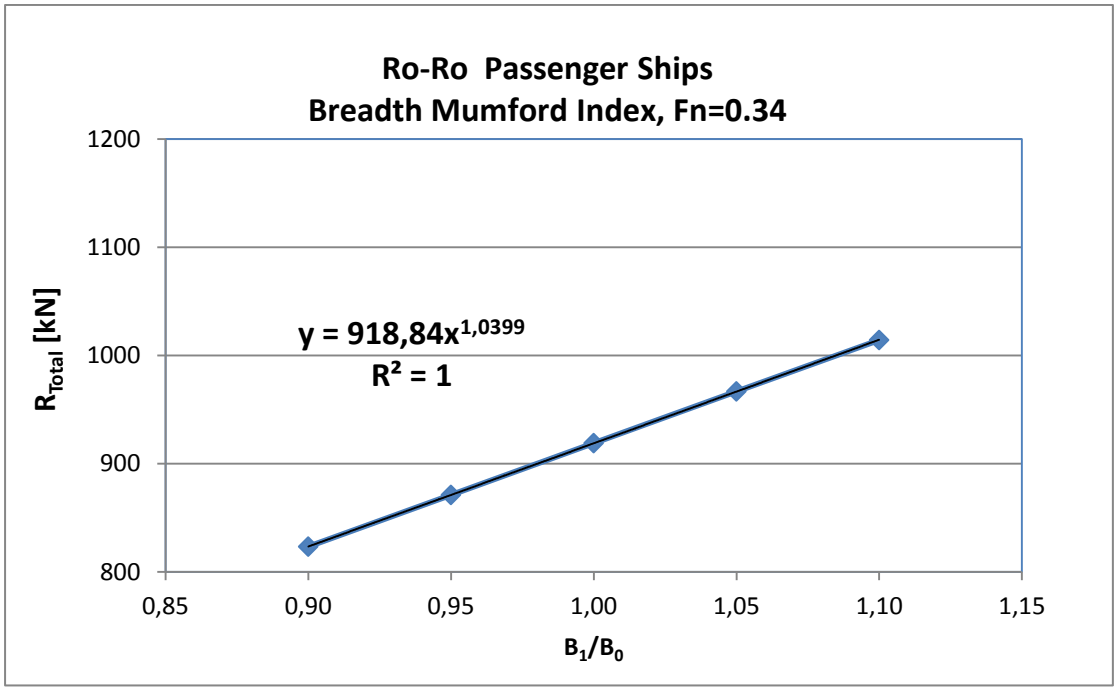

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.29
y = 610,62x^0,9746
R² = 0,9999
R_Total [kN]
700
650
600
550
500
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

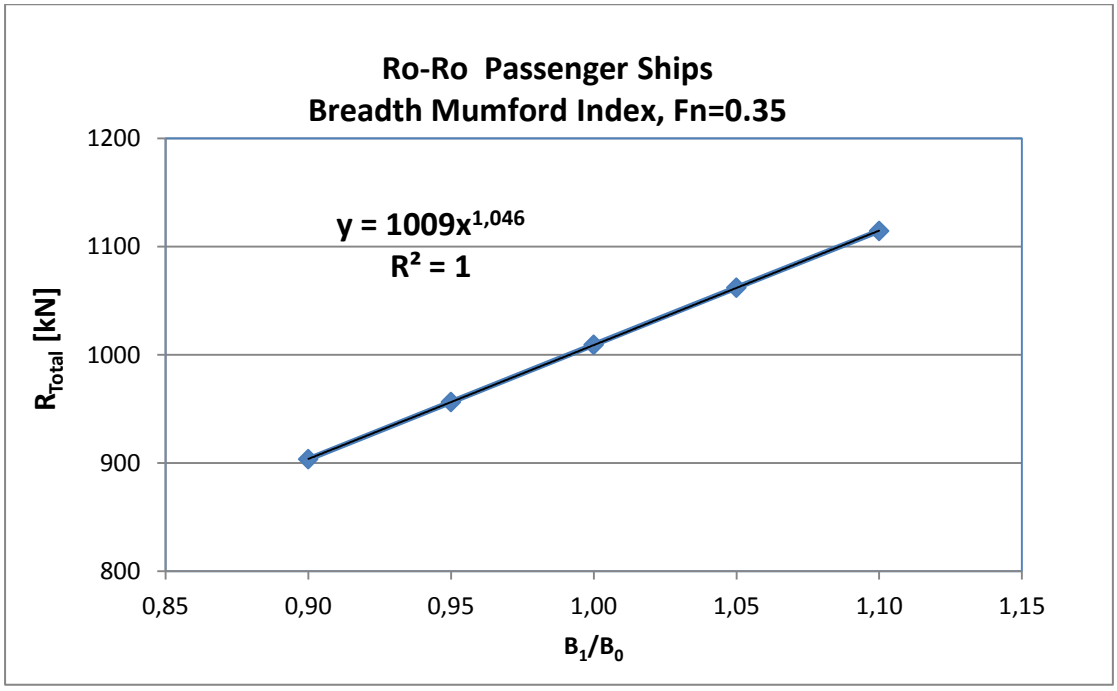

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.30
y = 664,73x^1,0117
R² = 1
R_Total [kN]
750
700
650
600
550
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

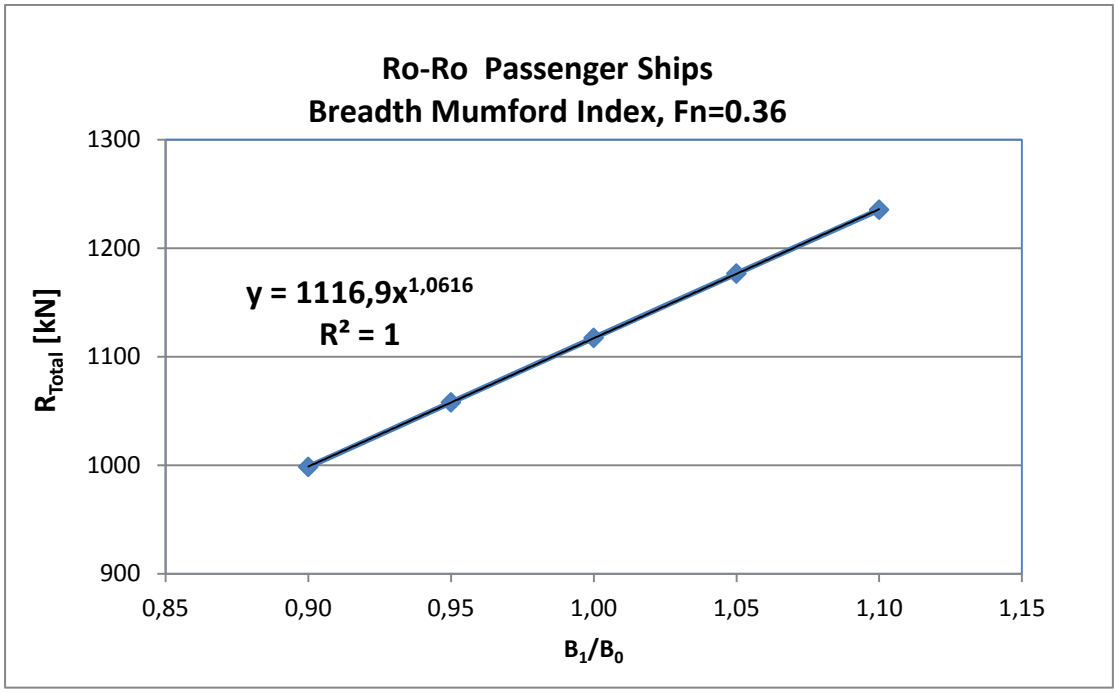

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.31
y = 719,44x^1,0319
R² = 1
R_Total [kN]
850
800
750
700
650
600
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

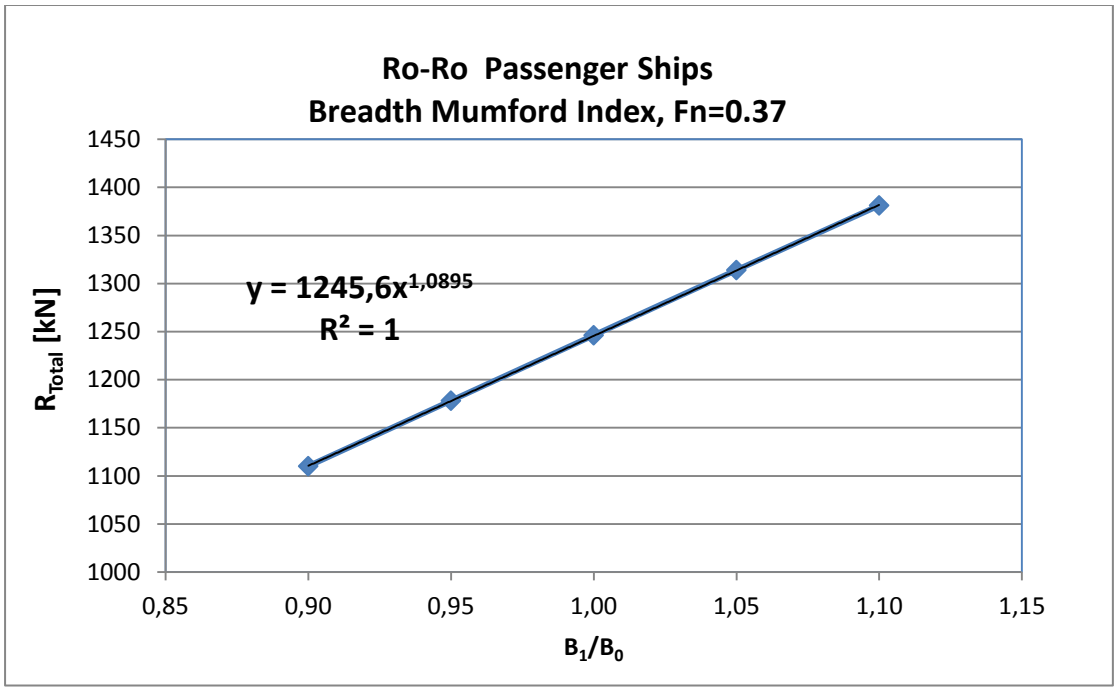

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.32
y = 777,65x^1,0389
R² = 1
R_Total [kN]
900
850
800
750
700
650
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

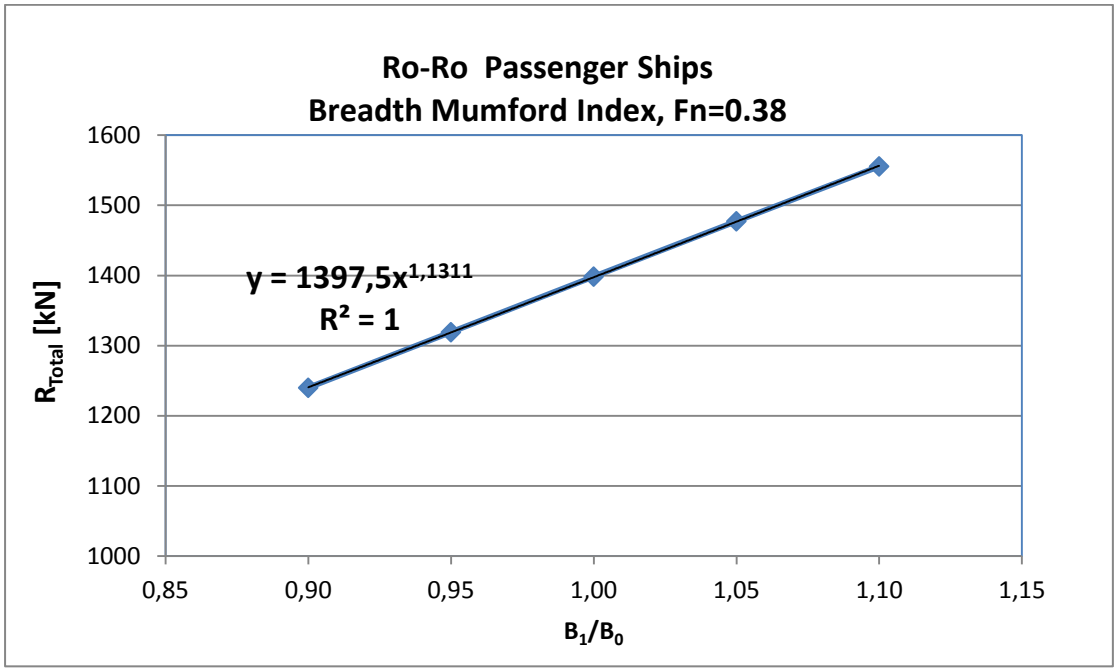

Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.33
y = 842,9x^1,0393
R² = 1
R_Total [kN]
950
900
850
800
750
700
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0


Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.34
y = 918,84x^1,0399
R² = 1
R_Total [kN]
1200
1100
1000
900
800
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0


Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.35
y = 1009x^1,046
R² = 1
R_Total [kN]
1200
1100
1000
900
800
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0


Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.36
y = 1116,9x^1,0616
R² = 1
R_Total [kN]
1300
1200
1100
1000
900
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0


Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.37
y = 1245,6x^1,0895
R² = 1
R_Total [kN]
1450
1400
1350
1300
1250
1200
1150
1100
1050
1000
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0


Ro-Ro Passenger Ships
Breadth Mumford Index, Fn=0.38
y = 1397,5x^1,1311
R² = 1
R_Total [kN]
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
B1/B0

Παράρτημα Χ: Διαγράμματα Αντίστασης για την Εύρεση των Δεικτών Mumford ως προς Βύθισμα (Μέσο Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο Δείγματος)

Από έρευνες των Mumford & Moor (Papanikolaou, 2009) προκύπτει για μικρές μεταβολές (δείκτης «1») ως προς το αρχικό πλοίο (δείκτης «0»):

$$\frac{R_{T1}}{R_{T0}} = (\frac{B_1}{B_0})^X \times (\frac{T_1}{T_0})^Y$$

Η ολική αντίσταση, υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop για μικρές μεταβολές ($\pm 10\%$ $και$ $\pm 5\%$) του βυθίσματος του μέσου Επιβατηγού-Οχηματαγωγού Πλοίου του υπό μελέτη δείγματος. Οι εκθέτες που βρέθηκαν συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα:

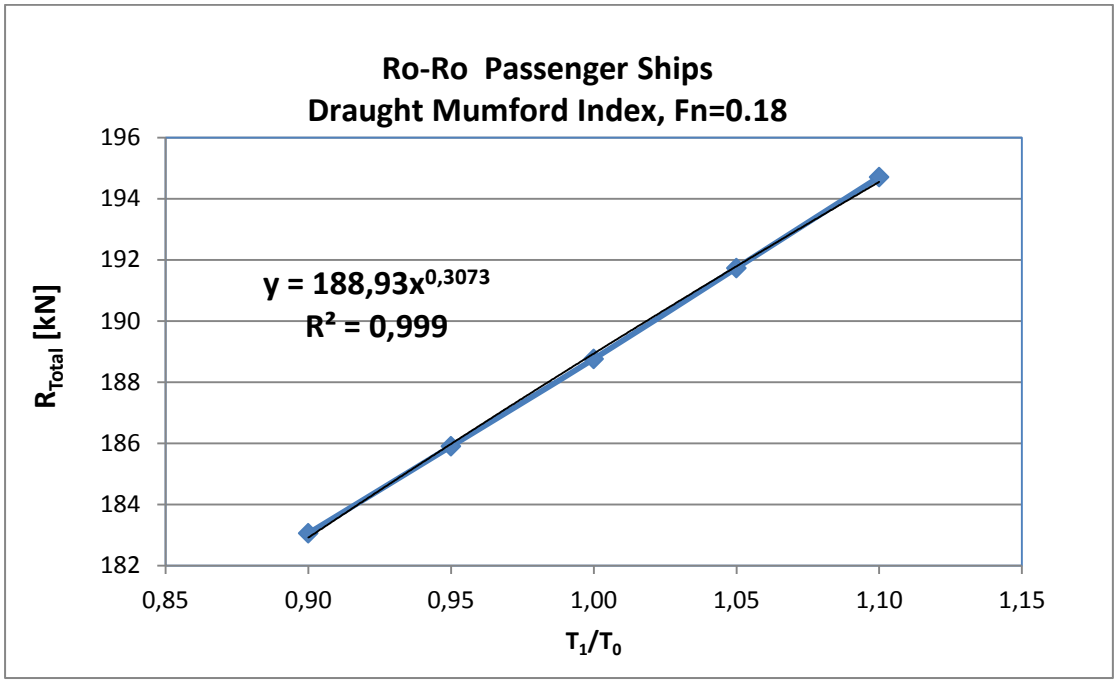
Πίνακας Χ.1: Εκθέτης κατά Mumford Y ως προς μεταβολές Βυθίσματος για διάφορους αριθμούς Froude για Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία:

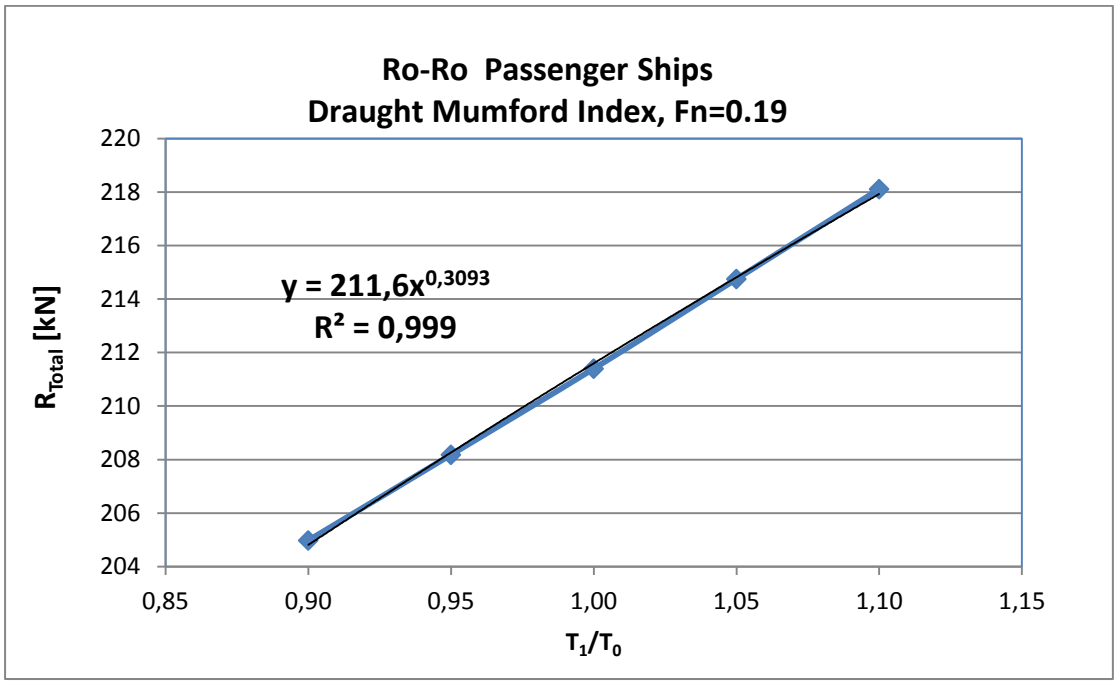
Fn	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
y $_{R\,(T)}$	0,3073	0,3093	0,3126	0,3174	0,3242	0,3330	0,3441

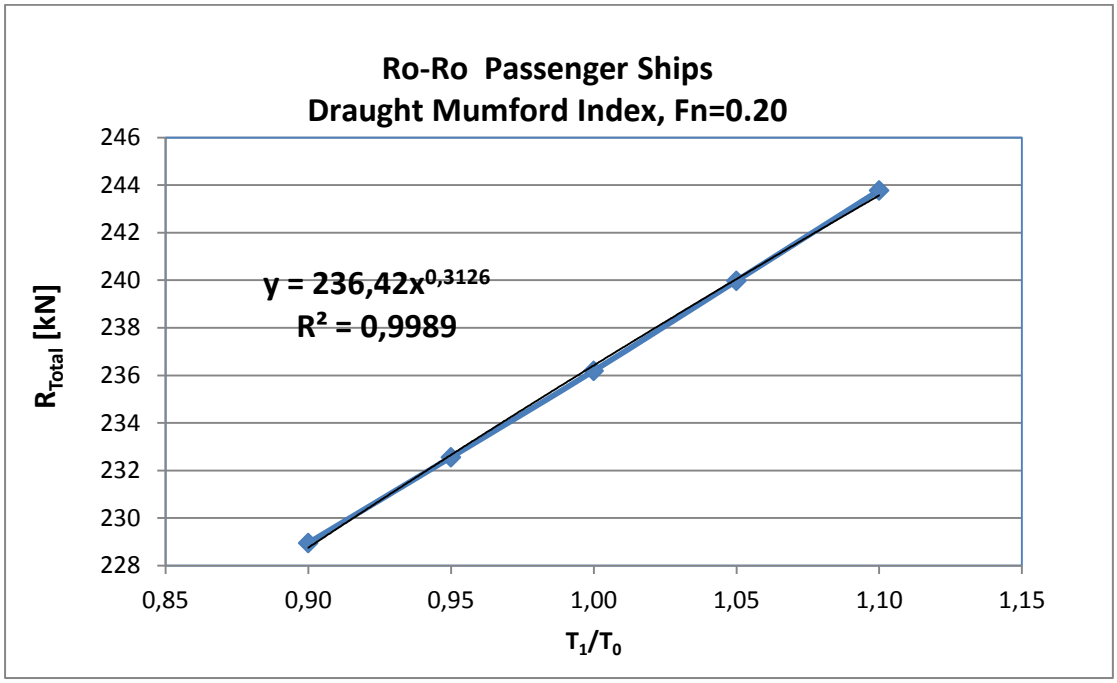
Fn	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
y $_{R(T)}$	0,3577	0,3743	0,3934	0,4133	0,4324	0,4501	0,4668

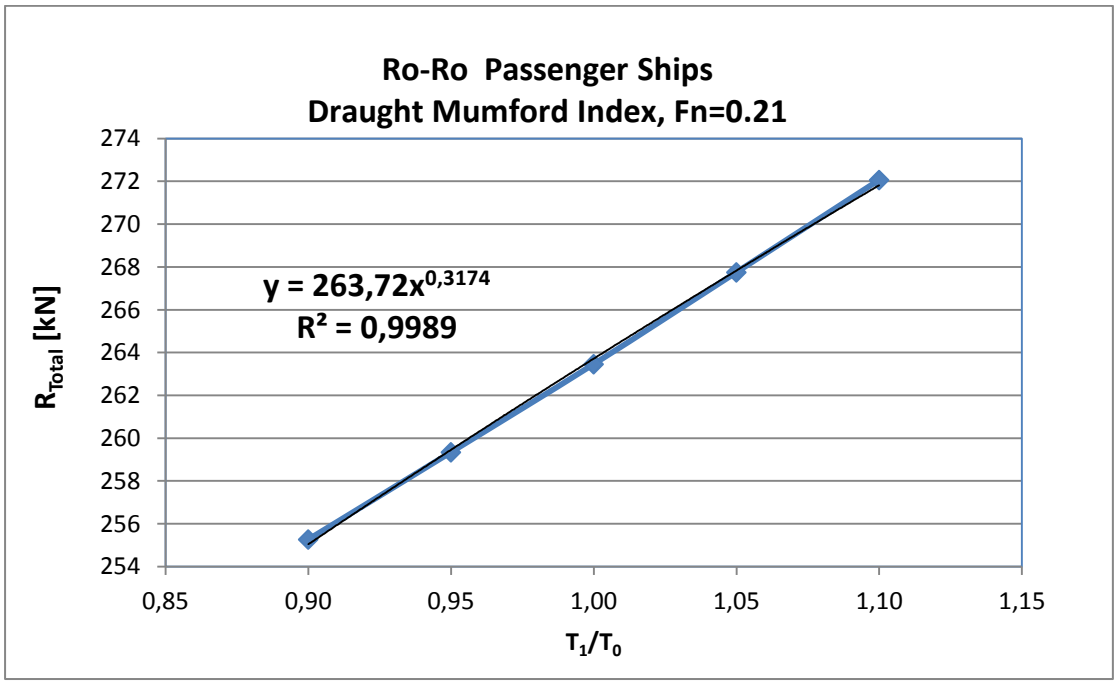
Fn	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
y $_{R(T)}$	0,4838	0,5026	0,5243	0,5496	0,5787	0,6113	0,6464

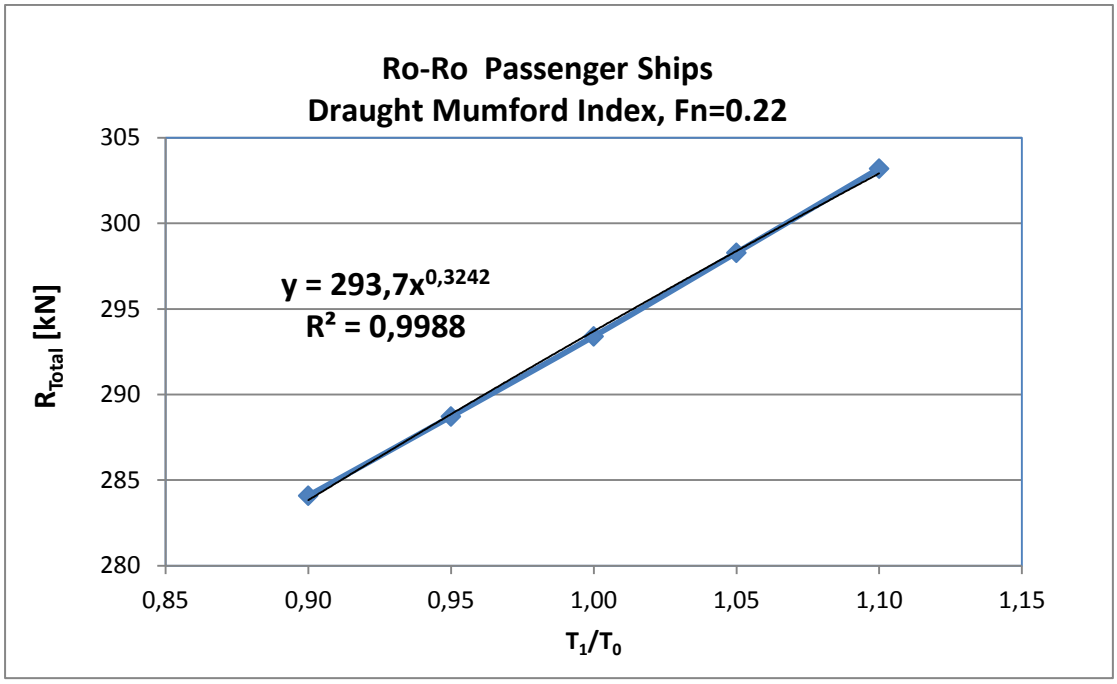
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τον υπολογισμό των δεικτών Mumford y για το εύρος των αριθμών Froude του δείγματος φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

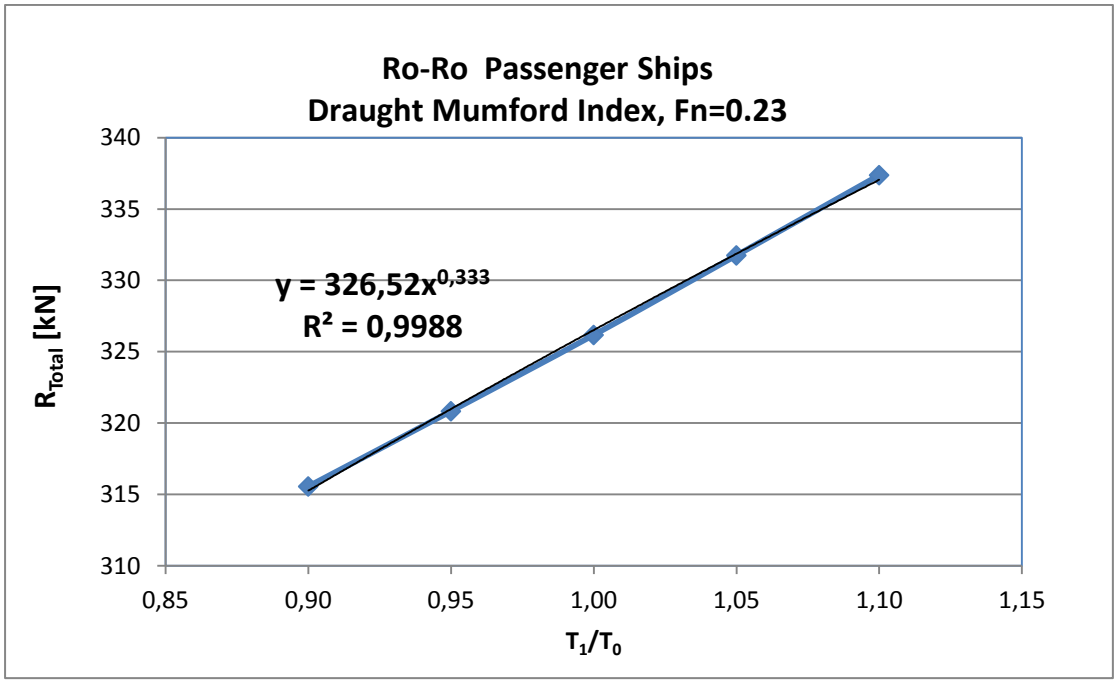

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.18
y = 188,93x^0,3073
R² = 0,999
R_Total [kN]
196
194
192
190
188
186
184
182
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

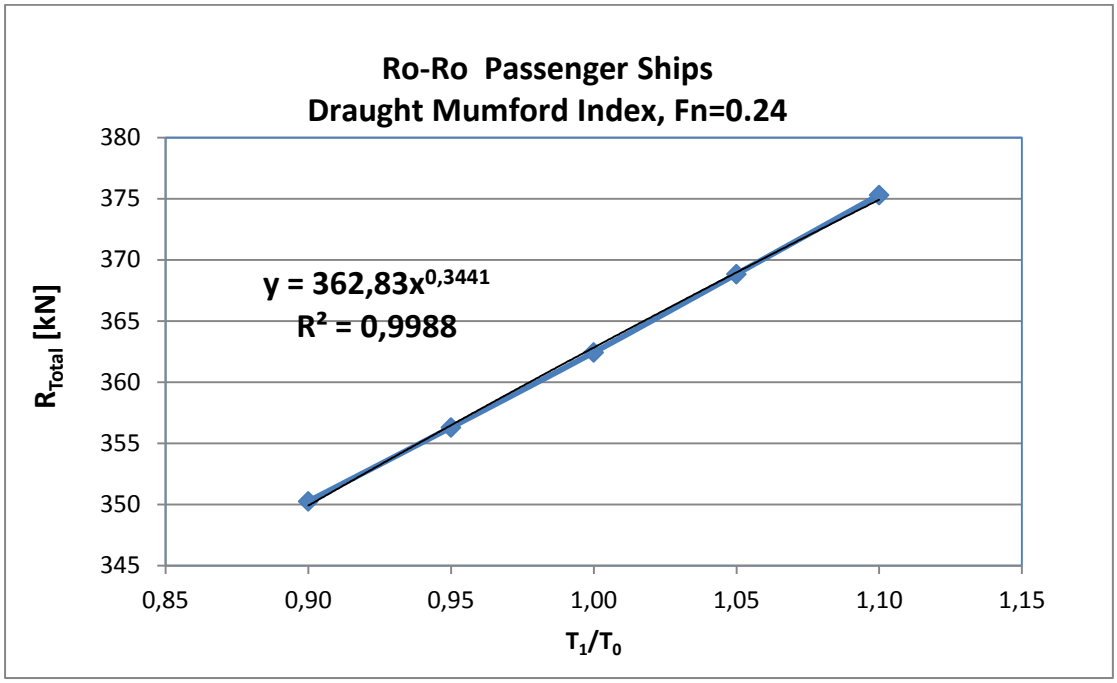

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.19
y = 211,6x^0,3093
R² = 0,999
R_Total [kN]
220
218
216
214
212
210
208
206
204
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

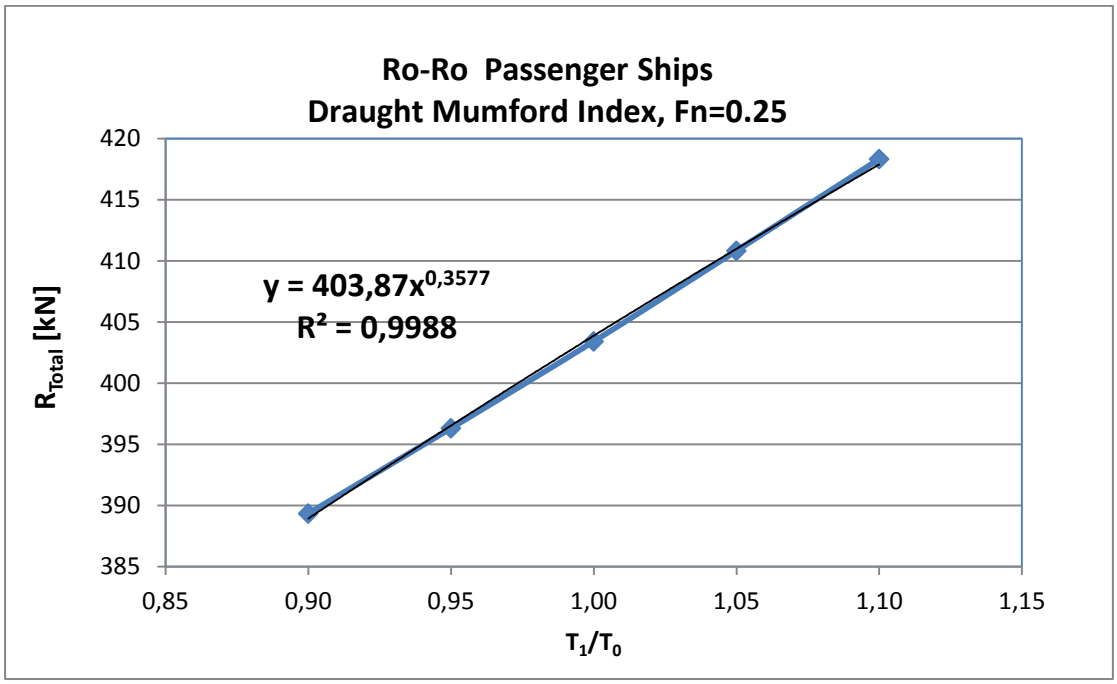

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.20
y = 236,42x^0,3126
R² = 0,9989
R_Total [kN]
T1/T0
246
244
242
240
238
236
234
232
230
228
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

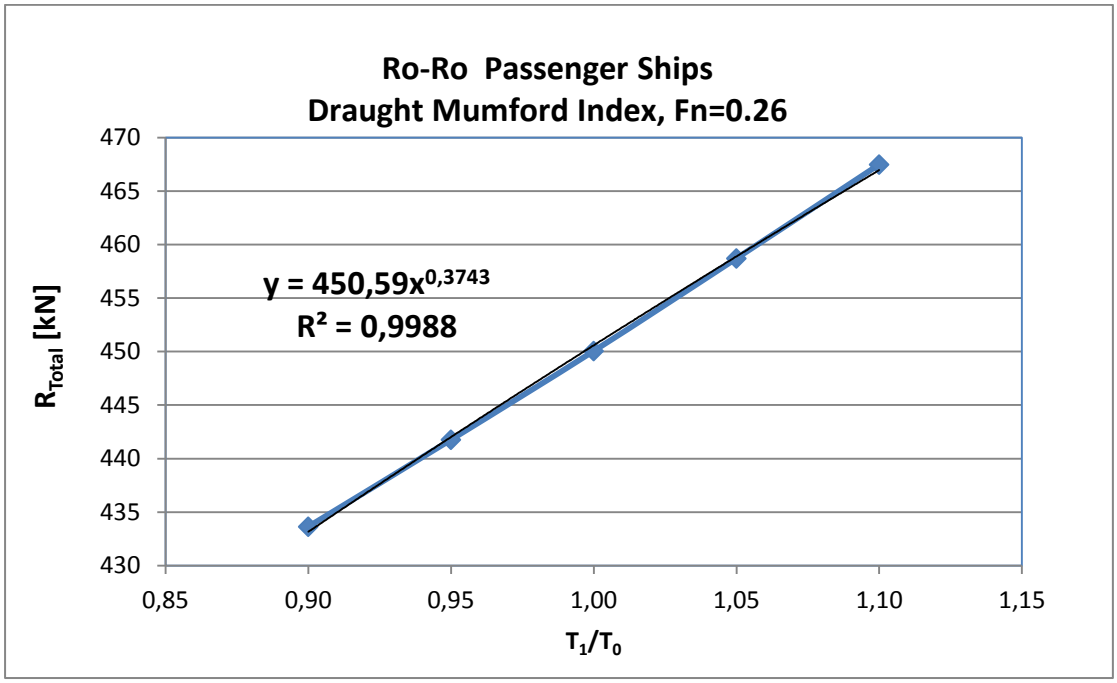

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.21
y = 263,72x^0,3174
R² = 0,9989
R_Total [kN]
T1/T0
274
272
270
268
266
264
262
260
258
256
254
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15

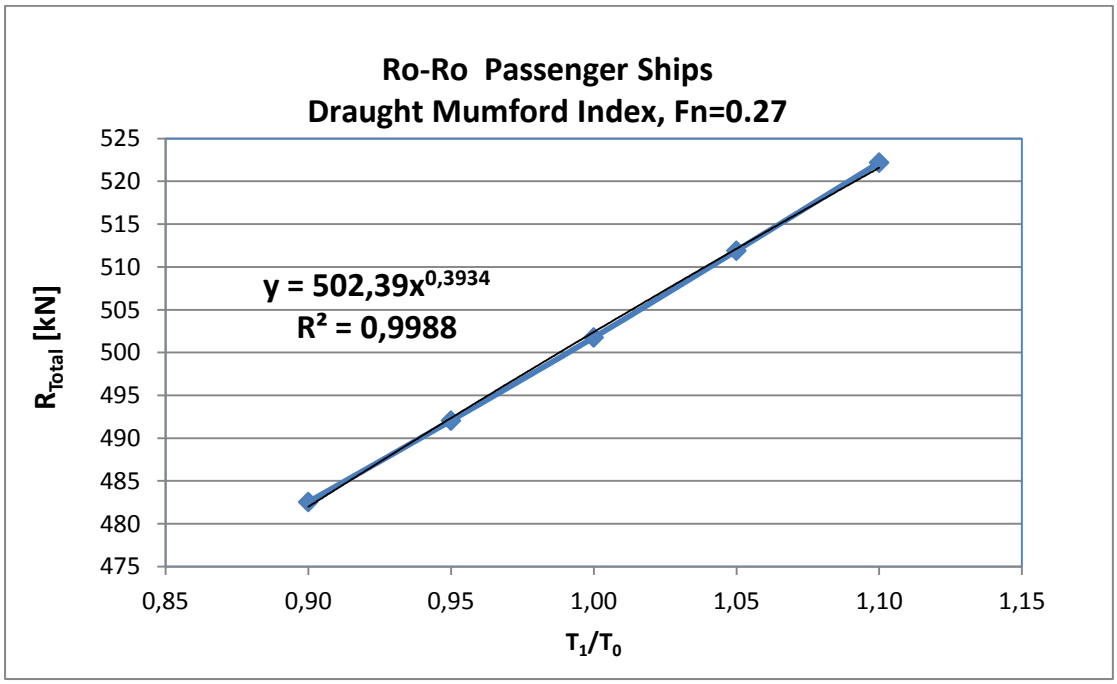

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.22
y = 293,7x^0,3242
R² = 0,9988
R_Total [kN]
305
300
295
290
285
280
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

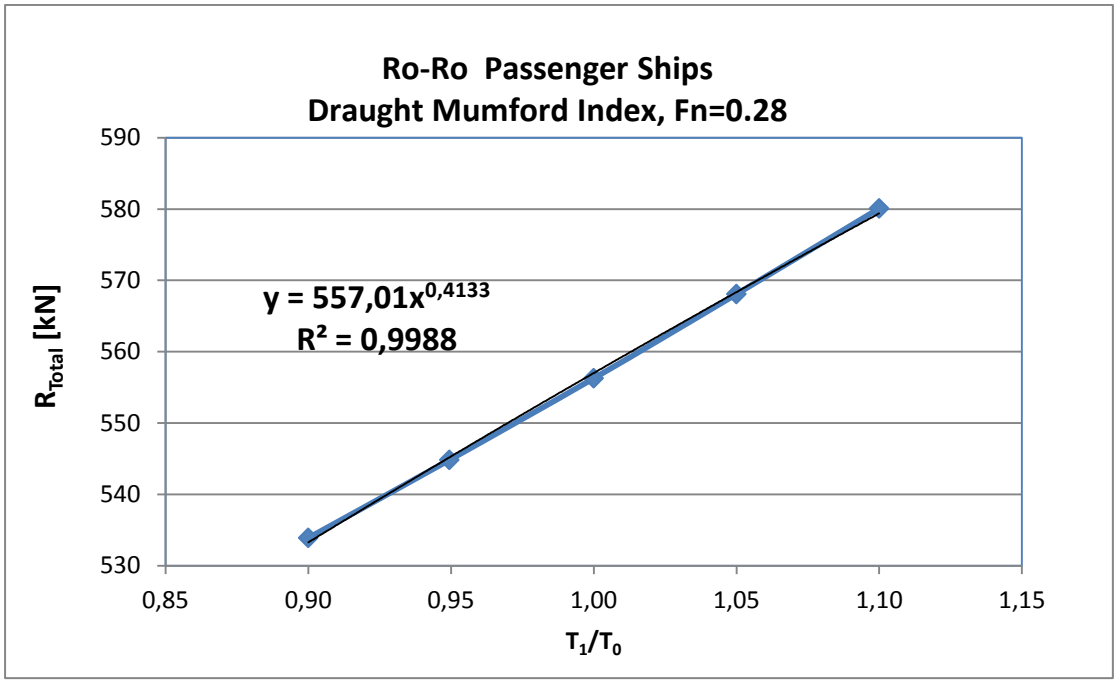

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.23
y = 326,52x^0,333
R² = 0,9988
R_Total [kN]
340
335
330
325
320
315
310
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

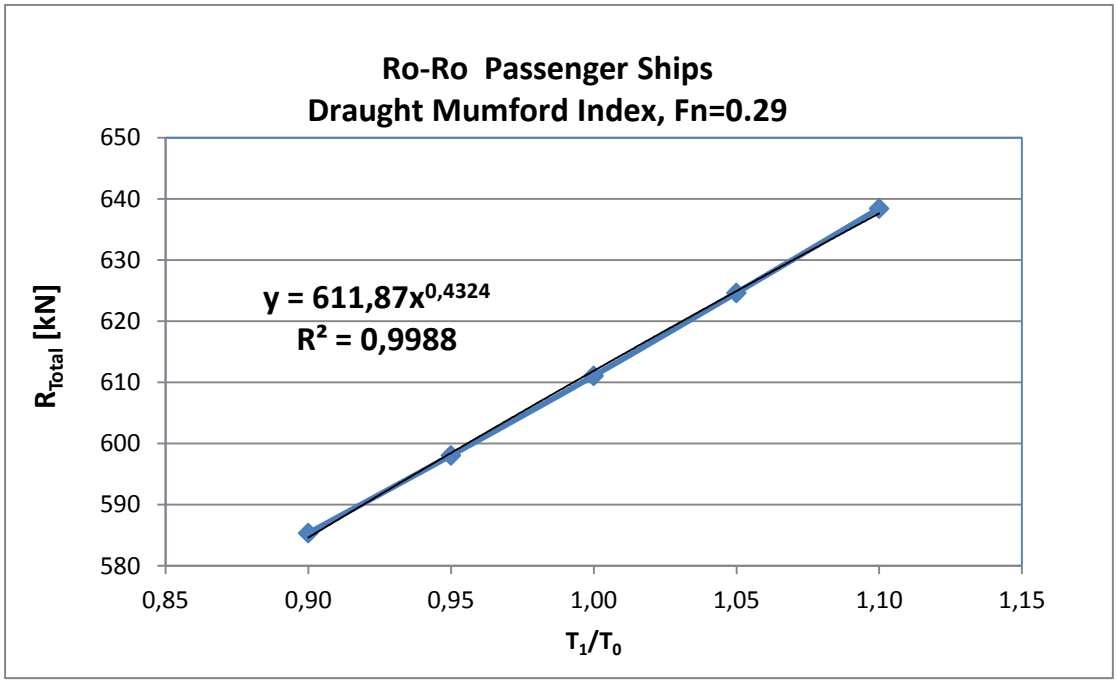

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.24
y = 362,83x^0,3441
R² = 0,9988
R_Total [kN]
380
375
370
365
360
355
350
345
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

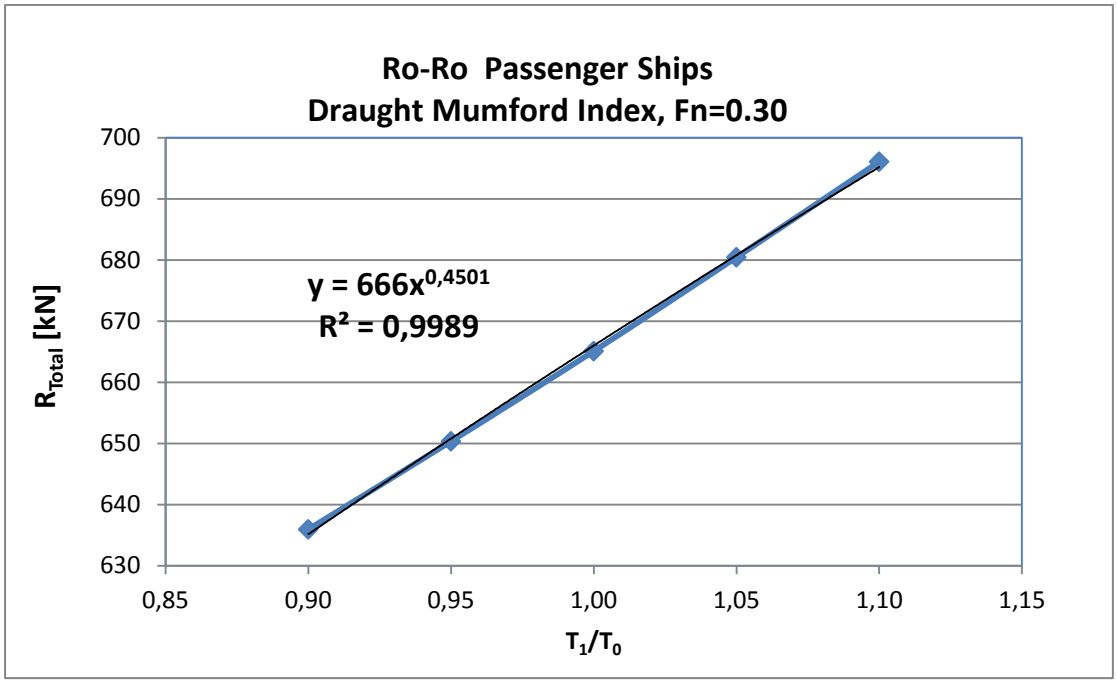

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.25
y = 403,87x^0,3577
R² = 0,9988
R_Total [kN]
420
415
410
405
400
395
390
385
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

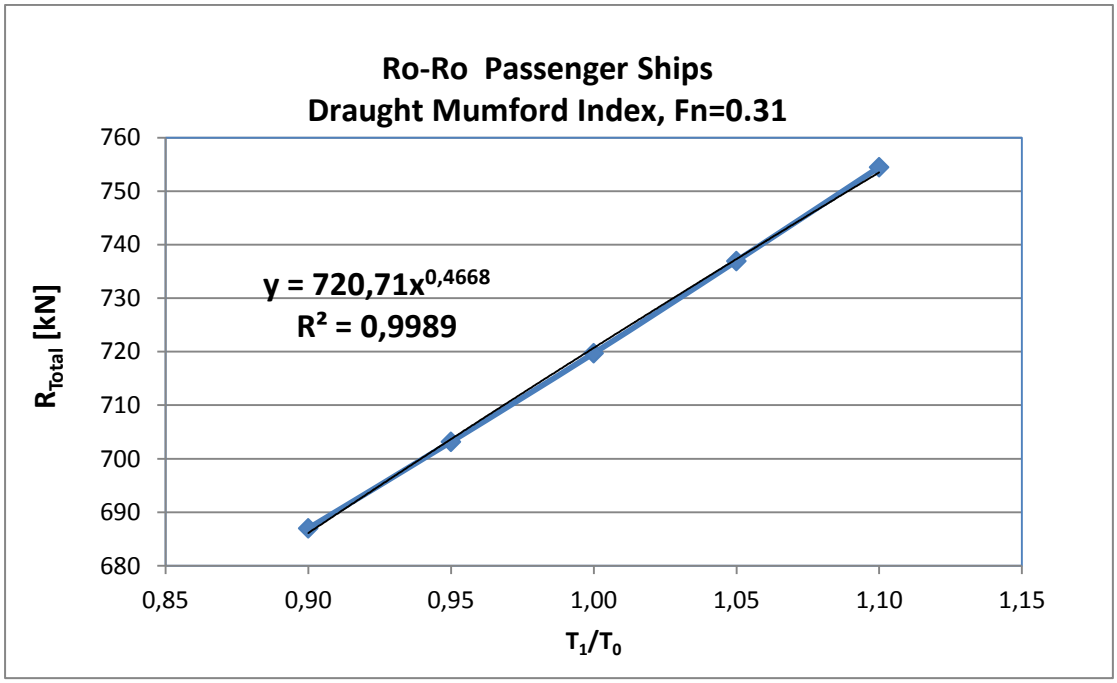

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.26
y = 450,59x^0,3743
R² = 0,9988
R_Total [kN]
470
465
460
455
450
445
440
435
430
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

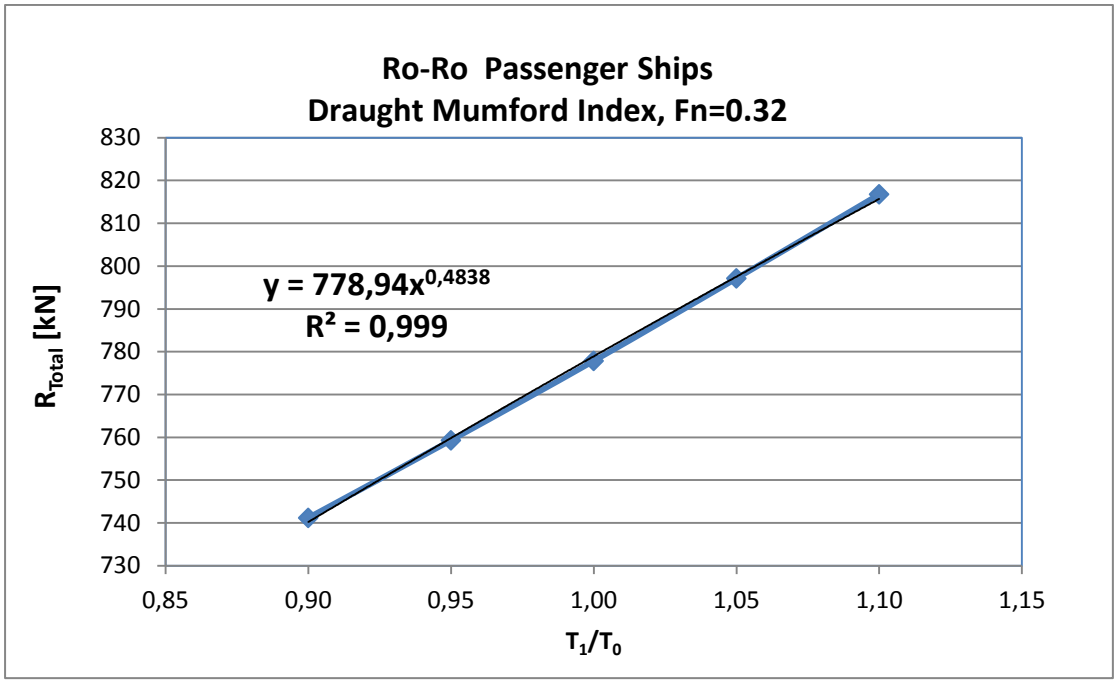

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.27
y = 502,39x^0,3934
R² = 0,9988
R_Total [kN]
525
520
515
510
505
500
495
490
485
480
475
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

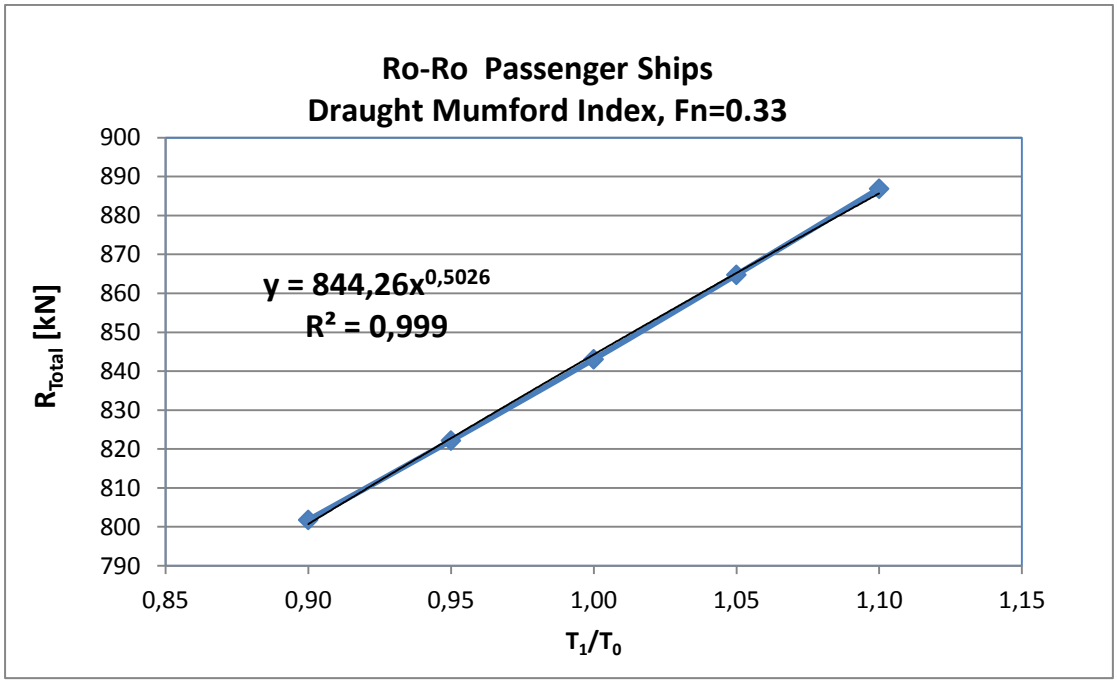

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.28
y = 557,01x^0,4133
R² = 0,9988
R_Total [kN]
590
580
570
560
550
540
530
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

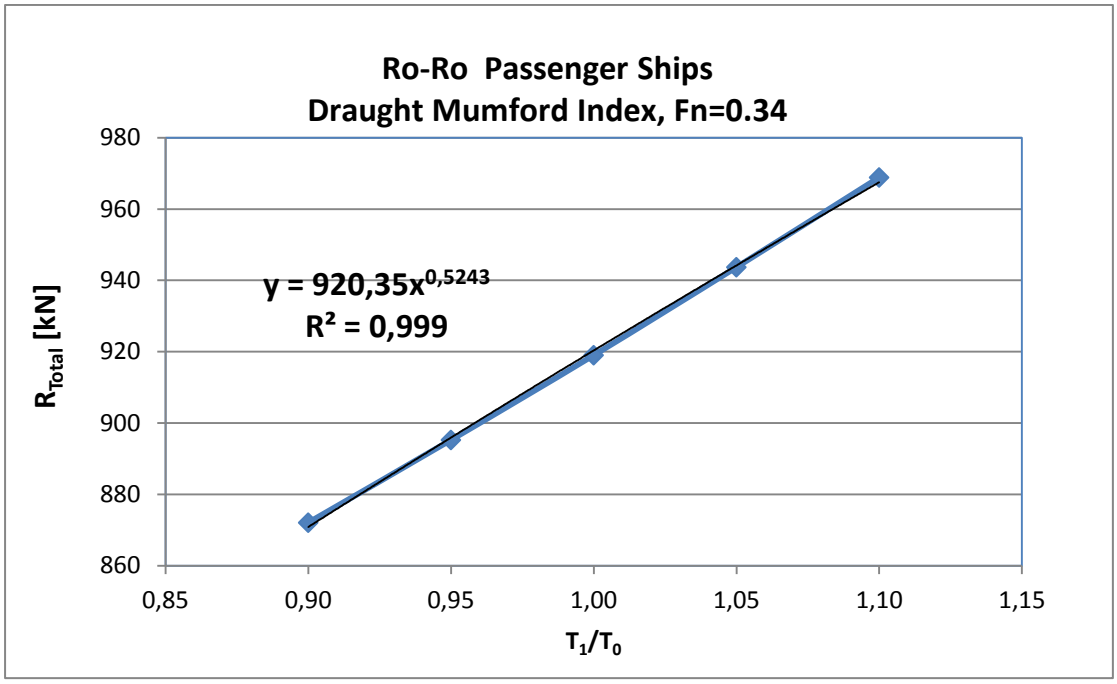

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.29
y = 611,87x^0,4324
R² = 0,9988
R_Total [kN]
650
640
630
620
610
600
590
580
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

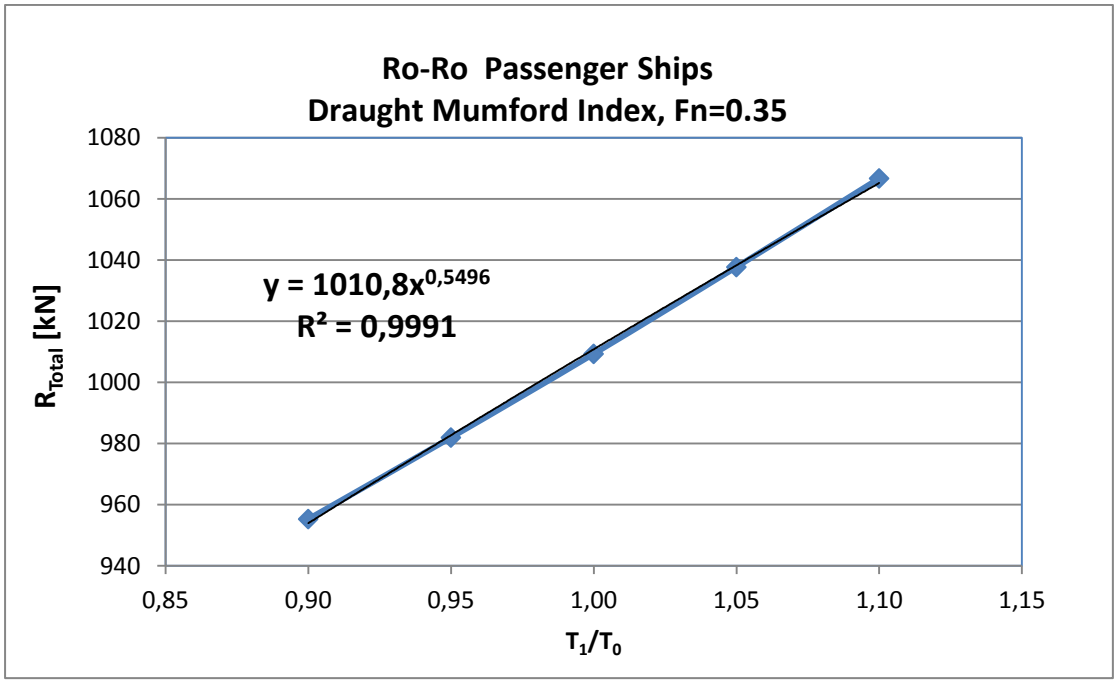

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.30
y = 666x^0,4501
R² = 0,9989
R_Total [kN]
700
690
680
670
660
650
640
630
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

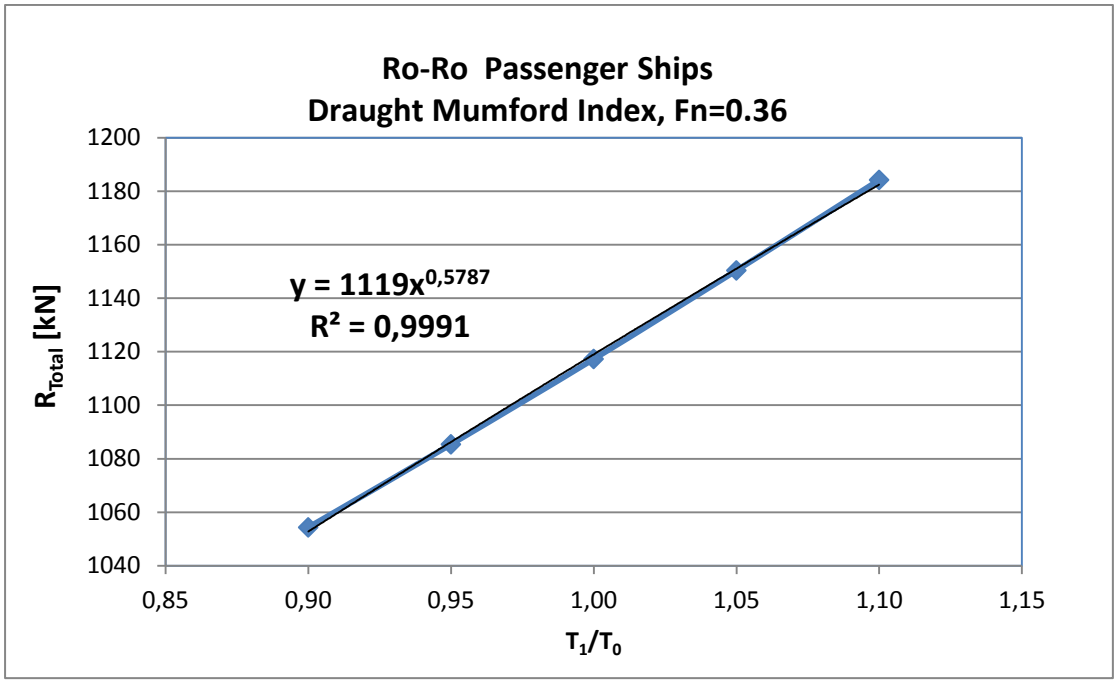

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.31
y = 720,71x^0,4668
R² = 0,9989
R_Total [kN]
760
750
740
730
720
710
700
690
680
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

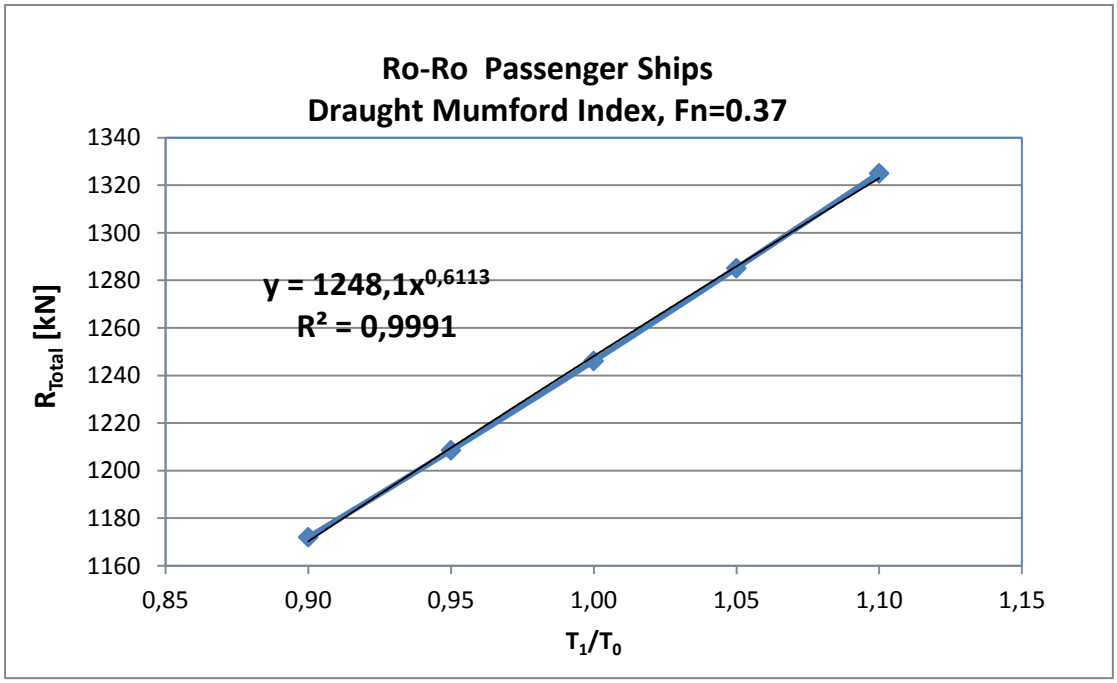

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.32
y = 778,94x^0,4838
R² = 0,999
R_Total [kN]
830
820
810
800
790
780
770
760
750
740
730
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

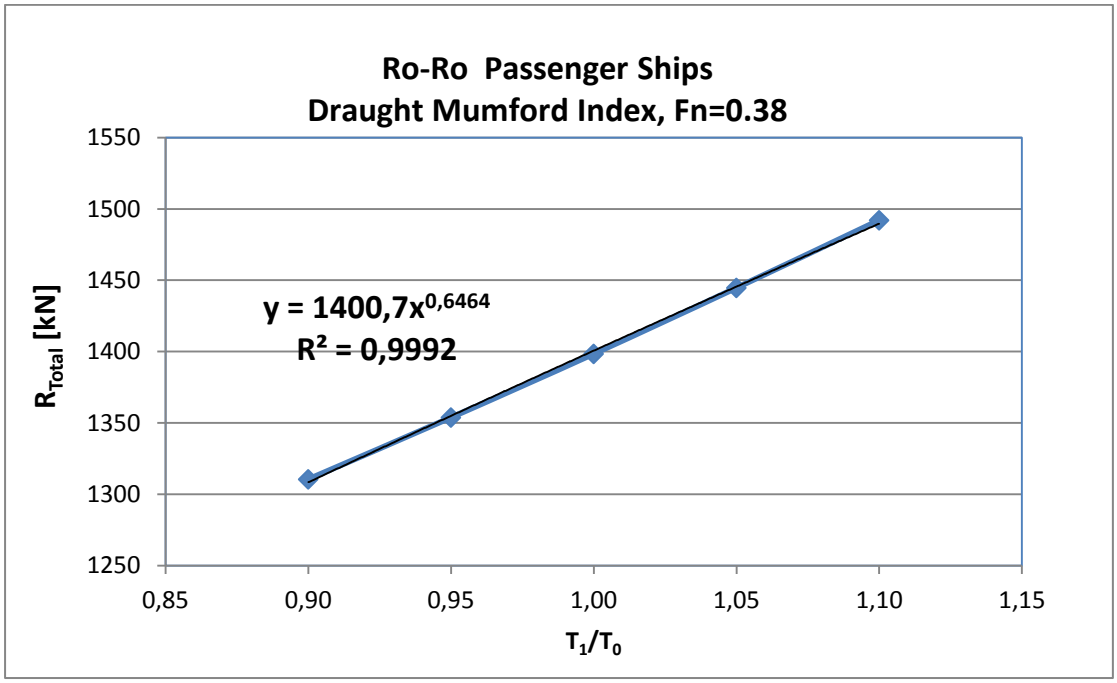

Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.33
y = 844,26x^0,5026
R² = 0,999
R_Total [kN]
900
890
880
870
860
850
840
830
820
810
800
790
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0


Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.34
y = 920,35x^0,5243
R² = 0,999
R_Total [kN]
980
960
940
920
900
880
860
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0


Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.35
y = 1010,8x^0,5496
R² = 0,9991
R_Total [kN]
1080
1060
1040
1020
1000
980
960
940
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0


Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.36
y = 1119x^0,5787
R² = 0,9991
R_Total [kN]
1200
1180
1160
1140
1120
1100
1080
1060
1040
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0


Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.37
y = 1248,1x^0,6113
R² = 0,9991
R_Total [kN]
1340
1320
1300
1280
1260
1240
1220
1200
1180
1160
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0


Ro-Ro Passenger Ships
Draught Mumford Index, Fn=0.38
1550
1500
1450
1400
1350
1300
1250
R_Total [kN]
y = 1400,7x^0,6464
R² = 0,9992
0,85
0,90
0,95
1,00
1,05
1,10
1,15
T1/T0

Παράρτημα XI: Πρωτότυπο Κείμενο των Προτάσεων IMO MEPC 64/4/14 , MEPC 65/4/4 & MEPC 65/4/18 (στην Αγγλική)

Στο Παράρτημα αυτό παρατίθενται για λόγους πληρότητας το πρωτότυπο κείμενο της πρότασης IMO MEPC 64/4/14, 29-12-2012, “Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Shiptypes into the Energy Efficiency Regulatory Framework”, της αναθεώρησής της στην πρόσφατη Σύνοδο MEPC 65 τον Μάϊο του 2013, της IMO MEPC 65/4/4, “Revised Proposal for the Inclusion of the Ro-Ro Cargo and Ro-Ro Passenger Ship Types into the IMO Energy Efficiency Regulatory Framework”, καθώς και των αντιρρήσεων επ’αυτών των προτάσεων που προτείνουν άμεση αναθεώρηση, και συγκεκριμένα της MEPC 65/4/18, “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”.