



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Προμελέτη πλοίου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου

Preliminary design of a product carrier

Συγγραφέας:

Γιάννης Τ. Θάνος

A.M.: 51114030

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Πολίτης

Αιγάλεω, 2022



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών

Διπλωματική εργασία

Προμελέτη πλοίου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου

Συγγραφέας

Γιάννης Τ. Θάνος (Α.Μ.: 51114030)

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Γ. Πολίτης,
Καθηγητής, ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

2/3/2022

Εξεταστική Επιτροπή

Κωνσταντίνος Γ. Πολίτης, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	Αλέξανδρος Α. Θεοδουλίδης, Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	Θωμάς Π. Μαζαράκος, Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.
---	--	---


ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γιάννης Θάνος** του **Τομ**, με αριθμό μητρώου **51114030** 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. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

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

Ο Δηλών



Γιάννης Τ. Θάνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή και Πρόεδρο του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών κ. Κωνσταντίνο Πολίτη που μου δίδαξε το μάθημα της Μελέτης Πλοίου και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές του, καθώς επίσης για την προθυμία και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Ακόμη, σημαντική υπήρξε η συμβολή ιστοσελίδων ναυπλιακού περιεχομένου για τη συλλογή στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύσταση της βάσης δεδομένων, οπότε κι ευχαριστώ τους εκπροσώπους τους για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τους συμφοιτητές και φίλους μου Κάρλο Διβάρη και Στάθη Κωνσταντακόπουλο για τη συνεχή συμπαράσταση και όμορφη επικοινωνία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου και τους κοντινούς μου ανθρώπους, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ένα μέρος της διαδικασίας της προμελέτης ενός πλοίου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου (*Product Carrier*). Σε πρώτο στάδιο, αφού γίνει μια περιγραφή των βασικών στοιχείων της μελέτης, περιλαμβάνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για τα δεξαμενόπλοια καθώς επίσης και η κατηγοριοποίησή τους. Στη συνέχεια, καθορίζονται οι απαιτήσεις του υπό μελέτη πλοίου και υπολογίζονται οι βασικές διαστάσεις, οι συντελεστές μορφής, και η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης του, με τη βοήθεια προσεγγιστικών τύπων και όμοιων πλοίων. Κατόπιν γίνεται ο υπολογισμός των ομάδων βαρών του υπό μελέτη πλοίου και πραγματοποιείται ο προϋπολογισμός της μεταφορικής ικανότητας του. Ελέγχεται επίσης το ύψος εξάλλων και η γραμμή φόρτωσης με βάση τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης (Συγκεντρωτική έκδοση, 2016) και στη συνέχεια η χωρητικότητα του φορτίου. Έπειτα, κατασκευάζεται το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών, το τρισδιάστατο σχέδιο του πλοίου και η διαμόρφωση της εσωτερικής του διάταξης, με το πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*. Με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* υπολογίζονται τα βασικά υδροστατικά στοιχεία και πραγματοποιείται ο έλεγχος της άθικτης ευστάθειας στις 4 βασικές καταστάσεις φόρτωσης με βάση το κριτήριο *A749(18)* που ορίζει ο *IMO*. Επιπροσθέτως, εφαρμόζεται η Διεθνής Σύμβαση Καταμέτρησης και προσδιορίζεται η ολική και καθαρή χωρητικότητα του πλοίου. Τέλος, γίνεται έλεγχος συμμόρφωσης του πλοίου με τον κανονισμό 23 της *MARPOL* για τη διαρροή πετρελαίου λόγω ατυχήματος (*Accidental Oil Outflow*) και εξετάζεται μια εναλλακτική διάταξη των χώρων φορτίου με σκοπό την αύξηση της μεταφορικής ικανότητας του σχεδιαζόμενου πλοίου.

Λέξεις κλειδιά: Προμελέτη δεξαμενόπλοιου, μεταφορική ικανότητα, σχέδιο ναυπηγικών γραμμών, υδροστατικό διάγραμμα, καμπύλες ευστάθειας, *IMO*, *MARPOL*, κανονισμός 23, διαρροή πετρελαίου λόγω ατυχήματος, εναλλακτική σχεδίαση δεξαμενόπλοιου.

ABSTRACT

This diploma thesis aims to develop a part of the process of the preliminary design of a Product Carrier. Firstly, after the description of the ship-design basic elements, a brief historical overview of the tankers is presented as well as the basic tanker categories. After the requirements of the ship under study are determined, the basic dimensions, the form coefficients, and the required propulsive power are calculated, with the help of empirical formulas and similar ships. Following this, the weight groups of the ship and its capacity are calculated. The freeboard and the load line are also checked based on the International Load Line Convention (Consolidated Edition, 2016) and then the capacity is verified. Furthermore, the lines plan, the 3D design of the ship and the configuration of its internal layout are constructed, using the program Rhinoceros 3D. Moreover, with the help of the program MAAT Hydro, the basic hydrostatics are calculated and its intact stability is tested for the 4 basic loading conditions based on the criterion A749(18) defined by IMO. In addition, the International Tonnage Convention is applied and the ship's Gross tonnage and Net tonnage are defined. Finally, the ship is checked for compliance with MARPOL Regulation 23 on Accidental Oil Outflow and an alternative configuration of the cargo tanks is considered in order to increase the capacity of the ship.

Key words: Preliminary design of a tanker, capacity, lines plan, hydrostatic diagram, transverse stability, IMO, MARPOL, regulation 23, accidental oil outflow, alternative tanker design.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	1
1.1	Βασικές φάσεις της μελέτης πλοίου.....	1
1.2	Προμελέτη πλοίου.....	1
1.3	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	2
2.	Ιστορική αναδρομή.....	3
3.	Δεξαμενόπλοια.....	6
3.1	Διάκριση των δεξαμενόπλοιων	6
4.	Αρχικά δεδομένα	8
4.1	Πατρικό πλοίο	8
4.2	Συλλογή στοιχείων από όμοια πλοία	8
4.2.1	Βάση Δεδομένων	9
5.	Εκλογή κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής.....	11
5.1	Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ	12
5.1.1	Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση τον πίνακα.....	12
5.1.2	Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση το διάγραμμα ταχυτήτων	13
5.1.3	Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ από όμοια πλοία	14
5.1.4	Συνολική εκτίμηση εκτοπίσματος Δ	15
5.2	Εκτίμηση μήκους L_{PP}	16
5.2.1	Εκτίμηση μήκους L_{PP} με βάση το συντελεστή λυγηρότητας $L_{PP}/V^{1/3}$	16
5.2.2	Εκτίμηση μήκους L_{PP} με βάση τον τύπο του ελαχίστου κόστους (<i>Schneekluth</i>) 17	
5.2.3	Εκτίμηση μήκους L_{PP} από στατιστική ανάλυση υπαρχόντων πλοίων.....	17
5.2.3.1	Τύπος <i>Ayre</i>	17
5.2.3.2	Τύπος <i>Voelker</i>	19
5.2.4	Εκτίμηση μήκους από το μήκος L_{PP} όμοιων πλοίων	19
5.2.5	Εκτίμηση μήκους L_{PP} από το συντελεστή λυγηρότητας όμοιων πλοίων	20
5.2.6	Συνολική εκτίμηση μήκους L_{PP}	21
5.3	Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B	22
5.3.1	Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B με προσεγγιστικούς τύπους.....	22
5.3.2	Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B ελαχίστου κόστους	23
5.3.3	Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B από όμοια πλοία	24
5.3.4	Συνολική εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B	24
5.4	Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T	25

5.4.1	Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T από Πίνακα 5-3.....	25
5.4.2	Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T από όμοια πλοία.....	26
5.4.3	Συνολική εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T	27
5.5	Εκτίμηση κοίλου D	28
5.5.1	Εκτίμηση κοίλου D από πίνακα συντελεστών.....	28
5.5.2	Εκτίμηση κοίλου D από όμοια πλοία (1 ^η μέθοδος)	29
5.5.3	Εκτίμηση κοίλου D από όμοια πλοία (2 ^η μέθοδος)	30
5.5.4	Συνολική εκτίμηση κοίλου D	30
5.6	Εκτίμηση υπολοίπων συντελεστών.....	31
5.6.1	Υπολογισμός συντελεστή μέσης τομής C_M	31
5.6.1.1	Τύπος κατά <i>Van Lammeren</i>	31
5.6.1.2	Τύπος κατά <i>Kerlen</i>	31
5.6.1.3	Τύπος κατά <i>HSV A</i>	31
5.6.2	Υπολογισμός πρισματικού συντελεστή C_P	31
5.6.3	Υπολογισμός συντελεστή ισάλου C_{WP}	31
5.7	Συγκεντρωτικός πίνακας μεγεθών	32
6.	Εκτίμηση ισχύος πρόωσης.....	33
6.1	Συντελεστής ναυαρχείου C_N	33
6.2	Τύπος <i>MAN</i>	33
6.3	Εκτίμηση με βάση εμπειρικό διάγραμμα	34
6.4	Εκτίμηση ισχύος πρόωσης P από όμοια πλοία	34
6.5	Συνολική εκτίμηση ισχύος πρόωσης P	35
6.6	Εκτίμηση ισχύος γεννητριών	35
6.7	Επιλογή κύριας μηχανής και ηλεκτροκινητήρων.....	36
7.	Υπολογισμός ομάδων βαρών.....	37
7.1	Πατρικό πλοίο	37
7.2	Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	37
7.2.1	Μέθοδος <i>Watson</i>	37
7.2.2	Μέθοδος <i>Schneekluth</i>	39
7.2.3	Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	41
7.3	Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	41
7.3.1	Προσεγγιστικός τύπος.....	41
7.3.2	Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} από διάγραμμα.....	42
7.3.3	Μέθοδος κατά <i>Strohbusch</i>	43
7.3.4	Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	44

7.4	Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	45
7.4.1	Εκτίμηση με τον προσεγγιστικό τύπο <i>Watson – Gilfillan</i>	45
7.4.2	Εκτίμηση συναρτήσει του βάρους της κύριας μηχανής (<i>Schneekluth</i>)	45
7.4.3	Εκτίμηση με τη μέθοδο <i>Strohbusch</i>	46
7.4.4	Συνολική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	47
7.5	Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου W_{LS} για το πατρικό πλοίο	48
7.5.1	Υπολογισμός σφάλματος μεθόδων	48
7.6	Υπό μελέτη πλοίο.....	49
7.6.1	Μέθοδος <i>Watson</i>	49
7.6.2	Μέθοδος <i>Schneekluth</i>	50
7.6.3	Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	53
7.7	Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	53
7.7.1	Προσεγγιστικός τύπος.....	53
7.7.2	Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} από διάγραμμα.....	53
7.7.3	Μέθοδος κατά <i>Strohbusch</i>	54
7.7.4	Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	55
7.8	Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	56
7.8.1	Εκτίμηση με τον προσεγγιστικό τύπο <i>Watson – Gilfillan</i>	56
7.8.2	Εκτίμηση συναρτήσει του βάρους της κύριας μηχανής (<i>Schneekluth</i>)	56
7.8.3	Εκτίμηση με τη μέθοδο <i>Strohbusch</i>	57
7.8.4	Συνολική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	59
7.9	Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου W_{LS} για το υπό μελέτη πλοίο	59
8.	Έλεγχος εκτοπίσματος	60
9.	Τελικές διαστάσεις υπό μελέτη πλοίου.....	61
10.	Προϋπολογισμός μεταφορικής ικανότητας DWT	62
10.1	Βάρος καυσίμων και λιπαντικών W_F	62
10.2	Βάρος εφοδίων και νερού W_{PR}	64
10.3	Βάρος πληρώματος και αποσκευών W_{CR}	65
10.4	Βάρος μη μόνιμου έρματος B	65
10.5	Υπολογισμός βάρους ωφέλιμου φορτίου W_{LO}	65
11.	Έλεγχος γραμμής φόρτωσης.....	66
12.	Έλεγχος χωρητικότητας φορτίου.....	71
12.1	Διαμερισματοποίηση.....	71
12.2	Ύψος διπυθμένου	72
12.3	Πλάτος πλευρικών δεξαμενών	72

12.4	Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών φορτίου (<i>Cargo Tanks</i>)	73
12.5	Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών έρματος (<i>Ballast Tanks</i>)	74
13.	Τελική μελέτη και σχεδίαση	77
13.1	Διαδικασία σχεδίασης της γάστρας	77
13.2	Υδροστατικό διάγραμμα	80
14.	Μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου	82
14.1	Ανάλυση κριτηρίων ασφαλείας του <i>IMO Resolution A.749(18)</i>	82
14.2	Διαμερισματοποίηση	85
14.3	Ακριβής έλεγχος χωρητικότητας φορτίου	87
14.3.1	Υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας	88
14.3.2	Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Αναχώρηση (<i>Full Load - Departure</i>)	89
14.3.3	Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (<i>Full Load - Arrival</i>)	91
14.3.4	Κατάσταση ερματισμού – Αναχώρηση (<i>Ballast - Departure</i>)	93
14.3.5	Κατάσταση ερματισμού – Άφιξη (<i>Ballast - Arrival</i>)	95
15.	Έλεγχος κανονισμού καταμέτρησης	98
15.1	Υπολογισμός ολικής χωρητικότητας (<i>Gross Tonnage</i>)	98
15.2	Υπολογισμός καθαρής χωρητικότητας (<i>Net Tonnage</i>)	99
15.3	Έλεγχος περιορισμών για την καθαρή χωρητικότητα	100
16.	Διαρροή πετρελαίου λόγω ατυχήματος	101
16.1	Μεθοδολογία υπολογισμού διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος	101
16.2	Ανάπτυξη διαδικασίας αυτόματου υπολογισμού	107
16.3	Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος	108
16.3.1	Υπολογισμός πιθανοτήτων πλευρικής βλάβης	108
16.3.2	Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης στον πυθμένα	110
16.3.3	Υπολογισμός συνολικού πετρελαίου που θα διαρρεύσει	114
16.4	Περιθώριο αύξησης της μεταφορικής ικανότητας	115
16.4.1	Υπολογισμός πιθανοτήτων πλευρικής βλάβης (για νέα διάταξη)	115
16.4.2	Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης στον πυθμένα	118
16.4.3	Υπολογισμός συνολικού πετρελαίου που θα διαρρεύσει	122
16.4.4	Έλεγχος βυθισμάτων	122
	Συμπεράσματα	124
	Προτάσεις	126
	Βιβλιογραφία	127
	Έντυπη	127
	Διαδικτυακή	128

Προγράμματα.....	129
Παράρτημα.....	130

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1-1: Αρχικά στοιχεία/δεδομένα του υπό μελέτη πλοίου.	2
Πίνακας 4-1: Στοιχεία πατρικού πλοίου.	8
Πίνακας 4-2: Βάση δεδομένων από όμοια πλοία. [1/2].....	9
Πίνακας 4-3: Βάση δεδομένων από όμοια πλοία. [2/2].....	10
Πίνακας 5-1: Τυπικά μεγέθη και ποσοστά ομάδων βαρών για κύριους τύπους εμπορικών πλοίων.	12
Πίνακας 5-2: Εκτίμηση εκτοπίσματος με τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.....	15
Πίνακας 5-3: Πίνακας συντελεστών για διάφορους τύπους πλοίων.	16
Πίνακας 5-4: Συγκεντρωτικός πίνακας μήκους μεταξύ καθέτων με τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.	21
Πίνακας 5-5: Πίνακας συντελεστών K_1 , K_2 , K_3 για τους υπολογισμούς του συντελεστή γάστρας.	22
Πίνακας 5-6: Εκτιμήσεις πλάτους B και βυθίσματος T	27
Πίνακας 5-7: Πίνακας συντελεστών για διάφορους τύπους πλοίων (Επέκταση του πίνακα 5-3).	28
Πίνακας 5-8: Εκτιμήσεις κοίλου D	30
Πίνακας 5-9: Συγκεντρωτικός πίνακας κυρίων διαστάσεων και συντελεστών μορφής του πλοίου.....	32
Πίνακας 6-1: Εκτιμήσεις ισχύος πρόωσης.....	35
Πίνακας 6-2: Στοιχεία κύριας μηχανής.....	36
Πίνακας 6-3: Στοιχεία ηλεκτροκινητήρα.....	36
Πίνακας 7-1: Στοιχεία πατρικού πλοίου.	37
Πίνακας 7-2: Διαστάσεις υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου.	38
Πίνακας 7-3: Διαστάσεις υπερκατασκευών πατρικού πλοίου.	38
Πίνακας 7-4: Στοιχεία του πατρικού πλοίου που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους με τη μέθοδο Schneekluth.....	39
Πίνακας 7-5: Εκτιμήσεις βάρους μεταλλικής κατασκευής.	41
Πίνακας 7-6: Πίνακας συντελεστών ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού.....	44
Πίνακας 7-7: Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού.	44
Πίνακας 7-8: Συντελεστές με βάση τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.	46
Πίνακας 7-9: Εκτίμηση μηχανολογικής εγκατάστασης.....	47
Πίνακας 7-10: Συγκεντρωτικός πίνακας προσεγγίσεων βαρών για το πατρικό πλοίο.	48

Πίνακας 7-11: Λόγοι διαστάσεων υπό μελέτη πλοίου προς διαστάσεις πατρικού πλοίου.....	49
Πίνακας 7-12: Διαστάσεις υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου.	49
Πίνακας 7-13: Διαστάσεις υπερκατασκευών πατρικού πλοίου.....	50
Πίνακας 7-14: Στοιχεία του πατρικού πλοίου που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους με τη μέθοδο Schneekluth.....	50
Πίνακας 7-15: Εκτιμήσεις βάρους μεταλλικής κατασκευής.	53
Πίνακας 7-16: Πίνακας συντελεστών ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού.....	55
Πίνακας 7-17: Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού.	55
Πίνακας 7-18: Συντελεστές με βάση τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.	57
Πίνακας 7-19: Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης.....	59
Πίνακας 7-20: Συγκεντρωτικός πίνακας προσεγγίσεων βαρών για το υπό μελέτη πλοίο.....	59
Πίνακας 9-1: Πίνακας βασικών μεγεθών του υπό μελέτη πλοίου.....	61
Πίνακας 10-1: Στοιχεία κύριας μηχανής και ηλεκτροκινητήρα.	63
Πίνακας 11-1: Πίνακας βασικού ύψους εξάλλων με βάση το μήκος.....	66
Πίνακας 11-2: Διαστάσεις υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου.	68
Πίνακας 11-3: Πίνακας μείωσης ύψους εξάλλων για το δρών μήκος 1.0L.	69
Πίνακας 11-4: Πίνακας ποσοστών μείωσης ύψους εξάλλων για διάφορα δρών μήκη.	69
Πίνακας 12-1: Διαστάσεις των τμημάτων του πατρικού πλοίου σε [m] και ως ποσοστά του ολικού μήκους.....	72
Πίνακας 12-2: Διαστάσεις των τμημάτων του υπό μελέτη πλοίου σε [m].....	72
Πίνακας 12-3: Στοιχεία για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου.	76
Πίνακας 14-1: Πίνακες συντελεστών για το κριτήριο καιρού.....	84
Πίνακας 14-2: Πίνακας διαστάσεων των δεξαμενών.	85
Πίνακας 14-3: Συγκριτικός πίνακας όγκου των χώρων του υπό μελέτη πλοίου (Υπολογισμοί - Τρισδιάστατο σχέδιο).	87
Πίνακας 14-4: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης και περιορισμού MARPOL.....	88
Πίνακας 14-5: Δεξαμενές συμμετοχής στον υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.	88
Πίνακας 14-6: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση πλήρους φόρτωσης- Αναχώρηση (Full Load - Departure).....	89
Πίνακας 14-7: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Full Load - Departure).	90

Πίνακας 14-8: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Full Load Departure).	91
Πίνακας 14-9: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load - Arrival).....	91
Πίνακας 14-10: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load - Arrival).	92
Πίνακας 14-11: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load - Arrival).....	93
Πίνακας 14-12: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast - Departure).	93
Πίνακας 14-13: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).	94
Πίνακας 14-14: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).	95
Πίνακας 14-15: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Ballast - Arrival).	95
Πίνακας 14-16: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).	96
Πίνακας 14-17: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Ballast Arrival).....	97
Πίνακας 15-1: Υπολογισμός όγκου υπερστεγασμάτων του υπό μελέτη πλοίου.	98
Πίνακας 16-1: Πίνακας πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη.	103
Πίνακας 16-2: Πίνακας πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα.	107
Πίνακας 16-3: Πίνακας απαιτούμενων στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου για τον υπολογισμό διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος.	108
Πίνακας 16-4: Μετρήσεις των όγκων και των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και y για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.....	108
Πίνακας 16-5: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (1/2).....	109
Πίνακας 16-6: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).....	109
Πίνακας 16-7: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.....	110
Πίνακας 16-8: Μετρήσεις των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.	111
Πίνακας 16-9: Υπολογισμός πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα (1/2).	111
Πίνακας 16-10: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).....	112

Πίνακας 16-11: Πίνακας όγκων πετρελαίου που διαρρέει λόγω βλάβης στον πυθμένα για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]).	112
Πίνακας 16-12: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.	113
Πίνακας 16-13: Μετρήσεις των όγκων και των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και y για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.	116
Πίνακας 16-14: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (1/2).	116
Πίνακας 16-15: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).	117
Πίνακας 16-16: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.	117
Πίνακας 16-17: Μετρήσεις των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.	118
Πίνακας 16-18: Υπολογισμός πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα (1/2).	119
Πίνακας 16-19: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).	119
Πίνακας 16-20: Πίνακας όγκων πετρελαίου που διαρρέει λόγω βλάβης στον πυθμένα για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]).	120
Πίνακας 16-21: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.	121
Πίνακας 16-22: Πλήρωση δεξαμενών για δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης – έλεγχος βυθισμάτων.	122
Πίνακας 16-23: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης (νέα διάταξη) και περιορισμός MARPOL.	123
Πίνακας 16-24: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης (νέα διάταξη 2) και περιορισμός MARPOL.	123

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5-1: Λόγοι (DWT/Δ) συναρτήσει DWT και V για Δηζελοκίνητα πλοία κατά Schünemann.	13
Διάγραμμα 5-2: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης (DWT/Δ) συναρτήσει του DWT για τα πλοία της βάσης δεδομένων.....	14
Διάγραμμα 5-3: Διαγραμματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων με εύρος 180-280m.	18
Διάγραμμα 5-4: Διαγραμματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων με εύρος 230-250m.	18
Διάγραμμα 5-5: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του L_{PP} για τα πλοία της βάσης δεδομένων.	19
Διάγραμμα 5-6: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του συντελεστή λυγηρότητας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.	20
Διάγραμμα 5-7: : Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του συντελεστή λυγηρότητας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.	23
Διάγραμμα 5-8: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του συντελεστή γάστρας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.	24
Διάγραμμα 5-9: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του πλάτους B για τα πλοία της βάσης δεδομένων.....	26
Διάγραμμα 5-10: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του βυθίσματος T για τα πλοία της βάσης δεδομένων.....	27
Διάγραμμα 5-11: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του κοίλου D για τα πλοία της βάσης δεδομένων.....	29
Διάγραμμα 5-12: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του γινομένου LBD για τα πλοία της βάσης δεδομένων.	30
Διάγραμμα 6-1: Διάγραμμα απεικόνισης MCR συναρτήσει του DWT και της ταχύτητας υπηρεσίας.....	34
Διάγραμμα 6-2: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει της ισχύος για τα πλοία της βάσης δεδομένων.....	34
Διάγραμμα 7-1: Λόγος βάρους ενδιαίτησης προς $L \times B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson.	42
Διάγραμμα 7-2: Λόγος βάρους ενδιαίτησης προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson.	54
Διάγραμμα 13-1: Υδροστατικό διάγραμμα του υπό μελέτη πλοίου.....	81
Διάγραμμα 14-1: Καμπύλη $GZ-\varphi$ για τα κριτήρια καιρού.	83

Διάγραμμα 14-2: Καμπύλη ευστάθειας (GZ-φ) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Αναχώρηση (Full Load - Departure)	89
Διάγραμμα 14-3: Καμπύλη ευστάθειας (GZ-φ) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (Full Load - Arrival)	92
Διάγραμμα 14-4: Καμπύλη ευστάθειας (GZ-φ) για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast - Departure).	94
Διάγραμμα 14-5: Καμπύλη ευστάθειας (GZ-φ) για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Ballast - Arrival).....	96

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2-1: Το πλοίο Gluckauf στο Rostock της Γερμανίας.	3
Εικόνα 2-2: T2 δεξαμενόπλοιο με όνομα Hat Creek 1943.	4
Εικόνα 2-3: Το πλοίο Universe Apollo της εταιρίας Universe Tankships.	5
Εικόνα 3-1: Τύποι δεξαμενόπλοιων με βάση το μέγεθός τους.	7
Εικόνα 5-1: Γραφική απεικόνιση των διαστάσεων του πλοίου.	11
Εικόνα 6-1: Χαρακτηριστικά κινητήρα που επιλέχθηκε για το υπό μελέτη πλοίο.	36
Εικόνα 12-1: Σκαρίφημα κατά μήκους διαμερισματοποίησης του πλοίου.	71
Εικόνα 12-2: Σκαρίφημα μέσης τομής του πατρικού πλοίου.	73
Εικόνα 13-1: Ολοκληρωμένη μορφή της τρισδιάστατης γάστρας του υπό μελέτη πλοίου. ...	78
Εικόνα 13-2: Σχέδιο γραμμών του υπό μελέτη πλοίου.	79
Εικόνα 14-1: Διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου (1/2).	86
Εικόνα 14-2: Διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου (2/2).	86
Εικόνα 16-1: Απεικόνιση αποστάσεων για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων λόγω πλευρικής βλάβης.	102
Εικόνα 16-2: Απεικόνιση αποστάσεων για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων λόγω βλάβης στον πυθμένα.	105
Εικόνα 16-3: Σκαρίφημα εσωτερικής διάταξης. [Πηγή: Αρχειακό υλικό].	115
Εικόνα Π-1: Γραφικό περιβάλλον του Microsoft Excel.	130
Εικόνα Π-2: Γραφικό περιβάλλον του Rhinoceros 3D.	131
Εικόνα Π-3: Εισαγωγή των σημείων των νομέων του πατρικού πλοίου Β' στο Rhinoceros 3D.	131
Εικόνα Π-4: Κατασκευή καμπυλών νομέων στο πρόγραμμα Rhinoceros 3D. [Πηγή: Αρχειακό υλικό].	132
Εικόνα Π-5: Κατασκευή προφίλ και ισάλων στο πρόγραμμα Rhinoceros 3D. [Πηγή: Αρχειακό υλικό].	132
Εικόνα Π-6: Κατασκευή συμμετρικού τμήματος του πλοίου στο Rhinoceros 3D. [Πηγή: Αρχειακό υλικό].	133
Εικόνα Π-7: Μορφή της γάστρας όταν οι επιφάνειες δεν είναι πλήρως ενωμένες (Εντολή ShowEdges). [Πηγή: Αρχειακό υλικό]	133
Εικόνα Π-8: Γραφικό περιβάλλον του MATLAB.	134
Εικόνα Π-9: Γραφικό περιβάλλον του MAAT Hydro.	135
Εικόνα Π-10: Ρυθμίσεις αποθήκευσης αρχείου IGES.	135

Εικόνα Π-11: Καρτέλα εισαγωγής χαρακτηριστικών του σχεδιαζόμενου πλοίου (MAAT Hydro).....	136
Εικόνα Π-12: Εντολή Solid/ Join (MAAT Hydro).....	137
Εικόνα Π-13: Επιλογή τμημάτων του πλοίου για ένωση (MAAT Hydro).....	137
Εικόνα Π-14: Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των υδροστατικών καμπυλών (MAAT Hydro).	138
Εικόνα Π-15: Αποτελέσματα υπολογισμού υδροστατικών καμπυλών (MAAT Hydro).....	138
Εικόνα Π-16: Καρτέλα Data (MAAT Hydro).	139
Εικόνα Π-17: Ρύθμιση Layer και Property (MAAT Hydro).	139
Εικόνα Π-18: Κατασκευή καταστάσεων φόρτωσης (MAAT Hydro).	140
Εικόνα Π-19: Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας για την κατάσταση Full Load Departure (MAAT Hydro).	140
Εικόνα Π-20: Αποτελέσματα εγκάρσιας ευστάθειας άθικτου πλοίου (MAAT Hydro).	141

1. Εισαγωγή

1.1 Βασικές φάσεις της μελέτης πλοίου

Η μελέτη της σχεδίασης ενός πλοίου περιλαμβάνει τις παρακάτω 4 βασικές φάσεις:

- Μελέτη εφικτότητας ή αρχικού σχεδιασμού (*Concept design-Feasibility study*).
- Προμελέτη (*Preliminary Design*).
- Συμβατική μελέτη ή μελέτη προδιαγραφών συμβολαίου (*Contract design*).
- Μελέτη λεπτομερούς σχεδιασμού (*Detailed design*).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθούν οι δύο πρώτες φάσεις της μελέτης που αναφέρονται σαν **Βασική Μελέτη (*Basic Design*)** ή **Προμελέτη**.

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

1.2 Προμελέτη πλοίου

Η προμελέτη του πλοίου είναι το στάδιο της διαδικασίας μελέτης στο οποίο με βάση τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη διερευνώνται και καθορίζονται τα κύρια τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του πλοίου που επηρεάζουν το κόστος ναυπήγησης και εκμετάλλευσης (λειτουργίας) του υπό μελέτη πλοίου.

Η προμελέτη του πλοίου αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Επιλογή κυρίων διαστάσεων του πλοίου.
- Προσδιορισμός σχήματος της γάστρας.
- Προσδιορισμός του τύπου και της ισχύος της προωστήριας εγκατάστασης.
- Προσδιορισμός της γενικής διάταξης.
- Καθορισμός του μεγέθους των κυρίων και βοηθητικών χώρων (κύτος-μηχανοστάσιο-ενδιαίτηση).
- Καθορισμός των μέσων χειρισμού του φορτίου.
- Καθορισμός των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής (εγκάρσια-διαμήκης-τοπική αντοχή).
- Έλεγχος ευστάθειας και διαγωγής.
- Έλεγχος γραμμής φόρτωσης και του ύψους εξάλλων.
- Καταμέτρηση.

Η προμελέτη είναι μια τεχνικό-οικονομική διαδικασία που έχει ως σκοπό την εξαγωγή μιας λύσης με το βέλτιστο δυνατό τρόπο (από οικονομικής άποψης) λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες απαιτήσεις του πλοιοκτήτη καθώς και τους Κανονισμούς των Νηογνωμόνων και τους Εθνικούς και Διεθνείς Κανονισμούς και Συμβάσεις περί κατασκευής και ασφάλειας των πλοίων. Είναι μια περίπλοκη διαδικασία καθώς οι απαιτήσεις πολλές φορές είναι αλληλοσυγκρουόμενες και συχνά απαιτείται ο επαναπροσδιορισμός μεγεθών που έχουν ήδη υπολογιστεί σε προηγούμενο στάδιο.

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα πραγματοποιηθεί προμελέτη και η σχεδίαση ενός δεξαμενόπλοιου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου (*Product Carrier*) το οποίο θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς και τους περιορισμούς που θέτει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (*IMO International Maritime Organization*). Τα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Vessel type	Speed	DWT	Stability Criterion
	[kn]	[t]	[-]
Product Carrier	14	40000	IMO Res. A749(18)

Πίνακας 1-1: Αρχικά στοιχεία/δεδομένα του υπό μελέτη πλοίου.

Αναλυτικότερα, τα κεφάλαια που περιλαμβάνονται περιέχουν:

- Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για τα δεξαμενόπλοια.
- Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με τα δεξαμενόπλοια και την κατηγοριοποίησή τους.
- Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αρχικά δεδομένα που απαιτούνται για την προμελέτη ενός δεξαμενόπλοιου.
- Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται η διαδικασία της προμελέτης από την οποία προκύπτουν οι κύριες διαστάσεις και οι συντελεστές μορφής του υπό μελέτη πλοίου.
- Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται η εκτίμηση της ισχύος πρόωσης και της ισχύος γεννητριών.
- Στο Κεφάλαιο 7, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του βάρους του άφορτου πλοίου (*Lightship*).
- Στα Κεφάλαια 8 & 9, γίνεται ο έλεγχος του εκτοπίσματος και παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των μεγεθών του υπό μελέτη πλοίου.
- Στο Κεφάλαιο 10, πραγματοποιείται ο προϋπολογισμός της μεταφορικής ικανότητας του υπό μελέτη πλοίου.
- Στο Κεφάλαιο 11, πραγματοποιείται ο έλεγχος του ύψους εξάλλων και της γραμμής φόρτωσης με βάση τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης.
- Στο Κεφάλαιο 12, καθορίζεται η εσωτερική διάταξη του πλοίου (διαμερισματοποίηση) και γίνεται εκτίμηση της χωρητικότητας των δεξαμενών φορτίου και έρματος.
- Στο Κεφάλαιο 13, πραγματοποιείται η μοντελοποίηση του πλοίου μέσω του *Rhinoceros 3D*, η ανάπτυξη του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών και του υδροστατικού διαγράμματος του πλοίου.
- Στο Κεφάλαιο 14, μελετάται η άθικτη ευστάθεια του πλοίου στις τέσσερις βασικές καταστάσεις φόρτωσης.
- Στο Κεφάλαιο 15, υπολογίζεται η ολική και η καθαρή χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου και εφαρμόζεται η Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης.
- Στο Κεφάλαιο 16, γίνεται ο έλεγχος της διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος και διερευνάται μια εναλλακτική διάταξη των χώρων φορτίου με σκοπό την αύξηση της μεταφορικής ικανότητας τηρώντας παράλληλα τον κανονισμό 23 της *MARPOL* για το *Accidental Oil Outflow* και τον κανονισμό για το ελάχιστο βύθισμα.

Τέλος, με βάση όσα αναλύθηκαν εξάγονται τα συμπεράσματα και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Ιστορική αναδρομή

Στην αρχαιότητα τα υγρά φορτία καθώς επίσης και τα χύδην φορτία μεταφέρονταν σε αμφορείς που ήταν δοχεία μεγάλου μεγέθους με σχήμα τέτοιο που τους επέτρεπε την εύκολη μεταφορά και στοιβασία. Αμφορείς, χρησιμοποιούνταν και για τον ερματισμό των αρχαίων πλοίων, τοποθετημένοι σε ειδικές υποδοχές περιμετρικά του πλοίου, καθώς δεν είχε αναπτυχθεί ακόμα η τεχνολογία των δεξαμενών έρματος.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2019]

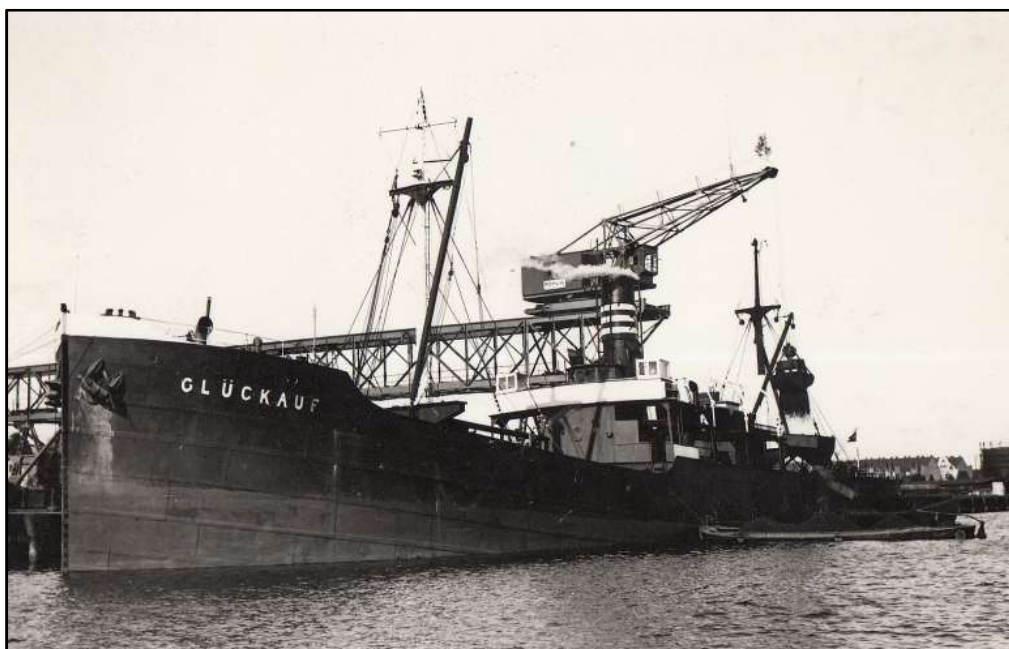
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε σχεδόν μέχρι την εποχή του Α' Παγκοσμίου Πολέμου όπου γινόταν χρήση αρχικά ξύλινων και στη συνέχεια μεταλλικών βαρελιών, ενώ στη συνέχεια η ανάγκη για μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου και παραγώγων οδήγησε στην αναζήτηση νέων τρόπων μεταφοράς τους. Ο αρχικός σκοπός ήταν η εκμετάλλευση εκείνων των χώρων του πλοίου που με τη χρήση των ήδη υπάρχουσών μεθόδων δεν αξιοποιούνταν για τη μεταφορά φορτίου. Έτσι, άρχισαν να σχεδιάζονται τα πρώτα δεξαμενόπλοια της εποχής.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2019]

Το 1886 το πρώτο δεξαμενόπλοιο μεταφοράς πετρελαίου σχεδιάστηκε και ναυπηγήθηκε επιτυχώς στο *Newcastle* της Μεγάλης Βρετανίας και ονομάστηκε *Gluckauf*. Το συγκεκριμένο πλοίο είχε χωρητικότητα 2700 [t] και περιλάμβανε 8 δεξαμενές χωρισμένες με μια διαμήκη και 3 εγκάρσιες φρακτές (διάταξη 2 × 4). Ακόμη, για την φορτοεκφόρτωση του χρησιμοποιούνταν αντλίες που αντλούσαν το πετρέλαιο άμεσα από τις δεξαμενές του. *Gluckauf* στα γερμανικά σημαίνει «τυχερός», όμως το πλοίο *Gluckauf* δεν είχε την τύχη να πλεύσει για αρκετά χρόνια καθώς στις 25 Μαρτίου 1893 προσάραξε στο *Fire Island* της Νέας Υόρκης και δεν μπόρεσε να συνεχίσει τα ταξίδια του. Τα υπολείμματα της γάστρας του διακρίνονται ακόμα, ακριβώς στο σημείο προσάραξης του όπου σήμερα αποτελεί δημοφιλή παραλία για ψάρεμα.

[Πηγή 1: Bryant, 2012]

[Πηγή 2: Pike, 2012]



Εικόνα 2-1: Το πλοίο *Gluckauf* στο Rostock της Γερμανίας.

[Πηγή: <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2974825>, Ημερομηνία ανάκτησης: 29/11/2021]

Με την πάροδο των χρόνων η βιομηχανία εξελίχθηκε σημαντικά και οι απαιτήσεις άρχισαν να οδηγούν τους ναυπηγούς της εποχής σε σχεδίαση μεγαλύτερων πλοίων τόσο σε μέγεθος όσο και σε μεταφορική ικανότητα. Το 1897 η ανακάλυψη της μηχανής *Diesel* (όπου χρησιμοποιούσε σαν καύσιμο το πετρέλαιο αντί για το κάρβουνο όπως συνηθιζόταν μέχρι τότε) ήταν το γεγονός που εκτόξευσε τη βιομηχανία και την παραγωγή δεξαμενόπλοιων με μηχανές *Diesel*.

Κατά την περίοδο του Β' Παγκοσμίου Πολέμου η συνηθέστερη κατηγορία δεξαμενόπλοιων ήταν τα «T2», κατασκευασμένα κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Τα «T2» δεξαμενόπλοια χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά καυσίμων και η χωρητικότητά τους ήταν περίπου 16000 [t] DWT.

[Πηγή: Maritime Industry Foundation, 2021]



Εικόνα 2-2: T2 δεξαμενόπλοιο με όνομα *Hat Creek* 1943.

[Πηγή: <http://www.aukevisser.nl/t2tanker/id30.htm>, Ημερομηνία ανάκτησης: 29/11/2021]

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα η αυξανόμενη παραγωγή αυτοκινήτων οδήγησε τη ναυτιλιακή βιομηχανία σε παραγωγή μεγαλύτερων δεξαμενόπλοιων της τάξης των 25.000 [t] DWT τα οποία για την εποχή θεωρούνταν από τα μεγαλύτερα. Όμως λόγω της παραγωγής του πετρελαίου στη Μέση Ανατολή και την κύρια κατανάλωση του στη Δύση, τα δεξαμενόπλοια έπρεπε να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν τη διώρυγα του Σουέζ η οποία μπορούσε να υποστηρίξει διελεύσεις πλοίων με μέγιστη μεταφορική ικανότητα τους 30.000 [t] DWT. Αυτός ο περιορισμός διήρκησε μέχρι το πρώτο κλείσιμο της διώρυγας το 1956 (κρίση του Σουέζ) όπου το πετρέλαιο μεταφερόταν από τα πλοία διανύοντας τη διαδρομή περιμετρικά της Αφρικής. Το αποτέλεσμα ήταν τα μεγέθη των πλοίων να αρχίσουν να αυξάνονται σημαντικά.

Το 1958 κατασκευάστηκε από την εταιρία *Universe Tankships* το πρώτο πλοίο με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη από 100.000 [t] DWT το οποίο ονομάστηκε *Universe Apollo*. Είχε μεταφορική ικανότητα 104.520 [t] DWT, μήκος 289.5 [m], πλάτος 41.3 [m] και υπηρεσιακή ταχύτητα 15.5 [kn]. Το συγκεκριμένο πλοίο ταξίδευε μέχρι και το 1977 όπου σταμάτησε στο λιμάνι του Πειραιά και παρέμεινε μέχρι το 1979. Στη συνέχεια, το πλοίο ανακυκλώθηκε (*Scrapping*) στο Καοσιούγκ της Ταϊβάν.

[Πηγή: Whittaker Jr., 2015]



Εικόνα 2-3: Το πλοίο *Universe Apollo* της εταιρίας *Universe Tankships*.

[Πηγή: <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1636308>, Ημερομηνία ανάκτησης: 29/11/2021]

Μέσα σε μια δεκαετία από τη ναυπήγηση του *Universe Apollo* άρχισαν να μελετώνται και να σχεδιάζονται ακόμη μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια. Έτσι γεννήθηκε μια νέα γενιά δεξαμενόπλοιων όπως τα *VLCC (Very Large Crude Carriers)* και τα *ULCC (Ultra Large Crude Carriers)* που είναι γνωστά στη σημερινή εποχή.

3. Δεξαμενόπλοια

Ορισμός Δεξαμενόπλοιου: Δεξαμενόπλοιο ορίζεται ως το πλοίο που μεταφέρει υγρό φορτίο χύδην. Ορισμένοι τύποι τέτοιου φορτίου είναι το αργό πετρέλαιο, τα προϊόντα πετρελαίου, διάφορες χημικές ουσίες, υγροποιημένα αέρια, κ.α. Η φύση του φορτίου τους απαιτεί ειδικές μορφές κατασκευής και εξοπλισμού.

[Πηγή: Babicz, 2015]

3.1 Διάκριση των δεξαμενόπλοιων

Η διάκριση των δεξαμενόπλοιων πραγματοποιείται με δύο κριτήρια: ανάλογα με τον τύπο του φορτίου και ανάλογα με το μέγεθός της μεταφορικής τους ικανότητας. Στην πρώτη περίπτωση η διάκριση γίνεται ως εξής:

- **Crude oil tankers:** Δεξαμενόπλοια μεταφοράς αργού ή ακάθαρτου πετρελαίου.
- **Product carriers:** Δεξαμενόπλοια μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου.
- **Chemical tankers:** Δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών ουσιών.
- **Gas Tankers:** Εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου “LNG” (*Liquefied Natural Gas*) ή υγραερίου “LPG” (*Liquefied Petroleum Gas*).

[Πηγή: Mohit, 2019]

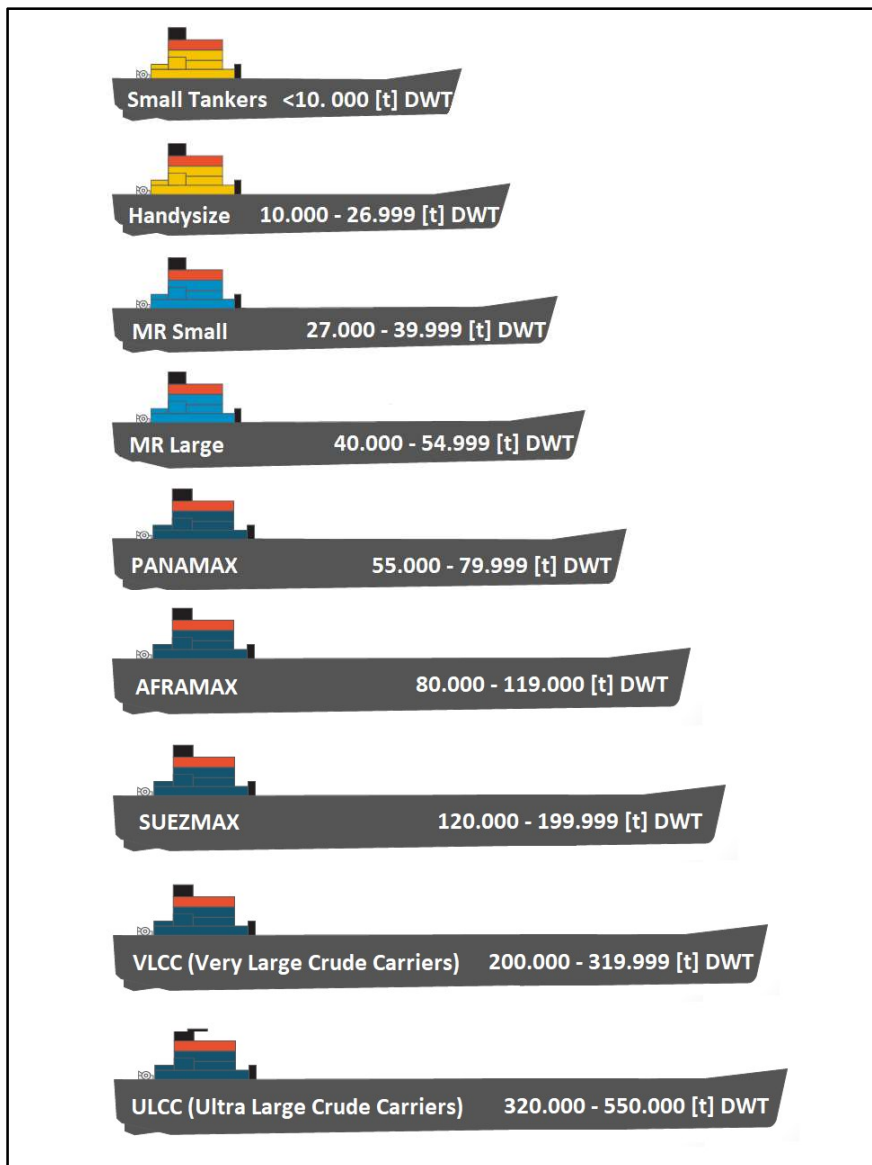
Στη δεύτερη περίπτωση όπου η διάκριση των δεξαμενόπλοιων γίνεται με βάση με το μέγεθος της μεταφορικής ικανότητας σε τόνους *DWT* διακρίνονται σε:

- **Small tankers (<10.000 [t] DWT):** Αποτελούν μικρά δεξαμενόπλοια με μεταφορική ικανότητα μέχρι 10.000 [t] *DWT* και εξυπηρετούν συνήθως τα μικρότερα λιμάνια λόγω της ευελιξίας του μεγέθους τους.
- **Handysize (10.000 – 26.999 [t] DWT):** Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 10.000 μέχρι 26.999 [t] *DWT*. Όπως και τα μικρά δεξαμενόπλοια της προηγούμενης κατηγορίας, έτσι και αυτά μπορούν να έχουν πρόσβαση σχεδόν σε όλα τα λιμάνια λόγω του μεγέθους τους.
- **MR Small (27.000 – 39.999 [t] DWT):** Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 27.000 μέχρι 39.999 [t] *DWT* και προορίζονται συνήθως για τη μεταφορά κατεργασμένων ή ημικατεργασμένων προϊόντων πετρελαίου.
- **MR Large (40.000 – 54.999 [t] DWT):** Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 40.000 μέχρι 54.999 [t] *DWT* και προορίζονται συνήθως για τη μεταφορά κατεργασμένων ή ημικατεργασμένων προϊόντων πετρελαίου όπως εκείνα της κατηγορίας *MR Small*.
- **Panamax (55.000 – 79.999 [t] DWT):** Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 55.000 μέχρι 79.999 [t] *DWT* που σημαίνει ότι είναι πλοία με ενδιάμεση χωρητικότητα και λόγω των διαστάσεών τους, πληρούν τις απαιτήσεις για να διασχίζουν την διάρρυγα του Παναμά. Το μήκος το πλάτος και το βύθισμα δεν επιτρέπεται να ξεπερνούν τα 294.15 [m], 32.31 [m] και 12.04 [m], αντίστοιχα.
- **Aframax (80.000 – 119.999 [t] DWT):** Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 80.000 μέχρι 119.999 [t] *DWT* και το μέγεθός τους, τους επιτρέπει να προσεγγίζουν τα περισσότερα λιμάνια. Είναι πλοία τα οποία δημιουργήθηκαν με σκοπό την οικονομικότερη αξιοποίησή τους από τις πετρελαϊκές εταιρίες και μεταφέρουν πετρέλαιο ή παράγωγα πετρελαίου.

- **Suezmax (120.000 – 199.999 [t] DWT)**: Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 120.000 μέχρι 199.999 [t] DWT. Κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο με σκοπό να έχουν τη δυνατότητα διέλευσης από το κανάλι του Σουέζ με περιορισμούς το βύθισμα και το ύψος λόγω της γέφυρας του καναλιού.
- **VLCC (Very Large Crude Carriers) (200.000 – 319.999 [t] DWT)**: Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 180.000 μέχρι 320.000 [t] DWT και αποτελούν δεξαμενόπλοια μεγάλου μεγέθους. Δραστηριοποιούνται κυρίως για μεταφορά ακατέργαστου πετρελαίου και για μεγάλες αποστάσεις.
- **ULCC (Ultra Large Crude Carriers) (320.000 – 550.000 [t] DWT)**: Η μεταφορική ικανότητά τους κυμαίνεται από 320.000 μέχρι 550.000 [t] DWT και αποτελούν τα μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια. Για το λόγο αυτό, ο αριθμός των λιμανιών που έχουν τη δυνατότητα να υποδέχονται δεξαμενόπλοια αυτής της κατηγορίας είναι περιορισμένος.

[Πηγή 1: Pålsson, 2011]

[Πηγή 2: The Editors of Encyclopedia Britannica, 1998]



Εικόνα 3-1: Τύποι δεξαμενόπλοιων με βάση το μέγεθός τους.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

4. Αρχικά δεδομένα

4.1 Πατρικό πλοίο

Η διαδικασία της προμελέτης ενός πλοίου αρχίζει με τη συλλογή των κατασκευαστικών στοιχείων, σχεδίων και μελετών από ένα πατρικό πλοίο. Τα απαραίτητα σχέδια του πατρικού πλοίου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία ελήφθησαν απευθείας από την εταιρία στην οποία ανήκει και είναι:

- Το σχέδιο γενικής διάταξης (*General arrangement plan*).
- Το σχέδιο μέσης τομής (*Midship section*).
- Το *Trim & Stability booklet*.
- Το *Capacity plan & DWT Scale*.

Αντίστοιχα, τα στοιχεία του πατρικού πλοίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχεία πατρικού πλοίου		
Χωρητικότητα	DWT [t]	47499
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{pp} [m]	175.15
Πλάτος	B [m]	32.20
Κοίλο	D [m]	19.10
Βύθισμα	T [m]	11.00
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.78
Βάρος άφορτου σκάφους	W_{LS} [t]	10586
Ισχύς κύριας μηχανής	P [KW]	10320

Πίνακας 4-1: Στοιχεία πατρικού πλοίου.

4.2 Συλλογή στοιχείων από όμοια πλοία

Εκτός από τα στοιχεία του πατρικού πλοίου απαιτείται η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων από άλλα παρόμοια πλοία. Η συλλογή των στοιχείων αυτών έγινε μέσω της ιστοσελίδας www.marinetraffic.com (όπου δημιουργήθηκε δοκιμαστικός λογαριασμός για περιορισμένο χρονικό διάστημα). Έτσι, κατασκευάστηκε μια αξιόπιστη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει 144 πλοία και καλύπτει ένα εύρος χωρητικοτήτων από 30.000 – 167.000 [t] DWT με σκοπό την προμελέτη του *Product Carrier* με ταχύτητα υπηρεσίας 14 [kn] και χωρητικότητα 40000 [t] DWT.

Πιο συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει: την ονομασία του κάθε πλοίου, τον αριθμό *IMO*, τη χωρητικότητα σε [t] DWT, το εκτόπισμα, το μήκος (ολικό και μεταξύ καθέτων), το πλάτος, το κοίλο, το βύθισμα, το συντελεστή γάστρας, την ισχύ της κύριας μηχανής και την ταχύτητα υπηρεσίας. Τα στοιχεία που λαμβάνονται, αναλύονται με μαθηματικές μεθόδους και μπορούν, μετά από την επεξεργασία τους, να χρησιμοποιηθούν ως ένδειξη πιθανών διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου. Εκτός από τα όμοια πλοία, σε αυτή την εργασία σημασία δίνεται στα αποτελέσματα που προκύπτουν από εμπειρικούς μαθηματικούς τύπους, πίνακες και διαγράμματα που ανακτώνται από τη βιβλιογραφία.



4.2.1 Βάση Δεδομένων

a/a	Vessel Name	Imo	Capacity - Dwt [t]	Displacement [t]	Length [m]	Length Between Perpendiculars [m]	Beam [m]	Depth [m]	Draft [m]	C _b	Engine Power [kW]	Speed [m]
1	FASTRON	9329318	30770	39003	180.00	173.00	31.00	15.60	9.00	0.788359	5650	10
2	FIONA	7925065	31543	39712	176.70	168.00	28.00	14.00	10.40	0.790429	10424	15.5
3	SELAY CHALLENGER	8504105	31990	39990	178.20	165.00	27.50	15.30	11.38	0.755559	8169	14.8
4	USNS RICHARD G.MATTHIESEN	8310102	33095	42131	187.30	187.00	27.40	16.40	11.00	0.729278	11414	16
5	NIKOS	7409413	33788	40272	170.70	163.50	26.00	15.70	11.85	0.779956	9231	17.5
6	CHEVRON EINDHOVEN	5058454	34495	45773	201.20	192.00	27.30	13.70	10.81	0.777796	10297	15.5
7	SALAMIS	9165281	34995	56474	182.50	172.00	32.20	19.10	10.18	0.977221	8683	15.3
8	TRIDENT	8808537	35739	43739	180.00	170.00	27.00	15.80	11.00	0.845161	7860	15
9	YUK TUNG	9309591	36457	43668	179.00	168.60	28.00	14.90	10.92	0.826421	7202	14.5
10	EMMANUEL	9240720	37114	45988	182.60	175.00	27.70	16.70	11.22	0.824916	9466	14.5
11	NORD BELL	9309980	38431	47849	182.90	174.50	27.40	16.80	11.62	0.840227	9480	14
12	SMART HASSAN	8419013	39008	47658	182.30	172.00	31.40	17.20	10.97	0.784779	6767	14
13	PRIMA XP	9250153	40094	48988	175.90	168.00	31.00	17.00	11.10	0.826746	8580	15
14	DISTINCTION 01	9040455	41461	49688	182.00	172.00	30.00	18.40	12.00	0.782883	7134	14.5
15	MIKHAIL LAZAREV	9837547	42000	51089	248.90	232.00	34.10	15.00	9.50	0.663189		
16	ACE	9191395	43716	53076	182.00	174.00	30.00	17.30	12.02	0.825276	7859	14
17	TRUST NAVIGATOR	8814421	44646	53097	182.10	174.40	30.00	17.00	12.02	0.823709	7060	14.7
18	MENA	8909472	45425	55345	183.00	174.00	32.20	19.00	12.02	0.801761	6765	15
19	MINERVA JOY	9363479	45990	55033	179.90	172.00	32.20	18.70	12.05	0.804504	9480	15
20	TUCHKOV BRIDGE	9258179	47199	57068	182.40	174.80	32.30	17.50	12.20	0.808286	8310	14.3
21	BASTILLE STREET	9573701	47906	58025	180.00	172.00	32.20	19.00	12.60	0.811216	9480	15
22	RONG CHI	9611620	48698	59125	185.00	176.00	32.00	18.60	11.00	0.931091	9960	14.6
23	BAHRI ROSE	9323596	49631	60365	200.00	191.00	32.20	18.00	11.68	0.819884	8561	14.4
24	OCEAN STELLAR	9284805	50386	60646	189.00	180.00	32.20	20.20	13.50	0.756164	9480	16
25	BORIS SOKOLOV	9817315	51416	72605	214.00	205.40	34.00	18.30	12.99	0.785119	6720	13
26	LIU DING TAN	9349462	52682	64466	184.00	175.00	32.30	18.90	12.00	0.927235	9720	15.4
27	ZUN YI TAN	9344930	53697	64466	184.00	175.00	32.30	18.90	12.50	0.890136	9720	14.6
28	PEDEIRAS	8417121	55067	69476	218.00	209.00	32.00	18.00	12.80	0.791778	7208	13.2
29	BEI HAI ZHONG WANG	9584114	56192	65015	200.00	194.00	32.50	17.70	10.50	0.958111	9960	14.5
30	ARAMIS	8117081	59459	73615	228.10	217.00	32.20	19.20	12.42	0.827571	9898	15
31	KUN MING HU	8013558	60585	72740	228.50	219.00	32.20	19.00	12.19	0.825554	9194	14.5
32	VILMA	9289861	61271	72605	213.00	206.60	32.30	18.50	12.28	0.864393	10010	15
33	DONG TING HU	9063110	62127	76636	229.00	219.00	32.20	19.00	12.80	0.828322	8826	14.5
34	CHEMTRANS STAR	9185516	63331	76591	228.60	219.00	32.20	18.50	12.80	0.827835	9997	14.5
35	STENA PENGUIN	9391476	64834	77814	183.00	175.50	40.00	17.90	13.20	0.819262	15720	14.5
36	TIAN YING ZUO	9473776	64982	77741	220.00	213.00	32.30	20.60	13.60	0.810597	9000	14.2
37	STENA PARIS	9299123	65125	77814	182.90	175.50	40.00	17.90	13.02	0.830588	15720	14.5
38	UMNENGA	9301961	66895	79980	228.00	216.50	32.40	19.70	13.22	0.841444	7963	14.6
39	CABO SAN ANTONIO	9346469	68519	76493	228.00	219.00	32.50	19.10	12.50	0.838804	13560	14.9
40	ELSA	9001605	68623	82076	226.00	216.00	32.20	19.60	13.80	0.834264	8996	14
41	STROFADES	9319545	69431	82644	228.00	219.00	32.20	19.80	13.60	0.840715	10365	14.6
42	AL SOOR II	9329784	69835	84192	228.00	219.00	32.30	20.90	13.82	0.840219	11300	15.5
43	FUSION ENERGY	9259329	70201	83976	228.00	219.10	32.20	20.40	13.70	0.847642	13548	15
44	DESPINA ANDRIANNA	9182667	71637	85420	227.00	219.00	32.30	20.20	14.02	0.840313	10198	15
45	TORM SIGNE	9290957	72650	86139	227.50	219.00	32.20	20.60	14.02	0.850018	12438	15.5
46	THEO T	9262194	73021	86589	227.30	219.00	32.20	20.20	12.20	0.981927	10371	14.5
47	SUMMIT AFRICA	9550709	73427	89187	228.60	219.70	32.60	20.80	14.48	0.838999	11300	15
48	MINDORO STAR	9441207	73677	89221	228.60	219.70	32.60	20.80	14.50	0.839101	11300	15
49	ANTIPOLIS	9792204	73981	88546	228.00	219.00	32.00	20.90	14.30	0.862015		
50	ALPINE PENELOPE	9579301	74471	88221	228.00	219.00	32.60	20.60	14.32	0.841867	12240	15.3
51	JIN NIU ZUO	9303699	75493	90409	229.00	217.00	32.30	21.10	14.70	0.850668	12240	14
52	BNV COLUMBIA	9324291	76604	93368	228.60	220.00	32.30	21.20	14.72	0.852199	12261	14.5
53	SABI	8612287	78655	92355	239.20	231.50	37.20	17.80	12.21	0.856894	9996	14.3
54	EUROSEA	9179634	81408	98102	240.50	230.00	36.40	18.10	13.30	0.859554	12200	15.2
55	ZENAT 2	8325573	82424	100578	210.50	203.00	48.00	18.00	12.63	0.796077	16900	14.6
56	PREM VATI	8500238	83729	122845	244.50	234.00	42.70	19.80	14.63	0.820432	11731	15
57	LOURDES	9259692	84999	99771	238.90	231.00	38.00	20.00	13.06	0.849067	11470	15.7
58	GLUNING KEMALA/PERTAMINA 8003	8508292	86962	102348	242.00	230.00	41.60	19.20	12.92	0.807744	16260	15.4
59	APEX	8715479	87241	101051	233.30	223.00	42.60	19.80	12.97	0.800133	9121	14
60	TANKER 3	7355301	88296	103637	230.00	220.00	38.00	19.50	14.62	0.827251	14931	15.5
61	XIN HUA SHENG HAI	9306973	89090	110193	228.50	220.50	43.00	19.00	14.00	0.809888	11181	13
62	ROSS	8719229	90607	109447	247.20	236.00	41.70	17.20	13.10	0.827492	10071	14.5
63	CAS	8124008	91671	108393	243.70	232.20	41.60	19.70	13.51	0.810339	10033	14
64	ABUL KALAM AZAD	8600973	92687	111580	238.00	227.50	38.00	20.90	15.12	0.83281	10865	14
65	GENIE	8920866	93891	107908	241.80	232.00	42.00	20.40	13.62	0.79326	10157	15.1
66	SHARIFA 4	9083287	95416	111900	244.10	234.00	42.00	19.50	13.62	0.815575	12902	14.5
67	SUCCESS PIONEER XXXV	9108702	96183	110883	243.30	233.00	41.80	20.00	13.62	0.815515	11475	14.2
68	LADY	8912613	96733	112060	232.00	222.10	42.00	20.30	14.23	0.823615	10444	14.7
69	LILA DUBAI	9422990	97135	115190	237.00	227.00	42.00	20.30	14.02	0.840752	14280	14.5
70	IRON MONGER 3	8818922	98624	114749	244.80	234.00	41.20	21.60	14.34	0.809772	11253	15.3
71	ARGO I	9187667	99094	115690	248.00	238.00	43.00	19.80	14.52	0.795956	14875	15.4
72	ICARO	9038842	99438	115807	244.00	236.00	45.60	18.40	12.96	0.810082	15412	16
73	TORM INGBORG	9243230	99999	116496	244.00	234.00	42.00	21.00	14.22	0.813247	13548	14
74	TORM GUDRUN	9199127	101155	117331	243.90	234.00	42.00	21.00	14.32	0.813356	12269	14
75	VIKTOR TITOV	9301407	101906	120734	246.90	234.00	42.00	21.60	14.62	0.819772	16600	15.2
76	EAGLE TEXAS	9518907	102926	125524	243.80	237.00	42.00	21.30	14.55	0.845556	13566	15.6
77	KEROS WARRIOR	9360889	103368	117732	245.00	236.00	43.00	20.00	14.10	0.802733	9988	14.5
78	BEI HAI WEI WANG	9453296	104405	122609	244.00	233.00	42.00	21.40	13.50	0.905444	13560	15.3
79	CAPRICORN VOYAGER	9320604	105000	122173	243.60	233.00	42.00	21.30	14.75	0.825761	13560	15
80	ABYSS	9157765	105161	122176	244.00	233.00	42.00	21.30	13.00	0.926636	12443	14.5
81	SEA VINE	9266877	106021	122659	241.00	231.40	42.00	21.20	13.00	0.947152	12240	15
82	AMBA BHAVANEE	9265641	107081	123872	246.80	235.00	42.00	21.30	14.75	0.827873	13530	14.6
83	PS PISA	9434890	108835	127355	243.00	233.00	42.00	22.00	15.35	0.827139	13570	15
84	VALEFOGIA	9417309	109060	127204	243.00	233.00	42.00	22.00	15.35	0.826158	13570	15.7
85	PREM PRIDE	9167203	109413	129550	244.60	233.00	42.00	22.20	15.46	0.835408	15540	14
86	NS COMMANDER	9306794	109987	122957	244.00	234.00	42.00	21.00	15.36	0.794645	13548	14.5
87	STI SLOANE	9690808	109999	122984	256.40	247.20	43.00	22.00	12.00	0.940647	11760	14.5
88	NS CHAMPION	9299719	110043	122957	244.00	234.00	42.00	21.00	15.36	0.794645	13327	14.5



109	AURORA SPIRIT	9837169	129632	152465	276.70	265.00	46.00	23.40	15.40	0.792339		
110	SHIRLEY	7371965	130286	155489	266.70	255.00	41.50	22.20	16.82	0.852239	17064	15
111	SUN I	7383188	134372	156274	281.70	269.00	38.50	23.00	17.52	0.840284	19197	16
112	ALTAIR VOYAGER	9038010	136829	159478	258.90	245.40	48.30	25.20	16.79	0.781816	14100	15.3
113	FRONT DELTA	9012618	136055	159478	258.90	245.40	48.30	25.10	16.79	0.781816	15446	15.5
114	CATHERINE KNUTSEN	9174894	141720	164395	274.30	265.00	43.20	23.80	16.70	0.838916	11675	14.6
115	POLAR ADVENTURE	9244063	141740	173509	272.70	258.20	46.20	25.30	17.50	0.81089	12500	16
116	NATALY	8915794	143386	167898	274.00	265.00	43.30	23.80	17.00	0.839729	11561	13
117	UNITED RESOLVE	9018476	144100	164381	273.00	260.00	43.00	25.20	17.08	0.839843	12944	14
118	KRITI EPISKOPI	8904472	145242	164962	274.00	267.00	44.40	24.10	16.55	0.820291	12920	14.5
119	CAP JEAN	9158147	146643	171553	274.00	264.00	47.80	22.80	16.12	0.822768	17098	14.3
120	JANNAT ALFERDOS	9208069	147080	170360	274.20	264.00	47.80	22.80	16.00	0.823175	15621	14.6
121	NORSE SPIRIT	9780770	148167	171362	279.00	264.50	49.00	24.50	17.20	0.749964		
122	TIRUPATI	9030917	149258	173339	275.70	264.00	45.00	23.80	17.10	0.832453	16460	14
123	VOYAGER	9253894	149991	172398	272.00	262.00	45.60	24.00	17.00	0.82812	12370	14
124	RIMA	9150377	150812	172592	274.20	263.00	48.00	22.40	16.00	0.833642	16460	13.5
125	EUROFAITH	9247431	151693	174091	269.00	269.00	45.70	24.40	16.00	0.863503	16860	15.3
126	NORTHWAY	8707379	151910	171805	267.00	256.00	46.20	23.80	17.00	0.833645	11894	14
127	GOLDEN DRAGON	9198666	152923	173748	269.10	258.00	46.00	24.40	17.50	0.81617	15375	15.2
128	NORDIC DISCOVERY	9157727	153328	175164	269.00	258.00	46.00	24.40	17.50	0.822821	15372	14
129	OLYMPIC FLAG	9271341	155009	179993	274.00	263.00	47.00	23.30	17.10	0.830772	18630	16
130	PEGASUS VOYAGER	9665736	155374	178554	275.60	265.60	48.00	23.70	17.00	0.803762	17110	15
131	POLA	9493767	156447	176087	274.50	264.00	48.00	23.70	17.00	0.797461	18660	15.1
132	FRONT IDUN	9609444	157000	182538	274.50	264.00	48.00	23.20	17.00	0.826676	16860	14.8
133	JAG LEENA	9516105	158000	182856	274.80	264.00	48.00	23.20	15.00	0.938532	18660	15.2
134	SEA GARNET	9772943	158455	181564	274.00	263.10	48.00	23.10	16.00	0.876645	16160	14.5
135	VINGA	9587207	158982	182850	274.20	264.00	48.30	23.20	17.00	0.822946	18660	15.3
136	MABROUK	9232864	159313	182617	274.40	264.00	48.00	23.10	17.07	0.823642	18881	15
137	WHITE MOON	9588158	160152	187853	274.00	264.00	48.00	23.50	17.22	0.839878	18660	15.7
138	DELTA SPIRIT	9419096	161724	190500	274.00	264.00	50.00	23.20	17.00	0.828225	18660	15.3
139	VLADIMIR TIKHONOV	9311622	162362	188140	280.50	270.00	50.10	23.00	16.52	0.821383	21770	15.5
140	MELTEMI	9298741	163759	189258	274.00	264.00	50.10	23.10	17.00	0.821383	18610	15.4
141	BAHRAINIAH	7032600	164366	192155	291.40	278.70	41.20	25.40	19.70	0.828757	23536	15.5
142	AZUL	9236353	165295	189187	274.00	264.00	50.00	23.10	17.00	0.822516	18623	15.5
143	KRITI DIAMOND	9249075	166739	190099	281.20	270.00	48.20	23.00	15.76	0.903965	16780	15.5
144	EVRIKI	9318137	167295	192955	274.20	264.00	50.00	23.10	17.32	0.823399	20520	15.2

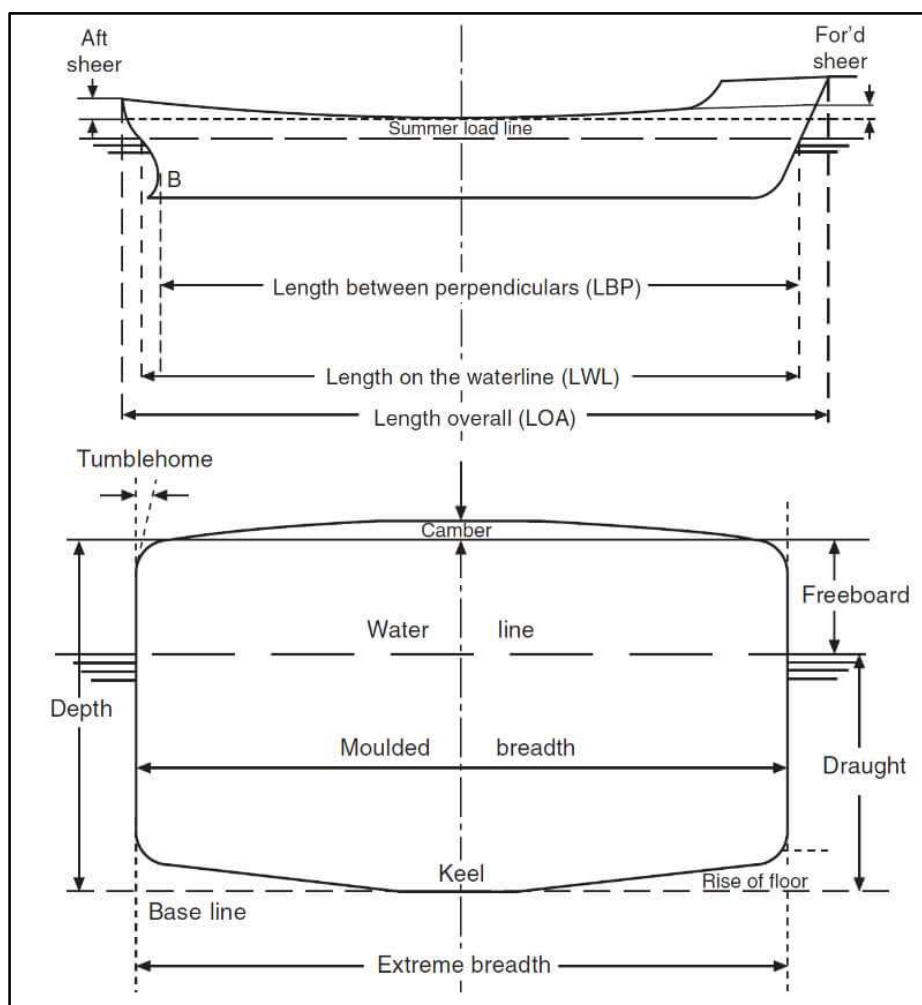
Πίνακας 4-3: Βάση δεδομένων από όμοια πλοία. [2/2]

5. Εκλογή κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού των κύριων διαστάσεων και των συντελεστών μορφής που χαρακτηρίζουν το υπό μελέτη πλοίο, όπως απαιτείται στην πρώτη φάση της μελέτης πλοίου και όπως παρουσιάζει ο Α. Δ. Παπανικολάου στο βιβλίο «Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Τεύχος 1 & 2». Οι διαστάσεις και οι συντελεστές που θα υπολογιστούν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης είναι:

- Γεωμετρικό εκτόπισμα (Δ).
- Μήκος μεταξύ καθέτων (L_{PP}).
- Πλάτος (B).
- Κοίλο (D).
- Βύθισμα (T).
- Συντελεστής γάστρας (C_B).
- Συντελεστής μέσης τομής (C_M).
- Συντελεστής ισάλου επιφανείας (C_{WP}).
- Πρισματικός συντελεστής (C_P).

Οι κύριες διαστάσεις του πλοίου φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 5-1: Γραφική απεικόνιση των διαστάσεων του πλοίου.

[Πηγή: <https://workshopinsider.com/portside-starboard-side>, Ημερομηνία ανάκτησης: 21/10/2021]

5.1 Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ

Ορισμός: 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 με όγκο ίσο με τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου.

[Πηγή: Δήμου, 2015]

5.1.1 Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση τον πίνακα

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

Ship type	Limits		DWT/ Δ	W_{ST}/W_L	W_{OT}/W_L	W_M/W_L
	Lower	Upper	(%)	(%)	(%)	(%)
General cargo ships (t DWT)	5,000	15,000	65–80	55–64	19–33	11–22
Coasters, cargo ships (GRT)	499	999	70–75	57–62	30–33	9–12
Bulk carriers ^a (t DWT)	20,000	50,000	74–85	68–79	10–17	12–16
	50,000	200,000	80–87	78–85	6–13	8–14
Tankers^b (t DWT)	25,000	120,000	78–86	73–83	5–12	11–16
	200,000	500,000	83–88	75–88	9–13	9–16
Containerships (t DWT)	10,000	15,000	65–74	58–71	15–20	9–22
	15,000	165,000 ^c	65–76	62–72	14–20	15–18
Ro-Ro (cargo) (t DWT)	$L \cong 80$ m	16,000 t	50–60	68–78	12–19	10–20
		DWT				
Reefers ^d (ft ³) of net ref. vol.	300,000	500,000	45–55	51–62	21–28	15–26
Passenger Ro-Ro/ferries/ RoPax	$L \cong 85$ m	$L \cong 120$ m	16–33	56–66	23–28	11–18
Large passenger ships (cruise ships)	$L \cong 200$ m	$L \cong 360^e$ m	23–34	52–56	30–34	15–20
Small passenger ships	$L \cong 50$ m	$L \cong 120$ m	15–25	50–52	28–31	20–29
Stern Trawlers	$L \cong 44$ m	$L \cong 82$ m	30–58	42–46	36–40	15–20
Tugboats	$P_B \cong 500$ KW	3,000 KW	20–40	42–56	17–21	38–43
River ships (towed)	$L \cong 32$ m	$L \cong 35$ m	22–27	58–63	19–23	16–21
River ships (self-propelled)	$L \cong 80$ m	$L \cong 110$ m	78–79	69–75	11–13	13–19

W_L light ship weight, W_{ST} weight of steel structure, W_{OT} weight of outfitting, W_M weight of machinery installation
^a Bulk carriers without own cargo handling equipment
^b Crude oil tankers
^c Triple E class of containerships of Maersk, DWT=165,000 t, first launched 2013
^d Banana reefers
^e Oasis class cruise ship of Royal Caribbean Int., $L=360$ m, 225,282 GT, launched 2009

Πίνακας 5-1: Τυπικά μεγέθη και ποσοστά ομάδων βαρών για κύριους τύπους εμπορικών πλοίων.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Από τον Πίνακα 5-1 προκύπτει ότι για τα δεξαμενόπλοια ο λόγος DWT/Δ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.78 – 0.86.

Επιλέγεται η τιμή:

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.8$$

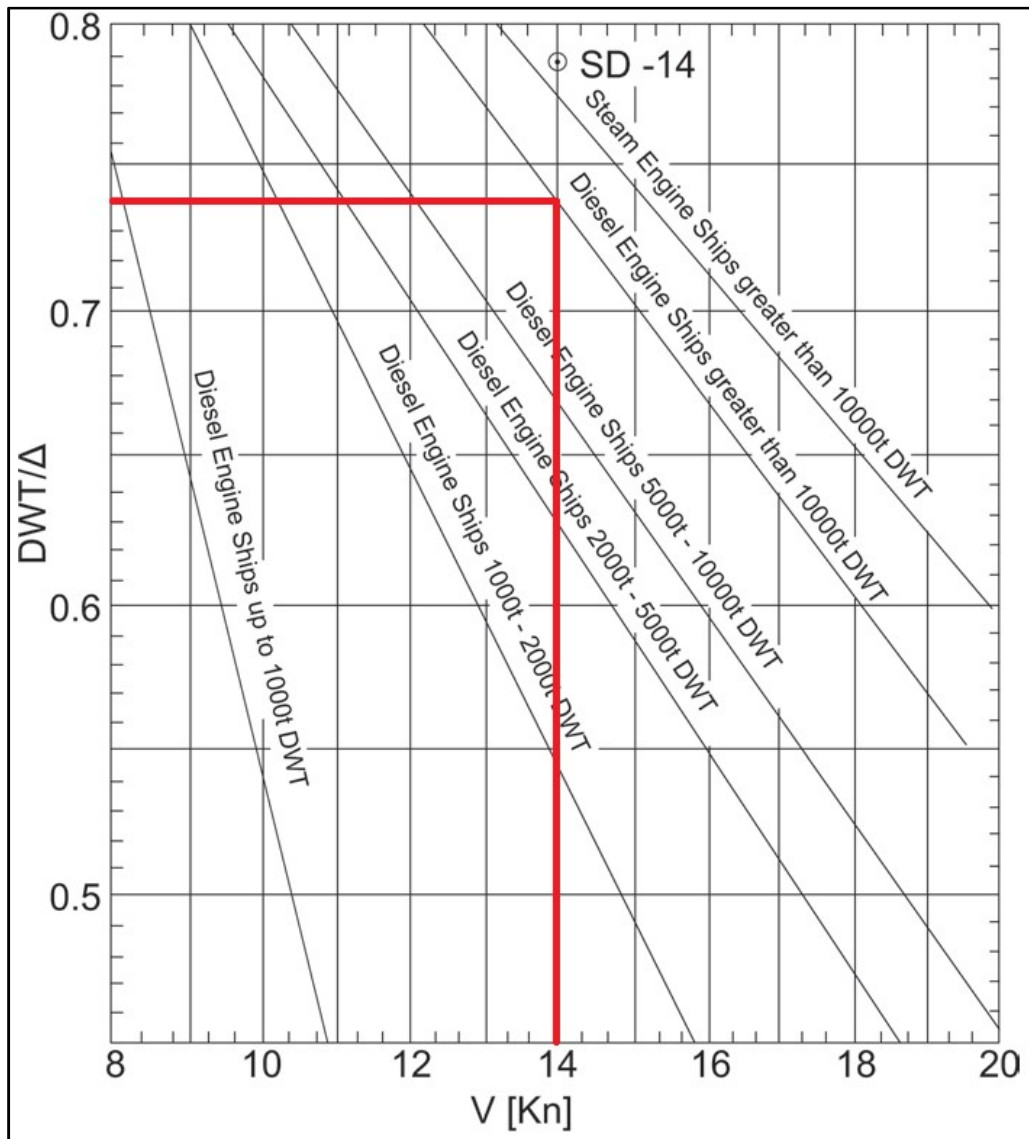
Η επιλογή της τιμής έγινε με βάση το ότι όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα του εξεταζόμενου πλοίου, τόσο μεγαλύτερος θα προκύπτει και ο λόγος DWT/Δ για το συγκεκριμένο τύπο πλοίου (δεξαμενόπλοιο), χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ισχύει για όλους τους τύπους πλοίων.

Οπότε η πρώτη εκτίμηση του εκτοπίσματος προκύπτει:

$$\Delta_1 = \frac{DWT}{0.8} = \frac{40000}{0.8} \Rightarrow \Delta_1 = 50000 [t]$$

5.1.2 Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση το διάγραμμα ταχυτήτων

Για τη δεύτερη εκτίμηση του εκτοπίσματος με βάση την ταχύτητα υπηρεσίας ($V_S = 14$ [kn]) χρησιμοποιείται το Διάγραμμα 5-1 που φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 5-1: Λόγοι (DWT/Δ) συναρτήσει DWT και V για Διζελοκίνητα πλοία κατά Schünemann.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Για ταχύτητα υπηρεσίας $V_S = 14$ [kn], για το λόγο DWT/Δ προκύπτει:

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.74$$

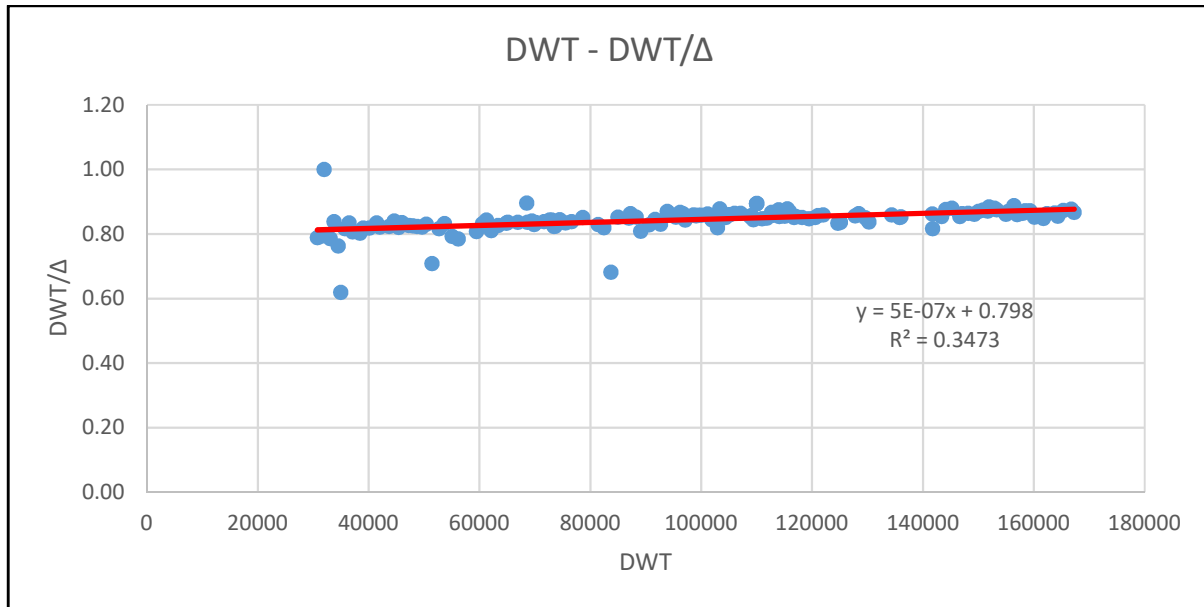
Άρα τελικά, η δεύτερη εκτίμηση του εκτοπίσματος προκύπτει:

$$\Delta_2 = \frac{DWT}{0.74} = \frac{40000}{0.74}$$

$$\Delta_2 = 54054 \text{ [t]}$$

5.1.3 Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ από όμοια πλοία

Ο τρίτος τρόπος υπολογισμού του εκτοπίσματος γίνεται με τη χρήση του διαγράμματος παλινδρομικής ανάλυσης της χωρητικότητας DWT συναρτήσει του λόγου DWT/Δ από όμοια πλοία που φαίνεται παρακάτω. Έχοντας γνωστό το DWT και το εκτόπισμα Δ για τα πλοία της βάσης δεδομένων που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα, όπου με την εισαγωγή της *trendline* που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 (τιμή κοντινότερη στη μονάδα) και μέσω της εξίσωσής της, μπορούμε να λάβουμε για $DWT = 40000$ [t] την εκτίμηση του λόγου DWT/Δ .



Διάγραμμα 5-2: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης (DWT/Δ) συναρτήσει του DWT για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Η εξίσωση της *trendline* όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 5-2 είναι:

$$\frac{DWT}{\Delta} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot DWT + 0.798$$

Οπότε για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$\frac{DWT}{\Delta} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 40000 + 0.798$$

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.817$$

Άρα τελικά, η τρίτη εκτίμηση του εκτοπίσματος προκύπτει:

$$\Delta_3 = \frac{DWT}{0.817} = \frac{40000}{0.817}$$

$$\Delta_3 = \mathbf{48960} \text{ [t]}$$

Να σημειωθεί ότι οι τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα και παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες δε λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση.

5.1.4 Συνολική εκτίμηση εκτοπίσματος Δ

Μετά την εκτίμηση του εκτοπίσματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο με βάση τον Πίνακα 5-1, τη μέθοδο με τη βοήθεια της υπηρεσιακής ταχύτητας του πλοίου στο Διάγραμμα 5-1 και εκείνη της παλινδρομικής ανάλυσης των στοιχείων από όμοια πλοία, οι εκτιμήσεις παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Εκτίμηση εκτοπίσματος
	[t]
Πίνακας 5-1	50000
Διάγραμμα (DWT/ Δ)-V	54054
Regression analysis	48960

Πίνακας 5-2: Εκτίμηση εκτοπίσματος με τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Όπως φαίνεται στις εκτιμήσεις που έγιναν για το εκτόπισμα, εκείνη με τη μέθοδο του Διαγράμματος 5-1 με τη χρήση της ταχύτητας παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση από τις άλλες δύο εκτιμήσεις. Η μέθοδος αυτή δεν έχει μεγάλη ακρίβεια και καθώς η ταχύτητα υπηρεσίας φαίνεται να είναι σχετικά μικρή συγκριτικά με τα στοιχεία από τα όμοια πλοία της βάσης δεδομένων, στην τελική εκτίμηση θα λάβει μικρότερο συντελεστή βαρύτητας από τις άλλες δύο μεθόδους.

$$\Delta = 0.15 \cdot \Delta_1 + 0.05 \cdot \Delta_2 + 0.8 \cdot \Delta_3$$

$$\Delta = 0.15 \cdot 50000 + 0.05 \cdot 54054 + 0.8 \cdot 48960$$

$$\Delta = 49370 [t]$$

Οπότε αν θεωρηθεί ότι το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού είναι $\gamma = 1.025 t/m^3$ μπορεί εύκολα να υπολογιστεί ο όγκος εκτοπίσματος του πλοίου όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\gamma} = \frac{49370}{1.025} = 48166 [m^3]$$

5.2 Εκτίμηση μήκους L_{PP}

Ορισμός: Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ πρυμναίας (κάθετος που περνάει από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου) και πρωαίας (κάθετος που περνάει από το σημείο τομής του περιγράμματος της πλώρης και της ισάλου επιφανείας) καθέτου. Το εγκάρσιο επίπεδο που διέρχεται από το μισό του μήκους μεταξύ καθέτων ($L_{BP}/2$) ονομάζεται μέση τομή.

[Πηγή: Δήμου, 2015]

Ένας βασικός παράγοντας κατά την επιλογή του μήκους ενός πλοίου είναι να επιτευχθεί η ελάχιστη απαιτούμενη αντίσταση. Όπως και στην εκτίμηση εκτοπίσματος, έτσι και στην εκτίμηση του μήκους, θα χρησιμοποιηθούν παραπάνω από μια μέθοδοι, καθώς το υδροδυναμικά βέλτιστο μήκος διαφέρει από το οικονομικότερο μήκος από πλευράς κόστους κατασκευής. Στο τέλος θα γίνει μια συνολική εκτίμηση.

5.2.1 Εκτίμηση μήκους L_{PP} με βάση τον συντελεστή λυγηρότητας $L_{PP}/V^{1/3}$

Στον παρακάτω πίνακα περιλαμβάνονται οι συντελεστές μορφής και οι λόγοι L_{PP}/B , B/T , καθώς επίσης και ο συντελεστής λυγηρότητας $L_{PP}/V^{1/3}$, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου:

Ship type	Hull form coefficients				Ratios of main dimensions		
	C_P	C_M	C_B	C_{WP}	L_{PP}/B	B/T	$L_{PP}/V^{1/3}$
Fast seagoing cargo ships	0.57–0.65	0.97–0.98	0.56–0.64	0.68–0.74	5.7–7.8	2.2–2.6	5.6–5.9
Slow seagoing cargo ships	0.66–0.74	0.97–0.995	0.65–0.73	0.80–0.86	4.8–8.5	2.1–2.3	5.2–5.4
Coastal cargo ships	0.69–0.73	–0.985	0.58–0.72	0.78–0.83	4.5–5.5	2.5–2.7	4.2–4.8
Small short sea passenger ships	0.61–0.63	0.82–0.85	0.51–0.53	0.65–0.70	5.8–6.5	3.3–3.9	6.3–6.6
Ferries	0.53–0.62	0.91–0.98	0.50–0.60	0.69–0.81	5.9–6.2 ^a 5.2–5.4 ^b	3.7–4.0	6.2–6.9 ^a 5.7–5.9 ^b
Fishing vessels	0.61–0.63	0.87–0.90	0.53–0.56	0.76–0.79	5.1–6.1	2.3–2.6	5.0–5.4
Tugboats	0.61–0.68	0.75–0.85	0.50–0.58	0.79–0.84	3.8–4.5	2.4–2.6	4.0–4.6
Bulk carriers	0.79–0.84	0.990– 0.997	0.72–0.86	0.88–0.92	5.0–7.1 ^a	2.1–3.2	4.7–5.6
Tanker $F_n = 0.15$	0.835– 0.855	0.992– 0.996	0.82–0.88	0.88–0.94	5.1–6.8	2.4–3.2	4.5–5.6
Tankers $F_n = 0.16–0.18$	0.79–0.83	0.992– 0.996	0.78–0.86	0.88–0.92	5.0–6.5	2.2–2.9	4.5–5.2
Fast seagoing reefers	(0.55) ^c 0.59– 0.62	0.96–0.985	(0.53) ^c 0.57– 0.59	0.68–0.72	6.7–7.2	2.8–3.0	6.1–6.5

Πίνακας 5-3: Πίνακας συντελεστών για διάφορους τύπους πλοίων.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Για δεξαμενόπλοια ο συντελεστής λυγηρότητας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 4.5 – 5.2. Επιλέγεται η τιμή του συντελεστή λυγηρότητας να είναι κοντά στο κάτω όριο του προτεινόμενου εύρους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το πλοίο είναι ογκώδες

$$\frac{L_{PP}}{V^{1/3}} = 4.6$$

Άρα τελικά, η πρώτη εκτίμηση για το μήκος προκύπτει:

$$\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}} = 4.6 \Rightarrow L_{PP_1} = 4.6 \cdot 48166^{\frac{1}{3}} \Rightarrow L_{PP_1} = \mathbf{167.37 [m]}$$

Οπότε:

$$Fn = \frac{u}{\sqrt{g \cdot L_{PP_1}}} = \frac{14 \cdot 0.514}{\sqrt{9.81 \cdot 167.37}} = 0.178$$

5.2.2 Εκτίμηση μήκους L_{PP} με βάση τον τύπο του ελαχίστου κόστους (*Schneekluth*)

Ο τύπος του ελαχίστου κόστους είναι ο παρακάτω

$$L_{PP} = \Delta^{0.3} \cdot u^{0.3} \cdot C$$

Όπου για το συντελεστή C ισχύει:

$$C = \begin{cases} 3.2 & \text{για } C_B \approx \frac{0.145}{Fn} \\ 3.2 \cdot \frac{C_B + 0.5}{\left(\frac{0.145}{Fn}\right) + 0.5} & \text{για } C_B \neq \frac{0.145}{Fn} \end{cases}$$

Χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 5-3 εκτιμάται ο συντελεστής γάστρας που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.83 – 0.85. Επιλέγεται η μέση τιμή αυτών που είναι: $C_B = 0.83$.

Άρα, η εκτίμηση του μήκους με βάση τον τύπο του ελαχίστου κόστους προκύπτει:

$$C = 3.2 \cdot \frac{0.83 + 0.5}{\left(\frac{0.145}{0.178}\right) + 0.5} = 3.16$$

$$L_{PP_2} = 49370^{0.3} \cdot (14)^{0.3} \cdot 3.16$$

$$L_{PP_2} = \mathbf{178.47 [m]}$$

5.2.3 Εκτίμηση μήκους L_{PP} από στατιστική ανάλυση υπαρχόντων πλοίων

5.2.3.1 Τύπος Ayre

Ο τύπος κατά *Ayre* είναι:

$$\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}} = 3.33 + \frac{1.67 \cdot u(kn)}{\sqrt{L_{PP}}}$$

Ο τύπος κατά *Ayre* είναι μια εξίσωση η οποία δε μπορεί να λυθεί αναλυτικά αλλά γραφικά με άγνωστο μόνο το μήκος L_{PP} διότι το εκτόπισμα έχει ήδη εκτιμηθεί στην προηγούμενη παράγραφο και η υπηρεσιακή ταχύτητα V_S είναι δεδομένη. Για την επίλυση του τύπου κατά *Ayre* χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *Matlab* [Πηγή: <https://www.uniwa.gr/software/matlab/>]

στο οποίο γράφτηκε κώδικας με δεδομένα το εκτόπισμα και την υπηρεσιακή ταχύτητα οπότε εξήχθη το ζητούμενο μήκος μεταξύ καθέτων.

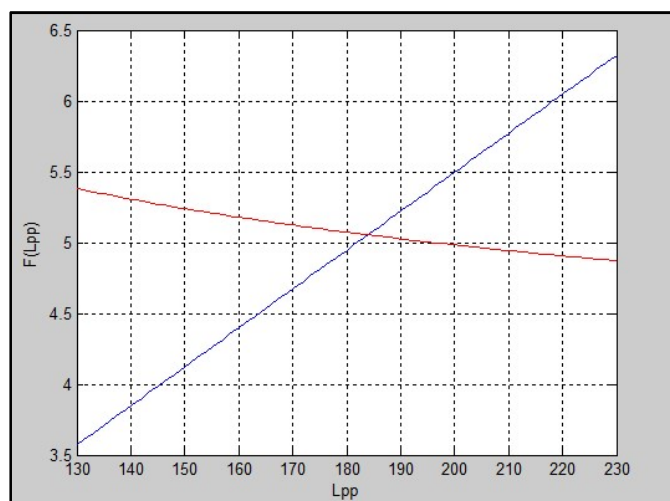
Ο τύπος κατά *Ayre* είναι μια εξίσωση της μορφής:

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

Όπου:

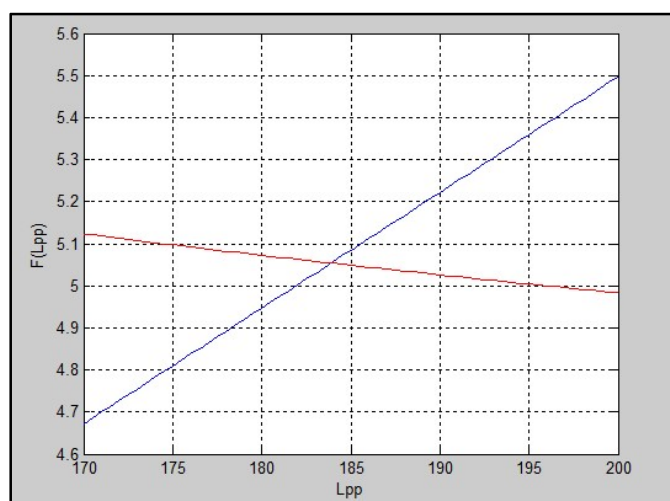
$$ax = \frac{1}{\sqrt[3]{1}} L_{PP} \quad \text{και} \quad b + \frac{c}{\sqrt{x}} = 3.33 + \frac{1.67 \cdot u(kn)}{\sqrt{L_{PP}}}$$

Σχεδιάζονται οι δύο εξισώσεις για ένα εύρος μηκών από 130 – 230 [m]:



Διάγραμμα 5-3: Διαγραμματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων με εύρος 180-280m.

Στη συνέχεια, σχεδιάζονται οι ίδιες καμπύλες για ένα μικρότερο εύρος πιο κοντά στο σημείο τομής τους με σκοπό τον προσδιορισμό του μήκους L_{PP} με μεγαλύτερη ακρίβεια:



Διάγραμμα 5-4: Διαγραμματική απεικόνιση των δύο εξισώσεων με εύρος 230-250m.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5-4 το μήκος από τον τύπο κατά *Ayre* προκύπτει:

$$L_{PP_3} = 184 [m]$$

5.2.3.2 Τύπος Voelker

$$\frac{L_{PP}}{\nabla^{\frac{1}{3}}} = C_1 + \frac{4.5 \cdot V_S (m/s)}{\sqrt{g \nabla^{\frac{1}{3}}}}$$

Όπου: $C_1 = 3.5$ (για φορτηγά πλοία και πλοία εμπορευματοκιβωτίων)

$$V_S = 14 \cdot 0.514 = 7.196 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\nabla^{\frac{1}{3}} = 48166^{\frac{1}{3}} = 36.384$$

Οπότε:

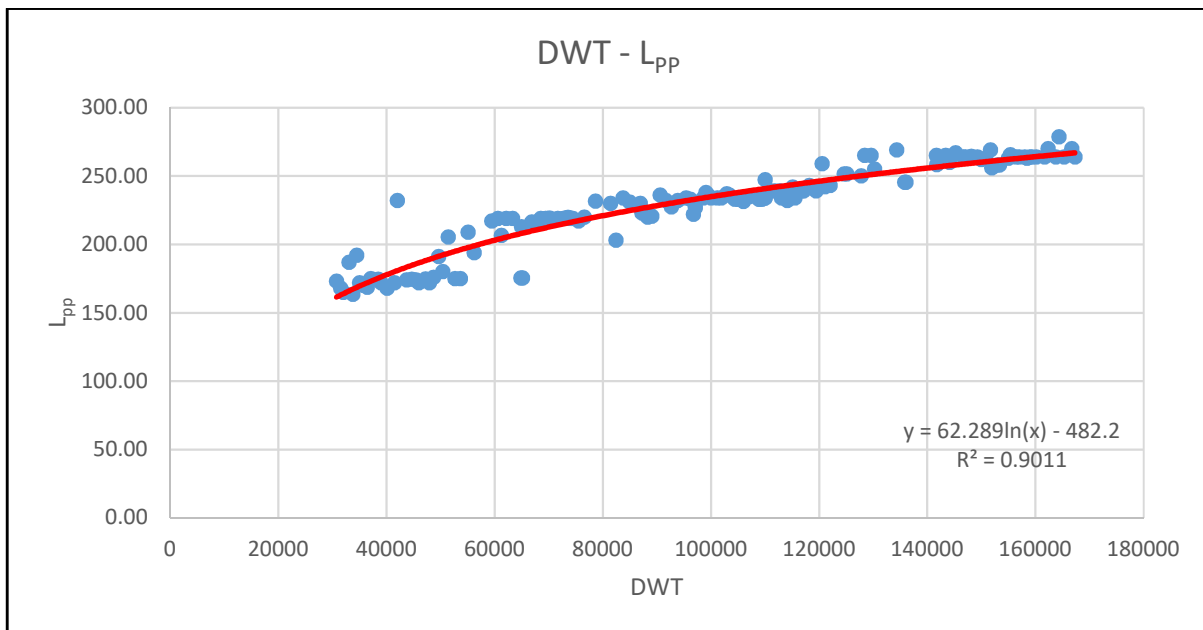
$$\frac{L_{PP}}{36.384} = 3.5 + \frac{4.5 \cdot 7.196}{\sqrt{9.81 \cdot 36.384}} = 5.214$$

Προκύπτει:

$$L_{PP_4} = 189.71 [m]$$

5.2.4 Εκτίμηση μήκους από το μήκος L_{PP} όμοιων πλοίων

Στο σημείο αυτό κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του μήκους L_{PP} για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι η λογαριθμική *trendline*.



Διάγραμμα 5-5: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως του L_{PP} για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της *trendline*:

$$L_{PP} = 62.289 \cdot \ln(DWT) - 482.2$$

Για $DWT = 40000 [t]$ προκύπτει:

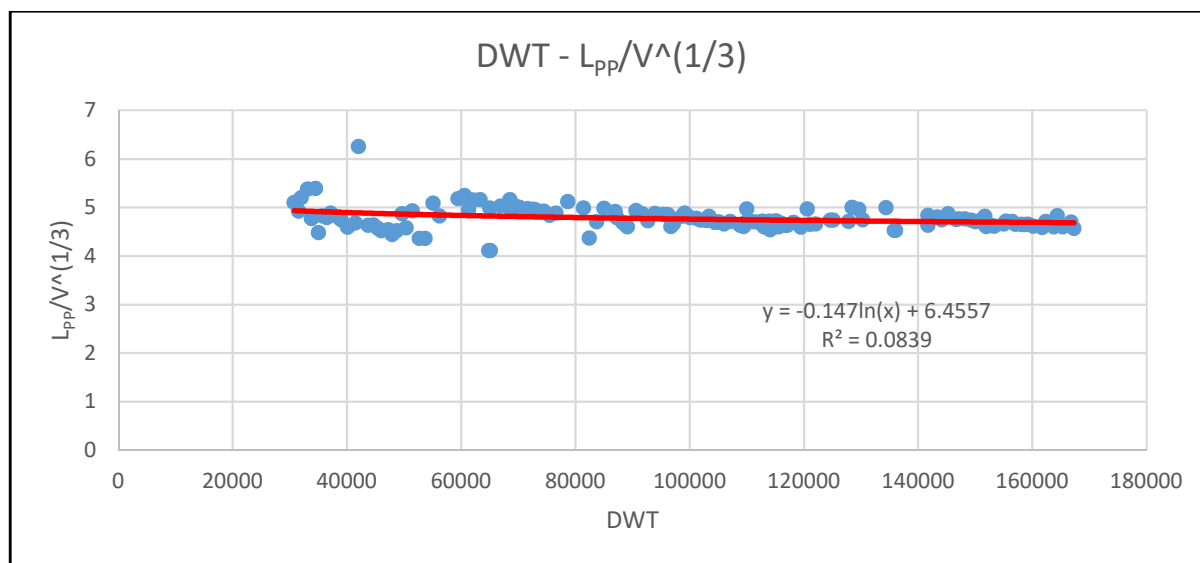
$$L_{PP_4} = 178.21 [m]$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν όμως απομονωθεί η περιοχή του διαγράμματος για τις τιμές μεταξύ 30000 – 53000 [t] *DWT* παρατηρείται ότι η απόκλιση που έχει η *trendline* από τις τιμές είναι αρκετά μεγάλη. Ακόμη παρατηρείται ότι τα μήκη των πλοίων σε αυτό το εύρος βρίσκονται μεταξύ των τιμών 163 – 165 [m]. Για το λόγο αυτό επιλέγεται ως μήκος μεταξύ καθέτων από την παλινδρομική ανάλυση:

$$L_{PP_4}' = 164 \text{ [m]}$$

5.2.5 Εκτίμηση μήκους L_{PP} από το συντελεστή λυγηρότητας όμοιων πλοίων

Αντίστοιχα, κατασκευάζεται το διάγραμμα *DWT* συναρτήσεως του συντελεστή λυγηρότητας $L_{PP}/\nabla^{1/3}$ για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που και σε αυτή την περίπτωση είναι η λογαριθμική *trendline*.



Διάγραμμα 5-6: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης *DWT* συναρτήσεως του συντελεστή λυγηρότητας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της *trendline*:

$$\frac{L_{PP}}{\nabla^{1/3}} = -0.147 \cdot \ln(DWT) + 6.4557$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$\frac{L_{PP}}{\nabla^{1/3}} = 4.90$$

Άρα: $L_{PP_5} = 4.90 \cdot 48166^{1/3} \Rightarrow L_{PP_5} = 173.04 \text{ [m]}$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν όμως και σε αυτή την περίπτωση αν απομονωθεί η περιοχή του διαγράμματος για τις τιμές μεταξύ 30000 – 53000 [t] *DWT* παρατηρείται ότι η απόκλιση που έχει η *trendline* από τις τιμές είναι αρκετά μεγάλη. Ακόμη, παρατηρείται ότι οι συντελεστές λυγηρότητας για τα πλοία αυτού του εύρους κυμαίνονται στο 4.6 (όπως προτείνεται και στον Πίνακα 5-3. Για το λόγο αυτό επιλέγεται συντελεστής λυγηρότητας $L_{PP}/\nabla^{1/3} = 4.6$ και έτσι το μήκος μεταξύ καθέτων προκύπτει:

$$L_{PP_5} = 4.6 \cdot 48166^{1/3} \Rightarrow L_{PP_5}' = 167.37 \text{ [m]}$$

5.2.6 Συνολική εκτίμηση μήκους L_{PP}

Μετά την εκτίμηση του μήκους χρησιμοποιώντας τη μέθοδο με τη βοήθεια του συντελεστή λυγηρότητας $L_{PP}/\nabla^{1/3}$, τον τύπο του ελαχίστου κόστους (*Schneekluth*), διάφορους τύπους από στατιστική ανάλυση και εκείνη της παλινδρομικής ανάλυσης των στοιχείων από όμοια πλοία οι εκτιμήσεις παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Εκτίμηση Μήκους
	[m]
Συντελεστής Λυγηρότητας	167.37
Μήκος ελαχίστου κόστους	178.47
Τύπος Ayre	184.00
Τύπος Voelker	189.71
Regression analysis L_{PP}	164.00
Regression analysis $L_{PP}/\nabla^{1/3}$	167.37

Πίνακας 5-4: Συγκεντρωτικός πίνακας μήκους μεταξύ καθέτων με τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Όπως φαίνεται στις εκτιμήσεις στον παραπάνω πίνακα, εκείνες που προέκυψαν από το τύπο του Ayre και τον τύπο του Voelker παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες. Ακόμη, η εκτίμηση του μήκους με τη χρήση του τύπου του ελαχίστου κόστους παράγει μια τιμή μήκους η οποία δεν είναι η υδροδυναμικά βέλτιστη με την έννοια ότι το πλοίο έχει μικρό κόστος κατασκευής αλλά μεγάλο κόστος λειτουργίας. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένες εκτιμήσεις επιλέγεται να έχουν μικρούς συντελεστές βαρύτητας στον τελικό υπολογισμό του μήκους. Αντίθετα, οι μέθοδοι παλινδρομικής ανάλυσης θεωρούνται πιο αξιόπιστες από τις υπόλοιπες, καθώς το δείγμα πλοίων που έχει χρησιμοποιηθεί στη βάση δεδομένων είναι αντιπροσωπευτικό διότι αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό πλοίων (144) και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα χωρητικότητας *DWT*.

Η τελική εκτίμηση του μήκους υπολογίζεται ως εξής:

$$L_{PP} = 0.1 \cdot L_{PP_1} + 0.2 \cdot L_{PP_2} + 0.05 \cdot L_{PP_3} + 0.05 \cdot L_{PP_4} + 0.3 \cdot L_{PP_5} + 0.3 \cdot L_{PP_6}$$

$$L_{PP} = 0.1 \cdot 167.37 + 0.2 \cdot 178.47 + 0.05 \cdot 184.00 + 0.05 \cdot 189.71 + 0.3 \cdot 164.00 + 0.3 \cdot 167.37$$

$$L_{PP} = 169.42[m]$$

5.3 Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B

Ορισμός: Ο συντελεστής γάστρας C_B είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου του οποίου οι πλευρές είναι ίσες με το μέγιστο πλάτος, το μέσο βύθισμα και το μήκος μεταξύ καθέτων.

[Πηγή: Rawson & Tupper, 2016a]

Ένας βασικός παράγοντας καθορισμού του συντελεστή γάστρας είναι η αντίσταση για την οποία ισχύει ότι:

$$\text{Υψηλος } F_n \rightarrow \text{χαμηλός συντελεστής γάστρας } C_B$$

Οι τρόποι που θα προσεγγιστεί ο συντελεστής γάστρας στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

- Με τη χρήση μαθηματικών τύπων από στατιστικά στοιχεία.
- Με τη χρήση στατιστικών στοιχείων πλοίων ελαχίστου κόστους.
- Με τη χρήση διαγραμμάτων.

5.3.1 Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B με προσεγγιστικούς τύπους

Ισχύει ότι:

$$C_B = K_1 - K_2 \cdot F_n - K_3 \cdot F_n^2$$

Για ταχύτητα υπηρεσίας $V_S = 14 [kn] = 7.196 [m/s]$ και $L_{PP} = 169.42 [m]$ υπολογίζεται ο αριθμός *Froude* και με βάση τον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται ο συντελεστής γάστρας κατά *Horn* κατά τον οποίο απαιτείται το πλοίο να είναι μονέλικο και να είναι γνωστή η ταχύτητα υπηρεσίας του. Δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί για τους άλλους τύπους (*Ayre*, *Heckser*, *V. Lammeren*) που φαίνονται στον Πίνακα 5-5 καθώς η ταχύτητα δοκιμών δεν είναι γνωστή.

Formula	K_1	K_2	K_3	Comments
Horn	1.06	1.68	0	Single-screw ships, service speed
Ayre	1.08	1.68	0	Single-screw, trial speed
Ayre	1.09	1.68	0	Twin-screw, trial speed
Heckser	1.00	1.44	0	Single-screw, trial speed
V. Lammeren	1.08	1.68	0.224	Single-screw, trial speed

Πίνακας 5-5: Πίνακας συντελεστών K_1 , K_2 , K_3 για τους υπολογισμούς του συντελεστή γάστρας.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Για τον αριθμό *Froude* προκύπτει:

$$F_n = \frac{u}{\sqrt{g \cdot L_{PP1}}} = \frac{7.196}{\sqrt{9.81 \cdot 169.42}} = 0.177$$

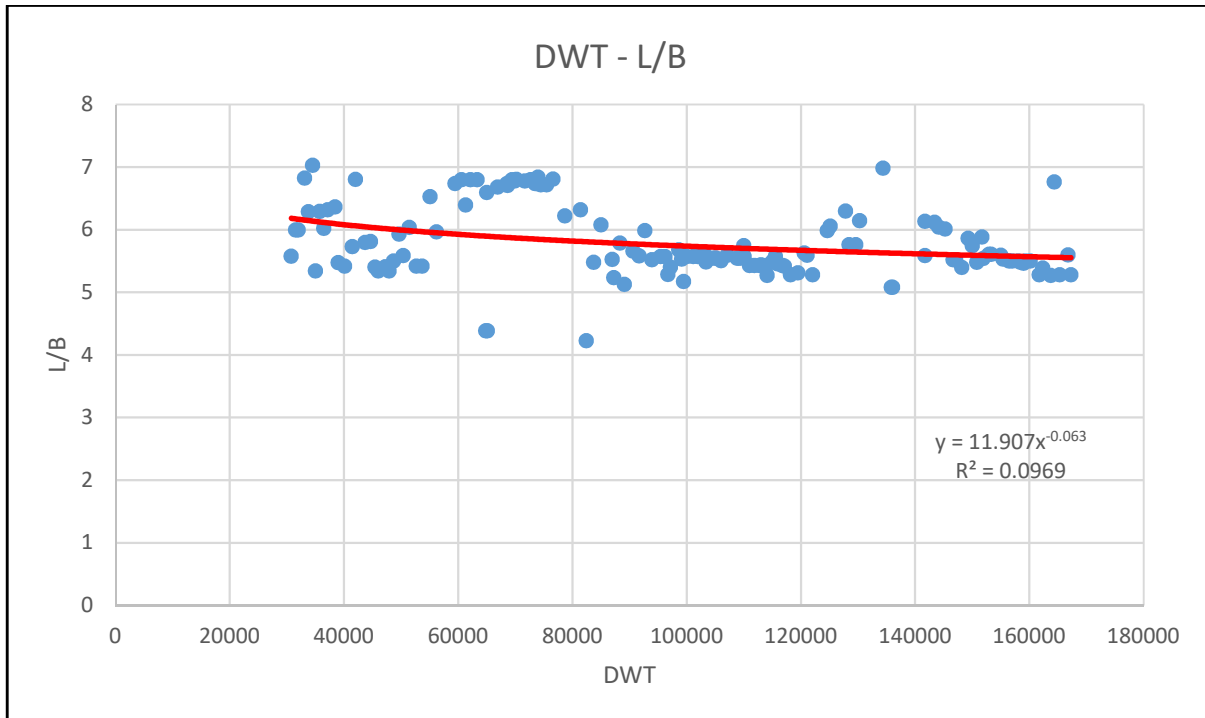
Οπότε η πρώτη εκτίμηση για το συντελεστή γάστρας προκύπτει:

$$C_B = 1.06 - 1.68 \cdot 0.177 - 0 \cdot 0.177^2$$

$$C_{B1} = 0.76$$

5.3.2 Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B ελαχίστου κόστους

Πραγματοποιείται παλινδρομική ανάλυση στα πλοία της βάσης δεδομένων για την εύρεση του λόγου L/B από το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 5-7: : Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του συντελεστή λυγηρότητας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της *trendline*:

$$\frac{L}{B} = 11.907 \cdot DWT^{-0.063}$$

Για $DWT = 40000 [t]$ προκύπτει:

$$\frac{L}{B} = 11.907 \cdot DWT^{-0.063}$$

$$\frac{L}{B} = 6.108$$

Οπότε ισχύει ότι:

$$C_B = \frac{0.14}{F_n} \cdot \frac{\frac{L}{B} + 20}{26}$$

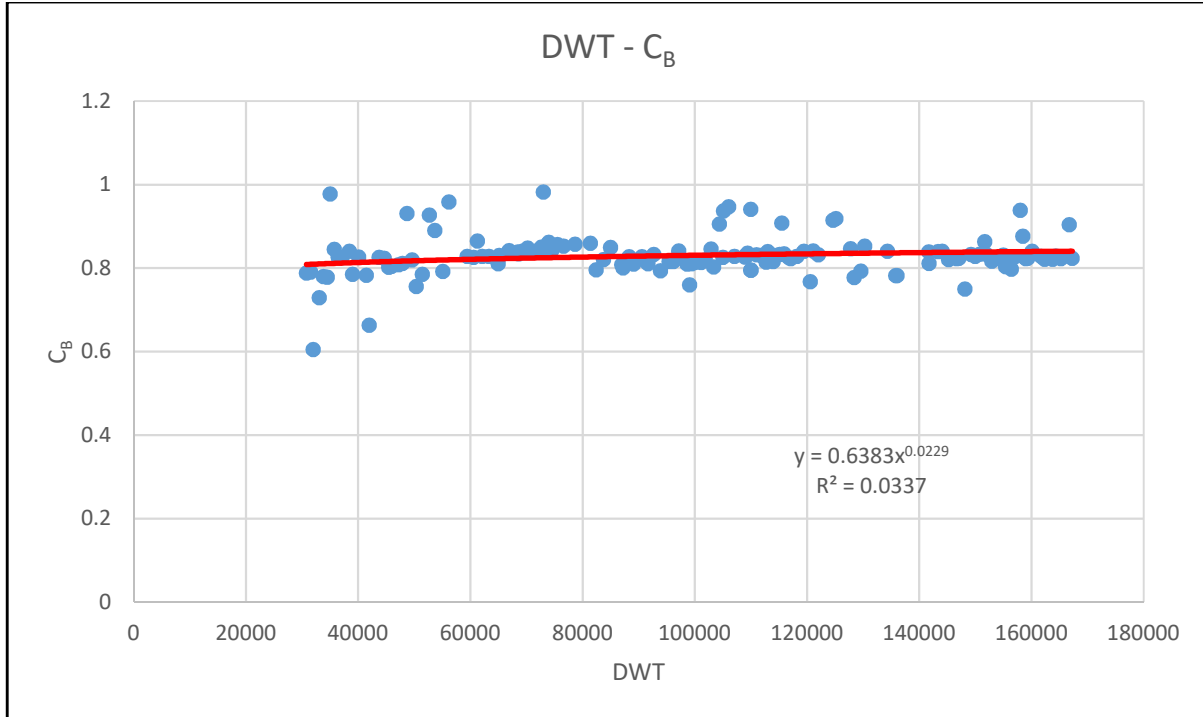
Άρα, τελικά η δεύτερη εκτίμηση για το συντελεστή γάστρας προκύπτει:

$$C_B = \frac{0.14}{0.177} \cdot \frac{6.108 + 20}{26}$$

$$C_{B_2} = 0.80$$

5.3.3 Εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B από όμοια πλοία

Κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του συντελεστή γάστρας για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι η *trendline* της μορφής $y = ax^b$.



Διάγραμμα 5-8: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως του συντελεστή γάστρας για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$C_B = 0.6383 \cdot DWT^{0.0229}$$

Για $DWT = 40000 [t]$ έχουμε:

$$C_B = 0.6383 \cdot 40000^{0.0229}$$

Άρα, τελικά η τρίτη εκτίμηση για το συντελεστή γάστρας προκύπτει:

$$C_{B_3} = 0.81$$

5.3.4 Συνολική εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B

Από τις παραπάνω τιμές που υπολογίστηκαν για το συντελεστή γάστρας επιλέγεται η τιμή:

$$C_B = 0.81$$

Η τιμή επιλέχθηκε δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στα στοιχεία από όμοια πλοία καθώς όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα ο συντελεστής γάστρας C_B για τη χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου και για χωρητικότητες πλοίων κοντά σε αυτή παίρνει τιμές 0.81.

5.4 Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T

Ορισμός Πλάτους: Είναι η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών της γάστρας. Συνήθως, με τον όρο πλάτος υπονοείται το μέγιστο πλάτος του πλοίου (*beam overall*, B_{OA}), το οποίο παρουσιάζεται στην περιοχή της μέσης τομής στο ύψος του κυρίου καταστρώματος. [Πηγή: Δήμου, 2015]

Ορισμός Βυθίσματος: Είναι η κάθετη απόσταση σε ένα εγκάρσιο τμήμα του πλοίου, από την άνω όψη της οριζόντιας τρόπιδας μέχρι την ίσαλο σχεδίασης. Αν δε διευκρινίζεται διαφορετικά, το βύθισμα μετριέται στη μέση τομή. [Πηγή: Rawson & Tupper, 2016a]

5.4.1 Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T από Πίνακα 5-3

Ισχύει ότι:

$$\nabla = C_B \cdot L \cdot B \cdot T \Rightarrow B \cdot T = \frac{\nabla}{C_B \cdot L_{PP}}$$

$$B \cdot T = \frac{48166}{0.81 \cdot 169.42} = 351 [m^2]$$

Από τον Πίνακα 5-3 για δεξαμενόπλοια προτείνεται ο λόγος του πλάτους προς το βύθισμα να έχει τιμές:

$$\frac{B}{T} = 2.2 - 2.9$$

Επιλέγεται:

$$\frac{B}{T} = 2.8$$

Οπότε τελικά:

$$B_1 = 31.34 [m] \quad \text{και} \quad T_1 = 11.19 [m]$$

Ακόμη, σύμφωνα με τον Πίνακα 5-3 ισχύει ότι:

$$\frac{L}{B} = 5.0 \div 6.5$$

Στην περίπτωση μας:

$$\frac{L}{B} = \frac{169.42}{31.34} = 5.4$$

Οπότε βρίσκεται εντός των προτεινόμενων ορίων.

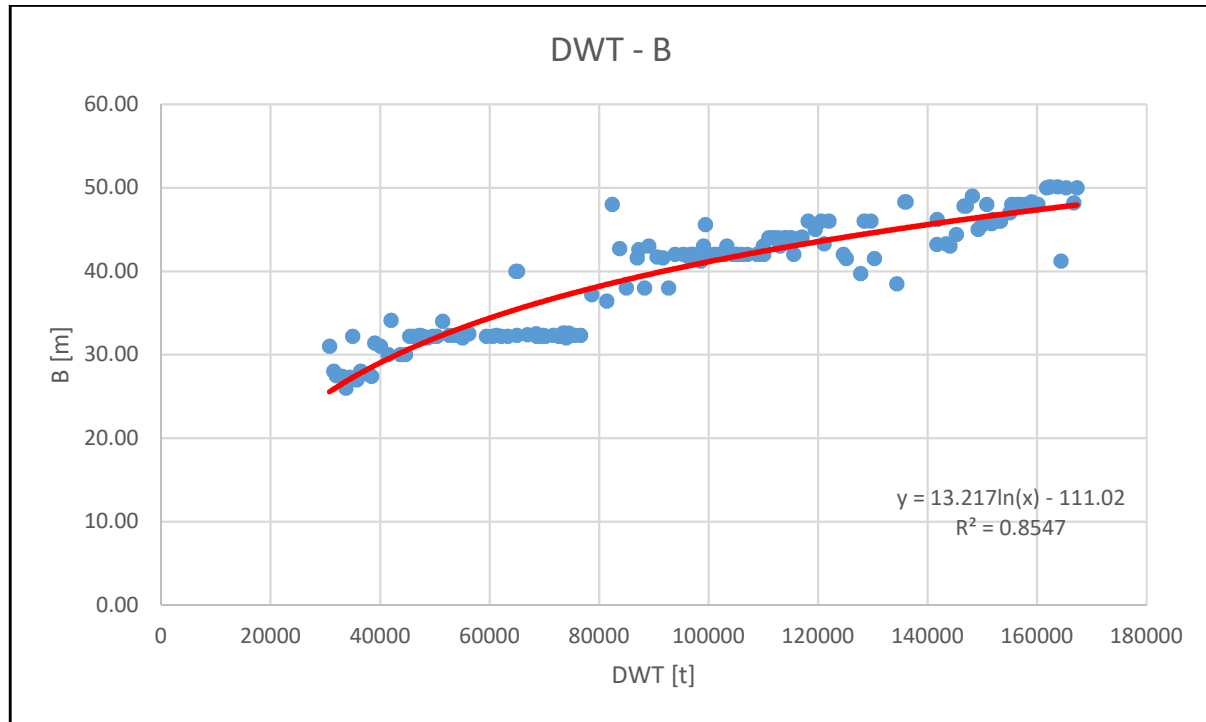
Στο σημείο αυτό εφόσον υπάρχουν τα στοιχεία L , B , T γίνεται επανεκτίμηση του συντελεστή γάστρας:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} = \frac{48166}{169.42 \cdot 31.34 \cdot 11.19}$$

$$C_B = 0.81$$

5.4.2 Εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T από όμοια πλοία

Κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του πλάτους B για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι λογαριθμική.



Διάγραμμα 5-9: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως του πλάτους B για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση:

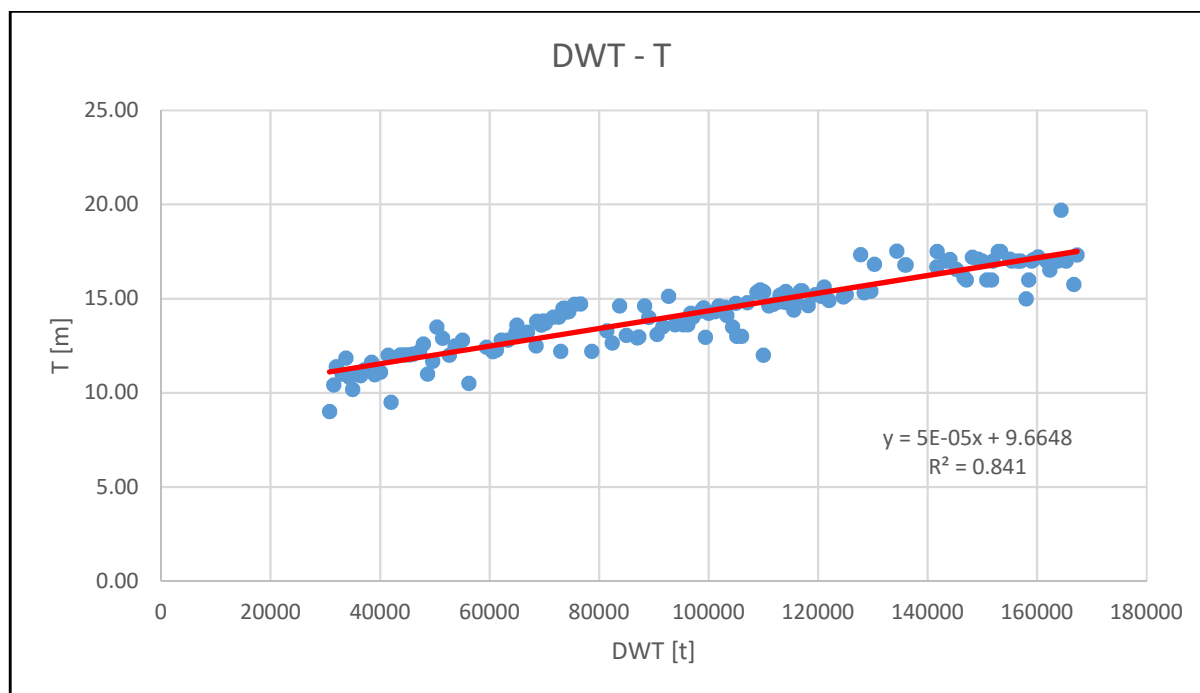
$$B = 13.217 \cdot \ln(DWT) - 111.01$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$B = 29.05$$
 [m]

Όπως και στην παλινδρομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την εκλογή του μήκους μεταξύ καθέτων, έτσι και στην περίπτωση του πλάτους, αν απομονωθεί η περιοχή του διαγράμματος για τις τιμές μεταξύ 30000 – 80000 [t] DWT παρατηρείται ότι η απόκλιση που έχει η *trendline* από τις τιμές είναι αρκετά μεγάλη. Ακόμη, παρατηρείται ότι για αυτό το εύρος χωρητικότητας το πλάτος των πλοίων παραμένει σχεδόν σταθερό κοντά στην τιμή 30 [m] για να είναι δυνατή η διέλευση από το κανάλι του Παναμά. Για αυτό το λόγο θα ληφθεί υπόψη ο παραπάνω συλλογισμός στην τελική εκτίμηση του πλάτους.

Ομοίως, κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του βυθίσματος T για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι της μορφής $y = ax + b$.



Διάγραμμα 5-10: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως του βυθίσματος T για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$T = 5 \cdot 10^{-5} \cdot DWT + 9.6648$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$T = 11.66$$
 [m]

5.4.3 Συνολική εκτίμηση πλάτους B και βυθίσματος T

Το βύθισμα και το πλάτος που εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 5-3 και τα στοιχεία από όμοια πλοία παρουσιάζονται παρακάτω:

Μέθοδος	Εκτίμηση Πλάτους B	Εκτίμηση Βυθίσματος T
	[m]	[m]
Πίνακας 5-3	31.34	11.19
Regression analysis	29.05	11.66
ΤΕΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	31.00	11.30

Πίνακας 5-6: Εκτιμήσεις πλάτους B και βυθίσματος T .

Οι παραπάνω εκτιμήσεις έγιναν με βάση τους περιορισμούς που θέτει η διώρυγα του Παναμά.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επαναπροσδιοριστεί ο συντελεστής γάστρας με δεδομένες τις νέες διατάξεις του πλοίου που εκτιμήθηκαν:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} = \frac{48166}{169.42 \cdot 30.1 \cdot 11.3} \Rightarrow C_B = 0.81$$

5.5 Εκτίμηση κοίλου D

Ορισμός: Το κοίλο είναι η κάθετη απόσταση σε ένα εγκάρσιο επίπεδο από την άνω όψη της οριζόντιας τρόπιδας μέχρι την ίσαλο σχεδίασης. Αν δε διευκρινίζεται διαφορετικά η μέτρηση αναφέρεται σε διάσταση μετρούμενη στη μέση στη μέση τομή.

[Πηγή: Rawson & Tupper, 2016a]

5.5.1 Εκτίμηση κοίλου D από πίνακα συντελεστών

Ο Πίνακας 5-7 που φαίνεται παρακάτω περιλαμβάνει το λόγο μήκους προς κοίλο ανάλογα με το είδος του πλοίου:

Ship type	Ratio of main dimensions		
	L_{pp}/D	$F_{FP}\%L_{pp}$	$L_p\%L_{pp}$
Fast seagoing cargo ships	9.9–13.5	5.1–6.3	20–25
Slow seagoing cargo ships		5.8–7.0	30–35
Coastal cargo ships	10.0–12.0	up to 7.0	40–50
Small short sea passenger ships	10.4–11.6	6.6–7.9	20–25
Ferries	8.6–10.3	7.0–10.0	25–35
Fishing vessels	8.2–9.0	8.0–8.5	15–25
Tugboats	7.7–10.0	8.2–10.2	20–30
Bulk carriers	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Tankers $F_v=0.15$	12.0–14.0	3.6–4.5	50–60
Tankers $F_v=0.16-0.18$	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Fast seagoing reefers	– 11.0	5.6–6.6	10–15

Πίνακας 5-7: Πίνακας συντελεστών για διάφορους τύπους πλοίων (Επέκταση του πίνακα 5-3).
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Για δεξαμενόπλοια με αριθμό *Froude* μεταξύ των τιμών 0.16 – 0.18 ο λόγος βρίσκεται σε ένα εύρος τιμών:

$$\frac{L}{D} = 10.5 - 12.8$$

Επιλέγεται η τιμή:

$$\frac{L}{D} = 11.5$$

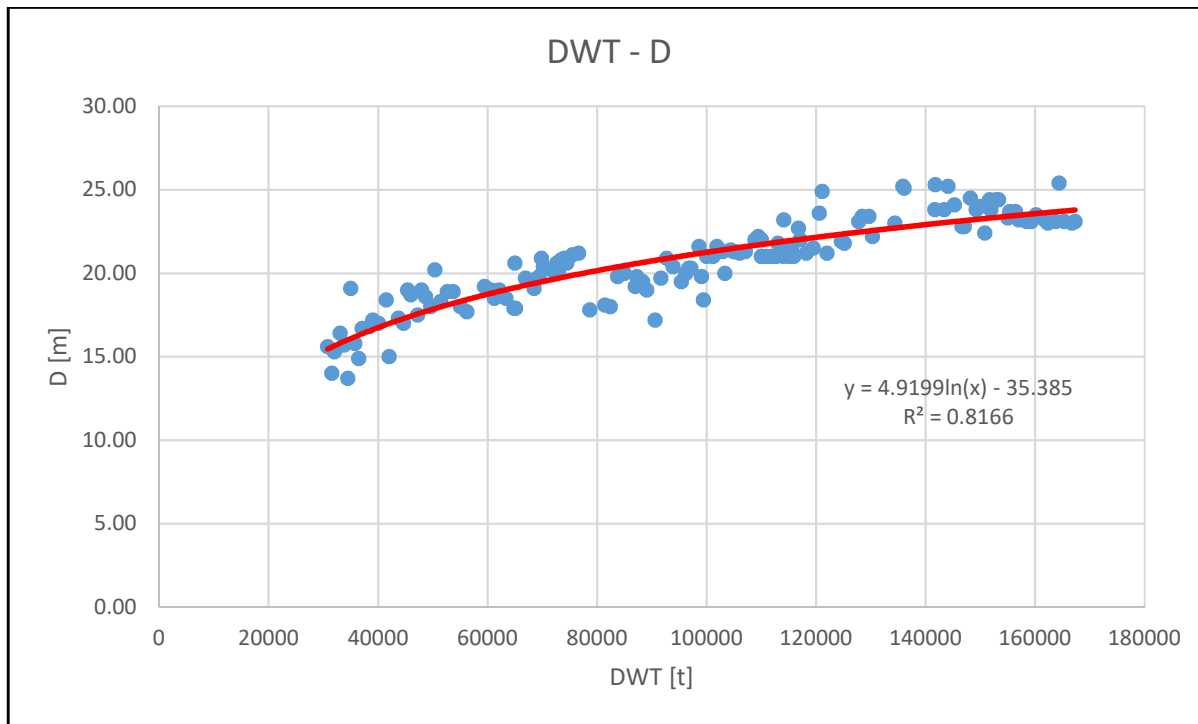
Οπότε η πρώτη εκτίμηση για το κοίλο προκύπτει:

$$D = \frac{L}{11.5} = \frac{169.42}{11.5}$$

$$D_1 = 14.73 [m]$$

5.5.2 Εκτίμηση κοίλου D από όμοια πλοία (1^η μέθοδος)

Κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του κοίλου D για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι λογαριθμική.



Διάγραμμα 5-11: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως του κοίλου D για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση:

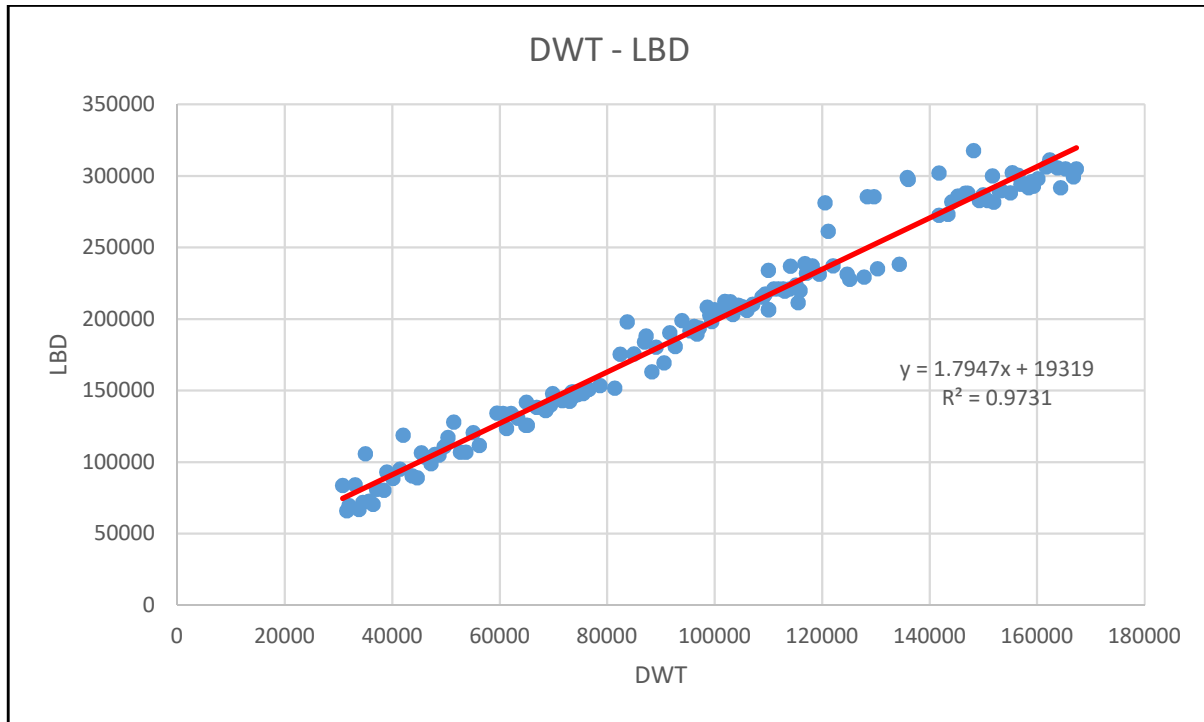
$$D = 4.9199 \cdot \ln(DWT) - 35.385$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$D_2 = 16.75 \text{ [m]}$$

5.5.3 Εκτίμηση κοίλου D από όμοια πλοία (2^η μέθοδος)

Κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσει του γινομένου $L \cdot B \cdot D$ για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι γραμμική.



Διάγραμμα 5-12: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσει του γινομένου LBD για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$L \cdot B \cdot D = 1.7947x + 19319$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$L \cdot B \cdot D = 91107 \text{ [m}^3\text{]}$$

Οπότε τελικά η τρίτη εκτίμηση για το κοίλο προκύπτει:

$$D_3 = 17.35 \text{ [m]}$$

5.5.4 Συνολική εκτίμηση κοίλου D

Το κοίλο εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 5-7 και τα στοιχεία από όμοια πλοία όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Εκτίμηση Κοίλου D
	[m]
Πίνακας 5-7	14.73
Regression analysis (DWT-D)	16.75
Regression analysis (DWT-LBD)	17.35
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	16.28

Πίνακας 5-8: Εκτιμήσεις κοίλου D .

5.6 Εκτίμηση υπολοίπων συντελεστών

5.6.1 Υπολογισμός συντελεστή μέσης τομής C_M

Ορισμός: Είναι ο λόγος του εμβαδού της μέσης τομής προς το εμβαδόν του ορθογωνίου του οποίου οι πλευρές είναι ίσες με το βύθισμα και το μέγιστο πλάτος, μετρημένα στη μέση τομή. [Πηγή: Rawson & Tupper, 2016a]

5.6.1.1 Τύπος κατά *Van Lammeren*

$$C_M = 0.9 + 0.1 \cdot C_B = 0.9 + 0.1 \cdot 0.81 = 0.981$$

5.6.1.2 Τύπος κατά *Kerlen*

$$C_M = 1.006 - 0.0056 \cdot C_B^{-3,56} = 1.006 - 0.0056 \cdot 0.81^{-3,56} = 0.994$$

5.6.1.3 Τύπος κατά *HSVA*

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3,5}} = \frac{1}{1 + (1 - 0.81)^{3,5}} = 0.997$$

Για την τελική εκτίμηση του συντελεστή μέσης τομής επιλέγεται ο μέσος όρος των εκτιμήσεων και προκύπτει:

$$C_M = \mathbf{0.991}$$

5.6.2 Υπολογισμός πρισματικού συντελεστή C_P

Ορισμός: Είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει μήκος ίσο με το μήκος μεταξύ καθέτων και μια εγκάρσια επιφάνεια της μέσης τομής. [Πηγή: Rawson & Tupper, 2016]

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0.81}{0.991} = \mathbf{0.819}$$

5.6.3 Υπολογισμός συντελεστή ισάλου C_{WP}

Ορισμός: Είναι ο λόγος του εμβαδού της ισάλου επιφάνειας προς το εμβαδό του περιγεγραμμένου ορθογωνίου. [Πηγή: Rawson & Tupper, 2016]

Για κανονικούς νομείς:

$$C_{WP} = \frac{1 + (2 \cdot C_B)}{3} = \frac{1 + (2 \cdot 0.82)}{3} = \mathbf{0.874}$$

5.7 Συγκεντρωτικός πίνακας μεγεθών

Το νέο εκτόπισμα με τα δεδομένα που έχουν υπολογιστεί προκύπτει:

$$\Delta = \gamma \cdot C_B \cdot L \cdot B \cdot T$$

$$\Delta = 1.025 \cdot 0.81 \cdot 169.42 \cdot 31 \cdot 11.30$$

$$\Delta = 49881 \text{ [t]}$$

Έχοντας πλέον τις κύριες διαστάσεις και τους συντελεστές μορφής του πλοίου παρουσιάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας μεγεθών για το υπό σχεδίαση πλοίο:

Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{PP} [m]	169.42
Πλάτος	B [m]	31.00
Κοίλο	D [m]	16.28
Βύθισμα	T [m]	11.30
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.81
Συντελεστής μέσης τομής	C_M	0.991
Πρισματικός συντελεστής	C_P	0.819
Συντελεστής ισάλου επιφανείας	C_{WL}	0.874
Εκτόπισμα	Δ [t]	49881
Πρόσθετο βάρος	DWT [t]	40000

Πίνακας 5-9: Συγκεντρωτικός πίνακας κυρίων διαστάσεων και συντελεστών μορφής του πλοίου.

6. Εκτίμηση ισχύος πρόωσης

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια αρχική εκτίμηση της ισχύος πρόωσης που απαιτείται έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα υπηρεσίας V_S .

6.1 Συντελεστής ναυαρχείου C_N

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος, σε πρώτη προσέγγιση, θα χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής ναυαρχείου C_N ο οποίος εκτιμάται από την παρακάτω σχέση:

$$C_N = 3.7 \cdot \left(\sqrt{L_{PP}} + \frac{75}{V_S [m/s]} \right)$$

Αντικαθιστώντας το μήκος και την ταχύτητα υπηρεσίας $V_S [m/s]$ προκύπτει:

$$C_N = 3.7 \cdot \left(\sqrt{169.42} + \frac{75}{7.196} \right) = 86.65$$

Οπότε η απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται:

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

$$P = \frac{49881^{\frac{2}{3}} \cdot 7.196^3}{86.65}$$

$$P_1 = 5827 [KW]$$

6.2 Τύπος MAN

Με τη χρήση του τύπου MAN η απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται ως εξής:

$$P = 0.0114[u(kn)]^3 \cdot DWT^{0.55}$$

$$P = 0.0114(14)^3 \cdot 40000^{0.55} = 10627 [PS] =$$

$$P_2 = 7817 [KW]$$

Και:

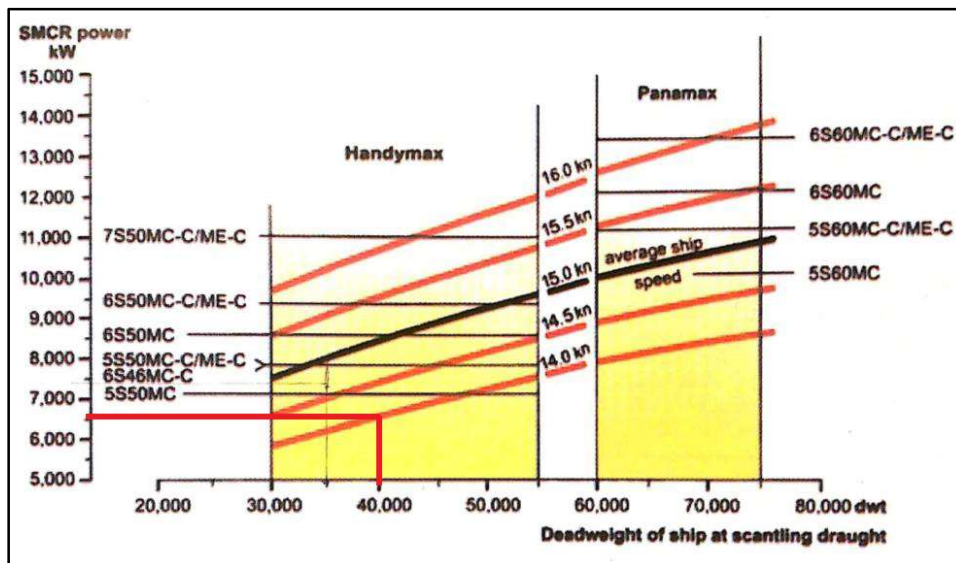
$$P = 0.0175[u(kn)]^3 \cdot DWT^{0.5}$$

$$P = 0.0175(14)^3 \cdot 40000^{0.5}$$

$$P_3 = 9604 [PS] = 7065 [KW]$$

6.3 Εκτίμηση με βάση εμπειρικό διάγραμμα

Με βάση το Διάγραμμα 6-1 πραγματοποιείται μια ακόμη εκτίμηση για την ισχύ της προωστήριας εγκατάστασης.



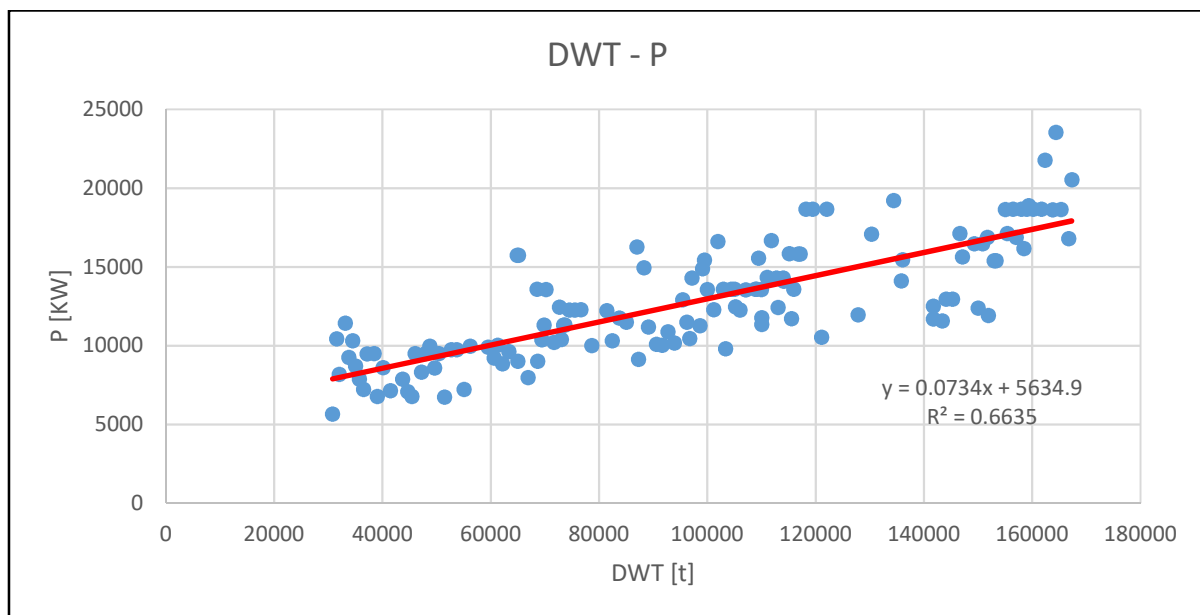
Διάγραμμα 6-1: Διάγραμμα απεικόνισης MCR συναρτήσεως του DWT και της ταχύτητας υπηρεσίας.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει:

$$P_5 = 6550 \text{ [KW]}$$

6.4 Εκτίμηση ισχύος πρόωσης P από όμοια πλοία

Κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως της ισχύος πρόωσης για τα πλοία της βάσης δεδομένων και τοποθετείται η *trendline* με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που σε αυτή την περίπτωση είναι γραμμική.



Διάγραμμα 6-2: Παλινδρομική ανάλυση σχέσης DWT συναρτήσεως της ισχύος για τα πλοία της βάσης δεδομένων.

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$P = 0.0734 \cdot DWT + 5634.9$$

Για $DWT = 40000$ [t] προκύπτει:

$$P_6 = 8570 \text{ [KW]}$$

6.5 Συνολική εκτίμηση ισχύος πρόωσης P

Η ισχύς πρόωσης που εκτιμήθηκε με βάση τις παραπάνω μεθόδους και τα στοιχεία από όμοια πλοία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-1:

Μέθοδος	Εκτίμηση ισχύος πρόωσης P
	[KW]
Συντελεστής Ναυαρχείου	5827
1ος Τύπος MAN	7817
2ος Τύπος MAN	7065
Εμπειρικό διάγραμμα	6550
Regression analysis από όμοια πλοία	8570
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	7849

Πίνακας 6-1: Εκτιμήσεις ισχύος πρόωσης.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής της ισχύος πρόωσης δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στον 1^ο τύπο *MAN* αλλά και στην παλινδρομική ανάλυση από όμοια πλοία καθώς θεωρούνται πιο αξιόπιστες μέθοδοι και προέκυψε:

$$P = 7849 \text{ [KW]}$$

6.6 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:

$$P_{gen} = 100 + 0.55 \cdot P^{0.7} = 100 + 0.55 \cdot 7849^{0.7}$$

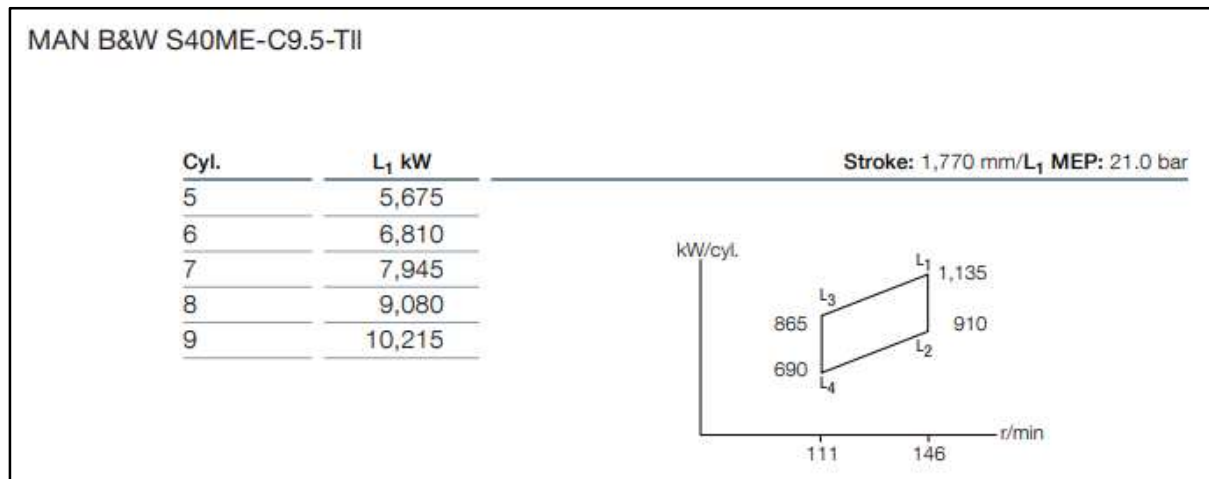
$$P_{gen} = 392.9 \text{ [kW]}$$

Για λόγους ασφαλείας η απαιτούμενη ισχύς των γεννητριών προσαυξάνεται κατά 20% και έτσι προκύπτει:

$$P_{gen} = 392.42 \cdot 1.2 = 471 \text{ [kW]}$$

6.7 Επιλογή κύριας μηχανής και ηλεκτροκινητήρων

Αφού πραγματοποιήθηκε έρευνα σε καταλόγους διαφόρων εταιριών κατασκευής ναυτικών κινητήρων, επιλέχθηκε για το υπό μελέτη πλοίο ο αργόστροφος δίχρονος κινητήρας από την εταιρία *MAN B&W* και συγκεκριμένα το μοντέλο *S40ME-C9.5-TII* με τους 7 κυλίνδρους. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα ο 7-κύλινδρος κινητήρας ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις του υπό μελέτη πλοίου.



Εικόνα 6-1: Χαρακτηριστικά κινητήρα που επιλέχθηκε για το υπό μελέτη πλοίο.
[Πηγή: *MAN Energy Solutions*, 2019]

Τα στοιχεία της κύριας μηχανής που επιλέγεται φαίνονται στον Πίνακα 6-2:

Στοιχεία κύριας μηχανής	
Εταιρία	MAN B&W
Μοντέλο	S40ME-9.5
Power [kW]	7945
SFOC [gr/kWh]	172

Πίνακας 6-2: Στοιχεία κύριας μηχανής.

Ακόμη, επιλέγεται ο ηλεκτροκινητήρας από την εταιρία *MAN B&W* με μοντέλο *L16/24* σε διάταξη 5 κυλίνδρων του οποίου τα στοιχεία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχεία Ηλεκτροκινητήρα	
Εταιρία	MAN
Μοντέλο	L16/24S
Power [kW]	480
SFOC [gr/kWh]	198.9
η_e	0.96

Πίνακας 6-3: Στοιχεία ηλεκτροκινητήρα.

Για τις ανάγκες της παραγωγής ενέργειας του πλοίου επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν 3 ηλεκτροκινητήρες εκ των οποίων οι δύο θα είναι οι κύριοι ηλεκτροκινητήρες και η λειτουργία τους θα εναλλάσσεται και ο τρίτος θα υπάρχει σε περίπτωση βλάβης κάποιου από τους δύο κύριους ηλεκτροκινητήρες.

7. Υπολογισμός ομάδων βαρών

Για τον υπολογισμό των ομάδων βαρών με μεγαλύτερη ακρίβεια είναι απαραίτητο ένα πατρικό πλοίο του οποίου θα πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω μεγέθη: το βάρος του άφορτου σκάφους, το μήκος μεταξύ καθέτων L , το πλάτος B , το κοίλο D και το εκτόπισμα Δ . Με δεδομένα τα παραπάνω στοιχεία του πατρικού πλοίου στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός του βάρους του με τις προσεγγιστικές μεθόδους και η σύγκριση του αποτελέσματος με το γνωστό βάρος του άφορτου σκάφους. Στη συνέχεια, θα υπολογιστεί ο συντελεστής απόκλισης e που έχει το πραγματικό βάρος από εκείνο που υπολογίστηκε. Τέλος, θα υπολογιστεί το βάρος του υπό μελέτη πλοίου με τις ίδιες προσεγγιστικές μεθόδους που υπολογίστηκε και το βάρος του πατρικού πλοίου και θα πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή απόκλισης.

7.1 Πατρικό πλοίο

Τα στοιχεία του πατρικού πλοίου που θα χρησιμοποιηθεί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχεία πατρικού πλοίου		
Χωρητικότητα	DWT [t]	47499
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{PP} [m]	175.15
Πλάτος	B [m]	32.20
Κοίλο	D [m]	19.10
Βύθισμα	T [m]	11.00
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.78
Βάρος άφορτου σκάφους	W_{LS} [t]	10586
Ισχύς κύριας μηχανής	P [KW]	10320

Πίνακας 7-1: Στοιχεία πατρικού πλοίου.

7.2 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}

7.2.1 Μέθοδος Watson

Σύμφωνα με τη μέθοδο *Watson* το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST} μπορεί να υπολογιστεί αφού πρώτα υπολογιστεί ο δείκτης εξοπλισμού E_N του πλοίου από τον παρακάτω τύπο:

$$E_N = L_{PP} \cdot (B + T) + 0.8 \cdot L_{PP} \cdot (D - T) + 0.85 \sum_{i=1}^{N1} h_{1i} l_{1i} + 0.75 \sum_{i=1}^{N2} h_{2i} l_{2i}$$

όπου: N_1, l_1, h_1 : αριθμός, μήκος και ύψος των υπερστεγασμάτων.

N_2, l_2, h_2 : αριθμός, μήκος και ύψος των υπερκατασκευών.

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

Για το πατρικό πλοίο από το σχέδιο γενικής διάταξης οι διαστάσεις των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων μετρήθηκαν:

Υπερστεγασμάτα	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l*h [m ²]
B DECK	23.2	2.85	66.12
C DECK	12.96	2.85	36.936
NAV. DECK	11.92	2.85	33.972
Sum =			137.028

Πίνακας 7-2: Διαστάσεις υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου.

Υπερκατασκευές	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l*h [m ²]
A DECK	19.2	2.85	54.72
Πρόστεγο	10.8	3.5	37.8
Sum =			92.52

Πίνακας 7-3: Διαστάσεις υπερκατασκευών πατρικού πλοίου.

Οπότε ο δείκτης ενδιαίτησης προκύπτει:

$$E_N = 175.15 \cdot (32.2 + 11.0) + 0.8 \cdot 175.15 \cdot (19.1 - 11.0) + 0.85 \cdot 137.028 + 0.75 \cdot 92.52$$

$$E_N = \mathbf{8887}$$

Για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ισχύει:

$$(W_{ST})^* = K \cdot E_N^{1.36}$$

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 δεξαμενόπλοια η τιμή του συντελεστή είναι $K = 0.032$.

Οπότε:

$$(W_{ST})^* = 0.032 \cdot 8887^{1.36}$$

$$(W_{ST})^* = 7507 [t]$$

Υπολογίζεται ο συντελεστής γάστρας στο 0.8 του κοίλου $C_{B(0.8D)}$:

$$C_{B(0.8D)} = C_B \cdot \left(\frac{0.8 \cdot D}{T} \right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = 0.78 \cdot \left(\frac{0.8 \cdot 19.1}{11.0} \right)^{\frac{0.879}{0.82} - 1}$$

$$C_{B(0.8D)} = 0.83 \neq 0.7$$

Οπότε απαιτείται διόρθωση στο υπολογισμένο βάρος $(W_{ST})^*$:

$$W_{ST1} = (W_{ST})^* \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (C_{B(0.8D)} - 0.7) \right) = 7507 \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (0.83 - 0.7) \right)$$

$$W_{ST1} = \mathbf{7985 [t]}$$

7.2.2 Μέθοδος *Schneekluth*

Τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους του άφορτου σκάφους με τη χρήση της μεθόδου *Schneekluth* παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχεία πατρικού πλοίου για υπολογισμούς		
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{PP} [m]	175.15
Πλάτος	B [m]	32.20
Κοίλο	D [m]	19.10
Βύθισμα	T [m]	11.00
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.78
Συντελεστής μέσης τομής	C_M	0.995

Πίνακας 7-4: Στοιχεία του πατρικού πλοίου που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους με τη μέθοδο *Schneekluth*.

Για την προσέγγιση του βάρους του άφορτου πλοίου είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος V_U [m^3]. Το μέγεθος αυτό μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

$$V_U = V_D + V_S + V_b + V_H$$

Όπου:

V_D : Όγκος έως το κοίλο D .

V_S : Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας.

V_b : Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας (*camber*).

V_H : Αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών.

Για τον όγκο έως το κοίλο D ισχύει:

$$V_D = L_{PP} \cdot B \cdot D \cdot C_{BD}$$

Όπου ο συντελεστής γάστρας έως το κοίλο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_{BD} = \left(C_B + C_1 \frac{D - T}{T} \cdot (1 - C_B) \right)$$

Όπου $C_1 = 0.25$ για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου.

$$C_{BD} = 0.82$$

$$V_D = 175.15 \cdot 32.2 \cdot 19.1 \cdot 0.82$$

Τελικά:

$$V_D = 88384.8 \text{ [} m^3 \text{]}$$

Για την αύξηση όγκου λόγω σιμότητας ισχύει:

$$V_S = 0$$

Καθώς το πλοίο έχει μηδενική σιμότητα.

Για την αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας ισχύει:

$$\nabla_b = L_{PP} \cdot B \cdot b \cdot C_3$$

Από το σχέδιο γενικής διάταξης μετρήθηκε η κυρτότητα $b = 0.65 [m]$

Ακόμη:

$$C_3 \cong 0.7 \cdot C_{BD} = 0.7 \cdot 0.82 = 0.574$$

Τελικά:

$$\nabla_b = 175.14 \cdot 32.2 \cdot 0.65 \cdot 0.574$$

$$\nabla_b = \mathbf{2105.5 [m^3]}$$

Για την αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών ισχύει:

$$\nabla_H = \mathbf{0}$$

Καθώς το πλοίο δε διαθέτει στόμια κυτών.

Επομένως, υπολογίζεται ο συνολικός όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος:

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

$$\nabla_U = 88384.8 + 0 + 2105.5 + 0$$

$$\nabla_U = \mathbf{90490.4 [m^3]}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το αρχικό βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} συναρτήσεως του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος ∇_U και του συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους $C'_{ST} [t/m^3]$:

Για δεξαμενόπλοια και για $L_{PP} = 175.15$ ο συντελεστής $C'_{ST} [t/m^3]$ υπολογίζεται:

$$C'_{ST} = (0.112 + L_{PP} \cdot 10^{-4}) \cdot 0.97$$

$$C'_{ST} = (0.112 + 175.15 \cdot 10^{-4}) \cdot 0.97$$

$$C'_{ST} = \mathbf{0.126}$$

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται ξεχωριστά οι συντελεστές $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ με δεδομένο $D_0 = 4 [m]$ και αριθμό καταστρωμάτων $n = 1$ ως εξής:

$$\alpha_1 = 1 + 0.033 \cdot \left(\frac{L_{PP}}{D} - 12 \right) = 1 + 0.033 \cdot \left(\frac{175.15}{19.1} - 12 \right) \Rightarrow \alpha_1 = 0.907$$

$$\alpha_2 = 1 + 0.06 \cdot \left(n - \frac{D}{D_0} \right) = 1 + 0.06 \cdot \left(1 - \frac{19.1}{4} \right) \Rightarrow \alpha_2 = 0.774$$

$$\alpha_3 = 1 + 0.05 \cdot \left(1.85 - \frac{B}{D} \right) = 1 + 0.05 \cdot \left(1.85 - \frac{32.2}{19.1} \right) \Rightarrow \alpha_3 = 1.008$$

$$\alpha_4 = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{T}{D} - 0.85 \right) = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{11}{19.1} - 0.85 \right) \Rightarrow \alpha_4 = 0.945$$

$$\alpha_5 = 0.92 + (1 - C_{BD})^2 = 0.92 + (1 - 0.82)^2 \Rightarrow \alpha_5 = 0.952$$

$$\alpha_6 = 1 + 0.75 \cdot C_{BD} \cdot (C_M - 0.98) = 1 + 0.75 \cdot 0.82 \cdot (0.995 - 0.98) \Rightarrow \alpha_6 = 1.009$$

Το αρχικό βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6$$

$$W'_{ST} = 90490.4 \cdot 0.126 \cdot 0.907 \cdot 0.774 \cdot 1.008 \cdot 0.945 \cdot 0.952 \cdot 1.009$$

$$W'_{ST} = 7301 \text{ [t]}$$

Το αρχικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής W'_{ST} που υπολογίστηκε σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο απαιτεί προσαύξηση κατά 0.4 - 0.7% (επιλέγεται ο μέσος όρος 0.55%) λόγω της ύπαρξης βολβοειδούς πλώρας. Άρα, τελικά:

$$W_{ST} = W'_{ST} \cdot 1.0055 = 7301 \cdot 1.0055$$

$$W_{ST} = 7341 \text{ [t]}$$

7.2.3 Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής που εκτιμήθηκε με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζεται στον Πίνακα 7-5:

Μέθοδος	Εκτίμηση W_{ST}
	[t]
Μέθοδος Watson	7985
Μέθοδος Schneekluth	7341
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	7663

Πίνακας 7-5: Εκτιμήσεις βάρους μεταλλικής κατασκευής.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους της μεταλλικής κατασκευής λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{ST} = 7663 \text{ [t]}$$

7.3 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}

7.3.1 Προσεγγιστικός τύπος

Η πρώτη εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού γίνεται με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B$$

Όπου: $K_{OT} = 0.28 \text{ [t/m}^2\text{]}$, για δεξαμενόπλοια με $L_{PP} \cong 150 \text{ [m]}$

$K_{OT} = 0.17 \text{ [t/m}^2\text{]}$, για δεξαμενόπλοια με $L_{PP} \cong 300 \text{ [m]}$

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

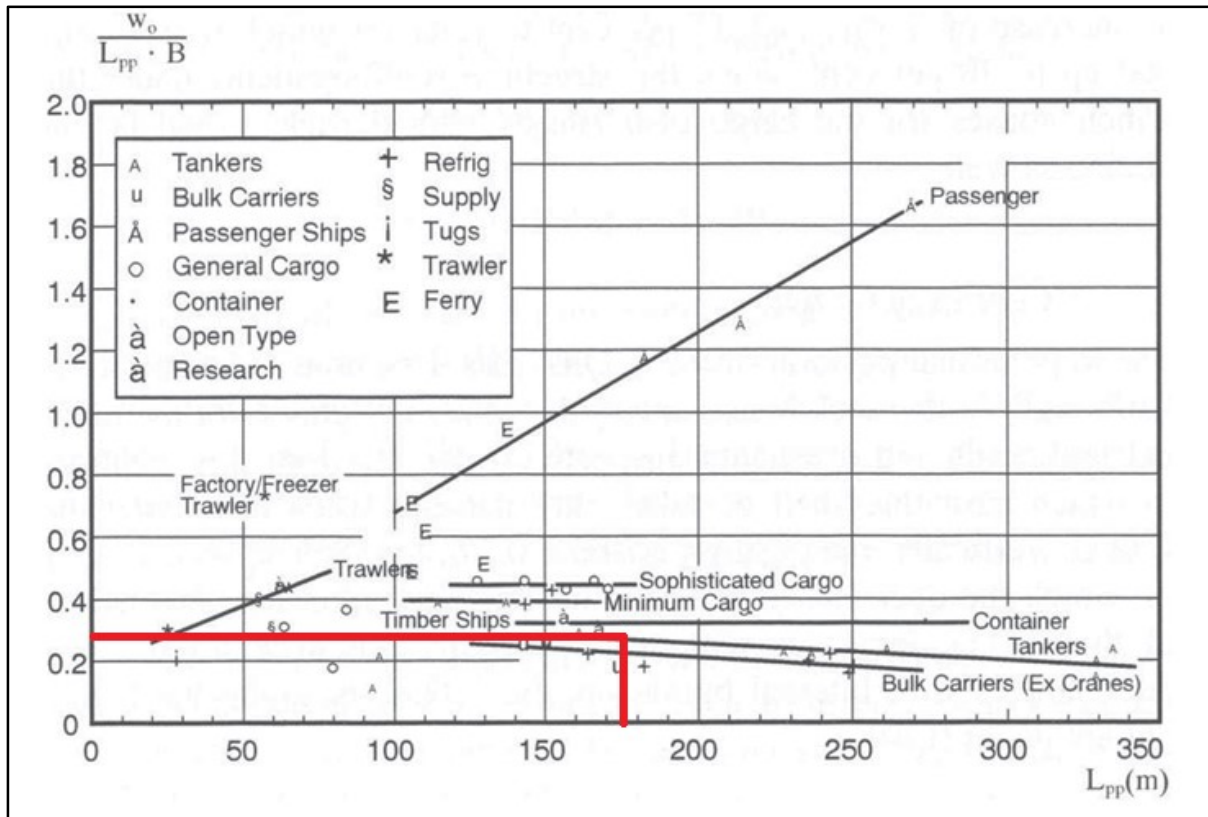
Με γραμμική παρεμβολή για $L_{PP} = 175.15 \text{ [m]}$ προκύπτει:

$$K_{OT} = 0.262 \left[\frac{\text{t}}{\text{m}^2} \right]$$

$$W_{OT} = 0.262 \cdot 175.15 \cdot 32.2 \Rightarrow W_{OT} = 1478 \text{ [t]}$$

7.3.2 Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} από διάγραμμα

Στη συνέχεια πραγματοποιείται εκτίμηση από το παρακάτω διάγραμμα του λόγου του βάρους ενδιαίτησης W_{OT} προς το γινόμενο $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους επιλέγοντας την καμπύλη που αντιστοιχεί σε δεξαμενόπλοια.



Διάγραμμα 7-1: Λόγος βάρους ενδιαίτησης προς $L \times B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Συνεπώς, από το διάγραμμα προκύπτει:

$$\frac{W_{OT}}{L_{PP} \cdot B} = 0.28$$

Οπότε:

$$\frac{W_{OT}}{175.15 \cdot 32.2} = 0.28$$

$$W_{OT} = 1579 [t]$$

7.3.3 Μέθοδος κατά *Strohbusch*

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην ανάλυση των βαρών σε ομάδες όπου η κάθε μια έχει τον αντίστοιχο συντελεστή w_i . Οι συντελεστές εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθός του και τον εξοπλισμό που διαθέτει. Με βάση το συντελεστή της κάθε ομάδας μπορεί να υπολογιστεί και το βάρος της αντίστοιχα από τον τύπο:

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

Οι ομάδες στις οποίες μπορεί να διαχωριστεί το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού, σύμφωνα με τον Α. Δ. Παπανικολάου, φαίνονται παρακάτω:

- Ομάδα I:** Χονδρές ξυλουργικές εργασίες: Ξύλινα καταστρώματα, ξύλινες επενδύσεις χώρων κυτών, ξύλινα υπερστεγάσματα, κ.α.
- Ομάδα II₁:** Μονωτικές εργασίες: Βάρος μόνωσης συναρτήσει του υλικού
- Ομάδα II₂:** Χωματοουργικές και αντιδιαβρωτικές εργασίες: Χρώματα, πσσαρίσματα, πλακοστρώσεις δαπέδων και τοιχωμάτων
- Ομάδα III:** Μικρές ξυλουργικές εργασίες: Ενδιάμεσα τοιχώματα ενδιαίτησης, πόρτες, επιπλώσει χώρων ενδιαίτησης, επενδύσεις εσωτερικών δαπέδων κ.α.
- Ομάδα IV:** Σωληνουργικές εργασίες σκάφους: Σωλήνες ερματισμού, απάντλησης, πυρόσβεσης, γλυκού-θαλασσινού νερού, θέρμανσης κ.α.
- Ομάδα V:** Μηχανουργικές εργασίες: Χαλύβδινες πόρτες, καλύμματα στομιών κυτών και ανοιγμάτων φρακτών, μεταλλουργικές εργασίες εσωτερικής διαρρύθμισης, αγωγοί κλιματισμού, κ.α.
- Ομάδα VI:** Φορτοεκφορτωτικά σκεύη: Βραχίονες φορτωτήρα, σχοινιά, τροχαλίες, άγκιστρα, αλυσίδες, κ.α.
- Ομάδα VII:** Σκεύη ρυμούλκησης και όρμισης: Όλα τα σκεύη ρυμούλκησης και όρμισης πλην των βαρούλκων
- Ομάδα VIII₁:** Ψυκτικά μηχανήματα: Για χώρους φορτίου
- Ομάδα VIII₂:** Λοιπά βοηθητικά μηχανήματα: Μηχανισμός πηδαλίου, εγκατάσταση κλιματισμού, πυρόσβεσης, βαρούλκα, ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις επικοινωνίας
- Ομάδα IX:** Λοιπός εξοπλισμός: Άγκυρες, αλυσίδες, κάβοι, караβόπανα, λέμβοι, εργαλεία, κ.α.

Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό σε ομάδες και το εύρος των τιμών των συντελεστών w για κάθε ομάδα (για δεξαμενόπλοια) κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Ομάδα	Εύρος w	Επιλογή	W_{OT} [t]
I	0.5 ÷ 1	0.75	80.8
II1	0	0	0.0
II2	1 ÷ 2	1.5	161.6
III	1 ÷ 2	1.5	161.6
IV	2.5 ÷ 5	3.5	377.0
V	1.5 ÷ 2	1.75	188.5
VI	0 ÷ 0.1	0.05	5.4
VII	0.3 ÷ 0.5	0.4	43.1
VIII1	0	0	0.0
VIII2	1.5 ÷ 2	1.75	188.5
IX	1 ÷ 1.5	1.25	134.7

Πίνακας 7-6: Πίνακας συντελεστών ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού.

Οπότε το συνολικό βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού προκύπτει:

$$W_{OT_3} = \sum_{i=I}^{IX} W_{OT_i} \Rightarrow W_{OT_3} = 1341 \text{ [t]}$$

7.3.4 Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}

Τα αποτελέσματα του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού που εκτιμήθηκαν με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-7:

Μέθοδος	Εκτίμηση W_{OT}
	[t]
Μέθοδος προσεγγιστικού τύπου	1478
Μέθοδος από διάγραμμα	1579
Μέθοδος Strohbusch	1341
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	1466

Πίνακας 7-7: Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{OT} = 1466 \text{ [t]}$$

7.4 Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Για το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης ισχύει:

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

W_{MM} : βάρος κύριας μηχανής και μειωτήρα (για στροβιλομηχανές, στρόβιλος μειωτήρας λέβητες)

W_{MS} : βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας (περιλαμβάνει: έδρανα και στορέα)

W_{MR} : βάρος λοιπής μηχανολογικής εγκατάστασης (βοηθητικές μηχανές για τη λειτουργία της κύριας μηχανής: αντλίες καυσίμου, λίπανσης, ψύξης, εξατμιστήρες κλπ. Αγωγοί εξάτμισης, καπνοδόχοι. Λέβητες. Εξαεριστικοί αγωγοί μηχανοστασίου, αντλίες ερμητισμού, απάντλησης, πυρόσβεσης, γλυκού νερού-μηχανοστάσιο. Κύρια ηλεκτρογεννητική εγκατάσταση, ηλεκτρογεννήτριες, μετασχηματιστές, πίνακες. Εργαλεία μηχανοστασίου.

7.4.1 Εκτίμηση με τον προσεγγιστικό τύπο *Watson – Gilfillan*

Ο προσεγγιστικός τύπος κατά *Watson – Gilfillan* είναι:

$$W_M = C_{MD} \cdot P_B^{0.89}$$

Όπου C_{MD} για αργόστροφες μηχανές *Diesel*:

$$C_{MD} = 0.3 \div 0.5 \xrightarrow{\text{επιλέγεται}} C_{MD} = 0.4$$

Ακόμη, P_B είναι η ισχύς πρόωσης και στην περίπτωση του πατρικού πλοίου είναι:

$$P_B = 10320 [kW]$$

Οπότε τελικά:

$$W_M = 0.4 \cdot 10320^{0.89} \Rightarrow W_{M1} = 1494 [t]$$

7.4.2 Εκτίμηση συναρτήσει του βάρους της κύριας μηχανής (*Schneekluth*)

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

$$W_M = C_{M1} \cdot W_{MM}$$

Όπου W_{MM} : Βάρος κύριας μηχανής

$$\text{Και } C_{M1} = 2.2 \div 3.6 \xrightarrow{\text{επιλέγεται}} C_{M1} = 2.6$$

Η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη στο πατρικό πλοίο είναι η *Hyundai – B&W 6G50ME-C9.5-HPSCR (6 cylinder)*. Από το βιβλίο με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου το βάρος της μηχανής είναι:

$$W_{MM} = 245 [t]$$

Οπότε τελικά:

$$W_M = 2.6 \cdot 245$$

$$W_{M_2} = 637 [t]$$

7.4.3 Εκτίμηση με τη μέθοδο *Strohbusch*

Για την εκτίμηση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης με τη μέθοδο *Strohbusch* θα γίνει χρήση μιας σειράς εμπειρικών συντελεστών (επιλέγοντας τη μέση τιμή του προτεινόμενου εύρους για κάθε συντελεστή) για τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.

Συντελεστής	Εύρος	Επιλογή
$W_1 [t/m^3]$	0.003 ÷ 0.005	0.004
$W_2 [t/HP]$	0.025 ÷ 0.035	0.030
$W_3 [t/HP]$	0.004	0.004
$W_4 [t/HP]$	0.030 ÷ 0.040	0.035
$W_5 [t/HP]$	0.055 ÷ 0.060	0.057

Πίνακας 7-8: Συντελεστές με βάση τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.

Από τα στοιχεία του πατρικού πλοίου γίνεται μετατροπή μονάδων της ισχύος:

$$10320 [kW] = 10320 \cdot 1.341 [HP] = 13839 [HP]$$

Θεωρώντας βαθμό απόδοσης στον άξονα $n_s = 0.98$ προκύπτει:

$$SHP = BHP \cdot n_s = 13839 \cdot 0.98 \Rightarrow SHP = 13562 [HP]$$

Οπότε από τους ορισμούς των συντελεστών μπορούν να υπολογιστούν και τα αντίστοιχα βάρη ως εξής:

Ισχύει ότι:

$$W_1 = \frac{W_{MR}}{L \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{MR} = W_1 \cdot L \cdot B \cdot D$$

$$W_{MR} = 0.004 \cdot 175.15 \cdot 32.2 \cdot 19.1$$

$$W_{MR} = 430.88 [t]$$

Ακόμη:

$$W_2 = \frac{W_{MR}}{SHP} \Rightarrow W_{MR} = W_2 \cdot SHP$$

$$W_{MR} = 0.03 \cdot 13562$$

$$W_{MR} = 406.87 [t]$$

Τελικά:

$$W_{MR} = \frac{430.88 + 406.87}{2} = 418.88 [t]$$

$$W_3 = \frac{W_{MS}}{SHP} \Rightarrow W_{MS} = W_3 \cdot SHP$$

$$W_{MS} = 0.004 \cdot 13562$$

$$\mathbf{W_{MS} = 55.36 [t]}$$

Τέλος:

$$W_4 = \frac{W_{MM}}{SHP} \Rightarrow W_{MM} = W_4 \cdot SHP$$

$$W_{MM} = 0.035 \cdot 13562$$

$$\mathbf{W_{MM} = 484.37 [t]}$$

Οπότε το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης υπολογίζεται:

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

$$W_M = 418.88 + 55.36 + 484.37$$

$$\mathbf{W_{M1} = 958.60 [t]}$$

Όμως μπορεί να προκύψει και μια τιμή για το W_M από το συντελεστή W_5 :

$$W_5 = \frac{W_M}{SHP} \Rightarrow W_M = W_5 \cdot SHP$$

$$W_M = 0.057 \cdot 13562$$

$$\mathbf{W_{M2} = 788.83 [t]}$$

Άρα η τελική εκτίμηση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$W_M = \frac{958.60 + 788.83}{2} \Rightarrow \mathbf{W_M = 873.7 [t]}$$

7.4.4 Συνολική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Τα αποτελέσματα του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού που εκτιμήθηκαν με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-9:

Μέθοδος	Εκτίμηση W_M
	[t]
Μέθοδος Watson - Gilfillan	1494
Μέθοδος Schneekluth	637
Μέθοδος Strohbusch	873
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	1001

Πίνακας 7-9: Εκτίμηση μηχανολογικής εγκατάστασης.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{OT} = 1001[t]$$

7.5 Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου W_{LS} για το πατρικό πλοίο

Με βάση τις προσεγγίσεις για τις ομάδες βαρών του πατρικού πλοίου μπορεί να υπολογιστεί το βάρος του άφορτου πλήρως εξοπλισμένου πλοίου για το πατρικό πλοίο:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση W
	[t]
Βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	7663
Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	1466
Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	1001

Πίνακας 7-10: Συγκεντρωτικός πίνακας προσεγγίσεων βαρών για το πατρικό πλοίο.

$$W_{LS} = W_{ST} + W_{OT} + W_M$$

$$W_{LS} = 7663 + 1466 + 874$$

$$W_{LS} = 10130 [t]$$

7.5.1 Υπολογισμός σφάλματος μεθόδων

Στο σημείο αυτό θα προσδιοριστεί το σφάλμα που παρουσιάζουν οι προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού του βάρους εφόσον το πραγματικό βάρος του άφορτου, πλήρως εξοπλισμένου πλοίου είναι γνωστό από το *Trim and Stability Booklet* του πατρικού πλοίου και είναι:

$$W_{LS(Actual)} = 10586 [t]$$

Οπότε το σφάλμα προκύπτει:

$$e\% = \frac{W_{LS(Actual)} - W_{LS}}{W_{LS(Actual)}} \cdot 100 = \frac{10586 - 10130}{10586} \cdot 100$$

$$e\% = 4.3 \%$$

Οπότε, στην προσέγγιση του βάρους του άφορτου πλοίου για το υπό μελέτη πλοίο που γίνεται παρακάτω, θα ληφθεί υπόψη και το ανωτέρω σφάλμα των μεθόδων υπολογισμού.

7.6 Υπό μελέτη πλοίο

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο έγινε προσέγγιση του βάρους του άφορτου πλοίου του πατρικού πλοίου. Για την επίτευξη αυτής της προσέγγισης απαιτήθηκαν διαστάσεις οι οποίες μετρήθηκαν από το σχέδιο γενικής διάταξης. Για την περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου όπου δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, θα χρησιμοποιηθούν οι λόγοι των διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου προς τις διαστάσεις του πατρικού πλοίου οι οποίοι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (όπου δείκτης 1 αντιστοιχεί στο υπό μελέτη και δείκτης 0 στο πατρικό πλοίο):

Λόγοι διαστάσεων	
L_1/L_0	0.967
B_1/B_0	0.963
D_1/D_0	0.852

Πίνακας 7-11: Λόγοι διαστάσεων υπό μελέτη πλοίου προς διαστάσεις πατρικού πλοίου.

Οπότε έχοντας τους παραπάνω λόγους μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσέγγιση του βάρους με τις ίδιες μεθόδους που εφαρμόστηκαν και για το πατρικό πλοίο.

7.6.1 Μέθοδος Watson

Σύμφωνα με τη μέθοδο *Watson* το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST} μπορεί να υπολογιστεί αφού πρώτα υπολογιστεί ο δείκτης εξοπλισμού E_N του πλοίου από τον παρακάτω τύπο:

$$E_N = L_{PP} \cdot (B + T) + 0.8 \cdot L_{PP} \cdot (D - T) + 0.85 \sum_{i=1}^{N1} h_{1i} l_{1i} + 0.75 \sum_{i=1}^{N2} h_{2i} l_{2i}$$

όπου: N_1, l_1, h_1 : αριθμός, μήκος και ύψος των υπερστεγασμάτων.

N_2, l_2, h_2 : αριθμός, μήκος και ύψος των υπερκατασκευών.

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

Με βάση τους λόγους των διαστάσεων που υπολογίστηκαν παραπάνω, ισχύει ότι:

$$l_{\text{υπο μελέτη}} = l_{\text{πατρικού}} \cdot \frac{L_1}{L_0}$$

$$h_{\text{υπο μελέτη}} = h_{\text{πατρικού}} \cdot \frac{D_1}{D_0}$$

Οπότε, οι διαστάσεις των υπερστεγασμάτων και των υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου προκύπτουν:

Υπερτεγάσματα	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	$l \cdot h$ [m ²]
B DECK	22.44	2.43	54.50
C DECK	12.54	2.43	30.46
NAV. DECK	11.53	2.43	28.00
	Sum =		112.96

Πίνακας 7-12: Διαστάσεις υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου.

Υπερκατασκευές	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	l*h [m ²]
A DECK	18.57	2.43	45.10
Πρόστεγο	10.45	2.98	31.14
		Sum =	76.24

Πίνακας 7-13: Διαστάσεις υπερκατασκευών πατρικού πλοίου.

Οπότε, ο δείκτης ενδιαίτησης προκύπτει:

$$E_N = 169.42 \cdot (31 + 11.3) + 0.8 \cdot 169.42 \cdot (16.28 - 11.3) + 0.85 \cdot 112.96 + 0.75 \cdot 76.24$$

$$E_N = 7994$$

Για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ισχύει:

$$(W_{ST})^* = K \cdot E_N^{1.36}$$

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 δεξαμενόπλοια η τιμή του συντελεστή είναι $K = 0.032$.

Οπότε:

$$(W_{ST})^* = 0.032 \cdot 7994^{1.36}$$

$$(W_{ST})^* = 6500 [t]$$

Υπολογίζεται ο συντελεστής γάστρας στο 0.8 του κοίλου $C_{B(0.8D)}$:

$$C_{B(0.8D)} = C_B \cdot \left(\frac{0.8 \cdot D}{T} \right)^{\frac{C_{WP}-1}{C_B}} = 0.81 \cdot \left(\frac{0.8 \cdot 16.28}{11.30} \right)^{\frac{0.879}{0.82}-1}$$

$$C_{B(0.8D)} = 0.82 \neq 0.7$$

Οπότε και σε αυτή την περίπτωση απαιτείται διόρθωση στο υπολογισμένο βάρος $(W_{ST})^*$:

$$W_{ST} = (W_{ST})^* \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (C_{B(0.8D)} - 0.7) \right) = 6500 \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (0.82 - 0.7) \right)$$

$$W_{ST1} = 6892 [t]$$

7.6.2 Μέθοδος *Schneekluth*

Τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους του άφορτου σκάφους με τη χρήση της μεθόδου *Schneekluth* παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχεία υπό μελέτη πλοίου για υπολογισμούς		
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{PP} [m]	169.42
Πλάτος	B [m]	31.00
Κοίλο	D [m]	16.28
Βύθισμα	T [m]	11.30
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.81
Συντελεστής μέσης τομής	C_M	0.991

Πίνακας 7-14: Στοιχεία του πατρικού πλοίου που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους με τη μέθοδο *Schneekluth*.

Για την προσέγγιση του βάρους του άφορτου πλοίου όπως και για το πατρικό πλοίο είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος $V_U [m^3]$. Το μέγεθος αυτό αναλύεται και πάλι ως εξής:

$$V_U = V_D + V_S + V_b + V_H$$

Όπου:

Για τον όγκο έως το κοίλο D ισχύει:

$$V_D = L_{PP} \cdot B \cdot D \cdot C_{BD}$$

Όπου ο συντελεστής γάστρας έως το κοίλο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_{BD} = \left(C_B + C_1 \frac{D - T}{T} \cdot (1 - C_B) \right)$$

Όπου $C_1 = 0.25$ για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου.

$$C_{BD} = 0.83$$

$$V_D = 169.42 \cdot 31.0 \cdot 16.28 \cdot 0.83$$

$$V_D = 71154.4 [m^3]$$

Για την αύξηση όγκου λόγω σιμότητας ισχύει:

$$V_S = 0$$

Καθώς θεωρείται ότι το πλοίο έχει μηδενική σιμότητα όπως και το πατρικό.

Για την αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας ισχύει:

$$V_b = L_{PP} \cdot B \cdot b \cdot C_3$$

Όπου η κυρτότητα υπολογίζεται με βάση τους λόγους διαστάσεων ως εξής:

$$b_{\text{υπο μελέτη}} = b_{\text{πατρικού}} \cdot \frac{D_1}{D_0} = 0.65 \cdot 0.852$$

$$b_{\text{υπο μελέτη}} = 0.55 [m]$$

Ακόμη:

$$C_3 \cong 0.7 \cdot C_{BD} = 0.7 \cdot 0.83 = 0.583$$

Τελικά:

$$V_b = 169.42 \cdot 31 \cdot 0.65 \cdot 0.583$$

$$V_b = 1683 [m^3]$$

Για την αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών ισχύει:

$$V_H = 0$$

Καθώς το πλοίο δε διαθέτει στόμια κυτών.

Επομένως, υπολογίζεται ο συνολικός όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος:

$$\begin{aligned} \nabla_U &= \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H \\ \nabla_U &= 71154.4 + 0 + 1683 + 0 \\ \nabla_U &= \mathbf{72837.4 [m^3]} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το αρχικό βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} συναρτήσει του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος ∇_U και του συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους $C'_{ST} [t/m^3]$:

Για δεξαμενόπλοια και για $L_{PP} = 169.42$ ο συντελεστής $C'_{ST} [t/m^3]$ υπολογίζεται:

$$\begin{aligned} C'_{ST} &= (0.112 + L_{PP} \cdot 10^{-4}) \cdot 0.97 \\ C'_{ST} &= (0.112 + 169.42 \cdot 10^{-4}) \cdot 0.97 \\ C'_{ST} &= 0.124 \end{aligned}$$

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται ξεχωριστά οι συντελεστές $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ με δεδομένο $D_0 = 4 [m]$ και αριθμό καταστρωμάτων $n = 1$ ως εξής:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1 + 0.033 \cdot \left(\frac{L_{PP}}{D} - 12 \right) = 1 + 0.033 \cdot \left(\frac{169.42}{16.28} - 12 \right) \Rightarrow \alpha_1 = 0.947 \\ \alpha_2 &= 1 + 0.06 \cdot \left(n - \frac{D}{D_0} \right) = 1 + 0.06 \cdot \left(1 - \frac{16.28}{4} \right) \Rightarrow \alpha_2 = 0.816 \\ \alpha_3 &= 1 + 0.05 \cdot \left(1.85 - \frac{B}{D} \right) = 1 + 0.05 \cdot \left(1.85 - \frac{31.0}{16.28} \right) \Rightarrow \alpha_3 = 0.997 \\ \alpha_4 &= 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{T}{D} - 0.85 \right) = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{11.3}{16.28} - 0.85 \right) \Rightarrow \alpha_4 = 0.969 \\ \alpha_5 &= 0.92 + (1 - C_{BD})^2 = 0.92 + (1 - 0.83)^2 \Rightarrow \alpha_5 = 0.948 \\ \alpha_6 &= 1 + 0.75 \cdot C_{BD} \cdot (C_M - 0.98) = 1 + 0.75 \cdot 0.83 \cdot (0.991 - 0.98) \Rightarrow \alpha_6 = 1.007 \end{aligned}$$

Το αρχικό βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$\begin{aligned} W'_{ST} &= \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \\ W'_{ST} &= \mathbf{72837.4 \cdot 0.124 \cdot 0.947 \cdot 0.816 \cdot 0.997 \cdot 0.969 \cdot 0.948 \cdot 1.007} \\ W'_{ST} &= \mathbf{6448 [t]} \end{aligned}$$

Το αρχικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής W'_{ST} που υπολογίστηκε σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο απαιτεί προσαύξηση κατά 0.4 - 0.7% (επιλέγεται ο μέσος όρος 0.55%) λόγω της ύπαρξης βολβοειδούς πρόρας. Άρα, τελικά:

$$\begin{aligned} W_{ST} &= W'_{ST} \cdot 1.0055 = 6448 \cdot 1.0055 \\ W_{ST} &= \mathbf{6483 [t]} \end{aligned}$$

7.6.3 Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής που εκτιμήθηκε με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος	Εκτίμηση W_{ST}
	[t]
Μέθοδος Watson	6892
Μέθοδος Schneekluth	6483
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	6688

Πίνακας 7-15: Εκτιμήσεις βάρους μεταλλικής κατασκευής.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους της μεταλλικής κατασκευής λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{ST} = 6688 [t]$$

7.7 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}

7.7.1 Προσεγγιστικός τύπος

Η πρώτη εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού γίνεται με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B$$

Όπου: $K_{OT} = 0.28 [t/m^2]$, για δεξαμενόπλοια με $L_{PP} \cong 150 [m]$

$K_{OT} = 0.17 [t/m^2]$, για δεξαμενόπλοια με $L_{PP} \cong 300 [m]$

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

Με γραμμική παρεμβολή για $L_{PP} = 169.42 [m]$ προκύπτει:

$$K_{OT} = 0.265 \left[\frac{t}{m^2} \right]$$

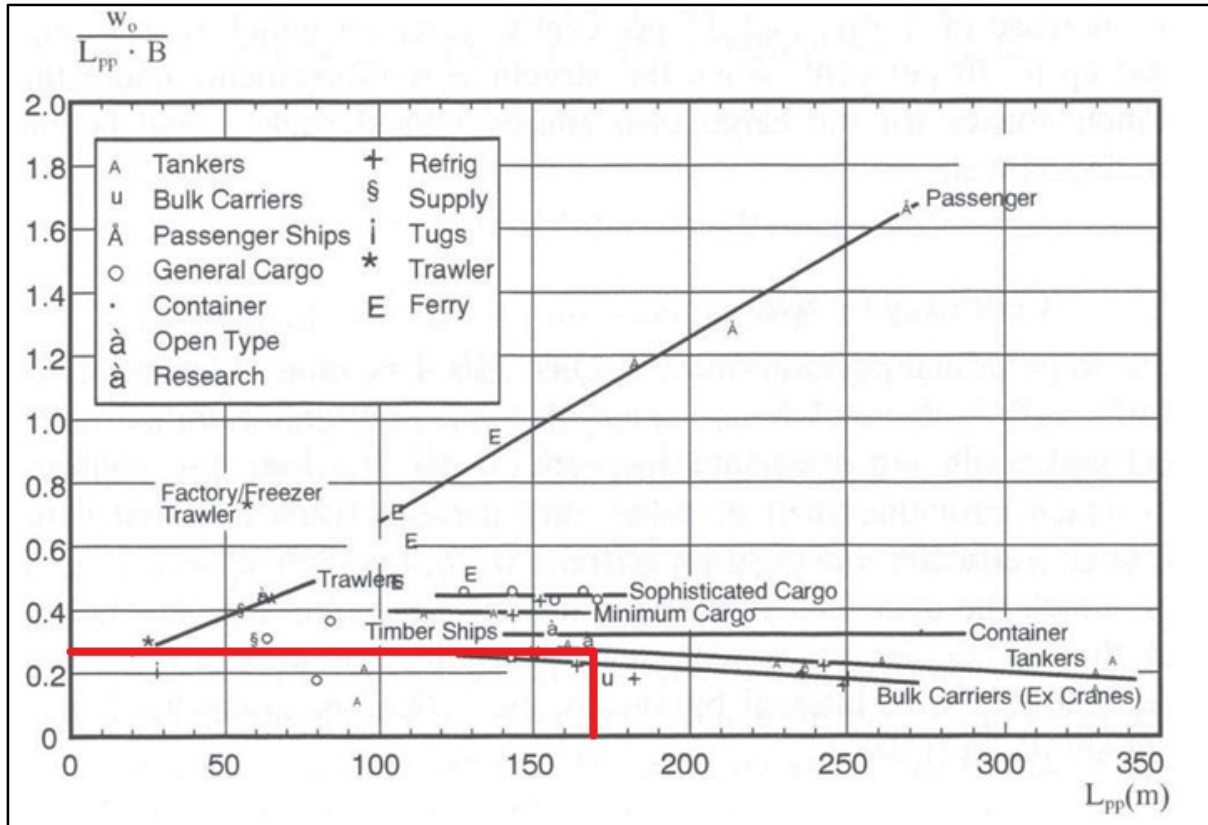
Οπότε:

$$W_{OT} = 0.265 \cdot 169.42 \cdot 31.0$$

$$W_{OT} = 1392 [t]$$

7.7.2 Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} από διάγραμμα

Στη συνέχεια πραγματοποιείται εκτίμηση από το παρακάτω διάγραμμα του λόγου του βάρους ενδιαίτησης W_{ot} προς το γινόμενο $L \cdot B$ συναρτήσεως του μήκους επιλέγοντας την καμπύλη που αντιστοιχεί σε δεξαμενόπλοια.



Διάγραμμα 7-2: Λόγος βάρους ενδιαίτησης προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson.
[Πηγή: Παπανικολάου, 2016]

Συνεπώς, από το διάγραμμα προκύπτει:

$$\frac{W_{OT}}{L_{PP} \cdot B} = 0.28$$

Οπότε:

$$\frac{W_{OT}}{169.42 \cdot 31.0} = 0.28$$

$$W_{OT} = 1471 [t]$$

7.7.3 Μέθοδος κατά Strohbusch

Κατά όμοιο τρόπο με τον υπολογισμό που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου, χωρίζεται το βάρος στις διάφορες ομάδες που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Με βάση το συντελεστή της κάθε ομάδας μπορεί να υπολογιστεί και το βάρος της αντίστοιχα από τον τύπο:

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

Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό σε ομάδες και το εύρος των τιμών των συντελεστών w για κάθε ομάδα (για δεξαμενόπλοια) κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Ομάδα	Εύρος w	Επιλογή	W _{OT} [t]
I	0.5 ÷ 1	0.75	64.1
II1	0	0	0.0
II2	1 ÷ 2	1.5	161.6
III	1 ÷ 2	1.5	161.6
IV	2.5 ÷ 5	3.5	377.0
V	1.5 ÷ 2	1.75	188.5
VI	0 ÷ 0.1	0.05	5.4
VII	0.3 ÷ 0.5	0.4	43.1
VIII1	0	0	0.0
VIII2	1.5 ÷ 2	1.75	188.5
IX	1 ÷ 1.5	1.25	134.7

Πίνακας 7-16: Πίνακας συντελεστών ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού.

Οπότε το συνολικό βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού προκύπτει:

$$W_{OT_3} = \sum_{i=1}^{IX} W_{OT_i} \Rightarrow W_{OT_3} = 1324 \text{ [t]}$$

7.7.4 Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}

Τα αποτελέσματα του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού που εκτιμήθηκαν με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-17:

Μέθοδος	Εκτίμηση W _{OT}
	[t]
Μέθοδος προσεγγιστικού τύπου	1392
Μέθοδος από διάγραμμα	1471
Μέθοδος Strohbusch	1324
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	1396

Πίνακας 7-17: Εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{OT} = 1396 \text{ [t]}$$

7.8 Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Για το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης ισχύει:

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

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

7.8.1 Εκτίμηση με τον προσεγγιστικό τύπο *Watson – Gilfillan*

Ο προσεγγιστικός τύπος κατά *Watson – Gilfillan* είναι:

$$W_M = C_{MD} \cdot P_B^{0.89}$$

Όπου C_{MD} για αργόστροφες μηχανές *Diesel*:

$$C_{MD} = 0.3 \div 0.5 \xrightarrow{\text{επιλέγεται}} C_{MD} = 0.4$$

Ακόμη, P_B είναι η ισχύς πρόωσης και στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου και με βάση την κύρια μηχανή που έχει επιλεγεί σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι:

$$P_B = 7945 [kW]$$

Οπότε τελικά:

$$W_M = 0.4 \cdot 7945^{0.89} \Rightarrow W_{M1} = 1183 [t]$$

7.8.2 Εκτίμηση συναρτήσεως του βάρους της κύριας μηχανής (*Schneekluth*)

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

$$W_M = C_{M1} \cdot W_{MM}$$

Όπου W_{MM} : Βάρος κύριας μηχανής

$$C_{M1} = 2.2 \div 3.6 \xrightarrow{\text{επιλέγεται}} C_{M1} = 2.6$$

Η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη στο πατρικό πλοίο είναι η *B&W S40ME-C9.5-TII (7 cylinder)*. Από το βιβλίο με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου το βάρος της μηχανής είναι:

$$W_{MM} = 147 [t]$$

Οπότε τελικά:

$$W_M = 2.6 \cdot 147$$

$$W_{M2} = 382 [t]$$

7.8.3 Εκτίμηση με τη μέθοδο *Strohbusch*

Για την εκτίμηση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης με τη μέθοδο *Strohbusch* θα γίνει χρήση μιας σειράς εμπειρικών συντελεστών (επιλέγοντας τη μέση τιμή του προτεινόμενου εύρους για κάθε συντελεστή) για τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.

Συντελεστής	Εύρος	Επιλογή
W_1 [t/m ³]	0.003 ÷ 0.005	0.004
W_2 [t/HP]	0.025 ÷ 0.035	0.030
W_3 [t/HP]	0.004	0.004
W_4 [t/HP]	0.030 ÷ 0.040	0.035
W_5 [t/HP]	0.055 ÷ 0.060	0.057

Πίνακας 7-18: Συντελεστές με βάση τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου.

Από τα στοιχεία του πλοίου γίνεται μετατροπή μονάδων της ισχύος:

$$10320 [kW] = 7945 \cdot 1.341 [HP] = 10654 [HP]$$

Θεωρώντας βαθμό απόδοσης στον άξονα $n_s = 0.98$ προκύπτει:

$$SHP = BHP \cdot n_s = 10654 \cdot 0.98$$

$$SHP = 10441 [HP]$$

Οπότε από τους ορισμούς των συντελεστών μπορούν να υπολογιστούν και τα αντίστοιχα βάρη ως εξής:

Ισχύει ότι:

$$W_1 = \frac{W_{MR}}{L \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{MR} = W_1 \cdot L \cdot B \cdot D$$

$$W_{MR} = 0.004 \cdot 169.42 \cdot 31 \cdot 16.28$$

$$W_{MR} = 341.94 [t]$$

Ακόμη:

$$W_2 = \frac{W_{MR}}{SHP} \Rightarrow W_{MR} = W_2 \cdot SHP$$

$$W_{MR} = 0.03 \cdot 10441$$

$$W_{MR} = 319.63 [t]$$

Τελικά:

$$W_{MR} = \frac{341.94 + 319.63}{2} = 331 [t]$$

$$W_3 = \frac{W_{MS}}{SHP} \Rightarrow W_{MS} = W_3 \cdot SHP$$

$$W_{MS} = 0.004 \cdot 10441$$

$$\mathbf{W_{MS} = 42.10 [t]}$$

Τέλος:

$$W_4 = \frac{W_{MM}}{SHP} \Rightarrow W_{MM} = W_4 \cdot SHP$$

$$W_{MM} = 0.035 \cdot 10441$$

$$\mathbf{W_{MM} = 368.39 [t]}$$

Οπότε το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης υπολογίζεται:

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

$$W_M = 331 + 42.10 + 368.39$$

$$\mathbf{W_{M1} = 741.28 [t]}$$

Όμως μπορεί να προκύψει και μια τιμή για το W_M από το συντελεστή W_5 :

$$W_5 = \frac{W_M}{SHP} \Rightarrow W_M = W_5 \cdot SHP$$

$$W_M = 0.057 \cdot 10441$$

$$\mathbf{W_{M2} = 539.96 [t]}$$

Άρα η τελική εκτίμηση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι:

$$W_M = \frac{741.28 + 539.96}{2} \Rightarrow \mathbf{W_M = 640.6 [t]}$$

7.8.4 Συνολική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Τα αποτελέσματα του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού που εκτιμήθηκαν με βάση τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-1

Μέθοδος	Εκτίμηση W_M
	[t]
Μέθοδος Watson - Gilfillan	1183.0
Μέθοδος Schneekluth	382.0
Μέθοδος Strohbusch	640.6
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	735.2

Πίνακας 7-19: Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης.

Για την εκτίμηση της τελικής τιμής του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης λήφθηκε ο μέσος όρος των τιμών των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψε:

$$W_{OT} = 735.2 [t]$$

7.9 Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου W_{LS} για το υπό μελέτη πλοίο

Με βάση τις προσεγγίσεις για τις ομάδες βαρών του πατρικού πλοίου μπορεί να υπολογιστεί το βάρος του άφορτου πλήρως εξοπλισμένου πλοίου για το υπό μελέτη πλοίο:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση W
	[t]
Βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	6688
Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT}	1396
Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης W_M	735

Πίνακας 7-20: Συγκεντρωτικός πίνακας προσεγγίσεων βαρών για το υπό μελέτη πλοίο.

$$W_{LS}' = W_{ST} + W_{OT} + W_M$$

$$W_{LS}' = 6688 + 1396 + 735$$

$$W_{LS}' = 8819 [t]$$

Όμως σε αυτό το σημείο πρέπει να συμπεριληφθεί και το σφάλμα των προσεγγιστικών μεθόδων που υπολογίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι:

$$e = 4.3 \%$$

Οπότε:

$$W_{LS} = W_{LS}' \cdot 1.043$$

$$W_{LS} = 9198 [t]$$

8. Έλεγχος εκτοπίσματος

Το γεωμετρικό εκτόπισμα του πλοίου με βάση τις διαστάσεις που έχουν υπολογιστεί είναι:

$$\Delta_{\text{γεωμετρικό}} = 49881 \text{ [t]}$$

Η χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου είναι 40000 [t] *DWT* οπότε με βάση την εξίσωση του εκτοπίσματος ισχύει:

$$\Delta = W_{LS} + DWT = 9198 + 40000 = 49198 \text{ [t]} < \Delta_{\text{γεωμετρικό}}$$

Η διαφορά των εκτοπισμάτων είναι:

$$E\% = \frac{\Delta_{\text{γεωμετρικό}} - \Delta}{\Delta_{\text{γεωμετρικό}}} \cdot 100$$

$$E\% = \frac{49881 - 49198}{49881} \cdot 100 = 1.37\%$$

Εφόσον η διαφορά βρίσκεται εντός του περιθωρίου $R = 1 - 3\%$ η μελέτη θεωρείται επιτυχής και μπορεί να προχωρήσει στην επόμενη φάση.

Η παραπάνω διαφορά είναι επιθυμητή διότι σε επόμενο στάδιο της μελέτης που πραγματοποιείται υπολογισμός του βάρους του πλοίου με μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτείται να υπάρχει αυτό το περιθώριο ασφαλείας.

9. Τελικές διαστάσεις υπό μελέτη πλοίου

Main Particulars		
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{PP} [m]	169.42
Πλάτος	B [m]	31.00
Κοίλο	D [m]	16.28
Βύθισμα	T [m]	11.30
Εκτόπισμα	Δ [t]	49881
Πρόσθετο βάρος	DWT [t]	40000
Βάρος άφορτου πλοίου	WLS [t]	9198

Hull Coefficients		
Συντελεστής γάστρας	C_B	0.81
Συντελεστής μέσης τομής	C_M	0.991
Πρισματικός συντελεστής	C_P	0.819
Συντελεστής ισάλου επιφανείας	C_{WL}	0.874

Propulsive Power		
Ταχύτητα υπηρεσίας	V_s [kn]	14
Αριθμός Froude	F_n	0.178
Απαιτούμενη ισχύς πρόωσης	P [KW]	7849
Μοντέλο κύριας μηχανής	MAN B&W S40ME-9.5	
Ισχύς μηχανής	P [KW]	7945

Πίνακας 9-1: Πίνακας βασικών μεγεθών του υπό μελέτη πλοίου.

10. Προϋπολογισμός μεταφορικής ικανότητας *DWT*

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί ανάλυση του πρόσθετου βάρους στις συνισταμένες του. Το πρόσθετο βάρος μπορεί να αναλυθεί όπως φαίνεται παρακάτω:

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

Όπου:

W_{LO} : βάρος ωφέλιμου φορτίου (*payload*).

W_F : βάρος καυσίμων και λιπαντικών.

W_{PR} : βάρος εφοδίων και νερού.

W_{CR} : βάρος πληρώματος και αποσκευών.

B : βάρος μη μόνιμου έρματος αν απαιτείται στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης.

[Πηγή: Παπανικολάου, 2009]

Αρκεί λοιπόν, να υπολογιστεί ξεχωριστά η κάθε ομάδα.

10.1 Βάρος καυσίμων και λιπαντικών W_F

Για την ευκολία στον υπολογισμό το βάρος W_F αναλύεται σε W_{F1} και W_{F2} .

$$W_F = W_{F1} + W_{F2}$$

Όπου:

W_{F1} : βάρος καυσίμων

W_{F2} : βάρος λιπαντικών

Με το W_{F1} υπολογίζονται τα απαιτούμενα καύσιμα για ένα ταξίδι μετ' επιστροφής στο λιμάνι αναχώρησης (χωρίς ανεφοδιασμό), εκτός και αν ο πλοιοκτήτης ορίζει διαφορετικά (Παπανικολάου, 2009). Το βάρος καυσίμων W_{F1} προκύπτει:

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

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.

t_2 : χρόνος λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών [*hrs.*].

b_1 : ειδική κατανάλωση κύριας μηχανής [*gr/kW*].

b_2 : ειδική κατανάλωση βοηθητικών μηχανών ηλεκτρογεννητριών [*gr/kW*].

n_E : μέσος βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.

C : σταθερά που αφορά στην εφεδρεία για υπερκατανάλωση όπου $C = 1.2 \div 1.4$ και επιλέγεται $C = 1.3$.

Αρχικά, εκτιμάται ο χρόνος ταξιδιού μετ' επιστροφής σε ώρες. Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε η αυτονομία του πλοίου 3500 ναυτικά μίλια. Οπότε ο χρόνος ταξιδιού προκύπτει:

$$t_1 = t_2 = \frac{\text{αυτονομία}}{V_s [kn]} = \frac{3500}{14}$$

$$t_1 = t_2 = 214.3 [hrs.] = 8.93 [days]$$

Από του καταλόγους της εταιρίας της κύριας μηχανής και του ηλεκτροκινητήρα που έχουν επιλεγεί για το υπό μελέτη πλοίο, λαμβάνονται τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τον υπολογισμό του βάρους των καυσίμων και φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Στοιχεία κύριας μηχανής		Στοιχεία Ηλεκτροκινητήρα	
Εταιρία	MAN B&W	Εταιρία	MAN
Μοντέλο	S40ME-9.5	Μοντέλο	L16/24S
Power [kW]	7945	Power [kW]	480
SFOC [gr/kWh]	172	SFOC [gr/kWh]	198.9
		η_e	0.96

Πίνακας 10-1: Στοιχεία κύριας μηχανής και ηλεκτροκινητήρα.

Οπότε με βάση αυτά τα στοιχεία μπορεί να υπολογιστεί το βάρος των καυσίμων:

$$W_{F1} = (7945 \cdot 171 \cdot 214.3 + \frac{480 \cdot 198.9 \cdot 214.3}{0.96}) \cdot 1.3 \cdot 10^{-6}$$

$$W_{F1} = 408.26 [t]$$

Για τον υπολογισμό του βάρους των λιπαντικών χρησιμοποιείται προσεγγιστικός τύπος για μηχανές *Diesel* θεωρώντας πως είναι ίσο με το 3 – 5% του βάρους των καυσίμων. Επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί για την παρούσα προσέγγιση το 4%. Οπότε:

$$W_{F2} = 0.04 \cdot W_{F1} = 0.04 \cdot 408.26$$

$$W_{F2} = 16.33 [t]$$

Άρα, το συνολικό βάρος των καυσίμων και λιπαντικών προκύπτει:

$$W_F = W_{F1} + W_{F2}$$

$$W_F = 408.26 + 16.33$$

$$W_F = 424.59 [t]$$

10.2 Βάρος εφοδίων και νερού W_{PR}

Όπως και στο βάρος των καυσίμων και των λιπαντικών, το βάρος των προμηθειών θα αναλυθεί σε επιμέρους ομάδες και θα υπολογιστεί το βάρος της κάθε ομάδας ξεχωριστά. Οι ομάδες που συνιστούν το άθροισμα του βάρους των προμηθειών είναι: το βάρος του πόσιμου νερού, το βάρος του νερού καθαριότητας και το βάρος των τροφίμων. Για τον υπολογισμό της κάθε ομάδας θεωρείται ότι το πλοίο διαθέτει πλήρωμα 20 ατόμων.

$$W_{PR} = W_{PR1} + W_{PR2} + W_{PR3}$$

Όπου:

W_{PR1} : βάρος πόσιμου νερού

W_{PR2} : βάρος νερού καθαριότητας

W_{PR3} : βάρος τροφίμων

Βάρος πόσιμου νερού

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου Α. Δ. εκτιμάται ότι απαιτούνται 10 – 20 [kg] πόσιμου νερού ανά ανθρωποημέρα. Επιλέγοντας τη μέση τιμή που είναι 15 [kg] νερού ανά ανθρωποημέρα προκύπτει ότι:

$$W_{PR1} = 15 \cdot 20 \cdot 8.93 \Rightarrow W_{PR1} = 2679 \text{ [kg]} = 2.7 \text{ [t]}$$

Βάρος νερού καθαριότητας

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου Α. Δ. εκτιμάται ότι απαιτούνται 200 [kg] νερού καθαριότητας ανά ανθρωποημέρα αν θεωρηθεί πως οι ενδαιτήσεις διαθέτουν λουτήρες. Οπότε για το βάρος του νερού καθαριότητας προκύπτει ότι:

$$W_{PR2} = 200 \cdot 20 \cdot 8.93 \Rightarrow W_{PR2} = 35714 \text{ [kg]} = 35.8 \text{ [t]}$$

Βάρος τροφίμων

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου Α. Δ. εκτιμάται ότι απαιτούνται 7 – 16 [kg] τροφίμων ανά ανθρωποημέρα (επιλέγεται 13 [kg] τροφίμων ανά ανθρωποημέρα) όπου το προτεινόμενο εύρος αφορά εκτός από την ημερήσια κατανάλωση και τις εφεδρείες για καθυστερήσεις του ταξιδιού και ανεφοδιασμού. Οπότε για το βάρος των τροφίμων προκύπτει ότι:

$$W_{PR3} = 13 \cdot 20 \cdot 8.93 \Rightarrow W_{PR3} = 2310 \text{ [kg]} = 2.3 \text{ [t]}$$

Οπότε το ολικό βάρος των εφοδίων και νερού προκύπτει:

$$W_{PR} = W_{PR1} + W_{PR2} + W_{PR3}$$

$$W_{PR} = 2.7 + 35.8 + 2.3$$

$$W_{PR} = 40.8 \text{ [t]}$$

10.3 Βάρος πληρώματος και αποσκευών W_{CR}

Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το βάρος του πληρώματος και των αποσκευών τους όπου θα θεωρηθεί υπόψη για το πλήρωμα η τιμή 75 [kg/άτομο] ενώ για τις αποσκευές τους η τιμή 60 [kg/άτομο]. Οπότε ισχύει ότι:

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

Όπου:

W_{CR1} : βάρος ατόμων πληρώματος

W_{CR2} : βάρος αποσκευών του πληρώματος

Και προκύπτει ότι:

$$W_{CR1} = 20 \cdot 75 = 1500 \text{ [kg]} = 1.5 \text{ [t]}$$

$$W_{CR2} = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ [kg]} = 1.2 \text{ [t]}$$

Άρα το συνολικό βάρος του πληρώματος και των αποσκευών τους είναι:

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

$$W_{CR} = 1.5 + 1.2$$

$$W_{CR} = 2.7 \text{ [t]}$$

10.4 Βάρος μη μόνιμου έρματος B

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

$$B = 0 \text{ [t]}$$

10.5 Υπολογισμός βάρους ωφέλιμου φορτίου W_{LO}

Αφού έχουν υπολογιστεί όλες οι επιμέρους ομάδες που αποτελούν το πρόσθετο βάρος DWT , προκύπτει το βάρος του ωφέλιμου φορτίου ως εξής:

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

$$W_{LO} = 49881 - (424.6 + 40.8 + 2.7 + 0)$$

$$W_{LO} = 40216.9 \text{ [t]}$$

11. Έλεγχος γραμμής φόρτωσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί έλεγχος της γραμμής φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φορτώσεως και συγκεκριμένα τη συγκεντρωτική έκδοση του 2016.

Υπολογισμός βασικού ύψους εξάλλων (B.Y.E.)

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

L [m]	BYE [mm]
169	2254
169.42	2260
170	2268

Πίνακας 11-1: Πίνακας βασικού ύψους εξάλλων με βάση το μήκος.

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα με γραμμική παρεμβολή μεταξύ 169 [m] και 170 [m] το βασικό ύψος εξάλλων για 169,42 [m] είναι:

$$BYE = 2260 [mm]$$

Το βασικό ύψος εξάλλων που υπολογίστηκε με βάση το μήκος του πλοίου σύμφωνα με τους κανονισμούς της Διεθνούς σύμβασης της Γραμμής Φορτώσεως υπόκειται σε διορθώσεις λόγω των υπολοίπων χαρακτηριστικών του.

Διόρθωση για το συντελεστή γάστρας

Το βασικό ύψος εξάλλων αντιστοιχεί σε πλοίο με συντελεστή γάστρας σε ύψος 0.85D με τιμή $C_{B(0.85D)} = 0.68$. Ο αντίστοιχος συντελεστής γάστρας για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει:

$$C_{B(0.85D)} = C_B \left(\frac{0.85D}{T} \right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = C_B \left(\frac{0.85 \cdot 16.28}{11.3} \right)^{\frac{0.874}{0.81} - 1}$$

$$C_{B(0.85D)} = 0.823 > 0.68$$

Οπότε, στην περίπτωση αυτή απαιτείται διόρθωση:

$$YE_1 = BYE \cdot K$$

Όπου:

$$K = \frac{C_{B(0.85D)} + 0.68}{1.36} = \frac{0.823 + 0.68}{1.36} = 1.11$$

Άρα, η διόρθωση προκύπτει:

$$YE_1 = 2260 \cdot 1.11$$

$$YE_1 = 2508 [mm]$$

Διόρθωση για το πλευρικό ύψος D_f

Για το υπό μελέτη πλοίο θα θεωρηθεί ως πάχος του ελάσματος της υδροροής η τιμή $t_f = 14 [mm]$. Οπότε, το πλευρικό ύψος προκύπτει:

$$D_f = D + t_f$$

$$D_f = 16.28 + 0.014 = 16.294 [m]$$

Ακόμη, ισχύει ότι:

$$\frac{L}{15} = \frac{169.42}{15} = 11.295$$

Άρα:

$$D_f > \frac{L}{15}$$

Οπότε, στην περίπτωση αυτή απαιτείται προσαύξηση κατά:

$$\left(D_f - \frac{L}{15}\right) \cdot R$$

Όπου:

$$R = \begin{cases} \frac{L}{0.48}, & L < 120 [m] \\ 250, & L > 120 [m] \end{cases}$$

Επομένως, στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου ($L > 120 [m]$) $R = 250$ και η προσαύξηση προκύπτει:

$$\left(D_f - \frac{L}{15}\right) \cdot R = (16.294 - 11.295) \cdot 250$$

$$\left(D_f - \frac{L}{15}\right) \cdot R = 1249.8 [mm]$$

Άρα, η διόρθωση του ύψους εξάλλων είναι:

$$YE_2 = YE_1 + \left(D_f - \frac{L}{15}\right) \cdot R$$

$$YE_2 = 2508 + 1249.8$$

$$YE_2 = 3757.8 [mm]$$

Διόρθωση για υπερκατασκευές και πυργωτά υπερκατασκευάσματα

Αρχικά, θα πρέπει να γίνει ο έλεγχος του ελάχιστου ύψους πλώρας. Το υπό μελέτη πλοίο έχει μήκος $L < 250 [m]$ οπότε το ελάχιστο ύψος πλώρας υπολογίζεται ως εξής:

$$EYΠ = 56 \cdot L \cdot \left(1 + \frac{L}{500}\right) \cdot \frac{1.36}{C_{B(0.85D)} + 0.68}$$

$$EYΠ = 56 \cdot 169.42 \cdot \left(1 + \frac{169.42}{500}\right) \cdot \frac{1.36}{0.823 + 0.68}$$

$$EYΠ = 5675 [mm]$$

Το ύψος εξάλλων στην πωραία κάθετο του υπό μελέτη πλοίου υπολογίζεται:

$$(D_f - T_{design}) + h_{\text{πρόστεγο}} = (16.294 - 11.3) + 2.98 = 7.974 [m] > EYΠ$$

Άρα, το ελάχιστο ύψος πλώρας τηρεί την παραπάνω προϋπόθεση και δεν απαιτείται κάποια αλλαγή στο πρόστεγο του πλοίου.

Σε αυτό το σημείο, γίνεται υπολογισμός για το συνολικό δρών μήκος των υπερκατασκευών (το πλοίο δε διαθέτει υπερστεγάσματα με βάση το πατρικό πλοίο). Με τη βοήθεια του σχεδίου γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου και με βάση τους λόγους των διαστάσεων μεταξύ πατρικού και υπό μελέτη πλοίου τα στοιχεία των υπερκατασκευών προκύπτουν:

Υπερκατασκευές	Μήκος l [m]	Ύψος h [m]	Πλάτος b [m]
A DECK	18.57	2.43	31.00
Πρόστεγο	10.45	2.98	10.48

Πίνακας 11-2: Διαστάσεις υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου.

*** Το πλάτος για το πρόστεγο μετριέται στο μέσον του μήκους του.

Το κανονικό ύψος υπερκατασκευής για μήκος $L = 169.42 > 125 [m]$ είναι $h_N = 2.30 [m]$ και ισχύει ότι οι υπερκατασκευές του υπό μελέτη πλοίου εκτείνονται σε όλο το πλάτος του πλοίου. Οπότε:

$$\frac{h}{h_N} > 1 \text{ και } \frac{b}{B} = 1$$

Αυτό ισχύει και για τις δύο υπερκατασκευές που διαθέτει το υπό μελέτη πλοίο, άρα δεν απαιτείται καμία διόρθωση για το δρών μήκος E των υπερκατασκευών και ισχύει:

$$\frac{E}{L} = \frac{l_{ADECK} + l_{\text{πρόστεγο}}}{L} = \frac{18.57 + 10.45}{169.42}$$

$$\frac{E}{L} = 0.171$$

Από τη Διεθνή σύμβαση και ανάλογα με το μήκος του πλοίου για δρών μήκος $1.0L$ ισχύει ο παρακάτω πίνακας για τη μείωση του ύψους εξάλλων:

Για $E/L=1$:	
L [m]	Μείωση [mm]
24	350
85	860
>122	1070

Πίνακας 11-3: Πίνακας μείωσης ύψους εξάλλων για το δρών μήκος $1.0L$.

Οπότε για το υπό μελέτη πλοίο όπου $L = 169.42 [m] > 122 [m]$ η μείωση είναι **1070 [mm]**. Όμως, το δρών μήκος δεν είναι στην πραγματικότητα $1.0L$ οπότε υπολογίζεται μείωση με βάση τον παρακάτω πίνακα:

E	Μείωση (%)
0	0
0.1L	7
0.3L	21
0.5L	41
0.7L	63
0.9L	87.7

Πίνακας 11-4: Πίνακας ποσοστών μείωσης ύψους εξάλλων για διάφορα δρών μήκη.

Οπότε με γραμμική παρεμβολή για $E = 0.171L$ το ποσοστό μείωσης του ύψους εξάλλων προκύπτει **10.68 %**.

Οπότε:

$$YE_3 = YE_2 - 0.1068 \cdot 1070$$

$$YE_3 = 3757.8 - 114.276$$

$$YE_3 = \mathbf{3643 [mm]}$$

Διόρθωση για σιμότητα

Με βάση το πατρικό πλοίο θα θεωρηθεί ότι και το υπό μελέτη πλοίο έχει μηδενική σιμότητα. Η κανονική σιμότητα που αντιστοιχεί στο υπό μελέτη πλοίο με βάση το μήκος του υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{NF} = 16.6750 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 16.6750 \cdot \left(\frac{169.42}{3} + 10\right) = 1108.44 [mm]$$

$$M_{NA} = 8.3375 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 8.3375 \cdot \left(\frac{169.42}{3} + 10\right) = 554.22 [mm]$$

Η έλλειψη σιμότητας υπολογίζεται ως ο μέσος όρος:

$$\Delta M = \frac{M_{NF} + M_{NA}}{2} = 831.33 [mm]$$

Έλλειψη σιμότητας σημαίνει ότι το ύψος εξάλλων πρέπει να αυξηθεί. Η προσαύξηση υπολογίζεται:

$$\left(0.75 - \frac{S}{2L}\right) \cdot \Delta M = (0.75 - 0.0855) \cdot 831.33 = \mathbf{362.1 [mm]}$$

Οπότε:

$$YE_4 = YE_3 + 362.1$$

$$YE_3 = 3643 + 362.1$$

$$\mathbf{YE_3 = 4005 [mm]}$$

Συνεπώς το τελικό ύψος εξάλλων που προκύπτει είναι:

$$\mathbf{YE = 4005 [mm]}$$

Έλεγχος βύθιματος

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα πλευσης προκύπτει:

$$T_{max} = D_f - YE$$

$$T_{max} = 16.294 - 4.005$$

$$\mathbf{T_{max} = 12.289 [m] > T_{design}}$$

Οπότε, εφόσον το βύθισμα σχεδίασης $T_{design} = 11.3 [m]$ είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα που προέκυψε παραπάνω το πλοίο ικανοποιεί τους κανονισμούς της Διεθνούς Σύμβασης της Γραμμής Φορτώσεως.

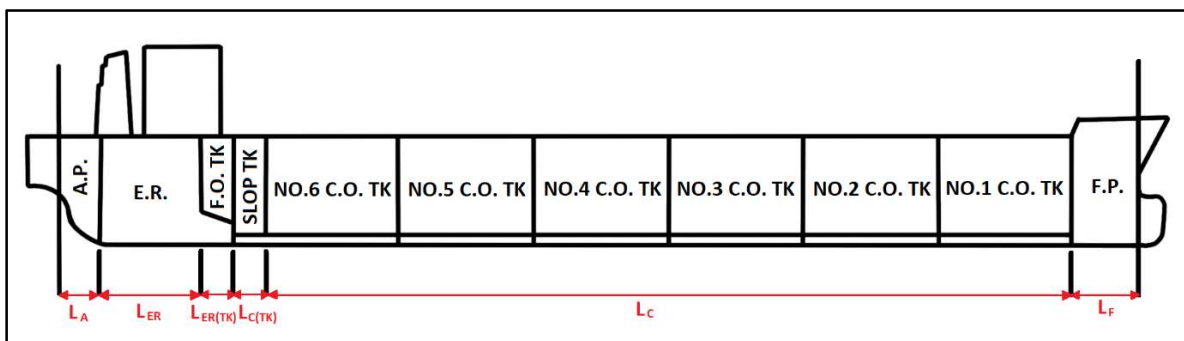
12. Έλεγχος χωρητικότητας φορτίου

12.1 Διαμερισματοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της χωρητικότητας του όγκου όσον αφορά στις δεξαμενές φορτίου (*Cargo Tanks*) και έρματος (*Ballast Tanks*) χρησιμοποιώντας το σχέδιο γενικής διάταξης και το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου. Η μέθοδος αυτή είναι προσεγγιστική και ενδέχεται να παρουσιάζει αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Σε επόμενο κεφάλαιο που θα κατασκευαστεί το τρισδιάστατο σχέδιο, θα γίνει ο υπολογισμός της χωρητικότητας των δεξαμενών με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο σημείο αυτό, λαμβάνονται μετρήσεις για τους χώρους του πλοίου από το σχέδιο γενικής διάταξης όπου:

- L_F : Από την προραία κάθετο (*F.P.*) μέχρι την προραία στεγανή φρακτή συγκρούσεως.
- L_C : Από την προραία φρακτή των δεξαμενών φορτίου μέχρι την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών φορτίου.
- $L_{C(TANKS)}$: Από την προραία φρακτή των *Slop Tanks* έως την πρυμναία φρακτή των *Slop Tanks*.
- $L_{ER(TANKS)}$: Από την προραία φρακτή των *F.O. Tanks* έως την πρυμναία φρακτή των *F.O. Tanks*.
- L_{ER} : Από την πρυμναία φρακτή των *F.O. Tanks* έως την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου.
- L_A : Από την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου έως την πρυμναία κάθετο (*A.F.*).

Στο παρακάτω σκαρίφημα παρουσιάζεται η διαμερισματοποίηση των τμημάτων κατά μήκος του πλοίου:



Εικόνα 12-1: Σκαρίφημα κατά μήκος διαμερισματοποίησης του πλοίου.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Ενώ στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι τιμές όπως μετρήθηκαν από τα αντίστοιχα σχέδια για το πατρικό πλοίο, καθώς επίσης και το ποσοστό % του κάθε τμήματος ως προς το συνολικό μήκος μεταξύ καθέτων:

L_A [m]	L_{ER} [m]	$L_{ER}(TK)$ [m]	$L_C(STK)$ [m]	L_C [m]	L_F [m]
8.6	22.4	3	3.31	126.24	11.6

TOTAL L_{pp} [m]
175.15

L_A [% L_{pp}]	L_{ER} [% L_{pp}]	$L_{ER}(TK)$ [% L_{pp}]	$L_C(STK)$ [% L_{pp}]	L_C [% L_{pp}]	L_F [% L_{pp}]
4.91	12.79	1.71	1.89	72.08	6.62

Πίνακας 12-1: Διαστάσεις των τμημάτων του πατρικού πλοίου σε [m] και ως ποσοστά του ολικού μήκους.

Με βάση τα ποσοστά υπολογίζονται οι διαστάσεις των τμημάτων για το υπό μελέτη πλοίο όπως φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

L_A [m]	L_{ER} [m]	$L_{ER}(TK)$ [m]	$L_C(STK)$ [m]	L_C [m]	L_F [m]
8.32	21.67	2.90	3.20	122.11	11.22

TOTAL L_{pp} [m]
169.42

L_A [% L_{pp}]	L_{ER} [% L_{pp}]	$L_{ER}(TK)$ [% L_{pp}]	$L_C(STK)$ [% L_{pp}]	L_C [% L_{pp}]	L_F [% L_{pp}]
4.91	12.79	1.71	1.89	72.08	6.62

Πίνακας 12-2: Διαστάσεις των τμημάτων του υπό μελέτη πλοίου σε [m].

12.2 Ύψος διπυθμένου

Ο υπολογισμός του ύψους διπυθμένου πραγματοποιείται με βάση τις οδηγίες των νηογνωμόνων και τους κανονισμούς της *MARPOL*, όπου για δεξαμενόπλοια με χωρητικότητα > 5000 [t] *DWT* το ύψος του διπυθμένου λαμβάνεται:

$$h_{DB} = \min\left(\frac{B}{15}, 2\right), h_{DB} \geq 1 \text{ [m]}$$

Για το υπό μελέτη πλοίο ισχύει:

$$h_{DB} = \min\left(\frac{31}{15}, 2\right) = \min(2.07, 2)$$

$$h_{DB} = 2 \text{ [m]}$$

12.3 Πλάτος πλευρικών δεξαμενών

Με βάση τις οδηγίες των νηογνωμόνων και τους κανονισμούς της *MARPOL*, όπου για δεξαμενόπλοια με χωρητικότητα > 5000 [t] *DWT* το πλάτος των πλευρικών δεξαμενών λαμβάνεται:

$$W_{DH} = \min\left(0.5 + \frac{DWT}{20000}, 2\right), W_{DH} \geq 1 \text{ [m]}$$

Για το υπό μελέτη πλοίο ισχύει:

$$W_{DH} = \min\left(0.5 + \frac{DWT}{20000}, 2\right) = \min(2.5, 2) \Rightarrow W_{DH} = 2 \text{ [m]}$$

12.4 Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών φορτίου (Cargo Tanks)

Ο υπολογισμός του όγκου των δεξαμενών φορτίου πραγματοποιείται με τη μέθοδο του κυβικού συντελεστή C_{VC} ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{VC} = \frac{\nabla_C^{100\%}}{L_C \cdot B_C \cdot D_C}$$

Όπου:

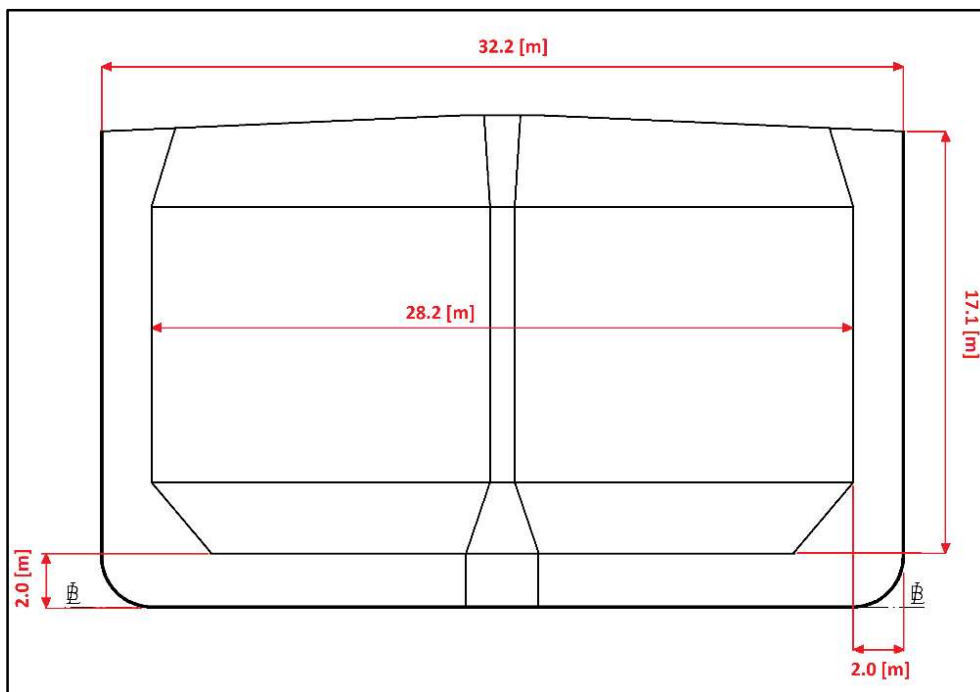
$\nabla_C^{100\%}$: Όγκος των δεξαμενών φορτίου (ανακτήθηκε από *Capacity Plan*).

L_C : Ολικό μήκος των δεξαμενών φορτίου (μετρήθηκε από *Capacity Plan*).

B_C : Πλάτος των δεξαμενών φορτίου (μετρήθηκε από *Capacity Plan*).

D_C : Κοίλο των δεξαμενών φορτίου (μετρήθηκε από *Capacity Plan*).

Οι παραπάνω διαστάσεις φαίνονται στο σκαρίφημα που ακολουθεί:



Εικόνα 12-2: Σκαρίφημα μέσης τομής του πατρικού πλοίου.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Οπότε ο κυβικός συντελεστής προκύπτει:

$$C_{VC} = \frac{\nabla_C^{100\%}}{L_C \cdot B_C \cdot D_C}$$

$$C_{VC} = \frac{54381.7}{129.55 \cdot 28.2 \cdot 17.1} = \mathbf{0.871}$$

Για το υπό μελέτη πλοίο ισχύει:

$$L_C = 125.31 [m]$$

$$B_C = B - 2 \cdot W_{DH} = 31.0 - 2 \cdot 2 = 27 [m]$$

$$D_C = D - h_{DB} = 16.28 - 2 = 14.28 [m]$$

Επομένως, ο όγκος των δεξαμενών φορτίου $\nabla_C^{100\%}$ με βάση τον κυβικό συντελεστή του πατρικού πλοίου υπολογίζεται:

$$\nabla_C^{100\%} = C_{VC} \cdot L_C \cdot B_C \cdot D_C$$

$$\nabla_C^{100\%} = 0.871 \cdot 125.31 \cdot 27 \cdot 14.28$$

$$\nabla_C^{100\%} = 42058.5 [m^3]$$

Οπότε με δεδομένο το βάρος του φορτίου από προηγούμενο κεφάλαιο και με βάση τη φόρτωση των δεξαμενών στο 98% της πληρότητας τους υπολογίζεται μέγιστο ειδικό βάρος του φορτίου.

$$\gamma_{cargo} = \frac{W_{LO}}{0.98 \cdot \nabla_C^{100\%}} = \frac{40216.9}{0.98 \cdot 42058.5}$$

$$\gamma_{cargo} = 0.976 \left[\frac{t}{m^3} \right]$$

12.5 Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών έρματος (*Ballast Tanks*)

Σύμφωνα με τη *MARPOL* ορίζεται το ελάχιστο βύθισμα για κάθε δεξαμενόπλοιο με σκοπό την ασφαλή λειτουργία του. Παρακάτω θα εξεταστεί το βύθισμα στη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης που είναι η *Ballast Arrival*. Στην κατάσταση αυτή οι δεξαμενές φορτίου είναι άδειες, ενώ οι δεξαμενές έρματος είναι 100% πληρωμένες και τα αναλώσιμα βάρη βρίσκονται στο 10%. Το ελάχιστο βύθισμα που ορίζει η *MARPOL* υπολογίζεται ως εξής:

$$T_{MIN} \geq 2 + 0.02 \cdot L_{PP} = 2 + 0.02 \cdot 169.42$$

$$T_{MIN} \geq 5.39 [m]$$

Με βάση το παραπάνω βύθισμα γίνεται υπολογισμός του συντελεστή γάστρας με τη βοήθεια του παρακάτω προσεγγιστικού τύπου:

$$C_{B(T_{MIN})} = C_B \cdot \left(\frac{T_{MIN}}{T_D} \right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = 0.81 \cdot \left(\frac{5.39}{11.3} \right)^{\frac{0.874}{0.81} - 1}$$

$$C_{B(T_{MIN})} = 0.764$$

Το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο παραπάνω βύθισμα υπολογίζεται:

$$\Delta_{(T_{MIN})} = L_{PP} \cdot B \cdot T_{MIN} \cdot C_{B(T_{MIN})} \cdot \gamma_{SW} = 169.42 \cdot 31 \cdot 5.39 \cdot 0.764 \cdot 1.025$$

$$\Delta_{(T_{MIN})} = 22160.7 [t]$$

Έτσι, από την εξίσωση του εκτόπισματος μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα έρματος που αντιστοιχεί στο παραπάνω εκτόπισμα:

$$WB_{(MIN)} = \Delta_{(TMIN)} - W_{LS}$$

$$WB_{(MIN)} = 22160.7 - 9197$$

$$WB_{(MIN)} = 12963.7 [t]$$

Οπότε:

$$\nabla_{WB(MIN)} = \frac{WB_{MIN}}{\gamma_{SW}} = \frac{12963.7}{1.025}$$

$$\nabla_{WB(MIN)} = 12647.5 [m^3]$$

Συνεπώς ο όγκος των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από την παραπάνω τιμή για να ικανοποιείται ο κανονισμός της *MARPOL*. Στο σημείο αυτό, όπως και στον υπολογισμό της χωρητικότητας των δεξαμενών φορτίου, με τη βοήθεια κυβικών συντελεστών θα γίνει προσέγγιση του όγκου των δεξαμενών έρματος για το υπό μελέτη πλοίο. Για τον υπολογισμό των κυβικών συντελεστών είναι απαραίτητες οι παρακάτω τιμές από το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου:

$$\nabla_C^{100\%} = 54381.7 [m^3] \quad : \text{Όγκος δεξαμενών φορτίου (100\% πληρότητα).}$$

$$\nabla_{FO} = 1309.6 [m^3] \quad : \text{Όγκος δεξαμενών καυσίμου (100\% πληρότητα).}$$

$$\nabla_{WB(WING)} = 19936.8 [m^3] \quad : \text{Όγκος πλευρικών δεξαμενών έρματος (100\% πληρότητα).}$$

$$\nabla_{WB(FP)} = 1059.1 [m^3] \quad : \text{Όγκος προωραίας δεξαμενής έρματος (100\% πληρότητα).}$$

$$\nabla_{WB(AP)} = 967.9 [m^3] \quad : \text{Όγκος πρυμναίας δεξαμενής έρματος (100\% πληρότητα).}$$

$$L_C = 129.55 [m] \quad : \text{Ολικό μήκος των δεξαμενών φορτίου.}$$

$$L_{FP} = 15.45 [m] \quad : \text{Μήκος προωραίας δεξαμενής έρματος.}$$

$$L_{AP} = 7.8 [m] \quad : \text{Μήκος πρυμναίας δεξαμενής έρματος.}$$

Οπότε οι κυβικοί συντελεστές προκύπτουν:

$$C_{VWB(WING)} = \frac{\nabla_C^{100\%} + \nabla_{WB(WING)} + \nabla_{FO}}{L_C \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(WING)} = 0.949$$

$$C_{VWB(FP)} = \frac{\nabla_{WB(FP)}}{L_C \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(FP)} = 0.148$$

$$C_{VWB(AP)} = \frac{\nabla_{WB(AP)}}{L_C \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(AP)} = 0.183$$

Με βάση τους παραπάνω συντελεστές υπολογίζεται ο όγκος των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου.

Ο όγκος των δεξαμενών καυσίμων για το υπό μελέτη πλοίο υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο:

$$V_{FO(Y)} = V_{FO(\Pi)} \cdot \frac{D_{C(Y)} \cdot D_{C(Y)}}{D_{C(\Pi)} \cdot D_{C(\Pi)}} \Rightarrow V_{FO(Y)} = 1047 [m^3]$$

Οπότε, με βάση τα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα προσεγγίζεται ο όγκος των δεξαμενών έρματος:

Στοιχεία υπό μελέτη πλοίου	
Lc [m]	125.31
LFP [m]	7.54
LAP [m]	14.94
Vc [m ³]	42058.5
Vfo [m ³]	1047

Πίνακας 12-3: Στοιχεία για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου.

Όγκος δεξαμενών έρματος που περιβάλλουν τις δεξαμενές φορτίου:

$$V_{WB(WING)} = C_{V_{WB(WING)}} \cdot L_C \cdot B \cdot D - V_C^{100\%} - V_{FO} \Rightarrow V_{WB(WING)} = 16923.9 [m^3]$$

$$V_{WB(FP)} = C_{V_{WB(FP)}} \cdot L_C \cdot B \cdot D \Rightarrow V_{WB(FP)} = 840.6 [m^3]$$

$$V_{WB(AP)} = C_{V_{WB(AP)}} \cdot L_C \cdot B \cdot D \Rightarrow V_{WB(AP)} = 768.3 [m^3]$$

Οπότε, ο συνολικός όγκος των δεξαμενών έρματος για το υπό μελέτη πλοίο υπολογίζεται:

$$V_{WB(TOTAL)} = V_{WB(WING)} + V_{WB(FP)} + V_{WB(AP)}$$

$$V_{WB(TOTAL)} = 18532.8 [m^3]$$

Με βάση την προσέγγιση που έγινε παραπάνω ισχύει:

$$V_{WB(TOTAL)} > V_{WB(MIN)}$$

Οπότε, το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τον κανονισμό για το απαιτούμενο έρμα που ορίζει η MARPOL. Σε επόμενο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος με μεγαλύτερη ακρίβεια με βάση το τρισδιάστατο σχέδιο του υπό μελέτη πλοίου.



13. Τελική μελέτη και σχεδίαση

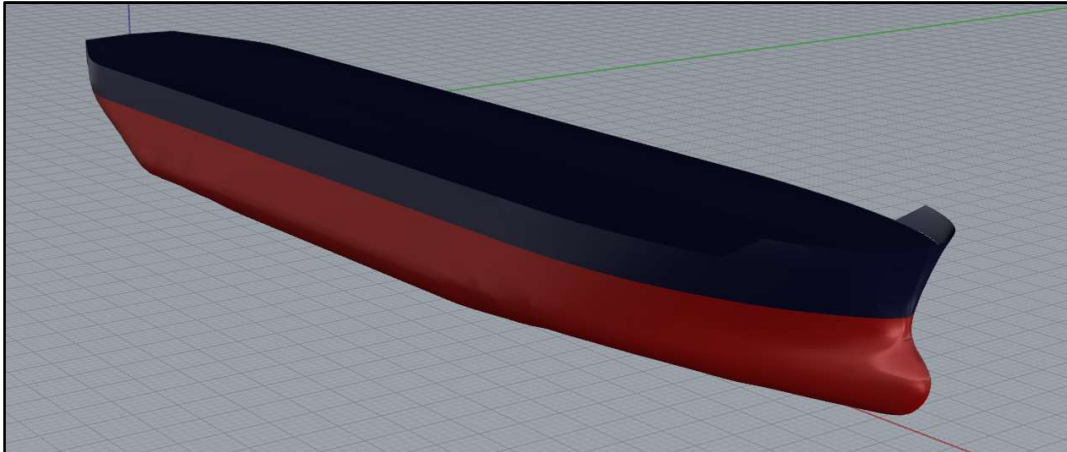
Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και σχεδίαση του υπό μελέτη πλοίου καθώς επίσης και η εξαγωγή του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών του με τη βοήθεια του προγράμματος *Rhinoceros 3D* [Πηγή: <https://www.rhino3d.com/download/>]. Λόγω απουσίας του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών του πατρικού πλοίου, για την κατασκευή του υπό μελέτη πλοίου χρησιμοποιήθηκε το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών ενός άλλου παρόμοιου *Product Carrier* (πατρικό πλοίο *B'*).

13.1 Διαδικασία σχεδίασης της γάστρας

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση της γάστρας με βάση το σχέδιο γραμμών του πατρικού πλοίου *B'* περιγράφεται περιληπτικά παρακάτω, ενώ υπάρχει και αναλυτικά στο παράρτημα:

1. Στο *Body Plan* πραγματοποιούνται μετρήσεις των ημιπλατών σε κάθε ίσαλο για κάθε νομέα και κατασκευάζεται ο πίνακας με τα *Offsets*.
2. Εισάγονται τα σημεία στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*.
3. Τα σημεία διαστασιοποιούνται με βάση τις διαστάσεις του πατρικού πλοίου *B'* με την εντολή *ScaleNU*.
4. Κατασκευάζονται οι καμπύλες που περνούν από τα σημεία για κάθε νομέα ελέγχοντας την καμπυλότητα τους και διορθώνοντας τυχόν ατέλειες.
5. Σχεδιάζεται η καμπύλη του καταστρώματος στο ύψος 16.88 [m] (με σκοπό να αποκοπεί αργότερα λόγω της κυρτότητας του καταστρώματος $b = 0.55$ [m]).
6. Κατασκευάζεται η επιφάνεια της γάστρας και γίνεται έλεγχος της καμπυλότητας της επιφάνειας για ακμές και ανωμαλίες.
7. Πραγματοποιείται εξομάλυνση στα σημεία που απαιτείται.
8. Λαμβάνοντας υπόψη την κυρτότητα (*camber*) που παρουσιάζει το κατάστρωμα γίνεται αποκοπή με την κατάλληλη κλίση.
9. Κατασκευάζεται το συμμετρικό τμήμα του πλοίου με την εντολή *Mirror*.
10. Όλες οι επιφάνειες ενώνονται με την εντολή *Join*.
11. Με την εντολή *ShowEdges* εμφανίζονται οι ακμές των επιφανειών των οποίων δεν ήταν δυνατή η ένωση λόγω πιθανού διάκενου που υπήρχε μεταξύ τους.
12. Με την εντολή *JoinEdges* πραγματοποιείται η ένωση των παραπάνω διάκενων στη γάστρα του πλοίου.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ολοκληρωμένη μορφή της τρισδιάστατης γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*:



Εικόνα 13-1: Ολοκληρωμένη μορφή της τρισδιάστατης γάστρας του υπό μελέτη πλοίου.
[Πηγή: Αρχιαιακό υλικό]

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται τα βασικά υδροστατικά με το εργαλείο *Hydrostatics* που περιέχει το πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*. Για βύθισμα $T=11.3$ [m] προκύπτουν:

- *Volume Displacement* $\nabla = 47895.9$ [m³]
- *Longitudinal Center of Buoyancy* $LCB = 82.84$ [m]
- *Vertical Center of Buoyancy* $VCB = 6.01$ [m]
- *Wetted Surface Area* $S_W = 7724.99$ [m²]
- *Waterline Length* $L_W = 173.354$ [m]
- *Maximum Waterline Beam* $B_{W(max)} = 31.00$ [m]
- *Water Plane Area* $A_W = 4841.1$ [m²]
- *Longitudinal Center of Floatation* $LCF = 79.918$ [m]
- *Vertical Center of Floatation* $VCF = 11.3$ [m]

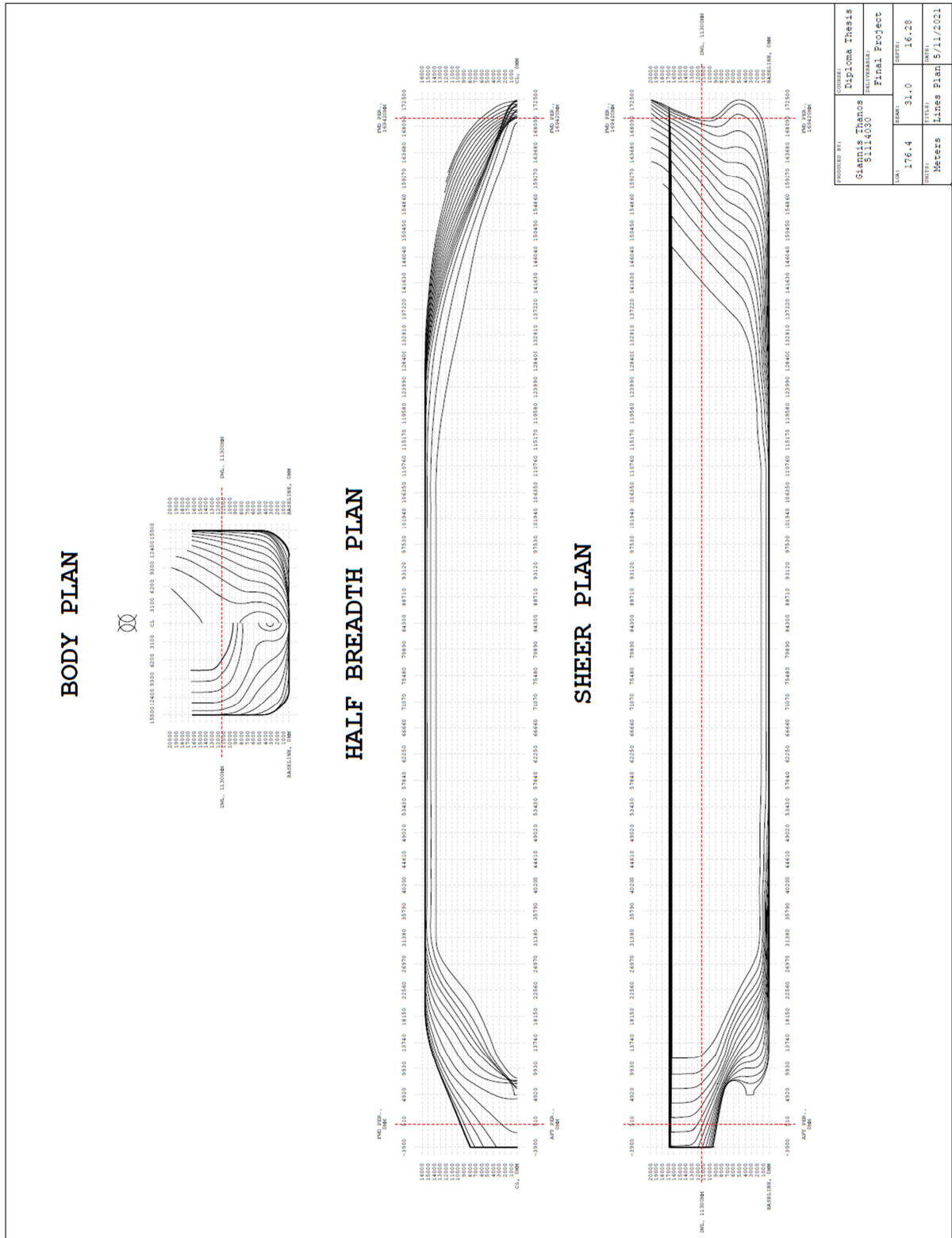
Ακόμη, υπολογίζεται η απόκλιση του όγκου εκτοπίσματος που προέκυψε από το σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* από τον όγκο εκτοπίσματος που προέκυψε στην αρχική εκτίμηση των διαστάσεων του πλοίου:

$$\delta\nabla = \left| \frac{\nabla_R - \nabla_\alpha}{\nabla_R} \cdot 100 \right| = \left| \frac{47895.9 - 48644}{47895.9} \right|$$

$$\delta\nabla = 1.57 \%$$

Η διαφορά αυτή θεωρείται αποδεκτή.

Αφού ολοκληρώθηκε η σχεδίαση της γάστρας, στο σημείο αυτό κατασκευάζεται το σχέδιο γραμμών του υπό μελέτη πλοίου στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*.



Εικόνα 13-2: Σχέδιο γραμμών του υπό μελέτη πλοίου.

13.2 Υδροστατικό διάγραμμα

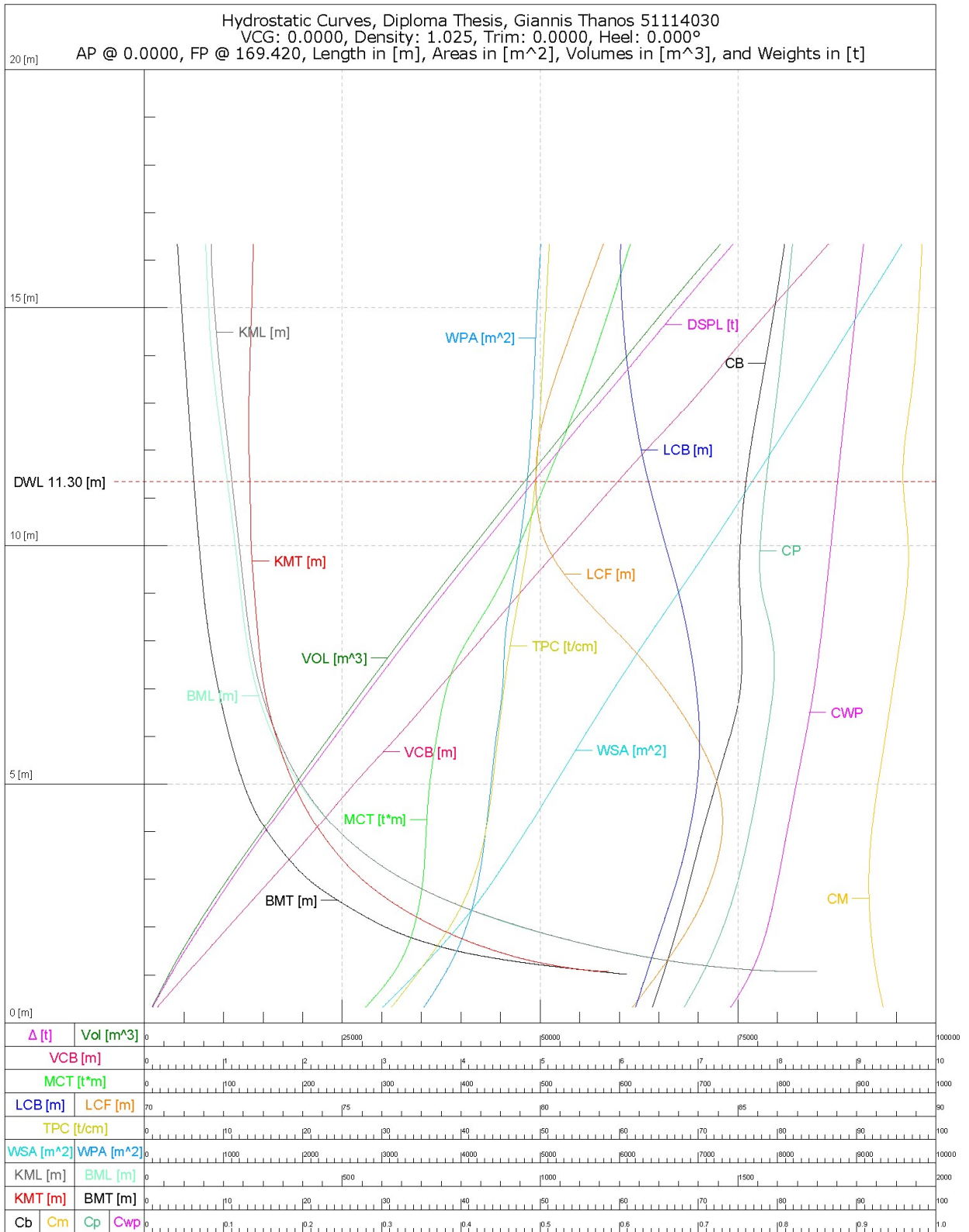
Το υδροστατικό διάγραμμα (*Hydrostatic Diagram*) ενός πλοίου αποτελείται από ένα σύνολο καμπυλών, που παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία, για τον υπολογισμό ισορροπίας του στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης. Ο κατακόρυφος άξονας του διαγράμματος περιλαμβάνει τα βυθίσματα του πλοίου και ο οριζόντιος τα υδροστατικά στοιχεία του για τα διάφορα βυθίσματα (Τζαμπίρας, 2015). Το υδροστατικό διάγραμμα:

1. Εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωμετρία του πλοίου και είναι ανεξάρτητο από την κατανομή των βαρών του.
2. Κατασκευάζεται για μια συγκεκριμένη διαγωγή. Για την περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου το οποίο πλέει ισοβύθιστο επιλέγεται μηδενική διαγωγή ($t = 0$)

Οι υδροστατικές καμπύλες σχεδιάζονται για τα εξής μεγέθη:

- Όγκος εκτοπίσματος (V) και εκτόπισμα του πλοίου (Δ) σε θαλασσινό νερό.
- Διαμήκης (LCB) και κατακόρυφη θέση (VCB) του κέντρου άντωσης.
- Διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας (LCF).
- Μεταβολή εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος (TPC).
- Ροπή διαγωγής ανά μονάδα μεταβολής βυθισμάτων (MCT).
- Εγκάρσια (BM_T) και διαμήκης (BM_L) μετακεντρική ακτίνα.
- Κατακόρυφη απόσταση του εγκάρσιου (KM_T) και του διάμηκες μετάκεντρου (KM_L).
- Εμβαδόν ισάλου (WPA).
- Εμβαδόν βρεχόμενης επιφάνειας (WSA).
- Συντελεστής γάστρας (C_B).
- Πρισματικός συντελεστής (C_P).
- Συντελεστής μέσης τομής (C_M).
- Συντελεστής ισάλου επιφανείας (C_{WP}).

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, για τον υπολογισμό του υδροστατικού διαγράμματος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *MAAT Hydro* με το οποίο υπολογίστηκαν οι τιμές των υδροστατικών μεγεθών για βυθίσματα από 0 έως 16.2 [m] με βήμα 0.1 [m]. Στη συνέχεια, με βάση τις τιμές αυτές, σχεδιάστηκε το υδροστατικό διάγραμμα στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και παρουσιάζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 13-1: Υδροστατικό διάγραμμα του υπό μελέτη πλοίου.

14. Μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται ο έλεγχος της εγκάρσιας ευστάθειας του πλοίου στις 4 βασικές καταστάσεις φόρτωσης με βάση τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας και τα κριτήρια καιρού του *IMO Resolution A.749(18)* τα οποία αναλύονται παρακάτω:

14.1 Ανάλυση κριτηρίων ασφαλείας του *IMO Resolution A.749(18)*

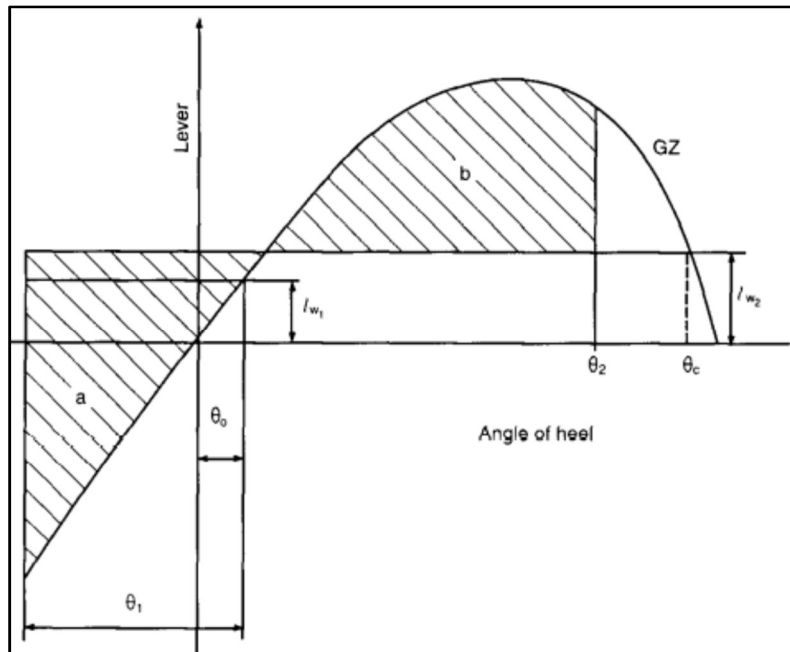
Τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.2 του κανονισμού *A.749(18)* του *IMO* είναι τα εξής:

1. Το εμβαδόν που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0.055 [*meter – radian*] μέχρι τη γωνία $\varphi = 30^\circ$ και όχι μικρότερο από 0.09 [*meter – 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 $\varphi = 30^\circ$ μέχρι $\varphi = 40^\circ$ δε θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.03 [*meter – radian*].
2. Για γωνίες $\varphi \geq 30^\circ$ θα πρέπει ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς να είναι τουλάχιστον $GZ = 0.20$ [*m*].
3. Θα πρέπει η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς να εμφανίζεται για γωνία $\varphi > 30^\circ$.
4. 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 *A.749(18)* του *IMO* περιγράφονται παρακάτω:

1. Το πλοίο εκτίθεται σε άνεμο πλάγιας κατεύθυνσης και σταθερής έντασης ο οποίος αντιστοιχεί σε σταθερό μοχλοβραχίονα επαναφοράς l_{W1} .
2. 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.
3. Το πλοίο δέχεται μια ριπή ανέμου πλάγιας κατεύθυνσης η οποία αντιστοιχεί σε μοχλοβραχίονα επαναφοράς l_{W2} .
4. Σε αυτές τις συνθήκες το εμβαδόν της επιφάνειας b θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το εμβαδόν της επιφάνειας a όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.
5. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών.



Διάγραμμα 14-1: Καμπύλη GZ-φ για τα κριτήρια καιρού.
[Πηγή IMO Instruments, 1993]

Τα μεγέθη που φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα 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 $\theta_2 = \min(\theta_f, \theta_c, 50^\circ)$

Οι μοχλοβραχίονες l_{w1}, l_{w2} υπολογίζονται ως εξής:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta}$$

$$l_{w2} = 1.5 \cdot l_{w1}$$

Όπου:

- $P = 504 [N/m^2]$, πίεση ανέμου σταθερής έντασης.
- $A =$ προβεβλημένη επιφάνεια του πλοίου πάνω από την ίσαλο.
- $Z =$ Κατακόρυφη απόσταση του κέντρου της προβεβλημένης επιφάνειας a έως το κέντρο της ολικής πλευρικής προβεβλημένης επιφάνειας του πλοίου.
- $\Delta =$ εκτόπισμα του πλοίου
- $g = 9.81 [m/s^2]$.

Η γωνία εγκάρσιας κλίσης έπειτα από κίνηση διατοιχισμού υπό την επίδραση κυματισμών υπολογίζεται ως εξής:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

Όπου:

- X_1, X_2 = Συντελεστές που λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα.
- $r = 0.73 \pm 0.6 \cdot OG/d$
 - ❖ OG = απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και της ισάλου επιφανείας.
 - ❖ d = μέσο βύθισμα του πλοίου.
- s, k = Συντελεστές που λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα.
- A_k = Εμβαδόν τρόπιδας.

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

$\frac{A_k \times 100}{L \times B}$	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 14-1: Πίνακες συντελεστών για το κριτήριο καιρού.
[Πηγή IMO, A.749(18), 1993]

Για τους πίνακες, η ιδιοπερίοδος της ταλάντωσης για την κίνηση του διατοιχισμού (T) υπολογίζεται ως εξής:

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

Όπου:

$$C = 0.373 + 0.023 \cdot \left(\frac{B}{d}\right) - 0.043 \cdot \left(\frac{L_{WL}}{100}\right)$$

14.2 Διαμερισματοποίηση

Στο σημείο αυτό με βάση το σχέδιο γενικής διάταξης και το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου και τους λόγους διαστάσεων, σχεδιάζονται στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* οι δεξαμενές του υπό μελέτη πλοίου που καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό όγκου και έχουν σημαντική επίδραση στην ευστάθεια του πλοίου.

Για τη σχεδίαση των δεξαμενών η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

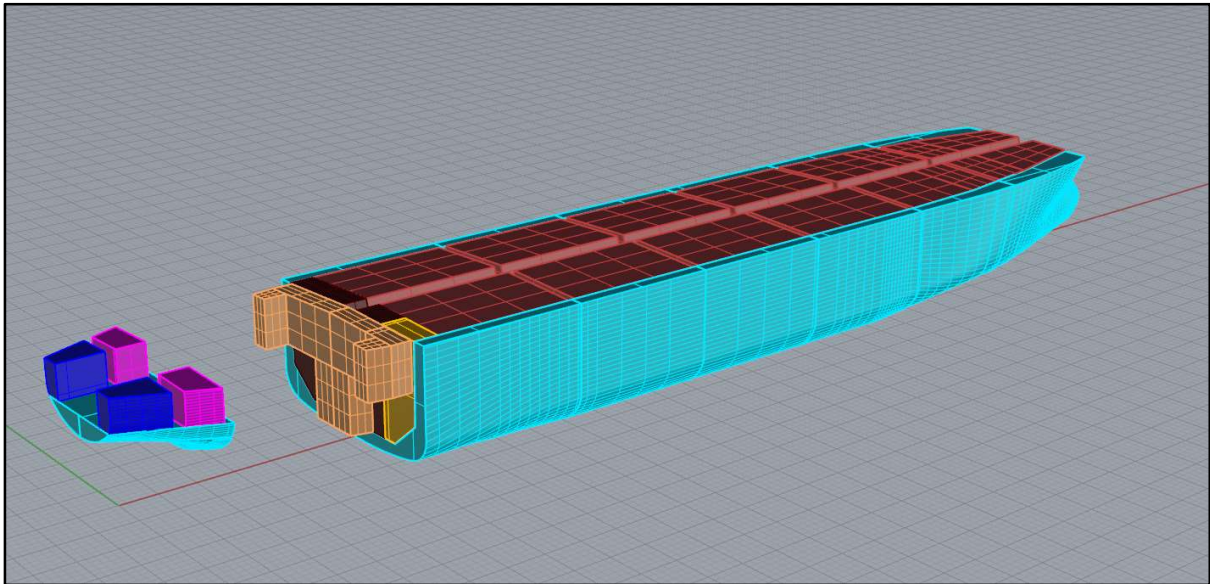
1. Αρχικά, μετρήθηκαν οι διαστάσεις της κάθε δεξαμενής κατά το διάμηκες επίπεδο και με βάση τους λόγους διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου προς εκείνες του πατρικού προσδιορίστηκε η διαμήκης θέση της κάθε δεξαμενής.
2. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των δύο σχεδίων (σχέδιο γενικής διάταξης και *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου) σχεδιάστηκαν οι δεξαμενές χρησιμοποιώντας επίπεδα (*Planes*) αλλά και την επιφάνεια του περιβλήματος του πλοίου (για τις δεξαμενές έρματος).

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με χρωματική κωδικοποίηση για όλες τις βασικές δεξαμενές που σχεδιάστηκαν ο οποίος περιλαμβάνει για κάθε δεξαμενή: τη διαμήκη θέση του ακροπρωαίου σημείου (x_{min}), τη διαμήκη θέση του ακροπρυμναίου σημείου (x_{max}) και τη θέση του κέντρου βάρους ανάλογα με την πληρότητά της. Οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει με βάση τα αποτελέσματα που αναλύονται στην παράγραφο 12.1.

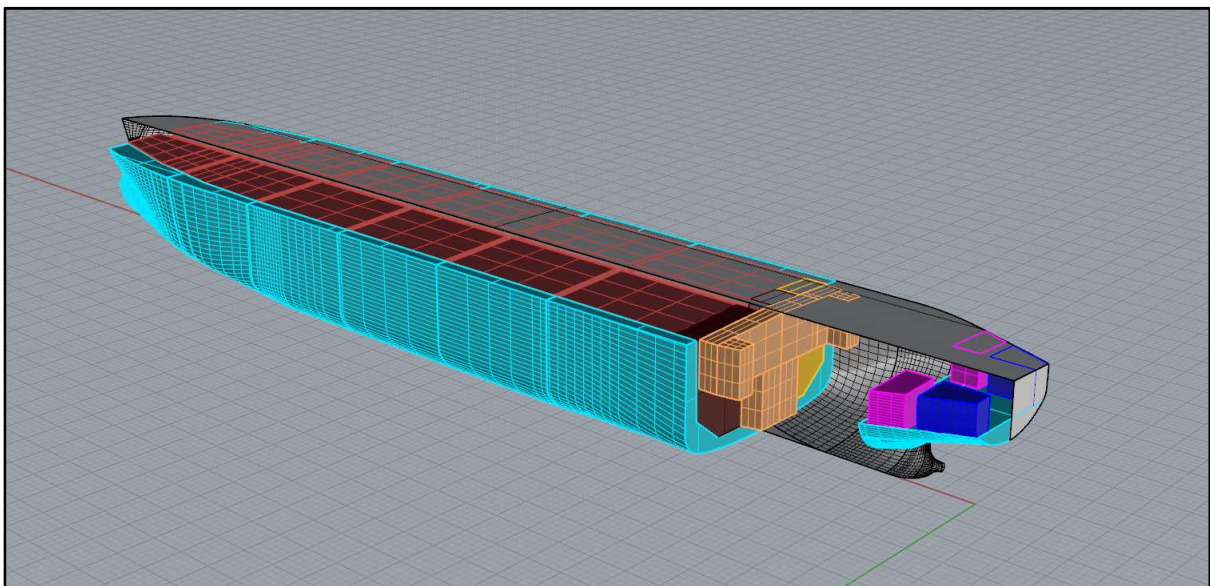
Tank	x_{min} [m]	x_{max} [m]	G_x [m]	G_y [m]	G_z (100% πληρότητα) [m]	G_z (98% πληρότητα) [m]	G_z (10% πληρότητα) [m]
No 1 C.O. TK (S)	137.699	158.200	146.726	-4.67	-	9.768	-
No 1 C.O. TK (P)	137.699	158.200	146.726	4.67	-	9.768	-
No 2 C.O. TK (S)	117.197	137.699	126.657	-6.63	-	9.2798	-
No 2 C.O. TK (P)	117.197	137.699	126.657	6.63	-	9.2798	-
No 3 C.O. TK (S)	96.695	117.197	106.384	-6.917	-	9.2608	-
No 3 C.O. TK (P)	96.695	117.197	106.384	6.917	-	9.2608	-
No 4 C.O. TK (S)	76.194	96.695	85.8826	-6.917	-	9.2616	-
No 4 C.O. TK (P)	76.194	96.695	85.8826	6.917	-	9.2616	-
No 5 C.O. TK (S)	55.692	76.194	65.3811	-6.917	-	9.2614	-
No 5 C.O. TK (P)	55.692	76.194	65.3811	6.917	-	9.2614	-
No 6 C.O. TK (S)	35.191	55.692	44.8817	-6.917	-	9.2631	-
No 6 C.O. TK (P)	35.191	55.692	44.8817	6.917	-	9.2631	-
R.O. TK (S)	31.822	35.191	33.5	-9.984	-	9.501	-
SLOP TK (S)	31.822	35.191	33.5	-3.735	-	9.1518	-
SLOP TK (P)	31.822	35.191	33.5	6.836	-	9.324	-
No 1 H.F.O. TK (S)	25.889	31.822	29.2819	-10.718	-	13.025	10.147
No 2 H.F.O. TK (S)	28.989	31.822	30.3814	-3.147	-	10.356	3.043
No 3 H.F.O. TK (P)	25.889	31.822	29.9373	6.215	-	11.421	3.7367
M.G.O. TK (S)	3.552	7.350	5.527	-8.636	-	14.273	12.347
M.G.O. TK (P)	3.522	7.350	5.527	8.363	-	14.273	12.347
F.W. TK (S)	-3.900	2.263	-0.4699	-7.09	14.36	-	12.365
F.W. TK (P)	-3.900	2.263	-0.4699	7.09	14.36	-	12.365
F.P. TK	158.200	172.500	163.046	0	3.082	-	-
No 1 W.B. TK (S)	137.200	158.200	147.182	-8.7785	7.788	-	-
No 1 W.B. TK (P)	137.200	158.200	147.182	8.7785	7.788	-	-
No 2 W.B. TK (S)	116.698	137.200	127.257	-10.5514	6.162	-	-
No 2 W.B. TK (P)	116.698	137.200	127.257	10.5514	6.162	-	-
No 3 W.B. TK (S)	96.196	116.698	106.912	-10.723	5.062	-	-
No 3 W.B. TK (P)	96.196	116.698	106.912	10.723	5.062	-	-
No 4 W.B. TK (S)	75.696	96.196	86.2819	-10.6991	5.118	-	-
No 4 W.B. TK (P)	75.696	96.196	86.2819	10.6991	5.118	-	-
No 5 W.B. TK (S)	55.193	75.685	65.792	-10.7	5.118	-	-
No 5 W.B. TK (P)	55.193	75.685	65.792	10.7	5.118	-	-
No 6 W.B. TK (S)	31.807	55.193	43.8282	-10.718	5.263	-	-
No 6 W.B. TK (P)	31.807	55.193	43.8282	10.718	5.263	-	-
A.P. TK	-3.900	8.351	3.7533	0	10.305	-	-

Πίνακας 14-2: Πίνακας διαστάσεων των δεξαμενών.

Οι δεξαμενές που σχεδιάστηκαν όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες είναι: Δεξαμενές φορτίου (κόκκινο), δεξαμενές *Slop* (καφέ), δεξαμενή *Residue oil* (χρυσό), δεξαμενές έρματος (γαλάζιο), δεξαμενές καυσίμων (πορτοκαλί), δεξαμενές *M.G. Oil* (μωβ) και δεξαμενές φρέσκου νερού (μπλε).



Εικόνα 14-1: Διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου (1/2).
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]



Εικόνα 14-2: Διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου (2/2).
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

14.3 Ακριβής έλεγχος χωρητικότητας φορτίου

Στο κεφάλαιο αυτό με δεδομένο το τρισδιάστατο σχέδιο και τους χώρους φορτίου, έρματος, καυσίμων και λιπαντικών καθώς επίσης και του φρέσκου νερού, θα γίνει σύγκριση της χωρητικότητας τους με τις τιμές από τους υπολογισμούς που έγιναν στο Κεφάλαιο 12.

Με τη βοήθεια της εντολής *Volume* στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* υπολογίστηκαν οι όγκοι των χώρων του υπό μελέτη πλοίου για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά και στο τέλος αθροιστικά και ανά ομάδες, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (δεξαμενές φορτίου, δεξαμενές έρματος, δεξαμενές καυσίμων, δεξαμενές *M.G.O.*, δεξαμενές φρέσκου νερού). Από το *Trim and Stability Booklet* του πατρικού πλοίου λαμβάνεται το ειδικό βάρος του περιεχομένου της κάθε δεξαμενής και γίνεται σύγκριση του βάρους του με τις τιμές που προέκυψαν από τους υπολογισμούς στο Κεφάλαιο 12 όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χώρος	Τιμή όγκου από υπολογισμούς	Πραγματική τιμή όγκου από σχέδιο	Μέγιστη πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Μέγιστο βάρος
	[m ³]	[m ³]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	42058.5	40620.3	98%	0.990	39409.8
Water Ballast tanks	18532.8	16003.0	100%	1.025	16403.1
H.F.O. Tanks	min = 420.8	766.8	98%	0.970	728.9
M.G.O. Tanks	min = 19.2	220.3	98%	0.850	183.5
Fresh Water Tanks	min = 38.5	216.0	100%	1.000	216.0
TOTAL	61069.8				56941.3

Πίνακας 14-3: Συγκριτικός πίνακας όγκου των χώρων του υπό μελέτη πλοίου (Υπολογισμοί - Τρισδιάστατο σχέδιο).

Οι τιμές του όγκου για τις δεξαμενές νερού και τις δεξαμενές καυσίμων και τις δεξαμενές λιπαντικών είναι μεγαλύτερες από τις ελάχιστες που υπολογίστηκαν.

Για το έρμα, με βάση το ελάχιστο έρμα (περιορισμός *MARPOL*) που υπολογίστηκε σύμφωνα με την προσέγγιση που έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο το υπό μελέτη πλοίο είναι εντός των ορίων. Όμως, θα γίνει αναλυτικός έλεγχος των βυθισμάτων (βύθισμα στην προωρία κάθετο – μέσο βύθισμα – βύθισμα στην πρυμναία κάθετο) με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* [Πηγή: <https://www.sistre-shipdesign-software.com/>]. Για να γίνει ο παραπάνω έλεγχος απαιτείται ο υπολογισμός της διαμήκουσ και κατακόρυφης θέσης του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου. Για τον υπολογισμό αυτό, γίνεται χρήση των λόγων διαστάσεων μεταξύ πατρικού-υπό μελέτη πλοίου.

Από το *Trim and Stability Booklet* του πατρικού πλοίου ισχύει ότι:

$$LCG_{\pi} = 74.435 [m]$$

$$VCG_{\pi} = 11.94 [m]$$

Συνεπώς, για το υπό μελέτη πλοίο θα ισχύει:

$$LCG_v = LCG_{\pi} \cdot \frac{L_{\pi}}{L_v} = 74.435 \cdot 0.967 \Rightarrow LCG_v = 71.979 [m]$$

$$VCG_v = VCG_{\pi} \cdot \frac{D_{\pi}}{D_v} = 11.94 \cdot 0.852 \Rightarrow VCG_v = 10.134 [m]$$

Οπότε, στο σημείο αυτό, με γνωστό το βάρος του άφορτου πλοίου και με τη χρήση του προγράμματος *MAAT Hydro* για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης, που είναι η *Ballast Arrival*, όπου οι δεξαμενές φορτίου είναι άδειες, ενώ οι δεξαμενές έρματος 100% πληρωμένες και τα αναλώσιμα βάρη βρίσκονται στο 10%, τα βυθίσματα για το υπό μελέτη πλοίο προέκυψαν:

Ta [m]	Tm [m]	Tf [m]	Tmarpol [m]	Trim Marpol < 0.015L [m]
6.090	6.072	6.053	5.390	2.541
Trim [m]				
0.037				

Πίνακας 14-4: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης και περιορισμού MARPOL.

Στο σημείο αυτό και εφόσον ο περιορισμός που θέτει η *MARPOL* ικανοποιείται στο υπό μελέτη πλοίο δεν απαιτείται καμία αλλαγή στον όγκο των δεξαμενών έρματος.

14.3.1 Υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* θα υπολογιστούν οι καμπύλες ευστάθειας για τις 4 βασικές καταστάσεις φόρτωσης:

1. Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Αναχώρηση (*Full Load - Departure*)
2. Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (*Full Load - Arrival*)
3. Κατάσταση ερματισμού – Αναχώρηση (*Ballast - Departure*)
4. Κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (*Ballast - Arrival*)

Για τις παραπάνω καταστάσεις θα ληφθούν υπόψη οι βασικές δεξαμενές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα με το αντίστοιχο ποσοστό πλήρωσής τους ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσης που εξετάζεται. Ακόμη, θα θεωρηθεί ότι οι δεξαμενές έχουν διαχωρητικότητα 95% λόγω των ενισχυτικών που περιλαμβάνονται σε αυτές:

Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Μέγιστη πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Μέγιστο βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	39423.0	95%	98%	0.990	36335.8
Slop Tanks	901.9	95%	98%	0.990	831.3
R.O. Tank	294.7	95%	98%	0.990	271.6
Water Ballast tanks	16003.0	95%	100%	1.025	15582.9
H.F.O. Tanks	766.8	95%	98%	0.970	692.5
M.G.O. Tanks	220.3	95%	98%	0.850	174.4
Fresh Water Tanks	216.0	95%	100%	1.000	205.2
TOTAL	57825.8				54093.7

Πίνακας 14-5: Δεξαμενές συμμετοχής στον υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.

14.3.2 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Αναχώρηση (Full Load - Departure)

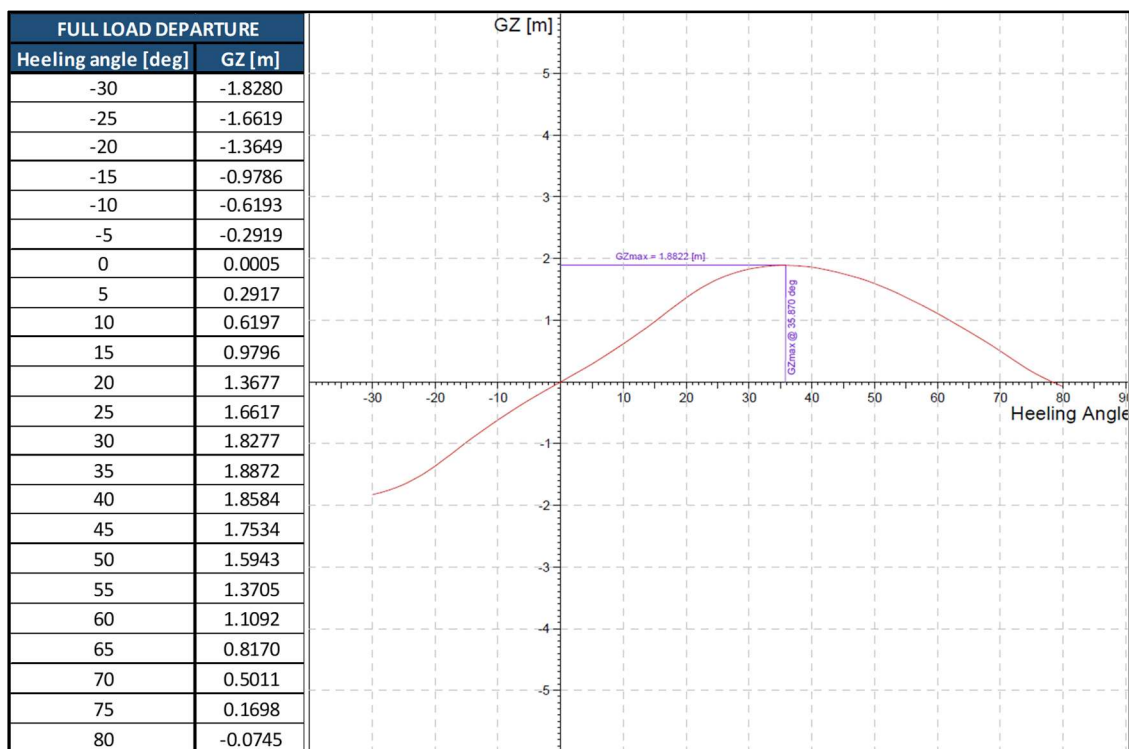
Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με πληρωμένες τις δεξαμενές φορτίου στο 98%, δεξαμενές αναλωσίμων και πετρελαίου στο 98% και άδειες τις δεξαμενές έρματος. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές του πλοίου πληρώνονται ως εξής:

FULL LOAD DEPARTURE					
Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	39423.0	95%	98%	0.990	36335.8
Slop Tanks	901.9	95%	98%	0.990	831.3
R.O. Tank	294.7	95%	98%	0.990	271.6
Water Ballast tanks	16003.0	95%	0%	1.025	0.0
H.F.O. Tanks	766.8	95%	98%	0.970	692.5
M.G.O. Tanks	220.3	95%	98%	0.850	174.4
Fresh Water Tanks	216.0	95%	100%	1.000	205.2
Lightweight	-	-	-	-	9198
TOTAL					47708.8

LCG [m]	VCG [m]
85.485	9.559

Πίνακας 14-6: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση πλήρους φόρτωσης- Αναχώρηση (Full Load - Departure).

Με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* υπολογίζονται οι τιμές της καμπύλης εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ-\phi$) για γωνίες κλίσης από -30° έως 80° με βήμα 5° . Στη συνέχεια κατασκευάζεται η καμπύλη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και γίνεται έλεγχος με βάση τα κριτήρια του *Resolution A.749(18)* του *IMO*.



Διάγραμμα 14-2: Καμπύλη ευστάθειας ($GZ-\phi$) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Αναχώρηση (Full Load - Departure)

Κριτήριο άθικτης ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZmax at	> 30 [deg]	35.870 [deg]	SATISFIED
GZ [0,30]	> 0.055 [meter*radians]	0.509 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [0,40]	> 0.090 [meter*radians]	0.834 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [30,40]	> 0.030 [meter*radians]	0.325 [meter*radians]	SATISFIED
GMo	> 0.150 [m]	3.195 [m]	SATISFIED
GZmax	> 0.250 [m]	1.882 [m]	SATISFIED
GZ 30	> 0.200 [m]	1.828 [m]	SATISFIED

Πίνακας 14-7: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Full Load - Departure).

Κριτήριο καιρού

Οι μοχλοβραχίονες l_{W1} , l_{W2} υπολογίζονται ως εξής:

$$l_{W1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta}$$

$$l_{W2} = 1.5 \cdot l_{W1}$$

Όπου:

- $P = 504 [N/m^2]$, πίεση ανέμου σταθερής έντασης.
- $A = 1043.6 [m^2]$
- $Z = 5.4 [m]$
- $\Delta = 47708.8 [t]$
- $g = 9.81 [m/s^2]$.

Οπότε:

$$l_{W1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = \frac{504 \cdot 1043.6 \cdot 5.4}{1000 \cdot 9.81 \cdot 47708.8} \Rightarrow l_{W1} = 0.0061$$

$$l_{W2} = 1.5 \cdot l_{W1} = 1.5 \cdot 0.0061 \Rightarrow l_{W2} = 0.00915$$

Η γωνία εγκάρσιας κλίσης έπειτα από κίνηση διατοιχισμού υπό την επίδραση κυματισμών υπολογίζεται ως εξής:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

Όπου:

- $X_1 = 0.942$ (Γραμμική παρεμβολή για $\frac{B}{d} = 2.74$ στον πίνακα 14-1)
- $X_2 = 1$ (Πίνακας 14-1)
- $r = 0.73 \pm 0.6 \cdot OG/d = 0.638$
 - ❖ $OG = 1.7 [m]$
 - ❖ $d = 10.9 [m]$
- $s = 0.068$ (Γραμμική παρεμβολή για $T = 11.53$ στον πίνακα 14-1)
- $k = 1$

Οπότε:

$$\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0.942 \cdot 1 \cdot \sqrt{0.638 \cdot 0.068}$$

$$\theta_1 = 21.38^\circ$$

Στην καμπύλη ευστάθειας $GZ-\varphi$ για τη δεδομένη κατάσταση φόρτωσης προστίθενται τα μεγέθη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα όπως εξηγήθηκε με τη βοήθεια του Διαγράμματος 14-1 και για το κριτήριο καιρού προέκυψε:

Lw1 [m]	0.00610
Lw2 [m]	0.00915
θ1 [deg]	21.38
θo [deg]	0.67
θc [deg]	50

a [m*rad]	0.286
b [m*rad]	1.140

b > a	TRUE
-------	------

Πίνακας 14-8: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Full Load Departure).

Άρα, ικανοποιούνται τα κριτήρια ευστάθειας για την κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Full Load - Departure).

14.3.3 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (Full Load - Arrival)

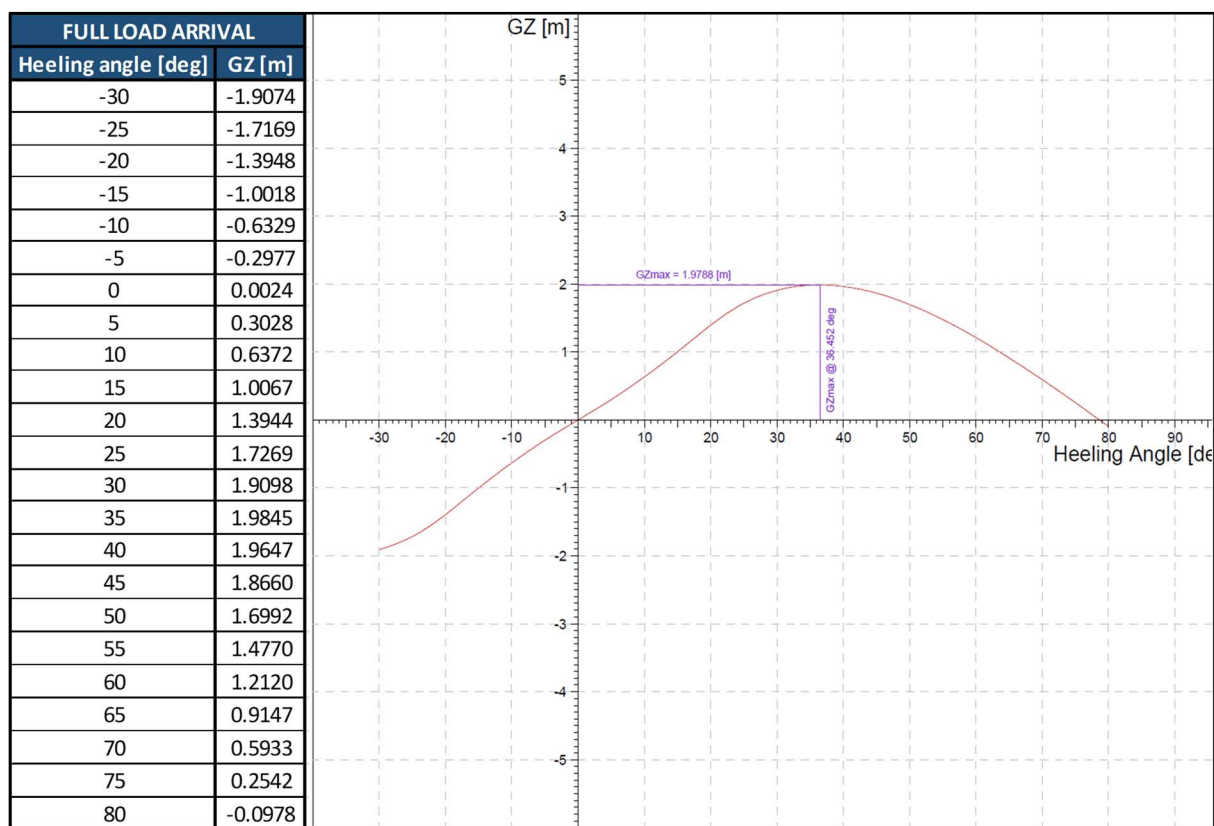
Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο καταφθάνει στο λιμάνι προορισμού με πληρωμένες τις δεξαμενές φορτίου στο 98%, τις δεξαμενές αναλωσίμων και πετρελαίου στο 10% και άδειες τις δεξαμενές έρματος. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές του πλοίου πληρώνονται ως εξής:

FULL LOAD ARRIVAL					
Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	39423.0	95%	98%	0.990	36335.8
Slop Tanks	901.9	95%	98%	0.990	831.3
R.O. Tank	294.7	95%	98%	0.990	271.6
Water Ballast tanks	16003.0	95%	0%	1.025	0.0
H.F.O. Tanks	766.8	95%	10%	0.970	70.7
M.G.O. Tanks	220.3	95%	10%	0.850	17.8
Fresh Water Tanks	216.0	95%	10%	1.000	20.5
Lightweight	-	-	-	-	9198
TOTAL					46745.7

LCG [m]	VCG [m]
86.842	9.495

Πίνακας 14-9: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load - Arrival).

Με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* υπολογίζονται οι τιμές της καμπύλης εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ-\phi$) για γωνίες κλίσης από -30° έως 80° με βήμα 5° . Στη συνέχεια κατασκευάζεται η καμπύλη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και γίνεται έλεγχος με βάση τα κριτήρια του *Resolution A.749(18)* του *IMO*.



Διάγραμμα 14-3: Καμπύλη ευστάθειας ($GZ-\phi$) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (Full Load - Arrival)

Κριτήριο άθικτης ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZmax at	> 30 [deg]	36.452 [deg]	SATISFIED
GZ [0,30]	> 0.055 [meter*radians]	0.526 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [0,40]	> 0.090 [meter*radians]	0.868 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [30,40]	> 0.030 [meter*radians]	0.342 [meter*radians]	SATISFIED
GMo	> 0.150 [m]	3.318 [m]	SATISFIED
GZmax	> 0.250 [m]	1.979 [m]	SATISFIED
GZ 30	> 0.200 [m]	1.910 [m]	SATISFIED

Πίνακας 14-10: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης – Άφιξη (Full Load - Arrival).

Κριτήριο καιρού

Όπως πραγματοποιήθηκε και στην παραπάνω κατάσταση φόρτωσης έτσι και για αυτή την περίπτωση υπολογίστηκαν τα μεγέθη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στην καμπύλη ευστάθειας $GZ-\varphi$ για τη δεδομένη κατάσταση φόρτωσης προστίθενται τα μεγέθη όπως εξηγήθηκε με τη βοήθεια του Διαγράμματος 14-1 και για το κριτήριο καιρού προέκυψε:

Lw1 [m]	0.00630
Lw2 [m]	0.00945
θ_1 [deg]	21.51
θ_0 [deg]	0.44
θ_c [deg]	50

a [m*rad]	0.301
b [m*rad]	1.281

b > a	TRUE
-------	------

Πίνακας 14-11: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αφιξη (Full Load - Arrival).

Άρα, ικανοποιούνται τα κριτήρια ευστάθειας για την κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αφιξη (Full Load - Arrival).

14.3.4 Κατάσταση ερματισμού – Αναχώρηση (Ballast - Departure)

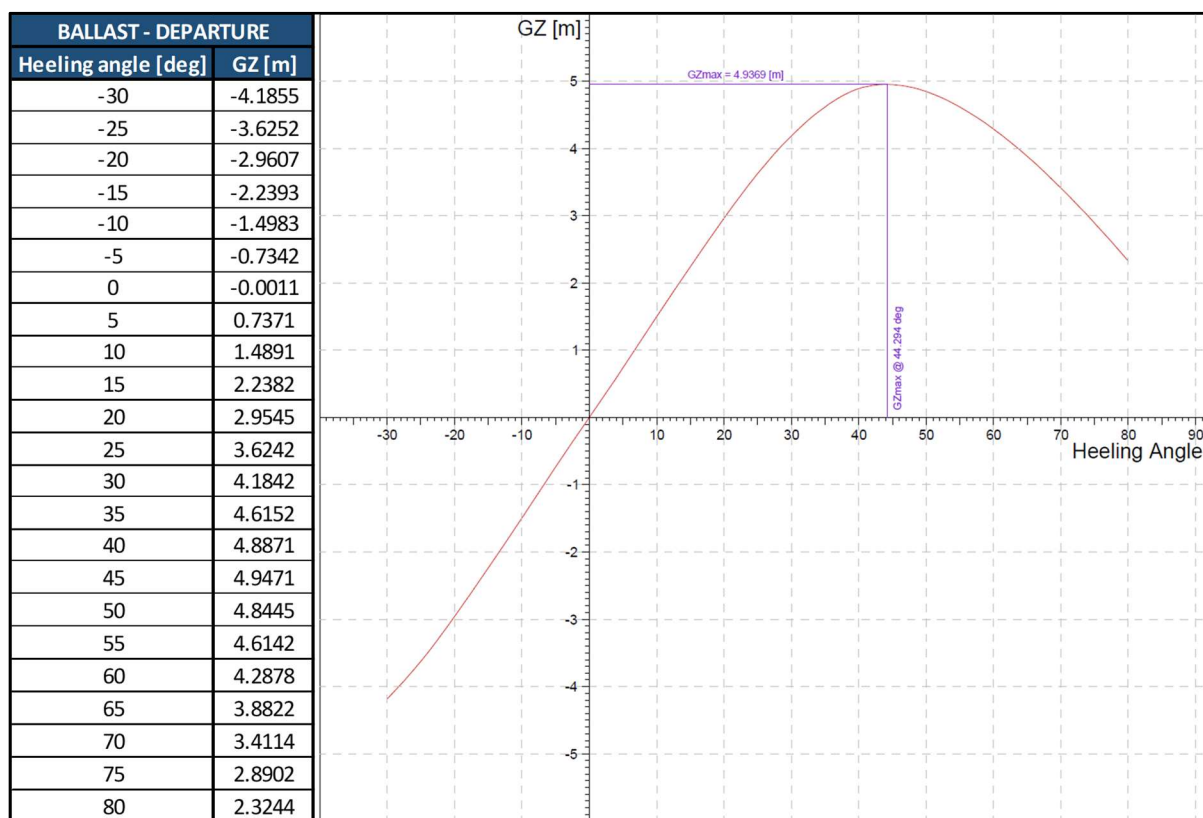
Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με άδειες τις δεξαμενές φορτίου, πληρωμένες τις δεξαμενές αναλωσίμων και πετρελαίου στο 98% και τις δεξαμενές έρματος στο 100%. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές του πλοίου πληρώνονται ως εξής:

BALLAST DEPARTURE					
Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	39423.0	95%	0%	0.990	0.0
Slop Tanks	901.9	95%	0%	0.990	0.0
R.O. Tank	294.7	95%	0%	0.990	0.0
Water Ballast tanks	16003.0	95%	100%	1.025	15582.9
H.F.O. Tanks	766.8	95%	98%	0.970	692.5
M.G.O. Tanks	220.3	95%	98%	0.850	174.4
Fresh Water Tanks	216.0	95%	100%	1.000	205.2
Lightweight	-	-	-	-	9198
TOTAL					25853.0

LCG [m]	VCG [m]
81.583	7.736

Πίνακας 14-12: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast - Departure).

Με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* υπολογίζονται οι τιμές της καμπύλης εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ-\phi$) για γωνίες κλίσης από -30° έως 80° με βήμα 5° . Στη συνέχεια κατασκευάζεται η καμπύλη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και γίνεται έλεγχος με βάση τα κριτήρια του *Resolution A.749(18)* του *IMO*.



Διάγραμμα 14-4: Καμπύλη ευστάθειας ($GZ-\phi$) για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast - Departure).

Κριτήριο άθικτης ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZmax at	> 30 [deg]	44.294 [deg]	SATISFIED
GZ [0,30]	> 0.055 [meter*radians]	1.147 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [0,40]	> 0.090 [meter*radians]	1.945 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [30,40]	> 0.030 [meter*radians]	0.799 [meter*radians]	SATISFIED
GMo	> 0.150 [m]	8.424 [m]	SATISFIED
GZmax	> 0.250 [m]	4.937 [m]	SATISFIED
GZ 30	> 0.200 [m]	4.184 [m]	SATISFIED

Πίνακας 14-13: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).

Κριτήριο καιρού

Όπως πραγματοποιήθηκε και στις παραπάνω καταστάσεις φόρτωσης, έτσι και για αυτή την περίπτωση υπολογίστηκαν τα μεγέθη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στην καμπύλη ευστάθειας $GZ-\varphi$ για τη δεδομένη κατάσταση φόρτωσης προστίθενται τα μεγέθη όπως εξηγήθηκε με τη βοήθεια του Διαγράμματος 14-1 και για το κριτήριο καιρού προέκυψε:

Lw1 [m]	0.01100
Lw2 [m]	0.01650
θ_1 [deg]	22.54
θ_0 [deg]	0.16
θ_c [deg]	50

a [m*rad]	1.315
b [m*rad]	3.641

b > a	TRUE
-------	------

Πίνακας 14-14: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).

Άρα, ικανοποιούνται τα κριτήρια ευστάθειας για την κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast – Departure).

14.3.5 Κατάσταση ερματισμού – Άφιξη (Ballast - Arrival)

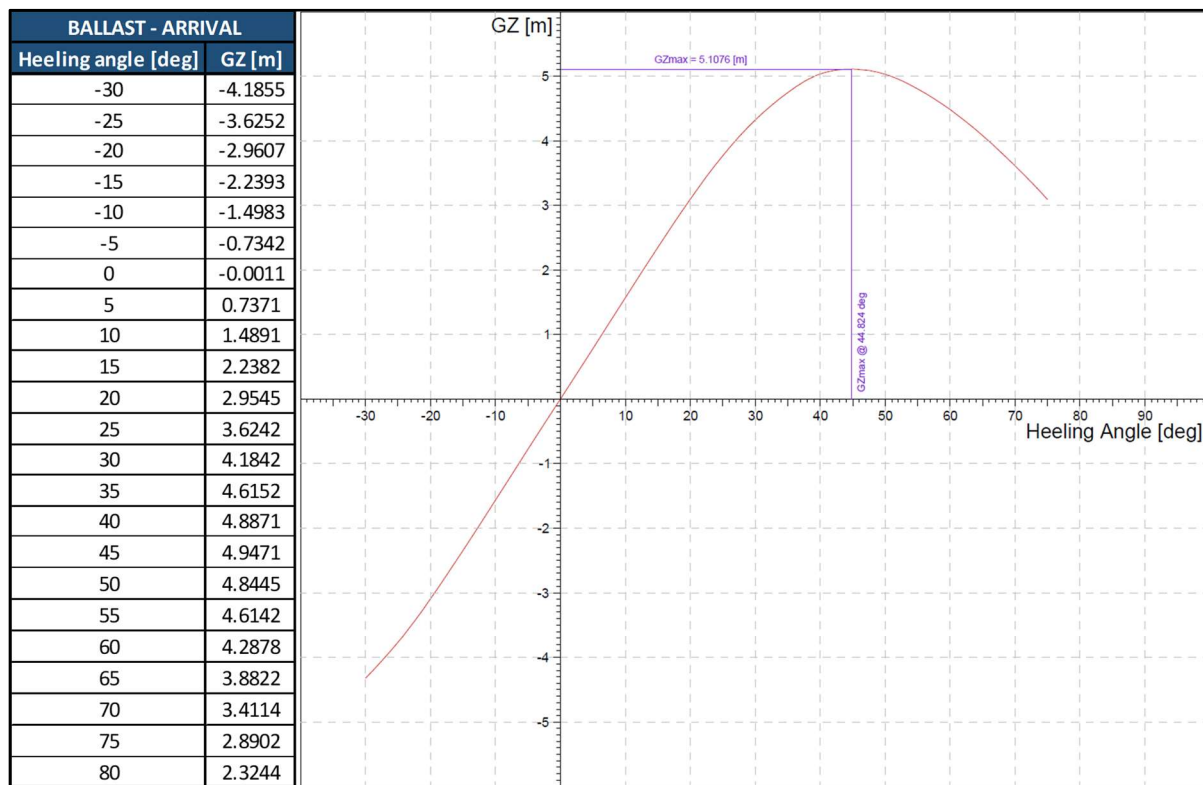
Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο καταφθάνει στο λιμάνι προορισμού με άδειες τις δεξαμενές φορτίου, πληρωμένες τις δεξαμενές αναλωσίμων και πετρελαίου στο 10% και τις δεξαμενές έρματος στο 100%. Πιο συγκεκριμένα, οι δεξαμενές του πλοίου πληρώνονται ως εξής:

BALLAST ARRIVAL					
Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	39423.0	95%	0%	0.990	0.0
Slop Tanks	901.9	95%	0%	0.990	0.0
R.O. Tank	294.7	95%	0%	0.990	0.0
Water Ballast tanks	16003.0	95%	100%	1.025	15582.9
H.F.O. Tanks	766.8	95%	10%	0.970	70.7
M.G.O. Tanks	220.3	95%	10%	0.850	17.8
Fresh Water Tanks	216.0	95%	10%	1.000	20.5
Lightweight	-	-	-	-	9198
TOTAL					24889.9

LCG [m]	VCG [m]
84.006	7.528

Πίνακας 14-15: Πλήρωση δεξαμενών για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Ballast - Arrival).

Με τη βοήθεια του προγράμματος *MAAT Hydro* υπολογίζονται οι τιμές της καμπύλης εγκάρσιας ευστάθειας ($GZ-\phi$) για γωνίες κλίσης από -30° έως 80° με βήμα 5° . Στη συνέχεια κατασκευάζεται η καμπύλη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και γίνεται έλεγχος με βάση τα κριτήρια του *Resolution A.749(18)* του *IMO*.



Διάγραμμα 14-5: Καμπύλη ευστάθειας ($GZ-\phi$) για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Ballast - Arrival).

Κριτήριο άθικτης ευστάθειας

	Required	Obtained	Status
GZmax at	> 30 [deg]	44.824 [deg]	SATISFIED
GZ [0,30]	> 0.055 [meter*radians]	1.199 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [0,40]	> 0.090 [meter*radians]	2.202 [meter*radians]	SATISFIED
GZ [30,40]	> 0.030 [meter*radians]	0.822 [meter*radians]	SATISFIED
GMo	> 0.150 [m]	8.879 [m]	SATISFIED
GZmax	> 0.250 [m]	5.108 [m]	SATISFIED
GZ 30	> 0.200 [m]	4.325[m]	SATISFIED

Πίνακας 14-16: Έλεγχος κριτηρίου άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Full Load Arrival).

Κριτήριο καιρού

Όπως πραγματοποιήθηκε και στις παραπάνω καταστάσεις φόρτωσης, έτσι και για αυτή την περίπτωση υπολογίστηκαν τα μεγέθη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στην καμπύλη ευστάθειας $GZ-\varphi$ για τη δεδομένη κατάσταση φόρτωσης προστίθενται τα μεγέθη όπως εξηγήθηκε με τη βοήθεια του Διαγράμματος 14-1 και για το κριτήριο καιρού προέκυψε:

Lw1 [m]	0.01160
Lw2 [m]	0.01740
θ_1 [deg]	22.92
θ_0 [deg]	0.28
θ_c [deg]	50

a [m*rad]	1.483
b [m*rad]	3.411

b > a	TRUE
-----------------	-------------

Πίνακας 14-17: Έλεγχος ευστάθειας στις περιβαλλοντικές συνθήκες (IMO) για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (*Ballast Arrival*).

Άρα, ικανοποιούνται τα κριτήρια ευστάθειας για την κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (*Ballast - Arrival*).

15. Έλεγχος κανονισμού καταμέτρησης

Στο κεφάλαιο αυτό θα εφαρμοστεί η Διεθνής Σύμβαση Καταμέτρησης και θα προσδιοριστεί η Ολική (*Gross*) και η Καθαρή (*Net*) χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου.

15.1 Υπολογισμός ολικής χωρητικότητας (*Gross Tonnage*)

Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Καταμέτρησης η ολική χωρητικότητα (*Gross Tonnage*) ενός πλοίου υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$GT = K_1 \cdot V_{TOTAL}$$

Όπου:

- $K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_{TOTAL})$
- V_{TOTAL} = Ο συνολικός όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου σε $[m^3]$.

Ο συνολικός όγκος του υπό μελέτη πλοίου αναλύεται ως εξής:

$$V_{TOTAL} = V_D + V_S + V_F$$

Όπου:

- V_D = Ο συνολικός όγκος της γάστρας μέχρι το ύψος του καταστρώματος.
- V_S = Ο συνολικός όγκος των υπερστεγασμάτων.
- V_F = Ο όγκος του προστέγου.

Ο συνολικός όγκος της γάστρας μέχρι το ύψος του καταστρώματος V_D υπολογίζεται από το τρισδιάστατο σχέδιο του πλοίου στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και προκύπτει:

$$V_D = 73915.83 [m^3]$$

Ο συνολικός όγκος των υπερστεγασμάτων του υπό μελέτη πλοίου υπολογίζεται με βάση το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου ως εξής:

Deck	Area [m ²]	Height [m]	Volume [m ³]
Upper	414.5	3	1243.50
A	414.5	2.85	1181.33
B	311.2	2.85	886.92
C	311.2	2.85	886.92
NAV	102.7	2.85	292.70
TOTAL			4491.36

Πίνακας 15-1: Υπολογισμός όγκου υπερστεγασμάτων του υπό μελέτη πλοίου.

Οπότε:

$$V_S = 4491.36 [m^3]$$

Ο όγκος του πρόστεγου, υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της άνω επιφάνειας του με το ύψος του. Το εμβαδόν μετρείται στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και προκύπτει:

$$V_F = A \cdot h = 184.47 \cdot 2.98 \Rightarrow V_F = 549.72 [m^3]$$

Οπότε ο συνολικός όγκος των κλειστών χώρων του πλοίου προκύπτει:

$$V_{TOTAL} = V_D + V_S + V_F$$

$$V_{TOTAL} = 73915.83 + 4491.36 + 549.72$$

$$V_{TOTAL} = \mathbf{78956.91 [m^3]}$$

Και ο συντελεστής K_1 υπολογίζεται:

$$K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V_{TOTAL}$$

$$K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} 78956.91$$

$$K_1 = 0.298$$

Οπότε στο σημείο αυτό υπολογίζεται η ολική χωρητικότητα (*Gross Tonnage*):

$$GT = K_1 \cdot V_{TOTAL}$$

$$GT = 0.298 \cdot 78956.91$$

$$GT = 23529.2 [m^3]$$

15.2 Υπολογισμός καθαρής χωρητικότητας (*Net Tonnage*)

Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Καταμέτρησης η καθαρή χωρητικότητα (*Net Tonnage*) ενός πλοίου υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

Όπου:

- $V_C = 39409.5 [m^3]$ = Ο συνολικός όγκος του φορτίου.
- $K_2 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_C) \Rightarrow K_2 = 0.292$
- $K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT+10000}{10000} \Rightarrow K_3 = 4.19$
- $T = 11.3 [m]$ = Το βύθισμα σχεδίασης του πλοίου.
- $D = 16.28 [m]$ = Το κοίλο του πλοίου.
- $N_1 = 0$ = Ο αριθμός των επιβατών σε κοιτώνες με όχι περισσότερες από οκτώ κλίνες.
- $N_2 = 0$ = Ο αριθμός λοιπών επιβατών.

Με βάση τον προσδιορισμό των παραπάνω μεγεθών υπολογίζεται η καθαρή χωρητικότητα:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

$$NT = 0.292 \cdot 39409.5 \cdot \left(\frac{4 \cdot 11.3}{3 \cdot 16.28}\right)^2 + 4.19 \cdot \left(0 + \frac{0}{10}\right)$$

$$NT = \mathbf{9856.2 [m^3]}$$

15.3 Έλεγχος περιορισμών για την καθαρή χωρητικότητα

Η τιμή της καθαρής χωρητικότητας πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

$$1. \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 < 1$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει:

$$\left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 11.3}{3 \cdot 16.28}\right) = 0.856 < 1 \quad (\text{SATISFIED})$$

$$2. K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 > 0.25 \cdot GT$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει:

$$K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = 9856.2 [m^3]$$

Και:

$$0.25 \cdot GT = 0.25 \cdot 23529.2 = 5882.3 [RT]$$

Οπότε:

$$K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 > 0.25 \cdot GT \quad (\text{SATISFIED})$$

$$3. NT > 0.3 \cdot GT$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει:

$$0.3 \cdot GT = 0.3 \cdot 23529.2 = 7058.8 [m^3]$$

Οπότε:

$$NT > 0.3 \cdot GT \quad (\text{SATISFIED})$$

Οπότε, το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τους κανονισμούς της Διεθνούς Σύμβασης Καταμέτρησης.

16. Διαρροή πετρελαίου λόγω ατυχήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει έλεγχος της πιθανής διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος με βάση τον κανονισμό που θέτει η *MARPOL (Regulation 23: Accidental oil outflow performance)*. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του πετρελαίου που θα διαρρεύσει σε περίπτωση ατυχήματος στηρίζεται στην ανάλυση του προβλήματος σε δύο υποπροβλήματα: α) Βλάβη στο πλευρικό τμήμα του πλοίου (*Side damage*) και β) Βλάβη στον πυθμένα του πλοίου.

16.1 Μεθοδολογία υπολογισμού διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος

Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με τη *MARPOL*, η διαρροή πετρελαίου λόγω ατυχήματος υπολογίζεται:

$$O_M = \frac{0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}}{C}$$

Όπου:

- O_{MS} = Διαρροή πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης [m^3].
- O_{MB} = Διαρροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα [m^3].

Για τη διαρροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα θα πρέπει να γίνει ξεχωριστά ο υπολογισμός για συνθήκες παλίρροιας 0 [m] και 2.5 [m] έτσι ώστε να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα ως εξής:

$$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(2.5)}$$

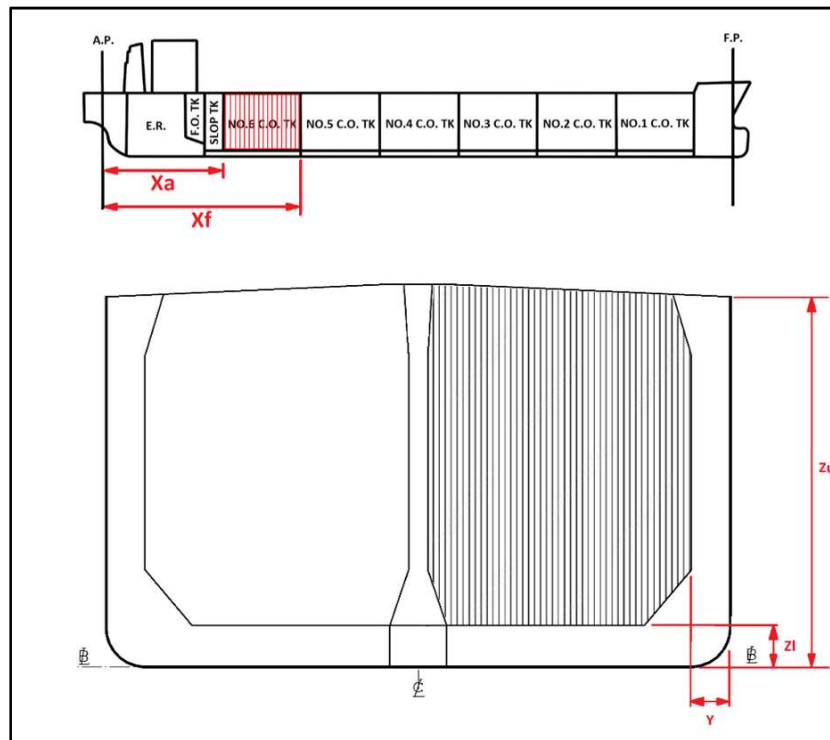
Η διαρροή πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης O_{MS} υπολογίζεται ως εξής:

$$O_{MS} = C_3 \sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)}$$

Όπου:

- i = Αριθμός υπολογιζόμενης δεξαμενής φορτίου.
- n = Συνολικός αριθμός δεξαμενών φορτίου.
- $P_{S(i)}$ = Πιθανότητα βλάβης δεξαμενής φορτίου i από πλευρική βλάβη (αναλύεται παρακάτω).
- $O_{S(i)}$ = Διαρροή πετρελαίου σε [m^3] από πλευρική βλάβη της δεξαμενής φορτίου i , η οποία θεωρείται ως ο συνολικός όγκος της δεξαμενής φορτίου i πληρωμένη στο 98%.
- $C_3 = 0.77$ για πλοία που διαθέτουν δύο διαμήκεις φρακτές που εκτείνονται σε όλες τις δεξαμενές. Σε κάθε άλλη περίπτωση ισχύει $C_3 = 1.0$.

Για τον υπολογισμό της πιθανότητας βλάβης δεξαμενής φορτίου i από πλευρική βλάβη γίνεται χρήση των διαστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και y όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 16-1: Απεικόνιση αποστάσεων για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων λόγω πλευρικής βλάβης.
[Πηγή: Αρχεϊακό υλικό]

Όπου:

- X_a = Διαμήκης απόσταση από την πρυμναία κάθετο έως το πιο πρυμναίο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- X_f = Διαμήκης απόσταση από την πρυμναία κάθετο έως το πιο προωαίο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- Z_l = Κατακόρυφη απόσταση από τη *Baseline* έως το χαμηλότερο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- Z_u = Κατακόρυφη απόσταση από τη *Baseline* έως το υψηλότερο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- y = Ελάχιστη οριζόντια απόσταση από το *Sideshell* έως την υπό διερεύνηση δεξαμενή.

Με βάση τις διαστάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα $P_{S(i)}$ ως εξής:

$$P_{S(i)} = P_{SL} \cdot P_{SV} \cdot P_{ST}$$

- $P_{SL} = 1 - P_{sf} - P_{sa} =$ Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται στο διάμηκες τμήμα μεταξύ X_a και X_f .
- $P_{SV} = 1 - P_{su} - P_{sl} =$ Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται στο κατακόρυφο τμήμα μεταξύ Z_u και Z_l .
- $P_{ST} = 1 - P_{sy} =$ Πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται εγκάρσια σε απόσταση μεγαλύτερη από την απόσταση y .

Οι πιθανότητες $P_{sf}, P_{sa}, P_{su}, P_{sl}$ και P_{sy} αναλύονται παρακάτω και υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή σύμφωνα με τον πίνακα πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη που παρουσιάζεται παρακάτω:

P_{sf} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου πλώραθεν του σημείου X_f/L .

P_{sa} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου πρύμνηθεν του σημείου X_a/L .

P_{sl} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου κάτω από τη δεξαμενή.

P_{su} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου πάνω από τη δεξαμενή.

P_{sy} : Πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται σε βάθος μικρότερο της πλευρικής απόστασης.

Xa/L	Psa	Xf/L	Psf	Zl/D	Psl	Zu/D	Psu
0.00	0.000	0.00	0.967	0.00	0.000	0.00	0.968
0.05	0.023	0.05	0.917	0.05	0.000	0.05	0.952
0.10	0.068	0.10	0.867	0.10	0.001	0.10	0.931
0.15	0.117	0.15	0.817	0.15	0.003	0.15	0.905
0.20	0.167	0.20	0.767	0.20	0.007	0.20	0.873
0.25	0.217	0.25	0.717	0.25	0.013	0.25	0.836
0.30	0.267	0.30	0.667	0.30	0.021	0.30	0.789
0.35	0.317	0.35	0.617	0.35	0.034	0.35	0.733
0.40	0.367	0.40	0.567	0.40	0.055	0.40	0.670
0.45	0.417	0.45	0.517	0.45	0.085	0.45	0.599
0.50	0.467	0.50	0.467	0.50	0.123	0.50	0.525
0.55	0.517	0.55	0.417	0.55	0.172	0.55	0.452
0.60	0.567	0.60	0.367	0.60	0.226	0.60	0.383
0.65	0.617	0.65	0.317	0.65	0.285	0.65	0.317
0.70	0.667	0.70	0.267	0.70	0.347	0.70	0.255
0.75	0.717	0.75	0.217	0.75	0.413	0.75	0.197
0.80	0.767	0.80	0.167	0.80	0.482	0.80	0.143
0.85	0.817	0.85	0.117	0.85	0.553	0.85	0.092
0.90	0.867	0.90	0.068	0.90	0.626	0.90	0.046
0.95	0.917	0.95	0.023	0.95	0.700	0.95	0.013
1.00	0.967	1.00	0.000	1.00	0.775	1.00	0.000

Πίνακας 16-1: Πίνακας πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη.
[Πηγή: International Maritime Organization, 2003]

Η πιθανότητα P_{sy} υπολογίζεται ως εξής:

- $P_{sy} = \left(24.96 - 199.6 \cdot \left(\frac{y}{B}\right)\right) \cdot \left(\frac{y}{B}\right)$ για $\frac{y}{B} \leq 0.05$
- $P_{sy} = 0.749 + \left(5 - 44.4 \cdot \left(\frac{y}{B} - 0.05\right)\right) \cdot \left(\frac{y}{B} - 0.05\right)$ για $0.05 < \frac{y}{B} \leq 0.1$
- $P_{sy} = 0.888 + 0.56 \cdot \left(\frac{y}{B} - 0.1\right)$ για $\frac{y}{B} \geq 0.1$

Προσοχή: Πρέπει $P_{sy} \leq 1$.

Η διαρροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα O_{MB} υπολογίζεται για κάθε κατάσταση παλίνρροιας ως εξής:

$$O_{MB} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{DB(i)}$$

Όπου:

- i = Αριθμός υπολογιζόμενης δεξαμενής φορτίου.
- n = Συνολικός αριθμός δεξαμενών φορτίου.
- $P_{B(i)}$ = Πιθανότητα βλάβης δεξαμενής φορτίου i από βλάβη στον πυθμένα (αναλύεται παρακάτω)
- $O_{B(i)}$ = Διαρροή πετρελαίου σε $[m^3]$ από βλάβη στον πυθμένα της δεξαμενής φορτίου i , η οποία θεωρείται ως ο όγκος του χαμένου φορτίου (μέχρι την εξισορρόπηση της εσωτερικής με την εξωτερική πίεση) της δεξαμενής φορτίου i πληρωμένη στο 98% (αναλύεται παρακάτω).
- $C_{DB} = 0.6$ για πλοία στα οποία μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και του εξωτερικού περιβλήματος περιλαμβάνουν δεξαμενές με μη βλαβερό προς το περιβάλλον περιεχόμενο (π.χ. δεξαμενές έρματος). Σε κάθε άλλη περίπτωση $C_{DB} = 1.0$

Για να υπολογιστεί ο όγκος του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει στην περίπτωση της βλάβης στον πυθμένα του πλοίου υπολογίζεται το ύψος του φορτίου εντός της δεξαμενής μετά από τη βλάβη ως εξής:

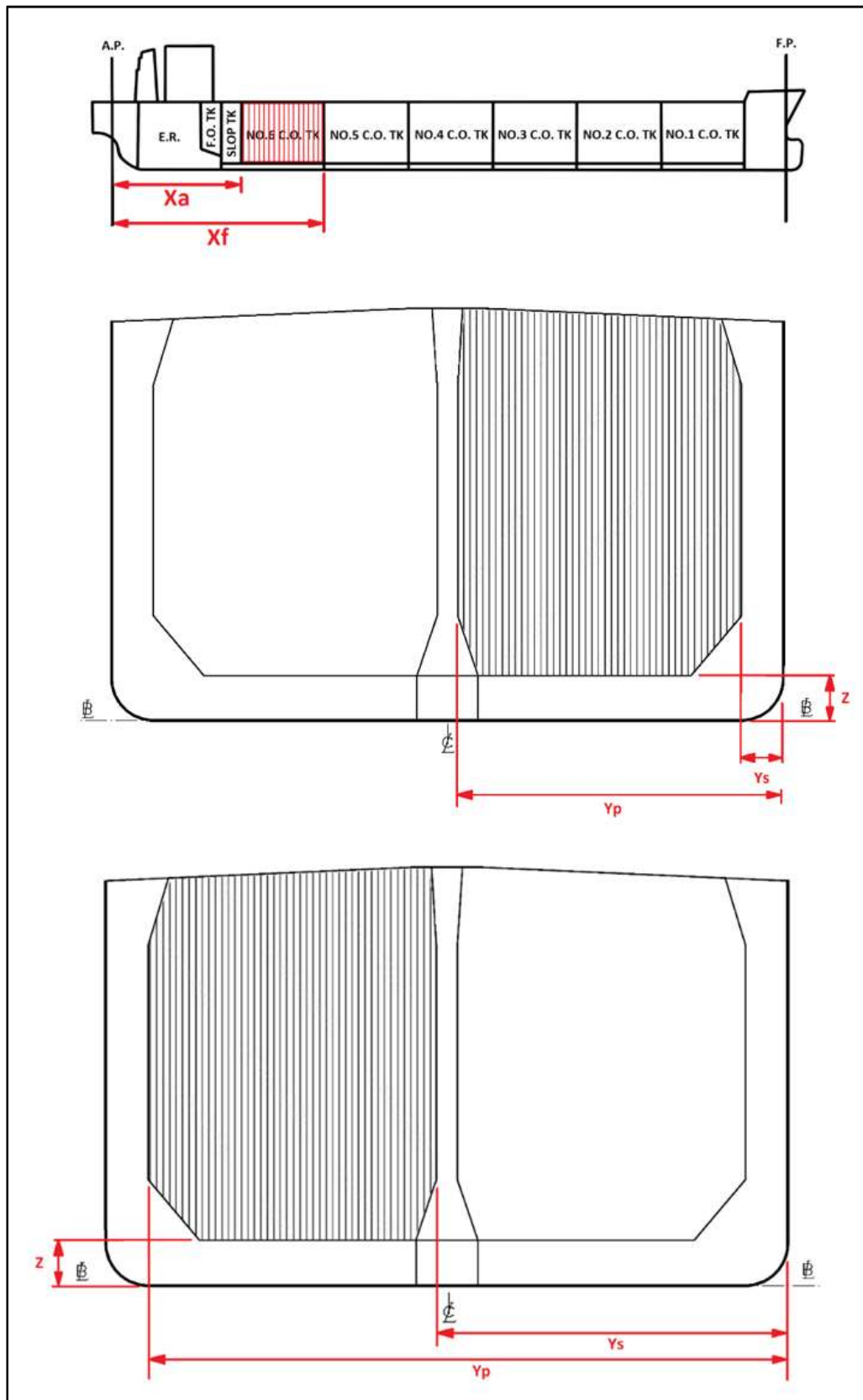
$$H_c = \frac{\left[(T + t_c - Z_l) \cdot \rho_{sw} - \frac{1000 \cdot P}{g} \right]}{\rho_c}$$

Όπου:

- T = Βύθισμα του πλοίου.
- t_c = Ύψος παλίρροιας.
- Z_l = Ύψος από τη *baseline* μέχρι το κατώτερο σημείο της υπολογιζόμενης δεξαμενής.
- ρ_{sw} = Πυκνότητα του θαλασσινού νερού.
- P = Πίεση εσωτερικού συστήματος πίεσεως στην περίπτωση που το πλοίο διαθέτει σε $[kPa]$ (όχι μικρότερη από $5 [kPa]$).
- $g = 9.81 [m/s^2]$.
- ρ_c = Πυκνότητα του φορτίου.

Οπότε με γνωστό το νέο ύψος του φορτίου εύκολα υπολογίζεται ο όγκος του φορτίου που έχει διαρρεύσει.

Για τον υπολογισμό της πιθανότητας βλάβης δεξαμενής φορτίου i από πλευρική βλάβη γίνεται χρήση των διαστάσεων X_a , X_f , Y_p , Y_s και z όπως φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 16-2: Απεικόνιση αποστάσεων για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων λόγω βλάβης στον πυθμένα.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Όπου:

- X_a = Διαμήκης απόσταση από την πρυμναία κάθετο έως το πιο πρυμναίο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- X_f = Διαμήκης απόσταση από την πρυμναία κάθετο έως το πιο πρωραίο σημείο της υπό διερεύνηση δεξαμενής.
- Y_p = Εγκάρσια-οριζόντια απόσταση στο ύψος της ισάλου από το πιο αριστερά σημείο (*Port most point*) της υπό διερεύνηση δεξαμενής έως $B/2$ προς τα δεξιά του πλοίου.
- Y_s = Εγκάρσια-οριζόντια απόσταση στο ύψος της ισάλου από το πιο δεξιά σημείο (*Starboard most point*) της υπό διερεύνηση δεξαμενής έως $B/2$ προς τα δεξιά του πλοίου.
- z = Ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση από τον πυθμένα έως την υπό διερεύνηση δεξαμενή.

Με βάση τις διαστάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα $P_{B(i)}$ ως εξής:

$$P_{B(i)} = P_{BL} \cdot P_{BT} \cdot P_{BV}$$

Όπου:

- $P_{BL} = 1 - P_{Bf} - P_{Ba} =$ Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται στο διάμηκες τμήμα μεταξύ X_a και X_f .
- $P_{BT} = 1 - P_{Bp} - P_{Bs} =$ Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται στο εγκάρσιο τμήμα μεταξύ Y_p και Y_s .
- $P_{BV} = 1 - P_{Bz} =$ Πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται κατακόρυφα σε απόσταση μεγαλύτερη από την απόσταση z .

Οι πιθανότητες $P_{Bf}, P_{Ba}, P_{Bp}, P_{Bs}$ και P_{Bz} αναλύονται παρακάτω και υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή σύμφωνα με τον πίνακα πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη που παρουσιάζεται παρακάτω:

P_{Bf} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου πρώραθεν του σημείου X_F/L .

P_{Ba} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου πρύμνηθεν του σημείου X_A/L .

P_{Bp} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου αριστερά (*Port*) της δεξαμενής.

P_{Bs} : Πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου δεξιά (*Starboard*) της δεξαμενής.

P_{Bz} : Πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται σε βάθος μικρότερο του ύψους διπυθμένου.

X_a/L	P_{Ba}	X_f/L	P_{Bf}	Y_p/B	P_{Bp}	Y_s/B	P_{Bs}
0.00	0.000	0.00	0.969	0.00	0.844	0.00	0.000
0.05	0.002	0.05	0.953	0.05	0.794	0.05	0.009
0.10	0.008	0.10	0.936	0.10	0.744	0.10	0.032
0.15	0.017	0.15	0.916	0.15	0.694	0.15	0.063
0.20	0.029	0.20	0.894	0.20	0.644	0.20	0.097
0.25	0.042	0.25	0.870	0.25	0.594	0.25	0.133
0.30	0.058	0.30	0.842	0.30	0.544	0.30	0.171
0.35	0.076	0.35	0.810	0.35	0.494	0.35	0.211
0.40	0.096	0.40	0.775	0.40	0.444	0.40	0.253
0.45	0.119	0.45	0.734	0.45	0.394	0.45	0.297
0.50	0.143	0.50	0.687	0.50	0.344	0.50	0.344
0.55	0.171	0.55	0.630	0.55	0.297	0.55	0.394
0.60	0.203	0.60	0.563	0.60	0.253	0.60	0.444
0.65	0.242	0.65	0.489	0.65	0.211	0.65	0.494
0.70	0.289	0.70	0.413	0.70	0.171	0.70	0.544
0.75	0.344	0.75	0.333	0.75	0.133	0.75	0.594
0.80	0.409	0.80	0.252	0.80	0.097	0.80	0.644
0.85	0.482	0.85	0.170	0.85	0.063	0.85	0.694
0.90	0.565	0.90	0.089	0.90	0.032	0.90	0.744
0.95	0.658	0.95	0.026	0.95	0.009	0.95	0.794
1.00	0.761	1.00	0.000	1.00	0.000	1.00	0.844

Πίνακας 16-2: Πίνακας πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα.
[Πηγή: International Maritime Organization, 2003]

Η πιθανότητα P_{Bz} υπολογίζεται ως εξής:

- $P_{Bz} = \left(14.5 - 67 \cdot \left(\frac{z}{D}\right)\right) \cdot \left(\frac{Z}{D}\right)$ για $\frac{Z}{D} \leq 0.1$
- $P_{Bz} = 0.78 + 1.1 \cdot \left(\frac{Z}{D} - 0.1\right)$ για $\frac{Z}{D} \geq 0.1$

Προσοχή: Πρέπει $P_{Bz} \leq 1$

16.2 Ανάπτυξη διαδικασίας αυτόματου υπολογισμού

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία υπολογισμού του πετρελαίου που διαρρέει λόγω ατυχήματος στο πρόγραμμα *Excel* όπως περιεγράφηκε παραπάνω. Ως δεδομένα εισάγονται από το χρήστη:

- 1) Το μήκος μεταξύ καθέτων L_{PP} του υπό μελέτη πλοίου.
- 2) Το πλάτος B του υπό μελέτη πλοίου.
- 3) Το κοίλο D του υπό μελέτη πλοίου.
- 4) Το βύθισμα T του υπό μελέτη πλοίου.
- 5) Οι αποστάσεις $X_a, X_f, Z_l, Z_w, Y_p, Y_s$ και y για κάθε δεξαμενή φορτίου.
- 6) Οι όγκοι των δεξαμενών φορτίου V_C (100% πληρότητα).
- 7) Οι εναπομείναντες όγκοι του πετρελαίου στις δεξαμενές φορτίου για τις δυο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]).

Αφού εισαχθούν τα παραπάνω δεδομένα, ο υπολογισμός του *Accidental Oil Outflow* πραγματοποιείται αυτόματα. Το πρόγραμμα επισυνάπτεται με τη διπλωματική εργασία με ονομασία: *accidental_oil_outflow_calc.xlsx*.

16.3 Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος

Με βάση την μεθοδολογία που περιγράφεται στο προηγούμενο υποκεφάλαιο πραγματοποιείται ο υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος για το υπό μελέτη πλοίο. Τα στοιχεία από το υπό μελέτη πλοίο που θα χρειαστούν είναι:

Στοιχεία πλοίου		
Χωρητικότητα	DWT [t]	40683.00
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{pp} [m]	169.42
Πλάτος	B [m]	31.00
Κοίλο	D [m]	16.28
Βύθισμα	T [m]	11.30
Χωρητικότητα δεξαμενών	C	39409.50

Πίνακας 16-3: Πίνακας απαιτούμενων στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου για τον υπολογισμό διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος.

16.3.1 Υπολογισμός πιθανοτήτων πλευρικής βλάβης

Το πρώτο βήμα είναι η μέτρηση των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και γ για κάθε δεξαμενή που θα διερευνηθεί. Ο όγκος της κάθε δεξαμενής υπολογίστηκε με δεδομένη διαχωρητικότητα (*Permeability*) 99% για σύμφωνα με τη MARPOL και θεωρήθηκε ότι πληρώνεται στο 98% του συνολικού όγκου της. Επιλέχθηκε μεγάλο ποσοστό διαχωρητικότητας με σκοπό οι υπολογισμοί να γίνουν για την πιο επικίνδυνη περίπτωση και να βρίσκονται πάντα από την ασφαλή πλευρά. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Tank	Os	Xa	Xf	Zl	Zu	γ
	[m ³]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
No 1 C.O. TK (S)	2199.4	137.7	158.2	2	15.73	3.3
No 1 C.O. TK (P)	2199.4	137.7	158.2	2	15.73	16
No 2 C.O. TK (S)	3256.6	117.2	136.7	2	15.73	2
No 2 C.O. TK (P)	3256.6	117.2	136.7	2	15.73	16
No 3 C.O. TK (S)	3417.1	96.7	116.2	2	15.73	2
No 3 C.O. TK (P)	3417.1	96.7	116.2	2	15.73	16
No 4 C.O. TK (S)	3417.3	76.2	95.7	2	15.73	2
No 4 C.O. TK (P)	3417.3	76.2	95.7	2	15.73	16
No 5 C.O. TK (S)	3417.3	55.7	75.2	2	15.73	2
No 5 C.O. TK (P)	3417.3	55.7	75.2	2	15.73	16
No 6 C.O. TK (S)	3416.6	35.2	54.7	2	15.73	2
No 6 C.O. TK (P)	3416.6	35.2	54.7	2	15.73	16
R.O. TK (S)	285.9	31.8	35.2	2	15.73	2
SLOP TK (S)	294.6	31.8	35.2	2	15.73	8.6
SLOP TK (P)	580.5	31.8	35.2	2	15.73	16
TOTAL	39409.53					

Πίνακας 16-4: Μετρήσεις των όγκων και των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και γ για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.

Με βάση τους λόγους $\frac{X_a}{L}, \frac{X_f}{L}, \frac{Z_l}{D}, \frac{Z_u}{D}, \frac{y}{B}$ και τον Πίνακα 16-1 με τις πιθανότητες για πλευρική βλάβη υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιθανότητες όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με την παράγραφο 8.1 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

Tank	X_a/L	P_{sa}	X_f/L	P_{sf}	Z_l/D	P_{sl}	Z_u/D	P_{su}	y/B	P_{sy}
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.8128	0.7798	0.9338	0.0376	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.1065	0.8916
No 1 C.O. TK (P)	0.8128	0.7798	0.9338	0.0376	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 2 C.O. TK (S)	0.6918	0.6588	0.8069	0.1601	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
No 2 C.O. TK (P)	0.6918	0.6588	0.8069	0.1601	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 3 C.O. TK (S)	0.5708	0.5378	0.6859	0.2811	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
No 3 C.O. TK (P)	0.5708	0.5378	0.6859	0.2811	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 4 C.O. TK (S)	0.4498	0.4168	0.5649	0.4021	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
No 4 C.O. TK (P)	0.4498	0.4168	0.5649	0.4021	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 5 C.O. TK (S)	0.3288	0.2958	0.4439	0.5231	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
No 5 C.O. TK (P)	0.3288	0.2958	0.4439	0.5231	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 6 C.O. TK (S)	0.2078	0.1748	0.3229	0.6441	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
No 6 C.O. TK (P)	0.2078	0.1748	0.3229	0.6441	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
R.O. TK (S)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.0645	0.8122
SLOP TK (S)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.2774	0.9874
SLOP TK (P)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.1229	0.0019	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000

Πίνακας 16-5: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (1/2).

Η πιθανότητα πλευρικής βλάβης μιας δεξαμενής P_S όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με την παράγραφο 8.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

$$P_S = P_{SL} \cdot P_{SV} \cdot P_{ST}$$

- $P_{SL} = 1 - P_{Sf} - P_{Sa}$
- $P_{SV} = 1 - P_{Su} - P_{Sl}$
- $P_{ST} = 1 - P_{Sy}$

Οπότε προκύπτει:

Tank	P_{SL}	P_{SV}	P_{ST}	P_S
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1084	0.0196
No 1 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
No 2 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1878	0.0336
No 2 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
No 3 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1878	0.0336
No 3 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
No 4 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1878	0.0336
No 4 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
No 5 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1878	0.0336
No 5 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
No 6 C.O. TK (S)	0.18	0.989	0.1878	0.0336
No 6 C.O. TK (P)	0.18	0.989	0.0000	0.0000
R.O. TK (S)	0.09	0.989	0.1878	0.0160
SLOP TK (S)	0.09	0.989	0.0126	0.0011
SLOP TK (P)	0.09	0.989	0.0000	0.0000

Πίνακας 16-6: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).

Επομένως, στο σημείο αυτό η διαρροή πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 6 του *Regulation 23* της *MARPOL* ως εξής:

$$O_{MS} = C_3 \sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)}$$

Ο συντελεστής C_3 λαμβάνεται ως $C_3 = 1.0$ καθώς το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μια διαμήκη φρακτή που εκτείνεται καθ' όλο το μήκος των δεξαμενών φορτίου.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:

Tank	O _s	P _s *O _s
	[m ³]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	2199.4	43.07
No 1 C.O. TK (P)	2199.4	0.00
No 2 C.O. TK (S)	3256.6	109.56
No 2 C.O. TK (P)	3256.6	0.00
No 3 C.O. TK (S)	3417.1	114.96
No 3 C.O. TK (P)	3417.1	0.00
No 4 C.O. TK (S)	3417.3	114.97
No 4 C.O. TK (P)	3417.3	0.00
No 5 C.O. TK (S)	3417.3	114.97
No 5 C.O. TK (P)	3417.3	0.00
No 6 C.O. TK (S)	3416.6	114.94
No 6 C.O. TK (P)	3416.6	0.00
R.O. TK (S)	285.9	4.57
SLOP TK (S)	294.6	0.32
SLOP TK (P)	580.5	0.00

Πίνακας 16-7: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.

$$\sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)} = 617.35 [m^3]$$

$$O_{MS} = 1.0 \cdot 617.35$$

$$O_{MS} = 617.35 [m^3]$$

16.3.2 Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης στον πυθμένα

Και στον υπολογισμό των πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα το πρώτο βήμα είναι η μέτρηση των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για κάθε δεξαμενή που θα διερευνηθεί. Ο όγκος της κάθε δεξαμενής και σε αυτή την περίπτωση υπολογίστηκε με δεδομένη διαχωρητικότητα (*Permeability*) 99% σύμφωνα με τη *MARPOL* και θεωρήθηκε ότι πληρώνεται στο 98% του συνολικού όγκου της. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Tank	X _a	X _f	Y _p	Y _s	z
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
No 1 C.O. TK (S)	137.7	158.2	14.2	7.3	2
No 1 C.O. TK (P)	137.7	158.2	16.8	23.7	2
No 2 C.O. TK (S)	117.2	136.7	14.2	4.3	2
No 2 C.O. TK (P)	117.2	136.7	16.8	26.7	2
No 3 C.O. TK (S)	96.7	116.2	14.2	4.3	2
No 3 C.O. TK (P)	96.7	116.2	16.8	26.7	2
No 4 C.O. TK (S)	76.2	95.7	14.2	4.3	2
No 4 C.O. TK (P)	76.2	95.7	16.8	26.7	2
No 5 C.O. TK (S)	55.7	75.2	14.2	4.3	2
No 5 C.O. TK (P)	55.7	75.2	16.8	26.7	2
No 6 C.O. TK (S)	35.2	54.7	14.2	4.3	2
No 6 C.O. TK (P)	35.2	54.7	16.8	26.7	2
R.O. TK (S)	31.8	35.2	8.6	5.2	2
SLOP TK (S)	31.8	35.2	14.2	8.6	2
SLOP TK (P)	31.8	35.2	16.8	25.8	2

Πίνακας 16-8: Μετρήσεις των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.

Με βάση τους λόγους $\frac{X_a}{L}, \frac{X_f}{L}, \frac{Y_p}{B}, \frac{Y_s}{B}, \frac{z}{D}$ και τον Πίνακα 16-9 με τις πιθανότητες για πλευρική βλάβη υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιθανότητες όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με την παράγραφο 9.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

Tank	X _a /L	P _{Ba}	X _f /L	P _{Bf}	Y _p /B	P _{Bp}	Y _s /B	P _{Bs}	z/D	P _{Bz}
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.81	0.428	0.93	0.046	0.46	0.386	0.24	0.087	0.1229	0.8051
No 1 C.O. TK (P)	0.81	0.428	0.93	0.046	0.54	0.305	0.76	0.559	0.1229	0.8051
No 2 C.O. TK (S)	0.69	0.281	0.81	0.241	0.46	0.386	0.14	0.027	0.1229	0.8051
No 2 C.O. TK (P)	0.69	0.281	0.81	0.241	0.54	0.305	0.86	0.655	0.1229	0.8051
No 3 C.O. TK (S)	0.57	0.184	0.69	0.434	0.46	0.386	0.14	0.027	0.1229	0.8051
No 3 C.O. TK (P)	0.57	0.184	0.69	0.434	0.54	0.305	0.86	0.655	0.1229	0.8051
No 4 C.O. TK (S)	0.45	0.119	0.56	0.610	0.46	0.386	0.14	0.027	0.1229	0.8051
No 4 C.O. TK (P)	0.45	0.119	0.56	0.610	0.54	0.305	0.86	0.655	0.1229	0.8051
No 5 C.O. TK (S)	0.33	0.068	0.44	0.739	0.46	0.386	0.14	0.027	0.1229	0.8051
No 5 C.O. TK (P)	0.33	0.068	0.44	0.739	0.54	0.305	0.86	0.655	0.1229	0.8051
No 6 C.O. TK (S)	0.21	0.031	0.32	0.827	0.46	0.386	0.14	0.027	0.1229	0.8051
No 6 C.O. TK (P)	0.21	0.031	0.32	0.827	0.54	0.305	0.86	0.655	0.1229	0.8051
R.O. TK (S)	0.19	0.026	0.21	0.890	0.28	0.567	0.17	0.043	0.1229	0.8051
SLOP TK (S)	0.19	0.026	0.21	0.890	0.46	0.386	0.28	0.117	0.1229	0.8051
SLOP TK (P)	0.19	0.026	0.21	0.890	0.54	0.305	0.83	0.626	0.1229	0.8051

Πίνακας 16-9: Υπολογισμός πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα (1/2).

Η πιθανότητα βλάβης στον πυθμένα μιας δεξαμενής P_B όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με την παράγραφο 8.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

$$P_B = P_{BL} \cdot P_{BT} \cdot P_{BV}$$

- $P_{BL} = 1 - P_{Bf} - P_{Ba}$
- $P_{BT} = 1 - P_{Bp} - P_{Bs}$
- $P_{BV} = 1 - P_{Bz}$

Οπότε προκύπτει:

Tank	P_{BL}	P_{BT}	P_{BV}	P_B
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.53	0.527	0.1949	0.0540
No 1 C.O. TK (P)	0.53	0.137	0.1949	0.0140
No 2 C.O. TK (S)	0.48	0.587	0.1949	0.0547
No 2 C.O. TK (P)	0.48	0.040	0.1949	0.0037
No 3 C.O. TK (S)	0.38	0.587	0.1949	0.0436
No 3 C.O. TK (P)	0.38	0.040	0.1949	0.0030
No 4 C.O. TK (S)	0.27	0.587	0.1949	0.0310
No 4 C.O. TK (P)	0.27	0.040	0.1949	0.0021
No 5 C.O. TK (S)	0.19	0.587	0.1949	0.0220
No 5 C.O. TK (P)	0.19	0.040	0.1949	0.0015
No 6 C.O. TK (S)	0.14	0.587	0.1949	0.0162
No 6 C.O. TK (P)	0.14	0.040	0.1949	0.0011
R.O. TK (S)	0.08	0.390	0.1949	0.0064
SLOP TK (S)	0.08	0.497	0.1949	0.0081
SLOP TK (P)	0.08	0.069	0.1949	0.0011

Πίνακας 16-10: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).

Στο σημείο αυτό θα υπολογιστεί ο όγκος του πετρελαίου που θα διαρρεύσει για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]) που θέτει η MARPOL σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιεγράφηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Tank	$H_c(0)$	$O_B(0)$	$H_c(2.5)$	$O_B(2.5)$
	[m]	[m ³]	[m]	[m ³]
No 1 C.O. TK (S)	9.63	812.6	7.04	1242.8
No 1 C.O. TK (P)	9.63	812.6	7.04	1242.8
No 2 C.O. TK (S)	9.63	1057.5	7.04	1676.7
No 2 C.O. TK (P)	9.63	1057.5	7.04	1676.7
No 3 C.O. TK (S)	9.63	1103.7	7.04	1752.9
No 3 C.O. TK (P)	9.63	1103.7	7.04	1752.9
No 4 C.O. TK (S)	9.63	1104.0	7.04	1753.1
No 4 C.O. TK (P)	9.63	1104.0	7.04	1753.1
No 5 C.O. TK (S)	9.63	1104.0	7.04	1753.1
No 5 C.O. TK (P)	9.63	1104.0	7.04	1753.1
No 6 C.O. TK (S)	9.63	1104.0	7.04	1753.2
No 6 C.O. TK (P)	9.63	1104.0	7.04	1753.2
R.O. TK (S)	9.63	96.5	7.04	152.9
SLOP TK (S)	9.63	93.2	7.04	148.2
SLOP TK (P)	9.63	189.6	7.04	301.0

Πίνακας 16-11: Πίνακας όγκων πετρελαίου που διαρρέει λόγω βλάβης στον πυθμένα για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]).

Οπότε στο σημείο αυτό η διαρροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 7.1 και 7.2 του *Regulation 23* της *MARPOL* ως εξής:

$$O_{MB(0)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(0)} \cdot C_{DB(i)}$$

$$O_{MB(2.5)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(2.5)} \cdot C_{DB(i)}$$

Ο συντελεστής C_{DB} λαμβάνεται ως $C_{DB} = 0.6$ καθώς για το υπό μελέτη πλοίο μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και του εξωτερικού περιβλήματος παρεμβάλλεται μη βλαβερό προς το περιβάλλον υλικό (δεξαμενές έρματος).

Οπότε, τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:

Tank	C_{DB}	P_B	$P_B \cdot O_B(0) \cdot C_{DB}$	$P_B \cdot O_B(2.5) \cdot C_{DB}$
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.6	0.0540	26.33	40.27
No 1 C.O. TK (P)	0.6	0.0140	6.84	10.46
No 2 C.O. TK (S)	0.6	0.0547	34.71	55.03
No 2 C.O. TK (P)	0.6	0.0037	2.37	3.76
No 3 C.O. TK (S)	0.6	0.0436	28.89	45.88
No 3 C.O. TK (P)	0.6	0.0030	1.97	3.14
No 4 C.O. TK (S)	0.6	0.0310	20.54	32.62
No 4 C.O. TK (P)	0.6	0.0021	1.40	2.23
No 5 C.O. TK (S)	0.6	0.0220	14.60	23.19
No 5 C.O. TK (P)	0.6	0.0015	1.00	1.58
No 6 C.O. TK (S)	0.6	0.0162	10.73	17.05
No 6 C.O. TK (P)	0.6	0.0011	0.73	1.16
R.O. TK (S)	0.6	0.0064	0.37	0.58
SLOP TK (S)	0.6	0.0081	0.45	0.72
SLOP TK (P)	0.6	0.0011	0.13	0.20

Πίνακας 16-12: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.

$$O_{MB(0)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(0)} \cdot C_{DB(i)} = 151.08 [m^3]$$

$$O_{MB(2.5)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(2.5)} \cdot C_{DB(i)} = 237.88 [m^3]$$

$$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(2.5)}$$

$$O_{MB} = 177.12 [m^3]$$

16.3.3 Υπολογισμός συνολικού πετρελαίου που θα διαρρεύσει

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.1 του *Regulation 23* της *MARPOL* ο υπολογισμός του αδιάστατου διαρρεόμενου πετρελαίου προκύπτει:

$$O_M = \frac{0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}}{C}$$

$$O_M = \frac{0.4 \cdot 617.35 + 0.6 \cdot 177.12}{39409.5}$$

$$O_M = 0.0089$$

Για δεξαμενόπλοια με χωρητικότητα ≥ 5000 [t] *DWT* το όριο σύμφωνα με την παράγραφο 3.1 του *Regulation 23* της *MARPOL* είναι:

$$O_M \leq 0.015 \quad \text{για } C \leq 200000 \text{ [m}^3\text{]}$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου ισχύει:

$$O_M = 0.0089 \leq 0.015 \quad (\text{SATISFIED})$$

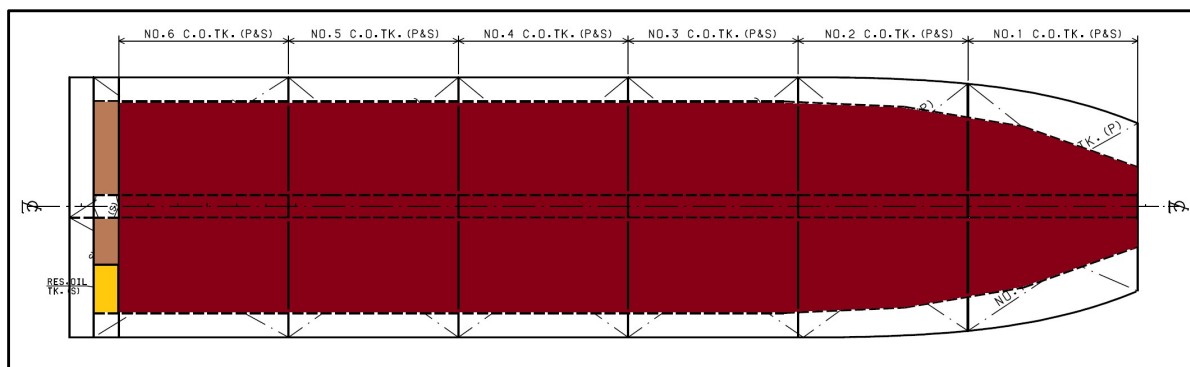
Συνεπώς, το πλοίο συμμορφώνεται πλήρως με το *Regulation 23* της *MARPOL*.

16.4 Περιθώριο αύξησης της μεταφορικής ικανότητας

Όπως διαπιστώθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τον κανονισμό 23 για το *Accidental Oil Outflow* που ορίζει η *MARPOL*. Για το λόγο αυτό υπάρχει περιθώριο αύξησης του όγκου των δεξαμενών φορτίου διατηρώντας πάντα την τιμή του $O_M \leq 0.015$ και τηρώντας ταυτόχρονα τον κανονισμό για τα ελάχιστα βύθισμα (βύθισμα στην πωραία κάθετο – μέσο βύθισμα – βύθισμα στην πρυμναία κάθετο) και τη μέγιστη διαγωγή που ορίζει η *MARPOL*.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει μια πρόταση εναλλακτικής εσωτερικής διάταξης με σκοπό την αύξηση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Στη συνέχεια θα γίνει ο υπολογισμός του *Accidental Oil Outflow* O_M όπως πραγματοποιήθηκε παραπάνω και τέλος θα γίνει έλεγχος των βυθισμάτων και της μέγιστης διαγωγής που ορίζει η *MARPOL*.

Η διάταξη που θα μελετηθεί είναι μια διάταξη δεξαμενών φορτίου (2 x 6) με ύψος διπυθμένου $h_{db} = 1.5 [m]$ και πλευρική απόσταση $w = 1.5 [m]$. Αφού κατασκευαστεί εκ νέου η παραπάνω διάταξη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*, πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί που έγιναν στην ενότητα 16.2 για τη νέα διάταξη.



Εικόνα 16-3: Σκαρίφημα εσωτερικής διάταξης.
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

16.4.1 Υπολογισμός πιθανοτήτων πλευρικής βλάβης (για νέα διάταξη)

Το πρώτο βήμα είναι η μέτρηση των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και y για κάθε δεξαμενή που θα διερευνηθεί. Ο όγκος της κάθε δεξαμενής υπολογίστηκε με δεδομένη διαχωρητικότητα (*Permeability*) 99% σύμφωνα με τη *MARPOL* και θεωρήθηκε ότι πληρώνεται στο 98% του συνολικού όγκου της. Οι μετρήσεις για τη νέα διάταξη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Tank	Os	Xa	Xf	Zl	Zu	γ
	[m ³]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
No 1 C.O. TK (S)	2358.2	137.7	158.2	1.5	15.73	2.9
No 1 C.O. TK (P)	2358.2	137.7	158.2	1.5	15.73	16
No 2 C.O. TK (S)	3491.7	117.2	136.7	1.5	15.73	1.5
No 2 C.O. TK (P)	3491.7	117.2	136.7	1.5	15.73	16
No 3 C.O. TK (S)	3663.6	96.7	116.2	1.5	15.73	1.5
No 3 C.O. TK (P)	3663.6	96.7	116.2	1.5	15.73	16
No 4 C.O. TK (S)	3663.6	76.2	95.7	1.5	15.73	1.5
No 4 C.O. TK (P)	3663.6	76.2	95.7	1.5	15.73	16
No 5 C.O. TK (S)	3663.6	55.7	75.2	1.5	15.73	1.5
No 5 C.O. TK (P)	3663.6	55.7	75.2	1.5	15.73	16
No 6 C.O. TK (S)	3663.3	35.2	54.7	1.5	15.73	1.5
No 6 C.O. TK (P)	3663.3	35.2	54.7	1.5	15.73	16
R.O. TK (S)	306.6	31.8	35.2	1.5	15.73	1.5
SLOP TK (S)	315.8	31.8	35.2	1.5	15.73	8.4
SLOP TK (P)	622.4	31.8	35.2	1.5	15.73	16
TOTAL	42252.6					

Πίνακας 16-13: Μετρήσεις των όγκων και των αποστάσεων X_a, X_f, Z_l, Z_u και γ για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.

Με βάση τους λόγους $\frac{X_a}{L}, \frac{X_f}{L}, \frac{Z_l}{D}, \frac{Z_u}{D}, \frac{\gamma}{B}$ και τον Πίνακα 16-1 με τις πιθανότητες για πλευρική βλάβη υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιθανότητες όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με την παράγραφο 8.1 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

Tank	X_a/L	P_{sa}	X_f/L	P_{sf}	Z_l/D	P_{sl}	Z_u/D	P_{su}	γ/B	P_{sy}
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.8128	0.7798	0.9338	0.0376	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0935	0.8825
No 1 C.O. TK (P)	0.8128	0.7798	0.9338	0.0376	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 2 C.O. TK (S)	0.6918	0.6588	0.8069	0.1601	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
No 2 C.O. TK (P)	0.6918	0.6588	0.8069	0.1601	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 3 C.O. TK (S)	0.5708	0.5378	0.6859	0.2811	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
No 3 C.O. TK (P)	0.5708	0.5378	0.6859	0.2811	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 4 C.O. TK (S)	0.4498	0.4168	0.5649	0.4021	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
No 4 C.O. TK (P)	0.4498	0.4168	0.5649	0.4021	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 5 C.O. TK (S)	0.3288	0.2958	0.4439	0.5231	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
No 5 C.O. TK (P)	0.3288	0.2958	0.4439	0.5231	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
No 6 C.O. TK (S)	0.2078	0.1748	0.3229	0.6441	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
No 6 C.O. TK (P)	0.2078	0.1748	0.3229	0.6441	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000
R.O. TK (S)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.0484	0.7404
SLOP TK (S)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.2710	0.9837
SLOP TK (P)	0.1877	0.1547	0.2078	0.7592	0.0921	0.0008	0.9662	0.0088	0.5161	1.0000

Πίνακας 16-14: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (1/2).

Η πιθανότητα πλευρικής βλάβης μιας δεξαμενής P_S όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με την παράγραφο 8.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

$$P_S = P_{SL} \cdot P_{SV} \cdot P_{ST}$$

- $P_{SL} = 1 - P_{sf} - P_{sa}$
- $P_{SV} = 1 - P_{su} - P_{sl}$
- $P_{ST} = 1 - P_{sy}$

Οπότε προκύπτει:

Tank	P _{SL}	P _{SV}	P _{ST}	P _S
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.1175	0.0212
No 1 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
No 2 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.2596	0.0466
No 2 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
No 3 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.2596	0.0466
No 3 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
No 4 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.2596	0.0466
No 4 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
No 5 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.2596	0.0466
No 5 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
No 6 C.O. TK (S)	0.18	0.990	0.2596	0.0466
No 6 C.O. TK (P)	0.18	0.990	0.0000	0.0000
R.O. TK (S)	0.09	0.990	0.2596	0.0221
SLOP TK (S)	0.09	0.990	0.0163	0.0014
SLOP TK (P)	0.09	0.990	0.0000	0.0000

Πίνακας 16-15: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).

Οπότε στο σημείο αυτό η διαρροή πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 6 του *Regulation 23* της *MARPOL* ως εξής:

$$O_{MS} = C_3 \sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)}$$

Ο συντελεστής C_3 λαμβάνεται ως $C_3 = 1.0$ καθώς το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μια διαμήκη φρακτή που εκτείνεται καθ' όλο το μήκος των δεξαμενών φορτίου. Οπότε τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:

Tank	O _s	P _S *O _s
	[m ³]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	2358.2	50.10
No 1 C.O. TK (P)	2358.2	0.00
No 2 C.O. TK (S)	3491.7	162.57
No 2 C.O. TK (P)	3491.7	0.00
No 3 C.O. TK (S)	3663.6	170.57
No 3 C.O. TK (P)	3663.6	0.00
No 4 C.O. TK (S)	3663.6	170.57
No 4 C.O. TK (P)	3663.6	0.00
No 5 C.O. TK (S)	3663.6	170.57
No 5 C.O. TK (P)	3663.6	0.00
No 6 C.O. TK (S)	3663.3	170.55
No 6 C.O. TK (P)	3663.3	0.00
R.O. TK (S)	306.6	6.78
SLOP TK (S)	315.8	0.44
SLOP TK (P)	622.4	0.00

Πίνακας 16-16: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.

$$\sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)} = 902.1 [m^3]$$

$$O_{MS} = 1.0 \cdot 902.1$$

$$O_{MS} = 902.1 [m^3]$$

16.4.2 Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης στον πυθμένα

Και στον υπολογισμό των πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα το πρώτο βήμα είναι η μέτρηση των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για κάθε δεξαμενή που θα διερευνηθεί. Ο όγκος της κάθε δεξαμενής και σε αυτή την περίπτωση υπολογίστηκε με δεδομένη διαχωρητικότητα (*Permeability*) 99% σύμφωνα με τη *MARPOL* και θεωρήθηκε ότι πληρώνεται στο 98% του συνολικού όγκου της. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Tank	X_a	X_f	Y_p	Y_s	z
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
No 1 C.O. TK (S)	137.7	158.2	14.2	7	1.5
No 1 C.O. TK (P)	137.7	158.2	16.8	24.3	1.5
No 2 C.O. TK (S)	117.2	136.7	14.2	3.9	1.5
No 2 C.O. TK (P)	117.2	136.7	16.8	27.1	1.5
No 3 C.O. TK (S)	96.7	116.2	14.2	3.9	1.5
No 3 C.O. TK (P)	96.7	116.2	16.8	27.1	1.5
No 4 C.O. TK (S)	76.2	95.7	14.2	3.9	1.5
No 4 C.O. TK (P)	76.2	95.7	16.8	27.1	1.5
No 5 C.O. TK (S)	55.7	75.2	14.2	3.9	1.5
No 5 C.O. TK (P)	55.7	75.2	16.8	27.1	1.5
No 6 C.O. TK (S)	35.2	54.7	14.2	3.9	1.5
No 6 C.O. TK (P)	35.2	54.7	16.8	27.1	1.5
R.O. TK (S)	31.8	35.2	8.4	4.8	1.5
SLOP TK (S)	31.8	35.2	14.2	8.4	1.5
SLOP TK (P)	31.8	35.2	16.8	26.2	1.5

Πίνακας 16-17: Μετρήσεις των αποστάσεων X_a, X_f, Y_p, Y_s και z για όλες τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.

Με βάση τους λόγους $\frac{X_a}{L}, \frac{X_f}{L}, \frac{Y_p}{B}, \frac{Y_s}{B}, \frac{z}{D}$ και τον Πίνακα 16-9 με τις πιθανότητες για πλευρική βλάβη υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιθανότητες όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με την παράγραφο 9.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

Tank	χ_a/L	P_{Ba}	χ_f/L	P_{Bf}	Υ_p/B	P_{Bp}	Υ_s/B	P_{Bs}	z/D	P_{Bz}
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.8128	0.4276	0.9338	0.0464	0.4581	0.3859	0.2258	0.0805	0.0921	0.7672
No 1 C.O. TK (P)	0.8128	0.4276	0.9338	0.0464	0.5419	0.3046	0.7839	0.5779	0.0921	0.7672
No 2 C.O. TK (S)	0.6918	0.2813	0.8069	0.2407	0.4581	0.3859	0.1258	0.0209	0.0921	0.7672
No 2 C.O. TK (P)	0.6918	0.2813	0.8069	0.2407	0.5419	0.3046	0.8742	0.6682	0.0921	0.7672
No 3 C.O. TK (S)	0.5708	0.1843	0.6859	0.4345	0.4581	0.3859	0.1258	0.0209	0.0921	0.7672
No 3 C.O. TK (P)	0.5708	0.1843	0.6859	0.4345	0.5419	0.3046	0.8742	0.6682	0.0921	0.7672
No 4 C.O. TK (S)	0.4498	0.1189	0.5649	0.6101	0.4581	0.3859	0.1258	0.0209	0.0921	0.7672
No 4 C.O. TK (P)	0.4498	0.1189	0.5649	0.6101	0.5419	0.3046	0.8742	0.6682	0.0921	0.7672
No 5 C.O. TK (S)	0.3288	0.0684	0.4439	0.7390	0.4581	0.3859	0.1258	0.0209	0.0921	0.7672
No 5 C.O. TK (P)	0.3288	0.0684	0.4439	0.7390	0.5419	0.3046	0.8742	0.6682	0.0921	0.7672
No 6 C.O. TK (S)	0.2078	0.0310	0.3229	0.8274	0.4581	0.3859	0.1258	0.0209	0.0921	0.7672
No 6 C.O. TK (P)	0.2078	0.0310	0.3229	0.8274	0.5419	0.3046	0.8742	0.6682	0.0921	0.7672
R.O. TK (S)	0.1877	0.0260	0.2078	0.8903	0.2710	0.5730	0.1548	0.0350	0.0921	0.7672
SLOP TK (S)	0.1877	0.0260	0.2078	0.8903	0.4581	0.3859	0.2710	0.1121	0.0921	0.7672
SLOP TK (P)	0.1877	0.0260	0.2078	0.8903	0.5419	0.3046	0.8452	0.6392	0.0921	0.7672

Πίνακας 16-18: Υπολογισμός πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα (1/2).

Η πιθανότητα βλάβης στον πυθμένα μιας δεξαμενής P_B όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με την παράγραφο 8.3 του *Regulation 23* της *MARPOL*:

$$P_B = P_{BL} \cdot P_{BT} \cdot P_{BV}$$

- $P_{BL} = 1 - P_{Bf} - P_{Ba}$
- $P_{BT} = 1 - P_{Bp} - P_{Bs}$
- $P_{BV} = 1 - P_{Bz}$

Οπότε προκύπτει:

Tank	P_{BL}	P_{BT}	P_{BV}	P_B
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.53	0.534	0.2328	0.0653
No 1 C.O. TK (P)	0.53	0.118	0.2328	0.0144
No 2 C.O. TK (S)	0.48	0.593	0.2328	0.0660
No 2 C.O. TK (P)	0.48	0.027	0.2328	0.0030
No 3 C.O. TK (S)	0.38	0.593	0.2328	0.0526
No 3 C.O. TK (P)	0.38	0.027	0.2328	0.0024
No 4 C.O. TK (S)	0.27	0.593	0.2328	0.0374
No 4 C.O. TK (P)	0.27	0.027	0.2328	0.0017
No 5 C.O. TK (S)	0.19	0.593	0.2328	0.0266
No 5 C.O. TK (P)	0.19	0.027	0.2328	0.0012
No 6 C.O. TK (S)	0.14	0.593	0.2328	0.0196
No 6 C.O. TK (P)	0.14	0.027	0.2328	0.0009
R.O. TK (S)	0.08	0.392	0.2328	0.0076
SLOP TK (S)	0.08	0.502	0.2328	0.0098
SLOP TK (P)	0.08	0.056	0.2328	0.0011

Πίνακας 16-19: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη (2/2).

Στο σημείο αυτό θα υπολογιστεί ο όγκος του πετρελαίου που θα διαρρέψει για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]) που θέτει η MARPOL σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιεγράφηκε παραπάνω. Λόγω της αλλαγής των δεξαμενών αλλάζουν και το ύψος h_c για κάθε περίπτωση παλίρροιας και υπολογίζεται εκ νέου.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Tank	Hc(0)	O _B (0)	Hc (2.5)	O _B (2.5)
	[m]	[m ³]	[m]	[m ³]
No 1 C.O. TK (S)	10.15	836.5	7.56	1285.6
No 1 C.O. TK (P)	10.15	836.5	7.56	1285.6
No 2 C.O. TK (S)	10.15	1085.4	7.56	1728.2
No 2 C.O. TK (P)	10.15	1090.7	7.56	1728.2
No 3 C.O. TK (S)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 3 C.O. TK (P)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 4 C.O. TK (S)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 4 C.O. TK (P)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 5 C.O. TK (S)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 5 C.O. TK (P)	10.15	1132.5	7.56	1806.3
No 6 C.O. TK (S)	10.15	1133.0	7.56	1806.8
No 6 C.O. TK (P)	10.15	1133.0	7.56	1806.8
R.O. TK (S)	10.15	99.1	7.56	157.6
SLOP TK (S)	10.15	95.5	7.56	152.6
SLOP TK (P)	10.15	194.6	7.56	310.2

Πίνακας 16-20: Πίνακας όγκων πετρελαίου που διαρρέει λόγω βλάβης στον πυθμένα για τις δύο περιπτώσεις παλίρροιας (0 [m] και 2.5 [m]).

Οπότε στο σημείο αυτό η διαρροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 7.1 και 7.2 του Regulation 23 της MARPOL ως εξής:

$$O_{MB(0)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(0)} \cdot C_{DB(i)}$$

$$O_{MB(2.5)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(2.5)} \cdot C_{DB(i)}$$

Ο συντελεστής C_{DB} λαμβάνεται ως $C_{DB} = 0.6$ καθώς το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μια για μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και του εξωτερικού περιβλήματος δεξαμενές με μη βλαβερό προς το περιβάλλον περιεχόμενο (δεξαμενές έρματος).

Οπότε, τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:

Tank	C_{DB}	P_B	$P_B \cdot O_B(0) \cdot C_{DB}$	$P_B \cdot O_B(2.5) \cdot C_{DB}$
	[-]	[-]	[-]	[-]
No 1 C.O. TK (S)	0.6	0.0653	32.78	50.38
No 1 C.O. TK (P)	0.6	0.0144	7.22	11.10
No 2 C.O. TK (S)	0.6	0.0660	42.99	68.45
No 2 C.O. TK (P)	0.6	0.0030	1.98	3.14
No 3 C.O. TK (S)	0.6	0.0526	35.77	57.05
No 3 C.O. TK (P)	0.6	0.0024	1.64	2.62
No 4 C.O. TK (S)	0.6	0.0374	25.43	40.56
No 4 C.O. TK (P)	0.6	0.0017	1.17	1.86
No 5 C.O. TK (S)	0.6	0.0266	18.07	28.83
No 5 C.O. TK (P)	0.6	0.0012	0.83	1.32
No 6 C.O. TK (S)	0.6	0.0196	13.29	21.20
No 6 C.O. TK (P)	0.6	0.0009	0.61	0.97
R.O. TK (S)	0.6	0.0076	0.45	0.72
SLOP TK (S)	0.6	0.0098	0.56	0.90
SLOP TK (P)	0.6	0.0011	0.13	0.20

Πίνακας 16-21: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης.

$$O_{MB(0)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(0)} \cdot C_{DB(i)} = 182.93 [m^3]$$

$$O_{MB(2.5)} = \sum_{i=1}^n P_{B(i)} \cdot O_{B(2.5)} \cdot C_{DB(i)} = 289.31 [m^3]$$

$$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(2.5)}$$

$$\mathbf{O_{MB} = 214.85 [m]}$$

16.4.3 Υπολογισμός συνολικού πετρελαίου που θα διαρρεύσει

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.1 του *Regulation 23* της *MARPOL* ο υπολογισμός του αδιάστατου πετρελαίου που θα διαρρεύσει προκύπτει:

$$O_M = \frac{0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}}{C}$$

$$O_M = \frac{0.4 \cdot 902.1 + 0.6 \cdot 214.85}{42252.6}$$

$$O_M = 0.011$$

Για δεξαμενόπλοια με χωρητικότητα ≥ 5000 [t] *DWT* το όριο σύμφωνα με την παράγραφο 3.1 του *Regulation 23* της *MARPOL* είναι:

$$O_M \leq 0.015 \quad \text{για } C \leq 200000 \text{ [m}^3\text{]}$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου ισχύει:

$$O_M = 0.011 \leq 0.015 \quad (\text{SATISFIED})$$

Συνεπώς, το πλοίο συμμορφώνεται πλήρως με το *Regulation 23* της *MARPOL*.

16.4.4 Έλεγχος βυθισμάτων

Στο σημείο αυτό και εφόσον έχει διαπιστωθεί ότι η εναλλακτική σχεδίαση των χώρων φορτίου τηρεί τον κανονισμό 23 της *MARPOL* για το *Accidental Oil Outflow*, μένει να ελεγχθεί αν τηρούνται και τα ελάχιστα βυθίσματα (βύθισμα στην προωαία κάθετο – μέσο βύθισμα – βύθισμα στην πρυμναία κάθετο) και η μέγιστη επιτρεπόμενη διαγωγή που ορίζει η *MARPOL*. Με βάση τη νέα διάταξη, η χωρητικότητα των δεξαμενών για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χώρος	Όγκος 100%	Διαχωρητικότητα	Πληρότητα	Ειδικό βάρος γ	Βάρος
	[m ³]	[%]	[%]	[t/m ³]	[t]
Cargo Tanks	42267.4	95%	0%	0.990	0.0
Slop Tanks	967.0	95%	0%	0.990	0.0
R.O. Tank	316.0	95%	0%	0.990	0.0
Water Ballast tanks	13031.0	95%	100%	1.025	12688.9
H.F.O. Tanks	766.8	95%	10%	0.970	70.7
M.G.O. Tanks	220.3	95%	10%	0.850	17.8
Fresh Water Tanks	216.0	95%	0%	1.000	0.0
Lightweight	-	-	-	-	9198
TOTAL					21975.4

Πίνακας 16-22: Πλήρωση δεξαμενών για δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης – έλεγχος βυθισμάτων..

Με βάση την παραπάνω κατάσταση φόρτωσης για τη νέα προτεινόμενη διάταξη έγινε ο έλεγχος των βυθισμάτων στο πρόγραμμα *MAAT Hydro* και προέκυψε:

Ta [m]	Tm [m]	Tf [m]
5.560	5.540	5.520

Tmarpol [m]	Trim Marpol < 0.015L [m]
5.390	2.541

Trim [m]
0.040

Πίνακας 16-23: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης (νέα διάταξη) και περιορισμός MARPOL.

Στο σημείο αυτό και εφόσον ο περιορισμός που θέτει η *MARPOL* ικανοποιείται στο υπό μελέτη πλοίο η νέα διάταξη θεωρείται **αποδεκτή**.

Η αύξηση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου που επιτυγχάνεται με την εναλλακτική διάταξη προκύπτει:

$$increase \% = \frac{C_{alt} - C}{C_{alt}} \cdot 100$$

$$increase \% = \frac{42267.4 - 40620.0}{42267.4} \cdot 100 \Rightarrow increase \% = 3.89 \%$$

Φυσικά, θεωρείται ότι με τη διάταξη αυτή το πλοίο ικανοποιεί τα κριτήρια ευστάθειας. Σε κάθε άλλη περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εκ νέου ο έλεγχος.

Έλεγχος με περαιτέρω περιθώριο αύξησης

Στη συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ακόμα περιθώριο αύξησης των δεξαμενών φορτίου εφόσον για την περίπτωση που εξετάστηκε παραπάνω το $O_M = 0.011 \leq 0.015$. Για το λόγο αυτό, εξετάζεται και μια δεύτερη εναλλακτική διάταξη δεξαμενών φορτίου (2 x 6) με ύψος διπυθμένου $h_{ab} = 1.4 [m]$ και πλευρική απόσταση $w = 1.4 [m]$ για την πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί που έγιναν στην ενότητα 16.2 και προέκυψε:

$$O_M = 0.014 \leq 0.015$$

Τα αποτελέσματα από τον έλεγχο για την τήρηση των βυθισμάτων και της διαγωγής για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Ta [m]	Tm [m]	Tf [m]
6.110	6.090	6.060

Tmarpol [m]	Trim Marpol < 0.015L [m]
5.390	2.541

Trim [m]
0.050

Πίνακας 16-24: Βυθίσματα του υπό μελέτη πλοίου στην ελαφρύτερη κατάσταση φόρτωσης (νέα διάταξη 2) και περιορισμός MARPOL.

Διαπιστώθηκε ότι το βύθισμα είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο επιτρεπόμενο άρα η συγκεκριμένη διάταξη θεωρείται **μη αποδεκτή**.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε η προμελέτη και η σχεδίαση ενός δεξαμενόπλοιου *Product Carrier* με μεταφορική ικανότητα 40000 [t] *DWT* και υπηρεσιακή ταχύτητα 14 [kn]. Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα μεθοδολογία προμελέτης, υπολογίστηκαν με ακρίβεια το εκτόπισμα, οι κύριες διαστάσεις, οι συντελεστές μορφής της γάστρας, η απαιτούμενη ισχύς της προωστήριας εγκατάστασης καθώς επίσης και οι ομάδες βαρών του πλοίου. Ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών έγινε με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων αλλά και χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων, αποτελούμενη από στοιχεία όμοιων πλοίων, που κατασκευάστηκε για της ανάγκες τις εργασίας.

Μετά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας εξάγονται τα παρακάτω σημαντικά συμπεράσματα:

- Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της βάσης δεδομένων οδήγησε στη δημιουργία νέων πολύτιμων σχέσεων που συνδέουν τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου και βοηθούν στον προσδιορισμό τους για ένα σχεδιαζόμενο πλοίο.
- Επιβεβαιώνεται πως η διαδικασία της προμελέτης ενός πλοίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία μπορεί να φέρει σε ρήξη τις επιλογές του μελετητή ανάλογα με τις προτεραιότητες που θα θέσει όσο αφορά στη σχεδίαση του πλοίου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πολλές αλλαγές των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια εκπόνησης της προμελέτης μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση.
- Γίνεται αντιληπτή η κρισιμότητα της ορθής χρήσης και της κατάλληλης επιλογής των κυρίων διαστάσεων ενός πλοίου καθώς αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην ομαλή και επιτυχημένη λειτουργία του.
- Κάποιες από τις προσεγγιστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην εκλογή των διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου λόγω τις παλαιότητας τους παρουσίαζαν μεγάλες αποκλίσεις για αυτό το λόγο είτε χρησιμοποιήθηκε μικρότερος συντελεστής στον τελικό υπολογισμό είτε απορρίφθηκαν.
- Αντίθετα, η στατιστική ανάλυση των στοιχείων της βάσης δεδομένων λόγω του μεγάλου εύρους χωρητικότητας που καλύπτει, αλλά και λόγω του ότι αποτελείται κυρίως από στοιχεία σύγχρονων πλοίων, θεωρήθηκε πιο αξιόπιστη. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, όπως στην εκλογή του πλάτους απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσοχή και απομονώθηκε το δείγμα των πλοίων με σκοπό τον ακριβέστερο προσδιορισμό του έτσι ώστε το πλοίο να μπορεί αν διασχίζει το κανάλι του Παναμά και να ανταποκρίνεται σε ένα πραγματικό σενάριο.
- Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του βάρους του άφορτου πλοίου εφαρμόστηκαν αρχικά για το πατρικό πλοίο του οποίου το βάρος ήταν γνωστό. Στη συνέχεια, προέκυψε ο συντελεστής διόρθωσης του βάρους ο οποίος ήταν μικρός, πράγμα που καθιστά τις μεθόδους αξιόπιστες.



- Η μελέτη ενός πλοίου είναι ένα ζήτημα μείζονος σημασίας καθώς οδηγεί στο βέλτιστο αποτέλεσμα και η σωστή επιλογή των επιμέρους στοιχείων του δύναται να οδηγήσει στην πιο συμφέρουσα λύση με γνώμονα την αποφυγή περίπλοκων και δαπανηρών επιλογών και ατυχημάτων.
- Στο κεφάλαιο του υπολογισμού διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος παρατηρήθηκε ότι η διάταξη του πλοίου που σχεδιάστηκε σε πρώτη φάση είχε περιθώριο βελτίωσης όσο αφορά στη μεγιστοποίηση της μεταφορικής ικανότητας του για αυτό το λόγο έγινε επανεκτίμηση και επανασχεδιασμός.

Προτάσεις

Στο σημείο αυτό, ακολουθούν προτάσεις για μελλοντική έρευνα και συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Αρχικά, θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να κατασκευαστούν βάσεις δεδομένων για άλλους τύπους πλοίων (π.χ. πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, χύδην φορτίου, υγροποιημένου φυσικού αερίου κλπ.) με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην προμελέτη των αντίστοιχων τύπων πλοίου.
- Ακόμη, παρουσιάζει ενδιαφέρον η κατασκευή μιας διαδικασίας παραμετρικής σχεδίασης του μοντέλου του πλοίου που σε συνεργασία με κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα (π.χ. *Rhinoceros 3D*) να δέχεται ως δεδομένα κάποια βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου που έχουν προκύψει από τη διαδικασία προμελέτης και κάποιες παραμέτρους από το χρήστη.
- Τέλος προτείνεται η ανάπτυξη μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης που θα μπορούσε να περιλαμβάνει ως κριτήρια για παράδειγμα:
 - Την ελαχιστοποίηση του βάρους του άφορτου πλοίου.
 - Την ελαχιστοποίηση της αντίστασης με σκοπό την μείωση της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης.
 - Την εσωτερική διάταξη του πλοίου (αριθμός δεξαμενών, αριθμός διαμήκων φρακτών, ύψος διπυθμένου, πλευρική απόσταση) με σκοπό την αύξηση της μεταφορικής ικανότητας τηρώντας τον κανονισμό 23 της *MARPOL* για το πετρέλαιο διαρροής λόγω ατυχήματος (*Accidental Oil Outflow*).

Βιβλιογραφία

Έντυπη

Παπανικολάου, Α.Δ. (2016). *Ship Design*. Dordrecht Springer Netherlands.

Παπανικολάου, Α.Δ. (2009). *Μελέτη πλοίου: Μεθοδολογίες Προμελέτης (Τεύχος 1)*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.

Παπανικολάου, Α.Δ. (2009). *Μελέτη Πλοίου: Μεθοδολογίες Προμελέτης (Τεύχος 2)*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.

Πολίτης, Κ.Γ. (2020). *Σημειώσεις Μαθήματος Μελέτη Πλοίου*. ΠΑ.Δ.Α

Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2016a). *Βασική Θεωρία Πλοίου (Τόμος 1)*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2016b). *Βασική Θεωρία Πλοίου (Τόμος 2)*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Τζαμπίρας, Γ. (2015). *Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου. [ηλεκτρ. βιβλ.]*. Αθήνα: Εκδόσεις Κάλλιπος.

Κώστας, Κ.Β. (2014). *3D Σχεδίαση & Υπολογισμοί Με Το Rhino 3D*. Εκδόσεις DaVinci.

Γεωργάκης, Π. (2012). *Εκτίμηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Και Λειτουργίας Μηχανοστασίων Σύγχρονων Πλοίων Μεταφοράς Φορτίου Χύδην (Bulk Carrier) Και Δεξαμενοπλοίων (Tanker)*. Διπλωματική Εργασία.

Babicz, J. (2015). *Wärtsilä Encyclopedia of Ship Technology*. Helsinki: Wärtsilä Corporation.

IMO Instruments (1993). *Code on Intact Stability for All Types of ships: Resolution A 749(18)*. London: IMO

International Maritime Organization (2003). *MARPOL*. London: IMO.

MAN Energy Solutions (2018). *MAN B&W S40ME-C9.5 Project Guide*. Germany: MAN.

MAN Energy Solutions (2019). *Marine Engine Programme*. Germany: MAN.

Report of the IMO Comparative Study on Oil Tanker Design (MEPC 32/7/15).

Διαδικτυακή

Wikipedia Contributors (2019). *Δεξαμενόπλοιο*.

Διαθέσιμο: <https://el.wikipedia.org/wiki/Δεξαμενόπλοιο>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 2/12/2021].

Pike, J.E. (2011). *Tanker History*. Global Security.

Διαθέσιμο: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/tanker-history.htm>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 8/12/2021].

Maritime Industry Foundation (2021). *The History of Tankers and Containerization!* | *Maritime Industry Knowledge Center*. Maritime Info.

Διαθέσιμο: <https://www.maritimeinfo.org/en/Blog/history-tankers-and-containerization>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 6/12/2021].

Whittaker, Jr., A.D. (2015). *S.S. Universe Apollo*. nashbulk.steamcheng.net.

Διαθέσιμο: <https://nashbulk.steamcheng.net/apollo.html>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 6/12/2021].

Mohit (2019). *What Are Tanker Ships?* Marine Insight.

Διαθέσιμο: <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-tanker-ships/>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 29/9/2021].

Pålsson, C. (2011). *The Source for Maritime Information and Insight*. IMSF.

Διαθέσιμο: <http://www.imsf.info/media/1167/14-chris-palsson-ihs-fairplay-ship-types-sizes.pdf>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 12/9/2021].

The Editors of Encyclopedia Britannica (1998). Tanker | Ship | Britannica. In: *Encyclopedia Britannica*.

Διαθέσιμο: <https://www.britannica.com/technology/tanker>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 15/10/2021].

Wikipedia Contributors (2021a). *Microsoft Excel*.

Διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel

[Ημερομηνία ανάκτησης: 7/12/2021].

Wikipedia Contributors (2021b). *Rhinoceros 3D*.

Διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D

[Ημερομηνία ανάκτησης: 7/12/2021].

Wikipedia Contributors (2021c). *MATLAB*.

Διαθέσιμο: <https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 7/12/2021].

Δήμου, Ι. (2015). Βασική ορολογία που χρησιμοποιείται στην περιγραφή των πλοίων.

eclass.snd.edu.gr. Διαθέσιμο:

https://eclass.snd.edu.gr/modules/document/file.php/TOM2110/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/2015.10_L.03.pdf

[Ημερομηνία ανάκτησης: 15/10/2021].

Προγράμματα

Matlab R2020b και R2021a/R2021b

Διαθέσιμο: <https://www.uniwa.gr/software/matlab/>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 15/10/2021].

Rhinoceros 3D 7 One Time Evaluation (90-day free full version trial)

Διαθέσιμο: <https://www.rhino3d.com/download/>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 8/9/2021].

MAAT Hydro 9 Demo

Διαθέσιμο: <https://www.sistre-shipdesign-software.com/>

[Ημερομηνία ανάκτησης: 12/10/2021].

Παράρτημα

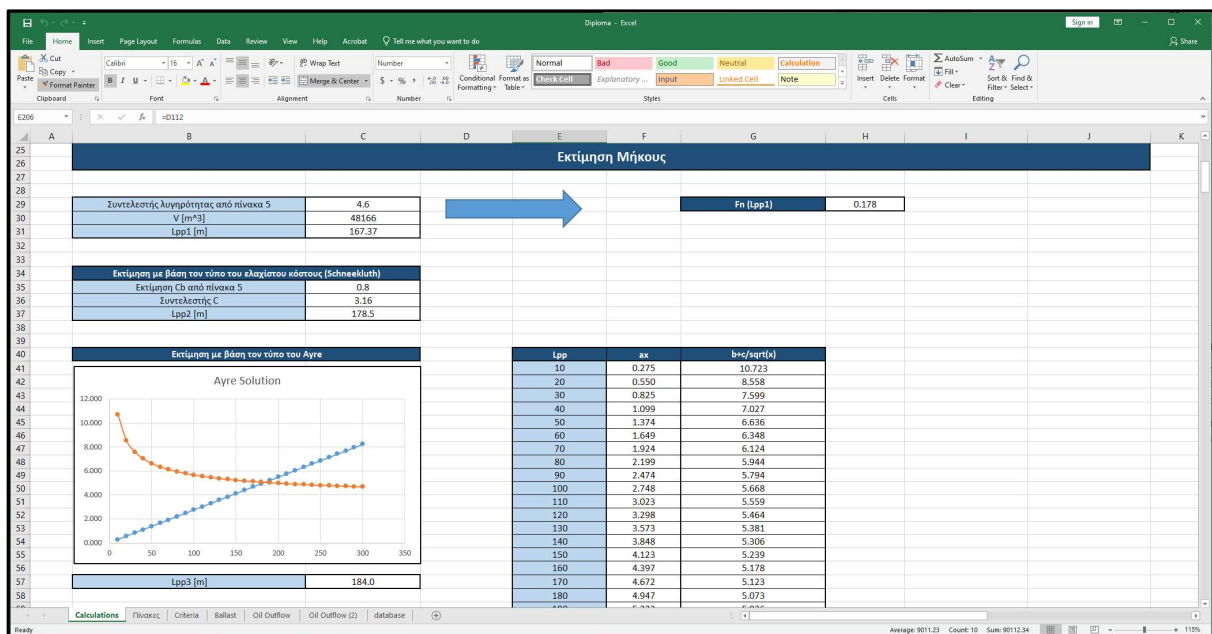
Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε

Για την παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω λογισμικό:

Microsoft Excel

Το «*Microsoft Excel*» είναι πρόγραμμα λογιστικών φύλλων που αναπτύχθηκε από την εταιρία «*Microsoft*» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα λειτουργικά συστήματα. Έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί υπολογισμούς, γραφήματα, ενώ παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιεί συγκεντρωτικούς πίνακες. Ακόμη διαθέτει μια πληθώρα προπαρασκευασμένων συναρτήσεων σε γλώσσα που καλείται «*Visual Basic for Applications*» κάνοντας εύκολες τις διαδικασίες μαζικών υπολογισμών. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της βάσης δεδομένων, για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στη διαδικασία της προμελέτης και για την κατασκευή των γραφημάτων.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2019a]



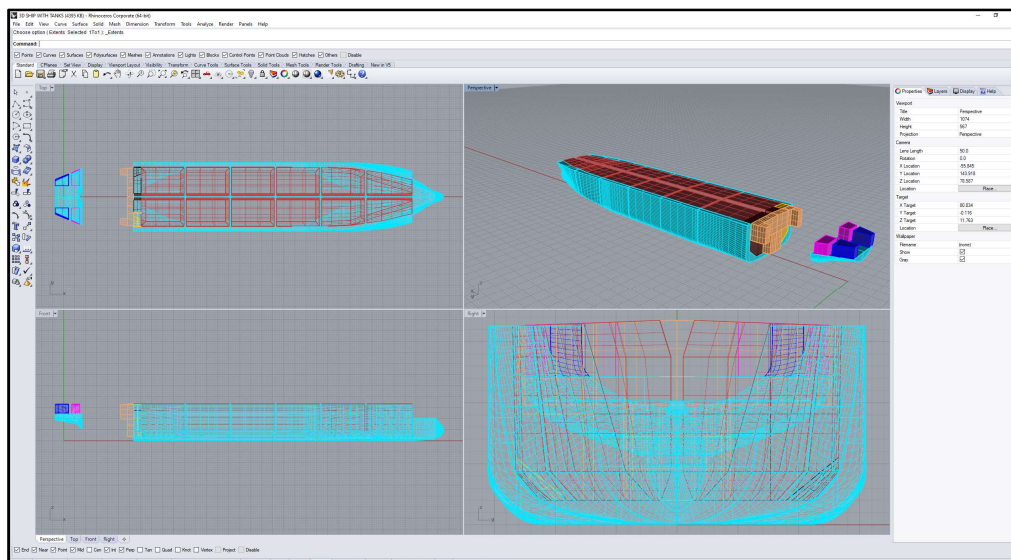
Εικόνα Π-1: Γραφικό περιβάλλον του Microsoft Excel.

[Πηγή: Αρχεϊακό υλικό]

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, του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών, του υδροστατικού διαγράμματος και των καμπυλών ευστάθειας για τις 4 βασικές καταστάσεις φόρτωσης.

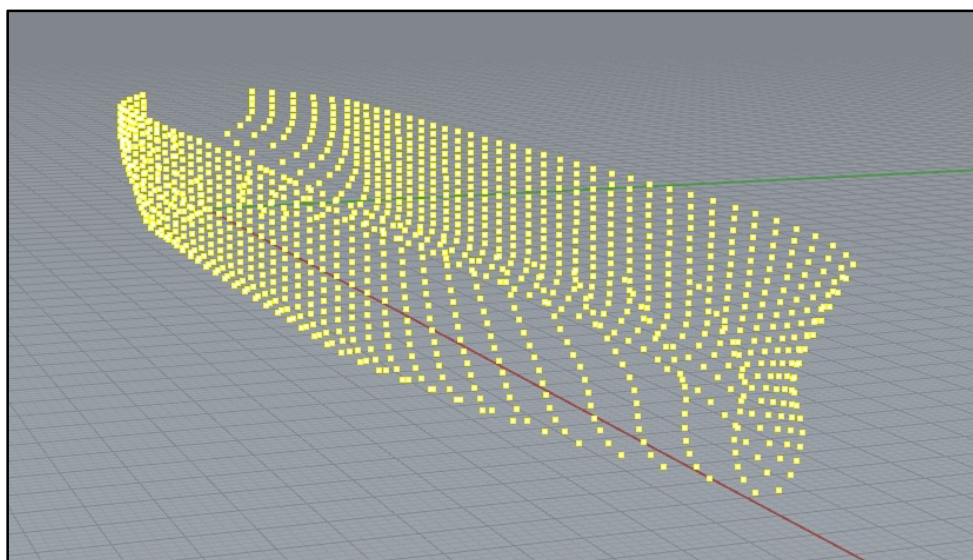
[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2021b]



Εικόνα Π-2: Γραφικό περιβάλλον του *Rhinoceros 3D*.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου στο *Rhinoceros 3D*

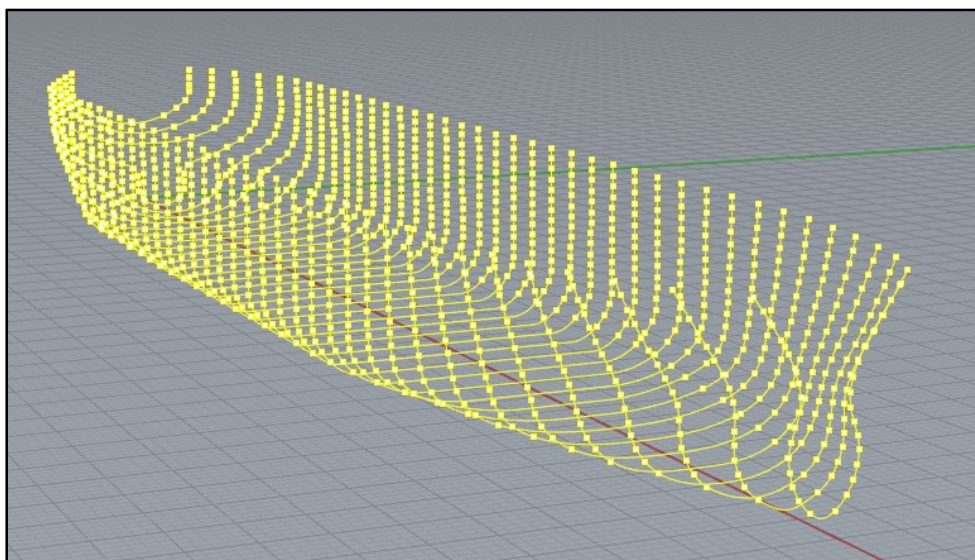
Η διαδικασία σχεδίασης του τρισδιάστατου μοντέλου του πλοίου ξεκινά από την ανάκτηση ενός σχεδίου ναυπηγικών γραμμών από ένα όμοιο με το υπό σχεδίαση πλοίο (πατρικό πλοίο *B'*). Έχοντας το σχέδιο στη διάθεσή μας πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των ημιπλατών του πλοίου σε κάθε ίσαλο και για κάθε νομέα. Έπειτα, κατασκευάστηκε ο πίνακας με τα *Offsets*, και έγινε η εισαγωγή των σημείων αυτών στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα Π-3: Εισαγωγή των σημείων των νομέων του πατρικού πλοίου *B'* στο *Rhinoceros 3D*.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Στη συνέχεια με την εντολή *ScaleNU* έγινε διαστατοποίηση των σημείων με βάση τις διαστάσεις του υπό σχεδίαση πλοίου στο επίπεδο x, y, z .

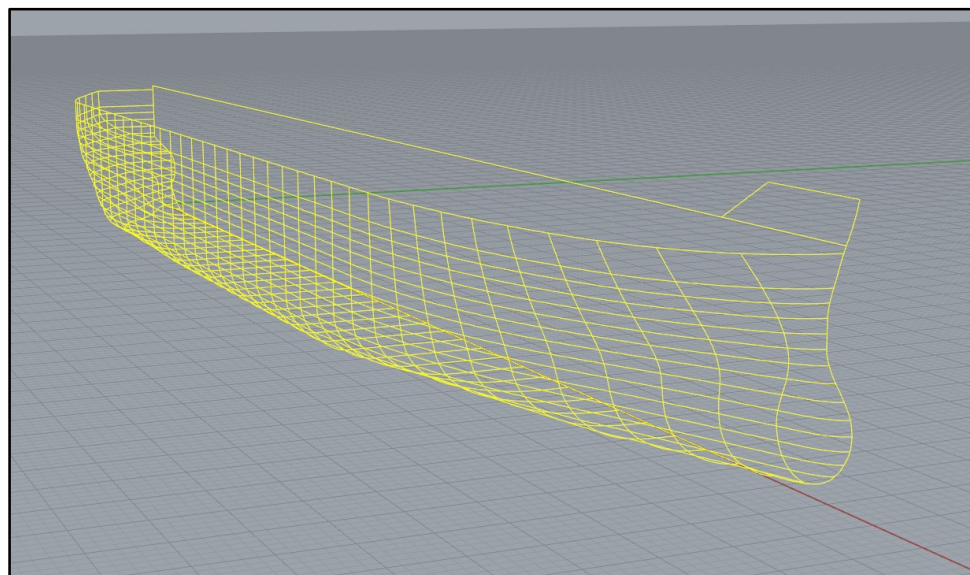
Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή των καμπυλών που περνούν από τα σημεία όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα Π-4: Κατασκευή καμπυλών νομέων στο πρόγραμμα Rhinoceros 3D.
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

Έπειτα, κατασκευάστηκε η καμπύλη του καταστρώματος στο ύψος 16.88 [m] (με σκοπό να αποκοπεί αργότερα λόγω της κυρτότητας του καταστρώματος $b = 0.55$ [m]) καθώς επίσης και το προφίλ του πλοίου με βάση το προφίλ από το πατρικό πλοίο B' .

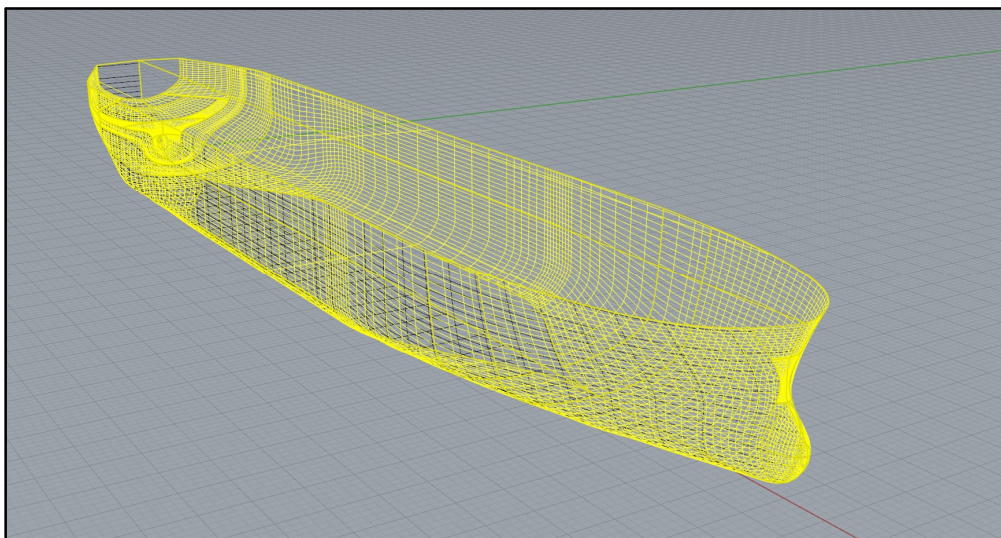
Ακόμη, κατασκευάστηκαν ίσαλοι με ισαπόσταση 1 [m] με σκοπό να περαστούν ευκολότερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια οι επιφάνειες του περιβλήματος ειδικά στα σημεία όπου η γεωμετρία είναι πιο σύνθετη (π.χ. βολβός, πρύμνη).



Εικόνα Π-5: Κατασκευή προφίλ και ισάλων στο πρόγραμμα Rhinoceros 3D.
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

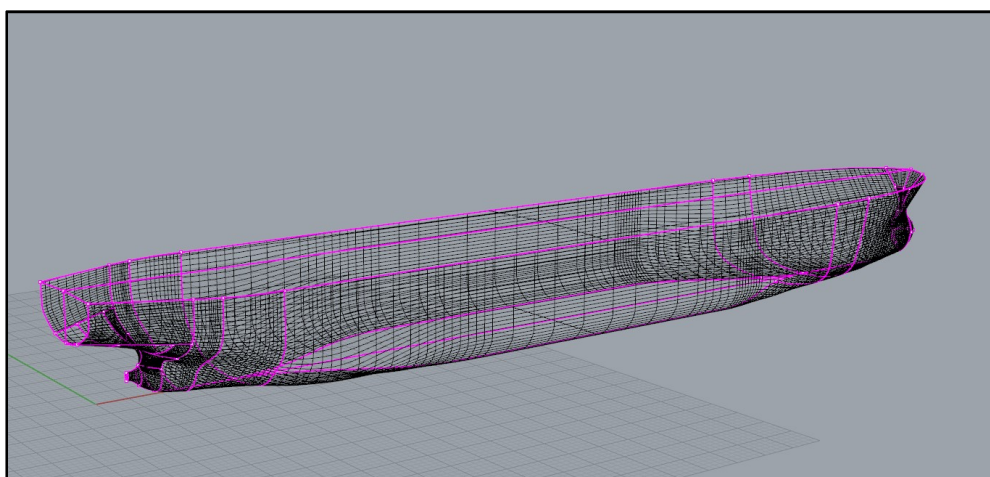
Στη συνέχεια, με την εντολή *CurveNetwork* και περάστηκαν οι επιφάνειες του πλοίου. Η παραπάνω επιλογή των διαστημάτων έγινε με γνώμονα την καλύτερη καμπυλότητα της επιφάνειας και με σκοπό την αποφυγή ακμών και ανωμαλιών.

Τέλος, αφού έγινε η αποκοπή του καταστρώματος λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη κυρτότητα (*camber*) κατασκευάστηκε και το συμμετρικό τμήμα του πλοίου όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα Π-6: Κατασκευή συμμετρικού τμήματος του πλοίου στο Rhinoceros 3D.
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

Αφού έχει κατασκευαστεί η γάστρα του υπό μελέτη πλοίου, πραγματοποιείται έλεγχος για την ύπαρξη κενών με την εντολή *ShowEdges*. Οι επιφάνειες που δεν είναι πλήρως ενωμένες εμφανίζονται με μωβ χρώμα (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα) και με την εντολή *JoinEdge* ενώνονται έτσι ώστε να μπορεί να γίνει επιτυχής εισαγωγή του αρχείου στο πρόγραμμα *MAAT Hydro*.



Εικόνα Π-7: Μορφή της γάστρας όταν οι επιφάνειες δεν είναι πλήρως ενωμένες (Εντολή *ShowEdges*).
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

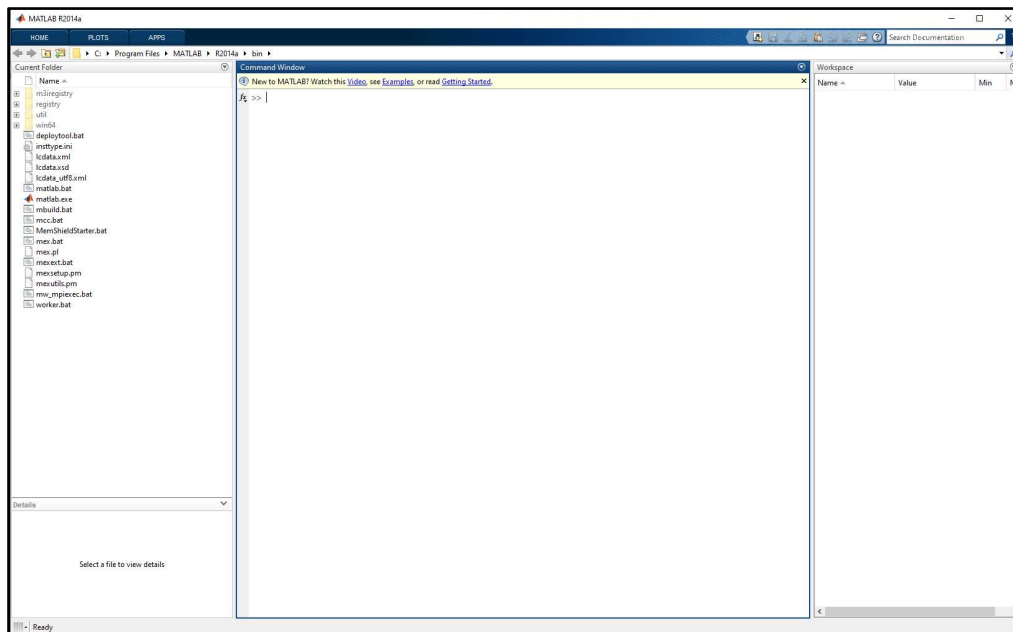
Με την εντολή *JoinEdges* και κάνοντας κλικ στις μωβ γραμμές-κενά το πρόγραμμα αυτόματα διορθώνει τις ανεπιθύμητες ατέλειες.

Οπότε στο σημείο αυτό και εφόσον εκτελεστεί η παραπάνω διαδικασία για όλες τις περιπτώσεις μεταξύ των επιφανειών, το τρισδιάστατο μοντέλο του πλοίου βρίσκεται στην τελική του μορφή και μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα *MAAT Hydro* για περαιτέρω υπολογισμούς.

MATLAB

Το «*MATLAB*» είναι προγραμματιστικό εργαλείο αριθμητικών υπολογισμών που αναπτύχθηκε από την εταιρία «*MathWorks*» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργικά συστήματα «*Microsoft Windows*» και «*MacOS*». Έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί υπολογισμούς με πίνακες, να κατασκευάζει τρισδιάστατα και δισδιάστατα διαγράμματα, ενώ παράλληλα διαθέτει *editor* για τη συγγραφή προγραμμάτων και συναρτήσεων. Το *MATLAB* εξειδικεύεται κυρίως σε αριθμητικούς υπολογισμούς αλλά μπορεί να συνεργαστεί και με εξωτερικά πακέτα για την εξυπηρέτηση άλλων σκοπών (π.χ. σχεδίαση). Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για τη γραφική επίλυση του τύπου του *Ayre* για την 3^η προσέγγιση μήκους του υπό μελέτη πλοίου.

[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2021c]

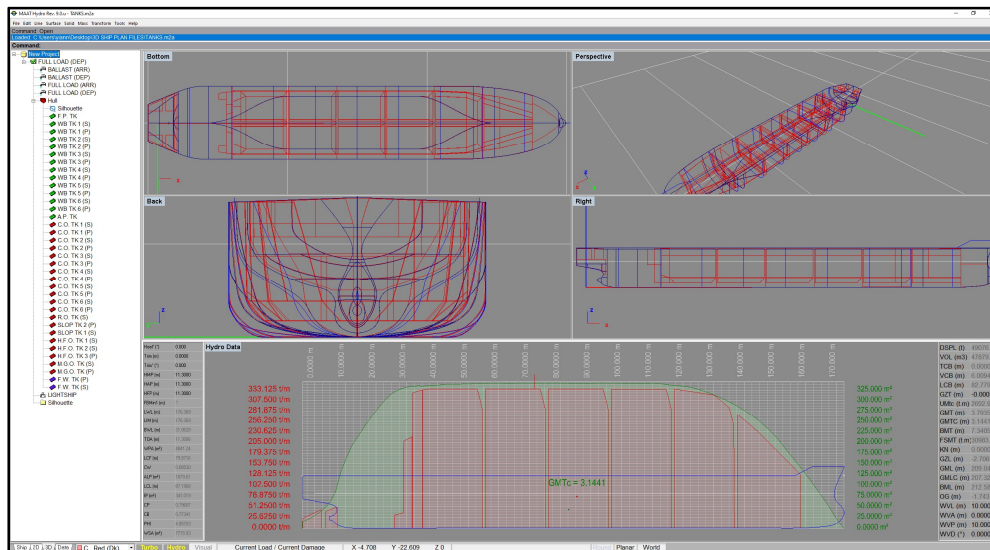


Εικόνα Π-8: Γραφικό περιβάλλον του *MATLAB*.
[Πηγή: Αρχειακό υλικό]

MAAT Hydro

Το «MAAT Hydro» είναι ναυπηγικό πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από την εταιρία «Sistre» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργικά συστήματα «Microsoft Windows» και «MacOS». Έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί με μεγάλη ακρίβεια υδροστατικούς υπολογισμούς, υπολογισμούς ευστάθειας κ.α. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των βυθισμάτων του υπό μελέτη πλοίου, για την παραγωγή των καμπυλών του υδροστατικού διαγράμματος και την παραγωγή των καμπυλών ευστάθειας. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία χρήσης του.

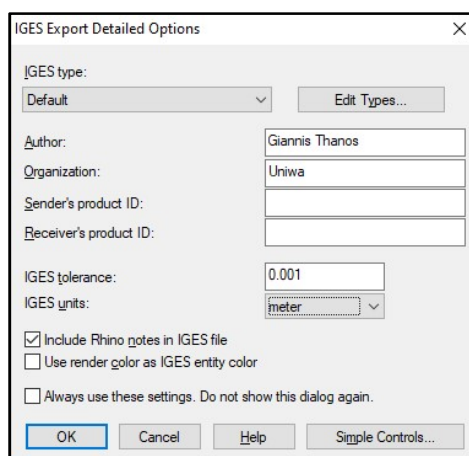
[Πηγή: Wikipedia Contributors, 2021]



Εικόνα Π-9: Γραφικό περιβάλλον του MAAT Hydro.
[Πηγή: Αρχαιακό υλικό]

Εισαγωγή αρχείου στο πρόγραμμα MAAT Hydro

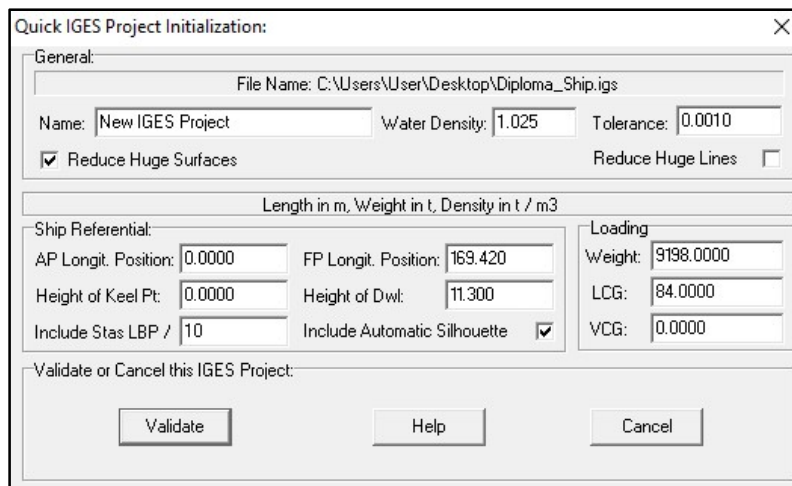
Αφού έχει κατασκευαστεί το τρισδιάστατο μοντέλο στο πρόγραμμα *Rhinoceros* και έχοντας βεβαιωθεί ότι η γάστρα δεν παρουσιάζει κανένα κενό το αρχείο αποθηκεύεται σε μορφή αρχείου *IGES (.iges)* με την εντολή *File/Save as*. Αφού εκτελεστεί η παραπάνω διαδικασία εμφανίζεται σχετικό παράθυρο επιτρέπει τη ρύθμιση της ανοχής (*tolerance*) σε 0.001.



Εικόνα Π-10: Ρυθμίσεις αποθήκευσης αρχείου IGES.

Για την εισαγωγή του αρχείου στο πρόγραμμα *MAAT Hydro* χρησιμοποιείται η εντολή *File/Import* όπου επιλέγεται το αρχείο *IGES* που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Για την παραγωγή του αρχείου των χαρακτηριστικών του σχεδιαζόμενου πλοίου αρκεί να συμπληρωθούν τα απαραίτητα στοιχεία στην καρτέλα που εμφανίζεται μετά το *Import* του αρχείου *IGES* όπου:

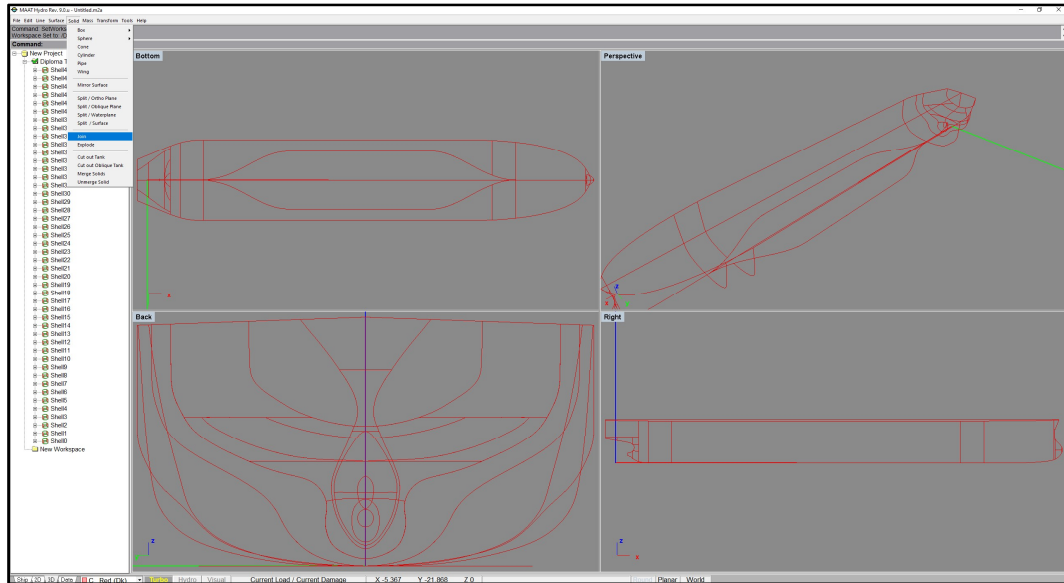
- *AP Longit. Position* = Διαμήκης θέση πρυμναίας καθέτου.
- *FP Longit. Position* = Διαμήκης θέση πρωραίας καθέτου.
- *Height of Keel Pt* = Κατώτατο σημείο του πλοίου.
- *Height of Dwl* = Βύθισμα σχεδίασης.
- *Include Stas LBP*: Αριθμός νομέων.
- *Weight* = Βάρος άφορτου σκάφους.
- *LCG* = Διαμήκης θέση κέντρου βάρους.
- *VCG* = Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους.



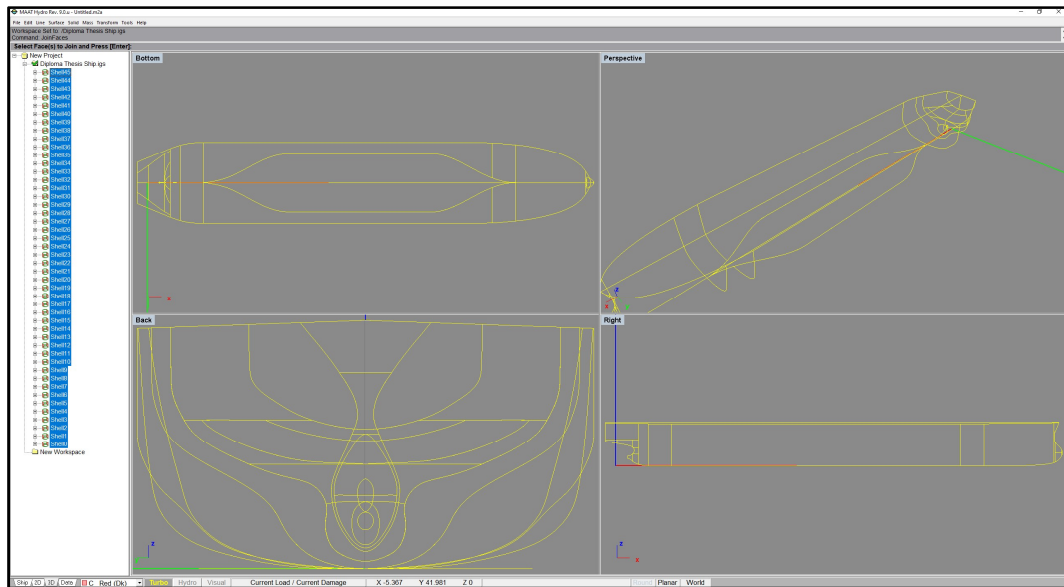
Εικόνα Π-11: Καρτέλα εισαγωγής χαρακτηριστικών του σχεδιαζόμενου πλοίου (*MAAT Hydro*).

Στο σημείο αυτό εισάγονται τα χαρακτηριστικά του σχεδιαζόμενου πλοίου όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Το βάρος *Weight*, η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους *LCG* και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους *VCG* δε χρειάζεται να εισαχθούν ως οι ακριβείς τους τιμές καθώς δεν έχουν επίδραση στον υπολογισμό των υδροστατικών καμπυλών. Αργότερα, όπου θα γίνει εισαγωγή των βασικών δεξαμενών του πλοίου θα οριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Αφού γίνει η οριστικοποίηση των χαρακτηριστικών του πλοίου πρέπει να ενωθούν τα τμήματα της γάστρας. Στην καρτέλα *Solid* επιλέγεται η εντολή *Join* και στην αριστερή πλευρά του περιβάλλοντος του προγράμματος κρατώντας πατημένο το πλήκτρο *Ctrl* επιλέγονται με την σειρά τα *Shells* που απαρτίζουν τη γάστρα: *Shell0, Shell1, Shell2, ..., Shell45*. Τα τμήματα του πλοίου είναι πλέον ενωμένα και μπορούν να εκτελεστούν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί.



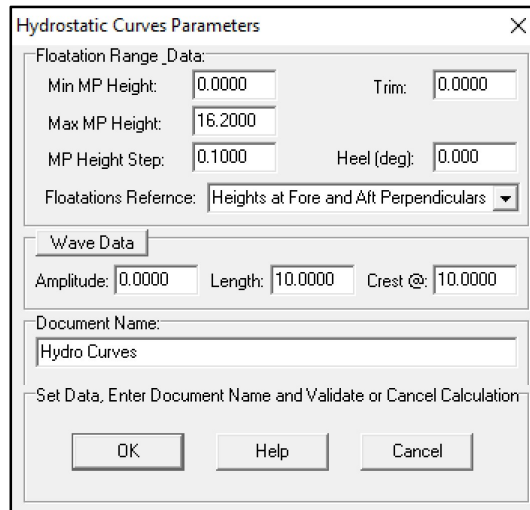
Εικόνα Π-12: Εντολή Solid/ Join (MAAT Hydro).



Εικόνα Π-13: Επιλογή τμημάτων του πλοίου για ένωση (MAAT Hydro).

Υπολογισμός υδροστατικών καμπυλών

Ο υπολογισμός των υδροστατικών καμπυλών πραγματοποιείται με την εντολή *Hydrostatic Curves* από την καρτέλα *Tools*. Μετά την εκτέλεση της παραπάνω εντολής εμφανίζεται το παράθυρο ρυθμίσεων που ακολουθεί:

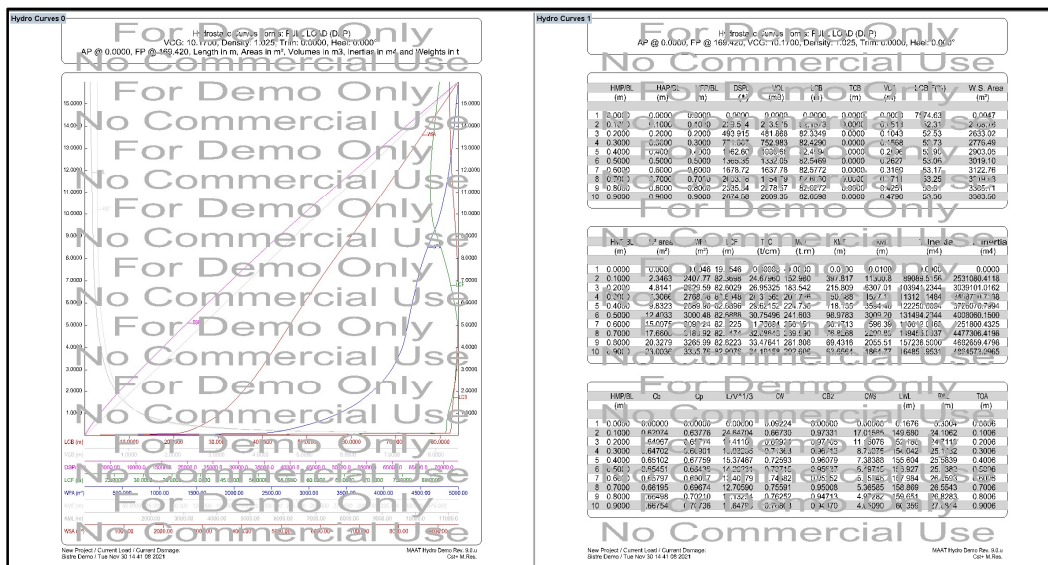


Εικόνα Π-14: Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των υδροστατικών καμπυλών (MAAT Hydro).

Οι παράμετροι που ορίστηκαν είναι:

- $Min MP Height = 0.00 [m]$ (Χαμηλότερο σημείο υπολογισμού υδροστατικών στοιχείων)
- $Max MP Height = 16.20 [m]$ (Υψηλότερο σημείο υπολογισμού υδροστατικών στοιχείων)
- $MP Height Step = 0.10 [m]$ (Βήμα)

Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται αποτελούνται από το υδροστατικό διάγραμμα (με ελλείψεις σε κάποια μεγέθη) και οι πίνακες τιμών (συμπεριλαμβανομένων και των τιμών των μεγεθών που λείπουν από το υδροστατικό διάγραμμα).



Εικόνα Π-15: Αποτελέσματα υπολογισμού υδροστατικών καμπυλών (MAAT Hydro).

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η δωρεάν δοκιμαστική έκδοση του προγράμματος MAAT Hydro 9 DEMO για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι σε δυσανάγνωστη μορφή και περιλαμβάνουν υπατογραφώματα. Χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες τιμών των μεγεθών και κατασκευάστηκε το υδροστατικό διάγραμμα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Rhinoceros 3D.

Υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας άθικτου πλοίου (GZ-φ)

Για τον υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας του άθικτου πλοίου γίνεται εκ νέου εισαγωγή της γάστρας στο πρόγραμμα *MAAT Hydro* με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά κατά την εισαγωγή των χαρακτηριστικών του σχεδιαζόμενου πλοίου τοποθετούνται οι ακριβείς τιμές για το βάρος *Weight*, τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους *LCG* και τη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους *VCG* που είναι πλέον γνωστές από τους προηγούμενους υπολογισμούς. Στη συνέχεια αφού κατασκευαστούν οι βασικές δεξαμενές στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* αποθηκεύονται σε μορφή αρχείου *IGES* και εισάγονται μια-μια στο πρόγραμμα *MAAT Hydro*. Έπειτα κάθε δεξαμενή η οποία αποτελείται από ξεχωριστά τμήματα-επιφάνειες ενώνεται με την εντολή *Solid/Join* όπως εξηγήθηκε παραπάνω.

Αφού έχει πραγματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία για όλες τις δεξαμενές που εισάχθηκαν, στην καρτέλα *Data* που βρίσκεται στο κάτω αριστερά μέρος του προγράμματος ρυθμίζεται στη στήλη *Property* για κάθε δεξαμενή η επιλογή **Tank** και στη στήλη *Layer* η ανάλογη επιλογή με βάση την πυκνότητα του περιεχομένου της εκάστοτε δεξαμενής π.χ. για τις δεξαμενές έρματος επιλέγεται *Sea Water* (1.0250).



Εικόνα Π-16: Καρτέλα Data (MAAT Hydro).

Name	Layer	Property
FULL LOAD (DEP)		
BALLAST (ARR)		
BALLAST (DEP)		
FULL LOAD (ARR)		
FULL LOAD (DEP)		
Hull	C_Red (Dk)	Compartment (μ=95%)
Silhouette	Silhouette	
F.P. TK	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 1 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 1 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 2 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 2 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 3 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 3 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 4 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 4 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 5 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 5 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 6 (S)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
WB TK 6 (P)	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
A.P. TK	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 1 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 1 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 2 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 2 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 3 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 3 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 4 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 4 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 5 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 5 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 6 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
C.O. TK 6 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
R.O. TK (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
SLOP TK 2 (P)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
SLOP TK 1 (S)	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)
H.F.O. TK 1 (S)	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)
H.F.O. TK 2 (S)	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)
H.F.O. TK 3 (P)	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)
M.G.O. TK (P)	Gasoil (0.8350)	Tank (μ=95%)
M.G.O. TK (P)	Gasoil (0.8350)	Tank (μ=95%)
F.W. TK (P)	Freshwater (1.0000)	Tank (μ=95%)
F.W. TK (S)	Freshwater (1.0000)	Tank (μ=95%)
LIGHTSHIP	C_Red (Dk)	Default

Εικόνα Π-17: Ρύθμιση Layer και Property (MAAT Hydro).

Στη συνέχεια στη στήλη *Quantity* επιλέγεται το ποσοστό πλήρωσης της κάθε δεξαμενής. Αφού επιλεχθεί για κάθε δεξαμενή με βάση μια δεδομένη κατάσταση φόρτωσης με δεξί κλικ στο φάκελο του αρχείου στο αριστερά τμήμα του προγράμματος επιλέγεται η εντολή *Make Loading Condition*. Τέλος, η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και για τις υπόλοιπες

καταστάσεις φόρτωσης αλλάζοντας τις περιεκτικότητες των δεξαμεμών και αποθηκεύοντας την κατάσταση ως νέα κατάσταση φόρτωσης.

Layer	Property	Quantity	Raw Vol. (Weight (t)	Gx (m)	Gy (m)	Gz (m)	F.S.M. (t.m)	Xmin (m)	Xmax (m)	Re
			(16110.5)	<47706.6>	<85.4854>	<0.0005>	<9.5563>	<30983.5>	<-3.9241>	<172.445>	
				<24336.9>	<84.0078>	<-0.0043>	<7.5228>		<-3.9241>	<172.445>	
				<25297.8>	<81.5822>	<-0.0173>	<7.7359>		<-3.9241>	<172.445>	
				<46745.8>	<85.6235>	<-0.0024>	<9.4853>		<-3.9241>	<172.445>	
				<47706.6>	<85.5185>	<0.0001>	<9.5566>		<-3.9241>	<172.445>	
C. Red (DK)	Compartment (μ=95%)	Intact	(16110.5)	(38508.6)	(88.7997)	(0.0006)	(9.4097)	(30983.5)	(-3.9241)	(172.445)	
	Silhouette		388.379 m						-3.9000	172.500	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	887.582					158.200	172.412	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1203.32					137.200	158.200	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1203.32					137.200	158.200	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1102.88					116.698	137.176	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1102.88					116.698	137.176	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1156.70					96.1966	116.689	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1156.70					96.1966	116.689	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1190.36					75.6952	96.1871	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1190.36					75.6952	96.1871	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1188.13					55.1937	75.6857	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1188.13					55.1937	75.6857	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1325.77					31.8079	55.1481	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	1325.77					31.8079	55.1481	
	Sea Water (1.0250)	Tank (μ=95%)	Empty	746.047					-3.8613	8.3515	
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	2266.93	2089.40	146.726	-4.6779	9.7682	1162.16	137.699	158.200
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	2266.93	2089.40	146.726	-4.6779	9.7682	1162.16	137.699	158.200
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3356.60	3093.75	126.657	-6.6309	9.2798	2464.50	117.197	136.736
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3356.60	3093.75	126.657	-6.6309	9.2798	2464.50	117.197	136.736
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.02	3246.21	106.384	-6.9178	9.2608	2798.20	96.6956	116.190
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.02	3246.21	106.384	-6.9178	9.2608	2798.20	96.6956	116.190
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.29	3246.46	85.8827	-6.9178	9.2616	2797.73	76.1942	95.6882
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.29	3246.46	85.8827	-6.9178	9.2616	2797.73	76.1942	95.6882
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.30	3246.47	65.3811	-6.9178	9.2614	2797.73	55.6927	75.1867
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3522.30	3246.47	65.3811	-6.9178	9.2614	2797.73	55.6927	75.1867
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3521.54	3245.77	44.8817	-6.9169	9.2631	2797.73	35.1913	54.6853
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	3521.54	3245.77	44.8817	-6.9169	9.2631	2797.73	35.1913	54.6853
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	294.720	271.640	33.5064	-9.9842	9.5019	76.6496	31.8220	35.1671
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	598.326	551.472	33.5004	6.8369	9.3240	480.033	31.8220	35.1671
	C.O. (0.9900)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	303.507	279.832	33.4946	-3.7358	9.1518	45.2508	31.8220	35.1671
	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	153.036	138.203	29.2819	-10.7181	13.0258	41.7813	25.8993	31.7424
	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	230.390	208.058	30.3814	-3.1473	10.3561	96.6132	28.9893	31.7424
	H.F.O. (0.9700)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	383.420	346.255	29.9373	6.2015	11.4212	510.154	25.8993	31.7424
	Gasool (0.8350)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	110.166	85.6411	5.5271	-8.3638	14.2731	48.4558	3.5520	7.3502
	Gasool (0.8350)	Tank (μ=95%)	98.00 % Filled	110.166	85.6411	5.5271	-8.3638	14.2731	48.4558	3.5520	7.3502
	Freshwater (1.0000)	Tank (μ=95%)	Full	108.292	102.877	-0.4699	7.0986	14.3608	-3.8341	2.2629	
	Freshwater (1.0000)	Tank (μ=95%)	Full	108.292	102.877	-0.4699	-7.0986	14.3608	-3.8341	2.2629	
	C. Red (DK)	Default	100% Weigh.	9198.00	71.6100	0.0000	10.1700		71.6100	71.6100	

Εικόνα Π-18: Κατασκευή καταστάσεων φόρτωσης (MAAT Hydro).

Ο υπολογισμός της καμπύλης ευστάθειας για μια κατάσταση φόρτωσης πραγματοποιείται αφού επιλεγεί με διπλό κλικ από το αριστερό τμήμα του προγράμματος με την εντολή *Transverse Stability* από την καρτέλα *Tools*. Μετά την εκτέλεση της παραπάνω εντολής εμφανίζεται το παράθυρο ρυθμίσεων που ακολουθεί:

Transversal Stability Data:

Loading Condition (FULL LOAD (DEP)):

	Weight:	Gx:	Gy:	Gz:
Solid:	9198.00 t	71.6100 m	0.0000 m	10.1700 m
Liquid:	38508.6 t	88.7937 m	0.0006 m	9.4097 m
Total:	47706.6 t	85.4854 m	0.0005 m	9.5563 m

Port Positive Heels and GZ

Variable (Real) FSM

Stability Parameters:

Min Heel: -30 Max Heel: 80 Heel Step: 5

Wave Data

Amplitude: 0.0000 Length: 10.0000 Crest @: 10.0000

Set Calculation Data and Validate or Cancel

OK Help Cancel

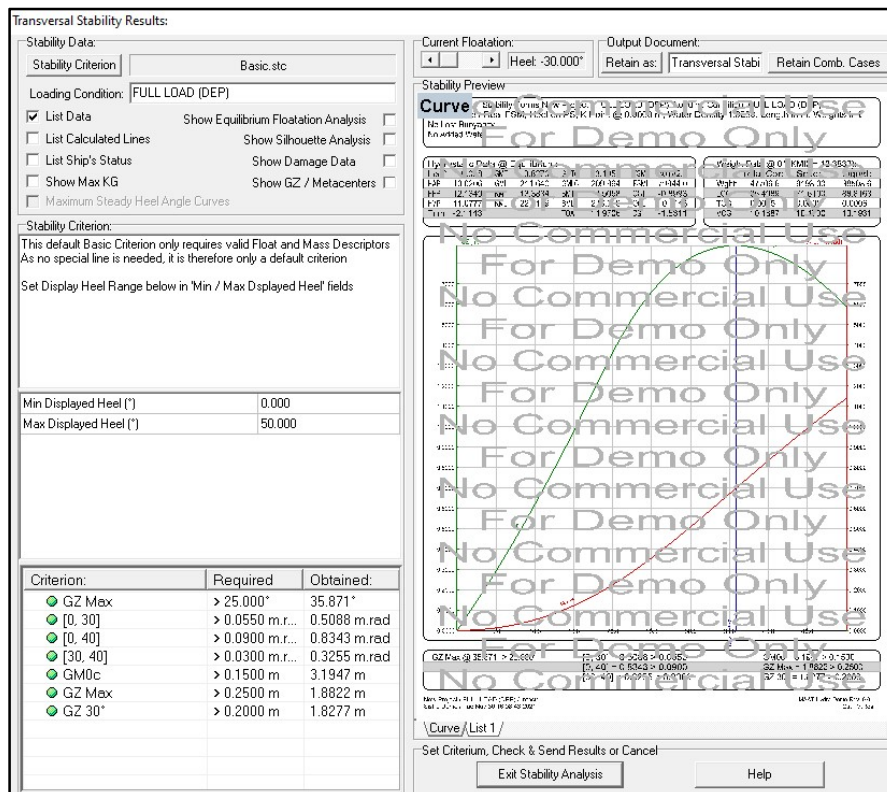
Εικόνα Π-19: Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας για την κατάσταση Full Load Departure (MAAT Hydro).

Οι παράμετροι που ορίστηκαν είναι:

- *Min Heel* = -30 [deg] (Ελάχιστη γωνία κλίσης υπολογισμού της καμπύλης)
- *Max Heel* = 80 [deg] (Μέγιστη γωνία κλίσης υπολογισμού της καμπύλης)
- *Heel Step* = 5 [deg] (Βήμα)

Ενώ, για τα *Wave Data* δεν έγιναν αλλαγές στα δεδομένα και παρέμειναν οι *default* τιμές που εμφανίζει το πρόγραμμα.

Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται αποτελούνται την καμπύλη ευστάθειας, τους πίνακες τιμών καθώς επίσης και τον έλεγχο ανάλογα με το κριτήριο επιλογής.



Εικόνα Π-20: Αποτελέσματα εγκάρσιας ευστάθειας άθικτου πλοίου (MAAT Hydro).

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η δωρεάν δοκιμαστική έκδοση του προγράμματος *MAAT Hydro* για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα που εξάγονται και σε αυτή την περίπτωση είναι σε δυσανάγνωστη μορφή και περιλαμβάνουν υδατογραφήματα. Χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες τιμών των μεγθών και κατασκευάστηκαν οι καμπύλες ευστάθειας για κάθε κατάσταση φόρτωσης στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*. Ακόμη το κριτήριο ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα *MAAT Hydro* είναι το *Basic* το οποίο είναι ίδιο με εκείνο του *IMO A749(18)* χωρίς όμως το κριτήριο καιρού λόγω της χρήσης της δωρεάν δοκιμαστικής έκδοσης (*DEMO*) του προγράμματος. Για τον έλεγχο του κριτηρίου καιρού οι υπολογισμοί έγιναν χειροκίνητα με τη βοήθεια του προγράμματος *Rhinoceros 3D* για να υπολογιστούν οι απαιτούμενες προβεβλημένες επιφάνειες και τα απαιτούμενα κέντρα βάρους και πλευστότητας.

Για τη διαδικασία που ακολουθήθηκε αξιοποιήθηκε το *manual* του προγράμματος που ανακτήθηκε από την επίσημη ιστοσελίδα σε μορφή *PDF* (<https://www.sistre-shipdesign-software.com/>).

