



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
University of West Attica

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΧΑΤΖΗΠΑΠΑΣ

A.M.: 17035

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΠΟΛΙΤΗΣ



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής University of West Attica

Διπλωματική εργασία

Προμελέτη πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Συγγραφέας

Χατζήπαπας Α. Χρήστος

Επιβλέπων καθηγητής

Πολίτης Κωνσταντίνος

Ημερομηνία εξέτασης

20/09/23

Εξεταστική επιτροπή

Τίγκας Ιωάννης

Θεοδουλίδης Αλέξανδρος

Πολίτης Κωνσταντίνος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χατζήπαπας Χρήστος του Αριστείδη με αριθμό μητρώου 17035 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών, του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Ο Δηλών



Χατζήπαπας Χρήστος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου και πρόεδρο του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Πολίτη Κωνσταντίνο, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα το οποίο με ενδιαφέρει αρκετά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Στυλιανό Χατζήπαπα ο οποίος μου παρείχε όλα τα δεδομένα, τα οποία έπαιζαν καθοριστικό ρόλο για την διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας και χωρίς αυτά δεν θα μπορούσα να την φέρω ως πέρας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που ήταν από την αρχή δίπλα μου και με στήριζαν όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην ακόλουθη διπλωματική εργασία πραγματοποιείται ένα μέρος της συνολικής διαδικασίας της προμελέτης ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στην θεωρία της μελέτης, καθώς επίσης και στις βασικές κατηγορίες του συγκεκριμένου τύπου πλοίου. Αφού οριστικοποιηθούν οι απαιτήσεις για το υπό μελέτη πλοίο, γίνεται ο υπολογισμός των βασικών του διαστάσεων, των συντελεστών μορφής και της ισχύος πρόωσης με βασικό παράγοντα το Regression Analysis όμοιων πλοίων. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται ο προϋπολογισμός των ομάδων βαρών του πλοίου και γίνεται ανάλυση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου στις συνιστώσες του. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Rhinoceros 3D, αναπτύσσεται το σχέδιο της γάστρας του πλοίου. Έπειτα, υπολογίζονται τα υδροστατικά μεγέθη. Αφού εκτιμηθεί το βάρος του άφορτου αλλά πλήρως εξοπλισμένου πλοίου, γίνεται ο έλεγχος της άθικτης ευστάθειας σε 4 διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης με βάση τα κριτήρια του κανονισμού A749(18) του IMO. Σε επόμενο βήμα, υπολογίζεται η συνολική αντίσταση του πλοίου με τη μέθοδο Holtrop & Mennen, έτσι ώστε να γίνει η επιλογή των μέσων πρόωσης, συγκεκριμένα, της έλικας, της κύριας μηχανής καθώς και του πηδαλίου. Τέλος εκτιμάται το κόστος κτήσεως και λειτουργίας του πλοίου, αλλά και ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος.

ABSTRACT

In the following diploma thesis, a part of the overall process of the preliminary design of a container ship is carried out. Initially, a brief reference is made to the theory of study, as well as to the basic categories of this type of ship. Once the requirements for the ship under study are finalized, its basic dimensions, form coefficients and propulsion power are calculated using the Regression Analysis of similar ships as a key factor. The ship's weight groups are then budgeted and the ship's carrying capacity is analyzed in its components. Using the Rhinoceros 3D program, the design of the ship's hull is developed. The hydrostatic quantities are then calculated. After assessing the weight of the unladen but fully equipped ship, intact stability is checked in 4 different loading situations based on the criteria of IMO Regulation A749(18). In the next step, the total resistance of the ship is calculated using the Holtrop & Mennen method, in order to select the means of propulsion, namely, the propeller, the main engine as well as the rudder. Finally, the cost of acquiring and operating the ship is estimated, as well as the minimum required fare.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	19
1.1.	Γενικά Περί Προμελέτης	19
1.2.	Απαιτήσεις Πλοιοκτίτη	21
2.	Container Ships	22
2.1.	Ιστορική Αναδρομή	23
2.2.	Κατηγορίες Πλοίων Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων	24
3.	Στοιχεία Βάσης Δεδομένων	26
3.1.	Στοιχεία Όμοιων Πλοίων	26
3.2.	Πατρικό Πλοίο	27
4.	Εκλογή Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής	28
4.1.	Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ.....	28
4.1.1.	Χρήση Διαγραμμάτων Παλινδρομικής Ανάλυσης DWT Συναρτήσεως του TEU	28
4.1.2.	Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ με Βάση τον Πίνακα Κύριων Τύπων Εμπορικών Πλοίων.	29
4.1.3.	Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ με Βάση το Διάγραμμα κατά Schünemann.	31
4.1.4.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Δ Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	32
4.1.5.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Δ/DWT Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	33
4.1.6.	Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ από Βάση Δεδομένων.....	34
4.1.7.	Συνολική Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ.....	34
4.2.	Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP}	35
4.2.1.	Εκτίμηση Μήκους Ελάχιστου Κόστους Ναυπήγησης Κατά Schneekluth.....	36
4.2.2.	Εκτίμηση Μήκους Κατά Ayre	36
4.2.3.	Εκτίμηση Μήκους Κατά Völker	37
4.2.4.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L_{BP} Συναρτήσεως του TEU Για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 1.....	38
4.2.5.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L_{BP} Συναρτήσεως του DWT Για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	39
4.2.6.	Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP} από Βάση Δεδομένων.....	39
4.2.7.	Συνολική Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP}	40
4.2.8.	Εκτίμηση Αριθμού Froude.....	41

4.3.	Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B	42
4.3.1.	Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B με Χρήση Προσεγγιστικών Τύπων.....	42
4.3.2.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης C_B Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	43
4.3.3.	Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας από Βάση Δεδομένων	44
4.3.4.	Συνολική Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B	44
4.4.	Εκτίμηση Συντελεστή Μέσης Τομής C_M	45
4.4.1.	Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά Van Lammeren	45
4.4.2.	Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά Kerlen (1979).....	45
4.4.3.	Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά το Εργαστήριο HSVΑ (Αμβούργο)	45
4.4.4.	Συνολική Εκτίμηση Συντελεστή Μορφής C_M	46
4.5.	Εκτίμηση Πρισματικού Συντελεστή C_P	46
4.6.	Εκτίμηση Συντελεστή Ισάλου Επιφάνειας C_{WP}	46
4.7.	Εκτίμηση Πλάτους B	47
4.7.1.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L/B Συναρτήσεως TEU για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 1.....	47
4.7.2.	Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Για Containerships με $100 \leq L_{BP} \leq 200$	48
4.7.3.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Πλάτους B Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	48
4.7.4.	Εκτίμηση Πλάτους B από Βάση Δεδομένων	49
4.7.5.	Συνολική Εκτίμηση Πλάτους B	50
4.7.6.	Διόρθωση Πλάτους B	50
4.8.	Εκτίμηση Κοίλου D	51
4.8.1.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Κοίλου D Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	52
4.8.2.	Εκτίμηση Κοίλου D από Βάση Δεδομένων	52
4.8.3.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Σχέσης ($L \cdot B \cdot D$) Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	54
4.8.4.	Συνολική Εκτίμηση Κοίλου D	54
4.9.	Εκτίμηση Βυθίσματος T	56
4.9.1.	Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης T συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.....	56
4.9.2.	Χρήση Τύπου Συντελεστή Γάστρας C_B	56

4.9.3.	Εκτίμηση Βυθίσματος T από Βάση Δεδομένων	57
4.9.4.	Συνολική Εκτίμηση Βυθίσματος T	57
4.10.	Διόρθωση του Γεωμετρικού Εκτοπίσματος Δ	58
4.11.	Σύνοψη Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής	58
5.	Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης	60
5.1.	Χρήση Τύπου Αγγλικού Ναυαρχείου	60
5.2.	Παραλλαγή Τύπου Ναυαρχείου Κατά Völker	60
5.3.	Χρήση Διαγράμματος της MAN B&W Diesel A/S (2005)	61
5.4.	Συνολική Εκτίμηση της Ισχύος Πρόωσης	61
5.5.	Εκτίμηση Ισχύος Γεννητριών	62
5.6.	Επιλογή Κύριας Μηχανής Πρόωσης & Γεννήτριας	62
6.	Προϋπολογισμός Ομάδων Βαρών	64
6.1.	Ορισμοί & Ανάλυση Βαρών	64
6.1.1.	Ανάλυση Βάρους Κενού Σκάφους L_s	64
6.1.2.	Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους DWT	65
6.2.	Διαδικασία Προϋπολογισμού Βάρους Άφορτου Σκάφους	66
6.3.	Προϋπολογισμός Βάρους L_s Πατρικού Πλοίου	66
6.3.1.	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST} Πατρικού Πλοίου	66
6.3.1.1.	Μέθοδος Watson	66
6.3.1.2.	Μέθοδος Schneekluth και Muller-Coster	68
6.3.1.3.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	74
6.3.2.	Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT} Πατρικού Πλοίου	75
6.3.2.1.	Προσεγγιστικοί Τύποι για Φορτηγά Πλοία	75
6.3.2.2.	Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} Από Διάγραμμα Κατά Watson	76
6.3.2.3.	Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Κατά Strohbusch	76
6.3.2.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	78
6.3.3.	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M Πατρικού Πλοίου	78
6.3.3.1.	Προσεγγιστικός Τύπος Watson-Gilfillan	79
6.3.3.2.	Προσέγγιση Συναρτήσεως Βάρους της Κύριας Μηχανής	79
6.3.3.3.	Εκτίμηση Κατά Strohbusch	80
6.3.3.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	81
6.3.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους L_s Πατρικού Πλοίου	82

6.3.5.	Υπολογισμός Διορθωτικού Συντελεστή λ_{Ls}	82
6.4.	Προϋπολογισμός Βάρους L_S υπό Μελέτη Πλοίου	82
6.4.1.	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST} υπό Μελέτη Πλοίου.....	83
6.4.1.1.	Μέθοδος Watson.....	83
6.4.1.2.	Μέθοδος Schneekluth και Muller-Coster.....	84
6.4.1.3.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	90
6.4.2.	Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT} υπό Μελέτη Πλοίου	90
6.4.2.1.	Προσεγγιστικοί Τύποι για Φορτηγά Πλοία.....	90
6.4.2.2.	Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} Από Διάγραμμα Κατά Watson.....	91
6.4.2.3.	Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Κατά Strohbusch	91
6.4.2.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	92
6.4.3.	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M υπό Μελέτη Πλοίου.....	92
6.4.3.1.	Προσεγγιστικός Τύπος Watson-Gilfillan.....	92
6.4.3.2.	Προσέγγιση Συναρτήσεως Βάρους της Κύριας Μηχανής	93
6.4.3.3.	Εκτίμηση Κατά Strohbusch	93
6.4.3.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	94
6.4.4.	Συνολική Εκτίμηση Βάρους L_S υπό Μελέτη Πλοίου	95
6.5.	Έλεγχος Εκτοπίσματος	96
6.6.	Ανάλυση Μεταφορικής Ικανότητας (DWT) υπό Μελέτη Πλοίου	96
6.6.1.	Βάρος Καύσιμων και Λιπαντικών W_F	96
6.6.2.	Βάρος Εφοδίων και Νερού W_{PR}	98
6.6.3.	Βάρος Πληρώματος και Αποσκευών W_{CR}	99
6.6.4.	Βάρος μη Μόνιμου Έρματος B	99
6.6.5.	Βάρος Ωφέλιμου Φορτίου W_{LO}	99
7.	Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών	100
8.	Έλεγχος Γραμμής Φόρτωσης.....	106
9.	Καταμέτρηση Εμπορευματοκιβωτίων υπό Μελέτη Πλοίου	111
10.	Μελέτη Εγκάρσιας Ευστάθειας Άθικτου Πλοίου	113
10.1.	Ανάλυση Κριτηρίων Ασφαλείας IMO Resolution A.749(18)	113
10.2.	Υπολογισμός Κέντρου Βάρους L_S (Lightship)	116
10.3.	Υδροστατικό Διάγραμμα υπό Μελέτη Πλοίου	116
10.4.	Υπολογισμός Καμπυλών Ευστάθειας.....	117

10.4.1.	Ευστάθεια στην Κατάσταση Full Load Departure.....	118
10.4.2.	Ευστάθεια στην Κατάσταση Full Load Arrival.....	121
10.4.3.	Ευστάθεια στην Κατάσταση Ballast Departure	124
10.4.4.	Ευστάθεια στην Κατάσταση Ballast Arrival.....	127
11.	Αντίσταση και Πρόωση	131
11.1.	Υπολογισμός Αντίστασης με τη Μέθοδο Holtrop & Mennen	131
11.2.	Επιλογή Έλικας.....	136
11.3.	Επιλογή Κύριας Μηχανής.....	142
11.4.	Διαστάσεις Πηδαλίου.....	143
12.	Προϋπολογισμός Κόστους Κατασκευής.....	145
12.1.	Κόστος Κτήσεως Πλοίου	145
12.1.1.	Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής.....	145
12.1.2.	Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού.....	146
12.1.3.	Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης.....	147
12.2.	Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου	149
12.2.1.	Κόστος Αναλώσιμων	150
12.2.2.	Λοιπά Κόστη.....	151
12.3.	Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος (RFR)	153
	Συμπεράσματα	155
	Βιβλιογραφία	156
	Έντυπη	156
	Διαδικτυακή.....	156
	Προγράμματα.....	157
	Παράρτημα	158
	Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε	159

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ελικοειδής Καμπύλη Μελέτης (Design Spiral).....	20
Εικόνα 2. Μέση Τομή ενός Container Ship.....	22
Εικόνα 3. Κατηγορίες Container Ships	25
Εικόνα 4 Τυπικά Μεγέθη και Ποσοστά Ομάδων Βαρών για Κύριους Τύπους Εμπορικών Πλοίων [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	30
Εικόνα 5 Μήκος Μεταξύ Καθέτων & Μήκος Ίσαλου Γραμμής.	36
Εικόνα 6 Σκαρίφημα Μέσης Τομής για την Διόρθωση του Πλάτους Β.....	51
Εικόνα 7 Ορισμός Θέσεων Στεγασμάτων Καταστρώματος Κατά Muller-Coster [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	72
Εικόνα 8 Σημεία νομέων Πατρικού Σκάφους	100
Εικόνα 9 Νομείς Πατρικού Σκάφους	101
Εικόνα 10 Επιφάνειες & Διαστάσεις Πατρικού Σκάφους.	101
Εικόνα 11 Υδροστατικά Μεγέθη Πατρικού Σκάφους.	102
Εικόνα 12 Πραγματικά Freeboard Particulars Πατρικού Σκάφους.	102
Εικόνα 13 Σχέδιο Υπό Μελέτη Πλοίου.	103
Εικόνα 14 Υδροστατικά Μεγέθη υπό Μελέτη Σκάφους.	104
Εικόνα 15 Σχέδιο Πλήρως Φορτωμένου Πλοίου.....	112
Εικόνα 16 Καμπύλη GZ-φ για τα Κριτήρια Καιρού. [πηγή: IMO Instruments, 1993].	114
Εικόνα 17 Ανοχές Μεταξύ Έλικας και Κλωβού (ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2).....	137

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Απαιτήσεις υπό Μελέτη Πλοίου.	21
Πίνακας 2 Στοιχεία Πατρικού Πλοίου.	27
Πίνακας 3 Εκτίμηση Εκτοπίσματος για τις Πέντε Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	35
Πίνακας 4 Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων για τις Έξι Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	41
Πίνακας 5 Συντελεστές Εμπειρικών Τύπων για τον Υπολογισμό του C_B	42
Πίνακας 6 Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας για τις Έξι Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	44
Πίνακας 7 Εκτίμηση Συντελεστή Μορφής για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	46
Πίνακας 8 Εκτίμηση Πλάτους για τις Τέσσερις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	50
Πίνακας 9 Εκτίμηση Κοίλου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	55
Πίνακας 10 Εκτίμηση Βυθίσματος για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	58
Πίνακας 11 Συγκεντρωτικός Πίνακας Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής του Πλοίου.	59
Πίνακας 12 Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	61
Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής.	62
Πίνακας 14 Χαρακτηριστικά Ηλεκτροκινητήρα.	63
Πίνακας 15 Διαστάσεις Υπερστεγασμάτων Πατρικού Πλοίου.	67
Πίνακας 16 Διαστάσεις Υπερκατασκευών Πατρικού Πλοίου.	67
Πίνακας 17 Μέθοδος Simpson για Πρόστεγο Πατρικού Πλοίου.	72
Πίνακας 18 Τιμές Συντελεστή C_{DH} Πατρικού Πλοίου.	73
Πίνακας 19 Βάρος Υπερστεγασμάτων Πατρικού Πλοίου Κατά Muller-Coster.	74
Πίνακας 20 Υπολογισμός Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής Πατρικού Πλοίου για τις Δύο Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	74
Πίνακας 21 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Φορτηγών Πλοίων Κατά Strohbusch για Πατρικό Πλοίο.	77
Πίνακας 22 Υπολογισμός Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Πατρικού Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	78
Πίνακας 23 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Μηχανολογικής Εγκατάστασης Φορτηγών Πλοίων κατά Strohbusch.	80
Πίνακας 24 Υπολογισμός Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης Πατρικού Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	81
Πίνακας 25 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ομάδων Βαρών Άφορτου Σκάφους L_s Πατρικού Πλοίου.	82
Πίνακας 26 Διαστάσεις Υπερστεγασμάτων υπό Μελέτη Πλοίου.	83
Πίνακας 27 Διαστάσεις Υπερκατασκευών υπό Μελέτη Πλοίου.	83
Πίνακας 28 Μέθοδος Simpson για Πρόστεγο Υπό Μελέτη Πλοίο.	88
Πίνακας 29 Βάρος Υπερστεγασμάτων υπό Μελέτη Πλοίου Κατά Muller-Coster.	89
Πίνακας 30 Υπολογισμός Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής υπό Μελέτη Πλοίου για τις Δύο Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	90
Πίνακας 31 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Φορτηγών Πλοίων Κατά Strohbusch για υπό Μελέτη Πλοίο.	91
Πίνακας 32 Υπολογισμός Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού υπό Μελέτη Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.	92

Πίνακας 33 Υπολογισμός Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης υπό Μελέτη Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.....	95
Πίνακας 34 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ομάδων Βαρών Άφορτου Σκάφους Ls υπό Μελέτη Πλοίου.....	95
Πίνακας 35 Δεξαμενές υπό Μελέτη πλοίου.....	105
Πίνακας 36 Βασικό Ύψος Εξάλων με Βάση το Μήκος.	106
Πίνακας 37 Δρών Μήκος Υπερκατασκευών.	108
Πίνακας 38 Ποσοστά Εκπτώσεων Μείωσης Δρώντος Μήκους για Πλοία Τύπου Β.	108
Πίνακας 39 Χωρητικότητα των Holds σε TEU υπό Μελέτη Πλοίου.....	111
Πίνακας 40 Συντελεστές X_1 και X_2	115
Πίνακας 41 Συντελεστές k και s.	115
Πίνακας 42 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Full Load Departure.3	118
Πίνακας 43 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Full Load Departure.....	118
Πίνακας 44 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.	119
Πίνακας 45 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.....	120
Πίνακας 46 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.....	120
Πίνακας 47 Έλεγχος Κριτηρίου Καιρού στην Κατάσταση Full Load Departure.....	120
Πίνακας 48 Πλήρωση Δεξαμενών για Διόρθωση Trim στην Κατάσταση Full Load Departure.....	121
Πίνακας 49 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό μελέτη Πλοίου για Διόρθωση Trim στην Κατάσταση Full Load Departure.	121
Πίνακας 50 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Full Load Arrival.....	122
Πίνακας 51 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Full Load Arrival.....	122
Πίνακας 52 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.....	123
Πίνακας 53 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.	123
Πίνακας 54 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.	124
Πίνακας 55 Έλεγχος Κριτηρίου Καιρού στην Κατάσταση Full Load Arrival.	124
Πίνακας 56 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Ballast Departure.....	124
Πίνακας 57 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Ballast Departure.	125
Πίνακας 58 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.	126
Πίνακας 59 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.	126
Πίνακας 60 Έλεγχος Ευστάθειας Καιρού στην Κατάσταση Ballast Departure.....	127
Πίνακας 61 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Ballast Arrival.	127
Πίνακας 62 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Ballast Arrival.....	128
Πίνακας 63 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.....	129
Πίνακας 64 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.....	129
Πίνακας 65 Έλεγχος Ευστάθειας Καιρού στην Κατάσταση Ballast Arrival.....	130
Πίνακας 66 Λοιπά Χαρακτηριστικά Έλικας.....	140
Πίνακας 67 Στοιχεία Κύριας Μηχανής.....	142
Πίνακας 68 Κατανάλωση Ομάδων Αναλώσιμων.	150

Πίνακας 69 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Αναλώσιμων.....	151
Πίνακας 70 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Λειτουργίας.....	153

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Παλινδρομική Ανάλυση DWT Συναρτήσεως του TEU.....	29
Διάγραμμα 2 Λόγοι (DWT/Δ) Συναρτήσεως DWT και V για Δηζελοκίνητα Πλοία Κατά Schönemann [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	31
Διάγραμμα 3 Παλινδρομική Ανάλυση Εκτοπίσματος Δ Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	32
Διάγραμμα 4 Παλινδρομική Ανάλυση Σχέσης (DWT/Δ) Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	33
Διάγραμμα 5 Παλινδρομική Ανάλυση Εκτοπίσματος Δ Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.	34
Διάγραμμα 6 Εξισώσεις από τον Τύπο του Ayre.....	37
Διάγραμμα 7 Σχέση Μήκους Μεταξύ Καθέτων με τον Αριθμό Μεταφερόμενων Εμπορευματοκιβωτίων TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1]......	38
Διάγραμμα 8 Παλινδρομική Ανάλυση Μήκους Μεταξύ Καθέτων Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]......	39
Διάγραμμα 9 Παλινδρομική Ανάλυση Μήκους Μεταξύ Καθέτων Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.	40
Διάγραμμα 10 Παλινδρομική Ανάλυση Συντελεστή Γάστρας Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	43
Διάγραμμα 11 Παλινδρομική Ανάλυση Συντελεστή Γάστρας Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από τη Βάση Δεδομένων.	44
Διάγραμμα 12 Σχέση Πλάτους B με τον Αριθμό Μεταφερόμενων Εμπορευματοκιβωτίων TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1]......	47
Διάγραμμα 13 Παλινδρομική Ανάλυση Πλάτους B Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	48
Διάγραμμα 14 Παλινδρομική Ανάλυση Πλάτους B Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.	49
Διάγραμμα 15 Παλινδρομική Ανάλυση Κοίλου D Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	52
Διάγραμμα 16 Παλινδρομική Ανάλυση Κοίλου D Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από τη Βάση Δεδομένων.	53
Διάγραμμα 17 Παλινδρομική Ανάλυση Σχέσης (L*B*D) Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	54
Διάγραμμα 18 Παλινδρομική Ανάλυση Βυθίσματος T Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	56
Διάγραμμα 19 Παλινδρομική Ανάλυση Βυθίσματος T Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.	57
Διάγραμμα 20 Προσέγγιση Εγκατεστημένης Ισχύος Πρόωσης Σύγχρονων Πλοίων Κατά MAN B&W Diesel A/S (2005).	61
Διάγραμμα 21 Λόγος Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Προς L*B Συναρτήσεως του Μήκους L Κατά Watson (1998).	76
Διάγραμμα 22 Υδροστατικό Διάγραμμα υπό Μελέτη πλοίου.	117

Διάγραμμα 23 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.	125
Διάγραμμα 24 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.	128
Διάγραμμα 25 Διάγραμμα Burril.	142
Διάγραμμα 26 Ανάλυση Κόστους Μεταλλικής Κατασκευής.	146
Διάγραμμα 27 Ανάλυση Κόστους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού.	147
Διάγραμμα 28 Ανάλυση Κόστους Μηχανολογικής Εγκατάστασης.	148
Διάγραμμα 29 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Κτήσεως.	148

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά Περί Προμελέτης

Η προμελέτη πλοίου είναι το στάδιο κατά το οποίο, διερευνώνται και καθορίζονται κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο τα κύρια τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του πλοίου με βάση τις απαιτήσεις του ενδιαφερομένου πλοιοκτήτη ή τις προδιαγραφές αποστολής του πλοίου (owner's or mission requirements). Ιδιαίτερη προσοχή δίνουμε στα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν αποφασιστικά το κόστος ναυπήγησης (και άμεσα το κόστος απόκτησης), καθώς και την οικονομική εκμετάλλευση (λειτουργία) του υπό μελέτη πλοίου.

Κατά την διάρκεια της προμελέτης εκπονούνται τα παρακάτω βήματα:

- Εκτίμηση κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής.
- Εκτίμηση ισχύος πρόωσης και επιλογής προωστήριου εγκατάστασης.
- Εκτίμηση του βάρους άφορτου σκάφους αλλά πλήρως εξοπλισμένου (lightship).
- Ανάλυση τους βάρους νεκρού σκάφους (DWT).
- Ανάπτυξη σχεδίου ναυπηγικών γραμμών.
- Έλεγχος συνολικού Βάρους.
- Προσέγγιση χωρητικότητας εμπορευματοκιβωτίων.
- Προϋπολογισμός ύψους εξάλων με βάση την διεθνή σύμβαση της Γραμμής Φόρτισης.
- Υπολογισμός υδροστατικών μεγεθών και κατασκευή υδροστατικού διαγράμματος.
- Έλεγχος ευστάθειας και διαγωγής.
- Εκτίμηση συνολικής αντίστασης και επιλογή έλικας, κύριας μηχανής και πηδαλίου.
- Προϋπολογισμός κόστους.

Η διαδικασία της προμελέτης Πλοίου μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις βασικές φάσεις:

- i. Μελέτη Εφικτότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού (Concept Design – Feasibility Design)-1^η σπείρα

Μεταφράζει σε πρώτη προσέγγιση τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη σε τεχνικά χαρακτηριστικά. Αντιστοιχεί κατά μέρος σε μια μελέτη ή σκοπιμότητας. Προϋπολογίζει τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου δηλαδή Μήκος L, Πλάτος B, Κοίλο D, Βύθισμα T, Συντελεστή γάστρας C_B, Ισχύ πρόωσης P_B και εξετάζει εναλλακτικές λύσεις για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του πλοιοκτήτη με γνώμονα την οικονομικότερη λύση χωρίς όμως κατ' ανάγκη να την επιτυγχάνει.

- ii. Προμελέτη (Preliminary Design)- 2^η έως 4^η σπείρα

Αποτελεί την περαιτέρω λεπτομερέστερη επεξεργασία των επιμέρους βημάτων της μελέτης του πλοίου: Επακριβής καθορισμός των βασικών χαρακτηριστικών του σκάφους που

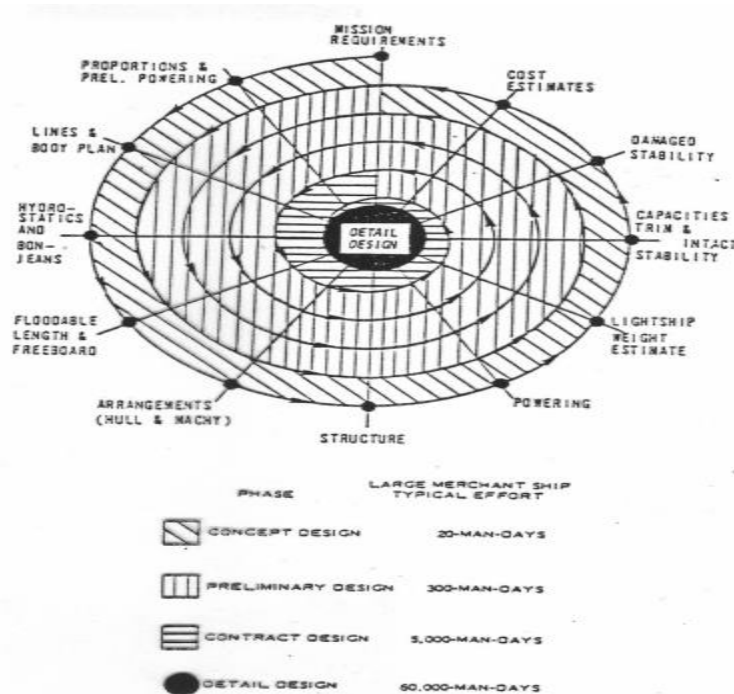
προαναφέρθηκαν, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και να ανταποκρίνονται σε μια οικονομικά βέλτιστη λύση. Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος χρησιμεύει ως βάση για την σύνταξη των όρων του συμβολαίου μεταξύ πλοιοκτήτη και Ναυπηγείου.

iii. Συμβατική Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design)-5^η σπείρα

Στόχος της φάσης αυτής είναι η εκπόνηση των απαραίτητων υπολογισμών και σχεδίων, καθώς και η επακριβής σύνταξη των τεχνικών προδιαγραφών που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του επίσημου συμβολαίου μεταξύ του πλοιοκτήτη και Ναυπηγείου. Η φάση αυτή εμπεριέχει τον επακριβή σχεδιασμό των εξομαλυμένων ναυπηγικών γραμμών, τον επακριβή υπολογισμό της ισχύος πρόωσης, εναλλακτικές λύσεις της προωστηρίου εγκατάστασής (έλικα- μηχανή), κατασκευαστικές λεπτομέρειες της μεταλλικής κατασκευής, το σχεδιασμό των βοηθητικών δικτύων και τέλος, τον ακριβέστερο υπολογισμό των επιμέρους βαρών, του ολικού βάρους και των αντίστοιχων κέντρων βαρών.

iv. Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detailed Design)

Στην τελευταία φάση της μελέτης γίνεται η λεπτομερής σχεδίαση των κατασκευαστικών στοιχείων, καθώς και η σύνταξη προδιαγραφών κατασκευής και εφαρμογής-εγκατάστασης για τους τεχνίτες του ναυπηγείου, αλλά και τους προμηθευτές του μηχανολογικού υλικού και εξοπλισμού. Χαρακτηριστικό της φάσης αυτής είναι ότι, ενώ τα εκπονηθέντα σχέδια και οι προδιαγραφές είναι αποτέλεσμα μελέτης εξειδικευμένων μηχανικών, η περαιτέρω διαδικασία της εφαρμογής της σχεδίασης του πλοίου στην πράξη εναπόκειται στις ικανότητες του τμήματος παραγωγής του ναυπηγείου, των εργοδηγών και του τεχνικού προσωπικού του ναυπηγείου.



Εικόνα 1. Ελικοειδής Καμπύλη Μελέτης (Design Spiral).

Οι φάσεις της μελέτης που αναφέρθηκαν παραπάνω περιγράφονται παραστατικά διαμέσου της Ελικοειδούς Καμπύλης Μελέτης (Σχήμα 1.). Η καμπύλη αυτή δείχνει αφενός τη διαδοχική διέλευση από τα διάφορα στάδια της μελέτης, την επαναληπτική διαδικασία προσδιορισμού των διαφόρων στοιχείων μελέτης του πλοίου και αφετέρου τη βαθμιαία προσέγγιση της τελικής φάσης της μελέτης του πλοίου. Επιπρόσθετα, το σχήμα δείχνει την ενδεικτική προσπάθεια σε ανθρωποημέρες για την ολοκλήρωση της εκάστοτε διαδικασίας της μελέτης, πράγμα το οποίο δεν υφίσταται στις μέρες μας, εξαιτίας της ανάπτυξης καινοτόμων μηχανημάτων.

Οι δυο πρώτες φάσεις της μελέτης ενός πλοίου (i & ii), είναι γνωστές και σαν Βασική Μελέτη (Basic Design), ωστόσο συχνά συγχωνεύονται στο γενικότερο ορισμό της Προμελέτης Πλοίου.

1.2. Απαιτήσεις Πλοιοκτήτη

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη και η σχεδίαση, ενός Container Ship. Το υπό μελέτη πλοίο θα διαθέτει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τα οποία αναγράφονται παρακάτω, ενώ ταυτόχρονα θα ανταποκρίνεται στους κανόνες και περιορισμούς που θέτει ο IMO (international Marine Organization).

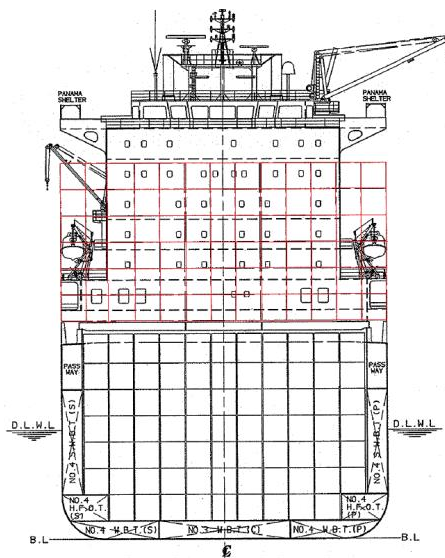
Μεταφορική Ικανότητα (TEU)	1,900	Per Container
Υπηρεσιακή Ταχύτητα (V_S)	19	Κόμβοι
Αυτονομία (R)	8,000	Ναυτικά Μίλια
Ικανοποίηση Προδιαγραφών Ευστάθειας	IMO	Resolution A.749(18) (no passengers)

Πίνακας 1 Απαιτήσεις υπό Μελέτη Πλοίου.

Επιπροσθέτως, θεωρείται πως το υπό μελέτη πλοίο δεν υπόκειται σε περιορισμούς διαστάσεων (π.χ. μέγιστο πλάτος, βύθισμα κλπ.). Επίσης η υπηρεσιακή ταχύτητα που επιλέχθηκε, είναι ένας μέσος όρος των ταχυτήτων παρόμοιων πλοίων από τη βάση δεδομένων. Εκτιμάται ότι η ταχύτητα αυτή μπορεί να καλύψει τις επιχειρησιακές ανάγκες ενός Container Ship με την δεδομένη μεταφορική ικανότητα. Εξίσου σημαντικό είναι το πλοίο να ικανοποιεί τα κριτήρια του κανονισμού IMO resolution A.749(18) που αφορούν την άθικτη ευστάθεια του (Intact Stability Criteria).

2. Container Ships

Ένας από τους πλέον μοντέρνους τύπους φορητών πλοίων είναι το λεγόμενο container ship ή αλλιώς στη ναυτική γλώσσα κοντέινεράδικο. Αυτού του τύπου πλοία έχουν ναυπηγηθεί έτσι ώστε τόσο τα κύπη τους όσο και το κύριο κατάστρωμα να δέχονται ένα μεγάλο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων με ανάλογες διαρρυθμίσεις αλλά και ενισχύσεις. Φέρουν δε ειδικές υποδοχές σύμφωνα με διεθνή πρότυπα διαστάσεων, στις οποίες και στερεώνονται με ασφάλεια. Τα πλοία αυτά, με αυτόν τον τρόπο μεταφοράς των φορτίων περιορίζουν χρονικά στο ελάχιστο τη παραμονή τους στους λιμένες λόγω φορτοεκφόρτωσης. Στην ναυτιλιακή οικονομία πράγματι ο συγκεκριμένος τρόπος διακίνησης επέφερε επανάσταση. Συνέπεια αυτών υπήρξε η νέα πολιτική οικονομικής εκμετάλλευσης των λιμένων με τη δημιουργία ειδικών σημείων φορτοεκφόρτωσης (terminals) και η ενίσχυση τους με ειδικούς γερανούς και μοντέρνες τεχνικές υποδομές. Βέβαια πολλά Container ships διαθέτουν δικά τους μέσα φορτοεκφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων έτσι ώστε η είσοδος τους σε λιμένες με ελλιπή μέσα να είναι ακόμα εφικτή.¹



Εικόνα 2. Μέση Τομή ενός Container Ship².

1

<https://maredu.hcg.gr/modules/document/file.php/MAK264/%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CE%95%CE%BE%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BE%CE%B7%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%BC%CE%AD%CF%83%CF%89%CE%BD%20%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%BF%CE%B5%CE%BA%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CF%89%CE%BD.pdf>, Εξέλιξη των μέσων φορτοεκφόρτωσης των πλοίων.

2

http://mycourses.ntua.gr/courses/NAVAL1063/document/05_%D6%EF%F1%F4%E7%E3%DC_%D0%EB%EF%DF%E1.pdf, Σύγχρονοι Τύποι Πλοίων, MyCourses, NTUA.

2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων μέσω θαλάσσης είναι η καλύτερη μέθοδος μεταφοράς φορτίων στον κόσμο. Η έλευση των πλοίων κοντέινερ έφεραν επανάσταση στον θαλάσσιο τομέα. Ήταν τόσο μεγάλη που τέτοια δεν είχε γνωρίσει ποτέ στο παρελθόν. Ωστόσο η μέθοδος αποστολής φορτίων μέσω των πλοίων κοντέινερ δεν είναι πολύ παλιά μέθοδος.

Ο Malcolm Purcell McLean, «Πατέρας των Εμπορευματοκιβωτίων», γεννήθηκε στις 14 Νοεμβρίου του 1913 στο Maxton, της North Carolina και πέθανε τον Μάιο του 2001 σε ηλικία ογδόντα επτά ετών. Συνήθιζε να λέει ότι έχει την ιδέα για την απλοποίηση της μεταφοράς εμπορευμάτων, αποφεύγοντας τη συνεχή φόρτωση και εκφόρτωση από το ένα μέσο μεταφοράς στο άλλο, αλλά και να μειώσει τον χρόνο που χρειάζεται για την μεταφορά. Κατά την διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου σκέφτηκε να φορτώνει στα πλοία τα φορτηγά, αλλά χωρίς το σασί, δηλαδή μόνο τα ρυμουλκούμενα με τα κουτιά και αργότερα μόνο τα κουτιά. Εξου και η ονομασία εμπορευματοκιβώτια ή «κουτιά» των πλοίων.

Οι εφοπλιστές της εποχής ήταν πολύ επιφυλακτικοί με την ιδέα του McLean. Το γεγονός αυτό τον ώθησε να γίνει ο ίδιος εφοπλιστής και η εταιρία του ονομάστηκε Sea-Land A.E. Στα τέλη της δεκαετίας του 90', ο McLean πούλησε την εταιρία του στην ναυτιλιακή εταιρία Maersk, αλλά το όνομα της εταιρίας, ζει στο όνομα Maersk Sealand.

Στην βιβλιογραφία το “Ideal X” αναφέρεται ως το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Αυτό το πλοίο έφυγε στις 26 Απρίλη του 1956 από το Newark με προορισμό το Houston, μεταφέροντας πενήντα οκτώ containers. Το πλοίο αυτό επρόκειτο για ένα μετασκευασμένο τάνκερ, του οποίου την ιδέα είχε συλλάβει ο τότε μεγαλοπαράγοντας χερσαίων μεταφορών στις Η.Π.Α. και αργότερα ιδρυτής της SeaLand.

Μία δεκαετία μετά, το πρώτο κουτί έφτασε σε Γερμανικό έδαφος στο Bremer. Οι εφοπλιστές στην Ευρώπη και Ιαπωνία αναγνώρισαν γρήγορα τα πλεονεκτήματα του εμπορευματοκιβωτίου και επίσης άρχισαν να επενδύουν στη νέα τεχνολογία μεταφοράς.

Τα Αμερικάνικα πρότυπα των κουτιών δύσκολα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στην Ευρώπη και σε άλλες χώρες, μια συμφωνία που τελικά επετεύχθη με τους Αμερικάνους μετά από επίπονες διαπραγματεύσεις. Στα πρότυπα του ISO προβλέπονται τα μήκη των 10', 20', 30' και 40'. Το πλάτος ορίστηκε στο 8' και το ύψος στο 8' και 8'6". Για τις χερσαίες μεταφορές στο εσωτερικό της Ευρώπης, επετεύχθη συμφωνία για πλάτος κουτιού τα 2.50 μέτρα. Η πλειονότητα των εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο σήμερα, σύμφωνα με το πρότυπο ISO, είναι κυρίως δύο :

- Δοχεία που μετρήθηκαν 20-πόδια μήκος. Τέτοια εμπορευματοκιβώτια εν συντομία αναφέρεται ως TEUs (είκοσι πόδια ισοδύναμες μονάδες)

- Δοχεία που μετρήθηκαν 40-πόδια μήκος. Τα δοχεία σύντομα άρχισε να αναφέρεται ως FEUs (Σαράντα-πόδια ισοδύναμες μονάδες) ή πιο συχνά, ως δύο TEUs.

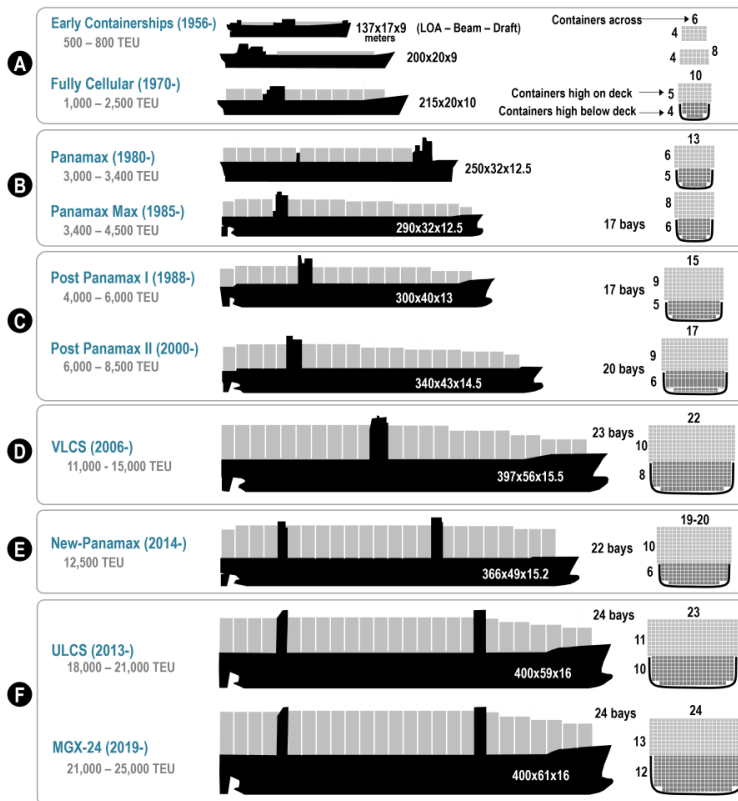
Εδώ και μερικά χρόνια, το πρότυπο ISO έχει έρθει επανειλημμένα υπό πίεση. Πολλοί πράκτορες θέλουν πλέον, ευρύτερη και υψηλότερα κουτιά. Ορισμένοι πλοιοκτήτες έχουν ενδώσει στην πίεση και χρησιμοποιούν κουτιά με διαστάσεις μεγαλύτερες από ό, τι προβλέπεται από το πρότυπο ISO. Τα κουτιά “Jumbo” με μήκος 45’ και 48’, πλάτος 8’6’’ (2,60 m) και ύψος 9’6’’ (2,90 m), υπάρχουν ήδη εδώ και μερικά χρόνια.

Τέλος στα πάνω από 50-χρόνια από την έναρξη της μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μέσο των θαλάσσιων μεταφορών, η πρόοδος και η συμβολή στην ναυτιλία και στο παγκόσμιο εμπόριο είναι τεράστια. Σήμερα, το παγκόσμιο φάσμα των θαλασσιών μεταφορών έχει διευρυνθεί σε πραγματικά τεράστιες διαστάσεις, ενώ βοηθά επίσης και νέες χώρες να εισέλθουν στο εμπόριο. Κανείς σήμερα δεν μπορεί να φανταστεί την παγκόσμια μεταφορά φορτίων χωρίς τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων.³

2.2. Κατηγορίες Πλοίων Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων

- **MGX-24:** εκτείνονται από 21,000-25,000 TEU έχουν μήκος γύρω στα 400 [m] και η είσοδος τους δεν είναι εφικτή σε πολλά κανάλια και διώρυγες.
- **Ultra Large Container Ship (ULCS):** έχουν χωρητικότητα από 18,000-21,000 TEU, το μήκος τους εκτείνεται στα 400 [m] όμως έχουν μικρότερο πλάτος από τα πρώτα. Λόγω του μεγέθους τους δεν μπορούν να περάσουν από αρκετά κανάλια.
- **New Panamax:** εκτείνονται στα 12,500 TEU έχουν μήκος πάνω από 300 [m] και μπορούν να περάσουν μόνο από την νέα επέκταση της διώρυγας του Παναμά (εξού και το όνομα της κατηγορίας).
- **Very Large Container Ship (VLCS):** έχουν χωρητικότητα από 11,000-15,000 TEU.
- **Post-Panamax:** με χωρητικότητα από 4,000-8,500 TEU αυτή η κατηγορία διέρχεται ξανά μόνο από την νέα επέκταση της διώρυγας του Παναμά.
- **Panamax:** από 3,000-4,500 TEU αυτά τα πλοία μπορούν να περάσουν το κανάλι του Παναμά.
- **Fully Cellular:** είναι μικρά πλοία από 1,000-2,500 TEU και εκτείνονται στα 215 [m].
- **Early Containerships:** Τα μικρότερα πλοία, δεν φτιάχνονται πλέον τέτοια έχουν χωρητικότητα 500-800 TEU και είναι για μικρά ταξίδια.

³ <https://e-nautilia.gr/i-istoria-ton-container-ships/>, Η ιστορία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships).



Εικόνα 3. Κατηγορίες Container Ships⁴.

⁴<https://transportgeography.org/generations-of-containerships-update/> , Generations of Containerships (update).

3. Στοιχεία Βάσης Δεδομένων

3.1. Στοιχεία Όμοιων Πλοίων

Το πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίζεται στην παλινδρομική ανάλυση (Regression analysis). Η παλινδρομική ανάλυση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική τεχνική μοντελοποίησης για την έρευνα της συσχέτισης μεταξύ μίας εξαρτώμενης μεταβλητής και μίας ανεξάρτητης. Έχει ως σκοπό την εκχώρηση δεδομένων σε μία πραγματική μεταβλητή πρόβλεψης. Η παλινδρόμηση προϋποθέτει ότι τα εισαγόμενα δεδομένα ταιριάζουν με γνωστά και υπαρκτά είδη συνάρτησης.

Το Container Ship στο οποίο θα γίνει προμελέτη θα έχει χωρητικότητα 1,900 TEU και υπηρεσιακή ταχύτητα 19 [kn].

Τα γνωστά είδη συνάρτησης για την συγκεκριμένη εργασία είναι υπαρκτά πλοία Containership με γνωστές μερικές κύριες διαστάσεις αλλά και την μεταφορική ικανότητα εμπορευματοκιβωτίων (TEU). Με την βοήθεια των: Lloyds Register, DNV GL, Korean Register, China Classification, American Bureau, NG (provisional), Class NK, Indian Register, Phoenix Register of shipping, καταφέραμε και συλλέξαμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- Name (Όνομα Πλοίου)
- TEU Capacity (Χωρητικότητα Εμπορευματοκιβωτίων)
- DWT (πρόσθετο Νεκρό Βάρος)
- Gross Tonnage (ολική Χωρητικότητα)
- Length Overall LOA (Ολικό Μήκος)
- LBP (Μήκος Μεταξύ Καθέτων)
- Breadth B (Πλάτος)
- Depth D (Κοίλο)
- Draught T (Βύθισμα)
- Lightship (Βάρος Άφορτου Σκάφους)
- Displacement (Εκτόπισμα)
- C_B (Συντελεστής Γάστρας)

Η “Lloyds List” μας επιτρέπει την χρήση των παραπάνω στοιχείων των 1,000 πλοίων για την συγκεκριμένη ακαδημαϊκή εργασία.

Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει 1,000 πλοία με εύρος μεταφορικής ικανότητας από 1,500-6,000 TEU. Με βάση τα πλοία αυτά, κατασκευάστηκαν διαγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την Regression Analysis που θα πραγματοποιηθεί παρακάτω. Στην βάση δεδομένων υπολογίστηκε επιπλέον ο λόγος L/B, ο αριθμός Froude (Fn), ο λόγος L/D, ο λόγος L/T. Η Βάσης δεδομένων φαίνεται στο παράρτημα.

3.2. Πατρικό Πλοίο

Το πατρικό πλοίο που θα εκμεταλλευτεί, είναι ένα Container Carrier με μεταφορική ικανότητα 1,700 TEU. Επιπλέον τα βασικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήκος Μεταξύ Καθέτων (L_{BP})	160 [m]
Πλάτος (B)	29.8 [m]
Βύθισμα Σχεδίασης (T_d)	8.5 [m]
Κοίλο (D)	14.5 [m]
Design Draft (Moulded)	9.5 [m]
Συντελεστής Γάστρας (C_B)	0.7015
Service speed at moulded draft x 90% MCR Power of main engine (V_s)	19.00 [knots]
Μέγιστη Ισχύς Πρόωσης (at MCR)	19,149.8 [hp]
Light Ship Weight (L_s)	8,400 t
Χωρητικότητα για Draft moulded (DWT)	24,265.9 [t]
Εκτόπισμα για Draft moulded (Δ)	32,665.9 [t]

Πίνακας 2 Στοιχεία Πατρικού Πλοίου.

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω σχέδια του πατρικού σκάφους:

- General Arrangement
- Damage Control Plan
- Damage Control Booklet
- Provisional Trim, Stability & Longi. Strength Calculation
- Midship Section
- Construction Profile & Deck Plans
- Fore Body Construction
- Aft Body Construction

4. Εκλογή Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής

Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίζονται οι κύριες διαστάσεις και οι συντελεστές μορφής, με παραπάνω από ένα τρόπο υπολογισμού για μεγαλύτερη ακρίβεια. Με σκοπό την εφαρμογή του τύπου του σταθμισμένου μέσου όρου με βάση την δυναμικότητα και ακρίβεια του κάθε τρόπου υπολογισμού. Οι τύποι και η μεθοδολογία έχει παρθεί από το Βιβλίο του Α.Δ.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ «Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Τεύχος 1 & 2.

Συγκεκριμένα τα στοιχεία που υπολογίζονται είναι:

- Γεωμετρικό Εκτόπισμα Δ
- Μήκος Μεταξύ Καθέτων L_{BP}
- Μέγιστο Πλάτος B
- Κοίλο D
- Βύθισμα Σχεδίασης T
- Συντελεστής Γάστρας C_B
- Συντελεστής Μέσης Τομής C_M
- Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας C_{WP}
- Πρισματικός Συντελεστής C_P
- Αριθμός Froude F_n

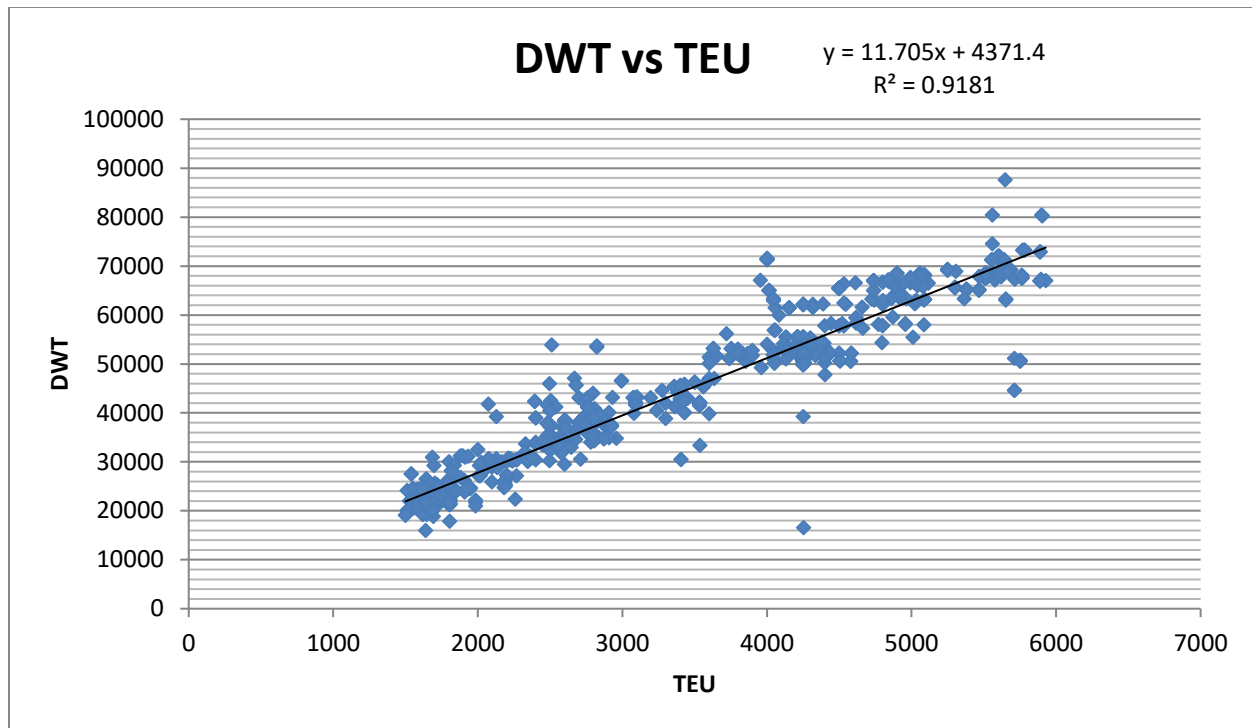
4.1. Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ

Αρχικά το εκτόπισμα είναι το βάρος του πλοίου στην εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης. Ο όρος προέρχεται από την αρχή του Αρχιμήδη, σύμφωνα με την οποία το βάρος των πλοίων στη θάλασσα ισούται με το βάρος του νερού που εκτοπίζουν, δηλαδή το βάρος νερού όγκου ίσου με τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου. Η παραπάνω πρόταση εκφράζεται μαθηματικά από την σχέση: $\Delta = \gamma_{sea} \cdot \nabla$ όπου:

- $\gamma_{sea} = 1.025 \left[\frac{tn}{m^3} \right]$ είναι το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού.
- ∇ είναι ο όγκος εκτοπίσματος .

4.1.1. Χρήση Διαγραμμάτων Παλινδρομικής Ανάλυσης DWT Συναρτήσεως του TEU

Αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε το DWT του πλοίου μας. Επειδή στην βιβλιογραφία δεν υπάρχουν διαγράμματα DWT συναρτήσεως του TEU χρησιμοποιούμε μόνο το διάγραμμα από τη βάση δεδομένων για τον υπολογισμό του DWT.



Διάγραμμα 1 Παλινδρομική Ανάλυση DWT Συναρτήσεως του TEU.

Από το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει η εξίσωση, μέσω της οποίας υπολογίζεται το DWT για το δεδομένο TEU=1,900 (units) του πλοίου.

$$DWT = 11.705 * TEU + 4.371.4 = 11.705 * 1,900[\text{units}] + 4,371.4 \Rightarrow$$

$$\mathbf{DWT = 26,610.9 [tn]}$$

4.1.2. Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ με Βάση τον Πίνακα Κύριων Τύπων Εμπορικών Πλοίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τυπικά μεγέθη και ποσοστά ομάδων βαρών ανάλογα με τον τύπο πλοίου:

Τύπος πλοίου	1	2	3	4	5	6
	Όρια		DWT/Δ	W _{στ} /W _L	W _{στ} /W _L	W _M /W _L
	κάτω	άνω	[%]	[%]	[%]	[%]
Γενικού φορτίου						
Κλειστή καταμέτρηση	5000 tdw	15000 tdw	65 – 80	55 – 64	19 – 33	11 – 22
Ανοικτή καταμέτρηση	5000 tdw	15000 tdw	60 – 70	55 – 63	19 – 33	11 – 22
Ακτοπλοϊκά, Φορηγά						
Κλειστή κατανομή	499 BRT	999BRT	70 – 75	57 – 62	30 – 33	9 – 12
Φ/Γ Χύδην ¹⁾						
(Bulk carriers)	20000 tdw	50000 tdw	74 – 80	68 – 79	10 – 17	12 – 16
	50000 tdw	150000 tdw	80 – 87	78 – 85	6 – 13	8 – 14
Δεξαμενόπλοια ²⁾						
(tankers)	25000 tdw	120000 tdw	68 – 83	73 – 83	5 – 12	11 – 16
	200000 tdw	max	83 – 88	75 – 88	9 – 13	9 – 16
Φ/Γ						
Εμπορ/κιβωτίων.	10000tdw	15000 tdw	60 – 76	58 – 71	15 – 20	9 – 22
(Containerships)	15000 tdw	50000 tdw	60 – 70	62 – 72	14 – 20	15 – 18
Ro-Ro	L ≅ 80 m	16000 tdw	50 – 60	68 – 78	12 – 19	10 – 20
Φ/Γ ψυγεία ³⁾	300000	500000	45 – 55	51 – 62	21 – 28	15 – 26
	Cu. Ft.	Cu. Ft.				
Πορθμεία	L ≅ 85 m	120 m	16 – 33	56 – 66	23 – 28	11 – 18
Μεγάλα επιβατηγά	L ≅ 200 m	max	23 – 34	52 – 56	30 – 34	15 – 20
Μικρά επιβατηγά	L ≅ 50 m	L ≅ 120 m	15 – 25	50 – 52	28 – 31	20 – 29
Αλιευτικά ⁴⁾						
(Stern Trawlers)	L ≈ 44 m	82 m	30 – 58	42 – 46	36 – 40	15 – 20
Ρυμουλκά	P _B ≅ 500 KW	3000 KW	20 – 40	42 – 56	17 – 21	38 – 43
Ποταμόπλοια						
(ωθούμενα)	L ≅ 32 m	L ≅ 35 m	22 – 27	58 – 63	19 – 23	16 – 21
Ποταμόπλοια						
(αυτοπροωθούμενα)	L ≅ 80 m	L ≅ 110 m	78 – 79	69 – 75	11 – 13	13 – 19

Εικόνα 4 Τυπικά Μεγέθη και Ποσοστά Ομάδων Βαρών για Κύριους Τύπους Εμπορικών Πλοίων [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].

Από την Εικόνα 4 για την κατηγορία των Containerships και για όριο από 15,000-50,000 dwt έχουμε ότι ο λόγος DWT/Δ κυμαίνεται από 0.6 - 0.7. Για να επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή θα κάνουμε χρήση της γραμμικής παρεμβολής.

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.6 + (26,610.9 - 15,000) \frac{0.7 - 0.6}{50,000 - 15,000} \Rightarrow$$

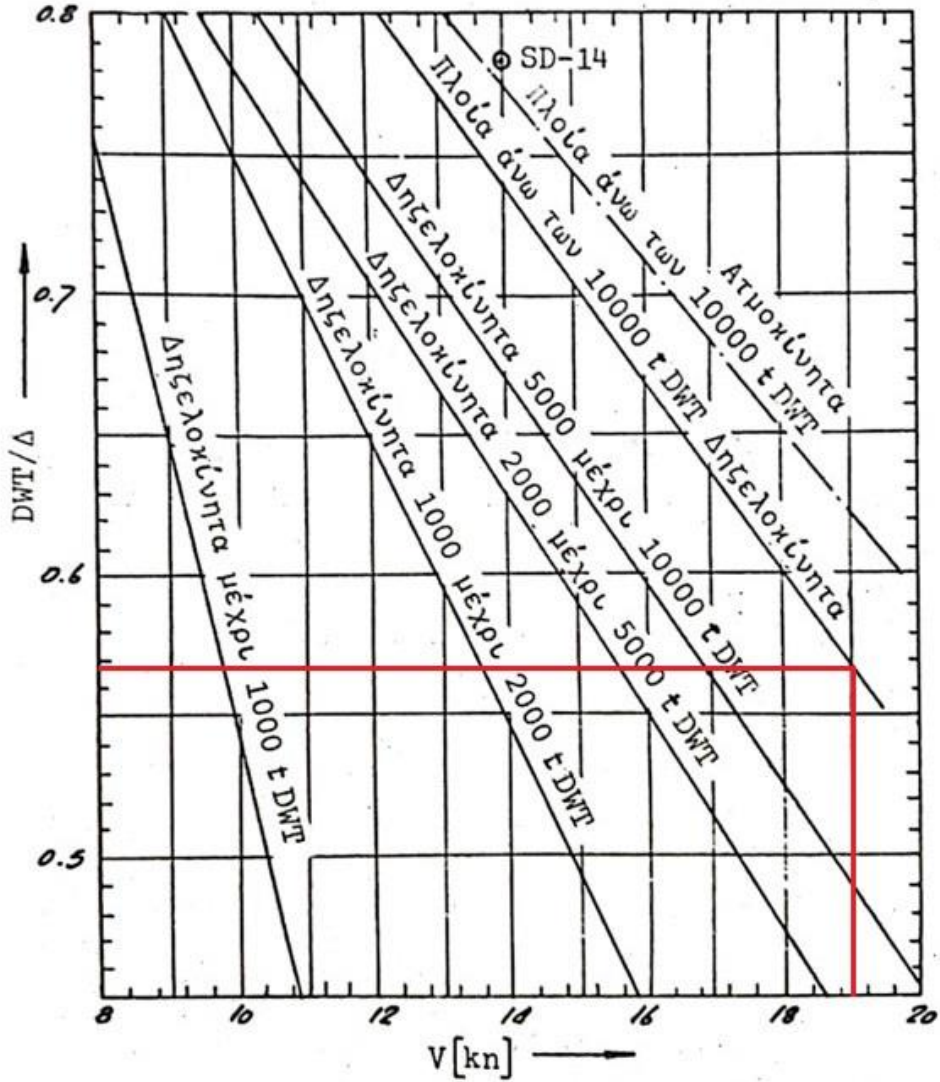
$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.633$$

Άρα για DWT = 26,610.9 [tn] , προκύπτει ότι:

$$\Delta_1 = 42,039.3 [tn]$$

4.1.3. Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ με Βάση το Διάγραμμα κατά Schünemann.

Η δεύτερη εκτίμηση του εκτοπίσματος ολοκληρώνεται με βάση την ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου ($V_s = 19$ [kn]) χρησιμοποιώντας το διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω:



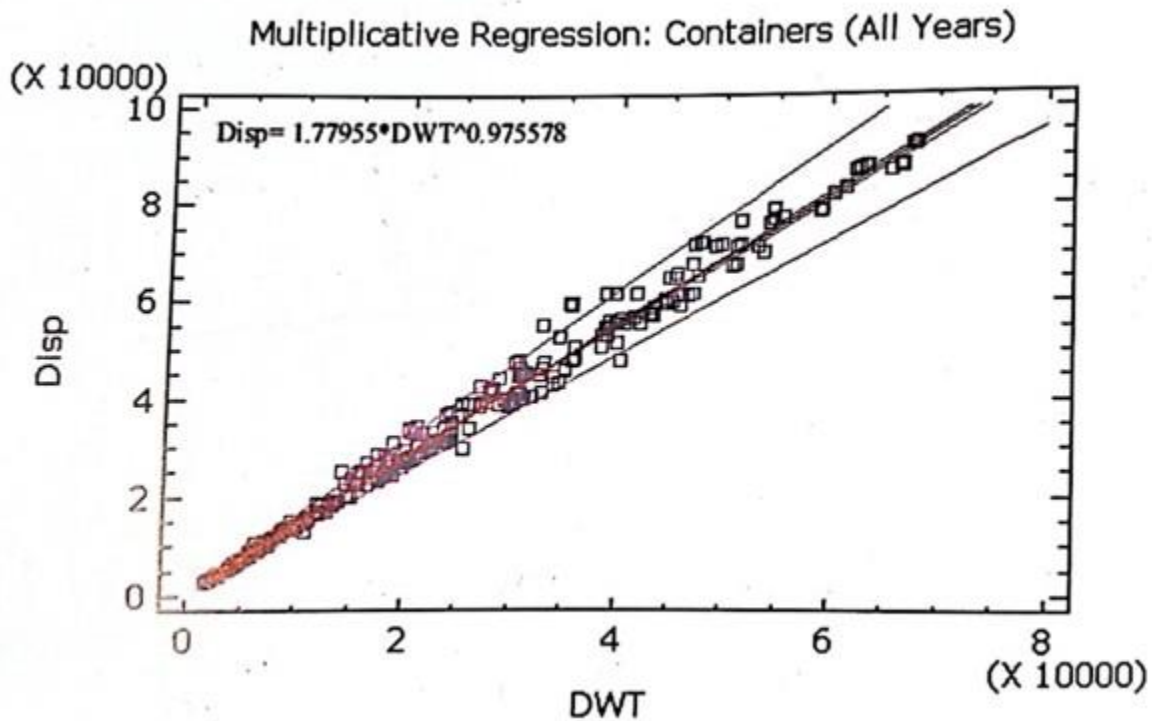
Διάγραμμα 2 Λόγοι (DWT/Δ) Συναρτήσσει DWT και V για Δηζελοκίνητα Πλοία Κατά Schünemann [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].

Για ταχύτητα υπηρεσίας $V_s = 19$ [kn], από το Διάγραμμα 2 προκύπτει ότι ο λόγος $DWT/\Delta = 0.568$, άρα για $DWT = 26,610.9$ [tn] έχουμε:

$$\Delta_2 = \frac{DWT}{0.568} = \frac{26,610.9 \text{ [tn]}}{0.568} \Rightarrow$$

$$\Delta_2 = 46,850.2 \text{ [tn]}$$

4.1.4. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Δ Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.



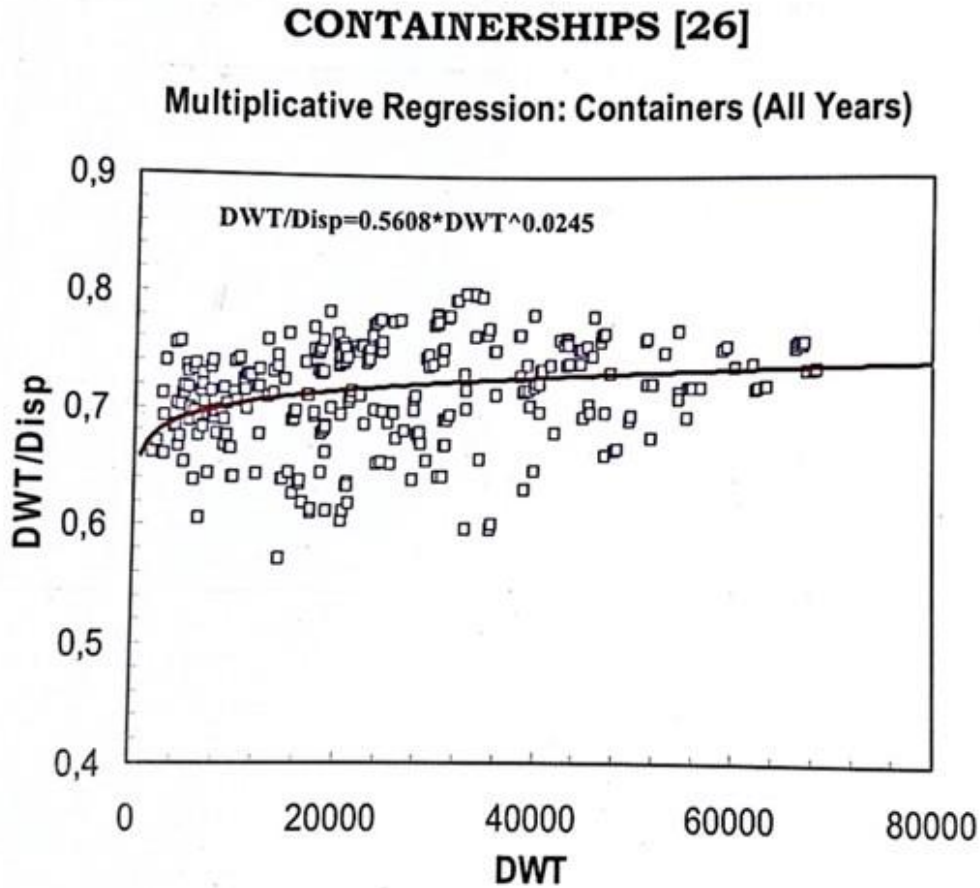
Διάγραμμα 3 Παλινδρομική Ανάλυση Εκτοπίσματος Δ Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει η εξίσωση μέσω της οποίας υπολογίζεται το εκτόπισμα Δ για δεδομένη μεταφορική ικανότητα.

$$\Delta_3 = 1.77955 * DWT^{0.975578} = 1.77955 * 26,610.9 [tn]^{0.975578} \Rightarrow$$

$$\Delta_3 = 36,922.1 [tn]$$

4.1.5. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Δ/DWT Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2.



Διάγραμμα 4 Παλινδρομική Ανάλυση Σχέσης (DWT/Δ) Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η παρακάτω εξίσωση για την εκτίμηση του Δ :

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.5608 * DWT^{0.0245} = 0.5608 * 26,610.9 [tn]^{0.0245} \Rightarrow$$

$$\frac{DWT}{\Delta_4} = 0.72$$

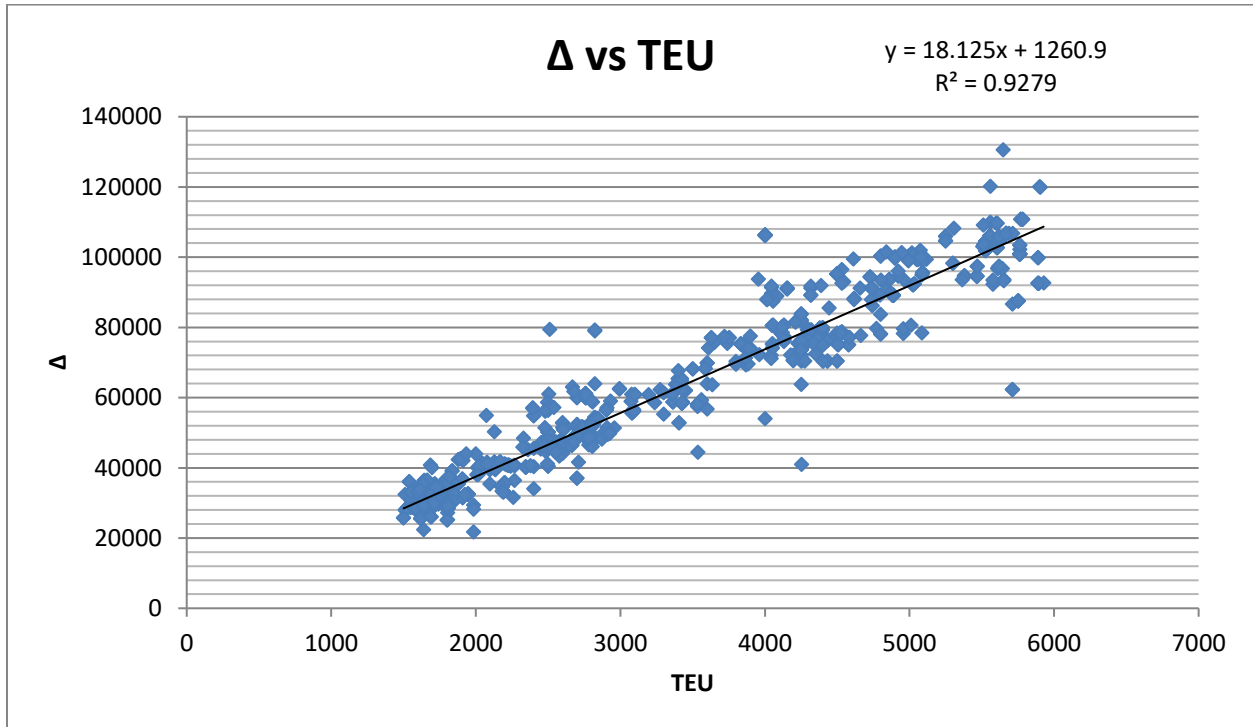
Για δεδομένο το DWT του πλοίου μας, προκύπτει ότι:

$$\Delta_4 = \frac{26,610.9 [tn]}{0.72} \Rightarrow$$

$$\Delta_4 = 36,959.6 [tn]$$

4.1.6. Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ από Βάση Δεδομένων

Ο πέμπτος και τελευταίος τρόπος για την εκτίμηση του εκτοπίσματος, γίνεται με τη χρήση του διαγράμματος παλινδρομικής ανάλυσης του εκτοπίσματος Δ συναρτήσεως του TEU. Επιπλέον, είναι ο τρόπος με την μεγαλύτερη βαρύτητα επειδή, προέρχεται από μια μεγάλη λίστα 1,000 όμοιων υπαρκτών πλοίων (όσο το R^2 στα διαγράμματα πλησιάζει τη μονάδα τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα που έχουμε).



Διάγραμμα 5 Παλινδρομική Ανάλυση Εκτοπίσματος Δ Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.

Η εξίσωση που προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα είναι:

$$\Delta = 18.125 * TEU + 1,260.9$$

Για $TEU = 1,900$ [units] , έχουμε:

$$\Delta_5 = 18.125 * 1,900 [TEU] + 1260.9 \Rightarrow$$

$$\Delta_5 = 35,698.4 [tn]$$

4.1.7. Συνολική Εκτίμηση Εκτοπίσματος Δ

Έπειτα από πέντε διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης του εκτοπίσματος Δ , είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το τελικό αποτέλεσμα για το εκτόπισμα.

Μέθοδος	Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ [tn]	Βαρύτητα
Τοπικά Μεγέθη και Ποσοστά Ομάδων Βαρών για Κύριους Τύπους Εμπορικών Πλοίων [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	42,039.3	0.05
Λόγοι (DWT/Δ) Συναρτήσεως DWT και V για Δηζελοκίνητα Πλοία Κατά Schünemann [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	46,850.2	0.05
Παλινδρομική Ανάλυση Δ vs DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	36,922.1	0.15
Παλινδρομική Ανάλυση DWT/Δ vs DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	36,959.6	0.15
Από Βάση Δεδομένων.	35,698.4	0.6

Πίνακας 3 Εκτίμηση Εκτοπίσματος για τις Πέντε Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι στους δύο πρώτους μεθόδους δίνουμε μικρή βαρύτητα επειδή τα διαγράμματα είναι από παλιές βάσεις δεδομένων και τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη απόκλιση από τα σύγχρονα πλοία. Τελικά, το εκτόπισμα υπολογίζεται:

$$\Delta = \Delta_1 * 0.05 + \Delta_2 * 0.05 + \Delta_3 * 0.15 + \Delta_4 * 0.15 + \Delta_5 * 0.6 \Rightarrow$$

$$\Delta = 42,039.3 \text{ [tn]} * 0.05 + 46,850.2 \text{ [tn]} * 0.05 + 36,922.1 \text{ [tn]} * 0.15 + 36,959.6 \text{ [tn]} * 0.15 + 35,698.4 \text{ [tn]} * 0.6 \Rightarrow$$

$$\Delta = 36,945.8 \text{ [tn]}$$

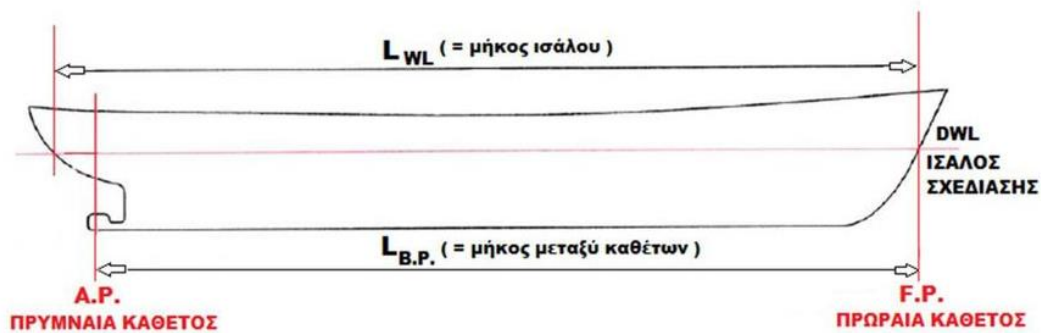
Οπότε, ο όγκος εκτοπίσματος μπορεί να υπολογιστεί εύκολα:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\gamma_{\text{sea}}} = \frac{36,945.8 \text{ [tn]}}{1.025 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right]} \Rightarrow \nabla = 36,044.7 \text{ [m}^3\text{]}$$

4.2. Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP}

Το Μήκος Μεταξύ Καθέτων (L_{BP}) είναι το μήκος ή η απόσταση που μετρείται μεταξύ της πλώρας και της πρυμναίας καθέτου. Αυτό το μήκος χρησιμοποιείται κυρίως για υπολογισμούς διαγωγής και ευστάθειας του πλοίου, χωρίς να έχει κάποια άλλη πρακτική χρήση.

Βασικός παράγοντας κατά την εκλογή του Μήκους Μεταξύ Καθέτων είναι να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μικρότερη αντίσταση. Όπως και προηγουμένως έτσι και τώρα η εκτίμηση του μήκους θα γίνει με παραπάνω από μια μεθόδους.



Εικόνα 5 Μήκος Μεταξύ Καθέτων & Μήκος Ίσαλου Γραμμής.

4.2.1. Εκτίμηση Μήκους Ελάχιστου Κόστους Ναυπήγησης Κατά Schneekluth

Ο τύπος ελάχιστου κόστους είναι ο παρακάτω:

$$L_{BP} = \Delta^{0.3} * V_S^{0.3} * C$$

Όπου, για το συντελεστή C ισχύει:

$$C = 3.4 - \frac{\Delta - 10^3}{10^6}, \text{ για } 1,000[\text{tn}] \leq \Delta \leq 201,000[\text{tn}]$$

Άρα, έχουμε:

$$L_{BP1} = \Delta^{0.3} * V_S^{0.3} * \left(3.4 - \frac{\Delta - 10^3}{10^6}\right) \Rightarrow$$

$$L_{BP1} = 36,945.8 [\text{tn}]^{0.3} * 19 [\text{kn}]^{0.3} * \left(3.4 - \frac{36,945.8[\text{tn}] - 10^3}{10^6}\right) \Rightarrow$$

$$L_{BP1} = 190.88 [\text{m}]$$

4.2.2. Εκτίμηση Μήκους Κατά Ayre

Αυτός ο τύπος προέρχεται από στατιστικές αναλύσεις υπάρχοντων πλοίων και η εξίσωση του είναι:

$$\frac{L_{BP}}{1} = 3.33 + 1.67 * V_S / \sqrt{L_{BP}}$$

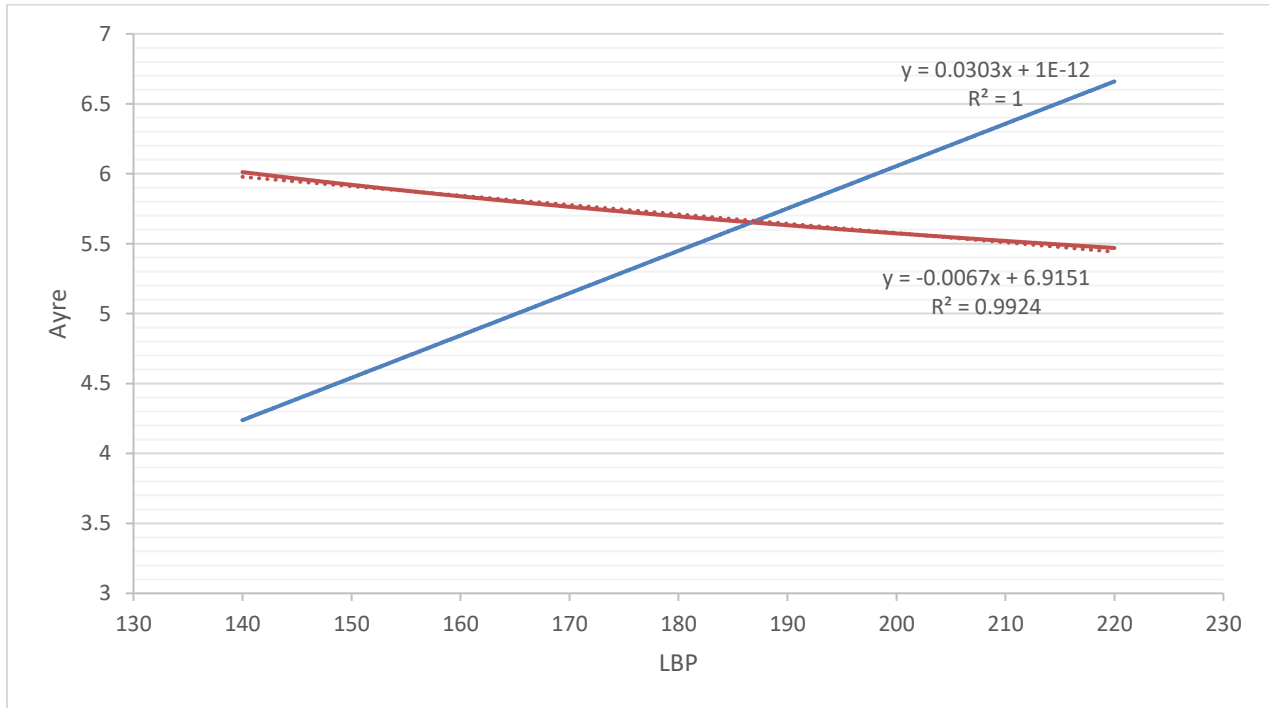
Αυτή η εξίσωση δεν μπορεί να λυθεί αριθμητικά αλλά μόνο γραφικά με μοναδικό άγνωστο το L_{BP} . Για την επίλυση του τύπου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel, στο οποίο σχεδιάστηκαν οι δυο εξισώσεις με δεδομένα το εκτόπισμα και η υπηρεσιακή ταχύτητα. Τελικά υπολογίσθηκε το ζητούμενο μήκος.

Ο τύπος κατά Ayre είναι μια εξίσωση της μορφής:

$$ax = b + \frac{c}{\sqrt{x}}$$

Όπου $ax = \frac{1}{\sqrt[3]{V}} L_{BP}$ και $b + \frac{c}{\sqrt{x}} = 3.33 + 1.67 \frac{V}{\sqrt{L_{BP}}}$

Σχεδιάζονται οι δύο εξισώσεις για ένα εύρος μηκών από 140-220 [m]:



Διάγραμμα 6 Εξισώσεις από τον Τύπο του Ayre.

Η λύση των δύο ευθειών είναι:

$$L_{BP2} = 186.89 \text{ [m]}$$

4.2.3. Εκτίμηση Μήκους Κατά Völker

Αυτή η μέθοδος είναι επίσης από στατιστική ανάλυση υπάρχοντων πλοίων της οποία ο τύπος είναι:

$$\frac{L_{BP}}{\sqrt[3]{V}} = C_1 + 4.5 * \frac{V_S \left[\frac{m}{s} \right]}{\sqrt{g * \sqrt[3]{V}}}$$

Όπου $C_1 = 3.5$ για Containerships

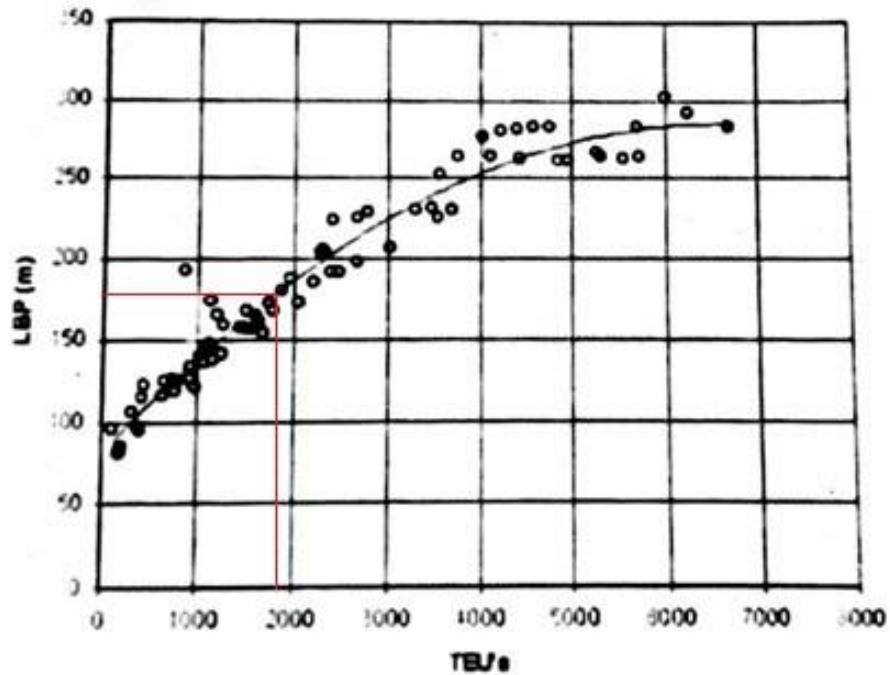
$$V_S = 19 \text{ [kn]} * 0.514 = 9.766 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Άρα η εξίσωση κατά Völker γίνεται:

$$\frac{L_{BP3}}{36,044.7 \text{ [m}^3\text{]}^{\frac{1}{3}}} = 3.5 + 4.5 * \frac{9.766 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{\sqrt{9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] * 36,044.7 \text{ [m}^3\text{]}^{\frac{1}{3}}}} \Rightarrow$$

$$L_{BP3} = 196.26 \text{ [m]}$$

4.2.4. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L_{BP} Συναρτήσεως του TEU για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 1

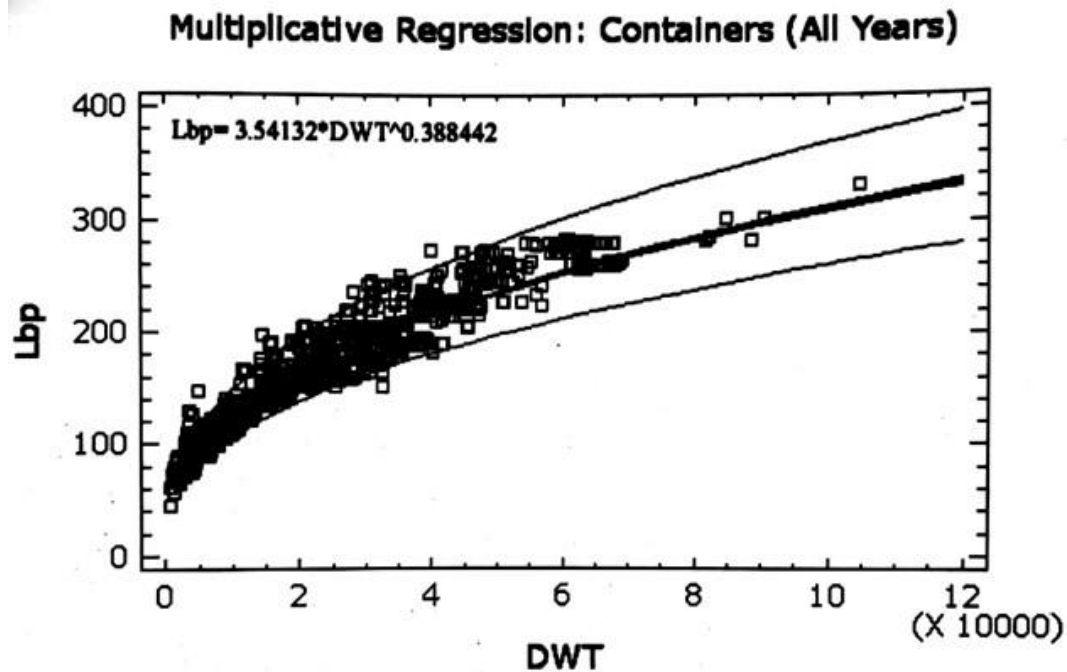


Διάγραμμα 7 Σχέση Μήκους Μεταξύ Καθέτων με τον Αριθμό Μεταφερόμενων Εμπορευματοκιβωτίων TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το Μήκος Μεταξύ Καθέτων είναι:

$$L_{BP4} = 181 \text{ [m]}$$

4.2.5. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L_{BP} Συναρτήσεως του DWT Για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2



Διάγραμμα 8 Παλινδρομική Ανάλυση Μήκους Μεταξύ Καθέτων Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$L_{BP} = 3.54132 * DWT^{0.388442}$$

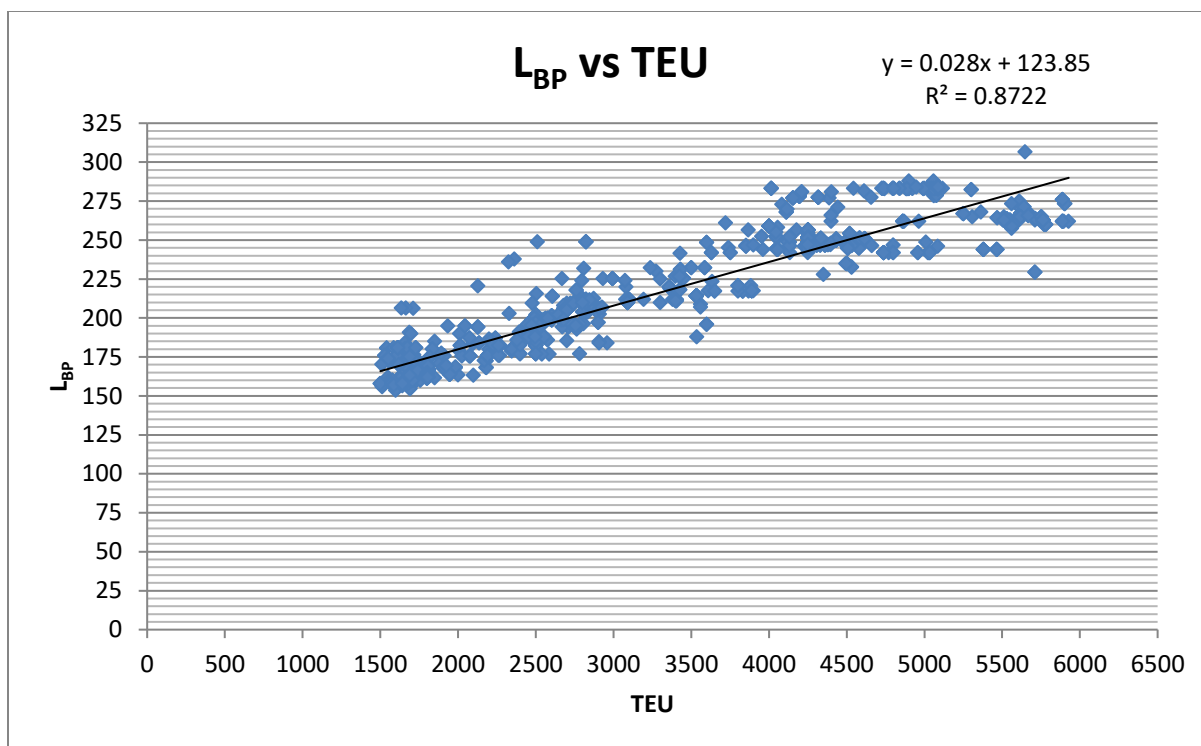
Άρα για το πλοίο μας έχουμε:

$$L_{BP} = 3.54132 * 26,610.9 \text{ [tn]}^{0.388442} \Rightarrow$$

$$L_{BP5} = 185.37 \text{ [m]}$$

4.2.6. Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP} από Βάση Δεδομένων

Για τον τελευταίο τρόπο της εκτίμησης του L_{BP} θα χρησιμοποιήσουμε το διάγραμμα από την βάση δεδομένων μας.



Διάγραμμα 9 Παλινδρομική Ανάλυση Μήκους Μεταξύ Καθέτων Συναρτήσεσι του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$L_{BP6} = 0.028 * TEU + 123.85$$

Επομένως, $L_{BP6} = 0.028 * 1,900[TEU] + 123.85 \Rightarrow$

$$L_{BP6} = 177.05 [m]$$

4.2.7. Συνολική Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων L_{BP}

Ύστερα από έξι διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης του L_{BP} , είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε με ακρίβεια το τελικό αποτέλεσμα του μήκους μεταξύ καθέτων. Η βαρύτητα του κάθε τρόπου υπολογισμού φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων [m]	Βαρύτητα
Τύπος Ελαχίστου Κόστους Ναυπήγησης Κατά Schneekluth.	190.88	0.05
Κατά Ayre.	186.89	0.05
Κατά Volker.	196.26	0.05
Σχέση Μήκους Μεταξύ Καθέτων με τον Αριθμό Μεταφερόμενων Εμπορευματοκιβωτίων TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].	181	0.1
Παλινδρομική Ανάλυση Μήκους Μεταξύ Καθέτων Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].	185.37	0.05
Από Βάση Δεδομένων.	177.05	0.7

Πίνακας 4 Εκτίμηση Μήκους Μεταξύ Καθέτων για τις Έξι Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Παρατηρείτε ότι η μέθοδος με τα όμοια πλοία έχει μεγαλύτερη βαρύτητα και η κατά Ayre & Volker έχουν την μικρότερη επειδή είναι παλιοί τύποι από στατιστική ανάλυση και δεν δίνουν τόσο έμπιστα αποτελέσματα.

Άρα, από τον σταθμισμένο μέσο όρο του μήκους έχουμε:

$$L_{BP} = 0.05 * L_{BP1} + 0.05 * L_{BP2} + 0.05 * L_{BP3} + 0.1 * L_{BP4} + 0.05 * L_{BP5} + 0.7 * L_{BP6} \Rightarrow$$

$$L_{BP} = 0.05 * 190.88[m] + 0.05 * 186.89[m] + 0.05 * 196.26[m] + 0.1 * 181[m] + 0.05 * 185.37[m] + 0.7 * 177.05[m] \Rightarrow$$

$$L_{BP} = 180 [m]$$

4.2.8. Εκτίμηση Αριθμού Froude

Έχοντας υπολογίσει το Μήκος Μεταξύ Καθέτων του πλοίου μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό Froude:

$$F_n = \frac{V \left[\frac{m}{s} \right]}{\sqrt{g * L_{BP}}} = \frac{9.774 \left[\frac{m}{s} \right]}{\sqrt{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 180[m]}} = 0.233$$

Όπου $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, η επιτάχυνση της βαρύτητας.

$$F_n = 0.233$$

4.3. Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B

Ο συντελεστής γάστρας C_B αντιστοιχεί στο λόγο του όγκου εκτοπίσματος ως προς τον όγκο του περιγεγραμμένου ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με τις διαστάσεις L_{BP} , B , T . Άρα:

$$C_B = \frac{\nabla}{L * B * T}$$

Όπως και κατά την εκλογή του μήκους, βασικός παράγοντας καθορισμού του C_B είναι η αντίσταση του πλοίου, για την απαιτούμενη ταχύτητα και σε συνδυασμό με το προεκτιμηθέν μήκος για το δεδομένο αριθμό Froude. Γενικότερα, υψηλός αριθμός Froude απαιτεί χαμηλό συντελεστή C_B για ένα υδροδυναμικά βέλτιστο σκάφος.

4.3.1. Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B με Χρήση Προσεγγιστικών Τύπων

Ο προσεγγιστικός τύπος για τον υπολογισμό του C_B είναι:

$$C_B = k_1 - k_2 * F_n - k_3 * F_n^2$$

Όπου k_1 , k_2 , k_3 δίνονται από τον παρακάτω πίνακα.

Τύπος	K_1	K_2	K_3	Παρατηρήσεις
Horn	1.06	1.68	0	Μονέλικα, ταχύτητα υπηρεσιακή
Αυγε	1.08	1.68	0	Μονέλικα, ταχύτητα δοκιμών
Heckser	1.00	1.44	0	Μονέλικα, ταχύτητα δοκιμών
V. Lammeren	1.08	1.68	0.224	Μονέλικα, ταχύτητα δοκιμών

Πίνακας 5 Συντελεστές Εμπειρικών Τύπων για τον Υπολογισμό του C_B .

- Κατά Horn:

$$C_{B1} = 1.06 - 1.68 * 0.223 - 0 * 0.223^2 = 0.685$$

- Κατά Αυγε:

$$C_{B2} = 1.08 - 1.68 * 0.223 - 0 * 0.223^2 = 0.705$$

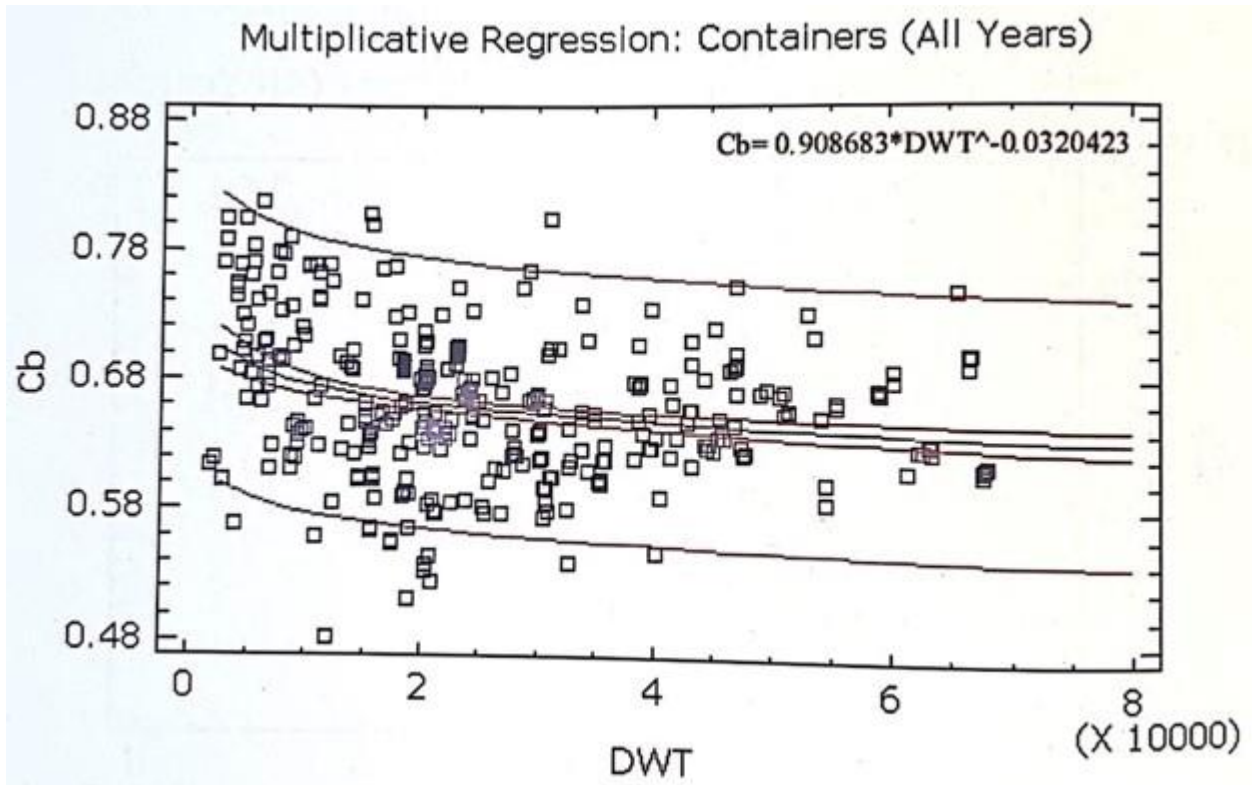
- Κατά Heckser:

$$C_{B3} = 1.00 - 1.44 * 0.223 - 0 * 0.223^2 = 0.679$$

- Κατά V. Lammeren:

$$C_{B4} = 1.08 - 1.68 * 0.223 - 0.224 * 0.223^2 = 0.694$$

4.3.2. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης C_B Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2



Διάγραμμα 10 Παλινδρομική Ανάλυση Συντελεστή Γάστρας Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

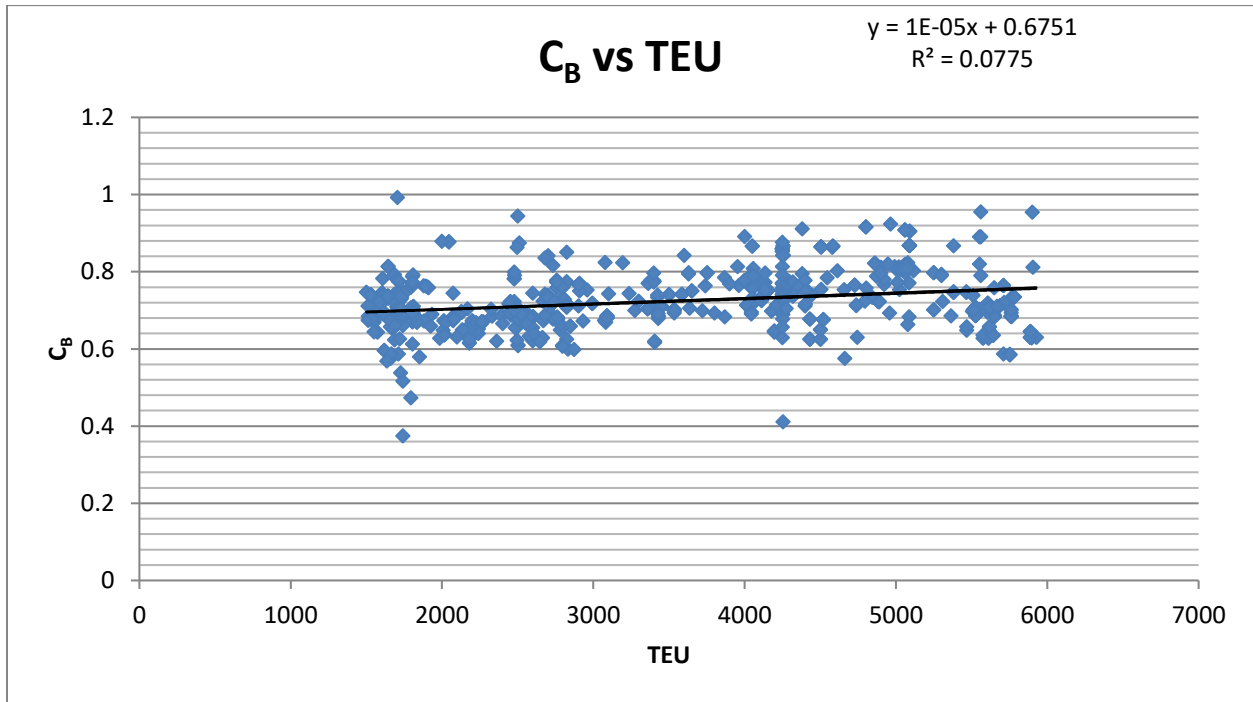
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$C_{B5} = 0.908683 * DWT^{-0.0320423}$$

Άρα για $DWT = 26,610.9$ [tn] , έχουμε:

$$C_{B5} = 0.656$$

4.3.3. Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας από Βάση Δεδομένων



Διάγραμμα 11 Παλινδρομική Ανάλυση Συντελεστή Γάστρας Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από τη Βάση Δεδομένων.

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$C_{B6} = 0.00001 * TEU + 0.6751 \Rightarrow , \text{ για } TEU=1,900 \text{ [units] έχουμε}$$

$$C_{B6} = 0.694$$

4.3.4. Συνολική Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B

Έπειτα από τρεις μεθόδους εκτίμησης του συντελεστή γάστρας μπορούμε να κάνουμε την τελική εκτίμηση μας.

Μέθοδος	Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας C_B	Βαρύτητα
Horn	0.685	0
Ayre	0.705	0
Heckser	0.679	0
V. Lammeren	0.694	0
Παλινδρομικής Ανάλυσης C_B Συναρτήσεως το DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]	0.656	0.3
Από Βάση Δεδομένων	0.694	0.7

Πίνακας 6 Εκτίμηση Συντελεστή Γάστρας για τις Έξι Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Οι μέθοδοι από τους προσεγγιστικούς τύπους δεν λειτουργούν σε αυτό τον τύπο πλοίου.

Άρα, έχουμε:

$$C_B = C_1 * 0 + C_2 * 0 + C_3 * 0 + C_4 * 0 + C_5 * 0.3 + C_6 * 0.7 \Rightarrow$$

$$C_B = 0.301 * 0 + 0.321 * 0 + 0.349 * 0 + 0.275 * 0 + 0.656 * 0.3 + 0.694 * 0.7 \Rightarrow$$

$$C_B = 0.683$$

4.4. Εκτίμηση Συντελεστή Μέσης Τομής C_M

Ο συντελεστής μέσης τομής C_M , είναι ο λόγος του εμβαδού της μέσης τομής προς το εμβαδόν του ορθογωνίου που έχει πλευρές ίσες με το βύθισμα και το μέγιστο πλάτος, μετρημένα στην μέση τομή. Δηλαδή:

$$C_M = \frac{A_M}{B*T}, \text{ όπου } A_M \text{ το εμβαδόν της μέσης τομής.}$$

Ο συντελεστής μέσου νομέα C_M συνδέει τους σημαντικούς συντελεστές μορφής C_B και C_P . Δύνανται να επιλεγεί σχετικά ελεύθερα, αλλά συνυπολογίζοντας ορισμένους βασικούς παράγοντες, όπως την αντίσταση, κατασκευαστική ευχέρεια, εκμετάλλευση χώρων και ευστάθεια. Γι' αυτό τον λόγο θα χρησιμοποιήσουμε μόνο την μέθοδο υπολογισμού μέσω προσεγγιστικών τύπων.

4.4.1. Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά Van Lammeren

$$C_{M1} = 0.9 + 0.1 * C_B \Rightarrow$$

$$C_{M1} = 0.968$$

4.4.2. Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά Kerlen (1979)

$$C_{M2} = 1.006 - 0.0056 * C_B^{-3.56} \Rightarrow$$

$$C_{M2} = 0.984$$

4.4.3. Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Κατά το Εργαστήριο HSVA (Αμβούργο)

$$C_{M3} = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3.5}} \Rightarrow$$

$$C_{M3} = 0.982$$

4.4.4. Συνολική Εκτίμηση Συντελεστή Μορφής C_M

Έπειτα από τρεις μεθόδους εκτίμησης του συντελεστή μορφής C_M μπορούμε να εκτιμήσουμε την τελική τιμή του.

Μέθοδος	Εκτίμηση Συντελεστή Μορφής C_M	Βαρύτητα
Van Lammeren	0.968	0.35
Kerlen (1979)	0.984	0.3
Εργαστήριο HSVA (Αμβούργο)	0.982	0.35

Πίνακας 7 Εκτίμηση Συντελεστή Μορφής για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Η μέθοδος Kerlen (1979) είναι πιο παλιά για αυτό το λόγο η βαρύτητα είναι ελαφρώς μικρότερη.

Τελικά, έχουμε:

$$C_M = C_{M1} * 0.35 + C_{M2} * 0.3 + C_{M3} * 0.35 \Rightarrow$$

$$C_M = 0.978$$

4.5. Εκτίμηση Πρισματικού Συντελεστή C_P

Ο πρισματικός συντελεστής C_P εκφράζει το λόγο του όγκου εκτοπίσματος κάτω από μια ίσαλο προς τον όγκο του πρίσματος με βάση την εγκάρσια επιφάνεια μέγιστης τομής και μήκος αυτό της ισάλου. Ο συντελεστής αυτός, περιγράφει τον βαθμό συγκέντρωσης του εκτοπίσματος περί του μέσου του σκάφους.

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0.683}{0.978} \Rightarrow$$

$$C_P = 0.698$$

4.6. Εκτίμηση Συντελεστή Ισάλου Επιφάνειας C_{WP}

Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας C_{WP} εκφράζει το βαθμό πληρότητας της ισάλου επιφάνειας σε σχέση με το περιφραγμένο ορθογώνιο μήκους L και πλάτους B . Επηρεάζεται σημαντικά από τη μορφή των εγκάρσιων νομέων και βέβαια από τους συντελεστές C_B και C_P .

Καθώς, ασχολούμαστε με Containership, συνιστάται να επιλέγονται έντονοι νομείς U .

Για αυτό το είδος νομέων έχουμε δυο προσεγγιστικούς τύπους:

- $C_{WP1} = 0.95 * C_P + 0.17 * (1 - C_P)^{\frac{1}{3}} = 0.95 * 0.698 + 0.17 * (1 - 0.698)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow$

$$C_{WP1} = 0.778$$

- $C_{WP2} = 0.778 * C_B + 0.248 = 0.778 * 0.683 + 0.248 \Rightarrow$

$$C_{WP2} = 0.779$$

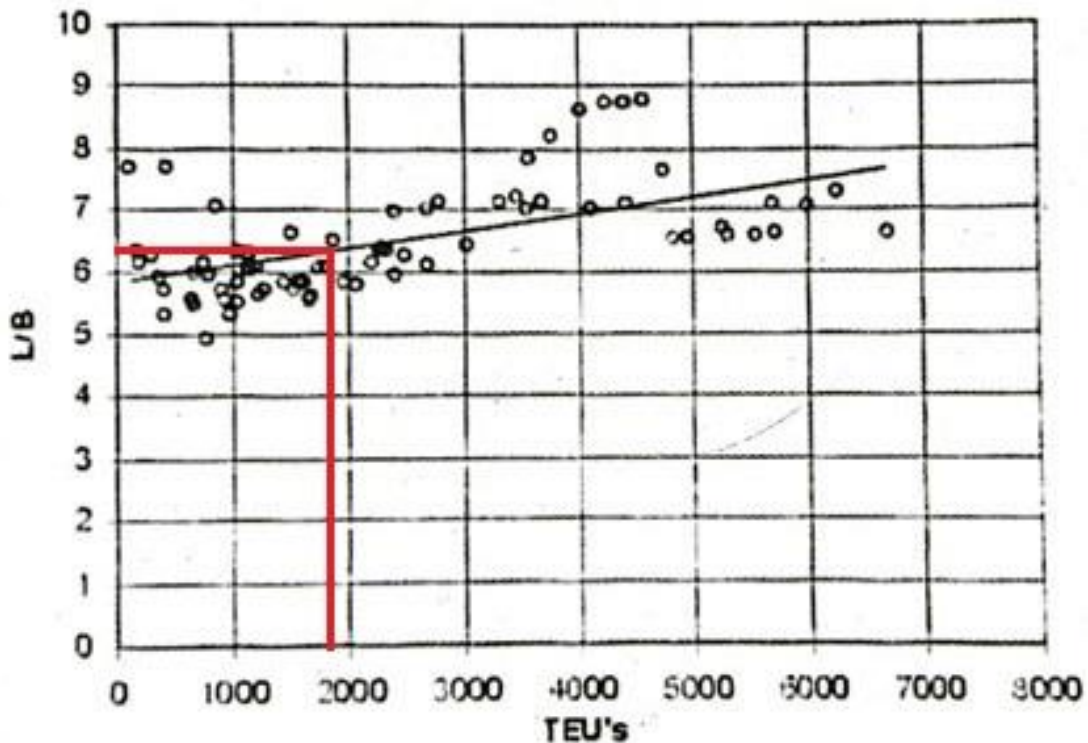
Άρα η τελική εκτίμηση του συντελεστή ισάλου επιφάνειας C_{WP} είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω μετρήσεων.

$$C_{WP} = \frac{C_{WP1} + C_{WP2}}{2} = \frac{0.778 + 0.779}{2} \Rightarrow$$

$$C_{WP} = 0.779$$

4.7. Εκτίμηση Πλάτους B

4.7.1. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης L/B Συναρτήσει TEU για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 1



Διάγραμμα 12 Σχέση Πλάτους B με τον Αριθμό Μεταφερόμενων Εμπορευματοκιβωτίων TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι ο λόγος $L_B/B = 6.4$ οπότε,

$$B_1 = \frac{180[m]}{6.4} \Rightarrow$$

$$B_1 = 28.13 [m]$$

4.7.2. Χρήση Προσεγγιστικού Τύπου Για Containerships με $100 \leq L_{BP} \leq 200$

$$\frac{L_{BP}}{B} = 4 + 0.009 * (L_{BP} + 42) \Rightarrow$$

$$\frac{L_{BP}}{B_2} = 4 + 0.009 * (180 [m] + 42)$$

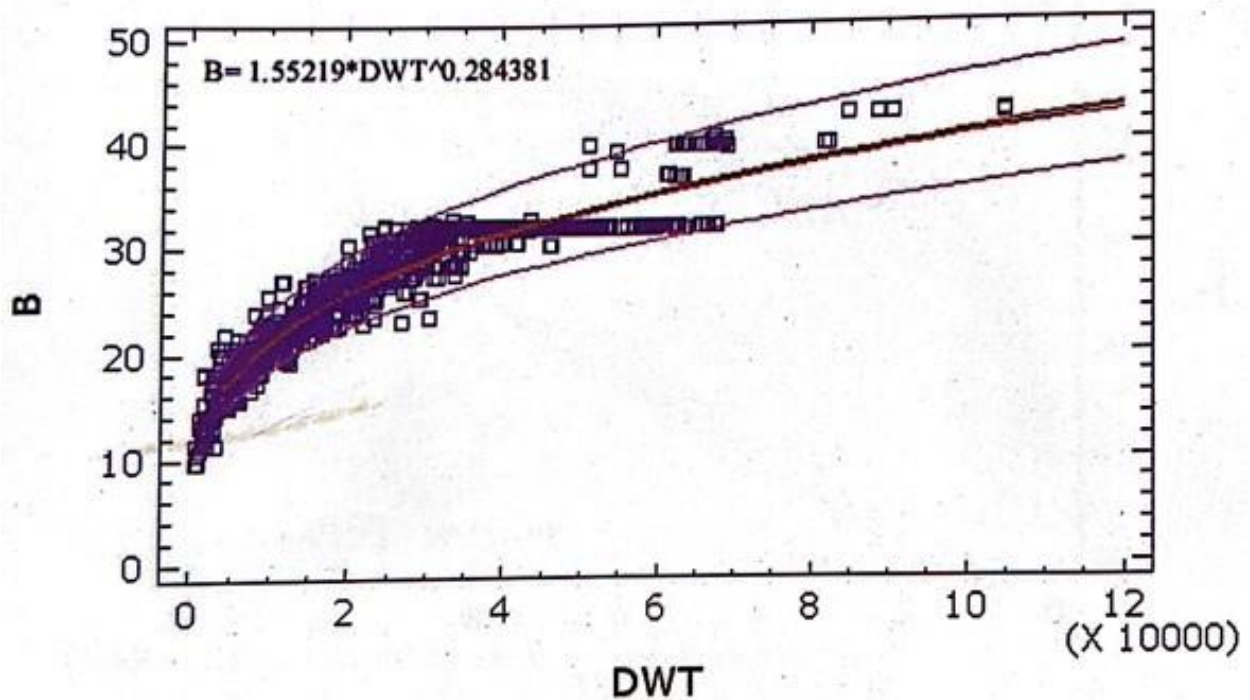
$$\frac{L_{BP}}{B_2} = 5.998 \Rightarrow$$

$$B_2 = \frac{180 [m]}{5.998} \Rightarrow$$

$$B_2 = 30.01 [m]$$

4.7.3. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Πλάτους B Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2

Multiplicative Regression: Containers (All Years)



Διάγραμμα 13 Παλινδρομική Ανάλυση Πλάτους B Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε:

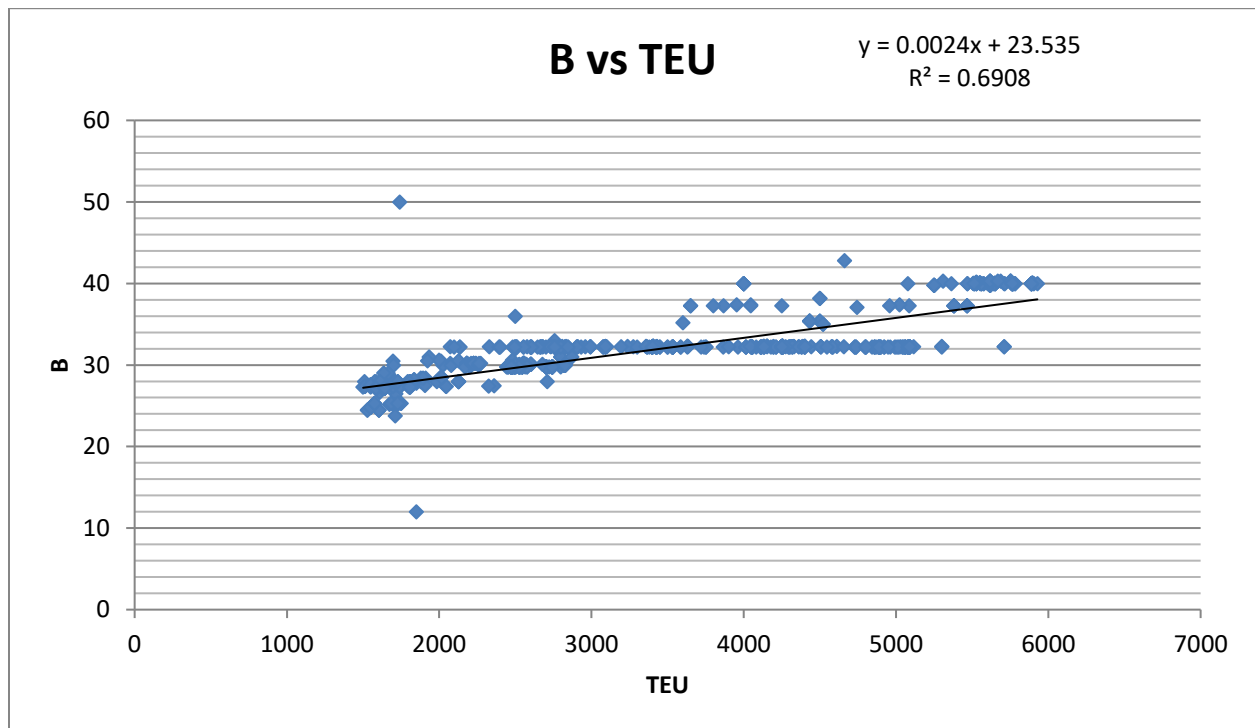
$$B = 1.55219 * DWT^{0.284381} \Rightarrow$$

Άρα για το πλοίο μας:

$$B_3 = 1.55219 * 26,610.9 \text{ [tn]}^{0.284381} \Rightarrow$$

$$B_3 = 28.14 \text{ [m]}$$

4.7.4. Εκτίμηση Πλάτους B από Βάση Δεδομένων



Διάγραμμα 14 Παλινδρομική Ανάλυση Πλάτους B Συναρτήσει του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.

Από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι:

$$B = 0.0024 * TEU + 23.535$$

Άρα για το πλοίο μας έχουμε:

$$B_4 = 0.0024 * 1,900 \text{ [TEU]} + 23.535$$

$$B_4 = 28.1 \text{ [m]}$$

4.7.5. Συνολική Εκτίμηση Πλάτους B

Έπειτα από 4 μεθόδους υπολογισμού μπορούμε να εκτιμήσουμε το πλάτος B.

Μέθοδος	Εκτίμηση Πλάτους B [m]	Βαρύτητα
Διάγραμμα Παλινδρομικής Ανάλυσης Πλάτους Συναρτήσεως TEU για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1]	28.13	0.15
Προσεγγιστικός Τύπος για Containerships	30.01	0.1
Διάγραμμα Παλινδρομικής Ανάλυσης Πλάτους Συναρτήσεως DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]	28.14	0.15
Από Βάση Δεδομένων	28.1	0.6

Πίνακας 8 Εκτίμηση Πλάτους για τις Τέσσερις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Την μικρότερη βαρύτητα έχει η μέθοδος με τον προσεγγιστικό τύπο. Όπως φαίνεται και στον πίνακα η εκτίμηση που μας δίνει έχει μεγάλη απόκλιση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Άρα, έχουμε:

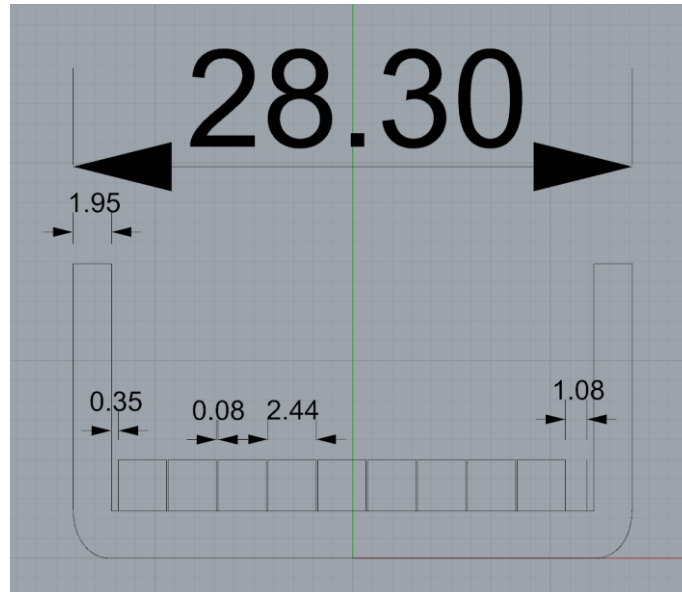
$$B = B_1 * 0.15 + B_2 * 0.1 + B_3 * 0.15 + B_4 * 0.6 \Rightarrow$$

$$B = 28.13 [m] * 0.15 + 30.01[m] * 0.1 + 28.14 [m] * 0.15 + 28.1 [m] * 0.6$$

$$\mathbf{B = 28.3 [m]}$$

4.7.6. Διόρθωση Πλάτους B

Για να συνεχίσουμε την μελέτη πρέπει να γίνει ένας έλεγχος του πλάτους έτσι ώστε το υπό μελέτη πλοίο να είναι ικανό να φορτώσει ακέραιο αριθμό Container και ταυτόχρονα να μην υπάρχουν περίσσιοι κενοί χώροι. Παρακάτω φαίνεται ένα σκαρίφημα της μέσης τομής του υπό μελέτη πλοίου με τα container να περιλαμβάνονται στο σχήμα.



Εικόνα 6 Σκαρίφημα Μέσης Τομής για την Διόρθωση του Πλάτους B.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα έχουμε περίσσεια πλάτους κατά 1.08[m] γι 'αυτό τον λόγο μειώνουμε το πλάτος του υπό μελέτη πλοίου κατά αυτή την περίσσεια. Οπότε το καινούργιο πλάτος είναι:

$$B = 28.3 \text{ [m]} - 1.08 \text{ [m]} \Rightarrow$$

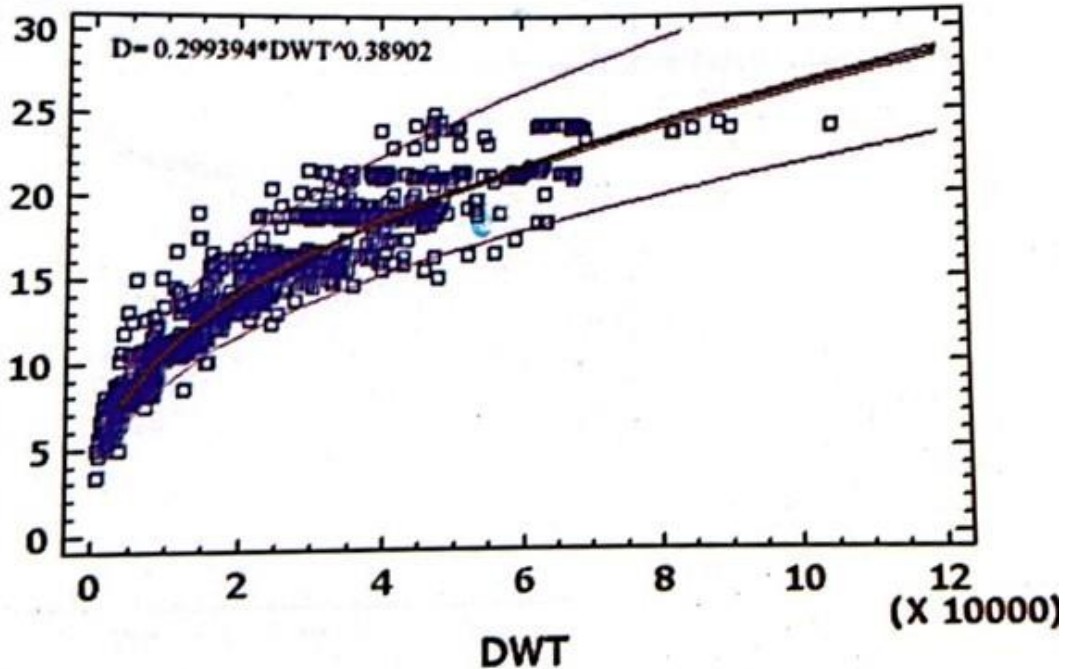
$$\mathbf{B = 27.22 \text{ [m]}}$$

4.8. Εκτίμηση Κοίλου D

Το κοίλο ή πλευρικό ύψος του κύριου καταστρώματος είναι καθοριστικό για τον διαθέσιμο όγκο κυτών και για το ύψος εξάλων. Η εκλογή του κοίλου επηρεάζεται από τους κανονισμούς ασφαλείας και λειτουργίας.

4.8.1. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Κοίλου D Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2

Multiplicative Regression: Containers (All Years)



Διάγραμμα 15 Παλινδρομική Ανάλυση Κοίλου D Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

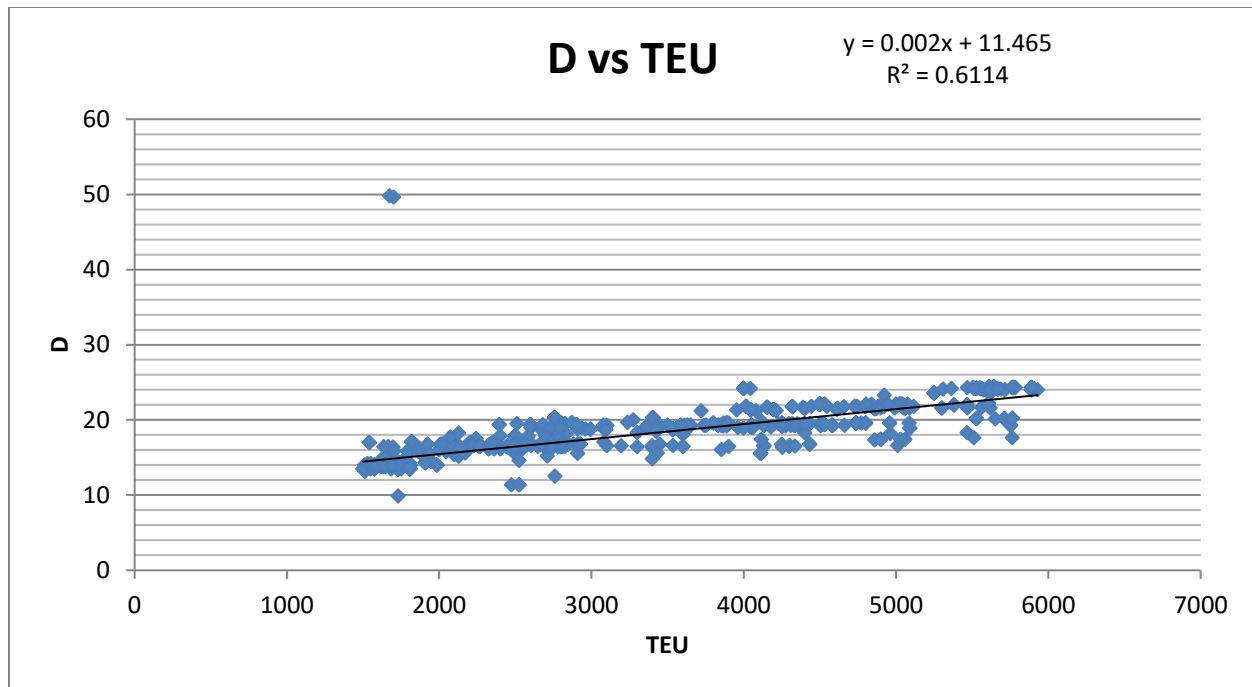
$$D = 0.299394 * DWT^{0.38902} \Rightarrow$$

Αρά για το πλοίο μας έχουμε:

$$D_1 = 0.299394 * 26,610.9 [tn]^{0.38902} \Rightarrow$$

$$D_1 = 15.76 [m]$$

4.8.2. Εκτίμηση Κοίλου D από Βάση Δεδομένων



Διάγραμμα 16 Παλινδρομική Ανάλυση Κοίλου D Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από τη Βάση Δεδομένων.

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

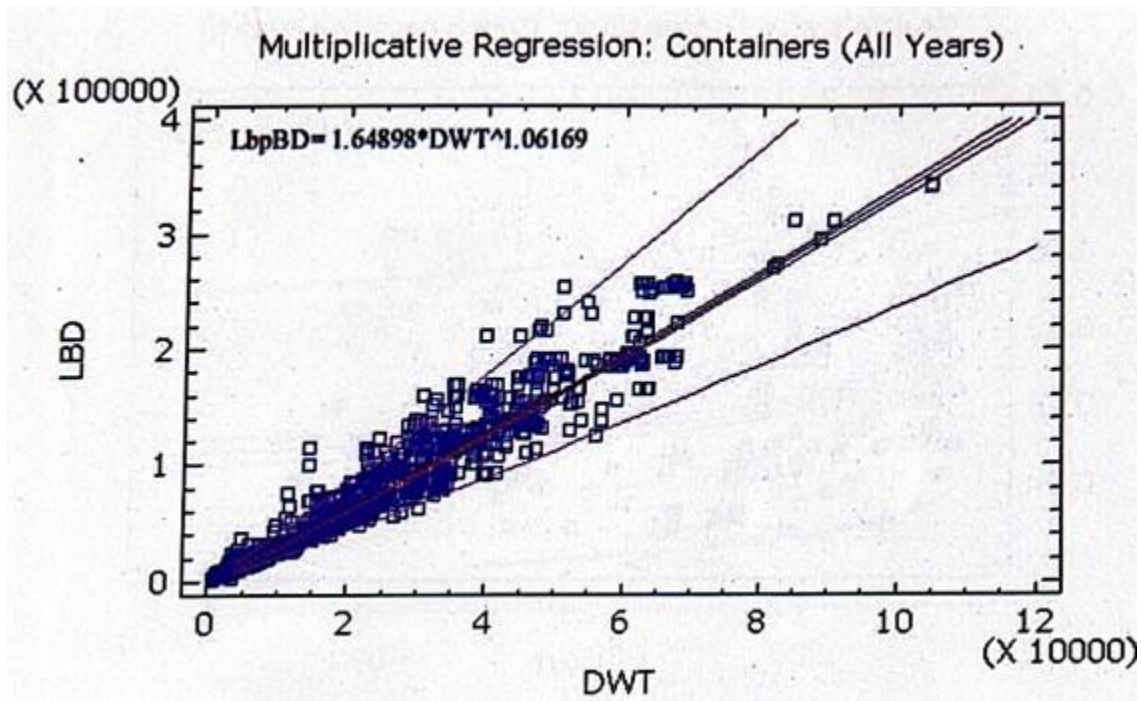
$$D = 0.002 * TEU + 11.465 \Rightarrow$$

Άρα για το πλοίο μας έχουμε:

$$D = 0.002 * 1,900 [TEU] + 11.465 \Rightarrow$$

$$D_2 = 15.27 [m]$$

4.8.3. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης Σχέσης (L*B*D) Συναρτήσεως του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2



Διάγραμμα 17 Παλινδρομική Ανάλυση Σχέσης (L*B*D) Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$L_{BP} * B * D = 1.64898 * DWT^{1.06169}$$

Για το πλοίο μας έχουμε:

$$D_3 = \frac{1.64898 * 26,610.9 \text{ [tn]}^{1.06169}}{180 \text{ [m]} * 27.22 \text{ [m]}} \Rightarrow$$

$$D_3 = 16.79 \text{ [m]}$$

4.8.4. Συνολική Εκτίμηση Κοίλου D

Έπειτα από δύο μεθόδους υπολογισμού μπορούμε να εκτιμήσουμε την τελική τιμή του D.

Μέθοδος	Εκτίμηση Κοίλου D [m]	Βαρύτητα
Διάγραμμα Παλινδρομικής Ανάλυσης Κοίλου Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]	15.76	0.3
Από Βάση Δεδομένων	15.27	0.5
Διάγραμμα Παλινδρομικής Ανάλυσης Σχέσης (LBP*B*D) Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]	16.79	0.2

Πίνακας 9 Εκτίμηση Κοίλου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Η τελική τιμή του κοίλου είναι:

$$D = D_1 * 0.3 + D_2 * 0.5 + D_3 * 0.2 \Rightarrow$$

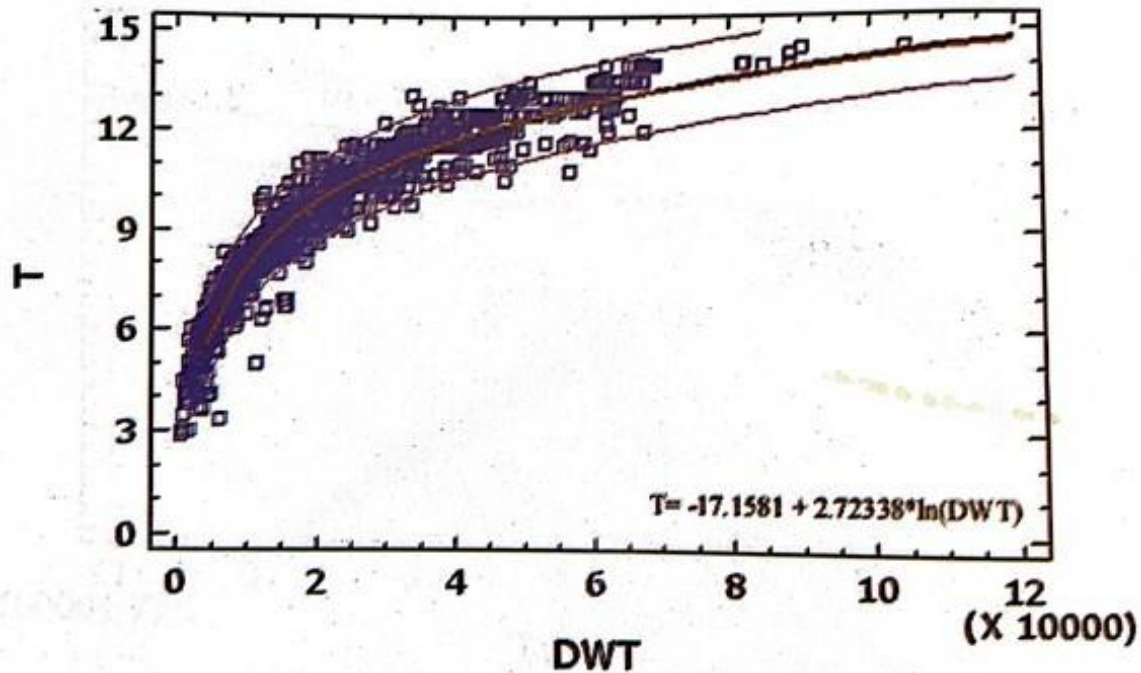
$$D = 15.76 \text{ [m]} * 0.3 + 15.27 \text{ [m]} * 0.5 + 16.79 \text{ [m]} * 0.2 \Rightarrow$$

$$D = 15.72 \text{ [m]}$$

4.9. Εκτίμηση Βυθίσματος T

4.9.1. Χρήση Διαγράμματος Παλινδρομικής Ανάλυσης T συναρτήσει του DWT για Containerships από ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Τεύχος 2

Logarithmic Regression: Containers (All Years)



Διάγραμμα 18 Παλινδρομική Ανάλυση Βυθίσματος T Συναρτήσει του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2].

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$T = -17.1581 + 2.72338 * \ln(DWT)$$

Άρα για το πλοίο μας προκύπτει ότι:

$$T_1 = -17.1581 + 2.72338 * \ln(26,610.9 \text{ [tn]}) \Rightarrow$$

$$T_1 = 10.59 \text{ [m]}$$

4.9.2. Χρήση Τύπου Συντελεστή Γάστρας C_B

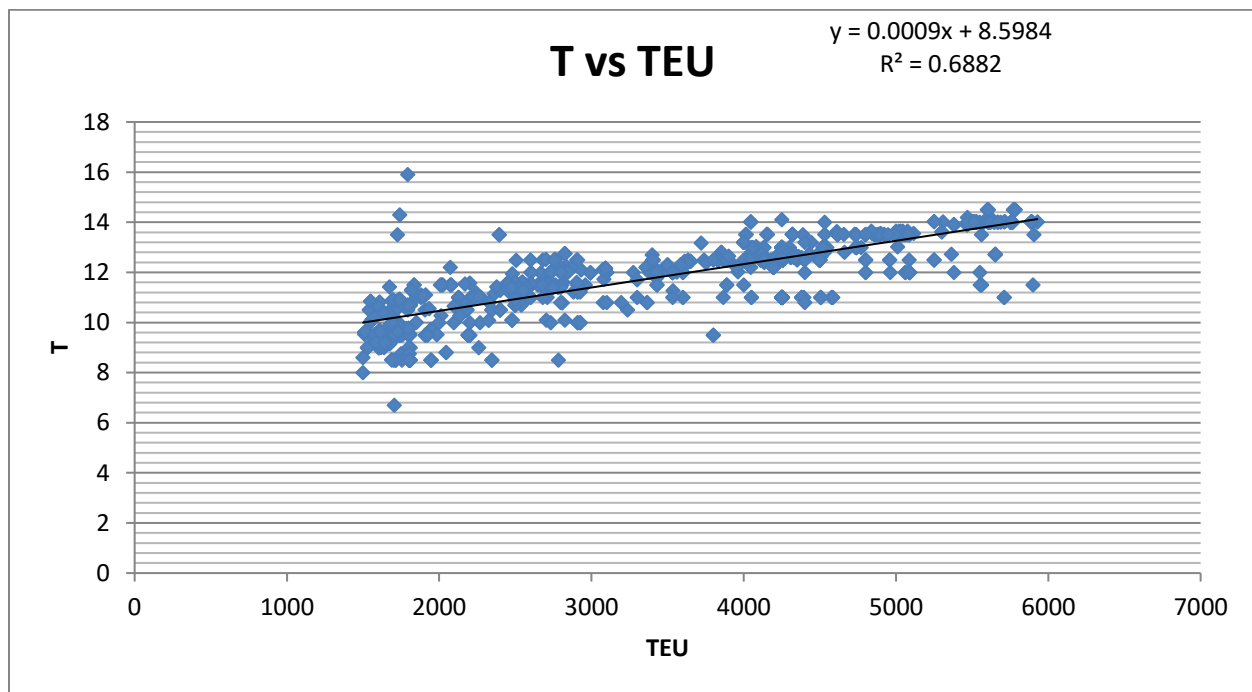
Έχοντας πλέον γνωστό τον συντελεστή γάστρας και όλα τα υπόλοιπα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου μπορούμε να υπολογίσουμε το βύθισμα T του πλοίου από τον τύπο του συντελεστή γάστρας.

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{BP} * B * T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{\nabla}{L_{BP} * B * C_B} \Rightarrow$$

$$T_2 = \frac{36,044.7 \text{ [m}^3\text{]}}{180 \text{ [m]} * 27.22 \text{ [m]} * 0.683} \Rightarrow$$

$$T_2 = 10.77 \text{ [m]}$$

4.9.3. Εκτίμηση Βυθίσματος T από Βάση Δεδομένων



Διάγραμμα 19 Παλινδρομική Ανάλυση Βυθίσματος T Συναρτήσεως του TEU για τα Πλοία από την Βάση Δεδομένων.

Από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι:

$$T = 0.0009 * TEU + 8.5984$$

Για το πλοίο μας ισχύει:

$$T_3 = 0.0009 * 1,900[\text{TEU}] + 8.5984$$

$$T_3 = 10.31 \text{ [m]}$$

4.9.4. Συνολική Εκτίμηση Βυθίσματος T

Έπειτα από τρεις μεθόδους υπολογισμού μπορούμε να υπολογίσουμε την τελική εκτίμηση του βυθίσματος T .

Μέθοδος	Εκτίμηση Βυθίσματος T [m]	Βαρύτητα
Διάγραμμα Παλινδρομικής Ανάλυσης Βυθίσματος Συναρτήσεως του DWT για Containerships [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2]	10.59	0.2
Χρήση Τύπου Συντελεστή Γάστρας	10.77	0.3
Από Βάση Δεδομένων	10.31	0.5

Πίνακας 10 Εκτίμηση Βυθίσματος για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Η τελική τιμή του βυθίσματος είναι:

$$T = T_1 * 0.2 + T_2 * 0.3 + T_3 * 0.5 \Rightarrow$$

$$T = 10.59 \text{ [m]} * 0.2 + 10.77 \text{ [m]} * 0.3 + 10.31 \text{ [m]} * 0.5 \Rightarrow$$

$$T = 10.5 \text{ [m]}$$

4.10. Διόρθωση του Γεωμετρικού Εκτοπίσματος Δ

Στην αρχή του κεφαλαίου έγινε μια αρχική εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ. Η εκτίμηση αυτή έγινε με σκοπό να υπολογιστούν οι υπόλοιπες κύριες διαστάσεις και οι συντελεστές μορφής. Εφόσον υπολογίστηκαν, η τιμή του εκτοπίσματος θα μεταβληθεί:

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{BP} * B * T} = \frac{\Delta}{\gamma_{sea} * L_{BP} * B * T} \Rightarrow$$

$$\Delta = C_B * \gamma_{sea} * L_{BP} * B * T \Rightarrow$$

$$\Delta = 0.683 * 1.025 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right] * 180 \text{ [m]} * 27.22 \text{ [m]} * 10.5 \text{ [m]}$$

$$\Delta = 36,015.92 \text{ [tn]}$$

Οπότε, ο όγκος εκτοπίσματος είναι:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\gamma_{sea}} = \frac{36,015.92 \text{ [tn]}}{1.025 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right]} \Rightarrow \nabla = 35,137.48 \text{ [m}^3\text{]}$$

4.11. Σύνοψη Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

Χωρητικότητα σε Containers TEU [units]	1,900
Υπηρεσιακή Ταχύτητα V_S [kn]	19
DeadWeight [tn]	26,610.9
Εκτόπισμα Δ [tn]	36,015.92
Όγκος Εκτοπίματος ∇ [m³]	35,137.48
Μήκος Μεταξύ Καθέτων L_{BP} [m]	180
Πλάτος B [m]	27.22
Βύθισμα T [m]	10.5
Κοίλο D [m]	15.72
Αριθμός Froude F_n	0.233
Συντελεστής Γάστρας C_B	0.683
Συντελεστής Μέσης Τομής C_M	0.978
Πρισματικός Συντελεστής C_P	0.698
Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας C_{WP}	0.779

Πίνακας 11 Συγκεντρωτικός Πίνακας Κύριων Διαστάσεων και Συντελεστών Μορφής του Πλοίου.

5. Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης

Στην αρχική φάση της μελέτης του πλοίου που τελικά στοχεύει στην προσέγγιση του ολικού βάρους (περιλαμβανομένου του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης) και του αντίστοιχου εκτοπίσματος του πλοίου, αρκεί μια αρχική προσέγγιση της ισχύος πρόωσης για τον υπολογισμό του βάρους της προωστήριου εγκατάστασης και των καυσίμων. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να γίνει με βάση εμπειρικούς τύπους, στοιχεία ομοίων πλοίων ή διαγράμματα από στατιστικά στοιχεία διαφόρων τύπων πλοίων.

5.1. Χρήση Τύπου Αγγλικού Ναυαρχείου

$$C_N = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} * V_S^3}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} * V_S^3}{C_N}$$

Για τον υπολογισμό της παραπάνω ισχύς πρέπει να υπολογίσουμε τη σταθερά Αγγλικού Ναυαρχείου από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο:

$$C_N = 3.7 * \left(\sqrt{L_{BP}} + \frac{75}{V_S} \right) \Rightarrow C_N = 3.7 * \left(\sqrt{180 \text{ [m]}} + \frac{75}{9.77 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]} \right) \Rightarrow$$

$$C_N = 78.04$$

Άρα ο τύπος του Αγγλικού Ναυαρχείου γίνεται:

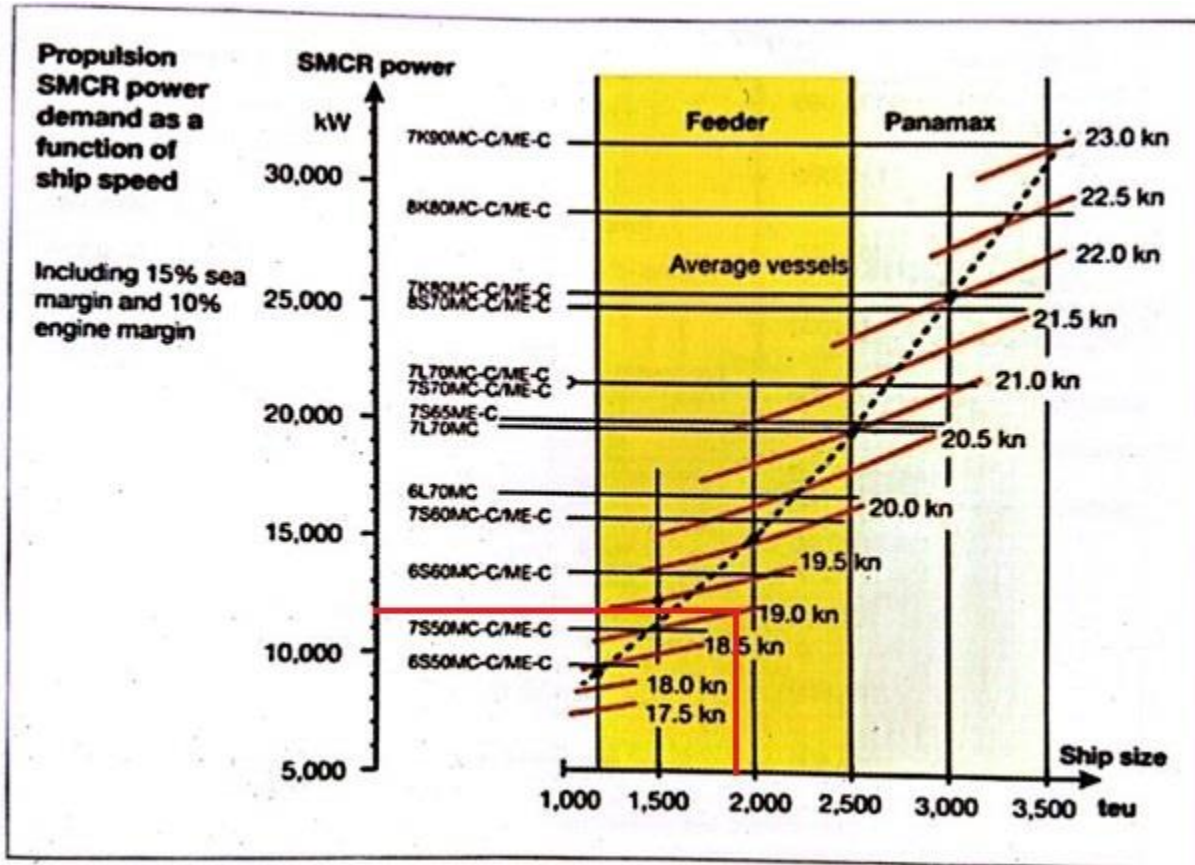
$$P_1 = \frac{36,015.92 \text{ [tn]}^{\frac{2}{3}} * 9.77 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^3}{78.04} \Rightarrow P_1 = 13,032.55 \text{ [kW]}$$

5.2. Παραλλαγή Τύπου Ναυαρχείου Κατά Völker

$$P_2 = \Delta^{0.567} * V^{3.6} * 10^{-3} = 36,015.92 \text{ [tn]}^{0.567} * 19 \text{ [kn]}^{3.6} * 10^{-3} \Rightarrow$$

$$P_2 = 15,383.15 \text{ [kW]}$$

5.3. Χρήση Διαγράμματος της MAN B&W Diesel A/S (2005)



Διάγραμμα 20 Προσέγγιση Εγκατεστημένης Ισχύος Πρόωσης Σύγχρονων Πλοίων Κατά MAN B&W Diesel A/S (2005).

Από το παραπάνω διάγραμμα για TEU=1,900 [units] & $V_s=19$ [kn] προκύπτει ότι η ισχύς πρόωσης είναι:

$$P_3 = 11,800 \text{ [kW]}$$

5.4. Συνολική Εκτίμηση της Ισχύος Πρόωσης

Έπειτα από τρεις διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης της ισχύος πρόωσης μπορούμε να εκτιμήσουμε την τελική τιμή της ισχύος.

Μέθοδος	Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης [kW]	Βαρύτητα
Τύπος Ναυαρχείου	13,032.55	0.4
Τύπου Ναυαρχείου Κατά Völker	15,383.15	0.4
Διάγραμμα MAN B&W	11,800	0.2

Πίνακας 12 Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Η τελική τιμή της ισχύος πρόωσης είναι:

$$P = P_1 * 0.4 + P_2 * 0.4 + P_3 * 0.2 \Rightarrow$$

$$P = 13,032.55[\text{kW}] * 0.4 + 15,383.15[\text{kW}] * 0.4 + 11,800 [\text{kW}] * 0.2 \Rightarrow$$

$$P = 13,726.28 [\text{kW}] \text{ ή}$$

$$P = 18,662.55 [\text{HP}]$$

5.5. Εκτίμηση Ισχύος Γεννητριών

Έχοντας πλέον εκτιμήσει την απαιτούμενη ισχύ της κύριας μηχανής του υπό μελέτη πλοίου δύναται να προσεγγιστεί η απαιτούμενη ισχύς των γεννητριών από τον παρακάτω τύπο:

$$P'_{\text{gen}} = 100 + 0.55 * P^{0.7} = 533.16 [\text{KW}]$$

Για λόγους ασφαλείας η απαιτούμενη ισχύς των γεννητριών προσαυξάνεται κατά 20% άρα έχουμε:

$$P_{\text{gen}} = 120\% * P'_{\text{gen}}$$

$$P_{\text{gen}} = 639.79 [\text{kW}]$$

5.6. Επιλογή Κύριας Μηχανής Πρόωσης & Γεννήτριας

Έπειτα από έρευνα σε διάφορους καταλόγους εταιριών κατασκευής ναυτικών κινητήρων, επιλέχθηκε τελικά για το υπό μελέτη πλοίο μας αργόστροφος κινητήρας της MAN B&W και συγκεκριμένα το μοντέλο 9S50ME-C8.5. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:⁵

Cylinder	9
Tier III Tech.	SCR (Selective Catalytic Reduction)
Fuel Sulphur Content	Low Sulphur (max: 0.1%)
Scrubber Type	Not Installed
Cooling System	Fresh Water
Propeller Type	FPP (Fixed Pitch Propeller)
Engine Layout	
MCR Speed	127 rpm
MCR Power	14,940 kW
SFOC	172 [gr/kWh]
NCR Speed	93.5 %
NCR Power	13,969 kW
Total Mass	295 tn

Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής.

⁵ <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations> , CEAS engine calculations.

Επίσης επιλέχθηκε ο ηλεκτροκινητήρας της εταιρίας MAN B&W και συγκεκριμένα το μοντέλο 6L23/30DF. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:⁶

Cylinder	6
Speed	720 rpm
Frequency	60 Hz
Engine Layout	
Eng. kW	750 kW
Gen. kW	710 kW
SFOC	204.6 [gr/kWh]
η_E	0.96

Πίνακας 14 Χαρακτηριστικά Ηλεκτροκινητήρα.

Για τις ανάγκες της παραγωγής ενέργειας του πλοίου επιλέγονται 3 ηλεκτροκινητήρες εκ των οποίων οι δύο θα είναι οι κύριοι και θα βρίσκονται σε εναλλάξ μόνιμη λειτουργία και ο τρίτος θα είναι εφεδρικός ο οποίος θα εναλλάσσεται αυτόματα σε περίπτωση βλάβης κάποιου από τους δύο κύριους.

⁶ <https://www.man-es.com/marine/products/23-30-28-32df?4453c05a-5763-44f9-b1fc-42de24aea5b3%5B%5D=1> , Sustainable, reliable power for a greener future.

6. Προϋπολογισμός Ομάδων Βαρών

Η ακριβέστερη προσέγγιση των ομάδων βαρών του πλοίου είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό βήμα τόσο κατά την προκαταρκτική όσο και την τελική φάση της μελέτης. Τυχόν λάθη επιδρούν σημαντικά τόσο στο μέγεθος της επιτευχθείσας μεταφορικής ικανότητας, όσο στην ταχύτητα, ευστάθεια και ασφάλεια του πλοίου. Επίσης, λόγω της έμμεσης σύνδεσης του κόστους ναυπήγησης με το βάρος του πλοίου και ιδιαίτερα εκείνου της μεταλλικής κατασκευής, πρέπει να επιτευχθεί το δυνατόν επακριβής εκτίμηση των διαφόρων ομάδων βαρών στην προκαταρκτική φάση της μελέτης που καταλήγει στην διατύπωση της αρχικής προσφοράς του ναυπηγείου προς τον ενδιαφερόμενο πλοιοκτήτη.

6.1. Ορισμοί & Ανάλυση Βαρών

Η Εξίσωση εκτοπίσματος είναι η εξής:

$$\Delta = W = L_S + DWT$$

Όπου, Δ : εκτόπισμα

W : ολικό βάρος πλοίου (Weight)

L_S : βάρος κενού σκάφους (LightShip)

DWT : πρόσθετο νεκρό βάρος (DeadWeight)

6.1.1. Ανάλυση Βάρους Κενού Σκάφους L_S

Αυτό το βάρος αντιστοιχεί στο βάρος του έτοιμου, πλήρως εξοπλισμένου και αξιόπλου πλοίου χωρίς εφόδια και ωφέλιμο φορτίο. Στο βάρος αυτό περιέχονται: λιπαντικά και νερό ψύξης μηχανών, τροφοδοτικό νερό λεβήτων, βάρος υγρών στις σωληνώσεις. Συγκεκριμένα αυτό το βάρος αντιστοιχεί χονδρικά στην κατάσταση παράδοσης του πλοίου από το ναυπηγείο στον πλοιοκτήτη. Αναλυτικά έχουμε:

$$L_S = W_H + W_M + R$$

Όπου, W_H : βάρος σκάφους (Hull Weight)

W_M : βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (Machinery Weight)

R : περιθώριο/ ανοχή υπολογισμών (Reserve)

Ανάλυση W_H

Το βάρος του σκάφους W_H μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω ως εξής:

$$W_H = W_{ST} + W_{OT}$$

Όπου, W_{ST} : βάρος μεταλλικής κατασκευής (Steel Weight)

W_{OT} : βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού (Outfit Weight)

Στο W_{ST} περιλαμβάνεται το βάρος όλων των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και αντιστοιχεί περίπου στο αντικείμενο εργασίας του ελασματοουργού ενός ναυπηγείου. Επίσης περιλαμβάνεται, πέραν του συνόλου των ελασμάτων και ενισχυτικών του πλοίου: τα στοιχεία έδρασης της μηχανής, οι υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα έστω και αν είναι διαφορετικό υλικό από χάλυβα, οι ιστοί, το πηδάλιο, ο άξονας πηδαλίου, τα στόμια κυτών, το δύφρακτο (παραπέτο).

Στο W_{OT} περιλαμβάνεται το βάρος όλων των επί του "γυμνού" σκάφους εφαρμοσμένων/ εγκατεστημένων και αποσυνδεδεμένων εξαρτημάτων του πλοίου χωρίς τη μηχανολογική εγκατάσταση. Κάποια στοιχεία του W_{ST} μπορεί να ενταχθούν εξ' αρχής στο W_{OT} όπως ιστοί και το πηδάλιο, ανάλογα με την πρακτική του ναυπηγείου.

Ανάλυση W_M

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR}$$

Όπου, W_{MM} : βάρος κύριας μηχανής (Main Machinery)

W_{MS} : βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας (Shaft- propeller Weight)

W_{MR} : βάρος λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων (Rest Weight)

Στο W_{MM} περιλαμβάνεται το βάρος της κύριας μηχανής και του μειωτήρα.

Στο W_{MR} περιλαμβάνεται τα βάρη που αντιστοιχούν στις αντλίες πάσης φύσεως, σωληνώσεις μηχανοστασίων, καπνοδόχοι, κύριες ηλεκτρογεννήτριες (η εφεδρική εντάσσεται πολλές φορές στο W_{OT}), μετασηματιστές, υποβοηθητικά στοιχεία της κύριας μηχανής.

Ορισμός R

Η ανοχή R προβλέπεται στην προμελέτη για τυχόν ανακριβείς αρχικές προσεγγίσεις των ομάδων βαρών. Οι συνήθεις τιμές κατά την προμελέτη σε % L_S , είναι για απλές κατασκευές 1-2% και για πολύπλοκες 2-3%. Με την πρόοδο της μελέτης η ανοχή R μικραίνει και καταλήγει στην ανοχή της κατασκευής, που καλύπτει τις ατέλειες ως προς το πραγματικό βάρος των επεξεργασμένων υλικών από εξωτερικούς προμηθευτές ή το ναυπηγείο. Κατά τη φάση της τελικής μελέτης, οι τιμές του είναι από 0.5-1% για απλά πλοία και 1-2% για τα σύνθετα (επιβατηγά, ψυγεία, κλπ.).

6.1.2. Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους DWT

$$DWT = W_{LO} + W_F + W_{PR} + W_P + W_{CR} + B$$

Όπου, W_{LO} : βάρος ωφέλιμου φορτίου (Payload)

W_F : βάρος καυσίμων (Fuel), περιλαμβάνει και εφεδρείες καυσίμων, λιπαντικά

W_{PR} : βάρος εφοδίων και νερού (Provisions)

W_P : βάρος επιβατών και αποσκευών (Persons and effects), περιλαμβάνεται στο payload, όπως το ωφέλιμο φορτίο

W_{CR} : βάρος πληρώματος (Crew)

B : βάρος μη μόνιμου έρματος (νερό) εφόσον απαιτείται στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης (βύθισμα μελέτης)

6.2. Διαδικασία Προϋπολογισμού Βάρους Άφορτου Σκάφους

Η διαδικασία που θα ακολουθήσει για τον υπολογισμό του βάρους L_S του υπό μελέτη πλοίου είναι η εξής:

- i. Υπολογισμός βάρους L_S του πατρικού σκάφους με προσεγγιστικές μεθόδους.
- ii. Σύγκριση αποτελέσματος με το πραγματικό βάρος L_S του πατρικού σκάφους και υπολογισμός συντελεστή διαφοράς λ .
- iii. Υπολογισμός βάρους L_S του υπό μελέτη πλοίου με τις ίδιες προσεγγιστικές μεθόδους του βήματος i.
- iv. Τέλος διαιρούμε το βάρος του υπό μελέτη πλοίου με τον συντελεστή διαφοράς λ , έτσι ώστε να πάρουμε το πραγματικό βάρος L_S του υπό μελέτη πλοίου.

6.3. Προϋπολογισμός Βάρους L_S Πατρικού Πλοίου

Τα στοιχεία του πατρικού σκάφους που θα χρειαστούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

6.3.1. Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST} Πατρικού Πλοίου

Στο βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{ST} περιλαμβάνονται το κυρίως σκάφος, οι υπερκατασκευές, καθώς και ορισμένα μεταλλικά εξαρτήματα όπως οι κυψέλες στοιβασίας των container.

6.3.1.1. Μέθοδος Watson

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο μπορούμε να υπολογίσουμε το W_{ST} αφού πρώτα υπολογιστεί ο δείκτης εξοπλισμού E_N (Equipment Numerical) του πλοίου κατά Lloyds Register:

$$E_N = L * (B + T) + 0.8 * L * (D - T) + 0.85 * \sum_{i=1}^{N_1} h_{1i} * l_{1i} + 0.75 * \sum_{i=1}^{N_2} h_{2i} * l_{2i}$$

Όπου:

- N_1, h_{1i}, l_{1i} : Αριθμός, ύψος, μήκος αντίστοιχα, των υπερστεγασμάτων με πλάτος υπερσταγάσματος μέχρι 0.92B.

- N_2, h_{2i}, l_{2i} : Αριθμός, ύψος, μήκος αντίστοιχα, των υπερκατασκευών με πλάτος υπερκατασκευής μεγαλύτερο από 0.92B σύμφωνα με τους ορισμούς του κανονισμού γραμμής φόρτισης.

Από το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου μετρήθηκαν οι διαστάσεις των υπερκατασκευών και υπερσταγασμάτων:

Υπεραστεγάσματα	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l×h [m ²]
B DECK	14.40	3.00	43.20
C DECK	14.40	3.00	43.20
D DECK	14.40	2.90	41.76
E DECK	12.00	2.90	34.80
NAV. DECK	12.00	2.90	34.80
COMPASS DECK	12.48	2.80	34.94
		Sum	232.7 m²

Πίνακας 15 Διαστάσεις Υπερσταγασμάτων Πατρικού Πλοίου.

Υπερκατασκευές	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l×h [m ²]
A DECK	14.40	4.00	57.60
Πρόστεγο	29.45	2.70	79.52
		Sum	137.12 m²

Πίνακας 16 Διαστάσεις Υπερκατασκευών Πατρικού Πλοίου.

Οπότε προκύπτει ότι το E_N :

$$E_N = 160[m] * (29.8[m] + 9.5[m]) + 0.8 * 160[m] * (14.5[m] - 9.5[m]) + 0.85 * 232.7[m^2] + 0.75 * 137.12[m^2] \Rightarrow$$

$$E_N = 160[m] * 39.3[m] + 128[m] * 5[m] + 197.8[m^2] + 102.84[m^2] \Rightarrow$$

$$E_N = 6,288[m^2] + 640[m^2] + 197.8[m^2] + 102.84[m^2] \Rightarrow$$

$$E_N = 7,228.64 [m^2]$$

Για το βάρος μεταλλικής κατασκευής ισχύει:

$$(W_{ST})^* = k * E_N^{1.36}$$

Όπου, k είναι η μέση τιμή του συντελεστή βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά Watson (1998) και ισχύει για κατασκευές από 100% κανονικό χάλυβα (mild steel). Για containers η τιμή του συντελεστή αυτού είναι k=0.036. Άρα:

$$(W_{ST})^* = 0.036 * 7,228.64^{1.36} \Rightarrow$$

$$(W_{ST})^* = 6,377.04 [tn]$$

Έπειτα υπολογίζεται ο συντελεστής γάστρας στο 0.8D:

$$C_{B(0.8D)} = C_B + \frac{(1 - C_B) * (0.8 * D - T)}{3 * T} = 0.7015 + \frac{(1 - 0.7015) * (0.8 * 14.5[m] - 9.5[m])}{3 * 9.5[m]} \Rightarrow$$

$$C_{B(0.8D)} = 0.7235$$

Επειδή $C_{B(0.8D)} \neq 0.7$ τότε απαιτείται διόρθωση στο $(W_{ST})^*$:

$$W_{ST1} = (W_{ST})^* * (1 + 0.5(C_{B(0.8D)} - 0.7)) \Rightarrow$$

$$W_{ST1} = 6,377.04[tn] * (1 + 0.5(0.7235 - 0.7)) \Rightarrow$$

$$W_{ST1} = 6,451.97 [tn]$$

6.3.1.2. Μέθοδος Schneekluth και Muller-Coster

Η μέθοδος αυτή χωρίζεται σε δύο τμήματα: Στον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής μέχρι το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα (D) με την μέθοδο Schneekluth και στον υπολογισμό του βάρους των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων με την μέθοδο Muller-Coster.

Μέθοδος Schneekluth

Για την προσέγγιση του βάρους είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος $\nabla_u[m^3]$.

$$\nabla_u = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H$$

Όπου:

∇_D = όγκο έως το κοίλο D

∇_S = Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

∇_b = Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος

∇_H = Αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών

Για το ∇_D :

$$\nabla_D = L_{BP} * B * D * C_{BD}, \text{ με } C_{BD} = C_B + C_1 * \frac{D-T}{T} * (1 - C_B)$$

όπου, $C_1 \cong 0.25$ για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου.

Άρα έχουμε:

$$C_{BD} = 0.7015 + 0.25 * \frac{14.5[m] - 9.5[m]}{9.5 [m]} * (1 - 0.7015) \Rightarrow$$

$$C_{BD} = 0.7408$$

Οπότε τελικά για το ∇_D έχουμε:

$$\nabla_D = 160[m] * 29.8[m] * 14.5[m] * 0.7408 \Rightarrow$$

$$\nabla_D = 51,215.95 [m^3]$$

Για το ∇_S :

Επειδή, το πατρικό πλοίο δεν έχει σιμότητα τότε:

$$\nabla_S = 0$$

Για το ∇_H :

Επειδή, το πατρικό πλοίο δεν έχει ανοίγματα κυτών, τότε:

$$\nabla_H = 0$$

Για το ∇_b :

$$\nabla_b = L_{BP} * B * b * C_3$$

Όπου, b η κυρτότητα του καταστρώματος και $C_3 \cong 0.7 * C_{BD}$ άρα:

$$C_3 = 0.7 * 0.7408 \Rightarrow C_3 = 0.5186$$

Και από το σχέδιο μέσης τομής του πατρικού σκάφους μετρήθηκε ότι η κυρτότητα του καταστρώματος είναι $b = 0.2 [m]$

Άρα:

$$\nabla_b = 160[m] * 29.8[m] * 0.2[m] * 0.5186 \Rightarrow$$

$$\nabla_b = 494.54 [m^3]$$

Συνεπώς ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος είναι:

$$\nabla_u = 51,215.95[m^3] + 0[m^3] + 494.54[m^3] + 0[m^3] \Rightarrow$$

$$\nabla_u = 51,710.49 [m^3]$$

Το W' ST χωρίς τις υπερκατασκευές δίδεται συναρτήσει του υπολογισμένου συνολικού όγκου ∇_u , ενός συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους C' ST και διαφόρων διορθώσεων.

Για containerships , ο συντελεστής αυτός είναι $C'_{ST} = 0.093 \text{ t/m}^3$.

Αναλυτικά ο τύπος του W'_{ST} είναι:

$$W'_{ST} = \nabla_u * C'_{ST} * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5$$

Όπου,

- $\alpha_1 = 1 + 0.002 * (L_{BP} - 120)^2 * 10^{-3} = 1 + 0.002 * (160[\text{m}] - 120)^2 * 10^{-3} \Rightarrow$

$$a_1 = 1.0032 [\text{m}]$$

- $\alpha_2 = 1 + 0.057 * \left(\frac{L_{BP}}{D} - 12\right) = 1 + 0.057 * \left(\frac{160[\text{m}]}{14.5[\text{m}]} - 12\right) \Rightarrow$

$$a_2 = 0.9450$$

- $\alpha_3 = \left(\frac{30}{D+14}\right)^{0.5} * \left(1 + 0.1 * \left(\frac{B}{D} - 2.1\right)\right)^2 = \left(\frac{30}{14.5[\text{m}]+14}\right)^{0.5} * \left(1 + 0.1 * \left(\frac{29.8[\text{m}]}{14.5[\text{m}]} - 2.1\right)\right)^2 \Rightarrow$

$$a_3 = 1.0262 \left[\frac{1}{\text{m}}\right]$$

- $\alpha_4 = 1 + 0.2 * \left(\frac{T}{D} - 0.85\right) = 1 + 0.2 * \left(\frac{9.5[\text{m}]}{14.5[\text{m}]} - 0.85\right) \Rightarrow$

$$a_4 = 0.9610$$

- $\alpha_5 = 0.92 + (1 - C_B)^2 = 0.92 + (1 - 0.7015)^2 \Rightarrow$

$$a_5 = 1.0091$$

Άρα το βάρος W'_{ST} γίνεται:

$$W'_{ST} = 51,710.49[\text{m}^3] * 0.093 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3}\right] * 1.0032[\text{m}] * 0.9450 * 1.0262 \left[\frac{1}{\text{m}}\right] * 0.9610 * 1.0091 \Rightarrow$$

$$W'_{ST} = 4,537.02 [\text{tn}]$$

Τα βάρη των κυψελών στοιβασίας των κιβωτίων περιλαμβάνονται στο W'_{ST} . Για κανονικό container με μήκος 20' το βάρος για σταθερή κυψέλη στοιβασίας είναι ενδεικτικά:

$$\frac{W_{ST(\text{TEU})}}{\text{TEU}} = 0.70 \left[\frac{\text{tn}}{\text{TEU}}\right], \text{ άρα για TEU} = 1,700 [\text{units}] \text{ έχουμε:}$$

$$W_{ST(\text{TEU})} = 0.70 \left[\frac{\text{tn}}{\text{TEU}}\right] * 1,700[\text{TEU}] \Rightarrow W_{ST(\text{TEU})} = 1190 [\text{tn}]$$

Οπότε το τελικό W_{ST} γίνεται :

$$W_{ST(\text{Schneekluth})} = W'_{ST} + W_{ST(\text{TEU})} = 4,537.02[\text{tn}] + 1,190[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{ST(\text{Schneekluth})} = 5,727.02 [\text{tn}]$$

Μέθοδος Muller-Coster

Προχωρώντας σε αυτή τη μέθοδο, γίνεται υπολογισμός του βάρους των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων. Συγκεκριμένα θα υπολογισθούν τα βάρη για τα εξής:

- Υπερστεγάσματα (W_{DH})
- Πρόστεγο (W_{BACK})
- Επίστεγο A DECK (υπερστέγασμα)
- Οικίσκος (W_{WH})

Για το πρόστεγο W_{BACK} :

Το βάρος του προστέγου, δίνεται από τον τύπο:

$$W_{back} = C_{BACK} * \nabla_{BACK}$$

Το C_{BACK} είναι το ογκομετρικό βάρος του προστέγου και για πλοία με $L \geq 140$ m, είναι:

$$C_{BACK} = 100 \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^3} \right] = 0.1 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right]$$

Οι διαστάσεις του προστέγου είναι $l_{BACK} = 29.45\text{m}$ (μήκος) & $h_{BACK} = 2.7\text{m}$ (ύψος)

- Για ύψος προστέγου $h_{BACK} = 2.5 \div 3.25\text{m}$ τότε δεν παίρνει διόρθωση.
- Για μήκος προστέγου $l_{BACK} = 0 \div 0.2L_{BP} = 32\text{m}$ τότε δεν παίρνει διόρθωση.

Οπότε το $C_{BACK} = 0.1 [\text{tn}/\text{m}^3]$

Ο όγκος του προστέγου, υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της άνω επιφάνειας του με το ύψος του. Για το εμβαδόν γίνεται χρήση του κανόνα Simpson. Εάν Δx η ισαπόσταση κατά το πλάτος και $f(x)$ τα μήκη σε κάθε σημείο που γίνεται ο διαχωρισμός, τότε:

Συντελεστές [1]	f(x) [2] [m]	[1]*[2]	Δx [m]
1	0	0	2.483
4	18.274	73.096	
2	23.066	46.132	
4	26.266	105.064	
2	27.866	55.732	
4	28.688	114.752	
2	29.45	58.9	
4	28.688	114.752	
2	27.866	55.732	
4	26.266	105.064	
2	23.066	46.132	
4	18.274	73.096	
1	0	0	
	Sum	848.452 [m]	

Πίνακας 17 Μέθοδος Simpson για Πρόστεγο Πατρικού Πλοίου.

$$A_{\text{BACK}} = \frac{\delta x}{3} * \text{Sum} = \frac{2.483[\text{m}]}{3} * 848.452[\text{m}] \Rightarrow A_{\text{BACK}} = 702.24 [\text{m}^2]$$

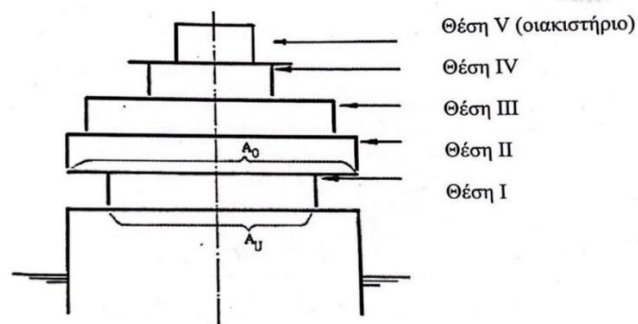
$$\text{Άρα, } \nabla_{\text{BACK}} = A_{\text{BACK}} * h_{\text{BACK}} = 702.24[\text{m}^2] * 2.70[\text{m}] \Rightarrow \nabla_{\text{BACK}} = 1,896.048 [\text{m}^3]$$

Τελικά το βάρος του προστέγου είναι:

$$W_{\text{BACK}} = \nabla_{\text{BACK}} * C_{\text{BACK}} = 1,896.048[\text{m}^3] * 0.1 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right] \Rightarrow$$

$$W_{\text{BACK}} = 189.60 [\text{tn}]$$

Τα υπερστεγάσματα του καταστρώματος, καταλαμβάνουν περισσότερα από ένα καταστρώματα και δεν θεωρούνται μία ενιαία κατασκευή, αλλά ως ξεχωριστά τμήματα. Το μέρος του στεγάσματος που βρίσκεται επί του κύριου καταστρώματος χαρακτηρίζεται ως θέση I, το επόμενο ως θέση II κλπ., όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7 Ορισμός Θέσεων Στεγασμάτων Καταστρώματος Κατά Muller-Coster [ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 1].

Το βάρος ενός τμήματος υπερστεγάσματος στη θέση I-IV ή του οιακιστηρίου προκύπτει από τον τύπο:

$$W_{DH} = C_{DH} * A_m * h * k_1 * k_2 * k_3$$

Όπου:

- C_{DH} : Ο ογκομετρικός συντελεστής βάρους σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα για ενδιάμεσες τιμές A_o/A_u (δυνατή η παρεμβολή) .
- A_o : Το εμβαδόν του υπερκείμενου καταστρώματος.
- A_u : Το εμβαδόν της στεγασμένης επιφάνειας του καταστρώματος.
- A_m : Ο μέσος όρος των A_o & A_u .
- h : Το ύψος του υπερστεγάσματος.
- k_1, k_2, k_3 : Διορθωτικοί συντελεστές (φαίνονται παρακάτω οι τύποι).

Τα εμβαδά A_o & A_u , καθώς και το ύψος h μετριοούνται από το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου και στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του ογκομετρικού βάρους C_{DH} χρησιμοποιώντας τον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές είναι σε $[kr/m^3]$, άρα θα γίνει η κατάλληλη μετατροπή σε $[tn/m^3]$.

θέση	I	II	III	IV	Οιακιστήριο
A_o/A_u					
1.0	57	55	52	53	40
1.25	64	63	59	60	45
1.5	71	70	65	66	50
1.75	78	77	72	73	55
2.0	86	84	78	80	60
2.25	93	91	85	86	65
2.5	100	98	91	93	70

Πίνακας 18 Τιμές Συντελεστή C_{DH} Πατρικού Πλοίου.

Για τους διορθωτικούς συντελεστές ισχύει:

- $k_1 = 1 + 0.02 * (h - 2.6[m])$, εάν το ύψος του στεγάσματος είναι διάφορο του 2.6m.
- $k_2 = 1 + 0.05 * (4.5 - \frac{l_1}{l_{DH}})$, εάν το ολικό μήκος των εσωτερικών τοιχωμάτων l_1 είναι διάφορο του κανονικού (4,5 x μήκος στεγάσματος l_{DH}).
- Διόρθωση για μήκος πλοίου σημαντικά διάφορο του $L_{BP} = 150m$, δηλαδή για $\delta L_{BP} \geq \pm 30m$. Σε αυτή την περίπτωση ισχύει:
 $k_3 = 0.95$, για $L_{BP} = 100m$
 $k_3 = 1.10$, για $L_{BP} = 230m$
για ενδιάμεσες τιμές, γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κατασκευάζεται ο πίνακας με τα τελικά αποτελέσματα για κάθε θέση υπερστεγάσματος.

Υπερστεγάζματα	A DECK	B DECK	C DECK	D DECK	E DECK	NAV. DECK	COMPASS DECK
l_o [m]	14.40	14.40	14.40	14.40	12.00	12.00	12.48
b_o [m]	29.60	26.40	26.40	26.40	26.40	22.40	17.60
A_o [m²]	426.24	380.16	380.16	380.16	316.80	268.80	219.65
l_u [m]	14.40	14.40	14.40	14.40	12.00	12.48	12.48
b_u [m]	25.20	22.40	22.40	22.40	22.40	15.60	17.60
A_u [m²]	362.88	322.56	322.56	322.56	268.80	194.69	219.65
A_o/A_u	1.175	1.179	1.179	1.179	1.179	1.381	1.000
A_m [m²]	394.56	351.36	351.36	351.36	292.80	231.75	219.65
C_{DH} [tn/m³]	0.0619	0.0607	0.057	0.058	0.058	0.0476	0.053
h [m]	4.00	3.00	3.00	2.90	2.90	2.90	2.80
k₁	1.028	1.008	1.0008	1.006	1.006	1.006	1.004
l_l [m]	54.00	54.40	71.20	53.60	45.60	48.80	41.00
l_{DH} [m]	14.40	14.40	14.40	14.40	12.00	12.00	12.48
k₂	1.038	1.036	0.978	1.039	1.035	1.022	1.061
k₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W_{DH}	104.2	66.8	59.2	61.8	51.3	32.9	34.7

Πίνακας 19 Βάρος Υπερστεγασμάτων Πατρικού Πλοίου Κατά Muller-Coster.

Επομένως, το ολικό βάρος των υπερστεγασμάτων είναι:

$$\sum_{i=A \text{ DECK}}^{\text{COMPASS DECK}} W_{DHi} \Rightarrow$$

$$W_{DH} = 410.9 \text{ [tn]}$$

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, το βάρος της μεταλλικής κατασκευής με τη μέθοδο Schneekluth και Muller-Coster είναι:

$$W_{ST2} = W_{ST(\text{schneekluth})} + W_{\text{BACK}} + W_{DH} = 5,727.02[\text{tn}] + 189.60[\text{tn}] + 410.9[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{ST2} = 6,327.52 \text{ [tn]}$$

6.3.1.3. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}

Έπειτα από δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού του W_{ST} είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε με περισσότερη ακρίβεια το τελικό αποτέλεσμα του W_{ST}. Η Μέθοδος Schneekluth & Muller-Coster έχει λίγο παραπάνω βαρύτητα επειδή σαν μέθοδος είναι πιο αναλυτική, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής [tn]	Βαρύτητα
Watson	6,453.45	0.4
Schneekluth & Muller-Coster	6,327.52	0.6

Πίνακας 20 Υπολογισμός Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής Πατρικού Πλοίου για τις Δύο Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα, από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_{ST} = 0.4 * W_{ST1} + 0.6 * W_{ST2} = 0.4 * 6,453.45[tn] + 0.6 * 6,327.52[tn] \Rightarrow$$

$$W_{ST} = 2,581.38[tn] + 3,796.51[tn] \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{ST} = 6,377.89 [tn]}$$

6.3.2. Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT} Πατρικού Πλοίου

Στο βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} , περιλαμβάνονται όλα τα επί του «γυμνού» σκάφους εφαρμοσμένα εξαρτήματα του πλοίου, πλην της μηχανολογικής εγκατάστασης.

6.3.2.1. Προσεγγιστικοί Τύποι για Φορτηγά Πλοία

Ο γενικός τύπος υπολογισμού του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού είναι:

$$W_{OT} = k_{OT} * L_{BP} * B$$

Όπου, $k_{OT} = 0.34 \div 0.38 \left[\frac{tn}{m^2} \right]$, για Containerships

Επειδή το πατρικό πλοίο είναι σχετικά μικρό για την κλάση του η τιμή του k_{OT} θα ληφθεί ως:

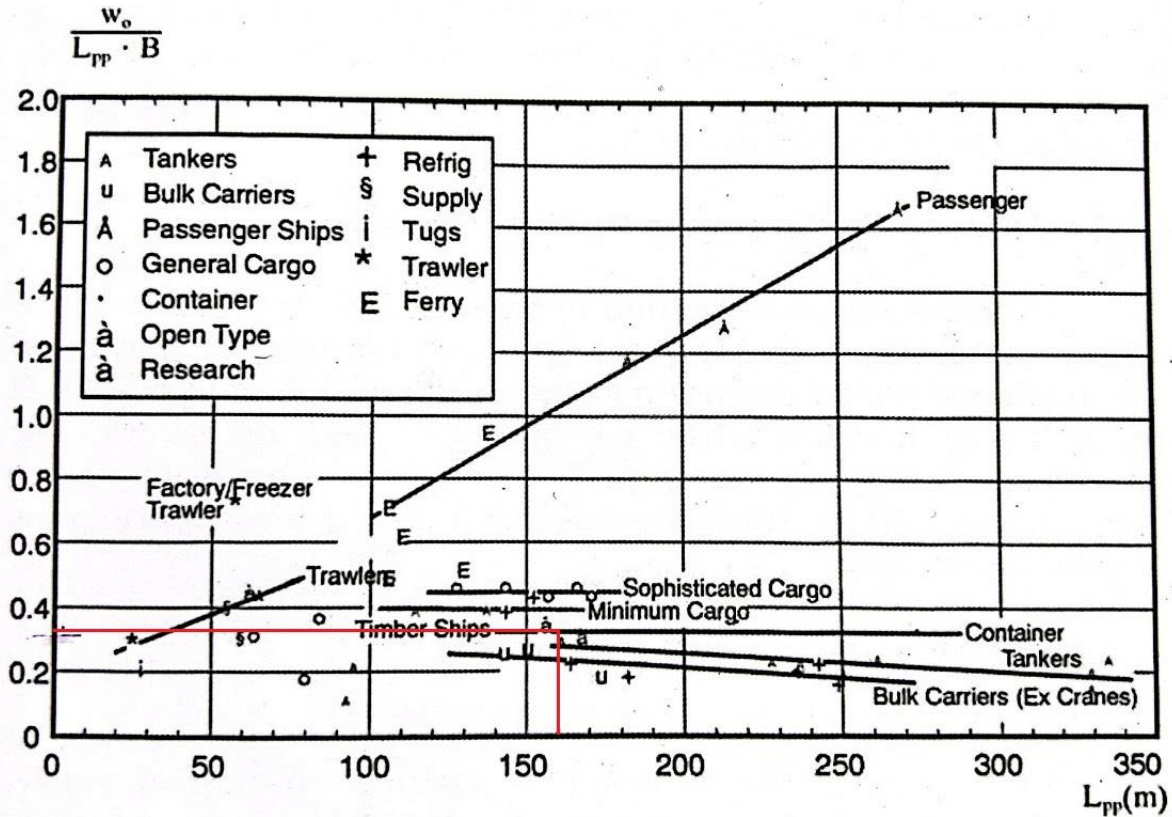
$$k_{OT} = 0.34 \left[\frac{tn}{m^2} \right]$$

Άρα τελικά το συνολικό βάρος είναι:

$$W_{OT1} = 0.34 \left[\frac{tn}{m^2} \right] * 160[m] * 29.8[m] \Rightarrow$$

$$W_{OT1} = 1,621.10 [tn]$$

6.3.2.2. Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} Από Διάγραμμα Κατά Watson



Διάγραμμα 21 Λόγος Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Προς $L \cdot B$ Συναρτήσει του Μήκους L Κατά Watson (1998).

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι για $L_{BP} = 160\text{m}$ τότε:

$$\frac{W_{OT2}}{L_{BP} \cdot B} = 0.34 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^2} \right] \Rightarrow W_{OT2} = 0.34 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^2} \right] * 160[\text{m}] * 29.8[\text{m}] \Rightarrow$$

$$W_{OT2} = 1,621.10 [\text{tn}]$$

6.3.2.3. Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Κατά Strohbusch

Η βάση αυτής της μεθόδου είναι η ανάλυση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε υποομάδες. Για κάθε υποομάδα, δίδεται ο συντελεστής βάρους w . Οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος του και τον εξοπλισμό που διαθέτει. Με βάση τον συντελεστή κάθε ομάδας μπορεί να υπολογιστεί και το βάρος της αντίστοιχα, από τον τύπο:

$$w_i = \frac{W_{OTi}}{L_{BP} \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{OTi} = w_i \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D$$

Οι ομάδες στις οποίες αναλύεται το βάρος W_{OT} είναι οι παρακάτω:

- Χονδρές ξυλουργικές εργασίες (ξύλινα καταστρώματα, ξύλινες επενδύσεις χώρων κυτών κ.α.).
 - 1) Μονωτικές εργασίες (βάρος μόνωσης συναρτήσει του υλικού).
 - 2) Χωματουργικές και αντιδιαβρωτικές εργασίες (χρώματα, πισταρίσματα, πλακοστρώσεις δαπέδων και τοιχωμάτων).
- Μικρές ξυλουργικές εργασίες (ενδιάμεσα τοιχώματα ενδιαίτησης, πόρτες κ.α.).
- Σωληνουργικές εργασίες σκάφους (σωλήνες ερματισμού, απάντλησης, θέρμανσης κ.α.).
- Μηχανουργικές εργασίες (χαλύβδινες πόρτες, καλύμματα στομιών κυτών και ανοιγμάτων φρακτών κ.α.).
- Φορτοεκφορτωτικά σκευή (βραχίονες φορτωτήρα, σχοινιά, τροχαλίες κ.α.).
- Σκευή ρυμούλκησης και όρμησης (όλα τα σκευή ρυμούλκησης και όρμησης πλην των βαρούλκων).
 - 1) Ψυκτικά μηχανήματα (για χώρους φορτίου).
 - 2) Λοιπά βοηθητικά μηχανήματα (μηχανισμούς πηδαλίου, εγκατάσταση κλιματισμού, πυρόσβεσης κ.α.).
- Λοιπός εξοπλισμός (άγκυρες, αλυσίδες, κάβοι, караβόπανα κ.α.).

Με βάση τα παραπάνω, κατασκευάζεται ο πίνακας, στον οποίο φαίνεται το εύρος της τιμής w κάθε ομάδας για φορτηγά πλοία (συμπεριλαμβάνει τα Containerships), η τιμή που εκλέγεται, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα του βάρους της κάθε ομάδας σε [tn].

Ομάδα Βάρους	Εύρος τιμής w [kr/m ³]	Τιμή w [tn/m ³]	W_{OT} [tn]
I	1.5 ÷ 6.0	0.0015	103.7
II 1	-	0	0
II 2	4.0 ÷ 7.0	0.0045	311.11
III	5.0 ÷ 6.0	0.005	345.68
IV	1.2 ÷ 1.5	0.0012	82.96
V	2.0 ÷ 4.0	0.0025	172.84
VI	2.5 ÷ 4.0	0.003	207.41
VII	1.0 ÷ 1.5	0.0011	76.05
VIII 1	-	0	0
VIII 2	4.0 ÷ 7.0	0.0045	311.11
IX	2.0 ÷ 3.0	0.0025	182.84

Πίνακας 21 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Φορτηγών Πλοίων Κατά Strohbusch για Πατρικό Πλοίο.

Τελικά το βάρος W_{OT} σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα είναι:

$$W_{OT3} = \sum_{i=1}^{IX} W_{OTi} \Rightarrow W_{OT3} = 1,783.71 \text{ [tn]}$$

6.3.2.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}

Έπειτα από τρεις διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης του W_{OT} είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την τελική τιμή του. Η βαρύτητα της κάθε μεθόδου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής [tn]	Βαρύτητα
Προσεγγιστικός τύπος	1,621.10	0.45
Διάγραμμα Κατά Watson	1,621.10	0.45
Κατά Strohbusch	1,783.71	0.1

Πίνακας 22 Υπολογισμός Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Πατρικού Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_{OT} = 0.45 * W_{OT1} + 0.45 * W_{OT2} + 0.15 * W_{OT3} \Rightarrow$$

$$W_{OT} = 0.45 * 1,621.10[tn] + 0.45 * 1,621.10[tn] + 0.1 * 1,783.71[tn] \Rightarrow$$

$$W_{OT} = 729.50[tn] + 729.50[tn] + 178.37[tn] \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{OT} = 1, 637. 39 [tn]}$$

6.3.3. Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M Πατρικού Πλοίου

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης, μπορεί να αναλυθεί ως:

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR}$$

Όπου, W_{MM} : βάρος κύριας μηχανής

W_{MS} : βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας

W_{MR} : βάρος λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων.

Το W_M περιλαμβάνει αναλυτικά τα εξής βάρη:

- Κύρια κινητήρια εγκατάσταση αποτελούμενη από τις μηχανές με τυχόν μειωτήρες (W_{MM}).
- Το σύστημα εξάτμισης (W_{MR}).
- Τις έλικες και το σύστημα μετάδοσης κίνησης στην έλικα, δηλαδή ελικοφόρους άξονες, έδρανα αξόνων, στορείς (W_{MS}).
- Τις ηλεκτρογεννήτριες (W_{MR}).
- Αντλίες, συμπιεστές, διαχωριστές (W_{MR}).

- Σωληνώσεις μηχανοστασίου και διπυθμένων για την άντληση καυσίμου ή έρματος (W_{MR}).
- Εγκατάσταση παραγωγής πόσιμου νερού (W_{MR}).
- Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (W_{MR}).
- Λοιπός εξοπλισμός μηχανοστασίου: κλίμακες, σχάρες δαπέδων, θερμό-ηχομονώσεις (W_{MR}).

6.3.3.1. Προσεγγιστικός Τύπος Watson-Gilfillan

$$W_M = C_{MD} * P_B^{0.89}$$

Όπου, P_B : ισχύς πέδης κύριας μηχανής

$C_{MD} = 0.21$ για μεσόστροφες Δήζελ & $C_{MD} = 0.3 \div 0.5$ για αργόστροφες Δήζελ.

Από τα στοιχεία του πατρικού σκάφους, η ισχύς πρόωσης είναι:

$$P_B = 14,280 \text{ [kW]}$$

Επίσης, ο κινητήρας είναι αργόστροφος οπότε:

$$C_{MD} = 0.3 \div 0.5 \rightarrow C_{MD} = 0.3$$

Άρα τελικά έχουμε:

$$W_{M1} = 0.3 * 14,280^{0.89} \Rightarrow$$

$$W_{M1} = 1,495.65 \text{ [tn]}$$

6.3.3.2. Προσέγγιση Συναρτήσεϊ Βάρους της Κύριας Μηχανής

Για αργόστροφες δηζελοκινητήριες εγκαταστάσεις το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να υπολογισθεί ως εξής:

$$W_M = C_{M1} * W_{MM}$$

Όπου, W_{MM} : το βάρος της κύριας μηχανής

Και $C_{M1} = 2.2 \div 3.6 \Rightarrow C_{M1} = 2.2$

Η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη στο πατρικό πλοίο είναι η MAN-B&W 6S60ME-C8.2 (tier II).

Άρα από το manual της μηχανής βρίσκουμε ότι το βάρος της είναι⁷:

⁷ https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60ME-C8_2.pdf , MAN B&W S60ME-C8.2 TII Project Guide.

$$W_{MM} = 315 \text{ [tn]}$$

Άρα: $W_{M2} = 2.2 * 315 \text{ [tn]} \Rightarrow$

$$W_{M2} = 693.00 \text{ [tn]}$$

6.3.3.3. Εκτίμηση Κατά Strohbusch

Για την εκτίμηση του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης με αυτή τη μέθοδο θα γίνει χρήση μίας σειράς εμπειρικών συντελεστών (Επιλέγουμε τη μέση τιμή για κάθε εύρος) για τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.

Συντελεστές	Εύρος	Τελική Τιμή
$w_1 \text{ [tn/m}^3\text{]}$	0.01 ÷ 0.015	0.0125
$w_2 \text{ [tn/HP]}$	0.035 ÷ 0.050	0.0425
$w_3 \text{ [tn/HP]}$	0.005 ÷ 0.01	0.0075
$w_4 \text{ [tn/HP]}$	0.03 ÷ 0.04	0.035
$w_5 \text{ [tn/HP]}$	0.085 ÷ 0.090	0.0875

Πίνακας 23 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Μηχανολογικής Εγκατάστασης Φορητών Πλοίων κατά Strohbusch.

Αρχικά θα κάνουμε μετατροπή της μονάδας ισχύος του πατρικού πλοίου:

$$14,280 \text{ [kW]} = 14,280 * 1.341 \text{ [HP]} = 19,149.5 \text{ [HP]}$$

Θεωρούμε βαθμό απόδοσης στον άξονα $n_s = 0.98$ άρα προκύπτει:

$$\text{SHP} = \text{BHP} * n_s = 19,149.5 \text{ [HP]} * 0.98 \Rightarrow \text{SHP} = 18,766.5 \text{ [HP]}$$

Οπότε από τους ορισμούς των συντελεστών γίνεται ο υπολογισμός των βαρών W_{MM} , W_{MS} , W_{MR} .

Για το W_{MR} έχουμε:

- $w_1 = \frac{W_{MR(1)}}{L_{BP} * B * D} \Rightarrow W_{MR(1)} = 0.0125 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right] * 160 \text{ [m]} * 29.8 \text{ [m]} * 14.5 \text{ [m]}$

$$W_{MR(1)} = 864.2 \text{ [tn]}$$

- $w_2 = \frac{W_{MR(2)}}{\text{SHP}} \Rightarrow W_{MR(2)} = 0.0425 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 18,766.5 \text{ [HP]}$

$$W_{MR(2)} = 797.6 \text{ [tn]}$$

Άρα $W_{MR} = \frac{W_{MR(1)} + W_{MR(2)}}{2} = \frac{864.2 \text{ [tn]} + 797.6 \text{ [tn]}}{2} \Rightarrow W_{MR} = 830.9 \text{ [tn]}$

Για το W_{MS} έχουμε:

$$w_3 = \frac{W_{MS}}{SHP} \Rightarrow W_{MS} = 0.0075 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 18,766.5[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W_{MS} = 140.7 [\text{tn}]$$

Για το W_{MM} έχουμε:

$$w_4 = \frac{W_{MM}}{SHP} \Rightarrow W_{MM} = 0.035 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 18,766.5[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W_{MM} = 656.8 [\text{tn}]$$

Άρα τελικά έχουμε: $W'_M = W_{MR} + W_{MS} + W_{MM} = 830.9[\text{tn}] + 140.7[\text{tn}] + 656.8[\text{tn}] \Rightarrow$

$$W'_M = 1,628.4 [\text{tn}]$$

Επιπλέον μπορεί να υπολογισθεί το W_M από το συντελεστή w_5 . Άρα:

$$w_5 = \frac{W_M}{SHP} \Rightarrow W''_M = 0.0875 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 18,766.5[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W''_M = 1,642.1 [\text{tn}]$$

Άρα η τελική εκτίμηση για το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$W_{M3} = \frac{W'_M + W''_M}{2} = \frac{1,628.4[\text{tn}] + 1,642.1[\text{tn}]}{2} \Rightarrow$$

$$W_{M3} = 1,635.3 [\text{tn}]$$

6.3.3.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M

Έπειτα από τρεις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του W_M είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την τελική τιμή που θα εκλεχθεί για το W_M . Η βαρύτητα της κάθε μεθόδου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης [tn]	Βαρύτητα
Κατά Watson-Gilfillan	1,495.65	0.1
Προσέγγιση Συναρτήσεως Βάρους Κύριας Μηχανής	693.00	0.8
Κατά Strohbusch	1,635.30	0.1

Πίνακας 24 Υπολογισμός Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης Πατρικού Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_M = W_{M1} * 0.1 + W_{M2} * 0.8 + W_{M3} * 0.1 \Rightarrow$$

$$W_M = 1,495.65[\text{tn}] * 0.1 + 693[\text{tn}] * 0.8 + 1,635.3[\text{tn}] * 0.1 \Rightarrow$$

$$W_M = 149.57[\text{tn}] + 554.4[\text{tn}] + 163.53[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_M = 867.5[\text{tn}]$$

6.3.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ls Πατρικού Πλοίου

Με βάση τις παραπάνω προσεγγίσεις για τις ομάδες βαρών του πατρικού σκάφους μπορεί να υπολογισθεί το τελικό βάρος του άφορτου πλήρως εξοπλισμένου πλοίου:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση W [tn]
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W _{ST}	6,377.89
Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W _{OT}	1,637.39
Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W _M	867.5

Πίνακας 25 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ομάδων Βαρών Άφορτου Σκάφους Ls Πατρικού Πλοίου.

Επομένως από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$L_{S(\pi)} = W_{ST} + W_{OT} + W_M = 6,377.89[\text{tn}] + 1,637.39[\text{tn}] + 867.5[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$L_{S(\pi)} = 8,882.78 [\text{tn}]$$

6.3.5. Υπολογισμός Διορθωτικού Συντελεστή λ_{Ls}

Από τα στοιχεία του πατρικού πλοίου Πίνακας 2 έχουμε ότι το L_{Sactual} = 8,400 [tn]. Επομένως ο διορθωτικός συντελεστής θα γίνει:

$$\lambda_{L_s} = \frac{L_{S(\pi)}}{L_{S_{\text{actual}}(\pi)}} = \frac{8,882.78[\text{tn}]}{8,400[\text{tn}]} \Rightarrow$$

$$\lambda_{L_s} = 1.057$$

Για τον συντελεστή αυτό, υπάρχει περιορισμός μέχρι 6% δηλαδή για λ_{Ls} < 1.06, οπότε ο συντελεστής είναι εντός επιθυμητών ορίων.

Ο παραπάνω συντελεστής θα χρησιμοποιηθεί για να διορθώσουμε την τελική τιμή του Ls για το υπό μελέτη πλοίο.

6.4. Προϋπολογισμός Βάρους Ls υπό Μελέτη Πλοίου

Για τον υπολογισμό του βάρους Ls του υπό μελέτη πλοίου, θα χρησιμοποιηθεί ακριβώς η ίδια μεθοδολογία με τον υπολογισμό του βάρους Ls του πατρικού πλοίου.

Για τον υπολογισμό του βάρους Ls του πατρικού πλοίου χρειάστηκαν μετρήσεις από τα σχέδια του. Επειδή όμως δεν υπάρχουν σχέδια για το υπό μελέτη πλοίο για να γίνουν αυτές μετρήσεις, θα υπολογίσουμε κάποιους λόγους διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου προς το πατρικό. Με αυτό τον τρόπο θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε το Ls με την ίδια μεθοδολογία.

Οι λόγοι διαστάσεων φαίνονται παρακάτω:

$$\lambda_L = \frac{L_v}{L_\pi} = \frac{180[\text{m}]}{160[\text{m}]} \Rightarrow \lambda_L = 1.125$$

$$\lambda_B = \frac{B_v}{B_\pi} = \frac{27.22[\text{m}]}{29.8[\text{m}]} \Rightarrow \lambda_B = 0.9134$$

$$\lambda_D = \frac{D_v}{D_\pi} = \frac{15.72[\text{m}]}{14.5[\text{m}]} \Rightarrow \lambda_D = 1.0841$$

Όπου, υ: υπό μελέτη πλοίο & π: πατρικό πλοίο

6.4.1. Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST} υπό Μελέτη Πλοίου

6.4.1.1. Μέθοδος Watson

$$E_N = L * (B + T) + 0.8 * L * (D - T) + 0.85 * \sum_{i=1}^{N_1} h_{1i} * l_{1i} + 0.75 * \sum_{i=1}^{N_2} h_{2i} * l_{2i}$$

Για τον υπολογισμό του δείκτη εξοπλισμού E_N, πρέπει πρώτα να προσεγγίσουμε τα μήκη και ύψη των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων με βάση τους λόγους διαστάσεων που φαίνονται παραπάνω:

$$l_v = l_\pi * \lambda_L$$

$$h_v = h_\pi * \lambda_D$$

Υπερστεγασμάτα	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l×h [m ²]
B DECK	16.20	3.25	52.65
C DECK	16.20	3.25	52.65
D DECK	16.20	3.14	50.87
E DECK	13.50	3.14	42.39
NAV. DECK	13.50	3.14	42.39
COMPASS DECK	14.04	3.04	42.68
Sum			283.63 m²

Πίνακας 26 Διαστάσεις Υπερστεγασμάτων υπό Μελέτη Πλοίου.

Υπερκατασκευές	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l×h [m ²]
A DECK	16.20	4.34	70.31
Πρόστεγο	33.13	2.93	97.07
Sum			167.38 m²

Πίνακας 27 Διαστάσεις Υπερκατασκευών υπό Μελέτη Πλοίου.

Άρα με σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες ο δείκτης εξοπλισμού E_N γίνεται:

$$E_N = 180[m] * (27.22[m] + 10.5[m]) + 0.8 * 180[m] * (15.72[m] - 10.5[m]) + 0.85 * 283.63[m^2] + 0.75 * 167.38[m^2] \Rightarrow$$

$$E_N = 6,789.6[m^2] + 751.68[m^2] + 241.09[m^2] + 125.54[m^2] \Rightarrow$$

$$E_N = 7,907.91 [m^2]$$

Άρα για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής έχουμε:

$$(W_{ST})^* = k * E_N^{1.36}$$

Με $k = 0.036$, για 100% κανονικό χάλυβα.

Άρα:

$$(W_{ST})^* = 0.036 * 7,907.91^{1.36} \Rightarrow$$

$$(W_{ST})^* = 7,205.54 [tn]$$

Έπειτα υπολογίζεται ο συντελεστής γάστρας στο 0.8D:

$$C_{B(0.8D)} = C_B + \frac{(1 - C_B) * (0.8 * D - T)}{3 * T} = 0.683 + \frac{(1 - 0.683) * (0.8 * 15.72[m] - 10.5[m])}{3 * 10.5[m]} \Rightarrow$$

$$C_{B(0.8D)} = 0.7039$$

Επειδή $C_{B(0.8D)} \approx 0.7$ τότε δεν απαιτείται διόρθωση στο $(W_{ST})^*$:

$$W_{ST1} = (W_{ST})^*$$

$$W_{ST1} = 7,205.54[tn]$$

6.4.1.2. Μέθοδος Schneekluth και Muller-Coster

Η μέθοδος αυτή όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο αυτή η μέθοδος χωρίζεται σε δύο τμήματα:

Στον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής μέχρι το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα (D) με την μέθοδο Schneekluth και στον υπολογισμό του βάρους των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων με την μέθοδο Muller-Coster.

Μέθοδος Schneekluth

Για την προσέγγιση του βάρους είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος $\nabla_u [m^3]$.

$$\nabla_u = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H$$

Όπου:

∇_D = όγκο έως το κοίλο D

∇_S = Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

∇_b = Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος

∇_H = Αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών

Για το ∇_D :

$$\nabla_D = L_{BP} * B * D * C_{BD}, \text{ με } C_{BD} = C_B + C_1 * \frac{D-T}{T} * (1 - C_B)$$

όπου, $C_1 \cong 0.25$ για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου.

Άρα έχουμε:

$$C_{BD} = 0.683 + 0.25 * \frac{15.72[m] - 10.50[m]}{10.50 [m]} * (1 - 0.683) \Rightarrow$$

$$C_{BD} = 0.7224$$

Οπότε τελικά για το ∇_D έχουμε:

$$\nabla_D = 180[m] * 27.22[m] * 15.72[m] * 0.7224 \Rightarrow$$

$$\nabla_D = 55,640.48[m^3]$$

Για το ∇_S :

Επειδή, το πατρικό πλοίο δεν έχει σιμότητα, τότε ούτε το υπό μελέτη θα έχει άρα:

$$\nabla_S = 0$$

Για το ∇_H :

Επειδή, το πατρικό πλοίο δεν έχει ανοίγματα κυτών, τότε ούτε το υπό μελέτη θα έχει άρα:

$$\nabla_H = 0$$

Για το ∇_b :

$$\nabla_b = L_{BP} * B * b * C_3$$

Όπου, b η κυρτότητα του καταστρώματος και $C_3 \cong 0.7 * C_{BD}$ άρα:

$$C_3 = 0.7 * 0.7224 \Rightarrow C_3 = 0.5057$$

Επειδή το υπό μελέτη πλοίο δεν έχει ακόμα σχέδια τότε σαν κυρτότητα καταστρώματος παίρνουμε την ίδια με αυτή του πατρικού δηλαδή $b = 0.2$ [m].

Άρα:

$$\nabla_b = 180[\text{m}] * 27.22[\text{m}] * 0.2[\text{m}] * 0.5057 \Rightarrow$$

$$\nabla_b = 495.55 [\text{m}^3]$$

Συνεπώς ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος είναι:

$$\nabla_u = 55,640.48 [\text{m}^3] + 0[\text{m}^3] + 495.55[\text{m}^3] + 0[\text{m}^3] \Rightarrow$$

$$\nabla_u = 56,136.03 [\text{m}^3]$$

Το W'_{ST} χωρίς τις υπερκατασκευές δίδεται συναρτήσει του υπολογισμένου συνολικού όγκου ∇_u , ενός συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους C'_{ST} και διαφόρων διορθώσεων.

Για containerships , ο συντελεστής αυτός είναι $C'_{ST} = 0.093 \text{ t/m}^3$.

Αναλυτικά ο τύπος του W'_{ST} είναι:

$$W'_{ST} = \nabla_u * C'_{ST} * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5$$

Όπου,

- $\alpha_1 = 1 + 0.002 * (L_{BP} - 120)^2 * 10^{-3} = 1 + 0.002 * (180[\text{m}] - 120)^2 * 10^{-3} \Rightarrow$

$$\alpha_1 = 1.0072 [\text{m}]$$

- $\alpha_2 = 1 + 0.057 * \left(\frac{L_{BP}}{D} - 12\right) = 1 + 0.057 * \left(\frac{180[\text{m}]}{15.72[\text{m}]} - 12\right) \Rightarrow$

$$\alpha_2 = 0.9687$$

- $\alpha_3 = \left(\frac{30}{D+14}\right)^{0.5} * \left(1 + 0.1 * \left(\frac{B}{D} - 2.1\right)^2\right) =$

$$= \left(\frac{30}{15.72[\text{m}] + 14}\right)^{0.5} * \left(1 + 0.1 * \left(\frac{27.22[\text{m}]}{15.72[\text{m}]} - 2.1\right)^2\right)$$

$$\Rightarrow \alpha_3 = 1.0183 \left[\frac{1}{\text{m}}\right]$$

- $\alpha_4 = 1 + 0.2 * \left(\frac{T}{D} - 0.85\right) = 1 + 0.2 * \left(\frac{10.5[\text{m}]}{15.72[\text{m}]} - 0.85\right) \Rightarrow$

$$\alpha_4 = 0.9636$$

- $a_5 = 0.92 + (1 - C_B)^2 = 0.92 + (1 - 0.683)^2 \Rightarrow$
 $a_5 = 1.0205$

Άρα το βάρος W'_{ST} γίνεται:

$$W'_{ST} = 56,136.03[m^3] * 0.093 \left[\frac{tn}{m^3} \right] * 1.0072[m] * 0.9687 * 1.0183 \left[\frac{1}{m} \right] * 0.9636$$

$$* 1.0205 \Rightarrow$$

$$W'_{ST} = 5,100.53[tn]$$

Τα βάρη των κυψελών στοιβασίας των κιβωτίων περιλαμβάνονται στο W'_{ST} . Για κανονικό container με μήκος 20' το βάρος για σταθερή κυψέλη στοιβασίας είναι ενδεικτικά:

$$\frac{W_{ST(TEU)}}{TEU} = 0.70 \left[\frac{tn}{TEU} \right], \text{ άρα για } TEU = 1,900 \text{ units έχουμε:}$$

$$W_{ST(TEU)} = 0.70 \left[\frac{tn}{TEU} \right] * 1,900[TEU] \Rightarrow W_{ST(TEU)} = 1,330 [tn]$$

Οπότε το τελικό W_{ST} γίνεται :

$$W_{ST(Schneekluth)} = W'_{ST} + W_{ST(TEU)} = 5,100.53[tn] + 1,330[tn] \Rightarrow$$

$$W_{ST(Schneekluth)} = 6,430.53[tn]$$

Μέθοδος Muller-Coster

Προχωρώντας σε αυτή τη μέθοδο, γίνεται υπολογισμός του βάρους των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων. Συγκεκριμένα θα υπολογισθούν τα βάρη για τα εξής:

- Υπερστεγάσματα (W_{DH})
- Πρόστεγο (W_{BACK})
- Επίστεγο A DECK (υπερστέγασμα)
- Οικίσκος (W_{WH})

Για το πρόστεγο W_{BACK} :

Το βάρος του προστέγου, δίνεται από τον τύπο:

$$W_{back} = C_{BACK} * \nabla_{BACK}$$

Το C_{BACK} είναι το ογκομετρικό βάρος του προστέγου και για πλοία με $L \geq 140$ m, είναι:

$$C_{BACK} = 100 \left[\frac{kp}{m^3} \right] = 0.1 \left[\frac{tn}{m^3} \right]$$

Οι διαστάσεις του προστέγου είναι:

$$l_{\text{BACK}(v)} = l_{\text{BACK}(\pi)} * \lambda_L = 29.45[\text{m}] * 1.125 \Rightarrow l_{\text{BACK}(v)} = 33.13 [\text{m}]$$

$$h_{\text{BACK}(v)} = h_{\text{BACK}(\pi)} * \lambda_D = 2.7[\text{m}] * 1.0841 \Rightarrow h_{\text{BACK}(v)} = 2.93 [\text{m}]$$

- Για ύψος προστέγου $h_{\text{BACK}}=2.5\div 3.25\text{m}$ τότε δεν παίρνει διόρθωση.
- Για μήκος προστέγου $l_{\text{BACK}}= 0\div 0.2L_{\text{BP}}=36\text{m}$ τότε δεν παίρνει διόρθωση.

Οπότε το $C_{\text{BACK}}=0.1 [\text{tn}/\text{m}^3]$

Ο όγκος του προστέγου, υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της άνω επιφάνειας του με το ύψος του. Για το εμβαδόν γίνεται χρήση του κανόνα Simpson. Οι διαστάσεις που χρησιμοποιούνται είναι του πατρικού πλοίου πολλαπλασιασμένες με το κατάλληλο λ . Εάν δx η ισαπόσταση κατά το πλάτος και $f(x)$ τα μήκη σε κάθε σημείο που γίνεται ο διαχωρισμός, τότε:

Συντελεστής [1]	f(x) [2] [m]	[1]*[2]	Δx [m]
1	0	0	2.359
4	20.558	82.232	
2	25.949	51.898	
4	29.549	118.196	
2	31.349	62.698	
4	32.274	129.096	
2	33.13	66.26	
4	32.274	129.096	
2	31.349	62.698	
4	29.549	118.196	
2	25.949	51.898	
4	20.558	82.232	
1	0	0	
Sum		954.5 [m]	

Πίνακας 28 Μέθοδος Simpson για Πρόστεγο Υπό Μελέτη Πλοίο.

$$A_{\text{BACK}} = \frac{\delta x}{3} * \text{Sum} = \frac{2.359[\text{m}]}{3} * 954.5[\text{m}] \Rightarrow A_{\text{BACK}} = 750.56 [\text{m}^2]$$

$$\text{Άρα, } \nabla_{\text{BACK}} = A_{\text{BACK}} * h_{\text{BACK}} = 750.56[\text{m}^2] * 2.93[\text{m}] \Rightarrow \nabla_{\text{BACK}} = 2,199.14[\text{m}^3]$$

Τελικά το βάρος του προστέγου είναι:

$$W_{\text{BACK}} = \nabla_{\text{BACK}} * C_{\text{BACK}} = 2,199.14[\text{m}^3] * 0.1 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right] \Rightarrow$$

$$W_{\text{BACK}} = 219.91[\text{tn}]$$

Τα υπερστεγάσματα του καταστρώματος, καταλαμβάνουν περισσότερα από ένα καταστρώματα και δεν θεωρούνται μία ενιαία κατασκευή, αλλά ως ξεχωριστά τμήματα. Το μέρος του στεγάσματος που βρίσκεται επί του κύριου καταστρώματος χαρακτηρίζεται ως θέση I, το επόμενο ως θέση II κλπ., όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.

Το βάρος ενός τμήματος υπερστεγάσματος στη θέση I-IV ή του οικιστηρίου προκύπτει από τον τύπο:

$$W_{DH} = C_{DH} * A_m * h * k_1 * k_2 * k_3$$

Τα εμβαδά A_o & A_u , καθώς και το ύψος h του υπό μελέτη πλοίου υπολογίζονται μέσα από τούς διορθωτικούς συντελεστές λ , στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του ογκομετρικού βάρους C_{DH} χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 18. Οι τιμές είναι σε $[kp/m^3]$, άρα θα γίνει η κατάλληλη μετατροπή σε $[tn/m^3]$. Επίσης οι διορθωτικοί συντελεστές k_1, k_2, k_3 υπολογίζονται με βάση τους τύπους που φαίνονται στη σελίδα 74.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κατασκευάζεται ο πίνακας με τα τελικά αποτελέσματα για κάθε θέση υπερστεγάσματος:

Υπερστεγάσματα	A DECK	B DECK	C DECK	D DECK	E DECK	NAV. DECK	COMPASS DECK
l_o [m]	16.20	16.20	16.20	16.20	13.50	13.50	14.04
b_o [m]	27.04	24.11	24.11	24.11	24.11	20.46	16.08
A_o [m²]	438.05	390.5	390.5	390.5	325.49	276.21	225.76
l_u [m]	16.20	16.20	16.20	16.20	13.50	14.04	14.04
b_u [m]	23.02	20.46	20.46	20.46	20.46	14.25	16.08
A_u [m²]	372.92	331.45	331.45	331.45	276.21	200.07	225.76
A_o/A_u	1.175	1.179	1.179	1.179	1.179	1.381	1.000
A_m [m²]	405.49	360.98	360.98	360.98	300.85	238.14	225.76
C_{DH} [tn/m³]	0.0619	0.0607	0.057	0.058	0.058	0.0476	0.053
h [m]	4.34	3.25	3.25	3.14	3.14	3.14	3.04
k₁	1.035	1.013	1.013	1.01	1.01	1.01	1.009
l_I [m]	60.75	61.20	80.10	60.30	51.30	54.90	46.13
l_{DH} [m]	16.20	16.20	16.20	16.20	13.50	13.50	14.04
k₂	1.038	1.036	0.978	1.039	1.035	1.022	1.061
k₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W_{DH}	117.03	74.73	66.25	68.99	57.28	36.74	38.94

Πίνακας 29 Βάρος Υπερστεγασμάτων υπό Μελέτη Πλοίου Κατά Muller-Coster.

Επομένως, το ολικό βάρος των υπερστεγασμάτων είναι:

$$\sum_{i=A \text{ DECK}}^{\text{COMPASS DECK}} W_{DHi} \Rightarrow W_{DH} = 459.96[tn]$$

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, το βάρος της μεταλλικής κατασκευής με τη μέθοδο Schneekluth και Muller-Coster είναι:

$$W_{ST2} = W_{ST(\text{schneekluth})} + W_{\text{BACK}} + W_{\text{DH}} = 6,430.53[\text{tn}] + 219.91[\text{tn}] + 459.96[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{ST2} = 7,110.4[\text{tn}]$$

6.4.1.3. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}

Έπειτα από δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού του W_{ST} είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε με περισσότερη ακρίβεια το τελικό αποτέλεσμα του W_{ST} .

Μέθοδος	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής [tn]	Βαρύτητα
Watson	7,205.54	0.4
Schneekluth & Muller-Coster	7,110.4	0.6

Πίνακας 30 Υπολογισμός Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής υπό Μελέτη Πλοίου για τις Δύο Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα, από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_{ST} = 0.4 * W_{ST1} + 0.6 * W_{ST2} = 0.4 * 7,205.54[\text{tn}] + 0.6 * 7,110.4[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{ST} = 2,882.22[\text{tn}] + 4,266.24[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{ST} = 7, 148. 46 [tn]}$$

6.4.2. Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT} υπό Μελέτη Πλοίου

6.4.2.1. Προσεγγιστικοί Τύποι για Φορτηγά Πλοία

Ο γενικός τύπος υπολογισμού του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού είναι:

$$W_{OT} = k_{OT} * L_{BP} * B$$

Όπου, $k_{OT} = 0.34 \div 0.38 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^2} \right]$, για Containerships

Επειδή το υπό μελέτη πλοίο είναι σχετικά μικρό για την κλάση του η τιμή του k_{OT} θα ληφθεί ως:

$$k_{OT} = 0.34 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^2} \right]$$

Άρα τελικά το συνολικό βάρος είναι:

$$W_{OT1} = 0.34 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^2} \right] * 180[\text{m}] * 27.22[\text{m}] \Rightarrow$$

$$W_{OT1} = 1,665.86 [\text{tn}]$$

6.4.2.2. Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} Από Διάγραμμα Κατά Watson

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 21 προκύπτει ότι για $L_{BP} = 180m$ τότε:

$$\frac{W_{OT2}}{L_{BP} * B} = 0.34 \left[\frac{tn}{m^2} \right] \Rightarrow W_{OT2} = 0.34 \left[\frac{tn}{m^2} \right] * 180[m] * 27.22[m] \Rightarrow$$

$$W_{OT2} = 1,665.86 [tn]$$

6.4.2.3. Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Κατά Strohbusch

Η βάση αυτής της μεθόδου είναι η ανάλυση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε υποομάδες. Για κάθε υποομάδα, δίδεται ο συντελεστής βάρους w . Οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος του και τον εξοπλισμό που διαθέτει. Με βάση τον συντελεστή κάθε ομάδας μπορεί να υπολογιστεί και το βάρος της αντίστοιχα από τον τύπο:

$$w_i = \frac{W_{OTi}}{L_{BP} * B * D} \Rightarrow W_{OTi} = w_i * L_{BP} * B * D$$

Οι ομάδες στις οποίες αναλύεται το βάρος W_{OT} Φαίνονται στην σελίδα 77 :

Με βάση τα παραπάνω, κατασκευάζεται ο πίνακας, στον οποίο φαίνεται το εύρος της τιμής w κάθε ομάδας για φορτηγά πλοία (συμπεριλαμβάνει τα Containerships), η τιμή που εκλέγεται, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα του βάρους της κάθε ομάδας σε [tn].

Ομάδα Βάρους	Εύρος τιμής w [kn/m^3]	Τιμή w [tn/m^3]	W_{OT} [tn]
I	1.5 ÷ 6.0	0.0015	115.53
II 1	-	0	0
II 2	4.0 ÷ 7.0	0.0045	346.60
III	5.0 ÷ 6.0	0.005	385.11
IV	1.2 ÷ 1.5	0.0012	92.43
V	2.0 ÷ 4.0	0.0025	192.55
VI	2.5 ÷ 4.0	0.003	231.07
VII	1.0 ÷ 1.5	0.0011	84.72
VIII 1	-	0	0
VIII 2	4.0 ÷ 7.0	0.0045	346.60
IX	2.0 ÷ 3.0	0.0025	192.55

Πίνακας 31 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού Φορτηγών Πλοίων Κατά Strohbusch για υπό Μελέτη Πλοίο.

Τελικά το βάρος W_{OT} σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα είναι:

$$W_{OT3} = \sum_{i=1}^{IX} W_{OTi} \Rightarrow W_{OT3} = 1,987.16[\text{tn}]$$

6.4.2.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}

Έπειτα από τρεις διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης του W_{OT} είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την τελική τιμή του. Η βαρύτητα της κάθε μεθόδου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής [tn]	Βαρύτητα
Προσεγγιστικός τύπος	1,665.86	0.45
Διάγραμμα Κατά Watson	1,665.86	0.45
Κατά Strohbusch	1,987.16	0.1

Πίνακας 32 Υπολογισμός Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού υπό Μελέτη Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_{OT} = 0.45 * W_{OT1} + 0.45 * W_{OT2} + 0.15 * W_{OT3} \Rightarrow$$

$$W_{OT} = 0.45 * 1,665.86[\text{tn}] + 0.45 * 1,665.86[\text{tn}] + 0.1 * 1,987.16[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{OT} = 749.64[\text{tn}] + 749.64[\text{tn}] + 198.72 \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{OT} = 1,698.00 [tn]}$$

6.4.3. Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M υπό Μελέτη Πλοίου

6.4.3.1. Προσεγγιστικός Τύπος Watson-Gilfillan

$$W_M = C_{MD} * P_B^{0.89}$$

Όπου, P_B : ισχύς πέδης κύριας μηχανής

$C_{MD} = 0.21$ για μεσόστροφες Δήζελ & $C_{MD} = 0.3 \div 0.5$ για αργόστροφες Δήζελ.

Από το μέρος Επιλογή Κύριας Μηχανής Πρόωσης & Γεννήτριας σκάφους, η ισχύς πρόωσης είναι:

$$P_B = 14,940 [\text{kW}]$$

Επίσης, ο κινητήρας είναι αργόστροφος οπότε:

$$C_{MD} = 0.3 \div 0.5 \rightarrow C_{MD} = 0.3$$

Άρα τελικά έχουμε:

$$W_{M1} = 0.3 * 14,940^{0.89} \Rightarrow$$

$$W_{M1} = 1,557.02 \text{ [tn]}$$

6.4.3.2. Προσέγγιση Συναρτήσεως Βάρους της Κύριας Μηχανής

Για αργόστροφες δηζελοκινητήριες εγκαταστάσεις το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να υπολογισθεί ως εξής:

$$W_M = C_{M1} * W_{MM}$$

Όπου, W_{MM} : το βάρος της κύριας μηχανής

$$\text{Και } C_{M1} = 2.2 \div 3.6 \Rightarrow C_{M1} = 2.2$$

Η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη στο υπό μελέτη πλοίο είναι η MAN-B&W 9S50ME-C8.5 (tier II).

Άρα από το manual της μηχανής βρίσκουμε ότι το βάρος της είναι⁸:

$$W_{MM} = 295 \text{ [tn]}$$

$$\text{Άρα: } W_{M2} = 2.2 * 295 \text{ [tn]} \Rightarrow$$

$$W_{M2} = 649.00 \text{ [tn]}$$

6.4.3.3. Εκτίμηση Κατά Strohbusch

Για την εκτίμηση του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης με αυτή τη μέθοδο θα γίνει χρήση μίας σειράς εμπειρικών συντελεστών (Επιλέγουμε τη μέση τιμή για κάθε εύρος) για τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 23 Συντελεστές Ομάδων Βαρών Μηχανολογικής Εγκατάστασης Φορητών Πλοίων κατά Strohbusch.

Αρχικά θα κάνουμε μετατροπή της μονάδας ισχύος του πατρικού πλοίου:

$$14,940 \text{ [kW]} = 14,940 * 1.341 \text{ [HP]} = 20,034.54 \text{ [HP]}$$

Θεωρούμε βαθμό απόδοσης στον άξονα $n_s = 0.98$ άρα προκύπτει:

$$\text{SHP} = \text{BHP} * n_s = 20,034.54 \text{ [HP]} * 0.98 \Rightarrow \text{SHP} = 19,633.85 \text{ [HP]}$$

Οπότε από τους ορισμούς των συντελεστών γίνεται ο υπολογισμός των βαρών W_{MM} , W_{MS} , W_{MR} .

Για το W_{MR} έχουμε:

⁸ <https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/s50mec8.pdf>, MAN B&W S50ME-C8.5 TII Project Guide.

- $w_1 = \frac{W_{MR(1)}}{L_{BP} \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{MR(1)} = 0.0125 \left[\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right] * 180[\text{m}] * 27.22[\text{m}] * 15.72[\text{m}]$

$$W_{MR(1)} = 962.77 [\text{tn}]$$

- $w_2 = \frac{W_{MR(2)}}{\text{SHP}} \Rightarrow W_{MR(2)} = 0.0425 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 19,633.85[\text{HP}]$

$$W_{MR(2)} = 834.44 [\text{tn}]$$

Άρα $W_{MR} = \frac{W_{MR(1)} + W_{MR(2)}}{2} = \frac{962.77[\text{tn}] + 834.44[\text{tn}]}{2} \Rightarrow W_{MR} = 898.61 [\text{tn}]$

Για το W_{MS} έχουμε:

$$w_3 = \frac{W_{MS}}{\text{SHP}} \Rightarrow W_{MS} = 0.0075 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 19,633.85[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W_{MS} = 147.25 [\text{tn}]$$

Για το W_{MM} έχουμε:

$$w_4 = \frac{W_{MM}}{\text{SHP}} \Rightarrow W_{MM} = 0.035 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 19,633.85[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W_{MM} = 687.18 [\text{tn}]$$

Άρα τελικά έχουμε: $W'_M = W_{MR} + W_{MS} + W_{MM} = 898.61[\text{tn}] + 147.25[\text{tn}] + 687.18[\text{tn}] \Rightarrow$

$$W'_M = 1,733.04 [\text{tn}]$$

Επιπλέον μπορεί να υπολογισθεί το W_M από το συντελεστή w_5 . Άρα:

$$w_5 = \frac{W_M}{\text{SHP}} \Rightarrow W''_M = 0.0875 \left[\frac{\text{tn}}{\text{HP}} \right] * 19,633.85[\text{HP}] \Rightarrow$$

$$W''_M = 1,717.96 [\text{tn}]$$

Άρα η τελική εκτίμηση για το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$W_{M3} = \frac{W'_M + W''_M}{2} = \frac{1,733.04[\text{tn}] + 1,717.96[\text{tn}]}{2} \Rightarrow$$

$$W_{M3} = 1,725.50 [\text{tn}]$$

6.4.3.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M

Έπειτα από τρεις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του W_M είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την τελική τιμή που θα εκλεχθεί για το W_M . Η βαρύτητα της κάθε μεθόδου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης [tn]	Βαρύτητα
Κατά Watson-Gilfillan	1,557.02	0.1
Προσέγγιση Συναρτήσεως Βάρους Κύριας Μηχανής	649.00	0.8
Κατά Strohbusch	1,725.50	0.1

Πίνακας 33 Υπολογισμός Βάρους Μηχανολογικής Εγκατάστασης υπό Μελέτη Πλοίου για τις Τρεις Μεθόδους που Χρησιμοποιήθηκαν.

Άρα από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$W_M = W_{M1} * 0.1 + W_{M2} * 0.8 + W_{M3} * 0.1 \Rightarrow$$

$$W_M = 1,557.02[\text{tn}] * 0.1 + 649.00[\text{tn}] * 0.8 + 1,723.82[\text{tn}] * 0.1 \Rightarrow$$

$$W_M = 155.70[\text{tn}] + 519.20[\text{tn}] + 172.55[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_M = 847.45[\text{tn}]}$$

6.4.4. Συνολική Εκτίμηση Βάρους Ls υπό Μελέτη Πλοίου

Με βάση τις παραπάνω προσεγγίσεις για τις ομάδες βαρών του υπό μελέτη πλοίου μπορεί να υπολογισθεί το τελικό βάρος του άφορτου πλήρως εξοπλισμένου πλοίου:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση W [tn]
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	7,148.46
Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	1,698.00
Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	847.45

Πίνακας 34 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ομάδων Βαρών Άφορτου Σκάφους Ls υπό Μελέτη Πλοίου.

Επομένως από τον παραπάνω πίνακα έχουμε:

$$L_{S(v)}' = W_{ST} + W_{OT} + W_M = 7,148.46[\text{tn}] + 1,698.00[\text{tn}] + 847.45[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$L_{S(v)}' = 9,693.91[\text{tn}]$$

Σε αυτό το σημείο εφόσον έχουμε υπολογίσει το τελικό Βάρος του άφορτου πλήρως εξοπλισμένου πλοίου Ls, θα το πολλαπλασιάσουμε με τον διορθωτικό συντελεστή λLs. Άρα έχουμε:

$$L_{S(v)} = \lambda L_S * L_{S(v)}' = 9,693.91/1.057 [\text{tn}] \Rightarrow$$

$$\mathbf{L_{S(v)} = 9,171.15 [\text{tn}]}$$

6.5. Έλεγχος Εκτοπίσματος

Σε αυτό το σημείο γίνεται σύγκριση του γεωμετρικού εκτοπίσματος που υπολογίστηκε στο 4.1 με το εκτόπισμα που υπολογίστηκε από το ολικό βάρος του υπό μελέτη πλοίου. Η Ανοχή (R) θα πρέπει να είναι εντός του παρακάτω ορίου:

$$1\% \leq R \leq 3\%$$

Η ανοχή προβλέπεται στην προμελέτη για τυχόν ανακριβείς αρχικές προσεγγίσεις των ομάδων βαρών. Με την πρόοδο της μελέτης αυτή η ανοχή R μικραίνει και καταλήγει στην ανοχή της κατασκευής, που καλύπτει τις ατέλειες ως προς το πραγματικό βάρος των επεξεργασμένων υλικών από εξωτερικούς προμηθευτές ή ναυπηγείο. Κατά τη φάση της τελικής μελέτης, οι τιμές του R είναι 0.5 έως 1%. Άρα η ανοχή R γίνεται:

$$R[\%] = \left| \frac{\Delta - (DWT + L_{S(v)})}{L_{S(v)}} \right| = \left| \frac{36,015.92[\text{tn}] - (26,610.9[\text{tn}] + 9,171.15[\text{tn}])}{9,171.15[\text{tn}]} \right| \Rightarrow$$
$$R = 2.55\%$$

Άρα, το R είναι εντός ορίων.

6.6. Ανάλυση Μεταφορικής Ικανότητας (DWT) υπό Μελέτη Πλοίου

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του πρόσθετου βάρους στις συνιστάμενες του, όπως έχει αναλυθεί και στο κεφάλαιο 6.1.2.

$$DWT = W_{LO} + W_F + W_{PR} + W_P + W_{CR} + B$$

6.6.1. Βάρος Καυσίμων και Λιπαντικών W_F

Αυτό το βάρος αναλύεται σε δύο υποομάδες. Σε W_{F1} (Βάρος Καυσίμων) & σε W_{F2} (Βάρος Λιπαντικών).

Στο βάρος W_{F1} υπολογίζονται τα απαιτούμενα καύσιμα για ένα ταξίδι μετ' επιστροφής στο λιμένα αναχώρησης (χωρίς ανεφοδιασμό). Τα απαιτούμενα καύσιμα μπορεί να προσεγγισθούν με βάση τον τύπο:

$$W_{F1} = \left(P_{B,1} * b_1 * t_1 + \frac{P_{B,2} * b_2 * t_2}{\eta_E} \right) * C * 10^{-6}$$

Όπου:

$P_{B,1}$: Απαιτούμενη ισχύς κύριας μηχανής [kW].

$P_{B,2}$: Απαιτούμενη μέση ισχύς ηλεκτρογεννητριών [kW].

t_1 : Χρόνος ταξιδιού μετ' επιστροφής [hrs]. Με βάση την ταχύτητα υπηρεσίας και την ακτίνα δράσης.

t₂: Χρόνος λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών [hrs].

b₁: Ειδική κατανάλωση κύριας μηχανής [gr/kW].

b₂: Ειδική κατανάλωση βοηθητικών μηχανών ηλεκτρογεννητριών [gr/kW].

η_E: Μέσος βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.

C: Σταθερά που αφορά στην εφεδρεία για υπερκατανάλωση όπου C = 1.2 ÷ 1.4. Επιλέγεται η μέση τιμή C = 1.3

Αρχικά, εκτιμάται ο χρόνος ταξιδιού μετ' επιστροφής σε ώρες. Άρα ο χρόνος προκύπτει:

$$t_1 = t_2 = \frac{\text{Αυτονομία [miles]}}{V_S[\text{kn}]} = \frac{8,000 [\text{miles}]}{19 \left[\frac{\text{miles}}{\text{hrs}}\right]} \Rightarrow$$

$$t_1 = t_2 = 421.05 [\text{hrs}] = 17.54 [\text{days}]$$

Από τους καταλόγους της κύριας μηχανής και του ηλεκτροκινητήρα του υπό μελέτη πλοίου, όπως φαίνεται στους Πίνακας 13 & Πίνακας 14, λαμβάνονται τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους καυσίμων.

$$W_{F1} = \left(14,940[\text{kW}] * 172 \left[\frac{\text{gr}}{\text{kWh}}\right] * 421.05[\text{hrs}] + \frac{750[\text{kW}] * 204.6 \left[\frac{\text{gr}}{\text{kWh}}\right] * 421.05[\text{hrs}]}{0.96} \right) 1.3 * 10^{-6} \Rightarrow$$

$$W_{F1} = 1,494.05 [\text{tn}]$$

Για το βάρος των λιπαντικών αντιστοιχεί περίπου στα 3-5% του βάρους των καυσίμων. Επιλέγουμε τον μέσο όρο, οπότε το βάρος των λιπαντικών είναι το 4% του βάρους των καυσίμων:

$$W_{F2} = 0.04 * W_{F1} = 0.04 * 1,494.05[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{F2} = 59.76 [\text{tn}]$$

Άρα το συνολικό βάρος καυσίμων και λιπαντικών είναι:

$$W_F = W_{F1} + W_{F2} = 1,494.05[\text{tn}] + 59.76[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_F = 1,553.81 [\text{tn}]$$

6.6.2. Βάρος Εφοδίων και Νερού W_{PR}

Για αυτό το βάρος αναλύουμε τις δύο εξής ποιότητες:

- W_{PR1} :Βάρος φρέσκου νερού (πόσιμο και καθαριότητας)

- W_{PR2} :Βάρος εφοδίων – τροφίμων

Επιπλέον, θεωρείται ότι το πλοίο διαθέτει 20 άτομα πλήρωμα.

Βάρος Φρέσκου Νερού

Για Πόσιμο Νερό:

Πόσιμο νερό εκτιμάται ότι απαιτείται 10-20 [kg/Ανθρωποημέρα]. Επιλέγουμε την μέση τιμή άρα, έχουμε 15 [kg/Ανθρωποημέρα].

$$W_{PR1(\text{πόσιμο})} = 15 \left[\frac{\text{kg}}{\text{Ανθρωποημέρα}} \right] * 20[\text{επιβάτες}] * 17.54[\text{days}] = 5,262[\text{kg}] \Rightarrow$$

$$W_{PR1(\text{πόσιμο})} = 5.26 [\text{tn}]$$

Για Νερό Καθαριότητας:

Το νερό καθαριότητας εκτιμάται ότι είναι 200 [kg/Ανθρωποημέρα], για ενδαιτήσεις με λουτήρες.

$$W_{PR1(\text{καθαριότητας})} = 200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{Ανθρωποημέρα}} \right] * 20[\text{επιβάτες}] * 17.54[\text{days}] = 70,160[\text{kg}] \Rightarrow$$

$$W_{PR1(\text{καθαριότητας})} = 70.16 [\text{tn}]$$

Άρα το συνολικό βάρος φρέσκου νερού είναι:

$$W_{PR1} = W_{PR1(\text{πόσιμο})} + W_{PR1(\text{καθαριότητας})} = 5.26[\text{tn}] + 70.16[\text{tn}] \Rightarrow$$

$$W_{PR1} = 75.42 [\text{tn}]$$

Βάρος Εφοδίων – Τροφίμων

Υπολογίζεται περίπου 7-16 [kg/Ανθρωποημέρα]. Το βάρος δεν αφορά μόνο την ημερήσια κατανάλωση, αλλά και τις εφεδρείες για καθυστερήσεις ταξιδιού, αλλοιώσεις τροφίμων, καθυστερήσεις ανεφοδιασμού. Για αυτό τον λόγο επιλέγουμε παραπάνω από τον μέσο όρο δηλαδή 13 [kg/Ανθρωποημέρα].

$$W_{PR2} = 13 \left[\frac{\text{kg}}{\text{Ανθρωποημέρα}} \right] * 20[\text{επιβάτες}] * 17.54[\text{days}] = 4,560.4 [\text{kg}] \Rightarrow$$

$$W_{PR2} = 4.56 \text{ [tn]}$$

Οπότε το συνολικό βάρος εφοδίων και νερού W_{PR} είναι:

$$W_{PR} = W_{PR1} + W_{PR2} = 75.42 \text{ [tn]} + 4.56 \text{ [tn]} \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{PR} = 79.98 \text{ [tn]}}$$

6.6.3. Βάρος Πληρώματος και Αποσκευών W_{CR}

Αυτό το βάρος αναλύεται σε:

$$W_{CR} = W_{CR1} + W_{CR2}$$

Όπου,

W_{CR1} : Βάρος πληρώματος, εκτιμάται 75 kg/άτομο

W_{CR2} : Βάρος αποσκευών πληρώματος, εκτιμάται 60 kg/άτομο

Άρα έχουμε:

$$W_{CR1} = 20 \text{ [άτομα]} * 75 \left[\frac{\text{kg}}{\text{άτομο}} \right] = 1,500 \text{ [kg]} = 1.5 \text{ [tn]}$$

$$W_{CR2} = 20 \text{ [άτομα]} * 60 \left[\frac{\text{kg}}{\text{άτομο}} \right] = 1,200 \text{ [kg]} = 1.2 \text{ [tn]}$$

Άρα το συνολικό βάρος πληρώματος και αποσκευών είναι:

$$W_{CR} = W_{CR1} + W_{CR2} = 1.5 \text{ [tn]} + 1.2 \text{ [tn]} \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{CR} = 2.7 \text{ [tn]}}$$

6.6.4. Βάρος μη Μόνιμου Έρματος B

Το υπό μελέτη πλοίο μπορεί να πλέει ασφαλώς προς τον προορισμού του σε Full Load Departure τηρώντας τους κανονισμούς χωρίς την προσθήκη έρματος για αυτό το λόγο λαμβάνεται:

$$\mathbf{B = 0 \text{ [tn]}}$$

6.6.5. Βάρος Ωφέλιμου Φορτίου W_{LO}

Το ωφέλιμο φορτίο ορίζεται ως η διαφορά:

$$W_{LO} = DWT - (W_F + W_{PR} + W_{VR} + B)$$

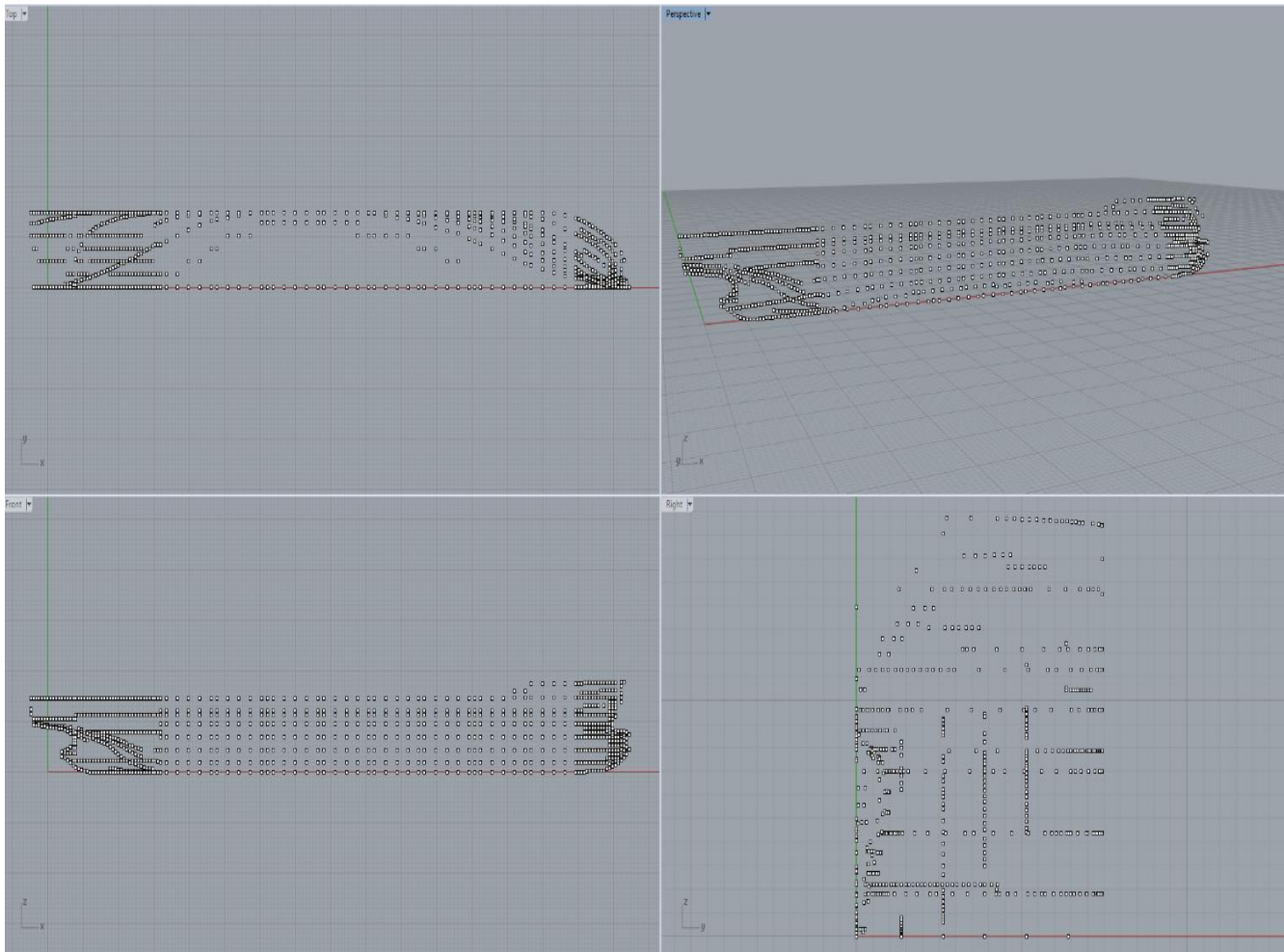
$$W_{LO} = 26,610.9 \text{ [tn]} - (1,553.81 \text{ [tn]} + 79.98 \text{ [tn]} + 2.7 \text{ [tn]} + 0 \text{ [tn]}) \Rightarrow$$

$$\mathbf{W_{LO} = 24,974.41 \text{ [tn]}}$$

7. Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών

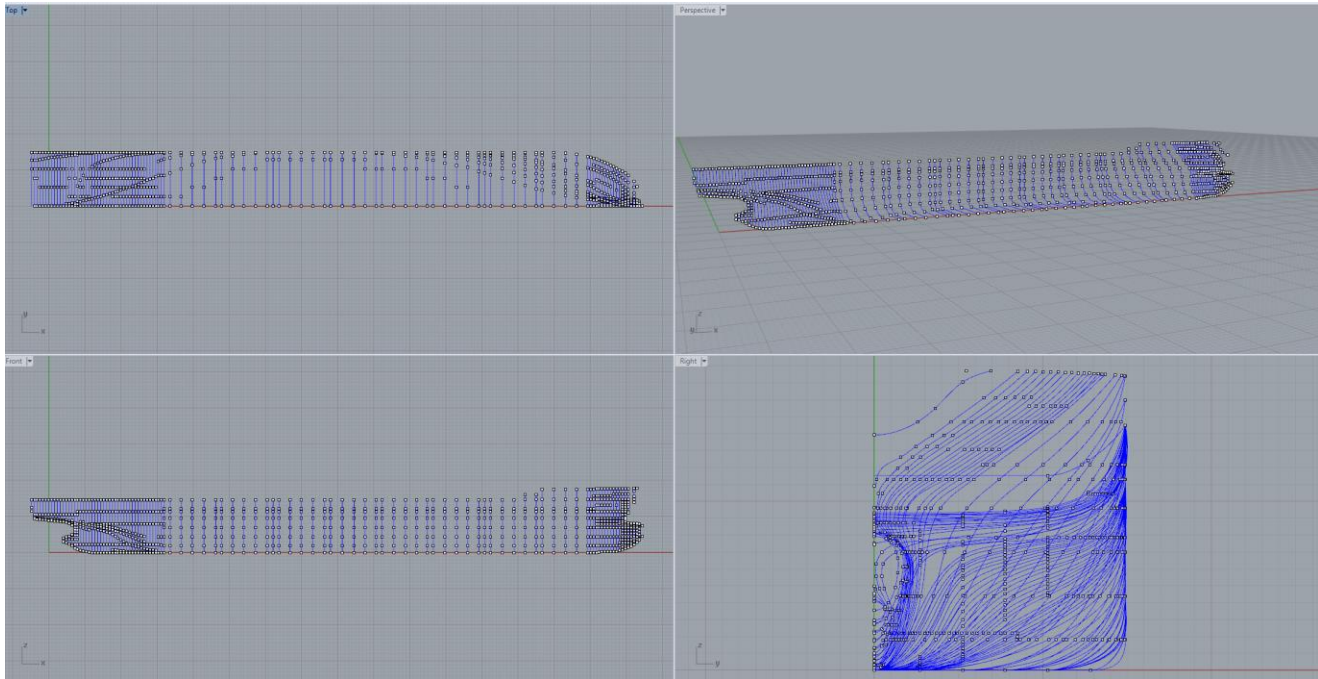
Για τη σχεδίαση της γάστρας του υπό μελέτη σκάφους και την κατασκευή του σχεδίου γραμμών, είναι αναγκαίο να σχεδιαστεί αρχικά η γάστρα του πατρικού σκάφους και να γίνει έλεγχος του όγκου εκτοπίσματος, η διαφορά του όγκου πρέπει να είναι $<1\%$. Για την σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Rhinoceros 3D. Η γενική διαδικασία που ακολουθείται, φαίνεται παρακάτω:

- i. Αρχικά γίνεται η μέτρηση των σημείων (offsets) όλων των νομέων, με βάση το σχέδιο Construction Profile & Deck Plans.
- ii. Έπειτά, γίνεται εισαγωγή των σημείων στο Rhinoceros 3D.



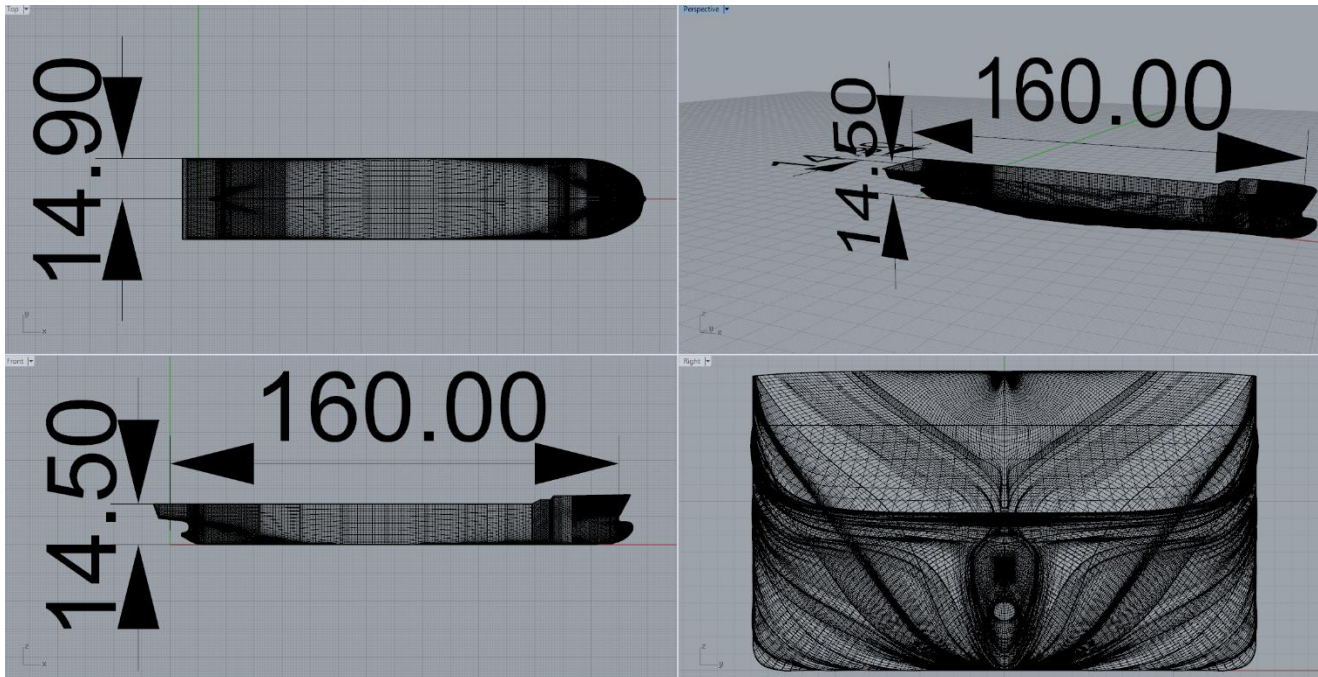
Εικόνα 8 Σημεία νομέων Πατρικού Σκάφους.

iii. Στη συνέχεια, γίνεται η σχεδίαση ένα προς ένα νομέα με την εντολή «InterpCrv».



Εικόνα 9 Νομέις Πατρικού Σκάφους.

iv. Ακολουθεί η εντολή «NetworkSrf» με την οποία κατασκευάζονται οι επιφάνειες. Στα σημεία τα οποία οι επιφάνειες είναι πιο ανώμαλες όπως στον βολβό και στο σημείο που βγαίνει ο άξονα, το χωρίζουμε σε μικρότερα κομμάτια. Μετά κατασκευάζουμε το συμμετρικό κομμάτι με την εντολή «Mirror».



Εικόνα 10 Επιφάνειες & Διαστάσεις Πατρικού Σκάφους.

- v. Επόμενο βήμα είναι να περάσουμε το πλοίο στο πρόγραμμα MaxSurf για να υπολογίσουμε τα υδροστατικά μεγέθη του. Αρχικά Αποθηκεύουμε το αρχείο Rhino ως .3dm . Έπειτα ανοίγουμε το MaxSurf και πατάμε File → Import → Rhino .3dm file και ανοίγουμε το αρχείο.
- vi. Αφού έχει περαστεί το σκάφος στο πρόγραμμα για να υπολογίσουμε τα υδροστατικά πρέπει να ορίσουμε το βύθισμα. Αυτό γίνεται με τις εντολές Data → Frame of Reference → Στο Label DWL βάζουμε το βύθισμα (Summer Load Draft).
- vii. Τέλος για τα υδροστατικά πατάμε Data → Calculate Hydrostatics.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	32572	t
2	Volume (displaced)	31777,555	m ³
3	Draft Amidships	9,515	m
4	Immersed depth	9,540	m
5	WL Length	163,754	m
6	Beam max extents on WL	29,903	m
7	Wetted Area	6370,625	m ²
8	Max sect. area	282,276	m ²
9	Waterpl. Area	4224,245	m ²

Εικόνα 11 Υδροστατικά Μεγέθη Πατρικού Σκάφους.

Τα πραγματικά στοιχεία του πατρικού πλοίου για τις διάφορες φορτώσεις φαίνονται παρακάτω από το σχέδιο Capacity Plan With DWT Scale:

FREEBOARD PARTICULARS					
FREEBOARD (mm)			DRAFT (EXT.) (m)	DISPLACEMENT (ton)	DEADWEIGHT (ton)
TROPICAL FRESH	TF	4635	9.902	33517.3	24973.1
FRESH	F	4833	9.704	32671.4	24127.2
TROPICAL	T	4824	9.713	33527.5	24983.3
SUMMER	S	5022	9.515	32665.9	24121.7
WINTER	W	5220	9.317	31811.1	23266.9

Εικόνα 12 Πραγματικά Freeboard Particulars Πατρικού Σκάφους.

Η απόκλιση του όγκου εκτοπίσματος που προέκυψε από το σχεδιασμό της γάστρας του πατρικού είναι:

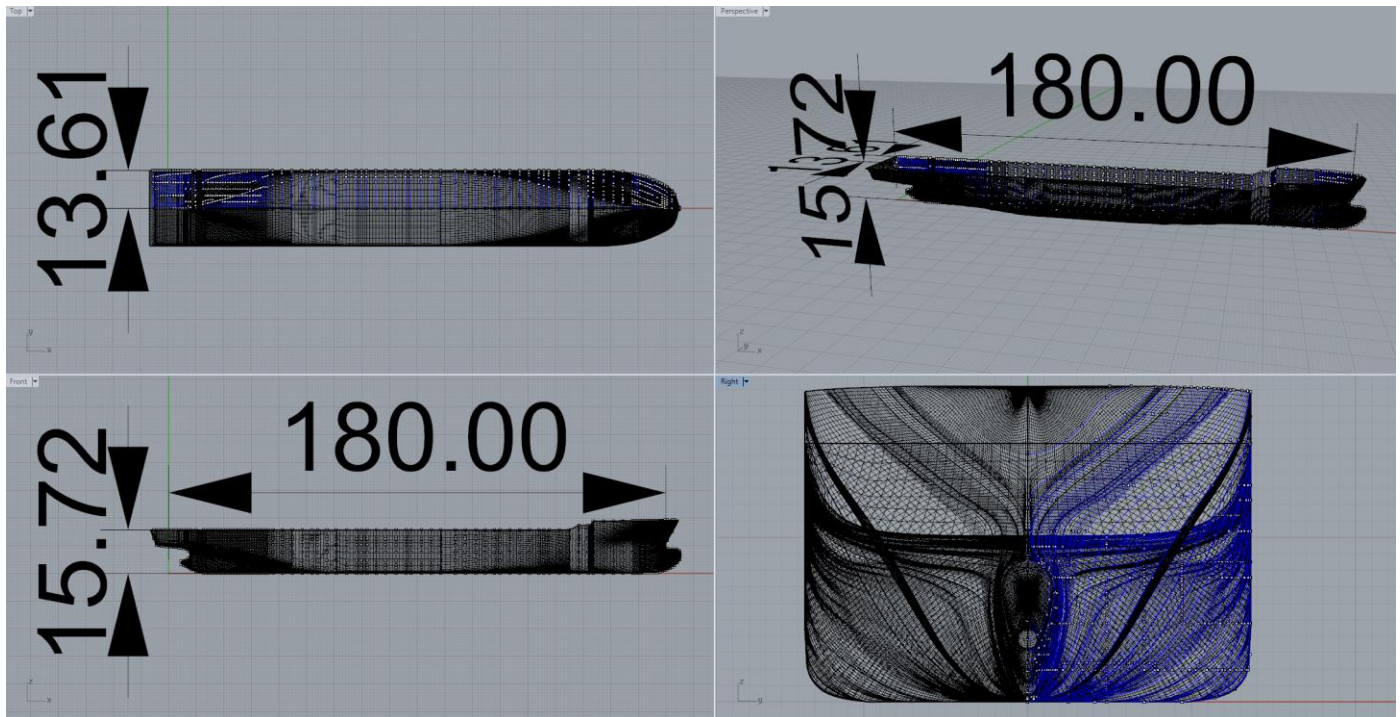
$$\delta \nabla = \left| \frac{\nabla_{\text{πραγματικό}} - \nabla_{\text{σχεδίασης}}}{\nabla_{\text{πραγματικό}}} \right| \% = \left| \frac{32,665.9 [\text{tn}] - 32,572 [\text{tn}]}{32,665.9 [\text{tn}]} \right| \% \Rightarrow$$

$$\delta \nabla = 0.287\%$$

Αυτή η διαφορά θεωρείται αποδεκτή. Οπότε η σχεδίαση της γάστρας του σκάφους είναι σωστά σχεδιασμένη και μπορούμε να περάσουμε στο επόμενο βήμα το οποίο είναι η διαστασιοποίηση του σκάφους στα μέτρα του υπό μελέτη με την εντολή «ScaleNU».

Για να γίνει αυτό η διαστασιοποίηση ξανά ανοίγουμε το πρόγραμμα Rhinoceros 3D με το πατρικό πλοίο. Τα βήματα είναι τα εξής: ScaleNU → ctrl+A (Για να επιλέξουμε τα πάντα νομείς, σημεία, επιφάνειες) → X axis: λL=1.125 → Y axis: λB=0.9134 → Z axis: λD=1.0841.

Το πλοίο έχει διαστασιολογηθεί στα μέτρα της μελέτης μας. Και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 13 Σχέδιο Υπό Μελέτη Πλοίου.

Τα υδροστατικά μεγέθη για το υπό μελέτη πλοίο είναι:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	36975	t
2	Volume (displaced)	36073,261	m ³
3	Draft Amidships	10,500	m
4	Immersed depth	10,513	m
5	WL Length	184,345	m
6	Beam max extents on WL	27,220	m
7	Wetted Area	7057,760	m ²
8	Max sect. area	281,317	m ²
9	Waterpl. Area	4363,361	m ²

Εικόνα 14 Υδροστατικά Μεγέθη υπό Μελέτη Σκάφους.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των δεξαμενών με βάση το σχέδιο του πατρικού πλοίου Capacity Plan With DWT Scale. Θα επιλέξουμε τις πιο σημαντικές δεξαμενές και θα κάνουμε τις κατάλληλες μετατροπές για να τις τοποθετήσουμε στο υπό μελέτη πλοίο. Οι δεξαμενές που θα τοποθετηθούν στο υπό μελέτη πλοίο φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα καθώς οι τοποθεσίες και οι χωρητικότητες τους.

WATER BALLAST TANKS					
COMPARTMENT	LOCATION (FRAME)	FULL CAPACITY (m ³)	L.C.G (m)	T.C.G (m)	V.C.G (m)
F.P.T (C)	84 - 102	796.080	175.011	0.000	10.007
NO.1 W.B.T (C)	78 - 84	757.747	160.578	0.000	4.329
NO.2 W.B.T (S)	73 - 78	435.166	145.009	-2.591	1.396
NO.2 W.B.T (P)	73 - 78	435.166	145.009	2.591	1.396
NO.3 W.B.T (S)	68 - 73	1,042.294	130.373	-4.243	1.310
NO.3 W.B.T (P)	68 - 73	1,042.294	130.373	4.243	1.310
NO.3 S.W.B.T (S)	68 - 73	133.560	129.685	-12.426	9.284
NO.3 S.W.B.T (P)	68 - 73	133.560	129.685	12.426	9.284
NO.4 W.B.T (S)	63 - 68	410.790	115.643	-5.494	1.228
NO.4 W.B.T (P)	63 - 68	410.790	115.643	5.494	1.228
NO.4 S.W.B.T (S)	63 - 68	273.998	115.476	-12.573	7.718
NO.4 S.W.B.T (P)	63 - 68	273.998	115.476	12.573	7.718
NO.5F W.B.T (S)	60 - 63	320.072	100.764	-5.765	0.986
NO.5F W.B.T (P)	60 - 63	320.072	100.764	5.765	0.986
NO.5F S.W.B.T (S)	60 - 63	282.675	100.762	-12.624	7.154
NO.5F S.W.B.T (P)	60 - 63	282.675	100.762	12.624	7.154
NO.5A W.B.T (S)	55 - 60	320.919	86.525	-5.779	0.984
NO.5A W.B.T (P)	55 - 60	320.919	86.525	5.779	0.984
NO.5A S.W.B.T (S)	55 - 60	283.949	86.525	-12.628	7.134
NO.5A S.W.B.T (P)	55 - 60	283.949	86.525	12.628	7.134
NO.6 W.B.T (S)	50 - 55	320.935	72.275	-5.780	0.983
NO.6 W.B.T (P)	50 - 55	320.935	72.275	5.780	0.983

NO.6 S.W.B.T (S)	50 - 55	283.965	72.275	-12.628	7.134
NO.6 S.W.B.T (P)	50 - 55	283.965	72.275	12.628	7.134
NO.7 W.B.T (S)	45 - 50	342.184	57.407	-5.562	1.007
NO.7 W.B.T (P)	45 - 50	342.184	57.407	5.562	1.007
NO.7 S.W.B.T (S)	45 - 50	302.466	57.384	-12.602	7.332
NO.7 S.W.B.T (P)	45 - 50	302.466	57.384	12.602	7.332
NO.8 W.B.T (S)	40-45	664.435	42.474	-5.078	2.697
NO.8 W.B.T (P)	40-45	664.435	42.474	5.078	2.697
NO.8 S.W.B.T (S)	40-45	193.500	42.312	-12.595	8.727
NO.8 S.W.B.T (P)	40-45	193.500	42.312	12.595	8.727
A.P.T. (C)	-5 - 10	638.270	2.299	0.000	10.731
FRESH WATER TANKS					
F.W.T (S)	5 – 10	140.478	5.754	-9.474	13.786
F.W.T (P)	5 – 10	140.478	5.754	9.474	13.786
HEAVY FUEL OIL & MARINE GAS OIL TANKS					
L.S.H.F.O.T (C)	60 - 63	707.359	100.775	0.000	4.745
H.F.O.T (S)	60 - 63	575.127	100.775	-8.050	4.745
H.F.O.T (P)	60 - 63	575.127	100.775	8.050	4.745
M.G.O.STOR.T (S)	25 - 40	51.867	30.298	-4.076	1.556
M.G.O.STOR.T (P)	25 – 40	51.867	30.298	4.076	1.556
LUBRICATING OIL & MISCELLANEOUS TANKS					
M/E L.O.STOR.T (C)	35 - 40	57.635	32.803	0,000	1.188
G/E L.O. STOR.T (C)	30 - 35	57.899	28.359	0.000	1.208
CYL.OIL STOR.T (C)	25 -30	55.473	23.874	0.000	1.251
BILGE HOLDING T (C)	17 - 25	71.145	18.429	0.000	1.391
OILY BILGE T (C)	10-17	26.839	11.995	0.000	1.493

Πίνακας 35 Δεξαμενές υπό Μελέτη πλοίου.

8. Έλεγχος Γραμμής Φόρτωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί έλεγχος της γραμμής φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φορτώσεως.

Υπολογισμός Βασικού Ύψους Εξάλων (BYE)

Το υπό μελέτη πλοίο ανήκει στα πλοία κατηγορίας Β, αφού δεν προορίζεται για μεταφορά υγρού φορτίου. Από τον πίνακα της Διεθνούς Σύμβασης Γραμμής Φορτώσεως για τα πλοία κατηγορίας Β με βάση το μήκος του πλοίου, προκύπτει για το βασικό ύψος εξάλων:

L_{BP} [m]	BYE [mm]
180	2,915

Πίνακας 36 Βασικό Ύψος Εξάλων με Βάση το Μήκος.

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα το βασικό ύψος εξάλων είναι:

$$BYE = 2,915 \text{ [mm]}$$

Το παραπάνω ύψος υπόκειται σε διορθώσεις όπως φαίνεται στην συνέχεια.

Διόρθωση για Συντελεστή Γάστρας

Το BYE αντιστοιχεί σε πλοίο με $C_{B0.85D} = 0.68$ (σε ύψος 0.85D). Ο συντελεστής γάστρας στο ύψος 0.85D είναι:

$$C_{B0.85D} = C_B * \left(\frac{0.85 * D}{T}\right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = 0.683 * \left(\frac{0.85 * 15.72 \text{ [m]}}{10.50 \text{ [m]}}\right)^{\frac{0.779}{0.683} - 1} \Rightarrow$$

$$C_{B0.85D} = 0.707 > 0.68$$

Οπότε, στην περίπτωση αυτή απαιτείται διόρθωση. Το BYE πολλαπλασιάζεται με $\frac{C_{B0.85D} + 0.68}{1.36}$ άρα έχουμε:

$$YE_1 = BYE * \frac{C_{B0.85D} + 0.68}{1.36} = 2,915 \text{ [mm]} * \frac{0.707 + 0.68}{1.36} \Rightarrow$$

$$YE_1 = 2,972.9 \text{ [mm]}$$

Διόρθωση για Πλευρικό Ύψος D_f

Για το υπό μελέτη πλοίο θα θεωρηθεί ως πάχος του ελάσματος της υδρορροής η τιμή

$t_f = 14 \text{ [mm]}$. Οπότε, το πλευρικό ύψος προκύπτει:

$$D_f = D + t_f \Rightarrow$$

$$D_f = 15.72 \text{ [m]} + 0.014 \text{ [m]} \Rightarrow$$

$$D_f = 15.734 \text{ [m]}$$

Επιπλέον, ισχύει ότι:

$$\frac{L}{15} = \frac{180\text{[m]}}{15} = 12\text{[m]}$$

Άρα: $D_f > \frac{L}{15}$, Οπότε στην περίπτωση αυτή απαιτείται προσαύξηση κατά: $(D_f - (\frac{L}{15})) * R$

Όπου: $R = \begin{cases} \frac{L}{0.48}, L < 120\text{[m]} \\ 250, L > 120 \text{ [m]} \end{cases} \Rightarrow R = 250$, Άρα τελικά έχουμε:

$$Y_{E_2} = Y_{E_1} + (D_f - (\frac{L}{15})) * R \Rightarrow$$

$$Y_{E_2} = 2,972.9\text{[mm]} + (15.734 - 12) * 250 \text{ [mm]} \Rightarrow$$

$$Y_{E_2} = 3,906.4 \text{ [mm]}$$

Διόρθωση για Υπερκατασκευές και Πυργωτά Υπερκατασκευάσματα

Αρχικά το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει πρόστεγο και χρειάζεται να γίνει έλεγχος για το απαιτούμενο ύψος πλώρας. Για το ελάχιστο ύψος πλώρας για πλοία με $L_{BP} < 250 \text{ m}$ θα πρέπει να ισχύει:

$$F_B \geq 56 * L_{BP} * \left(1 - \frac{L_{BP}}{500}\right) * \left(\frac{1.36}{C_{B0.85D} + 0.68}\right) \Rightarrow$$

$$F_B \geq 56 * 180\text{[m]} * \left(1 - \frac{180\text{[m]}}{500}\right) * \left(\frac{1.36}{0.707 + 0.68}\right) \Rightarrow$$

$$F_B \geq 6,325.6 \text{ mm}$$

Το ύψος εξάλων στην πλωραία κάθετο του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$(D_F - T) + h_{\text{πρόστέγου}} = (15,734\text{[mm]} - 10,500\text{[mm]}) + 3,470\text{[mm]} = 8,704\text{[mm]} > F_B$$

Άρα το ύψος εξάλων στην πλωραία κάθετο ικανοποιεί την παραπάνω συνθήκη και δεν χρειάζεται κάποια διόρθωση.

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός για το συνολικό δρών μήκος των υπερκατασκευών και των πυργωτών υπερκατασκευασμάτων. Το πλοίο διαθέτει μόνο υπερκατασκευές, οι οποίες είναι το πρόστεγο και το επίστεγο (A DECK).

Το δρών μήκος για τις υπερκατασκευές είναι:

$$l_{Ei} = l_i * \frac{b_i}{B_i} * \frac{h_i}{h_s}$$

Όπου:

- l_{Ei} : δρών μήκος κάθε υπερκατασκευής
- l_i : μήκος υπερκατασκευής
- b_i : πλάτος υπερκατασκευής
- B_i : πλάτος πλοίου στο ίδιο σημείο
- h_i : ύψος υπερκατασκευής
- h_s : κανονικό ύψος υπερκατασκευής

Για πλοία με μήκος $L_{BP} > 125$ m, το κανονικό ύψος των υπερκατασκευών είναι $h_s = 2.30$ m. Με βάση τον τύπο αυτό, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

	l [m]	h [m]	h_s [m]	b [m]	B [m]	l_E [m]
A DECK	16.20	4.34	2.30	23.02	27.22	25.85
Πρόστεγο	33.13	2.93	2.30	25.08	19.28	54.90

Πίνακας 37 Δρών Μήκος Υπερκατασκευών.

Άρα:

$$E = \sum l_{Ei} = 25.85[m] + 54.90[m] \Rightarrow E = 80.75 [m]$$

Έπειτα, υπολογίζεται ο λόγος E/L :

$$\frac{E}{L_{BP}} = \frac{80.75[m]}{180[m]} = 0.4486 \Rightarrow E = 0.4486 * L_{BP}$$

Αν το δρών μήκος του πλοίου ήταν $1.0L_{BP}$, τότε για πλοία με $L_{BP} > 122$ m, υπάρχει μείωση του ύψους εξάλων κατά $MYE = 1,070$ mm.

Αντίθετα το δρών μήκος είναι $< 1.0L_{BP}$, τότε από τον παρακάτω πίνακα προκύπτει το εξής ποσοστό εκπτώσεως από την παραπάνω τιμή:

Δρών Μήκος	0	0.1L	0.3L	0.5L	0.7L	0.9L
Πλοία Τύπου B [%]	0	5	15	32	63	87.7

Πίνακας 38 Ποσοστά Εκπτώσεων Μείωσης Δρόντος Μήκους για Πλοία Τύπου B.

Μέσω γραμμικής παρεμβολής, προκύπτει ότι το ποσοστό έκπτωσης είναι 27.63%. Άρα το YE γίνεται:

$$YE_3 = YE_2 - 1,070[mm] * 27.63\% \Rightarrow$$

$$YE_3 = 3,906.4[mm] - 1,070[mm] * 0.2763 \Rightarrow$$

$$YE_3 = 3,610.8 \text{ [mm]}$$

Διόρθωση για Σιμότητα

Η πραγματική σιμότητα του υπό μελέτη πλοίου (με βάση τα στοιχεία του πατρικού) στο πρυμναίο και πωραίο τμήμα είναι:

$$M_{SA} = 0$$

$$M_{SF} = 0$$

Άρα η πραγματική σιμότητα για όλο το πλοίο είναι:

$$M_S = \frac{M_{SA} + M_{SF}}{2} \Rightarrow M_S = 0$$

Η κανονική σιμότητα που αντιστοιχεί στο υπό μελέτη πλοίο με βάση το μήκος του υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{NF} = 16.6750 * \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 16.6750 * \left(\frac{180[m]}{3} + 10\right) \Rightarrow M_{NF} = 1,167.25 \text{ [mm]}$$

$$M_{NA} = 8.3375 * \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 8.3375 * \left(\frac{180[m]}{3} + 10\right) \Rightarrow M_{NA} = 583.63 \text{ [mm]}$$

Η κανονική σιμότητα για όλο το πλοίο είναι:

$$M_N = \frac{M_{NF} + M_{NA}}{2} = \frac{1,167.25[mm] + 583.63[mm]}{2} \Rightarrow M_N = 725.39 \text{ [mm]}$$

Προφανώς, υπάρχει έλλειψη σιμότητας. Εάν S είναι το ολικό πραγματικό μήκος των υπερκατασκευών τότε γίνεται προσάυξηση του ύψους εξάλων κατά:

$$\Delta M_N * \left(0.75 - \frac{S}{2 * L_{BP}}\right) = (725.39[mm] - 0[mm]) * \left(0.75 - \frac{49.33[m]}{2 * 180[m]}\right) = 444.64 \text{ [mm]}$$

Οπότε το YE γίνεται:

$$YE_4 = YE_3 + 444,64 \text{ [mm]} \Rightarrow$$

$$YE_4 = 3,610.8[mm] + 444.64[mm] \Rightarrow$$

$$YE_4 = 4,055.44 \text{ [mm]}$$

Συνεπώς το τελικό ύψος εξάλων που προκύπτει είναι:

$$\mathbf{YE = 4,055.44 \text{ [mm]}}$$

Έλεγχος Βυθίσματος

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα της γραμμής φόρτωσης του πλοίου είναι:

$$T_{\max} = D_F - YE = 15.734[\text{m}] - 4.055 [\text{m}] \Rightarrow$$

$$T_{\max} = 11.679 [\text{m}] > T = 10.50 [\text{m}]$$

Συνεπώς το υπό μελέτη πλοίο ανταποκρίνεται στους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης και η διαδικασία της προμελέτης μπορεί να προχωρήσει σε επόμενο στάδιο.

9. Καταμέτρηση Εμπορευματοκιβωτίων υπό Μελέτη Πλοίου

Για την καταμέτρηση των εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Rhino 3D. Σχεδιάζουμε σε κάθε Cargo Hold το μέγιστο αριθμό TEU (Twenty foot Equivalent Unit) με διαστάσεις: 6.1[m](μήκος)X 2.44[m](πλάτος)X 2.59[m](ύψος). Στα Hold άνωθεν του καταστρώματος το ύψος στοίβαξης είναι μέχρι την γραμμή SOLAS (με σκοπό να υπάρχει οπτικότητα από την γέφυρα), η οποία ξεκινάει από την γέφυρα και τελειώνει στα 2L_{BP} του πλοίου. Αναλυτικά η χωρητικότητα του κάθε Hold καθώς και το σχέδιο του πλοίου με πλήρες φορτίο φαίνονται παρακάτω:

NUMBER OF CONTAINERS ON DECK	
AFT DECK	210 TEU
DECK HOLD 8	120 TEU
DECK HOLD 7	120 TEU
DECK HOLD 6	200 TEU
DECK HOLD 5	100 TEU
DECK HOLD 4	80 TEU
DECK HOLD 3	80 TEU
DECK HOLD 2	80 TEU
DECK HOLD 1	40 TEU
TOTAL	1,030 TEU
NUMBER OF CONTAINERS IN HOLD	
DECK HOLD 8	108 TEU
DECK HOLD 7	108 TEU
DECK HOLD 6	216 TEU
DECK HOLD 5	72 TEU
DECK HOLD 4	108 TEU
DECK HOLD 3	100 TEU
DECK HOLD 2	76 TEU
DECK HOLD 1	40 TEU
TOTAL	828 TEU

Πίνακας 39 Χωρητικότητα των Holds σε TEU υπό Μελέτη Πλοίου.

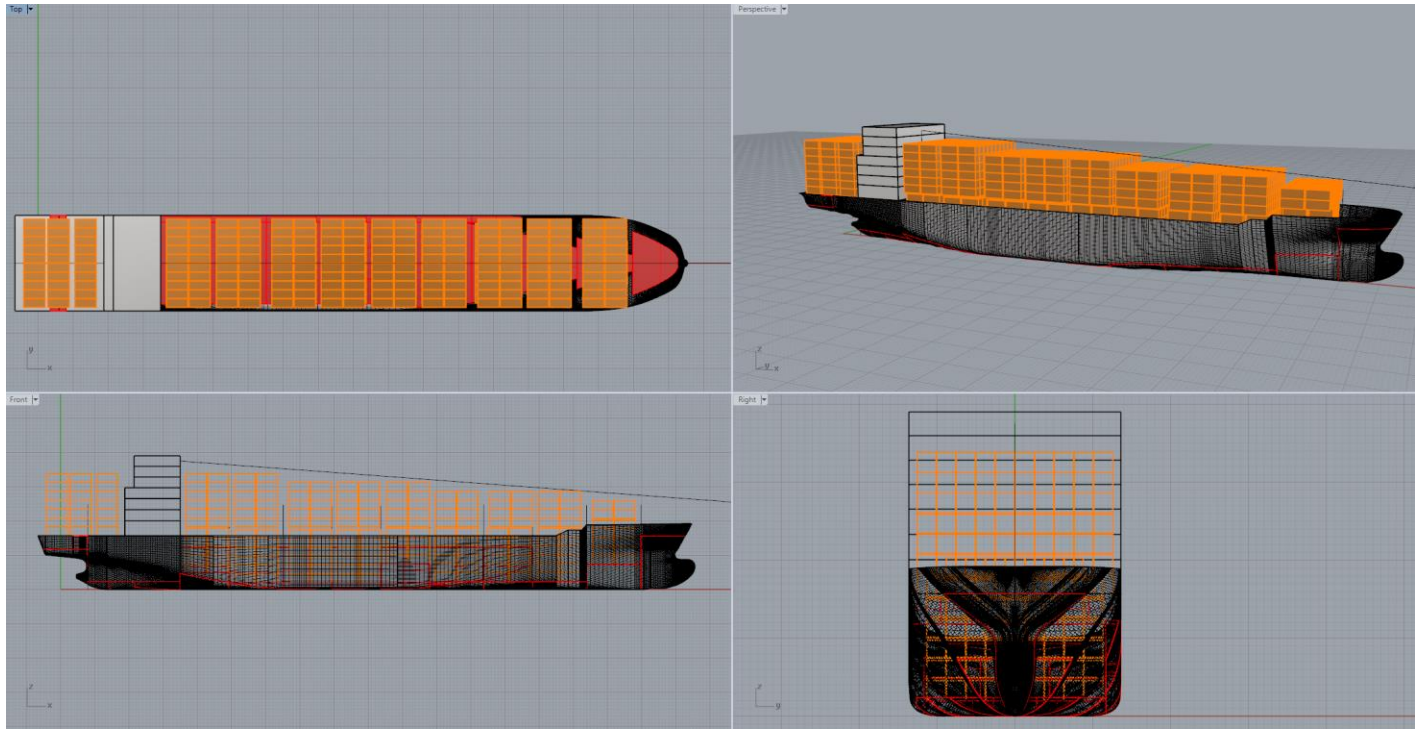
Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η συνολική πραγματική χωρητικότητα σε TEU του υπό μελέτη πλοίου είναι 1,858 TEU. Άρα έχουμε μία απόκλιση της τάξεως:

$$\Delta TEU = \frac{TEU_{\text{πραγμ.}} - TEU_{\text{σχεδίασης}}}{TEU_{\text{σχεδίασης}}} * 100\% = \frac{1,900 [TEU] - 1,858 [TEU]}{1,900 [TEU]} * 100\% \Rightarrow$$

$$\Delta TEU = 2.21 \%$$

Άρα η σχεδίαση και χωρητικότητα των Hold είναι σωστά σχεδιασμένη.

Επιπλέον φαίνεται παρακάτω το σχέδιο του πλήρως φορτωμένου πλοίου.



Εικόνα 15 Σχέδιο Πλήρως Φορτωμένου Πλοίου.

10. Μελέτη Εγκάρσιας Ευστάθειας Άθικτου Πλοίου

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται ο έλεγχος της εγκάρσιας ευστάθειας του πλοίου σε τέσσερις καταστάσεις φόρτωσης μέσω του προγράμματος MaxSurf στο οποίο έχουν σχεδιαστεί και οι απαραίτητες δεξαμενές του υπό μελέτη πλοίου. Για κάθε μια κατάσταση φόρτωσης υπολογίζεται η καμπύλη GZ συναρτήσεως της γωνίας φ (καμπύλη ευστάθειας), η οποία πρέπει να ικανοποιεί τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας, καθώς και τα κριτήρια καιρού του IMO Resolution A.749(18).

10.1. Ανάλυση Κριτηρίων Ασφαλείας IMO Resolution A.749(18)

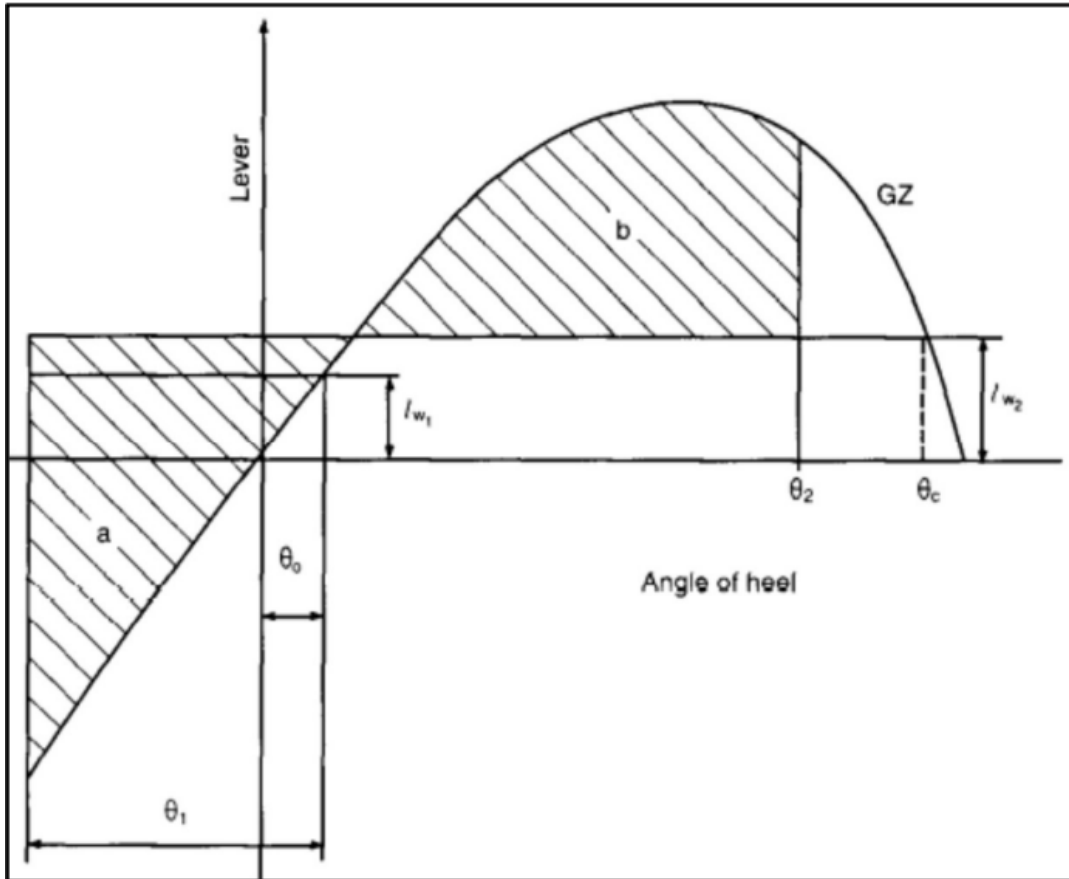
Τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας σύμφωνα με τη παράγραφο 3.1.2 του κανονισμού IMO A.749(18) είναι τα εξής:

- i. Το εμβαδόν που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς δεν πρέπει να είναι μικρότερο του 0.055 [m-radian] μέχρι τη γωνία $\varphi = 30^\circ$ και όχι μικρότερο του 0.09 [m-radian] μέχρι τη γωνία $\varphi = 40^\circ$ ή μέχρι την γωνία κατάκλισης θ_f (flooding angle) αν $\theta_f < 40^\circ$. Ακόμη, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς για το τμήμα από $\varphi = 30-40^\circ$ δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο του 0.03 [m-radian].
- ii. Για γωνίες $\varphi \geq 30^\circ$ θα πρέπει ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς να είναι τουλάχιστον $GZ = 0.20$ [m].
- iii. Θα πρέπει η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς να εμφανίζεται για γωνία $\varphi > 30^\circ$.
- iv. Θα πρέπει για το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM_0 να ισχύει: $GM_0 > 0.15$ [m].

Τα παραπάνω κριτήρια θα πρέπει να ικανοποιούνται σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης.

Τα κριτήρια καιρού σύμφωνα με την παράγραφο 3.2.2 του κανονισμού IMO A.749(18) είναι τα εξής:

- i. Το πλοίο εκτίθεται σε άνεμο πλάγιας κατεύθυνσης και σταθερής έντασης ο οποίος αντιστοιχεί σε σταθερό μοχλοβραχίονα επαναφοράς l_{w1} .
- ii. Λόγω του ανέμου, το πλοίο ισορροπεί σε μια γωνία θ_0 από όπου εκτελεί κίνηση διατοιχισμού λόγω της επίδρασης των πλευρικών κυματισμών σε μια γωνία θ_1 . Στο σημείο αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη σταθερή επίδραση του ανέμου για την αποφυγή περισσότερων γωνιών εγκάρσιας κλίσης.
- iii. Το πλοίο δέχεται μια ριπή ανέμου πλάγιας κατεύθυνσης η οποία αντιστοιχεί σε μοχλοβραχίονα επαναφοράς l_{w2} .
- iv. Σε αυτές τις συνθήκες το εμβαδόν της επιφάνειας b θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας a όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.
- v. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών.



Εικόνα 16 Καμπύλη GZ-φ για τα Κριτήρια Καιρού. [πηγή: IMO Instruments, 1993].

Τα μεγέθη που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα για το κριτήριο καιρού είναι:

- θ_0 : Γωνία ισορροπίας υπό την επίδραση σταθερού ανέμου.
- θ_1 : Γωνία εγκάρσιας κλίσης έπειτα από κίνηση διατοιχισμού υπό την επίδραση κυματισμών.
- θ_2 : $\theta_2 = \min(\theta_f, \theta_c, 50^\circ)$
 - θ_f : Γωνία κατάκλισης.
 - θ_c : Γωνία δεύτερης τομής l_{w2} και της καμπύλης GZ.

Οι μοχλοβραχίονες που αναφέρθηκαν στα βήματα 1-3 έχουν σταθερές τιμές σε όλες τις κλίσεις και υπολογίζονται ως εξής:

$$l_{w1}[\text{m}] = \frac{P * A * Z}{1,000 * g * \Delta}$$

$$l_{w2}[\text{m}] = 1.5 * l_{w1}$$

Όπου:

- $P = 504 \text{ N/m}^2$, σταθερή πίεση ανέμου.
- A : προβεβλημένη πλευρική επιφάνεια του πλοίου άνωθεν της ισάλου.
- Z : κατακόρυφη απόσταση του κέντρου επιφάνειας A έως το κέντρο της πλευρικής επιφάνειας του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την ισάλο επιφανείας πλεύσης.
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Η γωνία θ_1 υπολογίζεται ως εξής:

$$\theta_1 = 109 * k * X_1 * X_2 * \sqrt{r * s}$$

Όπου:

- X_1, X_2 : συντελεστές που φαίνονται στον Πίνακα 40.
- $r = 0.73 \pm 0.6 * \frac{OG}{d}$
 - OG : η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και της ισάλου επιφάνειας [m] (+ αν το κέντρο βάρους είναι πάνω από την ισάλο, - αν είναι από κάτω).
 - d : μέσο βύθισμα του πλοίου [m].
- s, k : συντελεστές που φαίνονται στον Πίνακα 41.

B/d	X_1
≤ 2.4	1.0
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

C_B	X_2
≤ 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
≥ 0.70	1.0

Πίνακας 40 Συντελεστές X_1 και X_2 .

$\frac{A_k \times 100}{L \times B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

Πίνακας 41 Συντελεστές k και s .

(Ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται μέσω γραμμικής παρεμβολής)

Η ιδιοπερίοδος της ταλάντωσης (T) εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$T[\text{sec}] = \frac{2 * C * B}{\sqrt{GM}}$$

$$Με : C = 0.373 + 0.023 * \left(\frac{B}{d}\right) - 0.043 * \left(\frac{L_{WL}}{100}\right)$$

10.2. Υπολογισμός Κέντρου Βάρους L_S (Lightship)

Για να υπολογιστεί η ευστάθεια του υπό μελέτη πλοίου, πρέπει να καθοριστεί η διαμήκης και η καθ' ύψος θέση του κέντρου βάρους του Lightship. Για την επίτευξη αυτού θα εκμεταλλευτούμε τα κέντρα βάρους του πατρικού πλοίου και θα τροποποιηθούν με τους λόγους λ_L και λ_D . Από το stability booklet του πατρικού η θέση του κέντρου βάρους του L_S είναι:

$$LSG_{\pi} = -12.00[\text{m}], \text{ from Midship}$$

$$VSG_{\pi} = 11.2[\text{m}]$$

Επομένως, για το υπό μελέτη πλοίο θα ισχύει:

$$LCG_v = LSG_{\pi} * \lambda_L = -12.00[\text{m}] * 1.125 \Rightarrow$$

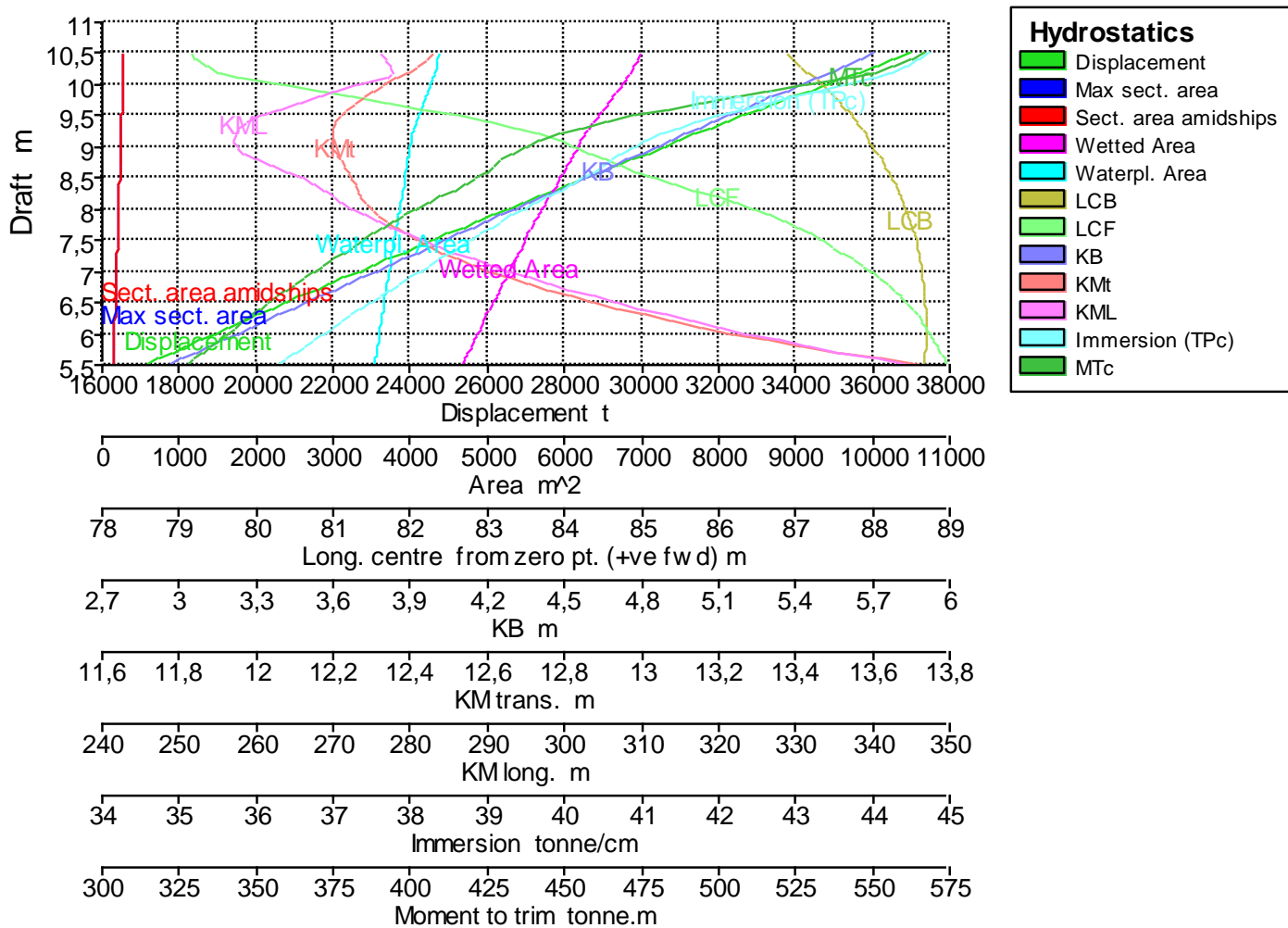
$$\mathbf{LCG_v = -13.5[\text{m}], \text{ from Midship}}$$

$$VCG_v = VSG_{\pi} * \lambda_D = 11.2[\text{m}] * 1.0841 \Rightarrow$$

$$\mathbf{VCG_v = 12.142[\text{m}]}$$

10.3. Υδροστατικό Διάγραμμα υπό Μελέτη Πλοίου

Για τη σχεδίαση του υδροστατικού διαγράμματος χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα MaxSurf. Το υδροστατικό διάγραμμα ενός πλοίου αποτελείται από ένα σύνολο καμπυλών, που παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία, για τον υπολογισμό ισορροπίας του στις καταστάσεις φόρτωσης. Το βασικό δεδομένο που εισάγεται στους υπολογισμούς είναι το βύθισμα του πλοίου, συναρτήσει του οποίου βρίσκονται από το σύνολο των υδροστατικών καμπυλών όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν την πλευση του. Το εύρος του βυθίσματος είναι από 5.5 [m] – 10.5 [m] και το υδροστατικό διάγραμμα φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 22 Υδροστατικό Διάγραμμα υπό Μελέτη πλοίου.

10.4. Υπολογισμός Καμπυλών Ευστάθειας

Ο υπολογισμός των καμπυλών ευστάθειας θα πραγματοποιηθεί για τέσσερις (4) καταστάσεις φόρτωσης:

- Full Load Departure
- Full Load Arrival
- Ballast Departure
- Ballast Arrival

Για τις παραπάνω καταστάσεις θα ληφθεί υπόψη ότι οι δεξαμενές έχουν διαχωρητικότητα 98% εκτός από τις δεξαμενές φρέσκου νερού F.W.Ts οι οποίες έχουν 100%.

10.4.1. Ευστάθεια στην Κατάσταση Full Load Departure

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με πληρωμένο φορτίο, και με full εφόδια.

Full Load Departure								
Space	Όγκος 100% [m ³]	Διαχωρητικότητα [%]	Πληρότητα [%]	Ειδικό βάρος [tn/m ³]	Βάρος [tn]	L.C.G	T.C.G	V.C.G.
Cargo			100	10 [tn/TEU]	18,580	83.956	0.000	13.532
W.B.Ts	9,905.976	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.P.T	796.080	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
A.P.T	638.270	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.W.T	280.956	100	100	1.000	280.956	5.754	0.000	13.786
Fuel Tanks	1,961.347	98	98	0.84	1,614.582	97.056	0.000	4.523
Lube. Oil	171.007	98	98	0.92	154.18	28.402	0.000	1.192
Bilge Holding	71.145	100	100	1.025	72,923	18.429	0.000	1.391
Oily Bilge	26.839	100	100	0.92	24.692	11.995	0.000	1.493
LightShip					9,171.15	76.461	0.000	12.145
				TOTAL	29,906	81.119	0.000	12.519

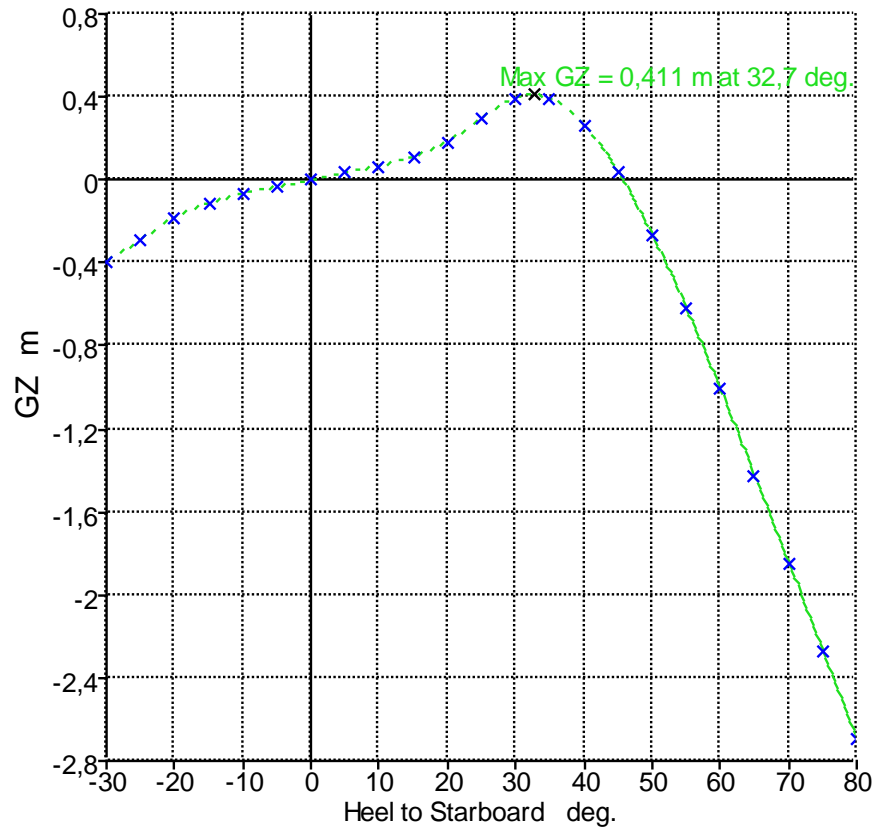
Πίνακας 42 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Full Load Departure.3

Τα υδροστατικά στοιχεία & χαρακτηριστικά του πλοίου στην κατάσταση Full Load Departure είναι:

Displacement [t]	29,906
Draft at FP [m]	6.433
Draft at AP [m]	10.788
WL Length [m]	190.371
Beam max extents on WL [m]	27.237
Wetted Area [m ²]	6,265.980
Waterpl. Area [m ²]	4,296.330
Prismatic coeff. (Cp)	0.620
Block coeff. (Cb)	0.538
LCB from zero pt. (+ve fwd) [m]	80.937
VCB [m]	4.861
LCF from zero pt. (+ve fwd) [m]	77.623
GMt corrected [m]	0.384

Πίνακας 43 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Full Load Departure.

Με τη βοήθεια του προγράμματος Maxsurf υπολογίζονται οι τιμές της καμπύλης εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ - \phi$) για εύρος γωνίας κλίσης -30° έως 80° με βήμα 5° και γίνεται έλεγχος με βάση το κεφάλαιο Ανάλυση Κριτηρίων Ασφαλείας IMO Resolution A.749(18).



Πίνακας 44 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.

Full Load Departure	
Heel	GZ [m]
-30.000	-0.394
-25.000	-0.293
-20.000	-0.184
-15.000	-0.112
-10.000	-0.067
-5.000	-0.033
0.000	0.000
5.000	0.033
10.000	0.067
15.000	0.112
20.000	0.184
25.000	0.293
30.000	0.394
35.000	0.395
40.000	0.266
45.000	0.0386
50.000	-0.262

55.000	-0.617
60.000	-1.009
65.000	-1.422
70.000	-1.845
75.000	-2.271
80.000	-2.693

Πίνακας 45 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.

Κριτήριο Αθικτης Ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZ Area [0,30]	> 0.055 [m*rad]	0.077 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [0,40]	> 0.09 [m*rad]	0.142 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [30,40]	> 0.03 [m*rad]	0.065 [m*rad]	SATISFIED
GZ30	> 0.20 [m]	0.411 [m]	SATISFIED
GZmax	> 30°	32.7°	SATISFIED
GMo	> 0.15 [m]	0.384 [m]	SATISFIED

Πίνακας 46 Έλεγχος Κριτηρίων Αθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Departure.

Κριτήριο Καιρού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος Maxsurf το κριτήριο καιρού ικανοποιείται όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

θ_1 [deg]	25.00
θ_0 [deg]	4.7
θ_c [deg]	45.1
$a(-21,9^\circ,4,7^\circ)$ [m*rad]	0.046
$b(4,7^\circ,45,1^\circ)$ [m*rad]	0.133
$b > a$	TRUE

Πίνακας 47 Έλεγχος Κριτηρίου Καιρού στην Κατάσταση Full Load Departure.

Με μοναδικό σκοπό την διόρθωση του trim έχουμε:

Για την διόρθωση πληρώνουμε το F.P.T και τα W.B.T: No.1(C), No.2(S&P), No.3(S&P), No.4(S&P), No.5F(S&P). Η συνολική πληρότητα των W.B.Ts είναι 31.3%.

Full Load Departure								
Space	Όγκος 100% [m ³]	Διαχωρητικότητα [%]	Πληρότητα [%]	Ειδικό βάρος [tn/m ³]	Βάρος [tn]	L.C.G	T.C.G	V.C.G.
Cargo			100	10 [tn/TEU]	18,580	83.956	0.000	13.532
W.B.Ts	9,905.976	98	31.3	1.025	3,178.32	129.337	0.000	1.969
F.P.T	796.080	100	98	1.025	799.662	175.010	0.000	9.892
A.P.T	638.270	100	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.W.T	280.956	100	100	1.000	280.956	5.754	0.000	13.786
Fuel Tanks	1,961.347	98	98	0.84	1,614.582	97.056	0.000	4.523
Lube. Oil	171.007	98	98	0.92	154.18	28.404	0.000	1.192
Bilge Holding	71.145	100	100	1.025	72,923	18.429	0.000	1.391
Oily Bilge	26.839	100	100	0.92	24.692	11.995	0.000	1.493
LightShip					9,171.15	76.461	0.000	12.145
				TOTAL	32,042.589	88.35	0.000	11.794

Πίνακας 48 Πλήρωση Δεξαμεμών για Διόρθωση Trim στην Κατάσταση Full Load Departure.

Τα υδροστατικά στοιχεία & χαρακτηριστικά του πλοίου για διόρθωση του trim στην κατάσταση Full Load Departure είναι:

Displacement [t]	32,043
Draft at FP [m]	9.560
Draft at AP [m]	9.169
WL Length [m]	175.135
Beam max extents on WL [m]	27.238
Wetted Area [m ²]	6,327.922
Waterpl. Area [m ²]	4,034.306
Prismatic coeff. (Cp)	0.711
Block coeff. (Cb)	0.687
LCB from zero pt. (+ve fwd) [m]	88.365
VCB [m]	5.059
LCF from zero pt. (+ve fwd) [m]	83.838
GMt corrected [m]	0.311

Πίνακας 49 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό μελέτη Πλοίου για Διόρθωση Trim στην Κατάσταση Full Load Departure.

10.4.2. Ευστάθεια στην Κατάσταση Full Load Arrival

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο καταφθάνει στο λιμάνι με πληρωμένο φορτίο, οι δεξαμενές έρματος άδειες, και τα εφόδια στο 10% . Επίσης για την Διόρθωση του trim πληρούμε την F.P.T και τα W.B.T.: No.1(C), No.2(S&P), No.3(S&P), No.4(S&P), No.5F(S&P).

Full Load Arrival								
Space	Όγκος 100% [m ³]	Διαχωρητικότητα [%]	Πληρότητα [%]	Ειδικό βάρος [tn/m ³]	Βάρος [tn]	L.C.G	T.C.G	V.C.G.
Cargo			100	10 [tn/TEU]	18,580	83.956	0.000	13.532
W.B.Ts	9,905.976	98	31.3	1.025	3,178.32	129.337	0.000	1.969
F.P.T	796.080	98	98	1.025	799.662	175.010	0.000	9.892
A.P.T	638.270	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.W.T	280.956	100	10	1.000	280.956	5.772	0.000	12.015
Fuel Tanks	1,961.347	98	10	0.84	1,614.582	97.201	0.000	2.138
Lube. Oil	171.007	98	10	0.92	154.18	28.495	0.000	0.157
Bilge Holding	71.145	100	100	1.025	72,923	18.429	0.000	1.391
Oily Bilge	26.839	100	100	0.92	24.692	11.995	0.000	1.493
LightShip					9,171.15	76.461	0.000	12.145
				TOTAL	32,058.908	88.395	0.000	11.796

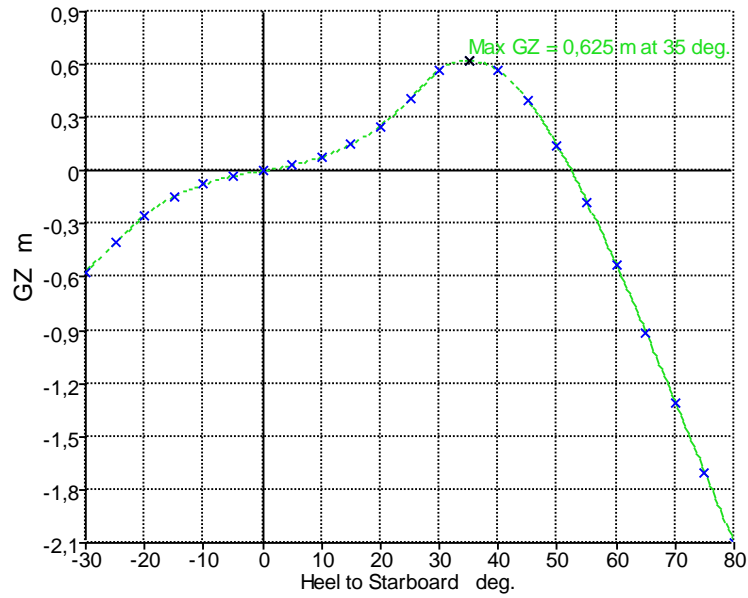
Πίνακας 50 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Full Load Arrival.

Τα υδροστατικά στοιχεία & χαρακτηριστικά του πλοίου με την διόρθωση του trim στη κατάσταση Full Load Departure είναι:

Displacement [t]	32,059
Draft at FP [m]	9.582
Draft at AP [m]	9.157
WL Length [m]	175.056
Beam max extents on WL [m]	27.238
Wetted Area [m ²]	6,328.596
Waterpl. Area [m ²]	4,033.206
Prismatic coeff. (Cp)	0.711
Block coeff. (Cb)	0.686
LCB from zero pt. (+ve fwd) [m]	88.411
VCB [m]	5.061
LCF from zero pt. (+ve fwd) [m]	83.879
GMt corrected [m]	0.306

Πίνακας 51 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Full Load Arrival.

Με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζεται και εδώ η καμπύλη εγκάρσιας ευστάθειας (GZ – φ).



Πίνακας 52 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.

Full Load Arrival	
Heel	GZ [m]
-30.000	-0.569
-25.000	-0.407
-20.000	-0.253
-15.000	-0.148
-10.000	-0.077
-5.000	-0.030
0.000	0.000
5.000	0.030
10.000	0.077
15.000	0.148
20.000	0.253
25.000	0.407
30.000	0.569
35.000	0.625
40.000	0.566
45.000	0.396
50.000	0.140
55.000	-0.175
60.000	-0.531
65.000	-0.913
70.000	-1.307
75.000	-1.706
80.000	-2.099

Πίνακας 53 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.

Κριτήριο Άθικτης Ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZ Area [0,30]	> 0.055 [m*rad]	0.104 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [0,40]	> 0.09 [m*rad]	0.210 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [30,40]	> 0.03 [m*rad]	0.106 [m*rad]	SATISFIED
GZ30	> 0.20 [m]	0.625 [m]	SATISFIED
GZmax	> 30°	35°	SATISFIED
GMo	> 0.15 [m]	0.306 [m]	SATISFIED

Πίνακας 54 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Full Load Arrival.

Κριτήριο Καιρού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος Maxsurf το κριτήριο καιρού ικανοποιείται όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

θ_1 [deg]	25.0
θ_0 [deg]	4.4
θ_c [deg]	51.9
a(-21.9°,4.4°) [m*rad]	0.053
b(4.4°,50°) [m*rad]	0.255
b > a	TRUE

Πίνακας 55 Έλεγχος Κριτηρίου Καιρού στην Κατάσταση Full Load Arrival.

10.4.3. Ευστάθεια στην Κατάσταση Ballast Departure

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με άδειο φορτίο ενώ οι δεξαμενές έρματος και τα εφόδια είναι πληρωμένα στο full,. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές φαίνονται παρακάτω (Η δεξαμενή F.P.T. είναι πληρωμένη για διόρθωση του trim):

Ballast Departure								
Space	Όγκος 100% [m ³]	Διαχωρητικότητα α [%]	Πληρότητα [%]	Ειδικό βάρος [tn/m ³]	Βάρος [tn]	L.C.G	T.C.G	V.C.G.
Cargo			0	10 [tn/TEU]	0	0.000	0.000	0.000
W.B.Ts	9,905.976	98	98	1.025	9,950.553	90.292	0.000	3.815
F.P.T	796.080	98	98	1.025	799.662	174.99	0.000	9.892
A.P.T	638.270	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.W.T	280.956	100	100	1.000	280.956	5.754	0.000	13.786
Fuel Tanks	1,961.347	98	98	0.84	1,614.582	97.201	0.000	4.523
Lube. Oil	171.007	98	98	0.92	154.18	28.396	0.000	1.192
Bilge Holding	71.145	100	100	1.025	72,923	18.429	0.000	1.391
Oily Bilge	26.839	100	100	0.92	24.692	11.995	0.000	1.493
LightShip					9,171.15	76.461	0.000	12.145
				TOTAL	22,075.956	86.269	0.000	7.648

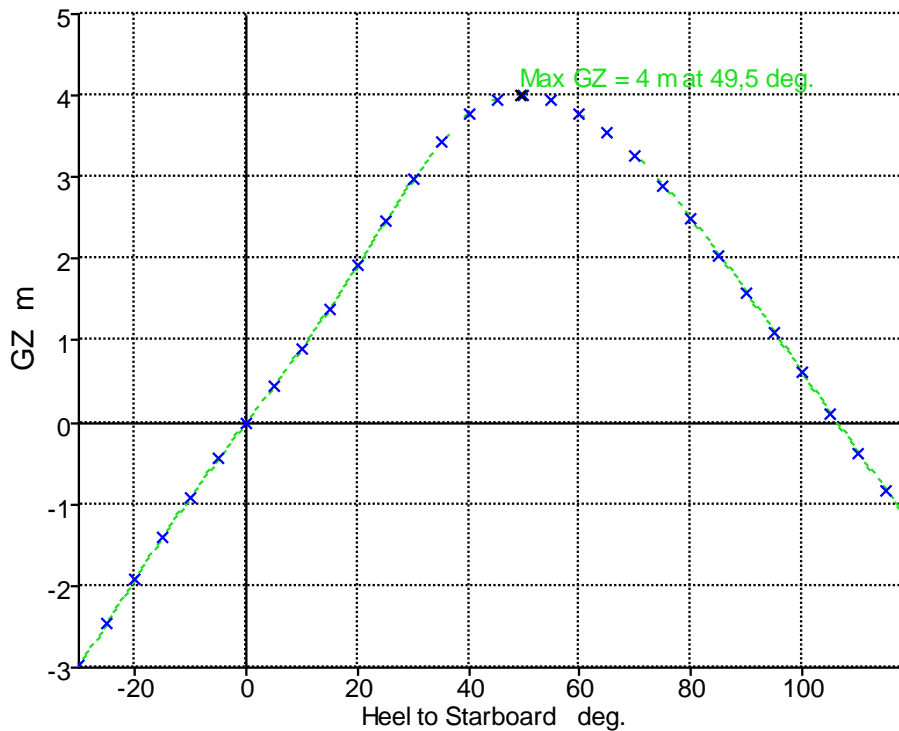
Πίνακας 56 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Ballast Departure.

Τα υδροστατικά στοιχεία & χαρακτηριστικά του πλοίου με την διόρθωση του trim στην κατάσταση Ballast Departure είναι:

Displacement [t]	22,076
Draft at FP [m]	6.089
Draft at AP [m]	7.545
WL Length [m]	177.940
Beam max extents on WL [m]	27.220
Wetted Area [m ²]	5,209.335
Waterpl. Area [m ²]	3,732.004
Prismatic coeff. (Cp)	0.648
Block coeff. (Cb)	0.598
LCB from zero pt. (+ve fwd) [m]	86.259
VCB [m]	3.689
LCF from zero pt. (+ve fwd) [m]	86.900
GMt corrected [m]	5.145

Πίνακας 57 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Ballast Departure.

Με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζεται και εδώ η καμπύλη εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ - \varphi$).



Διάγραμμα 23 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.

Ballast Departure	
Heel	GZ [m]
-30.000	-2.970
-25.000	-2.456
-20.000	-1.918
-15.000	-1.398
-10.000	-0.914
-5.000	-0.451
0.000	-0.000
5.000	0.451
10.000	0.918
15.000	1.398
20.000	1.918
25.000	2.456
30.000	2.970
35.000	3.429
40.000	3.781
45.000	3.954
50.000	3.999
55.000	3.935
60.000	3.778
65.000	3.548
70.000	3.252
75.000	2.899
80.000	2.495
85.000	2.053
90.000	1.584
95.000	1.098
100.000	0.604
105.000	0.112
110.000	-0.369
115.000	-0.828
120.000	-1.253

Πίνακας 58 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.

Κριτήριο Άθικτης Ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZ Area [0,30]	> 0.055 [m*rad]	0.752 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [0,40]	> 0.09 [m*rad]	1.347 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [30,40]	> 0.03 [m*rad]	0.595 [m*rad]	SATISFIED
GZ30	> 0.20 [m]	4.000 [m]	SATISFIED
GZmax	> 30°	49.5°	SATISFIED
GMo	> 0.15 [m]	5.145 [m]	SATISFIED

Πίνακας 59 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Departure.

Κριτήριο Καιρού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος Maxsurf το κριτήριο καιρού ικανοποιείται όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

θ_1 [deg]	25.0
θ_o [deg]	0.6
θ_c [deg]	105.6
$a(-24.6^\circ, 0.6^\circ)$ [m*rad]	0.521
$b(0.6, 50)$ [m*rad]	1.989
$b > a$	TRUE

Πίνακας 60 Έλεγχος Ευστάθειας Καιρού στην Κατάσταση Ballast Departure.

10.4.4. Ευστάθεια στην Κατάσταση Ballast Arrival

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο καταφθάνει στο λιμάνι με άδειο φορτίο ενώ οι δεξαμενές έρματος είναι πληρωμένες στο 98%, και τα εφόδια είναι στο 10%. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές φαίνονται παρακάτω:

Ballast Arrival								
Space	Όγκος 100% [m ³]	Διαχωρητικότητα α [%]	Πληρότητα [%]	Ειδικό βάρος [tn/m ³]	Βάρος [tn]	L.C.G	T.C.G	V.C.G.
Cargo			0	10 [tn/TEU]	0	0.000	0.000	0.000
W.B.Ts	9,905.976	98	98	1.025	9,950.553	90.336	0.000	3.815
F.P.T	796.080	98	98	1.025	799.662	175.010	0.000	9.892
A.P.T	638.270	98	0	1.025	0	0.000	0.000	0.000
F.W.T	280.956	100	10	1.000	28.096	5.762	0.000	12.015
Fuel Tanks	1,961.347	98	10	0.84	164.753	97.130	0.000	2.138
Lube. Oil	171.007	98	10	0.92	15.733	28.479	0.000	0.157
Bilge Holding	71.145	100	100	1.025	72,923	18.429	0.000	1.391
Oily Bilge	26.839	100	100	0.92	24.692	11.995	0.000	1.493
LightShip					9,171.15	76.461	0.000	12.145
				TOTAL	20,234.821	86.923	0.000	7.817

Πίνακας 61 Πλήρωση Δεξαμενών στην Κατάσταση Ballast Arrival.

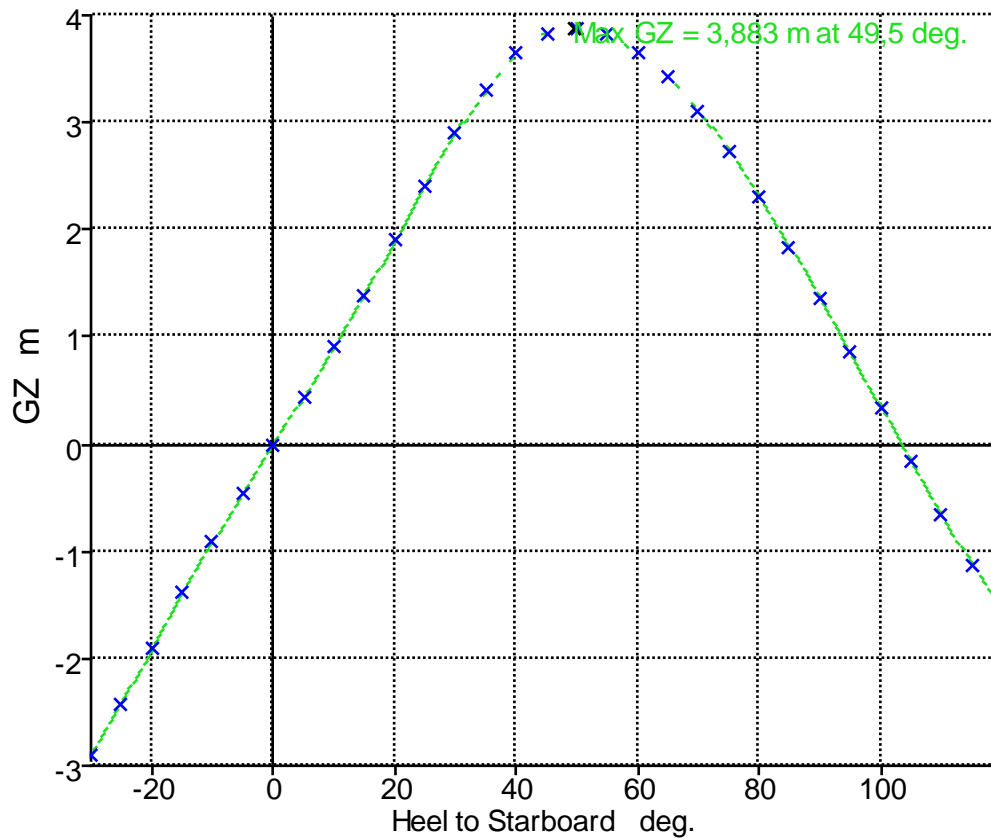
Τα υδροστατικά στοιχεία & χαρακτηριστικά του πλοίου με την διόρθωση του trim στην κατάσταση Ballast Arrival είναι:

Displacement [t]	20,236
Draft at FP [m]	5.816
Draft at AP [m]	6.857
WL Length [m]	177.766
Beam max extents on WL [m]	27.224

Wetted Area [m ²]	5,004.358
Waterpl. Area [m ²]	3,655.225
Prismatic coeff. (Cp)	0.645
Block coeff. (Cb)	0.602
LCB from zero pt. (+ve fwd) [m]	86.897
VCB [m]	3.420
LCF from zero pt. (+ve fwd) [m]	87.751
GMt corrected [m]	5.116

Πίνακας 62 Υδροστατικά Μεγέθη & Χαρακτηριστικά υπό Μελέτη Πλοίου στην Κατάσταση Ballast Arrival.

Με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζεται και εδώ η καμπύλη εγκάρσιας ευστάθειας (GZ – φ).



Διάγραμμα 24 Καμπύλη Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.

Ballast Arrival	
Heel	GZ [m]
-30.000	-2.895
-25.000	-2.417
-20.000	-1.899
-15.000	-1.391

-10.000	-0.91
-5.000	-0.448
0.000	-0.000
5.000	0.448
10.000	0.91
15.000	1.391
20.000	1.899
25.000	2.417
30.000	2.895
35.000	3.3
40.000	3.64
45.000	3.83
50.000	3.883
55.000	3.821
60.000	3.661
65.000	3.419
70.000	3.101
75.000	2.731
80.000	2.304
85.000	1.841
90.000	1.353
95.000	0.849
100.000	0.34
105.000	-0.165
110.000	-0.655
115.000	-1.121
120.000	-1.549

Πίνακας 63 Τιμές Καμπύλης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.

Κριτήριο Άθικτης Ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZ Area [0,30]	> 0.055 [m*rad]	0.743 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [0,40]	> 0.09 [m*rad]	1.317 [m*rad]	SATISFIED
GZ Area [30,40]	> 0.03 [m*rad]	0.574 [m*rad]	SATISFIED
GZ30	> 0.20 [m]	3.883 [m]	SATISFIED
GZmax	> 30°	49.5°	SATISFIED
GMo	> 0.15 [m]	5.116 [m]	SATISFIED

Πίνακας 64 Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας στην Κατάσταση Ballast Arrival.

Κριτήριο Καιρού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος Maxsurf το κριτήριο καιρού ικανοποιείται όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

θ_1 [deg]	25.00
θ_o [deg]	0.7
θ_c [deg]	102.8
$a(-24.6^\circ, 0.7^\circ)$ [m*rad]	0.518
$b(0.7, 50)$ [m*rad]	1.930
$b > a$	TRUE

Πίνακας 65 Έλεγχος Ευστάθειας Καιρού στην Κατάσταση Ballast Arrival.

11. Αντίσταση και Πρόωση

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτίμηση της αντίστασης που δέχεται το υπό μελέτη πλοίο.

11.1. Υπολογισμός Αντίστασης με τη Μέθοδο Holtrop & Mennen

Η μέθοδος Holtrop & Mennen είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους υπολογισμού της αντίστασης των πλοίων εκτοπίσματος. Βασίζεται στη στατική ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού δοκιμών σε μοντέλα και σαν αποτέλεσμα, η μέθοδος έχει ευρεία εφαρμογή. Η αντίσταση, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους εδώ, υπολογίζεται σαν ένα διαστατό μέγεθος. Επίσης, τα περισσότερα μεγέθη στην μέθοδο Holtrop & Mennen υπολογίζονται με βάση το μήκος ισάλου L_{WL} και όχι το L_{BP} . (Birk,2019)

Δεδομένα

Από το πρόγραμμα Maxsurf και για το μήκος ισάλου $L_{WL} = 184.335$ [m] έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

- $C_B = 0.683$
- $C_P = 0.696$
- $C_{WP} = 0.87$
- $l_{CB}\% = 0.44 * F_{n(\text{design})} - 0.094 = 0.105\%$

Τρέχων μήκος L_R :

$$L_R = L_{WL} * \frac{1 - C_P + 0.06 * C_P * l_{CB}}{4 * C_P - 1} \Rightarrow L_R = 31.86[\text{m}]$$

Μισή γωνία εισόδου i_E :

$$i_E = 1 + 89 * e^a \Rightarrow i_E = 29.764^\circ$$

Όπου:

$$a = - \left[\left(\frac{L_{WL}}{B} \right)^{0.80856} * (1 - C_{WP})^{0.30484} * (1 - C_P - 0.0225 * l_{CB})^{0.6367} * \left(\frac{L_R}{B} \right)^{0.34574} * \left(\frac{100 * \nabla}{L_{WL}^3} \right)^{0.16302} \right] \Rightarrow a = -1.1295$$

Επιπλέον στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της αντίστασης είναι:

Προβεβλημένη επιφάνεια του πλοίου άνωθεν της ισάλου στην κατεύθυνση της V_s :

$$A_V = 142.9 [\text{m}^2]$$

Επιφάνεια βυθισμένης άβακος:

$$A_T = 0 \text{ [m}^2\text{]}$$

Επιφάνεια εγκάρσιας επιφάνειας βολβού στην προωαία κάθετο

$$A_{BT} = 18.97 \text{ [m}^2\text{]}$$

Καθ' ύψος θέση κέντρου επιφάνειας A_{BT} :

$$h_B = 5.58 \text{ [m]}$$

Βρεχόμενη επιφάνεια γάστρας:

$$S = 6,992.807 \text{ [m}^2\text{]}$$

Λιαδικασία Εφαρμογής Μεθόδου

Οι παρακάτω υπολογισμοί αφορούν την υπηρεσιακή ταχύτητα $V_S = 19.00 \text{ [kn]} = 9.774 \text{ [m/s]}$. Αρχικά πρέπει να γίνει επαναπροσδιορισμός των αδιάστατων αριθμών Froude & Reynolds με βάση το μήκος ισάλου:

$$Fr = \frac{V_S}{\sqrt{g * L_{WL}}} = \frac{9.774 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{\sqrt{9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] * 184.335 \text{ [m]}}} \Rightarrow Fr = 0.23$$

$$Re = \frac{V_S * L_{WL}}{\nu} = \frac{9.774 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 184.335 \text{ [m]}}{1.118 * 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \Rightarrow Re = 1.61 * 10^9$$

Η συνολική αντίσταση ενός πλοίου αποτελείται από διάφορες συνιστώσες, για κάθε μία από τις οποίες θα γίνει ξεχωριστός υπολογισμός. Οι συνιστώσες είναι οι εξής:

- Αντίσταση τριβής R_F
- Αντίσταση κυματισμού R_W
- Αντίσταση λόγω βολβοειδούς πλώρης R_B
- Αντίσταση λόγω πρύμνης άβακος R_{TR}
- Αντίσταση συσχέτισης μοντέλου – πλοίου R_A
- Αντίσταση αέρα R_{AA}

Αντίσταση Τριβής R_F

$$R_F = \frac{1}{2} * \rho_w * V_S^2 * S * C_F$$

Όπου:

- $\rho_w = 1,025 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού στους 15°C
- C_F : Συντελεστής που υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(\text{Re}) - 2)^2} \Rightarrow C_F = 0.0014$$

Άρα η αντίσταση τριβής γίνεται:

$$R_F = \frac{1}{2} * 1025 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9.774^2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2 * 6,992.807 \text{ [m}^2\text{]} * 0.0014$$

$$\mathbf{R_F = 479.3 \text{ [kN]}}$$

Αργότερα, κατά τον υπολογισμό της ολικής αντίστασης, η αντίσταση τριβής επαυξάνεται με έναν συντελεστή k . Για το συντελεστή αυτό, πρέπει πρώτα, μέσω ενός συντελεστή C_{STERN} , να υπολογισθεί πρώτα η σταθερά c_{14} .

Για νομείς U το $C_{\text{STERN}} = 10$.

Άρα:

$$c_{14} = 1.0 + 0.011 * C_{\text{STERN}} = 1.0 + 0.011 * 10 \Rightarrow c_{14} = 1.11$$

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σταθερά, ο συντελεστής k προκύπτει:

$$k = -0.07 + 0.487118 * c_{14} * \left[\left(\frac{B}{L_{\text{WL}}} \right)^{1.06806} * \left(\frac{T}{L_{\text{WL}}} \right)^{0.46106} * \left(\frac{L_{\text{WL}}}{L_R} \right)^{0.121563} * \left(\frac{L_{\text{WL}}^3}{\nabla} \right)^{0.36486} * (1 - C_p)^{-0.604247} \right] \Rightarrow$$

$$k = 0.5827$$

Αντίσταση Κυματισμού R_w

Η αντίσταση κυματισμού, εξαρτάται από την τιμή του αριθμού Froude. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για $Fr < 0.4$, η αντίσταση κυματισμού υπολογίζεται ως εξής:

$$R_W = c_1 * c_2 * c_5 * \rho_w * g * \nabla * e^{m_1 * Fr^d + m_2 * \cos(\lambda * Fr^{-2})}$$

Για τους παραπάνω συντελεστές και σταθερές ισχύουν τα παρακάτω:

Συντελεστής c_1 :

$$c_1 = 2,223,105 * c_7^{3.78613} * \left(\frac{T}{B}\right)^{1.07961} * (90 - i_E)^{-1.37565} \Rightarrow c_1 = 2.0278$$

$$\text{Με } c_7 = \frac{B}{L_{WL}} = 0.1477$$

Συντελεστής c_2 :

$$c_2 = e^{(-1.89 * \sqrt{c_3})} \Rightarrow c_2 = 0.7381$$

$$\text{Με } c_3 = 0.56 * \frac{A_{BT}^{1.5}}{B * T * (0.31 * \sqrt{A_{BT} + T_F - h_B})} \Rightarrow c_3 = 0.02582$$

Συντελεστής c_5 :

$$c_5 = 1 - 0.8 * \frac{A_T}{B * T * C_M} \Rightarrow c_5 = 1$$

Συντελεστής m_1 :

$$m_1 = 0.0140407 * \frac{L_{WL}}{T} - 1.75254 * \frac{\sqrt[3]{1}}{L_{WL}} - 4.79323 * \frac{B}{L_{WL}} - c_{16} \Rightarrow m_1 = -2.0335$$

$$\text{Με } c_{16} = 8.07981 * C_P - 13.8673C_P^2 + 6.984388 * C_P^3 \Rightarrow c_{16} = 1.2608$$

Συντελεστής d :

$$d = -0.9$$

Συντελεστής m_2 :

$$m_2 = 0.4 * c_{15} * e^{-0.034 * Fr^{-3.29}} = -0.00938$$

$$\text{Με } c_{15} = -1.69385$$

Συντελεστής λ :

$$\lambda = 1.446 * C_P - 0.03 * \frac{L_{WL}}{B} \Rightarrow \lambda = 1.00642$$

Με βάση τους παραπάνω συντελεστές η αντίσταση κυματισμού γίνεται:

$$R_W = 2.0278 * 0.7381 * 1 * 1,025 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] * 35,167.48[\text{m}^3] \\ * e^{-2.0335 * 0.23^{-0.9} - 0.00938 * \cos(1.00642 * 0.23^{-2})} \Rightarrow$$

$$R_W = 254.01 \text{ [kN]}$$

Αντίσταση Λόγω Βολβοειδούς Πλώρης R_B

$$R_B = 0.11 * e^{-3 * P_B^{-2}} * F n^3 * A_{BT}^{1.5} * \rho_w * \frac{g}{1 + F n^2}$$

Η παράμετρος P_B αναφέρεται στην ανάδυση του βολβού από την ίσαλο:

$$P_B = 0.56 * \frac{\sqrt{A_{BT}}}{T_F - 1.5 * h_B} \Rightarrow P_B = 1.1451$$

Άρα η αντίσταση λόγω βολβού προκύπτει:

$$R_B = 0.11 * e^{-3 * 1.1451^{-2}} * 0.23^3 * 18.97^{1.5} * 1,025 * \frac{9.81}{1 + 0.23^2} \Rightarrow$$

$$R_B = 0.107 \text{ [kN]}$$

Αντίσταση Λόγω Πρύμνης Άβακος R_{TH}

Το υπό μελέτη πλοίο δεν διαθέτει πρύμνη άβακος Άρα:

$$R_{TH} = 0 \text{ [kN]}$$

Αντίσταση Συσχέτισης Μοντέλου – Πλοίου R_A

Η αντίσταση αυτή περιλαμβάνει φαινόμενα τραχύτητας, καθώς και άλλα επιπρόσθετα φαινόμενα τα οποία δεν λαμβάνονται υπόψη στις προηγούμενες συνιστώσες της αντίστασης. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός ενός συντελεστή συσχέτισμού μέσω του παρακάτω τύπου:

$$C_A = 0.006 * (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 * \sqrt{\frac{L_{WL}}{7.5}} * C_B^4 * c_2 * (0.04 - c_4) \Rightarrow$$

$$C_A = 3.796 * 10^{-4}$$

Όπου $c_4 = 0.04$

Άρα η αντίσταση συσχέτισης μοντέλου – πλοίου γίνεται:

$$R_A = \frac{1}{2} * \rho_w * V_S^2 * S * C_A \Rightarrow$$

$$R_A = 129.96 \text{ [kN]}$$

Αντίσταση Λόγω Αέρα R_{AA}

$$R_{AA} = \frac{1}{2} * \rho_A * V_S^2 * C_{DA} * A_V$$

Όπου:

- $\rho_A = 1.225 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$: Η πυκνότητα του αέρα στους 15°C .
- $C_{DA} = 0.8$: Συντελεστής αέρα.

Επομένως:

$$R_{AA} = \frac{1}{2} * 1.225 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9.774^2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 0.8 * 142.9 \text{ [m}^2\text{]} \Rightarrow$$

$$\mathbf{R_{AA} = 6.69 \text{ [kN]}}$$

Ολική Αντίσταση R_T

$$R_T = (1 + k) * R_F + R_A + R_W + R_B + R_{TR} + R_{AA} \Rightarrow$$

$$R_T = (1 + 0.5827) * 479.3[\text{kN}] + 129.96[\text{kN}] + 254.01[\text{kN}] + 0.107[\text{kN}] + 0[\text{kN}] + 6.69[\text{kN}] \Rightarrow$$

$$\mathbf{R_T = 1,149.35 \text{ [kN]} = 117,199.22 \text{ [kp]}}$$

Η απαιτούμενη ισχύς είναι:

$$\text{EHP[PS]} = \frac{R_T[\text{kp}] * V_S \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{75} = \mathbf{15,273.40 \text{ [PS]}}$$

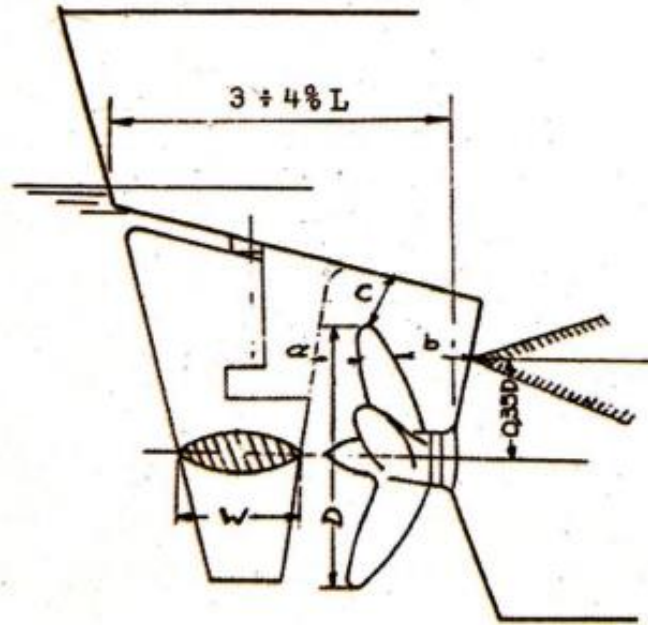
$$\text{EHP[kW]} = 0.73549875 * \text{EHP[PS]} = \mathbf{11,233.57 \text{ [kW]}}$$

11.2. Επιλογή Έλικας

Διάμετρος D_p

Αρχικά, γίνεται μία εκτίμηση της μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου που μπορεί να έχει η έλικα του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη δύο παράγοντες:

1. Τους περιορισμούς της MARPOL, οι οποίοι ορίζουν πως η έλικα πρέπει να είναι πλήρως βυθισμένη σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης.
2. Τις ανοχές μεταξύ έλικας και κλωβού για σκάφη χωρίς ποδόστημα σύμφωνα με τον Γερμανικό (GL) και Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV), οι οποίες φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 17 Ανοχές Μεταξύ Έλικας και Κλωβού (ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2).

Για τις διαστάσεις a , b , c ισχύουν τα εξής:

$$a = 0.09 * D = 0.09 * 15.72[\text{m}] \Rightarrow a = 1.415 [\text{m}]$$

$$b = 0.15 * D = 0.15 * 15.72[\text{m}] \Rightarrow a = 2.358 [\text{m}]$$

$$c = 0.08 * D = 0.08 * 15.72[\text{m}] \Rightarrow a = 1.258[\text{m}]$$

Από τις καταστάσεις φόρτωσης που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, η κατάσταση με το μικρότερο βύθισμα είναι η Ballast Arrival στην οποία το πρυμναίο βύθισμα είναι:

$$T_a = 5.9 [\text{m}]$$

Σύμφωνα με το βιβλίο ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ 2009 Α. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ τεύχος 2 ισχύει:

$D_p = (0.65 \div 0.70) * T$, επιλέγουμε την μέση τιμή.

$$D_p = 0.675 * 5.9[\text{m}] \Rightarrow$$

$$D_p = 3.98 [\text{m}] < 5.9 [\text{m}] - 1.258 [\text{m}] = 4.642 [\text{m}]$$

Άρα ισχύει και ο περιορισμός.

Αριθμός Πτερυγίων Έλικας z

Εφόσον δεν υπάρχουν περιορισμοί για τον αριθμό των πτερυγίων της έλικας, επιλέγεται αριθμός ίσος με αυτόν του πατρικού, δηλαδή:

$$z = 4$$

Ποσοστό Ομόρου w

Για τον υπολογισμό του ποσοστού ομόρου γίνεται χρήση τριών εμπειρικών σχέσεων και υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων:

1. Kruger: $w_1 = 0.75 * C_B - 0.24 = 0.75 * 0.683 - 0.24 \Rightarrow w_1 = 0.272$
2. Heckser: $w_2 = 0.7 * C_P - 0.18 = 0.7 * 0.698 - 0.18 \Rightarrow w_2 = 0.309$
3. Troost: $w_3 = 0.25 + 2.5 * (C_B - 0.6)^2 = 0.25 + (0.683 - 0.6)^2 \Rightarrow w_3 = 0.257$

Άρα ο μέσος όρος είναι:

$$w = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{3} = \frac{0.272 + 0.309 + 0.257}{3} \Rightarrow$$

$$w = 0.279$$

Συντελεστής Μείωσης Ώσης t

Με παρόμοιο τρόπο, υπολογίζεται και ο συντελεστής μείωσης ώσης:

$$1 \quad \text{S.S.P.A: } t_1 = w * \left(1.57 - C_B * \frac{2.3 - 1.5 * C_{WP}}{C_{WP}} \right) = 0.279 * \left(1.57 - 0.683 * \frac{2.3 - 1.5 * 0.779}{0.779} \right) \Rightarrow$$
$$t_1 = 0.222$$

$$2 \quad \text{Heckser: } t_2 = 0.5 * C_P - 0.12 = 0.5 * 0.698 - 0.12 \Rightarrow t_2 = 0.229$$

$$3 \quad \text{Danckwardt: } t_3 = 0.5 * C_B - 0.15 = 0.5 * 0.683 - 0.15 \Rightarrow t_3 = 0.192$$

Άρα ο μέσος όρος είναι:

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{0.222 + 0.229 + 0.192}{3} \Rightarrow$$

$$t = 0.214$$

Βαθμός Απόδοσης Αξονικού Συστήματος n_s

Η ισχύς που μεταδίδεται από την κύρια μηχανή στην έλικα του σκάφους μέσω του άξονα, μειώνεται κατά ένα ποσοστό. Οι απώλειες αυτής της ενέργειας οφείλονται κυρίως σε διάφορα έδρανα στήριξης του ελικοφόρου άξονα, καθώς και στην τριβή δημιουργείται. Μια εκτίμηση για το βαθμό απόδοσης του αξονικού συστήματος είναι η παρακάτω:

$$n_s = 0.999$$

Βαθμός Απόδοσης Γάστρας η_H

Ο βαθμός απόδοσης της γάστρας, υπολογίζεται συναρτήσει των συντελεστών ομόρου και μείωσης ώσης:

$$n_H = \frac{1 - t}{1 - w} = \frac{1 - 0.214}{1 - 0.279} \Rightarrow$$

$$n_H = 1.09$$

Ταχύτητα Προχώρησης V_A

Η ταχύτητα της επερχόμενης ροής στην έλικα, είναι διαφορετική από την ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου. Η ταχύτητα της επερχόμενης ροής ονομάζεται ταχύτητα προχώρησης και υπολογίζεται ως εξής:

$$V_A = V_S * (1 - w) = 9.774 \left[\frac{m}{s} \right] * (1 - 0.279) \Rightarrow$$

$$V_A = 7.047 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Ωση Έλικας T

Η ώση που πρέπει να έχει η έλικα έτσι ώστε το πλοίο να υπερνικήσει την αντίσταση R_T και να αναπτύξει την ταχύτητα υπηρεσίας υπολογίζεται ως:

$$T = \frac{R_T}{1 - t} = \frac{117,199.22 \text{ [kp]}}{1 - 0.214} \Rightarrow$$

$$T = 149,108.42 \text{ [kp]} = 1,462.28 \text{ [kN]}$$

Λόγος Εκτεταμένης Επιφάνειας Έλικας A_E/A_O

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{(1.3 + 0.3 * z) * T}{(p_o - p_{v(s.w.15^\circ C)}) * D_p^2} + k$$

Όπου:

- $p_o = p_a + \rho * g * h$: η ολική πίεση στο βύθισμα του άξονα με $p_a = 10,336 \left[\frac{kp}{m^2} \right]$ την ατμοσφαιρική πίεση και h την απόσταση του κέντρου του ελικοφόρου άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας στο βύθισμα σχεδίασης.
- $p_{v(s.w.15^\circ C)} = 157.7 \left[\frac{kp}{m^2} \right]$: η πίεση ατμοποίησης του θαλασσινού νερού στους $15^\circ C$.
- k : σταθερά που λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 2 ανάλογα με τον τύπο πλοίου.

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{(1.3 + 0.3 * 4) * 149,108.42 \text{ [kp]}}{\left(10,336 \left[\frac{kp}{m^2} \right] + 1,025 \left[\frac{kp}{m^3} \right] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 6.69 \text{ [m]} - 157.7 \left[\frac{kp}{m^2} \right] \right) * 3.98^2} + k \Rightarrow$$

$$\frac{A_E}{A_0} = 0.3039 + k$$

Γίνεται επιλογή της τιμής του λόγου A_E/A_0 με βάση τις συστηματικές σειρές ελίκων Wageningen – B Series:

$$\frac{A_E}{A_0} = \mathbf{0.40}$$

Βαθμός Απόδοσης Σχετικής Περιστροφής n_R

Για μονέλικα πλοία, ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$n_R = 0.9922 - 0.05908 * \frac{A_E}{A_0} + 0.07424 * \left[C_P - 0.0225 * \left(LCB - \frac{L_{BP}}{2} \right) \right] \Rightarrow$$

$$n_R = \mathbf{1.015}$$

Λοιπά Χαρακτηριστικά Έλικας

Αρχικά υπολογίζω τον λόγο K_T/J^2 :

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho_w * V_A^2 * D^2} = 1.814 \Rightarrow K_T = 1.814 * J^2$$

Από την χαρακτηριστική καμπύλη και σύμφωνα με το διάγραμμα της έλικας έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

P/D	J	K_T	K_Q	η_0	n [rpm]	SHP [kW]	P.C.
0.5	0.4	0.072	0.0095	0.482	265.6	21,065.45	0.533
0.6	0.456	0.1	0.013	0.558	233.0	18,206.15	0.617
0.7	0.512	0.12	0.017	0.575	207.5	17,670.03	0.636
0.8	0.57	0.16	0.022	0.66	186.4	15,405.2	0.729
0.9	0.615	0.17	0.0275	0.605	172.7	16,797.64	0.669
1.0	0.66	0.2	0.0335	0.627	161.0	16,207.29	0.693
1.1	0.705	0.22	0.04	0.617	150.7	16,469.78	0.682
1.2	0.748	0.255	0.047	0.646	142.0	15,736.05	0.714
1.3	0.78	0.28	0.0555	0.626	136.2	16,228.56	0.692
1.4	0.818	0.3	0.062	0.63	129.9	16,134.55	0.696

Πίνακας 66 Λοιπά Χαρακτηριστικά Έλικας.

Όπως είναι φανερό από τον παραπάνω πίνακα, για την έλικα του υπό μελέτη πλοίου επιλέγεται ο συντελεστής $\frac{P}{D_P} = \mathbf{0.8}$ στη οποία ο συντελεστής πρόωσης μεγιστοποιείται $PC = \mathbf{0.729}$, ενώ

ελαχιστοποιείται η απαίτηση της έλικας σε ισχύ **SHP = 15,405.2 [kW]** στις **186.4** στροφές ανά λεπτό.

Έλεγχος για Σπηλαίωση

Σε αυτό το σημείο γίνεται έλεγχος για τον βαθμό στον οποίο θα εμφανίζεται το φαινόμενο της σπηλαίωσης στην υπό σχεδίαση έλικα. Ο έλεγχος αυτός γίνεται σύμφωνα με το διάγραμμα Burril. Αρχικά γίνεται υπολογισμός των παρακάτω αδιάστατων μεγεθών:

$$\sigma_{0.7R} = \frac{188.2 + 19.62 * h}{V_A^2 + 4.836 * n^2 * D^2}$$

$$\tau_c = \frac{T/A_p}{\frac{1}{2} * \rho * V_R^2}$$

Όπου:

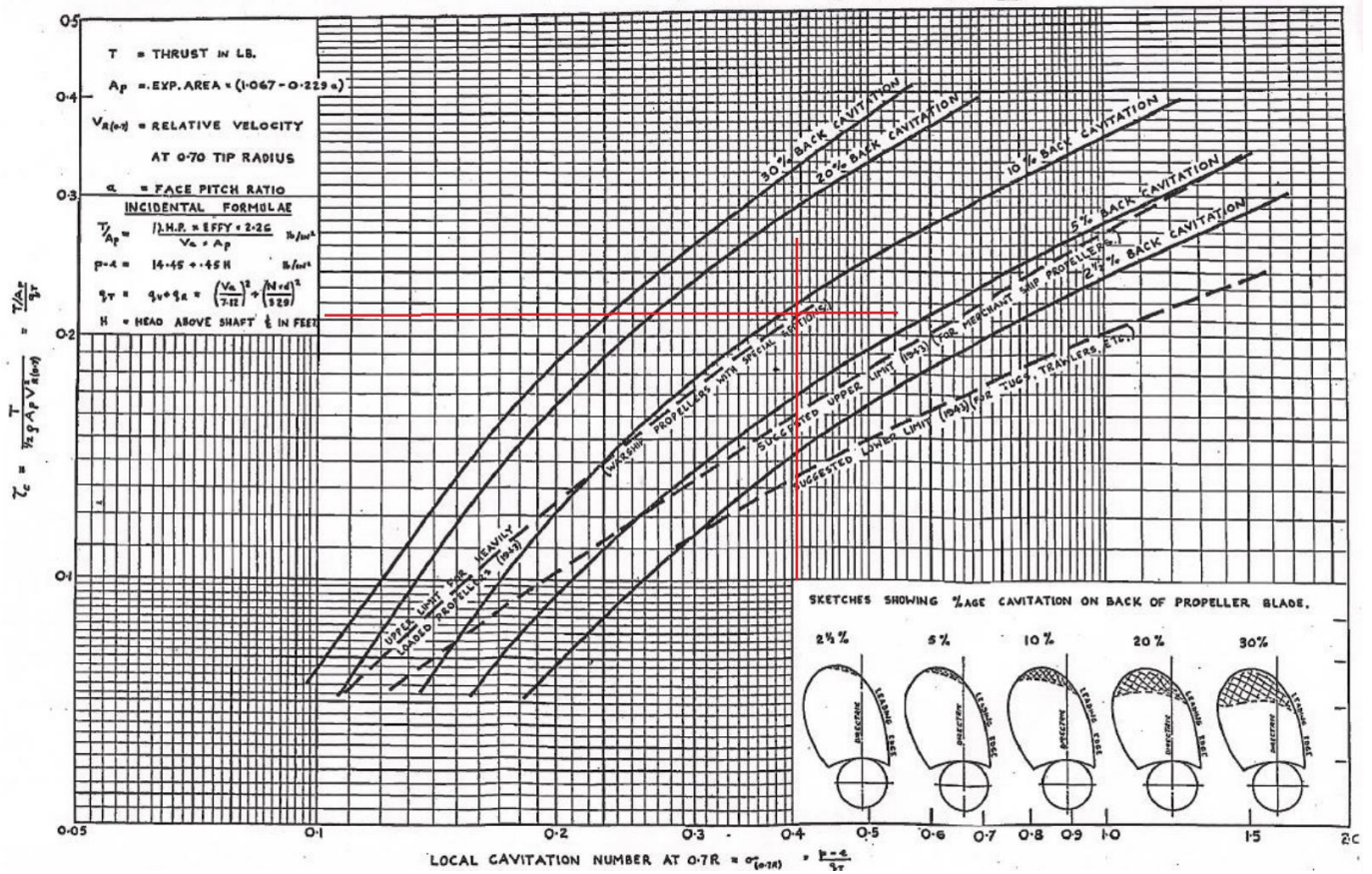
- Η ταχύτητα περιστροφής της έλικας είναι σε rps και h η απόσταση του άξονα της έλικας από την ελεύθερη επιφάνεια.
- $V_R = \sqrt{V_A^2 + (0.7 * \pi * n * D)^2}$
- T: Η ώση της έλικας σε kP .
- $A_p \approx A_D * (1.067 - 0.229 * (P/D_p))$: Η προβεβλημένη επιφάνεια της έλικας, με την ανεπτυγμένη επιφάνεια A_D της έλικας να θεωρείται ίση με την εκτεταμένη επιφάνεια A_E , δηλαδή $A_D \approx A_E \approx A_O * (A_E/A_O)$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι αδιάστατοι συντελεστές υπολογίζονται:

$$\sigma_{0.7R} = 0.405$$

$$\tau_c = 0.223$$

Σύμφωνα με το διάγραμμα Burril τοποθετούμε τα παραπάνω σημεία στο διάγραμμα και έχουμε:



Διάγραμμα 25 Διάγραμμα Burril.

Από το διάγραμμα προκύπτει:

Το ποσοστό σπηλαίωσης στην έλικα λαμβάνεται ίσο με 10%, το οποίο είναι αποδεκτό.

11.3. Επιλογή Κύριας Μηχανής

Εφόσον έχουμε επιλέξει την έλικα θα πρέπει να επιλέξουμε μια μηχανή η οποία να μπορεί να ανταπεξέλθει στην απαιτούμενη ισχύ. Θα δοθεί μια προσαύξηση στην απαιτούμενη ισχύ της κύριας μηχανής για λόγους ασφαλείας. Γι' αυτό τον λόγο επιλέγεται η κύρια μηχανή της εταιρίας MAN B&W 8G60ME-C10.5 με 8 κυλίνδρους. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανής φαίνονται παρακάτω:

Cylinder	8
Tier III Tech.	SCR (Selective Catalytic Reduction)
Fuel Sulphur Content	Low Sulphur (max: 0.1%)
Scrubber Type	Not Installed
Cooling System	Fresh Water
Propeller Type	FPP (Fixed Pitch Propeller)
MCR Speed	103 rpm
MCR Power	22,720 kW

Πίνακας 67 Στοιχεία Κύριας Μηχανής.

11.4. Διαστάσεις Πηδαλίου

Για το υπό μελέτη πλοίο, επιλέγεται ένα κρεμαστό πηδάλιο, όπως του πατρικού, με το κέντρο του άξονα περιστροφής να βρίσκεται στην πρυμναία κάθετο Α.Ρ. Οι διαστάσεις του πηδαλίου που θα υπολογισθούν είναι:

1. Η επιφάνεια A_R
2. Το άνοιγμα (Span) b
3. Χορδή (Chord) C_R
4. Λόγος επιμήκους (Aspect Ratio) A.R.
5. Μέγιστο πάχος υδροτομής t_{max}

Επιφάνεια πηδαλίου A_R

Για πηδάλια που τοποθετούνται πίσω από την έλικα, ο Νορβηγικός Νηογνώμονας ορίζει ένα ελάχιστο όριο για την τιμή της επιφάνειας του πηδαλίου. Σύμφωνα με τον DNV:

$$A_{Rmin} = \left[1 + 25 * \left(\frac{B}{L_{BP}} \right)^2 \right] * \frac{T_{design} * L_{BP}}{100} \Rightarrow A_{Rmin} = 29.71 [m^2]$$

Επιπλέον πρέπει να υπολογίσουμε δυο όρια όπου η επιφάνεια του πηδαλίου πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα από τα όρια:

$$(L_{BP} * T)/50 < A_R < (L_{BP} * T)/40 \Rightarrow 37.8[m^2] < A_R < 47.25[m^2]$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω όρια, επιλέγεται η τιμή:

$$A_R = 43.00 [m^2]$$

Άνοιγμα Πηδαλίου b (Span)

Το άνοιγμα του πηδαλίου b είναι η κατακόρυφη απόσταση από την κάτω έως την άνω ακμή του. Η διάσταση αυτή περιορίζεται μόνο από το κατώτατο άκρο των νομέων του πλοίου σε αυτή τη διαμήκη θέση. Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνεται η τιμή:

$$b = 8.00 [m]$$

Χορδή Πηδαλίου C_R

Η μέγιστη τιμή της χορδής του πηδαλίου, λαμβάνεται ίση με αυτή του πατρικού πλοίου:

$$C_R = 4.5 [m]$$

Λόγος Επιμήκους Πηδαλίου A.R. (Aspect Ratio)

Ο λόγος επιμήκους πηδαλίου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$A. R. = \frac{b^2}{A_R} = \frac{8^2 [m^2]}{43 [m^2]} \Rightarrow A. R. = 1.488$$

Επιλογή Υδροτομής Πηδαλίου

Το πηδάλιο του πλοίου διαθέτει συμμετρική υδροτομή. Από τις διαθέσιμες υδροτομές επιλέγεται η NACA 0015. Το πρώτο ψηφίο περιγράφει τη μέγιστη καμπυλότητα ως ποσοστό χορδής, το δεύτερο ψηφίο περιγράφει την απόσταση της μέγιστης καμπυλότητας από το leading edge ως ποσοστό της χορδής. Τα δυο τελευταία ψηφία δείχνουν ότι η υδροτομή έχει μέγιστο πάχος 15% ως προς το μήκος της χορδής. Άρα:

$$t_{\max} = 0.15 * C_R = 0.15 * 4.5 \Rightarrow t_{\max} = 0.675$$

12. Προϋπολογισμός Κόστους Κατασκευής

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προκαταρκτική μελέτη των οικονομικών στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτίμηση των παρακάτω:

- Κόστος κτήσεως πλοίου.
- Ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης πλοίου.
- Ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος (RFR)

Ο λόγος που γίνονται οι υπολογισμοί αυτοί, είναι για να διαπιστωθεί αν η κατασκευή του συγκεκριμένου πλοίου αποτελεί συμφέρουσα επένδυση.

12.1. Κόστος Κτήσεως Πλοίου

Το κόστος κτήσεως, μπορεί να αναλυθεί με την σειρά του σε:

- Κόστος μεταλλικής κατασκευής
- Κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού
- Κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης

Για κάθε κατηγορία, εκτιμάται ξεχωριστά το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος.

12.1.1. Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής

Το κόστος μεταλλικής κατασκευής υπολογίζεται συναρτήσει του βάρους της. Βασικό υλικό που χρησιμοποιείται και πρέπει να είναι γνωστή η τιμή του, είναι ο ναυπηγικός χάλυβας. Σύμφωνα με τις τιμές του Global Composite Steel Price and Index (2023), η τιμή του χάλυβα, ανέρχεται στα 920 \$/tn. Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, όπως υπολογίστηκε στο [6.4.1](#), είναι 7,148.46 tn. Συνυπολογίζοντας όμως ότι η κατασκευή του πλοίου είναι μια διαδικασία με φυρά της τάξης του 12.5%, το βάρος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κόστους είναι:

$$W_{ST} = 1.125 * 7,148.46 \text{ [tn]} \Rightarrow W_{ST} = 8,042.02 \text{ [tn]}$$

Οπότε, το κόστος υλικών για τη μεταλλική κατασκευή προκύπτει:

$$C_{m(ST)} = 8,042.02 \text{ [tn]} * 920 \left[\frac{\$}{\text{tn}} \right] \Rightarrow C_{m(ST)} = 7,398,658.4\$$$

Ομοίως, το κόστος εργασίας που απαιτείται για την κατασκευή της μεταλλικής κατασκευής, είναι ανάλογος των ανθρωποωρών που χρειάζονται, καθώς και του μέσου κόστους εργασίας. Οι ανθρωποώρες που χρειάζονται υπολογίζονται από τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$MHR = 141.2 * W_{ST}^{0.9} \Rightarrow MHR = 462,023 \text{ hours}$$

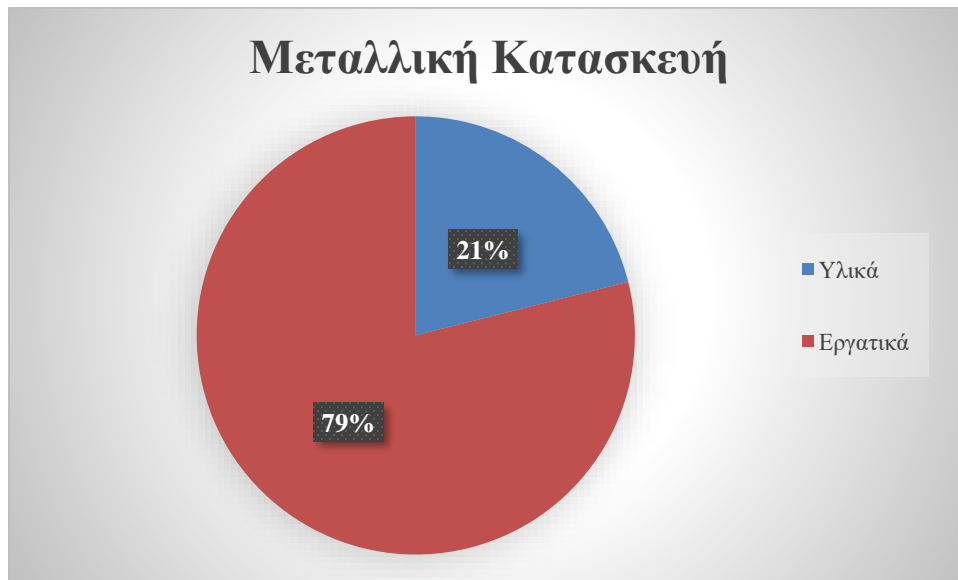
Το μέσο κόστος εργασίας εκτιμάται περίπου στα 60 \$/hr. Άρα έχουμε:

$$C_{lab(ST)} = 462,023[\text{hrs}] * 60 \left[\frac{\$}{\text{hrs}} \right] \Rightarrow C_{lab(ST)} = 27,721,380\$$$

Επομένως, το συνολικό κόστος της μεταλλικής κατασκευής που απαιτείται είναι:

$$C_{ST} = C_{m(ST)} + C_{lab(ST)} = 7,398,658.4\$ + 27,721,380\$ \Rightarrow$$

$$C_{ST} = 35,120,038.4 \$$$



Διάγραμμα 26 Ανάλυση Κόστους Μεταλλικής Κατασκευής.

12.1.2. Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

Όπως και πριν, το κόστος της ενδιαίτησης και εξοπλισμού του πλοίου υπολογίζεται με βάση το βάρος της συγκεκριμένης ομάδας:

$$W_{OT} = 1,698.00 [\text{tn}]$$

Ένας προσεγγιστικός τρόπος για το κόστος των υλικών είναι η χρήση του παρακάτω τύπου:

$$C_{m(OT)} = 5,000 * W_{OT}^{0.95} \Rightarrow C_{m(OT)} = 5,853,435.08 \$$$

Το κόστος των υλικών για την ενδιαίτηση και τον εξοπλισμό, προκύπτει εμπειρικά από στοιχεία του παρελθόντος ότι είναι το 82% του συνολικού κόστους κτήσεως της εν λόγω ομάδας.

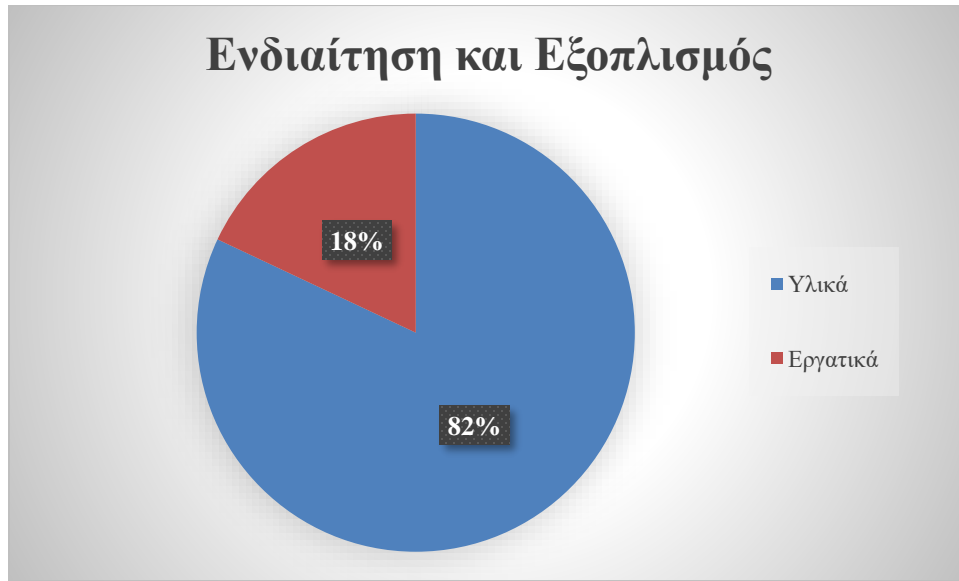
Συνεπώς, το κόστος εργασίας προκύπτει:

$$C_{lab(OT)} = \frac{C_{m(OT)}}{0.82} - C_{m(OT)} \Rightarrow C_{lab(OT)} = 1,284,900.38 \$$$

Επομένως, το συνολικό κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού είναι:

$$C_{OT} = C_{m(OT)} + C_{lab(OT)} \Rightarrow C_{OT} = 5,853,435.08 \$ + 1,284,900.38 \$$$

$$C_{OT} = 7,138,335.46 \$$$



Διάγραμμα 27 Ανάλυση Κόστους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού.

12.1.3. Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Για τον υπολογισμό του κόστους της μηχανολογικής εγκατάστασης, βασιζόμαστε στην ισχύ της κύριας μηχανής, καθώς και την ισχύ των γεννητριών. Βλέπε, Κεφάλαιο 5 Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης. Η τιμή μιας σύγχρονης μηχανής πλοίου, εκτιμάται ότι ανέρχεται κατά μέσο όρο στα 550 [\$/kW]. Επιπλέον δεν ξεχνάμε ότι το πλοίο διαθέτει 3 γεννήτριες. Με βάση τα παραπάνω, το κόστος των υλικών του συνόλου της μηχανολογικής εγκατάστασης, με προσαύξηση 20% (Λόγω βοηθητικών και άλλων συστημάτων), προκύπτει:

$$C_{m(MACH)} = 1.2 * (P_{ME} + P_{gen}) * 550 \Rightarrow C_{m(MACH)} = 10,326,129 \$$$

Όπως και προηγουμένως, από στοιχεία του παρελθόντος, προκύπτει το εμπειρικό συμπέρασμα, ότι το κόστος των υλικών αποτελεί το 88% του συνολικού κόστους της μηχανολογικής εγκατάστασης. Συνεπώς, το κόστος των εργατικών προκύπτει:

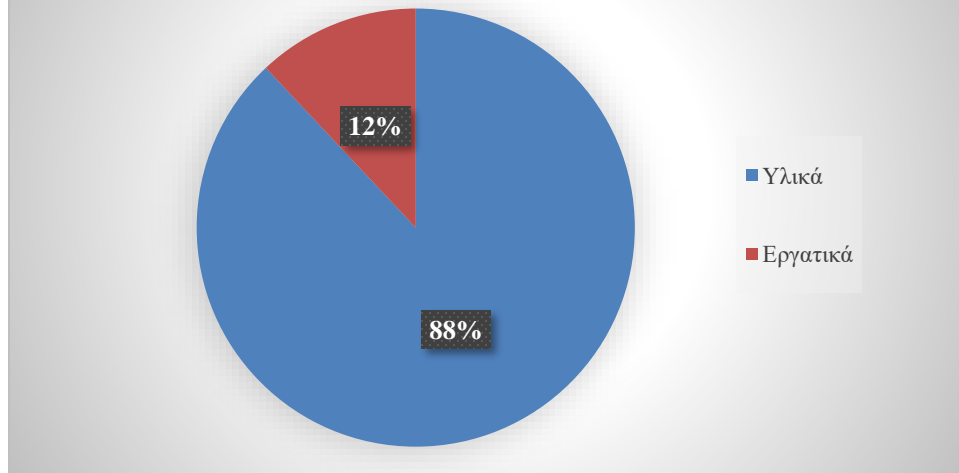
$$C_{lab(MACH)} = \frac{C_{m(MACH)}}{0.88} - C_{m(MACH)} \Rightarrow C_{lab(MACH)} = 1,408,108.5 \$$$

Επομένως, το συνολικό κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$C_{MACH} = C_{m(MACH)} + C_{lab(MACH)} \Rightarrow C_{MACH} = 10,326,129 \$ + 1,408,108.5 \$$$

$$C_{MACH} = 11,734,237.5 \$$$

Μηχανολογική Εγκατάσταση



Διάγραμμα 28 Ανάλυση Κόστους Μηχανολογικής Εγκατάστασης.

Έτσι τελικά, το συνολικό κόστος κτήσεως του πλοίου είναι:

$$C_T = C_{ST} + C_{OT} + C_{MACH} \Rightarrow$$

$$C_T = 53,992,611.36 \$$$

Συνολικό Κόστος Κτήσεως



Διάγραμμα 29 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Κτήσεως.

12.2. Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου

Το ετήσιο κόστος που απαιτείται για την λειτουργία του πλοίου μπορεί να αναλυθεί στις παρακάτω συνιστώσες.

- Κόστος αναλώσιμων
 - Heavy Fuel Oil (HFO)
 - Marine Gas Oil (MGO)
 - Lubricating Oil (LO)
 - Fresh Water (FW)
 - Τροφοδοσίας
- Κόστος μισθοδοσίας
- Κόστος συντήρησης και επισκευών
- Κόστος ασφάλισης
- Λιμενικά έξοδα
- Γενικά έξοδα

Το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό του κόστους εκμετάλλευσης, είναι να βρεθεί ο αριθμός των ταξιδιών που πραγματοποιεί το πλοίο κατά την διάρκεια ενός έτους, δεδομένης της ακτίνας ενέργειας. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου και συνεπώς θα διαφέρουν από τα δεδομένα στην πράξη. Αυτό συμβαίνει λόγω της έλλειψης λεπτομερών στοιχείων κατά την προκαταρκτική μελέτη. Αρχικά θεωρείται ότι το πλοίο εκτελεί συνεχή ταξίδια κατά την διάρκεια του έτους. Τα ταξίδια αυτά έχουν συγκεκριμένη διαδρομή της οποίας το λιμάνι αφετηρίας και το λιμάνι προορισμού, απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με την δεδομένη ακτίνα ενέργειας:

$$R = 8,000 \text{ [miles]}$$

Ο χρόνος εισόδου και εξόδου από κάθε λιμάνι θεωρείται ότι είναι περίπου 1 ώρα, άρα για ένα κυκλικό ταξίδι, ο χρόνος είναι 2 ώρες. Ο ρυθμός φόρτωσης και εκφόρτωσης του φορτίου θεωρείται ότι είναι ίσος με 600 [tn/hr], άρα για ένα κυκλικό ταξίδι, ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης είναι:

$$t_1 = 2 * \frac{W_{LO}}{600} = 2 * \frac{27,974.41 \text{ [tn]}}{600 \left[\frac{\text{tn}}{\text{hr}} \right]} \Rightarrow t_1 = 93.25 \text{ [hrs]}$$

Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος παραμονής σε λιμάνι για ένα κυκλικό ταξίδι είναι:

$$C = 93.25 \text{ [hrs]} + 2 \text{ [hrs]} \Rightarrow C = 95.25 \text{ [hrs]} \approx 4 \text{ days}$$

Στο κεφάλαιο , υπολογίστηκε πως ο χρόνος που χρειάζεται το πλοίο για να διανύσει την απόσταση R ενώ πλέει με την υπηρεσιακή ταχύτητα $V_s = 19$ [knots] είναι 421.05 [hrs]. Έτσι, για ένα κυκλικό ταξίδι, ο χρόνος όπου το πλοίο βρίσκεται εν πλω, είναι:

$$t_2 = 2 * 421.05 \text{ [hrs]} \Rightarrow t_2 = 842.1 \text{ [hrs]}$$

Ο συνολικός χρόνος ενός κυκλικού ταξιδιού τελικά θα διαρκέσει:

$$D_N = t_2 + C \Rightarrow 95.25 \text{ [hrs]} + 842.1 \text{ [hrs]} \Rightarrow D_N = 937.35 \text{ [hrs]} \approx 39 \text{ days}$$

Θεωρώντας ότι το πλοίο βρίσκεται σε υπηρεσία 315 ημέρες τον χρόνο, ενώ τις υπόλοιπες βρίσκεται σε επισκευή, ο αριθμός των κυκλικών ταξιδιών που πραγματοποιεί το πλοίο σε ένα έτος είναι:

$$N_Y = \frac{300}{39} \Rightarrow N_Y = 8 \left[\frac{\text{trips}}{\text{year}} \right]$$

12.2.1. Κόστος Αναλώσιμων

Στην κατάσταση κατά την οποία το πλοίο φτάνει στον λιμένα προορισμού (arrival), διαθέτει αναλώσιμα τα οποία θα βρίσκονται στο 10%. Οι τιμές των βαρών της κάθε ομάδας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα για Full Load Departure & Full Load Arrival.

	FLD [tn]	FLA [tn]	Κατανάλωση κατά τη μετάβαση [tn]	Κατανάλωση σε κυκλικό ταξίδι [tn]
	[1]	[2]	[3]=[1]-[2]	[4]=2*[3]
H.F.O	1,529.188	156.04	1,373.148	2,746.296
M.G.O	105.394	8.714	96.68	193.36
L.O	154.18	15.733	138.447	276.894
F.W	280.956	28.096	252.86	505.72

Πίνακας 68 Κατανάλωση Ομάδων Αναλώσιμων.

Με βάση τις τιμές της στήλης 4, υπολογίζεται το συνολικό κόστος των αναλώσιμων για ένα κυκλικό ταξίδι. Σύμφωνα με το Ship & Bunker, οι τιμές της αγοράς για τα αναλώσιμά είναι:

- Τιμή HFO: 583.5 [\$/tn]
- Τιμή MGO: 764 [\$/tn]
- Τιμή LO: 800 [\$/tn]
- Τιμή FW: 0.5 [\$/tn]

Επομένως, το κόστος αναλώσιμων για τα 8 κυκλικά ταξίδια που πραγματοποιεί το πλοίο σε ένα έτος είναι:

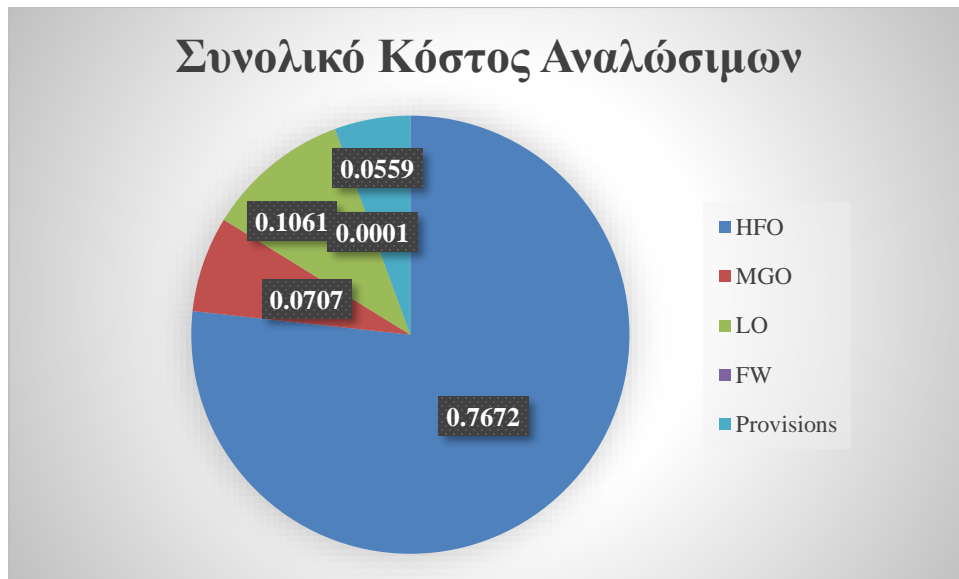
- $C_{HFO} = 583.5 \left[\frac{\$}{\text{tn}} \right] * 2,746.296 \text{ [tn]} \Rightarrow C_{HFO} = 1,602,463.72 \text{ [$/year]}$
- $C_{MGO} = 764 \left[\frac{\$}{\text{tn}} \right] * 193.36 \text{ [tn]} \Rightarrow C_{MGO} = 147,727.04 \text{ [$/year]}$
- $C_{LO} = 800 \left[\frac{\$}{\text{tn}} \right] * 276.894 \text{ [tn]} \Rightarrow C_{LO} = 221,515.2 \text{ [$/year]}$
- $C_{FW} = 0.5 \left[\frac{\$}{\text{tn}} \right] * 505.72 \text{ [tn]} \Rightarrow C_{FW} = 252.86 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$

Τέλος, για τον υπολογισμό του κόστους τροφοδοσίας, γίνεται η υπόθεση πως κάθε μέλος του πληρώματος καταναλώνει 16\$ ανά ημέρα. Αφού τα μέλη του πληρώματος είναι 20, το συνολικό ετήσιο κόστος τροφοδοσίας είναι:

$$C_{\text{PROV}} = 20 * 16[\$] * 365 \Rightarrow C_{\text{PROV}} = 116,800 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$$

Το συνολικό κόστος των αναλώσιμων είναι:

$$C_{\text{TOTAL}(1)} = 16,510,932.3 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$$



Πίνακας 69 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Αναλώσιμων.

12.2.2. Λοιπά Κόστη

Κόστος Μισθοδοσίας

Κατά μέσο όρο, ο μηνιαίος μισθός κάθε ατόμου ανέρχεται στα 2,000\$. Άρα το ετήσιο κόστος μισθοδοσίας του πληρώματος είναι:

$$C_{\text{PM}} = 20 * 2000[\$] * 12 \Rightarrow C_{\text{PM}} = 480,000 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$$

Κόστος Συντήρησης

Εδώ το κόστος υπολογίζεται ξεχωριστά για την συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής και για την συντήρηση της μηχανολογικής εγκατάστασης. Για την μεταλλική κατασκευή, το κόστος συντήρησης είναι:

$$C_{REP(1)} = 25,000 * \left(\frac{L_{BP} * B * D}{10^5} \right)^{2/3} = 25,000 * \left(\frac{590[ft] * 89[ft] * 51[ft]}{10^5} \right)^{2/3} \Rightarrow$$

$$C_{REP(1)} = 223,776.67 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Όπου όλα τα χαρακτηριστικά του πλοίου μετρούνται σε πόδια (ft).

Το κόστος συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$C_{REP(2)} = 13.6 * SHP \Rightarrow C_{REP(2)} = 209,510.72 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Τελικά το συνολικό κόστος συντήρησης του πλοίου είναι:

$$C_{REP} = C_{REP(1)} + C_{REP(2)} \Rightarrow C_{REP} = 433,287.39 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Λιμενικά έξοδα

Κάθε φορά που το πλοίο προσεγγίζει έναν λιμένα, επιβαρύνεται με έξοδα ίσα με:

$$C_{PORT} = 600 + 50 * \frac{L_{BP} * B * D}{10^5} \Rightarrow C_{PORT} = 1,939.00 \left[\frac{\$}{trip} \right]$$

Όπου όλα τα χαρακτηριστικά του πλοίου μετρούνται σε πόδια (ft).

Μέσα από 8 ταξίδια ετησίως τα ετήσια λιμενικά έξοδα ανέρχονται:

$$C_{PORT} = 8 * 1,939.00 \Rightarrow C_{PORT} = 15,512 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Γενικά Έξοδα

Στα γενικά έξοδα, συμπεριλαμβάνονται όλα τα υπόλοιπα έξοδα.

$$C_G = 6,500 + 70 * \frac{L_{BP} * B * D}{100} \Rightarrow C_G = 60,415.2 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Όπου όλα τα χαρακτηριστικά του πλοίου μετρούνται σε μέτρα (m).

Κόστος Ασφάλισης

Το κόστος ασφάλισης είναι κατά προσέγγιση το 10% του κόστους άρα:

$$C_{IN} = (C_{PM} + C_{REP} + C_{PORT} + C_G) * 0.10 \Rightarrow C_{IN} = 98,921.46 \left[\frac{\$}{year} \right]$$

Τελικά το σύνολο των λοιπών κοστών είναι:

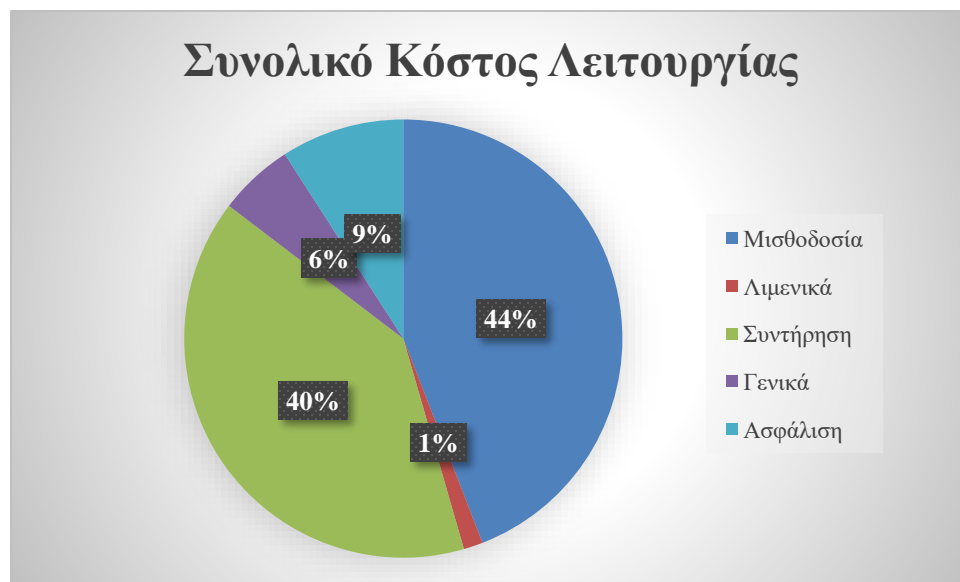
$$C_{TOTAL(2)} = C_{PM} + C_{REP} + C_{PORT} + C_G + C_{IN} \Rightarrow$$

$$C_{TOTAL(2)} = 1,088,136,05 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$$

Κάι τέλος το συνολικό κόστος λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$C_{TOTAL} = C_{TOTAL(1)} + C_{TOTAL(2)} \Rightarrow$$

$$C_{TOTAL} = 17,599,068.35 \left[\frac{\$}{\text{year}} \right]$$



Πίνακας 70 Ανάλυση Συνολικού Κόστους Λειτουργίας.

12.3. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος (RFR)

Για τον υπολογισμό του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου, γίνεται η χρήση του κριτηρίου της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ). Σύμφωνα με αυτό, η τιμή RFR πρέπει να μηδενίζει την τιμή της ΚΠΑ.

Αρχικά υπολογίζεται το κεφάλαιο που θα πάρει ο πλοιοκτήτης προκειμένου να αγοράσει το πλοίο. Η συνολική αξία του πλοίου είναι 53,992,611.36\$. Ο πλοιοκτήτης θα χρειαστεί να πληρώσει ένα μέρος του ποσού ίσο με 25%, ενώ για το υπόλοιπο 75% θα λάβει δάνειο με σταθερό επιτόκιο 8%. Το δανειακό κεφάλαιο θα είναι:

$$K_{\Delta} = 0.75 * 53,992,611.36[\$] \Rightarrow K_{\Delta} = 40,494,458.52[\$]$$

Ενώ το ποσό που θα πληρώσει ο πλοιοκτήτης είναι:

$$K_{\Pi} = 13,498,152.84$$

Θεωρείται πως η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου θα είναι 25 χρόνια, η προσδοκώμενη απόδοση του κεφαλαίου 12%, ενώ η αξία του πλοίου στο τέλος της διάρκειας εκμετάλλευσής του θα αντιστοιχεί στο 2.5% της αρχικής του αξίας. Η αξία του δηλαδή θα είναι:

$$\Pi_{25} = 2.5\% * 53,992,611.36[\$] \Rightarrow \Pi_{25} = 1,349,815.28[\$]$$

Ο γενικός τύπος υπολογισμού της καθαρής παρούσας αξίας του πλοίου για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του είναι:

$$K_{\Pi A} = \sum \left(\frac{E\Sigma_t - E\Xi_t}{(1+i)^t} \right)$$

Η εξίσωση αυτή μπορεί να αναλυθεί όπως φαίνεται παρακάτω:

$$K_{\Pi A} = -K_{\Pi} + \frac{\Pi_{25}}{(1+i)^{25}} + \left(RFR * \sum PL - C_{TOTAL} - \Delta \right) * \sum_{j=1}^{25} (1+i)^{-j}$$

Για τα παραπάνω μεγέθη ισχύουν τα εξής:

- $i = 0.12$: Η προσδοκώμενη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.
- $\sum PL = 199,795.28$ [tn]: Το συνολικό ωφέλιμο φορτίο που θα μεταφέρει κατά τη διάρκεια ενός έτους.
- $r = 0.08$: Το σταθερό επιτόκιο
- $N = 25$ years : Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου.
- Δ : Η δόση του δανείου που υπολογίζεται παρακάτω.

$$\Delta = K_{\Delta} * \frac{r * (1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \Rightarrow \Delta = 3,793,471.43\$$$

Επίσης, στην εξίσωση υπολογίζεται και το άθροισμα:

$$\sum_{j=1}^{25} (1+i)^{-j} = \sum_{j=1}^{25} (1.12)^{-j} = 7.8431$$

Η τιμή του RFR θα πρέπει να μηδενίζει την τιμή της εξίσωσης KΠA. Λύνοντας ως προς RFR και για KΠA=0 ισχύει:

$$RFR = \frac{K_{\Pi} - \frac{\Pi_{25}}{(1+i)^{25}}}{\sum_{j=1}^{25} (1+i)^{-j} + C_{TOTAL} + \Delta} \Rightarrow RFR = 115.64\$$$

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η σχεδίαση ενός σύγχρονου Containership. Το πλοίο έχει μεταφορική ικανότητα 1,900 TEU και μπορεί να πλέει με ταχύτητα υπηρεσίας 19.0 κόμβους. Επιπλέον, στα πλαίσια της άθικτης ευστάθειας και των κανονισμών ασφαλείας για την αποφυγή μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του IMO και MARPOL.

Έγινε μια εμπειριστατωμένη προμελέτη, η οποία περιλάμβανε τα παρακάτω αντικείμενα μελέτης:

- Καθορισμός των κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής με βασικό παράγοντα τα Regression analysis όμοιων πλοίων.
- Προκαταρκτική προσέγγιση της ισχύος πρόωσης και επιλογή προωστήριου εγκατάστασης.
- Προϋπολογισμός του βάρους άφορτου αλλά πλήρως εξοπλισμένου πλοίο (LightShip) και ανάλυση του νεκρού βάρους (DeadWeight).
- Έλεγχος εξάλων με βάση τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης.
- Σχεδίαση γάστρας πλοίου.
- Υπολογισμός των υδροστατικών μεγεθών.
- Μελέτη της άθικτης ευστάθειας του πλοίου σε 4 καταστάσεις φόρτωσης και την κατασκευή των καμπύλων GZ-φ και έλεγχος ικανοποίησης άθικτης ευστάθειας και κριτηρίων καιρού.
- Υπολογισμός ολικής αντίστασης, επιλογή έλικας, κύριας μηχανής και πηδαλίου.
- Προϋπολογισμός κόστους κτήσεως, κόστους λειτουργίας, καθώς και ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου.

Βιβλιογραφία

Έντυπη

1. Παπανικολάου, Α.Δ. (2009) Μελέτη Πλοίου: μεθοδολογίες προμελέτης (τεύχος 1). Αθήνα: Συμεών
2. Παπανικολάου, Α.Δ. (2009) Μελέτη Πλοίου: μεθοδολογίες προμελέτης (τεύχος 2). Αθήνα: Συμεών
3. Rawson, K.J. και Tupper, E.C. (2016) Βασική Θεωρία Πλοίου (τόμος 1). Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.
4. Rawson, K.J. και Tupper, E.C. (2016) Βασική Θεωρία Πλοίου (τόμος 2). Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.
5. Θάνος, Γ. (2022) Προμελέτη πλοίου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου. Διπλωματική εργασία, Π.Α.Δ.Α, Αθήνα
6. Χατζής, Α. (2021) Προμελέτη πλοίου μεταφοράς πετρελαίου ή παραγώγων. Διπλωματική εργασία, Π.Α.Δ.Α, Αθήνα
7. Καμβίτης, Δ. (2020) Εξέλιξη των μέσων φορτοεκφόρτωσης των πλοίων, Α.Ε.Ν , Μακεδονία
8. Τζαμπίρας, Γ. (2015) Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου. Αθήνα: Κάλλιπος
9. Πολίτης, Κ.Γ. (2020) Σημειώσεις μαθήματος Μελέτης Πλοίου. Π.Α.Δ.Α
10. Θεοδουλίδης, Α. (2014) Σημειώσεις Θεωρία Πλοίου II. Π.Α.Δ.Α
11. IMO Instruments (1993). Code on intact stability for all types of ships: Resolution A749(18). London: IMO
12. International Maritime Organization (2003). MARPOL. London: IMO
13. MAN Energy Solutions (2010). MAN B&W S50ME-C8.5 Project Guide. Germany: MAN
14. Holtrop J. και Mennen. G.G.J. An Approximate Power Prediction Method.

Διαδικτυακή

15. MAN Energy Solutions CEAS engine calculations. Διαθέσιμο: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations> [Ημερομηνία Ανάκτησης: 10/02/2023 & 25/05/2023]
16. MAN Energy Solutions Four Stroke Engines MAN 23/30DF – 28/32DF. Διαθέσιμο: [https://www.man-es.com/marine/products/four-stroke-engines/23-30-28-32df?4453c05a-5763-44f9-b1fc-42de24aea5b3\[\]=1](https://www.man-es.com/marine/products/four-stroke-engines/23-30-28-32df?4453c05a-5763-44f9-b1fc-42de24aea5b3[]=1) [Ημερομηνία Ανάκτησης: 15/02/2023]
17. General Layout, Midship Section & Profile View. Διαθέσιμο: <https://captaindamley.net/e-modules/general-ship-knowledge/general-layout-midship-section-profile-view/> [ημερομηνία Ανάκτησης: 05/01/2023]
18. Rodrigue, J.P. (2022) Generations of Containerships (update). Διαθέσιμο: <https://transportgeography.org/generations-of-containerships-update/> [Ημερομηνία Ανάκτησης: 20/12/2022]

19. Η ιστορία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containerships) (2021). Διαθέσιμο: <https://e-nautilia.gr/i-istoria-ton-container-ships/> [Ημερομηνία Ανάκτησης: 15/12/2022]
20. Wikipedia Contributors (2021a). Microsoft Excel. Διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel [Ημερομηνία ανάκτησης: 29/5/20223]
21. Wikipedia Contributors (2021b). Rhinoceros 3D. Διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D [Ημερομηνία ανάκτησης: 02/6/2023]
22. Ship & Bunker. Διαθέσιμο: <https://shipandbunker.com/> [Ημερομηνία ανάκτησης: 04/6/2023]
23. Σύγχρονοι Τύποι Πλοίων. Διαθέσιμο: http://mycourses.ntua.gr/courses/NAVAL1063/document/05_%D6%EF%F1%F4%E7%E3%DC%D0%EB%EF%DF%E1.pdf [Ημερομηνία ανάκτησης: 04/6/2023]
24. Κεφάλαιο 3 Το υδροστατικό Διάγραμμα. Διαθέσιμο: <https://docplayer.gr/40086697-Kefalaio-3-to-ydrostatiko-diagramma.html> [Ημερομηνία ανάκτησης: 24/6/2023]

Προγράμματα

25. Rhinoceros 3D. Διαθέσιμο: <https://www.rhino3d.com/> [Ημερομηνία Ανάκτησης: 8/03/2023]
26. Maxsurf. Διαθέσιμο: <https://maxsurf.net/> [Ημερομηνία Ανάκτησης: 26/04/2023]

Παράρτημα

Βάση Δεδομένων Όμοιων Πλοίων

Η βάση δεδομένων που φαίνεται παρακάτω κατασκευάστηκε από 1,000 πλοία τύπου container με μεταφορική ικανότητα εύρους 1,500 - 6,000 TEU. Με βάση αυτά, κατασκευάστηκαν διαγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκλογή των κύριων διαστάσεων.

1	Name	TEU Capacity	DWT	Gross Tonnes	Length Overall	LBP	Breadth	Depth	Draught	LightShip	L/B	Vs	L/D	L/T	Displacement (Δ)	Cb	Froude
2	Dole Pacific		27513	25669	189,98	180,7		17	10,5	8547			10,62941	17,20952	36060		
3	Dole Atlantic	1540	27513	25669	189,97	180,7		17	10,5	8547			10,62941	17,20952	36060		
4	Dole Caribbean	1540	27513	25669	190	180,7		17	10,5	8547			10,62941	17,20952	36060		
5	Matson Navigator	2361	31203	28212	247,57	237,79	27,49	16,15	11,14	13976	8,650055		14,72384	21,3456	45179	0,620416	
6	Conti Sharjah	3274	44585	42323	242	230	32,24	20	12	17675	7,133995		11,5	19,16667	62260	0,699689	
7	M. H. Thamrin	1644	26518	18247	177,35	167,74	27,5	14,3	9,7	9903	6,099636		11,73007	17,29278	36421	0,813974	
8	Yuehe	5250	69285	65140	280	267	39,8	23,6	12,5	36668	6,708543		11,31356	21,36	105953	0,797644	
9	Sealand Comet	4082	59948	49985	292,15	273	32,2	21,2	13,03	28968	6,478261		12,87736	20,95165	88916	0,776277	
10	Sam Ratulangi	1644	26510	18247	177,35	167,74	27,5	14,3	9,7	9903	6,099636		11,73007	17,29278	36413	0,813796	
11	Padma	1645	21563	16915	168,02	158	27,2	13,8	9,2	7595	5,808824		11,44828	17,17391	29158	0,737469	
12	Gang Tai Tai Zhou	5711	44585	42323	242,04	229,5	32,24	20,17	11	17675	7,118486		11,37828	20,86364	62260	0,76496	
13	Hanjin Rome	5308	68955	65184	279	265	40,3	24,1	14,02	39296	6,575682		10,99585	18,90157	108251	0,722991	
14	Aura	1585	24497	18487	193	181	28	14	9,53	9141	6,464286		12,92857	18,99265	33638	0,696467	
15	Capt. David L Lyon	1730	22878	16856	184,1	171,94	25,3	13,5	9,9	8672	6,796047		12,7363	17,36768	31550	0,7326	
16	Xiang He	1686	30940	24043	200,48	190,88	28,4	15,6	9,5	9888	6,721127		12,2359	20,09263	40808	0,792397	
17	Mattina	2824	53425	42020	264,21	249	32,2	16,5	12,75	25512	7,732919		15,09091	19,52941	78937	0,772174	
18	Rambo	5512	68615	64005	274,69	263	40	24,2	14	34700	6,575		10,86777	18,78571	103515	0,701487	
19	New Vision	1730	23354	16174	184,03	171,94	25,3	13,5	9,89	8375	6,796047		12,7363	17,38524	31729	0,737501	
20	EM Hydra	1740	23679	18334	175	165	27,43	14,3	10,92	10287	6,015312		11,53846	15,10989	33966	0,687246	
21	RHL Aurora	1740	23685	18480	176,96	166,41	27,43	14,3	10,9	10277	6,073358		11,63706	15,26697	33962	0,68334	
22	Stride	2181	25926	21611	182	172,5	30,2	16,4	10,78	8640	5,711921		10,51829	16,00186	34566	0,615099	
23	Seaspun Fraser	4254	50382	41225	265,04	252	32,25	19,3	12,62	24035	7,813953		13,05699	19,9683	74417	0,725575	
24	Filia T.	1800	23200	18700	172	164		14,2	9,5	9350			11,5493	17,26316	32550		
25	Tessa	5527	68228	66280	275,8	263,8	40	24,2	14,02	36284	6,595		10,90083	18,81598	104512	0,706453	
26	Sinar Sangir	1708	21937	17515	171,99	160	28	14	9,52	8074	5,714286		11,42857	16,80672	30011	0,705664	
27	Frisia Goteborg	2824	39345	27779	222,15	210	30	16,8	12	14769		7	12,5	17,5	54114	0,715794	
28	Sky Wind	1800	22507	17853	172,07	163,55	28	14,3	9,77	7170		17,5	11,43706	16,74002	29677		0,436896
29	Libra	1613	24383	18602	193,03	181	28	14	9,63	9382	6,464286		12,92857	18,79543	33765	0,691837	
30	KMTC Shenzhen	2900	39829	28467	222,97	210,51	32,25	16,8	12,02	13263			12,53036	17,51331	53092		
31	Lisa	4250	39241	40541	261,01	248,63	32,25	19,3	12,62	24472	7,709457		12,88238	19,70127	63713	0,62963	
32	He Jin	1608	22390	15906	168,37	156	26,7	14,4	9,7	9227	5,842697		10,83333	16,08247	31617	0,782552	
33	GH Brickfielder	2758	41235	35878	195,29	195,29	32,29	20,3	12,5	19676	6,048002		9,620197	15,6232	60907	0,772697	
34	MP The Gronk	5060	68168	54214	294,08	283	32,2	21,6	13,5	31226	8,78882		13,10185	20,96296	99994	0,807949	
35	AS Constantina	2742	37883	27786	221,69	209,62	29,8	16,4	11,4	13574	7,034228		12,78171	18,38772	51457	0,722588	
36	Seaspun Dallan	4253	50789	39941	259,8	244,8	32,35	16,4	12,63	24458	5,567233		14,92683	19,38242	75247	0,752316	
37	POS Hochiminh	1800	22317	18085	172,07	161,25		14,3	9,77	7595		17,1	11,27622	16,50461	29912		0,429944
38	OOCJ Jakarta	4578	50560	40168	260,05	244,8	32,25	19,3	11	24450	7,590698		12,68394	22,25455	75010	0,863745	
39	Melina	4253	16536	40030	260,05	244,8	32,28	19,3	12,6	24450	5,836443		12,68394	19,42857	40986	0,411642	
40	Jack London	4256	50278	40541	261,04	248,63	32,25	19,3	12,6	24472	7,709457		12,88238	19,73254	74750	0,739873	
41	Ever Board	2910	37259	32145	210,98	206		16,8	11,22	12254			12,2619	18,36007	48513		
42	Infinity	1808	21512	17119	171,99	169,2		14	8,5	7032		19,3	12,08571	19,90588	28844		0,473721
43	Zhong Gu Fu Jian	4963	63271	50963	274,97	262	32,2	18,21	12	30224	8,136646		14,3877	21,83333	93495	0,923528	
44	SITC Hebei	1808	21355	17119	171,99	169,2		14	8,5	7032			12,08571	19,90588	28387		
45	Putnam	1708	21908	17515	171,99	160	27,6	14	9,52	8074	5,797101		11,42857	16,80672	29982	0,713172	
46	Kota Gaya	2800	38887	29015	222	210		16,8	12	13359			12,5	17,5	52246		
47	Safmarine Chachai	4500	65438	50869	249,12	235	22,1	12,5	12,5	29691			10,63348	18,8	95149		
48	Inter Sydney	3359	45400	36603	231,54	220	32,3	19	12,2	15610	6,811146		11,57895	18,03279	61010	0,703746	
49	KMTC Bangkok	1800	21663	18318	172,2	163		14,3	9,75	7404		14,9	11,3986	16,71795	29067		0,372613
50	Holsatia	4253	50790	39941	259,8	244,8	32,25	19,3	12,6	24458	7,590698		12,68394	19,42857	75248	0,756455	
51	Xin Xia Men	5668	69259	66433	279,6	265,79		24,1	14	37567			11,02863	18,985	106826		
52	Navios Amaranth	4250	50661	39906	260,66	246,04	32,25	19,3	12,61	24504	7,629147		12,74819	19,5115	75165	0,751217	
53	Virgo	1613	24382	18602	193,03	181	28	14	9,63	9382	6,464286		12,92857	18,79543	33764	0,691817	
54	Marianetta	4444	58254	51364	286,27	271,2	32,27	21,8	13,2	27298	8,40409		12,44037	20,54545	85552	0,740573	
55	B Trader	1750	22000	18000	172	163		14,2	8,75	8154					30154		
56	Dongjin Voyager	1785	21742	18278	172,2	163		14,3	9,77	7637		21,2	11,3986	16,68373	29379		0,530161
57	CMA GGM Aristote	1691	21267	17594	170	160,51	27,2	14	9,36	7181	5,901103		11,465	17,1485	28448	0,696153	
58	Pona	2742	37905	27968	221,75	209,62	29,8	16,4	11,4	13574	7,034228		12,78171	18,38772	51479	0,722897	
59	Kota Sejarah	3900	51755	41567	228	217,5		19,6	12,5	23231			11,09694	17,4	74076		
60	Xin Fu Zhou	5688	69235	66452	279,9	265,8	40,3	24,1	14	37567	6,595533		11,02905	18,98571	106802	0,712183	
61	GSL Vlnia	5782	73235	65247	277,28	260,06	40	24,3	14,5	37549	6,5015		10,70206	17,93517	110784	0,734472	
62	Mia Schulte	2345	30235	27279	189	180,2		16,9	10,5	10011			10,66272	17,1619	40246		
63	APL Los Angeles	4250	55388	43071	267,17	254,5	32,2	16,75	13	26516	7,903727		15,19403	19,57692	81904	0,768808	
64	Lioba	2702	38061	28048	215,47	205,93	29,8	16,5	11,55	14101	6,910403		12,48061	17,82944	52162	0,73593	
65	Tokyo Tower	1708	21981	17229	171,99	160	27,6	14	9,52	7875	5,797101		11,42857	16,80672	29856	0,710175	
66	Ri Zhao Hong Yun	3961	49238	40268	259	244	32,2	19	12,02	23000	7,57764		12,84211	20,2995	72238	0,764919	
67	Bermuda	4330	52383	40741	258,89	246,82	32,29	19,3	12,6	24178	7,643853		12,7886	19,58889	76561	0,76241	
68	Ital Unica	5652	63216	68888	285	268	40	20,14	12,7	30410	6,7		13,30685	21,10236	93626	0,687698	
69	Spirit of Auckland	3752	53125	41483	254,06	242	32,2	19,3	12,4	23894	7,515528		12,53886	19,51613	77019	0,797086	
70	AS Patricia	2474	34393	27061	207,4	195,4	29,8	16,67	11,42	12221	6,557047		11,72166	17,11033	46614	0,700986	
71	Manet	2272	30442	26050	195,6	182,34	30,2	16,6	11,01	10209	6,037748		10,98434	16,56131	40651	0,670494	
72	CMA GGM Georgia	5078	65890	54309	294,1	283,2	32,2	21,8	13,5	34011	8,795031		12,99083	20,97778	99901	0,811497	
73	Wanda A.																

1	Name	TEU Capacity	DWT	Gross Tonnes	Length Overall	LBP	Breadth	Depth	Draught	LightShip	L/B	Vs	L/D	L/T	Displacement (Δ)	Cb	Froude	
925	SM Mumbai	4253	50162	40030	260,04	244,8	32,25	19,3	12,63	24450	7,590698		12,68394	19,38242	74612	0,74828		
926	NYK Meteor	4888	65935	55534	294,12	283	32,2	21,8	13,52	23203	8,78882		12,98165	20,93195	89138	0,723509		
927	COSCO Aqaba	4253	49980	40465	261,1	247,09	32,25	19,3	11	23892	7,661705		12,80259	22,46273	73872	0,842757		
928	Nordpacific	2500	35066	28433	195	185		17	11,51	12607			10,88235	16,07298	47673			
929	Xin Ming Zhou 76	2400	34000	30000	180			16,2	10,5						34000			
930	Volans	4254	50334	41225	265,07	252	32,25	19,3	12,6	24035	7,813953		13,05699	20	74369	0,726298		
931	Tasman	5468	67902	66526	278,01	264,4	40	24,3	14	29460	6,61		10,88066	18,88571	97362	0,657567		
932	Milan Trader	2452	34019	25580	201,05	189,6	29,8	16,5	11,55	13160	6,362416		11,49091	16,41558	47179	0,722956		
933	Calisto	1574	20615	15487	167,98	158	25,3	13,5	10,2	7838	6,245059		11,7037	15,4902	28453	0,697831		
934	Xin Yang Shan	4250	52242	41482	263,23	251,4	32,2	19,3	12,8	24001	7,807453		13,02591	19,64063	76243	0,735815		
935	SPIL Ningsih	2532	33836	25709	208,3	195	29,8	16,4	11,42	12098	6,543624		11,89024	17,07531	45934	0,692177		
936	MSC Zebra	2678	34622	27093	210	198,95	30,1	16,7	11,5	12686	6,609635		11,91317	17,3	47308	0,686952		
937	Maersk Wolfsburg	1713	22314	18123	175,1	164,9	27,9	13,8	8,5	7996	5,910394		11,94928	19,4	30310	0,775072		
938	MSC Rossella	3424	43605	37398	242,85	226,7	32,2	19	12,11	21770	7,040373		11,93158	18,72007	65375	0,739537		
939	Port Adelaide	2553	33704	27104	199,93	188	32,2	16,6	11,28	11856	5,838509		11,3253	16,66667	45560	0,667207		
940	Log-In Pantanal	1688	23821	18017	182,48	173,31	28	14,2	10	8668	6,261071		12,34577	17,531	32487	0,661828		
941	Maersk Patras	2902	37842	31333	210,1	197,1	32,2	19,4	11,6	18650	6,121118		10,15979	16,99138	56492	0,767338		
942	TS Kaohsiung	1808	21475	17249	171,99	169,2		14	9,53	6910			12,08571	17,75446	25885			
943	Atlantic Solli	2015	27131	23633	191,03	182,35	28,5	16,8	11,5	10899	6,398246		10,85417	15,85652	38030	0,636323		
944	Maersk Wakayama	1577	21442	17280	171,99	160		14	9,52	7814			11,42857	16,80672	29256			
945	YM Essence	4662	57320	47952	259	246,4	42,8	19,3	12,8	20411	5,757009		12,76684	19,25	77731	0,575837		
946	Ava D.	1574	20647	15487	167,99	158	25,3	13,5	10,2	7838	6,245059		11,7037	15,4902	28485	0,698616		
947	Millennium Bright	1708	21933	17211	171,99	160	28	14	9,52	7875	6,714286		11,42857	16,80672	29808	0,698905		
948	Bomar Radiant	2456	33836	25713	208	196	30	16,4	11,4	12275	6,533333		11,95122	17,19298	46111	0,687895		
949	Synergy Oakland	4253	50500	40030	260	248,8	32,3	19,3	12,6	24450	7,702786		12,89119	19,74603	74954	0,740198		
950	Zhong Gu Ri Zhao	2500	40500	28500	179,99	177		16,2	10,7				10,92593	16,54206	40500			
951	Matson Producer	1664	25699	25644	219,6	206,35	29,01	16,46	10,39	10811	7,113064		12,53645	19,86044	36510	0,587008		
952	Maui	1635	24749	25630	219,6	206,35	29,04	16,46	10,39	10684	7,105716		12,53645	19,86044	35433	0,569104		
953	Basel	5752	50571	65918	278,89	265	40,3	19,28	14	36896	6,575682		13,74481	18,92857	87467	0,585013		
954	Ella	1613	24370	18997	193,03	181	28	14	9,63	9365	6,464286		12,92857	18,79543	33735	0,691222		
955	Xin Jiu Zhou	2797	44014	36584	241,5	224,08	32,2	19	10,8	15135	6,959006		11,79368	20,74815	59149	0,75904		
956	KMTC Hongkong	1585	20999	16731	168,56	156,95	27,2	13,8	9,21	7380	5,770221		11,37319	17,04126	28379	0,721784		
957	Tian An He	5089	63165	54005	294	284,16	32,26	21,8	12	32333	8,808431		13,05486	23,68	95498	0,868132		
958	Rio Centaurus	3426	42604	36078	228,62	218,22	32,22	18,55	12	15774	6,772812		11,76388	18,185	58378	0,691907		
959	Lila Hochiminh	1642	21528	16915	168,03	158	27,2	13,8	9,2	7595	5,808824		11,44928	17,17391	29123	0,736584		
960	OOCL New York	5762	67660	66289	277,23	263	40	24,3	14	33235	6,575		10,82305	18,78571	100895	0,685056		
961	COSCO Santos	4253	49959	40465	261,1	247,09	32,25	19,3	11	23892	7,661705		12,80259	22,46273	73851	0,842517		
962	Conti Stockholm	5618	68819	66278	278,84	265	40,3	24,1	14	36993	6,575682		10,99585	18,92857	105812	0,707711		
963	Gulf Barakah	4400	51247	41391	262,07	248	32,25	19,5	12,5	23615	7,689922		12,71795	19,84	74862	0,748807		
964	Touska	4947	66432	54851	294,13	284	32,2	22,1	13,5	34827	8,19876		12,85068	21,03704	101259	0,820211		
965	BF Osprey	2500	34331	26435	208,95	196,9	30	16,4	11,6	11953	6,563333		12,0061	16,97414	46284	0,67547		
966	Fleur N.	2758	41130	35887	212,53	195,19	32,2	20,3	12,5	19672	6,061801		9,615271	15,6152	60802	0,773917		
967	ANL Wangaratta	4250	52000	39906	260	244,5	32,25	19,3	11	24001	7,581395		12,68839	22,22727	76001	0,87623		
968	YM Cosmos	5512	68413	64254	275	263	40,04	24,2	14,02	35137	6,568432		10,86777	18,75892	103590	0,701378		
969	Elbella	1740	23410	18927	175,55	166,13	27,4	14,3	10,9	10908	6,063139		11,61748	15,24128	34318	0,691667		
970	Ever Beady	2926	37301	33266	211,9	206,9		16,8	11,22	12503			12,31548	18,44029	49804			
971	SITC Davao	2524	33691	25703	208,3	195	29,8	14,6	11,4	12028	6,543624		13,35616	17,10526	45719	0,690146		
972	KMTC Jebel Ali	4275	51648	40487	261,4	245,41	32,25	19,2	12,62	18771	7,609612		12,78177	19,44612	70419	0,705302		
973	Maersk Jaipur	2824	39446	28340	222,15	210	30	16,8	12,02	14289	7		12,5	17,47088	53735	0,709598		
974	Shanghai Trader	4839	67255	54809	294,51	283,2	22,1	13,65	34226				12,81448	20,74725	101481			
975	Kota Jati	1728	24973	18502	193,03	181	28	14	9,63	9413	6,464286		12,92857	18,79543	34386	0,704561		
976	E. R. Sweden	5762	68025	65792	277,22	263	40,04	20,23	14	35494	6,568432		13,00049	18,78571	103519	0,70217		
977	Makha Bhum	1688	20000	17800	172	163,3		14	8,51	6100			11,66429	19,18919	26100			
978	ACX Pearl	2846	39580	29060	222,6	211,5	32,2	16,8	12,02	14422	6,568323		12,58929	17,58567	54002	0,659699		
979	Nordic Macau	3400	45651	39905	228,13	210,9	32,2	20,3	12,5	22024	6,549689		10,38916	16,872	67675	0,797234		
980	Wan Hai 308	2478	37901	27437	221,72	209,62	29,8	16,4	11,4	13574	7,034228		12,78171	18,38772	51475	0,722841		
981	Xin Quan Zhou	4250	52216	41482	263,23	251,4	32,2	19,3	12,8	24001	7,807453		13,02591	19,64063	76217	0,735564		
982	MCC Seoul	1803	22314	18123	175,1	164,9	27,9	13,8	9,5	7996	5,910394		11,94928	17,35789	30310	0,693486		
983	Conti Darwin	5618	68996	66278	278,84	265	40,3	24,1	14	36993	6,575682		10,99585	18,92857	105899	0,708895		
984	Lorraine	2742	37800	27786	221,74	209,6	29,8	16,4	11,4	13574	7,033557		12,78049	18,38596	51374	0,721491		
985	Wan Hai 171	1809	22177	16471	172,1	162,1	27,3	13,5	8,5	7615	5,937729	18	12,00741	19,07059	29792	0,792018	0,451384	
986	MSC Ishyka	2446	33985	25713	208	196	29,8	16,4	11,4	12275	6,577181		11,95122	17,19298	46290	0,69475		
987	Ever Cast	1800	21488	17933	172,07	163,5		14,3	9,77	7170			14,9	11,43357	16,7349	28658	0,372043	
988	Northern Volition	2742	37874	27437	221,7	209,62	29,8	16,4	11,4	13574	7,034228		12,78171	18,38772	51448	0,722461		
989	Amalia C.	2452	34129	25458	199,95	187,9	29,8	16,5	11,55	12450	6,305369		11,38788	16,2684	46579	0,72022		
990	ST Ever	2553	33407	27061	199,93	188		16,6	11,27	11031			11,3253	16,68146	44438			
991	TG Aphrodite	2474	33709	25650	207,4	195,4	29,8	16,4	11,4	12733	6,557047		11,91463	17,14035	46442	0,699625		
992	Ian H	5618	67902	66526	278,01	264,4	40	24,3	14	29460	6,61		10,88066	18,88571	97362	0,657567		
993	Wan Hai 305	2496	30246	26681	199,9	188	32,2	16,6	10,9	10855	5,838509		11,3253	17,24771	41101	0,622891		
994	Argos	4250	49842	40542	261,1	247,09	32,25	19,3	12,6	23747	7,661705		12,80259	19,61032	73899	0,732922		
995	Kota Ganding	2800	38887	29015	222	210		16,8	12	13359			12,5	17,5	52246			
9																		

κάνοντας εύκολες τις διαδικασίες μαζικών υπολογισμών. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της βάσης δεδομένων, για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στη διαδικασία προμελέτης καθώς και για την κατασκευή γραφημάτων.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2019a]

Rhinoceros 3D

Το «Rhinoceros 3D» είναι πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού που αναπτύχθηκε από την εταιρία «Robert McNeel & Associates» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργικά συστήματα «Microsoft Windows» και «MacOS». Τα γεωμετρικά στοιχεία που χρησιμοποιεί βασίζονται στο μαθηματικό μοντέλο NURBS το οποίο έχει τη δυνατότητα να παράγει καμπύλες και σύνθετες επιφάνειες με μαθηματική ακρίβεια. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του τρισδιάστατου σχεδίου του πλοίου και της εσωτερικής του διάταξης.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2021b]

Maxsurf

Το «Maxsurf» είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού που αναπτύχθηκε από την εταιρία «Bentley». Το πρόγραμμα συμπεριλαμβάνει δυνατότητα για μοντελοποίηση του hull, ευστάθεια, προβλέψεις κινήσεων και αντίστασης, δομική μοντελοποίηση, δομική ανάλυση. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των δεξαμενών και για τον υπολογισμό των καμπύλων ευστάθειας.

[Πηγή: Maxsurf]

