



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Προμελέτη Πλοίου μεταφοράς πετρελαίου (ή παραγώγων)

Preliminary Ship Design of an oil (or oil products) Tanker

Συγγραφέας:

Ντέκας Χρήστος

A.M.: 19393083

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Πολίτης

Αιγάλεω, 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Προμελέτη Πλοίου μεταφοράς πετρελαίου (ή παραγώγων)

Συγγραφέας

Ντέκας Χρήστος

A.M.: 19393083

Επιβλέπων

Δρ. Μηχ. Κωνσταντίνος Γ. Πολίτης,

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

08/10/2024

Εξεταστική Επιτροπή

Δρ. Μηχ. Κωνσταντίνος Γ.
Πολίτης,

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Δρ. Μηχ. Αλέξανδρος
Θεοδουλίδης,

Επίκουρος Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

Δρ. Μηχ. Θωμάς Π.
Μαζαράκος,

Επίκουρος Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

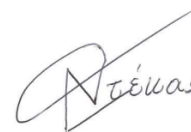
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Ντέκας Χρήστος** του **Γεωργίου**, με αριθμό μητρώου **19393083** 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 διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Ντέκας Γ. Χρήστος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς και να εκφράσω την απεριόριστη εκτίμηση μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δρ. Μηχ. Κωνσταντίνο Γ. Πολίτη, καθηγητή του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για τις γνώσεις που μου προσέφεραν και όλα όσα μου δίδαξαν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο ως άνω Τμήμα συμβάλλοντας καθοριστικά στην επιστημονική μου κατάρτιση.

Επιπροσθέτως, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στα ξαδέρφια μου, τον Δημήτρη Δρόσο, την Ντέμη και την Αλεξάνδρα Ντέκα, που με τις εμπειρίες και τις γνώσεις τους που μοιράστηκαν μαζί μου, όντας εργαζόμενοι σε ναυτιλιακές εταιρείες στην Αθήνα, στάθηκαν αρωγοί κατά της διάρκειας της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, όπως επίσης και στους ναυπηγούς, κ. Κουλέρη Νίκο, Newbuilding Coordinator at «PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD» και κ. Κανιάρο Αντώνη, Head of Fleet, Technical department at «Minerva Marine» για την αμέριστη υποστήριξη τους στη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τις ναυτιλιακές εταιρείες «PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD» και «Minerva Marine» για την πολύτιμη βοήθεια, παραχωρώντας μου ναυτιλιακό (και όχι μόνο) περιεχόμενο που ήταν απαραίτητο για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου, τον Ανδρέα, τον Γιάννη, την Δημητρία, τον Τάσο, τον Αλέξανδρο και τον Παύλο για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο και Εύη, καθώς και τον αδερφό μου Θάνο, για την αμέριστη υποστήριξη τους καθ' όλη τη χρονική διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την προμελέτη ενός δεξαμενοπλοίου, κατηγορίας Aframax. Αρχικά, παρουσιάζονται οι 4 βασικές φάσεις μελέτης ενός πλοίου καθώς και οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη για το υπό μελέτη πλοίο αλλά και γενικότερα. Έπειτα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή δεξαμενοπλοίων, αναλύονται οι βασικές κατηγορίες αυτών καθώς επίσης περιλαμβάνονται κάποια σημαντικά ατυχήματα που συνέβαλαν σε αυξημένους κανονισμούς ασφαλείας και σε πιο ασφαλείς σχεδιάσεις πλοίων. Στη συνέχεια, η εργασία αυτή περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των βασικών διαστάσεων, των συντελεστών μορφής, της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης καθώς και του εκτοπίσματος, για το υπό μελέτη πλοίο, με χρήση εμπειρικών τύπων καθώς και στατιστικών μεθόδων από όμοια πλοία. Ακόμη, παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού του συνολικού αλλά και των επιμέρους βαρών του άφορτου πλοίου καθώς γίνεται και ανάλυση του “νεκρού” βάρους DWT. Στη πορεία της εργασίας, καθορίζονται οι ναυπηγικές γραμμές και η τρισδιάστατη γεωμετρία του υπό μελέτη πλοίου με χρήση του προγράμματος *Rhinoceros 3D*, εξετάζεται το ύψος εξάλων καθώς πραγματοποιείται και έλεγχος της Γραμμής Φόρτωσης. Ακολούθως, προσδιορίζεται η γενική διάταξη του πλοίου, η χωρητικότητα των δεξαμενών καθώς και απόδοσης του πλοίου σε περίπτωση εκροής πετρελαίου (Oil outflow performance) με τη βοήθεια του προγράμματος *MaxSurf Stability*. Έπειτα, γίνεται ο υπολογισμός των υδροστατικών διαγραμμάτων και στοιχείων. Ακόμη, αναλύονται οι 4 καταστάσεις φόρτωσης που εξετάζονται, γίνεται υπολογισμός του κέντρου βάρους του πλοίου και πραγματοποιείται έλεγχος άθικτης ευστάθειας και διαγωγής σύμφωνα με τους κανονισμούς του IMO. Επίσης, προσδιορίζονται η Ολική Χωρητικότητα (*Gross Tonnage*) και η Καθαρή Χωρητικότητα (*Net Tonnage*) σύμφωνα με την Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης, καθώς επίσης υπολογίζεται ο Δείκτης Εξαρτισμού του πλοίου. Τέλος, υπολογίζεται η ολική αντίσταση του πλοίου με χρήση του προγράμματος *MaxSurf Resistance* για τον προσδιορισμό της προωστήριας εγκατάστασης. Με το πέρας της προμελέτης του υπό μελέτη πλοίου, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής. Τέλος, παρατίθενται προτάσεις που προκύπτουν και αξίζει να αναφερθούν για πιθανή μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: Προμελέτη, Απαιτήσεις πλοιοκτήτη, Δεξαμενόπλοιο, Aframax, Μελέτη πλοίου, Απαιτήσεις πλοιοκτήτη, Κανονισμοί ασφαλείας, Διαστάσεις, Συντελεστές μορφής, Στατιστικές μέθοδοι, Βάρος άφορτου πλοίου, "Νεκρό" φορτίο DWT, Ναυπηγικές γραμμές, Ύψος εξάλων, Γραμμή φόρτωσης, Γενική διάταξη, Χωρητικότητα δεξαμενών, Εκροή πετρελαίου, Υδροστατικό διάγραμμα, Καταστάσεις φόρτωσης, Κέντρο βάρους, Άθικτη ευστάθεια, Διαγωγή, IMO, Ολική Χωρητικότητα, Καθαρή Χωρητικότητα, Διεθνής Σύμβαση Καταμέτρησης, Δείκτης Εξαρτισμού, Αντίσταση, Προωστήρια εγκατάσταση

Abstract

This present diploma thesis deals with the preliminary ship study of an Aframax tanker. Initially, the 4 basic phases of a ship's study are presented, as well as the shipowner's requirements for the ship under study and in general. Then, a brief historical overview of tankers is presented, their main categories are analysed as well as some important accidents that contributed to increased safety regulations and safer ship designs. Subsequently, this study includes the definition of the basic dimensions, the form factors, the required propulsive power as well as the displacement, for the ship under study, using empirical formulas as well as statistical methods from similar ships. Furthermore, the methodology for calculating the total and individual weights of the unladen ship is presented, as well as an analysis of the "dead" weight DWT. In the course of the work, the drawing of ship lines plan and the three-dimensional geometry of the ship under study are defined contribution using the program Rhinoceros 3D, the height of the freeboard is examined and the Loading Line is checked. Next, the General Arrangement of the ship, the capacity of the tanks as well as the performance of the ship in case of oil outflow (Oil outflow performance) are determined with the help of the MaxSurf Stability program. Then, the hydrostatic diagrams and elements are calculated. Furthermore, the 4 loading cases considered are analysed, the center of gravity of the ship is calculated and an intact stability and trim check is carried out in accordance with IMO regulations. Also, Gross Tonnage and Net Tonnage are calculated according to the International Tonnage Convention as well as Equipment Number of the ship. Finally, the total resistance is calculated using the MaxSurf Resistance program to determine the propulsion system. At the end of the preliminary study of the ship under study, the results and conclusions of this work are presented. Finally, emerging propositions, that are worth mentioning for possible future research, are listed.

Keywords: Preliminary ship study, Shipowner's requirements, Tanker, Aframax, Ship's study, Shipowner's requirements, Safety regulations, Dimensions, Form factors, Statistical methods, Unladen weight of ship, DeadWeight, Ship lines plan, Freeboard height, Load line, General Arrangement, Tank capacity, Oil discharge, Hydrostatic diagram, Loading cases, Center of gravity, Intact stability, Trim, IMO, Gross tonnage, Net tonnage, International tonnage convention, Equipment Number, Resistance, Propulsion system

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
1.1 Βασικές φάσεις της μελέτης πλοίου	11
1.2 Βασική μεθοδολογία προμελέτης πλοίου	14
1.3 Απαιτήσεις πλοιοκτήτη	15
1.4 Στόχος διπλωματικής εργασίας	16
Κεφάλαιο 2: Δεξαμενόπλοια	17
2.1 Ιστορική αναδρομή δεξαμενοπλοίων	17
2.2 Κατηγορίες δεξαμενοπλοίων	21
2.3 Σημαντικά ατυχήματα δεξαμενοπλοίων	27
Κεφάλαιο 3: Πατρικό πλοίο και βάση δεδομένων	32
3.1 Δεδομένα πατρικού πλοίου	32
3.2 Βάση δεδομένων όμοιων πλοίων	33
Κεφάλαιο 4: Εκλογή κυρίων διαστάσεων και υπολογισμός βασικών παραμέτρων για τον σχεδιασμό του πλοίου	34
4.1 Προκαταρκτική εκτίμηση εκτοπίσματος Δ	34
4.2 Προεκτίμηση μήκους μεταξύ καθέτων LPP	38
4.3 Εκτίμηση του συντελεστή γάστρας CB	43
4.4 Προεκτίμηση του πλάτους B και του βυθίσματος T	47
4.5 Προεκτίμηση του κοίλου D	49
4.6 Εκτίμηση υπόλοιπων συντελεστών πλοίου	52
4.7 Πίνακας μεγεθών	53
Κεφάλαιο 5: Προκαταρκτική εκτίμηση της ισχύος πρόωσης.....	54
Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός επιμέρους βαρών πλοίου	58
6.1 Υπολογισμός βαρών πατρικού πλοίου	58
6.1.1 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής WST	58
6.1.2 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT	62
6.1.3 Υπολογισμός βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης WM.....	65
6.2 Συγκεντρική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου WLightship του πατρικού πλοίου	68
6.3 Σύγκριση πραγματικού με το υπολογίσιμο βάρος του άφορτου πατρικού πλοίου WLS	68
6.4 Υπολογισμός βαρών υπό μελέτη πλοίου.....	69
6.4.1 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής WST	69
6.4.2 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT	72
6.4.3 Υπολογισμός βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης WM.....	74
6.5 Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου WLightship του υπό μελέτη πλοίου	77
Κεφάλαιο 7: Έλεγχος εκτοπίσματος Δ	78
7.1 Τελικά χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου	78

Κεφάλαιο 8: Ανάλυση πρόσθετου βάρους DWT	79
8.1 Υπολογισμός βάρους καυσίμων και λιπαντικών WF.....	79
8.2 Υπολογισμός βάρους εφοδίων και νερού WPR	80
8.3 Υπολογισμός βάρους πληρώματος και αποσκευών WCR.....	81
8.4 Υπολογισμός βάρους μη μόνιμου έρματος B	82
8.5 Υπολογισμός βάρους ωφέλιμου φορτίου WLO	82
Κεφάλαιο 9: Έλεγχος γραμμής φόρτωσης (Load ή Plimsoll Line)	83
9.1 Υπολογισμός βασικού ύψους εξάλων (B.Y.E.).....	83
Κεφάλαιο 10: Ανάπτυξη ναυπηγικών γραμμών και τρισδιάστατου μοντέλου	87
10.1 Σχεδίαση ναυπηγικών γραμμών και γάστρας	87
Κεφάλαιο 11: Διαμερισματοποίηση και έλεγχος χωρητικότητας φορτίου	90
11.1 Διαμερισματοποίηση πλοίου	90
11.2 Πρωραία φρακτή συγκρούσεως.....	91
11.3 Ελάχιστο ύψος διπυθμένου	91
11.4 Ελάχιστη απόσταση διπλού τοιχώματος.....	92
11.5 Υπολογισμός όγκου δεξαμενών φορτίου (Vcargo)	92
11.6 Υπολογισμός ελάχιστης χωρητικότητας δεξαμενών έρματος ()	93
11.7 Έλεγχος βυθισμάτων σύμφωνα με MARPOL (Annex 1 – Regulation 18 – Segregated Ballast Tanks)	95
Κεφάλαιο 12: Έλεγχος εκροής πετρελαίου σε περίπτωση ατυχήματος (Accidental Oil Outflow Performance)	98
12.1 Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος	99
12.2 Εξεταζόμενα όρια βλάβης - Κανονισμός 24 (MARPOL Annex 1 – Chapter 4 – Regulation 24).....	104
12.3 Υποθετική εκροή πετρελαίου - Κανονισμός 25 (MARPOL Annex 1 – Chapter 4 – Regulation 25)	105
12.4 Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος με χρήση του προγράμματος MaxSurf Stability	107
12.5 Μεθοδολογία υπολογισμού διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος χωρίς τη χρήση MaxSurf Stability ...	112
Κεφάλαιο 13: Υδροστατικά χαρακτηριστικά και μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου	119
13.1 Υδροστατικό διάγραμμα.....	119
13.2 Μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου σύμφωνα με IMO A.749(18) - Code on Intact Stability	122
13.3 Ανάλυση κέντρου βάρους άφορτου πλοίου (Lightship)	125
13.4 Διαμερισματοποίηση και έλεγχος χωρητικότητας δεξαμενών.....	125
13.5 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Homogenous loaded condition on design draft at Departure)	127
13.6 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Homogenous loaded condition on design draft at Arrival)	131
13.7 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αναχώρηση (Heavy Ballast condition at Departure)	135
13.8 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Άφιξη (Ballast condition at Arrival).....	139
Κεφάλαιο 14: Καταμέτρηση - Δείκτης Εξαρτισμού	143
14.1 Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage – GT)	144
14.2 Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage – NT)	145

14.3 Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number)	147
Κεφάλαιο 15: Υπολογισμός αντίστασης.....	151
Κεφάλαιο 16: Επιλογή προωστήριας εγκατάστασης & πηδαλίου.....	156
16.1 Επιλογή έλικας	156
16.2 Επιλογή κύριας μηχανής.....	166
16.3 Μελέτη και επιλογή πηδαλίου	170
Αποτελέσματα	177
Συμπεράσματα.....	178
Προτάσεις	179
Βιβλιογραφία.....	180
Προγράμματα	181
Παράρτημα	182
Παράρτημα Α	182
Παράρτημα Β	187
Παράρτημα Γ.....	191
Παράρτημα Δ	194

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Βασικές φάσεις της μελέτης πλοίου

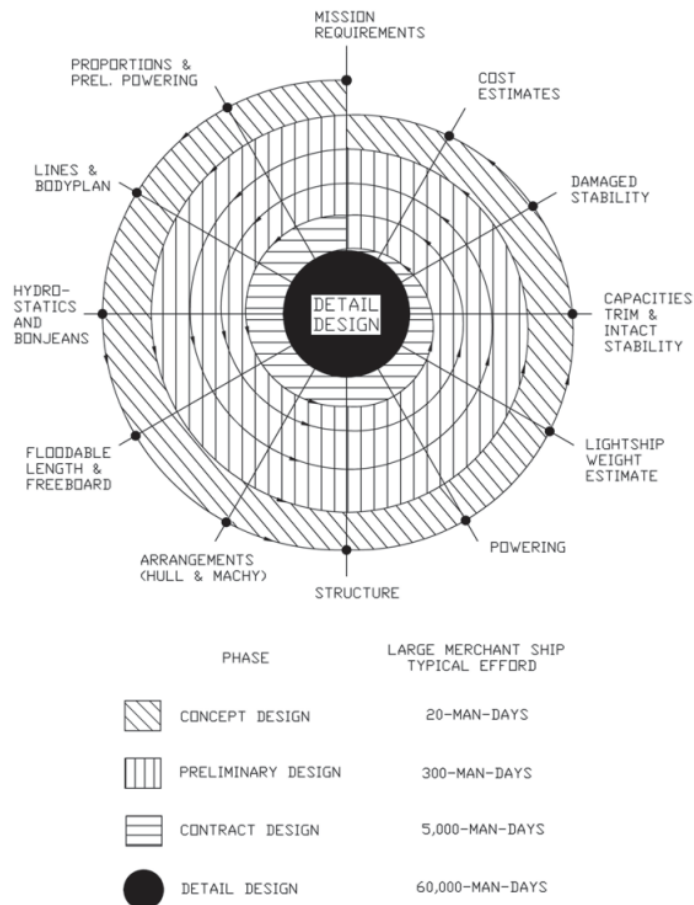
Η Μελέτη ενός πλοίου είναι μια διαδικασία αποτελούμενη από κοινή σειρά βημάτων που χρησιμοποιούν οι ναυπηγοί αλλά και γενικότερα η μηχανικοί για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων. Η διαδικασία είναι εξαιρετικά επαναληπτική αφού μέρη αυτής ή και ολόκληρης της διαδικασίας μπορεί να επαναληφθούν αρκετές φορές μέχρι να ολοκληρωθεί. Ακόμη, αποτελεί μία διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπου εφαρμόζονται οι βασικές επιστήμες, τα μαθηματικά και οι επιστήμες της μηχανικής για την επίτευξη της βέλτιστης σχεδίασης και ανάπτυξης ενός πλοίου. Βασικοί παράμετροι της διαδικασίας είναι ο καθορισμός των στόχων και κριτηρίων, η ανάλυση, η κατασκευή, η σύνθεση και η αξιολόγηση για την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού.

Οι φάσεις που μπορεί να διαχωριστεί η μελέτη ενός πλοίου είναι η εξής:

- Μελέτη Εφικτότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού (Concept Design – Feasibility Study),
- Προμελέτη (Preliminary Design),
- Συμβατικής Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design) και
- Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detailed Design).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ανάλυση των δύο πρώτων φάσεων του σχεδιασμού ενός πλοίου, δηλαδή η Βασική Μελέτη (Basic Design), όπου αναφέρονται γενικά και ως Προμελέτη (Preliminary Design). Η Προμελέτη αποσκοπεί στη δημιουργία μιας βασικής ιδέας του νέου σκάφους που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη.

Οι φάσεις της μελέτης, που αναφέρονται παραπάνω, σχηματικά μπορούν να αναλυθούν από την Ελικοειδή Καμπύλη Μελέτης, σύμφωνα με τον J. H. Evans (1959). Η ελικοειδής αυτή καμπύλη αναπαριστά τη σειρά - διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ένας ναυπηγός, την επαναληπτική διαδικασία για τον προσδιορισμό των διαφόρων παραμέτρων του πλοίου καθώς και την κλιμακωτή διαβάθμιση στο τελικό στάδιο της μελέτης ενός πλοίου. Ακόμη, η καμπύλη απεικονίζει την ενδεικτική προσπάθεια σε ανθρωπομέρες ώστε να ολοκληρωθεί το κάθε στάδιο της εκάστοτε μελέτης όσον αφορά ένα μεγάλο εμπορικό πλοίο της δεκαετίας του '50.



Εικόνα 1.1.1: Η Ελικοειδής καμπύλη Μελέτης σύμφωνα με τον J. H. Evans (1959). (Πηγή: Papanikolaou D. Apostolos, Methodologies of Preliminary Design, Ship Design, Springer Dordrecht 2014)

– **Μελέτη Εφικτότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού (Concept Design – Feasibility Study) - 1η σπείρα:**

Η Μελέτη Εφικτότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού είναι η φάση του σχεδιασμού του πλοίου όπου καθορίζονται οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη. Περιλαμβάνει την αρχική ιδέα, προκαταρκτικό σχεδιασμό, καθώς λαμβάνει υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για την υλοποίηση του σχεδιαζόμενου πλοίου. Ακόμη, σε αυτό το στάδιο γίνεται αξιολόγηση του αρχικού σχεδιασμού, συμβατότητα υλοποίησης σκέψης και μορφολογική ανάλυση, καθώς αξιολογούνται και πιθανά λάθη που θα προκύψουν, γίνεται διαχείριση του κόστους και σχηματίζεται ένα σχεδιάγραμμα.

– **Προμελέτη (Preliminary Design) - 2η έως 4η σπείρα:**

Η Προμελέτη είναι το στάδιο της διαδικασίας όπου σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη διερευνώνται και καθορίζονται, ως προς τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, τα κύρια τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Σκοπός της Προμελέτης είναι να παρουσιάσει στον ενδιαφερόμενο πλοιοκτήτη ένα ή και περισσότερα σχέδια που αντιπροσωπεύουν μια εφικτή και οικονομική εκπλήρωση των απαιτήσεων του. Ωστόσο, απαιτείται εκτεταμένη επίγνωση των λεπτομερειών στον σχεδιασμό ενός πλοίου καθώς και την επίδραση των δευτερευόντων χαρακτηριστικών χωρίς αρχικά να έχουν σχεδιαστεί. Επομένως, ορίζεται σε πρώιμο στάδιο η συνολική διαμόρφωση του πλοίου, ωστόσο, κατά τη διάρκεια του λεπτομερούς σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης ενδέχεται διάφοροι παράμετροι και συντελεστές να αλλάξουν. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της Προμελέτης, έπειτα, συνάπτεται το συμβόλαιο μεταξύ του ενδιαφερόμενου πλοιοκτήτη με το ναυπηγείο.

– **Συμβατική Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design) - 5η σπείρα:**

Σε αυτό το στάδιο της Μελέτης ενός πλοίου, περιλαμβάνονται αναλυτικά τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου, τα οποία αναγράφονται στο υπογραφόμενο συμβόλαιο μεταξύ του ναυπηγείου και του ενδιαφερόμενου πλοιοκτήτη. Ακόμη, επισυνάπτονται το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών του πλοίου, το σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement), της σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section) και το σχέδιο Χωρητικότητας των δεξαμενών (Capacity Plan). Επίσης, καταρτίζονται το εγχειρίδιο ευστάθειας και διαγωγής του πλοίου (Trim & Stability Booklet) και διάφορα εγχειρίδια απαραίτητα για τη λειτουργία και συντήρηση του πλοίου. Επιπροσθέτως, γίνεται επακριβής υπολογισμός της ισχύος πρόωσης του πλοίου με βάση πειράματα από όμοια πλοία και προτύπου καθώς και υπολογιστικών προγραμμάτων, έλεγχος της δυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς (Seakeeping Analysis) και των ελικτικών ικανοτήτων του (Maneuvering), καθώς και έλεγχος των διαφόρων συστημάτων του πλοίου (πχ. Δίκτυο έρματος, δίκτυο σωληνώσεων κλπ.). Τέλος, επαναπροσδιορίζονται οι επιμέρους ομάδες βαρών καθώς και το συνολικό βάρος του άφορτου αλλά πλήρως εξοπλισμένου πλοίου σύμφωνα με το επιλεγμένο υλικό κατασκευής του πλοίου ώστε να προσεγγίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια.

– **Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detailed Design):**

Μετά τη Συμβατική Μελέτη ή τη Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design) ακολουθεί η φάση του Λεπτομερούς Σχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει αναλυτικά όλα τα κατασκευαστικά και σχεδιαστικά μέρη του πλοίου. Περαιτέρω, επεξεργάζεται η κάθε πτυχή του σχεδιαζόμενου πλοίου με πλήρη περιγραφή της μοντελοποίησης, σχεδίων καθώς και προδιαγραφών. Ακόμη, περιέχονται λεπτομερείς οδηγίες για τον τρόπο εφαρμογής, εγκατάστασης και λειτουργίας διαφόρων συστημάτων του πλοίου με στόχο την ελαχιστοποίηση των λαθών αλλά και την αξιοπιστία της κατασκευής. Στις δύο πρώτες φάσεις της μελέτης του πλοίου, αναφερόμενες και ως Βασική Μελέτη, επιλέχθηκαν ως προς το βέλτιστο δυνατό τρόπο τα κύρια τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του πλοίου, ωστόσο στη φάση του Λεπτομερούς Σχεδιασμού ενδέχεται να αναπροσδιοριστούν με βάση τα εκάστοτε χαρακτηριστικά του ναυπηγείου τα οποία δεν θα επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο κόστος ναυπήγησης του πλοίου. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιούνται διάφορα προγράμματα σχεδίασης με τη βοήθεια του H/Y CAD, ώστε η φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού να καθίσταται πιο αποτελεσματική. Για παράδειγμα, ένα πρόγραμμα CAD μπορεί να παρέχει βελτιστοποίηση για μείωση του βάρους, χωρίς ωστόσο να μειώνεται η ποιότητα της κατασκευής και λειτουργίας του πλοίου. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για τον προσδιορισμό των τάσεων σε όλο το πλοίο.

1.2 Βασική μεθοδολογία προμελέτης πλοίου

Η Προμελέτη Πλοίου είναι το στάδιο της διαδικασίας της μελέτης όπου σύμφωνα με τις οικονομοτεχνικές προδιαγραφές του πλοιοκτήτη, τους φυσικούς και τεχνικούς περιορισμούς, τις πρόσφατες εξελίξεις καθώς και Εθνικούς και Διεθνείς κανονισμούς και Συμβάσεις διερευνώνται και καθορίζονται τα διάφορα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του πλοίου για την εξεύρεση της πλέον οικονομικής και αποδοτικής λύσης που επηρεάζουν το κόστος εκμετάλλευσης και λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου.

Η προμελέτη ενός πλοίου περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των εξής παραμέτρων:

- Εκλογή κυρίων διαστάσεων του πλοίου,
- Προσδιορισμό του σχήματος της γάστρας,
- Προσδιορισμός του τύπου και της ισχύος της προωστήριου εγκατάστασης,
- Προσδιορισμός γενικής διάταξης και του μεγέθους των κυρίων και βοηθητικών χώρων (χώροι κυτών, μηχανοστάσιο, ενδιαίτηση),
- Προσδιορισμός των μέσων χειρισμού του φορτίου,
- Προσδιορισμός των κυρίων στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής για την εγκάρσια και διαμήκη αντοχή,
- Έλεγχος ευστάθειας και διαγωγής,
- Έλεγχος ύψους εξάλων και της Γραμμής Φόρτωσης,
- Καταμέτρηση Ολικής και Καθαρής χωρητικότητας (Gross & Net Tonnage)

Όπως προαναφέρθηκε, η Προμελέτη ενός πλοίου είναι μια τεχνικο-οικονομική μελέτη και λαμβάνεται ως κερδοφόρο στοιχείο του ευρύτερου συστήματος των θαλασσίων μεταφορών και παροχής υπηρεσιών. Διάφορα από τα παραπάνω στοιχεία που περιλαμβάνει, απορρέουν από τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, την Εθνική Νομοθεσία, τις Διεθνείς Συμβάσεις και τους Κανονισμούς των Νηογνομόνων. Όπου λείπουν προδιαγραφές συγκεκριμένων Κανονισμών, λογίζεται ότι το ναυπηγούμενο πλοίο ανταποκρίνεται στη σύγχρονη αντίληψη της ναυπηγικής τεχνολογίας και επιστήμης. Η διαδικασία της Προμελέτης, ωστόσο, είναι μια περίπλοκη διαδικασία, αφού καθότι μερικές από τις παραμέτρους αλληλοσυγκρούονται για τον καθορισμό διαφόρων τεχνικοοικονομικών απαιτήσεων αλλά και λόγω των απαιτήσεων των ισχυόντων κανονισμών ασφαλείας και λειτουργίας του πλοίου.

1.3 Απαιτήσεις πλοιοκτήτη

Ένα πλοίο πρέπει να σχεδιάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, οι οποίες απαιτήσεις αναφέρονται στις προδιαγραφές του συμβολαίου ή σύμβασης που υπογράφεται μεταξύ του πλοιοκτήτη και του ναυπηγού. Οι συνθήκες αυτές κύριες απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, οι οποίες συμπληρώνονται από τους Διεθνείς και Εθνικούς κανονισμούς, που και εν μέρει “πρέπει” να ικανοποιούνται από το ναυπηγό, αναφέρονται παρακάτω:

1. Τύπος του πλοίου: Δεξαμενόπλοιο, Πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου, Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Επιβατηγό κλπ.
2. Μεταφορική ικανότητα: Το πρόσθετο βάρος ή νεκρό βάρος (Deadweight), δηλαδή το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο. Όγκος αποθήκευσης φορτίου, εμπορευματοκιβώτια σε αμπάρια και στο κατάστρωμα, αυτοκίνητα σε γκαράζ κλπ.
3. Ταχύτητα υπηρεσίας (Service Speed): Η υπηρεσιακή ταχύτητα που μπορεί να ταξιδεύει το πλοίο, συμπεριλαμβανομένου περιθωρίου θάλασσας (Sea Margin) για πλήρη απόδοσης της μηχανής (NCR Power).
4. Ακτίνα Ενέργειας ή Εύρος Πλεύσης: Εκφρασμένη σε ναυτικά μίλια ή μέρες αυτονομίας χωρίς το πλοίο να εφοδιαστεί για προκαθορισμένο δρομολόγιο με την ταχύτητα υπηρεσίας καθώς και ένδειξη των λιμένων ανεφοδιασμού.
5. Νηογνώμονας και κλάση: Επειδή το πλοίο καθώς και το πλήρωμα υπόκεινται σε κάποιους κανονισμούς που εφαρμόζονται και επιθεωρούνται από “τρίτο” σώμα, ο πλοιοκτήτης ενδέχεται να επιλέξει τον οργανισμό που θα επιθεωρεί το πλοίο και το πλήρωμά του ώστε το πλοίο και το πλήρωμα του να φέρει τα απαραίτητα πιστοποιητικά όσον αφορά την επάρκεια της μεταλλικής κατασκευής καθώς και τη λειτουργία αυτής και του πληρώματος.

Επίσης, υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που δε μοιάζουν τόσο πολύ σαν απαιτήσεις, αλλά προδιαγραφές που ενδέχεται να επιλεγούν από τον εκάστοτε πλοιοκτήτη ή από το ναυπηγείο που κατασκευάζεται το πλοίο. Τέτοιες παράμετροι είναι οι εξής:

- Διαστάσεις του πλοίου: Το πλοίο κατασκευάζεται ώστε να εκτελεί ένα προκαθορισμένο δρομολόγιο, το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις ενδέχεται να διαπερνά από διάφορες διώρυγες ή κανάλια. Το σενάριο αυτό περιορίζει κάποιες, αν όχι όλες, διαστάσεις του πλοίου αφού το πλοίο θα πρέπει να είναι αναλόγως διαμορφωμένο ώστε να μπορεί να διαπερνά μέσα από αυτές. Τέλος, η ναυπηγική κλίση του εκάστοτε ναυπηγείου ενδέχεται, επίσης, να επηρεάσει και αυτή στην επιλογή των κυρίων διαστάσεων.
- Ημερήσια Κατανάλωση του πλοίου (DFOC): Σχετίζεται με την κατανάλωση της κύριας μηχανής καθώς και των βοηθητικών συστημάτων, τόσο για την πρόωση όσο και τη λειτουργία του πλοίου, και σχετίζεται με την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου καθώς και με τον αντίκτυπο ρύπανσης.
- Ημερομηνία Παράδοσης του πλοίου (Delivery Date): Ο πλοιοκτήτης επιθυμεί να εξασφαλίσει ένα εύλογο χρονικό διάστημα παραλαβής του πλοίου, αφού πέραν της προσφερόμενης οικονομικότερης λύσης, τον ενδιαφέρει η ημερομηνία που θα παραλάβει το πλοίο ώστε να ενταχθεί γρήγορα στο καθορισμένο δρομολόγιο του.

1.4 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εκπόνηση προμελέτης και η σχεδίαση ενός πλοίου μεταφοράς πετρελαίου ή παραγώγων (Tanker), κατηγορίας Aframax, το οποίο θα πληροί τις προδιαγραφές που προβλέπονται από τη Ναυτιλιακή νομοθεσία και τις Διεθνείς Συμβάσεις, όπως τούτες θεσπίζονται και τροποποιούνται με τις αποφάσεις των επιμέρους επιτροπών του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (I.M.O.). Παρακάτω, παρουσιάζονται τα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου:

Vessel Type:	DWT (t)	Service Speed (knots)	Ship Stability Criteria	Classification
Aframax Tanker	116000	14.5	IMO A.749(18) - Code on Intact Stability	I.A.C.S.

Πίνακας 1.4: Κύρια χαρακτηριστικά και κανονισμοί που εφαρμόζονται στο υπό μελέτη πλοίο.

Πιο αναλυτικά, παρακάτω παρουσιάζεται το περιεχόμενο των επιμέρους κεφαλαίων:

- Στο 2ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται μία σύντομη ανάλυση των δεξαμενοπλοίων όπου περιλαμβάνει την ιστορική αναδρομή τους, την εξέλιξη τους, την κατηγοριοποίηση τους καθώς και σημαντικά ατυχήματα που συνέβαλαν σε αυξημένους κανονισμούς ασφαλείας,
- Στο 3ο Κεφάλαιο παρατίθενται τα στοιχεία του πατρικού πλοίου μας αναλυτικά και μια σύντομη βάση δεδομένων από όμοια πλοία για την παλινδρομική μέθοδο (Regression Analysis),
- Στο 4ο Κεφάλαιο περιλαμβάνεται η εκλογή των κυρίων διαστάσεων, των συντελεστών μορφής καθώς επίσης γίνεται έλεγχος του εκτοπίσματος,
- Στο 5ο Κεφάλαιο εκτιμάται η ισχύς πρόωσης τόσο της κύριας μηχανής αλλά και των βοηθητικών συστημάτων που απαιτούνται για την πρόωση του πλοίου,
- Στο 6ο Κεφάλαιο υπολογίζεται το βάρος του άφορτου αλλά πλήρως εξοπλισμένου πλοίου (WLightship),
- Στο 7ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται ο έλεγχος εκτοπίσματος και παρουσιάζονται, συγκεντρωτικά, τα διάφορα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου
- Στο 8ο Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του πρόσθετου βάρους DWT,
- Στο 9ο Κεφάλαιο εξετάζεται το βασικό ύψος εξάλων καθώς και έλεγχος της Γραμμής Φόρτωσης,
- Στο 10ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ναυπηγικές γραμμές του σκάφους καθώς και η τρισδιάστατη απεικόνιση της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου,
- Στο 11ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η εσωτερική διαρρύθμιση (διάταξη) του υπό μελέτη πλοίου και γίνεται έλεγχος χωρητικότητας των δεξαμενών φορτίου και έρματος,
- Στο 12ο Κεφάλαιο γίνεται έλεγχος απόδοσης του υπό μελέτη πλοίου σε περίπτωση εκροής πετρελαίου έπειτα από βλάβη και η συμμόρφωση του σύμφωνα με τον κανονισμό Regulation 23 της MARPOL,
- Στο 13ο Κεφάλαιο υπολογίζονται τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, σχεδιάζεται το υδροστατικό διάγραμμα του και ελέγχονται 4 «δυσμενέστερες» καταστάσεις φόρτωσης,
- Στο 14ο Κεφάλαιο υπολογίζονται η Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage) και η Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage) σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης (International Convention on Tonnage Measurement of Ships). Επίσης, υπολογίζεται ο Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number) του πλοίου,
- Στο 15ο Κεφάλαιο καθορίζεται η αντίσταση του πλοίου με χρήση του *MaxSurf Resistance*,
- Στο 16ο Κεφάλαιο περιλαμβάνεται η μελέτη της προωστήριας εγκατάστασης και του πηδαλίου που θα φέρει το υπό μελέτη πλοίο.

Κεφάλαιο 2: Δεξαμενόπλοια

Ορισμός: Δεξαμενόπλοια ονομάζονται τα πλοία που είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν ή να αποθηκεύουν υγρά ή αέρα φορτία, όπως: αργό πετρέλαιο, προϊόντα πετρελαίου, χημικά υγρά, υγροποιημένα αέρια κ.α. Η φύση του φορτίου τους απαιτεί ειδικές μορφές κατασκευής και εξοπλισμού.

[Ηλεκτρονική Πηγή: [TANKERS \(wartsila.com\)](https://www.wartsila.com), Ανακτήθηκε 12/05/2024]

2.1 Ιστορική αναδρομή δεξαμενοπλοίων

Στις αρχές της βιομηχανίας του πετρελαίου, η μεταφορά του αργού πετρελαίου πραγματοποιούνταν δια θαλάσσης με φορτηγά πλοία, τα οποία στα αμπάρια διέθεταν βαρέλια και εμπορευματοκιβώτια διαφόρων ειδών. Τον Νοέμβριο του 1861, πραγματοποιήθηκε η πρώτη μεγάλη αποστολή πετρελαίου και διυλισμένων προϊόντων, όταν η «Elizabeth Watts» παρέδωσε 1329 βαρέλια (182 τόνοι) πετρελαίου και διυλισμένων προϊόντων από την Φιλαδέλφεια της Αμερικής στο Ηνωμένο Βασίλειο. Από το 1864, στην ίδια διαδρομή στάλθηκαν συνολικά 16000 τόνοι. Με αυτούς τους ρυθμούς, όπως ήταν αναμενόμενο η μεταφορά πετρελαίου με βαρέλια προβλεπόταν να είχε μικρή διάρκεια ζωής, επειδή υπήρχαν μειονεκτήματα όπως κίνδυνος πυρκαγιάς και έκρηξης και μειωμένος όγκος ωφέλιμου φορτίου στα αμπάρια λόγω βαρελιών.

Περίπου το 1860, έγιναν οι πρώτες προσπάθειες να ναυπηγηθούν τα πρώτα πρότυπα δεξαμενοπλοίων στις Η.Π.Α., με ενιαίο ή σε κομμάτια το κύτος του πλοίου με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας και ασφάλειας. Οι προσπάθειες αυτές απέδωσαν καρπούς με την κατασκευή ενός ξύλινου ιστιοφόρου δεξαμενοπλοίου, το «Atlantic» το 1865 και ενός σιδερένιου, το «Charles» το 1869. Και τα δύο πλοία, αποτελούνταν από ένα σύνολο διαχωρισμένων δεξαμενών για την αποθήκευση του αργού και εξευγενισμένου πετρελαίου.

Ωστόσο, ένα μεγάλο μειονέκτημα της διάταξης αυτής, ήταν το μεγάλο κενό ανάμεσα στο κύτος και τα τοιχώματα των δεξαμενών, αφού η παρουσία ατμών και αναθυμιάσεων πετρελαίου προκαλούσε πυρκαγιές και εκρήξεις παρά την λειτουργία των συστημάτων εξαερισμού. Συνεχίστηκε, όμως, και σε άλλα πλοία η ναυπήγηση και η ύπαρξη αυτών των δεξαμενών χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία ωστόσο και για αυτό το λόγο σε αρκετά συνηθισμένα φορτηγά πλοία, ο τρόπος μεταφοράς του αργού πετρελαίου ήταν σε στοιβαγμένα βαρέλια. Ανεξάρτητα, από τις προηγούμενες αποτυχημένες προσπάθειες, τα πλοία “Atlantic” και “Charles” ήταν το έναυσμα για πιο πρωτοποριακούς σχεδιασμούς με την ύπαρξη δεξαμενών πετρελαίου σε συνδυασμό με την ύπαρξη του χάλυβα στο κύτος.

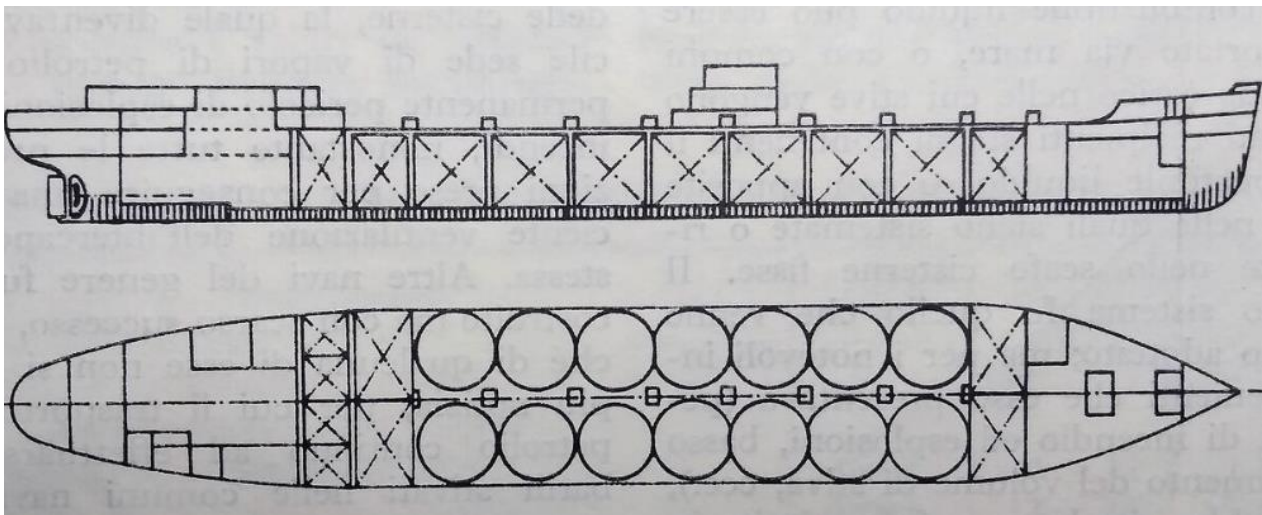
Ως τις πρώτες δεκαετίες του 1890, οι Η.Π.Α. και η Ρωσία συνέχιζαν να αποτελούν τις κυρίαρχες χώρες όσον αφορά την εξόρυξη του πετρελαίου. Άλλωστε οι Η.Π.Α. εφοδίαζε με περίπου 80-90% την Ευρώπη, χωρίς ωστόσο κάποια ιδιαίτερη ποιοτική πρακτική και ασφαλή μεταφορά από θαλάσσης. Από την άλλη πλευρά, η Ρωσία εκμεταλλεζόμενη την Κασπία θάλασσα και τα εύκολα προσβάσιμα ποτάμια που τη συνδέουν με τον Καυκάσιο, πλεονεκτούσε σε πολλά σημεία εξόρυξης. Άλλωστε, αυτός είναι και ο κύριος λόγος που η Ρωσία ανέπτυξε τεχνογνωσία στην ναυπήγηση των πλοίων αφού από το 1878 κατασκεύαζε άρματα που ενσωματώνονταν στο κύτος του πλοίου.

Τα πλοία μέχρι εκείνη την εποχή κατασκευάζονταν από σίδηρο. Το πρώτο πλοίο που αποτελούνταν από σφυρήλατο χάλυβα, με τη μέθοδο «Bessemer», ήταν το «Zoroaster». Το συγκεκριμένο πλοίο, ήταν τεχνολογικά εξελιγμένο για την εποχή του και έφερε δεξαμενές έρματος για καλύτερη ευστάθεια σε δυσμενέστερες συνθήκες. Οι διαστάσεις του ήταν λίγο παραπάνω από 55 μέτρα σε μήκος, πλάτος 11 μέτρα και βύθισμα περίπου 3.5 μέτρα. Μετέφερε περίπου 140 τόνους αργού πετρελαίου και κηροζίνης μεταξύ των επαρχιών του Αστραχάν και του Μπακού, μέσω της Κασπίας θάλασσας. Σύμφωνα με πηγές, 134 πλοία που κατασκευάστηκαν με την ίδια μέθοδο διέσχισαν την Κασπία θάλασσα με συνολικό ωφέλιμο φορτίο ίσο με 48848 τόνους.

Όπως ήταν αναμενόμενο, με την πάροδο των χρόνων, οι εξελίξεις ήταν ραγδαίες ως προς την τεχνογνωσία των πλοίων και ιδιαίτερα των δεξαμενοπλοίων. Στις αρχές της δεκαετίας του 1880, έλαβε χώρα μια από τις πιο σημαντικές συναντήσεις στο Newcastle της Αγγλίας μεταξύ Γερμανών και Βρετανών καθώς και

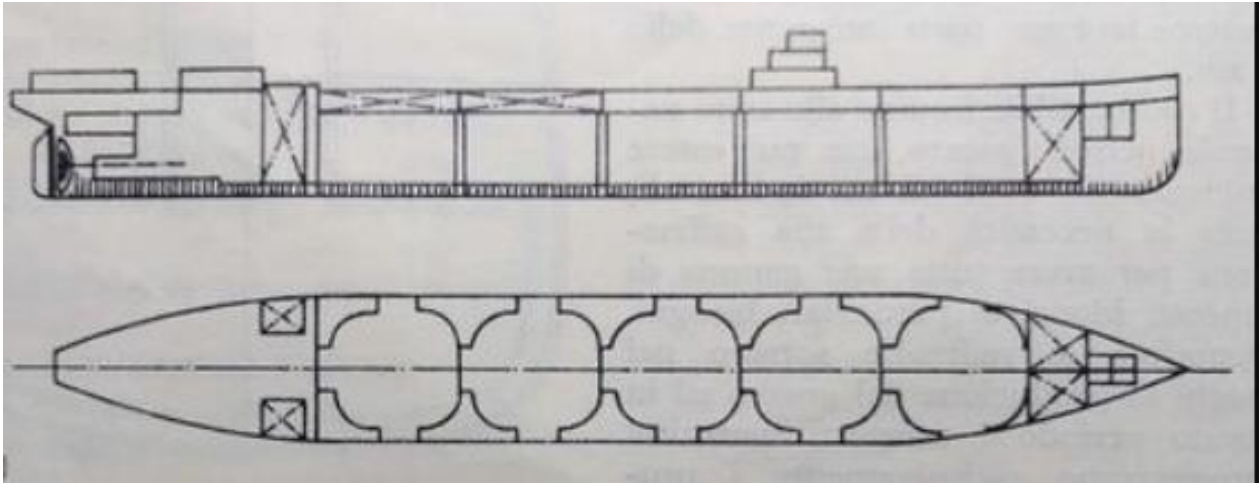
σπουδαίων ναυπηγών ανάμεσα τους. Έτσι, λίγο αργότερα κατασκευάστηκαν αρκετά πρότυπα πετρελαιοφόρων με ενσωματωμένες δεξαμενές φορτίου στο κύτος που εξασφάλιζαν μεγαλύτερη ασφάλεια από ό,τι πριν με αρκετά σχέδια των δεξαμενοπλοίων να ανήκουν στον ναυπηγό Henry Frederick Swan. Ένα από αυτά τα πλοία, κατασκευασμένα από χάλυβα, υπό την επίβλεψη του ολοκληρώθηκε στις 25 Νοεμβρίου του 1885, όπου έφερε αρκετά καινοτόμα συστήματα ασφαλείας και ανεξάρτητο μηχανισμό άντλησης πετρελαίου. Ο Γερμανός εφοπλιστής και έμπορος πετρελαίου, W. A. Riedmann, αποφάσισε να χρηματοδοτήσει τα σχέδια και πρότυπα του Henry και έτσι στις 16 Ιουνίου του 1886 κατελκύστηκε το πετρελαιοφόρο «Gluckauf», το οποίο είχε ως πρόωση ατμομηχανές με ισχύ 992 hp (μέγιστη ταχύτητα 11 κόμβων) και επίσης έφερε εφεδρικό εξοπλισμό πρόωσης για περαιτέρω ασφάλεια. Το συγκεκριμένο πλοίο είχε μήκος 318 πόδια, πλάτος 37 πόδια και βύθισμα 19 πόδια. Ακόμη, διέθετε 7 διαμερίσματα όπου το καθένα περιείχε 2 δεξαμενές φορτίου και ανάμεσα τους διαπερνούσε μια διαμήκη φρακτή. Το πλοίο, επίσης, διέθετε σύστημα άντλησης και για αυτό τα αμπάρια ξεφορτώνονταν σε μόλις 12 ώρες. Ακόμη, χρησίμευε ως ναυτικό δεξαμενόπλοιο όπου μετέφερε πετρέλαιο από τις Η.Π.Α. στην Ευρώπη και το πρώτο του δρομολόγιο, με φορτίο 2880 τόνων αργού πετρελαίου, πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 1886. Αν και το «Gluckauf» αποτέλεσε ορόσημο στη θαλάσσια μεταφορά του πετρελαίου, υπήρχαν ακόμη σημαντικές δυσκολίες ως προς την δομική κατασκευή των δεξαμενών λόγω της αδράνειας που δημιουργούσε το υγρό φορτίο καθώς και η στασιμότητα του προϊόντος το οποίο από τη φύση του δημιουργούσε προβλήματα.

Τα ανωτέρω προβλήματα έμελλαν να ξεπεραστούν αφού νέες θεωρητικές και πρακτικές δομικές μελέτες και πρόοδοι σημειώθηκαν σύμφωνα και με την επιστήμη των υλικών. Στα τέλη του 19ου αιώνα, στα περισσότερα δεξαμενόπλοια εφαρμόστηκαν κυλινδρικές και κυκλικές δεξαμενές. Σύμφωνα με τις κυκλικές δεξαμενές, το πετρέλαιο τοποθετούνταν σε κυλινδρικές δεξαμενές αλλά με κυκλικό σχήμα καθ' ύψος, που εκτεινόταν από το διπλό πυθμένα έως και το κατάστρωμα.



Εικόνα 2.1.1: Κυλινδρικές δεξαμενές με κυκλικό σχήμα καθ' ύψος. (Πηγή: [Oil tankers - ETHW](#))

Όσον αφορά τις κυλινδρικές δεξαμενές, το πετρέλαιο επίσης τοποθετούνταν σε κυλινδρικές δεξαμενές αλλά με τετραγωνικό σχήμα καθ' ύψος και στρογγυλωμένες τις άκρες του.



Εικόνα 2.1.2: Κυλινδρικές δεξαμενές με τετραγωνικό σχήμα καθ' ύψος και στρογγυλωμένες άκρες. (Πηγή: Oil tankers - ETHW)

Αν και οι δύο περιπτώσεις ήταν αποτελεσματικές, σε σχέση με τα προηγούμενα προβλήματα, ωστόσο οι συγκεκριμένες δεξαμενές δεν εκμεταλλεύονταν πλήρως τις δεξαμενές φορτίου.

Στις αρχές του 1900, τα κατασκευαστικά προβλήματα καθώς και η στασιμότητα του προϊόντος επιλύθηκαν από τους ναυπηγούς με την κατασκευή του «Narragansett» στη Σκωτία το 1903, όπου αποτέλεσε ολοκληρωμένη καινοτομία στην κατασκευή των δεξαμενών ενός πλοίου. Ακόμη, περίπου εκείνη την εποχή, έγινε η αντικατάσταση των ατμομηχανών με μηχανές εσωτερικής καύσης. Τον Απρίλιο του 1915, στις αρχές του 1ου Παγκοσμίου Πολέμου, το δεξαμενόπλοιο «Maumee» 14,500 τόνων επιχειρούσε για πρώτη φορά στην ιστορία των δεξαμενοπλοίων να ανεφοδιάζει τα υπόλοιπα πολεμικά πλοία εν κινήσει. Ο ανεφοδιασμός των πλοίων στέφθηκε με επιτυχία και για αυτό σταδιακά και οι υπόλοιπες χώρες άρχισαν να υιοθετούν αυτή την τεχνική αφού αποτέλεσε σημαντικό εργαλείο κατά την διάρκεια των πολέμων. Ωστόσο, τα Γερμανικά υποβρύχια έπαιζαν και αυτά καθοριστικό ρόλο αφού με τη δράση τους κατάφεραν να βυθίσουν σημαντικό αριθμό δεξαμενοπλοίων. Οι εξελίξεις αυτές έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην έκβαση της ιστορίας, αφού η Αγγλία και η Αμερική επένδυσαν στην κατασκευή μεγάλων ναυπηγείων. Η ανάπτυξη της ναυπηγικής βιομηχανίας έφερε αύξηση τόσο στο στόλο των δεξαμενοπλοίων όσο και τη χωρητικότητα που μπορούσαν αυτά να λάβουν. Αξιοσημείωτο, άλλωστε, είναι το γεγονός πως μεταξύ του 1916 και 1921 ναυπηγήθηκαν περίπου 316 δεξαμενόπλοια με συνολική χωρητικότητα 3.2 εκατομμύρια τόνους «νεκρού φορτίου» (DWT), σε αντίθεση με την περίοδο πριν από τον 1ο Παγκόσμιο όπου η ολική χωρητικότητα ξεπερνούσε ελάχιστα τα 2 εκατομμύρια τόνους «νεκρού φορτίου» (DWT).

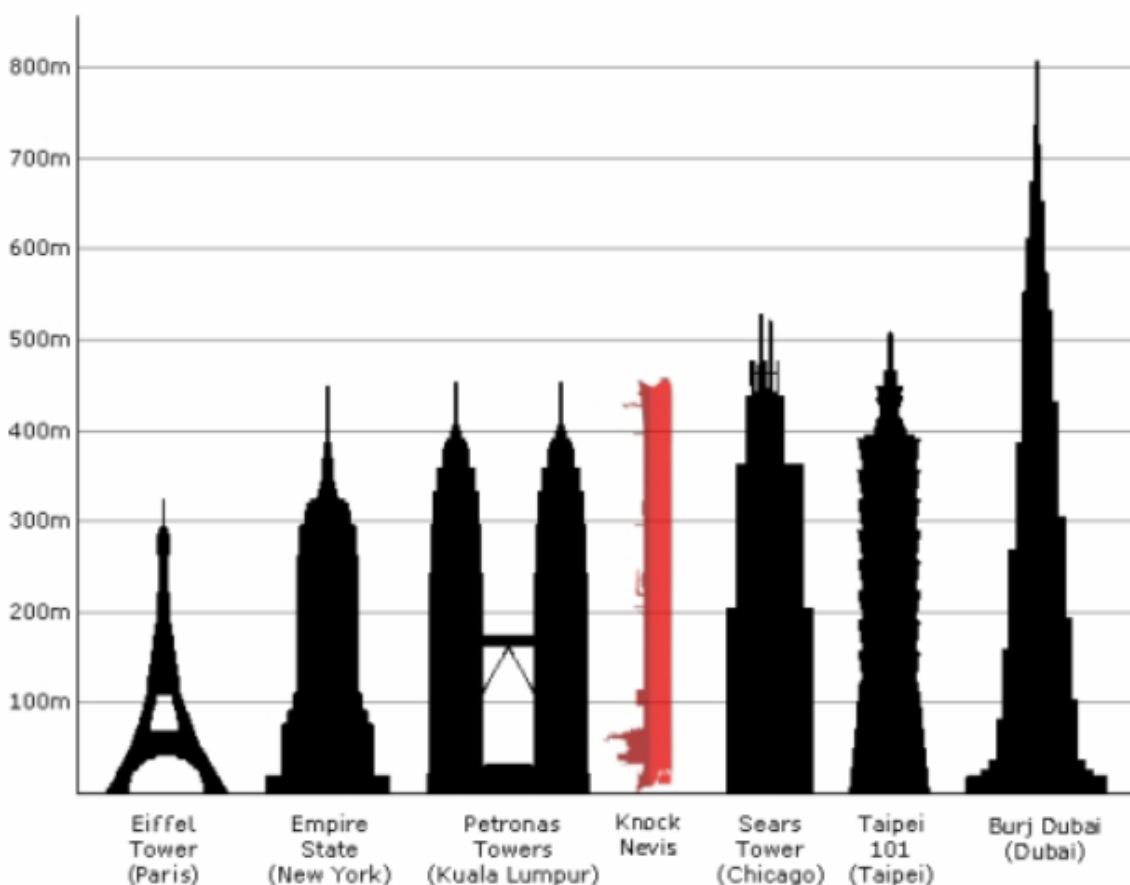
Όπως και στον 1ο Παγκόσμιο πόλεμο, έτσι και στον 2ο, τα δεξαμενόπλοια έπαιζαν καθοριστικό ρόλο στις πολεμικές επιχειρήσεις των κρατών. Άλλωστε, ο αριθμός των δεξαμενοπλοίων που ναυπηγήθηκε εκείνη την εποχή είχε ξεπεράσει κατά πολύ τις προσδοκίες, όπου, ήτοι μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες κατασκευάστηκαν περίπου 500 δεξαμενόπλοια κατηγορίας T2, με μήκος 160 (m) και 15850 τόνους «νεκρού φορτίου» (DWT). Ακόμη, λόγω της ανάγκης για περισσότερα δεξαμενόπλοια εν μέσω των πολέμων, τόσο για ανεφοδιασμό άλλων πολεμικών πλοίων όσο και επειδή πολλά από αυτά βυθίστηκαν, οι απαιτήσεις για εκσυγχρονισμό και αυτοματοποίηση της παραγωγής της ναυπήγησης ήταν αναμενόμενες. Επομένως, πολλά κομμάτια των πλοίων οργανώθηκαν σε πλαίσια (blocks) και οι συγκολλήσεις βελτιώθηκαν σε πλέον ικανοποιητικό βαθμό. Επίσης, την περίοδο εκείνη, εισήχθη για πρώτη φορά ένα σύστημα διεθνούς κλίμακας για τον προσδιορισμό των ναύλων. Αυτό το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα, μετά το πέρας των πολέμων, πολλά δεξαμενόπλοια να πουληθούν σε ιδιώτες πλοιοκτήτες ώστε να αξιοποιηθούν στην προσπάθεια ανάκαμψης της οικονομίας και του εμπορίου. Για τις επόμενες δεκαετίες και μετά το πέρας του 2ου παγκοσμίου πολέμου δεν σημειώθηκε κάποιο αξιοσημείωτο γεγονός ούτε υπήρξε μεγάλη εξέλιξη στην κατασκευή των δεξαμενοπλοίων.

Στη συνέχεια και μετά το 1945, αναμενόταν πτώση στη ζήτηση του πετρελαίου και αυτό είχε ως συνέπεια την πτώση στις τιμές των δεξαμενοπλοίων. Ωστόσο, αυτό διαψεύστηκε αμέσως με το κλείσιμο της διώρυγας

του Σουέζ, το οποίο επέφερε αύξηση της ζήτησης του πετρελαίου, ενώ και με την εισαγωγή της Μέσης Ανατολής στο παγκόσμιο εμπόριο αποτέλεσαν ισχυρά «όπλα» στην άνθιση ευρωπαϊκή οικονομία.

Η ζήτηση του πετρελαίου σε συνδυασμό με τους πενιχρούς στόλους σε πλοιοκτήτριες εταιρείες επέφερε σημαντική αύξηση στις τιμές των ναύλων και δημιουργούσε υψηλό ανταγωνισμό στις αμερικάνικες πετρελαϊκές εταιρείες. Ακόμη, οι επιχειρηματίες που αποφάσισαν να επενδύσουν στη μεταφορά του πετρελαίου μέσω της ναυτιλίας είχε σημαντικό αντίκτυπο στα κέρδη του.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, τα πλοία ολοένα και αύξαναν την ολική χωρητικότητά τους με αποτέλεσμα το ένα ρεκόρ να καταρρίπτεται το άλλο, με το «Knock Nevis» (γνωστό και ως Seawise Giant) που κατασκευάστηκε το 1979 με 565000 (t) DWT, μήκος 458 μέτρα, πλάτος 69 μέτρα και βύθισμα 25 μέτρα. Το πλοίο ήταν τόσο ογκώδες που κανένα λιμάνι δεν μπορούσε να το φιλοξενήσει πλήρως φορτωμένο και έτσι φορτωνόταν και εκφορτωνόταν ενώ ήταν αγκυροβολημένο στην ανοικτή θάλασσα. Το 2004 το «Knock Nevis» μετατράπηκε σε πλωτή μονάδα αποθήκευσης και πρόσδεσης κοντά στις ακτές του Κατάρ μέχρι το 2009, όταν και καταστράφηκε. Από το 2010 παρέμειναν μόνο 12 δεξαμενόπλοια άνω των 320000 (t) DWT, επομένως μόνο 2 ULCC περίπου 430000 (t) DWT έχουν απομείνει σε λειτουργία, το «TI Europe» και το «TI Oceana», τα οποία κατασκευάστηκαν σε μια ομάδα 4 πλοίων που χτίστηκαν το 2002 και 2003. Τα άλλα 2 πλοία «TI Africa» και «TI Asia» μετατράπηκαν και εκείνα σε πλωτές μονάδες αποθήκευσης και πρόσδεσης πετρελαιοφόρων το 2010. Συνήθως, τα πετρελαιοφόρα έχουν εμπορική διάρκεια ζωής περίπου 30 έτη.



Εικόνα 2.1.3: Το Knock Nevis σε σύγκριση του μήκους με δημοφιλή κτήρια. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Η μετέπειτα εξέλιξη των δεξαμενοπλοίων ήταν ραγδαία αφού άλλαξαν ως προς την κατασκευή, τον σχεδιασμό καθώς και τη λειτουργικότητα σε διάφορα συστήματα. Πέρα από την αύξηση της ολικής χωρητικότητας, επετεύχθη χαμηλότερο λειτουργικό κόστος του πλοίου. Ακόμη, υιοθετήθηκε η πρακτική της

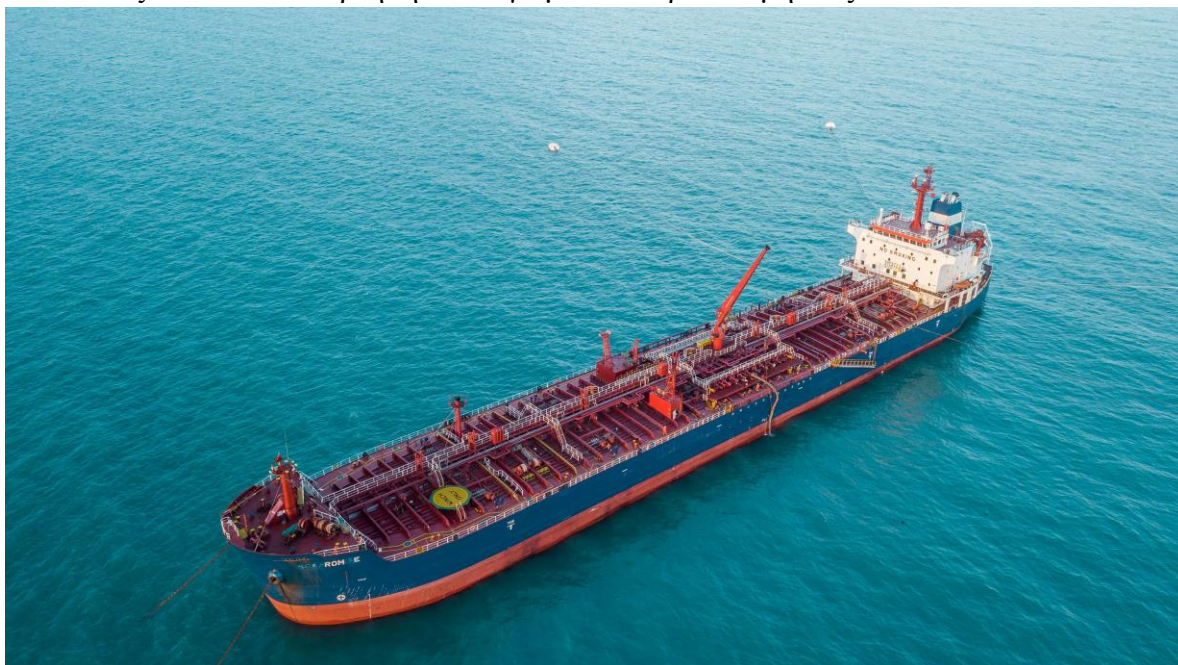
εισαγωγής ενός αδρανούς αερίου στις δεξαμενές, σε αντίθεση με τον αέρα που προϋπήρχε, για την αποφυγή των εκρήξεων στις δεξαμενές. Επίσης, η μεγαλύτερη χωρητικότητα απαιτούσε καλύτερα συστήματα άντλησης με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου σύνδεσης. Αξιοσημείωτη είναι η καθιέρωση του διπλού τοιχώματος και του διπλού πυθμένα όσον αφορά τη διαμερισματοποίηση, ενώ ο καθαρισμός πλέον των δεξαμενών γινόταν με ένα νέο σύστημα αναφερόμενο ως Crude Oil Washing παρά με το θαλασσινό νερό. Γενικότερα, οι διάφορες τροποποιήσεις που εφαρμόστηκαν στα δεξαμενόπλοια αφορούσαν κυρίως ελλείψεις ή αστοχίες που συνέβησαν σε κάποιο τραγικό συμβάν με παλαιότερη κατασκευαστική διάταξη.

Τέλος, στις μέρες μας τα πετρελαιοφόρα αποτελούν περίπου το 30% του παγκόσμιου στόλου, εν αντιθέσει με τις προηγούμενες περιόδους που κυριαρχούσαν στις θαλάσσιες μεταφορές λαμβάνοντας έναν στόλο της τάξης του 50%. Η Ιαπωνία, η Κίνα και η Ελλάδα καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό πετρελαιοφόρων με ποσοστό της τάξεως γύρω στο 60%. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών κατασκευάζεται σε ναυπηγεία της Κορέας, της Κίνας και της Ιαπωνίας. Στατιστικά προκύπτει πως ένα πετρελαιοφόρο που παραγγέλλεται είναι χωρητικότητας περίπου 76000 τόνων DWT.

2.2 Κατηγορίες δεξαμενοπλοίων

Οι κύριοι τύποι δεξαμενοπλοίων περιλαμβάνουν το πετρελαιοφόρο (δεξαμενόπλοιο πετρελαίου), το δεξαμενόπλοιο χημικών, φορτηγά πλοία και πλοίο μεταφοράς αερίου. Τα δεξαμενόπλοια μπορούν να μεταφέρουν, επίσης, εμπορεύματα, όπως φυτικά έλαια και κρασί. Στο Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών υπάρχει ένα δεξαμενόπλοιο που χρησιμοποιείται για ανεφοδιασμό άλλων πλοίων.

Υπάρχουν διάφορα μεγέθη δεξαμενοπλοίων που χρησιμοποιούνται για τη διεθνή μεταφορά πετρελαίου, από ένα παράκτιο μικρό δεξαμενόπλοιο έως ένα Supertanker VLCC (“*Very Large Crude Carriers*”) ή ULCC (“*Ultra Large Crude Carriers*”). Ο κοινός κανόνας είναι ότι ο όγκος φορτίου που μπορεί να μεταφέρει ένα δεξαμενόπλοιο αυξάνεται σε συνάρτηση ανάλογα με τον κύβο του μήκους του πλοίου.



Εικόνα 2.2.1: Δεξαμενόπλοιο εν πλω. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Οι κατηγορίες που κατηγοριοποιούνται τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαίου ή παραγωγών του είναι με βάση τα εξής στοιχεία:

- Τον τύπο/σκοπό του πλοίου,

- Την κατασκευή του,
- Το μέγεθος του πλοίου

Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο/σκοπό του πλοίου:

1. Oil Tankers: Τα πετρελαιοφόρα, όπως προκύπτει και από το όνομα τους, μεταφέρουν πετρέλαιο καθώς και τα παράγωγά του. Επομένως, ο όρος πετρελαιοφόρο δεν σχετίζεται μόνο με την μεταφορά του αργού πετρελαίου, αλλά και της βενζίνης, κηροζίνης και της παραφίνης κ.α. Ένα πετρελαιοφόρο έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει προϊόντα πετρελαίου χύμα. Επίσης, μεταφέρουν ένα ευρύ φάσμα προϊόντων που κυμαίνεται από το αργό πετρέλαιο έως τα διυλισμένα προϊόντα. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 55000 (t) DWT έως και ULCC άνω των 300000 (t) DWT. Μεγάλο μερίδιο αυτών των πετρελαιοφόρων, ανήκουν και λειτουργούν από εμπορικούς εισαγωγείς ή εξαγωγείς πετρελαίου, ακόμα και από κυβερνήσεις.



Εικόνα 2.2.2: Πετρελαιοφόρο. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

2. Δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίων (Gas Tankers): Τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίων είναι ειδικά σχεδιασμένα για να μεταφέρουν διάφορες μορφές αερίων όπως πχ. υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG-“Liquid Natural Gas”), υγροποιημένο αέριο πετρελαίων (LPG-“Liquid Power Gas”) κ.α. Τεχνικά, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίων παρουσιάζουν ειδικές σχεδιαστικές διατάξεις σε σχέση με τους ήδη συνηθισμένους τύπους πλοίων όπως πχ. Bulk Carriers, Containers, Tankers κ.α. Ακόμη, ανάλογα με τον τύπο του μεταφερόμενου φορτίου και την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίων μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:
 - Fully pressurised ships,
 - Semi-pressurised ships,
 - Ethylene ships,
 - Fully refrigerated ships &
 - LNG ships.



Εικόνα 2.2.3: Δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίων. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

3. Χημικά δεξαμενόπλοια (Chemical Tankers): Τα χημικά δεξαμενόπλοια είναι κατασκευασμένα ειδικά για να μεταφέρουν χημικά σε διάφορες μορφές. Ακόμη, η σύσταση των χημικών προϊόντων που μεταφέρουν θα πρέπει να διατηρείται και να παραμένει αναλλοίωτη. Επίσης, εφαρμόζονται ορισμένες ουσίες για τον εντοπισμό και την αναγνώριση των χημικών ουσιών που μεταφέρονται. Κάθε χημικό δεξαμενόπλοιο μεταφέρει το ίδιο είδος χημικών για φορτίο. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 5000 (t) DWT έως 35000 (t) DWT. Λόγω της εξειδικευμένης φύσης του φορτίου και του περιορισμού των μεγεθών τους, λόγω λιμανιών και εγκαταστάσεων ξηράς, τα χημικά δεξαμενόπλοια είναι μικρότερα από τα συνήθη δεξαμενόπλοια μεταφοράς πετρελαίου. Επιπροσθέτως, περιέχουν διάφορες δεξαμενές επικαλυμμένες από εξειδικευμένες επιστρώσεις όπως πχ. Εποξειδική φαινόλη, ανοξειδωτή βαφή, ψευδάργυρο κ.α. Ο τύπος επικάλυψης των δεξαμενών καθορίζεται από το είδος του φορτίου.



Εικόνα 2.2.4: Χημικό δεξαμενόπλοιο. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Οι κύριοι τύποι δεξαμενοπλοίων είναι οι 3 που περιγράφηκαν παραπάνω, ωστόσο υπάρχουν και άλλοι τύποι όπου κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το είδος του φορτίου που μεταφέρουν ή τη διεργασία που τελούν πχ. Slurry tankers, Wine tankers, Hydrogen tankers κ.α.

Κατηγοριοποίηση ως προς την κατασκευή:

Ως προς την κατασκευή του κύτους, τα δεξαμενόπλοια μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Ο IMO (International Maritime Organisation) έχει εισαγάγει τον κανονισμό Reg. 13F στο παράρτημα 1 της MARPOL, ο οποίος επιβάλλει σε όλα τα νεότευκτα δεξαμενόπλοια με “νεκρό” φορτίου (DWT) 5000 t και άνω να έχουν διπλό κύτος.

– Μονόκυτο πλοίο (Single Hull Tankers):

Τα μονού τοιχώματος δεξαμενόπλοια έχουν μόνο ένα εξωτερικό υδατοστεγές στρώμα, το οποίο διατρέχει σε όλο το μήκος του πλοίου. Όπως γίνεται αντιληπτό, η κατασκευή αυτή του μονού τοιχώματος ενέχει μεγαλύτερη απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα θετικά στοιχεία, τα μονόκυτα δεξαμενόπλοια είναι πιο σταθερά σε σύγκριση με τα δεξαμενόπλοια διπλού τοιχώματος. Τέλος, ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα ως προς τη λειτουργία αυτών των πλοίων είναι το πρόβλημα διαρροής των σωλήνων έρματος, αφού δεδομένου του κινδύνου μόλυνσης του φορτίου ελλοχεύει πάντα αφού οι σωλήνες έρματος περνούν μέσα από τις δεξαμενές φορτίου του πλοίου.

– Διπλόκυτο πλοίο (Double Hull Tankers):

Σε αντίθεση με τα μονού τοιχώματος δεξαμενόπλοια, τα διπλόκυτα δεξαμενόπλοια διαθέτουν διπλό υδατοστεγές στρώμα που εκτείνεται σε όλο το μήκος του πλοίου. Τόσο το εσωτερικό όσο και το εξωτερικό κέλυφος εκτείνονται σε όλο το πηχθέντα καθώς και στα πλαϊνά μέρη του πλοίου. Το κενό μεταξύ των δύο κελυφών καλύπτεται από τις δεξαμενές έρματος που αποσκοπούν στη διατήρηση της σταθερότητας των διπλόκυτων δεξαμενοπλοίων.

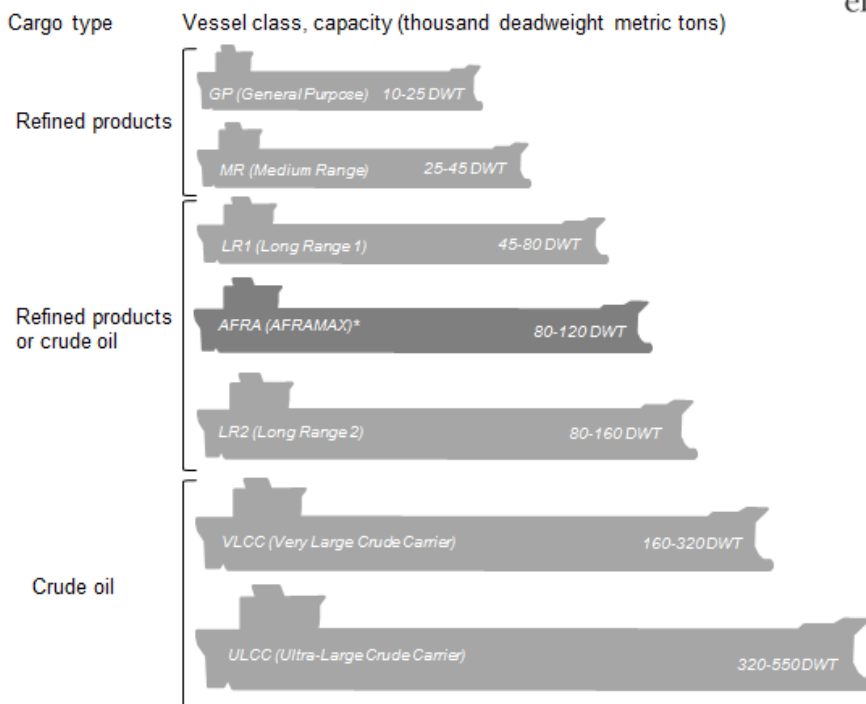
Αν και τα δεξαμενόπλοια διπλού τοιχώματος απειλούν λιγότερο το θαλάσσιο περιβάλλον και είναι πιο άνετα, αυτά τα πλοία δεν είναι τόσο σταθερά όσο τα μονόκυτα πλοία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνεται το κέντρο βάρους και μειώνεται το μετακεντρικό ύψος.



Εικόνα 2.2.5: Μονού τοιχώματος vs διπλού τοιχώματος δεξαμενόπλοια. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Ταξινόμηση των δεξαμενοπλοίων με βάση το μέγεθος:

Average Freight Rate Assessment (AFRA) Scale - Fixed



Εικόνα 2.2.6 - Απεικόνιση: Ταξινόμηση πλοίων κατά κλίμακα AFRA Scale (Το Aframax δεν αποτελεί κύρια κατηγορία αλλά εμφανίζεται για σύγκριση). (Πηγή: U.S. Energy Information Administration, London Tanker Brokers' Panel)

Συνοπτικά, τα δεξαμενόπλοια Γενικής Χρήσης - General Purpose Tanker (GP) και Μέσου Εύρους - Medium Range Tanker (MR) θεωρούνται μικρά δεξαμενόπλοια στην κλίμακα της AFRA (Average Freight Rate Assessment) και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μεταφορά των προϊόντων δύλισης πετρελαίου για μικρές αποστάσεις, πχ. Ευρώπη έως ανατολική ακτή των Η.Π.Α.. Τα πλεονέκτημα αυτών των πλοίων είναι το μέγεθός τους αφού τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση σε πολλά λιμάνια.

Τα πλοία Μεγάλου Εύρους - Large Range (LR) κατέχουν μεγάλο ποσοστό στην Παγκόσμια Ναυτιλία και επίσης χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά διυλισμένων προϊόντων και αργού πετρελαίου. Έχουν πρόσβαση στα περισσότερα μεγάλα λιμάνια και δραστηριοποιούνται κυρίως στη Μεσόγειο, τη Μαύρη Θάλασσα και στα λιμάνια της Κίνας. Ωστόσο, μία ταξινόμηση ανάμεσα σε αυτές τις 2 κατηγορίες (Long Range 1 & 2) είναι η κατηγορία AFRAMAX, όπου κατατάσσονται πλοία μεταξύ 80000 (t) DWT έως 120 (t) DWT και αποτελούν μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ναυτιλίας. Τα AFRAMAX είναι “δημοφιλή” και ταξινομούνται ανάμεσα σε αυτές τις 2 κατηγορίες επειδή είναι ιδιαίτερα γνωστά στις εταιρείες πετρελαίου για υλικοτεχνικούς σκοπούς σύμφωνα με τις προδιαγραφές που φέρουν. Επειδή τα δεξαμενόπλοια αυτά, κατηγορίας Aframax, ανήκουν ανάμεσα στις κατηγορίες Large Range 1 & 2, ο οργανισμός LTBP (London Tanker Broker Panel) δεν δημοσιεύει τις τιμές ναύλωσης αυτών των πλοίων. Με το πέρασμα των χρόνων, τα πλοία αυξήθηκαν σε μέγεθος και προστέθηκαν νέες ταξινομήσεις στην κλίμακα AFRA. Τα πολύ μεγάλα δεξαμενόπλοια τύπου VLCC (Very Large Crude Carrier) και ULCC (Ultra Large Crude Carrier) προστέθηκαν στην κλίμακα AFRA, αφού το παγκόσμιο εμπόριο διευρύνθηκε και τα μεγαλύτερα πλοία αυτά αποδείχθηκαν πως ήταν οικονομικότερα για τη μεταφορά του αργού πετρελαίου. Ακόμη, τα VLCC είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες μεταφορές αργού πετρελαίου παγκοσμίως, ακόμη και στο σημείο αναφοράς του αργού πετρελαίου Brent που βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα. Τέλος, υπάρχει ένας μικρός σχετικά αριθμός δεξαμενοπλοίων κατηγορίας ULCC λόγω του μεγέθους αυτών των πλοίων αφού απαιτεί μεγάλα λιμάνια με ειδικές εγκαταστάσεις για να μπορεί να γίνεται η φορτοεκφόρτωση. Το μοναδικό λιμάνι των Η.Π.Α. που μπορεί να διαχειριστεί πλήρως έμφορτα τα δεξαμενόπλοια αυτά, βρίσκεται στο λιμάνι της Λουϊζιάνα (Louisiana Offshore Oil Port – LOOP). Ωστόσο, λόγω της μεγάλης μάζας τους, τα πετρελαιοφόρα αυτά έχουν μεγάλη αδράνεια, γεγονός που καθιστά πολύ δύσκολη τη «χειριστική» τους ικανότητα. Ένα πλήρως φορτωμένο Supertanker θα μπορούσε να χρειαστεί από 4 έως 8 χιλιόμετρα, διάρκειας 15 λεπτών, για να σταματήσει και διάμετρο πλήρους στροφής 2 χιλιομέτρων.

AFRA Scale		Flexible Market Scale			
Class	Size in DWT	Class	Size in DWT	New Price	Used Price
General Purpose tanker	10,000–24,999	Product tanker	10,000–60,000	\$43M	\$42.5M
Medium Range tanker	25,000–44,999	Panamax	60,000–80,000		
LR1 (Large Range 1)	45,000–79,999	Aframax	80,000–120,000	\$60.7M	\$58M
LR2 (Large Range 2)	80,000–159,999	Suezmax	120,000–200,000		
VLCC (Very Large Crude Carrier)	160,000–319,999	VLCC	200,000–320,000	\$120M	\$116M
ULCC (Ultra Large Crude Carrier)	320,000–549,999	Ultra Large Crude Carrier	320,000–550,000		

Εικόνα 2.2.7: Ταξινόμηση πλοίων κατά κλίμακα AFRA και FM..
(Πηγή: Evangelista, Joe, ed. . "Scaling the Tanker Market")

2.3 Σημαντικά ατυχήματα δεξαμενοπλοίων

Όπως προαναφέρθηκαν σημαντικά δεξαμενόπλοια που ξεχώρισαν τόσο για την κατασκευή τους όσο και για την αποδοτικότητα τους, αξίζει η αναφορά στα σημαντικότερα και συνάμα μεγαλύτερα ατυχήματα δεξαμενοπλοίων που αποτέλεσαν ορόσημο στην εξέλιξη τους. Ακόμη, επιδεικνύονται κατασκευαστικές ατέλειες που αποτέλεσαν κυρίαρχη αιτία ή συνέβαλαν σε αυτές τα τραγικά συμβάντα. Ωστόσο, τα ατυχήματα πέρα από τις πολυάριθμες αρνητικές συνέπειες, οδήγησε σε νέους και ασφαλείς κανονισμούς τόσο ως προς την δομική κατασκευή του πλοίου όσο και ως προς τη λειτουργικότητα του με υψηλούς συντελεστές ασφαλείας. Επίσης, με την εισαγωγή της πιθανοθεωρητικής μεθόδου, τα πλοία βελτιστοποιήθηκαν σε αρκετούς τομείς και οι δικλίδες ασφαλείας αυξήθηκαν αρκετά.

– **Sinclair Petrolore – 1960 (60000 t oil spilled)**

Η έρευνα σχετικά με τις καταστροφές δεξαμενοπλοίων αλλά και πετρελαιοκηλίδων ξεκινάει το 1960. Συγκεκριμένα, το Sinclair Petrolore υπέστη ζημιά με αποτέλεσμα περίπου 60000 τόνοι αργού πετρελαίου να ξεχυθούν στις ακτές της Βραζιλίας προκαλώντας έτσι μία από τις μεγαλύτερες καταστροφές στον πλανήτη, αφού πολλά θαλάσσια είδη έχασαν την ζωή τους.



Εικόνα 2.3.1: Το Sinclair Petrolore καταστρέφεται έπειτα από τη ζημιά που υπέστη. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Torrey Canyon – 1967 (120000 t oil spilled)**

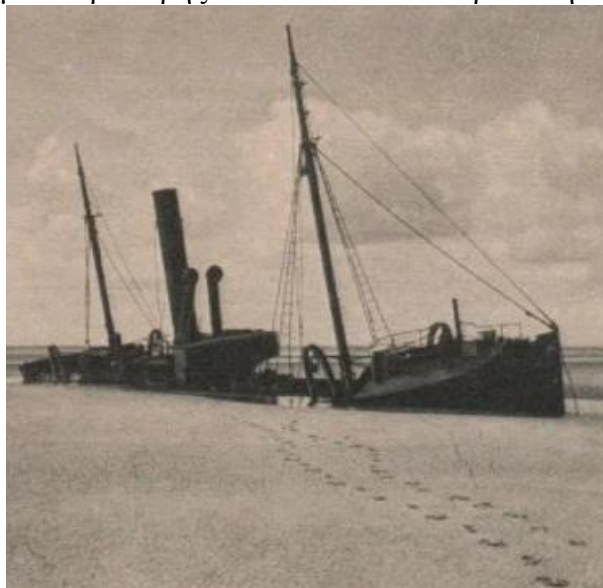
Το 1967, στις ακτές της Βρετανίας της Γαλλίας, σημειώθηκε μία από τις μεγαλύτερες καταστροφές. Το δεξαμενόπλοιο, Torrey Canyon, προσέκρουσε σε βράχους με αποτέλεσμα οι δεξαμενές να υποστούν ρήγμα και το φορτίο χωρητικότητας 120000 τόνων αργού πετρελαίου να χυθεί στη θάλασσα. Το Torrey Canyon ήταν από τα μεγαλύτερα πετρελαιοφόρα που κυκλοφορούσαν εκείνη την εποχή, αλλά αφού τελικά προσάραξε με αποτέλεσμα να καταστραφεί ολοσχερώς. Μάλιστα η πετρελαιοκηλίδα που προκλήθηκε είχε έκταση 700 (km²).



Εικόνα 2.3.2: Η καταστροφή του Torrey Canyon το 1967. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Sea Star – 1972 (115000 t oil spilled)**

Το Sea Star ξεκινούσε το δρομολογημένο ταξίδι του από τη Σαουδική Αραβία προς τη Βραζιλία όπου μετέφερε περίπου 115000 τόνους αργού πετρελαίου. Ωστόσο, στις 19 Δεκεμβρίου του 1972, το Sea Star συγκρούστηκε με το βραζιλιάνικο καταγωγής Horta Barbosa στο Κόλπο του Ομάν. Από τη σύγκρουση το κύτος του Sea Star υπέστη ολική καταστροφή και έτσι 115000 τόνοι ξεχύθηκαν στο κόλπο. Επίσης, 12 μέλη του πληρώματος βρήκαν τραγικό θάνατο ενώ τα μέλη του βραζιλιάνικου πληρώματος σώθηκαν από το Amoco Baltimore, ένα Νορβηγικής καταγωγής σκάφος που βρισκόταν στην περιοχή. Η φωτιά που ξέσπασε επεκτάθηκε και στο Horta Barbosa αλλά με την κατάλληλη βοήθεια τέθηκε υπό έλεγχο και ρυμουλκήθηκε σε ασφαλή περιοχή. Ακόμη, το Sea Star συνέχισε να καίγεται, όπου έπειτα από μια σειρά εκρήξεων το πλοίο τελικά βυθίστηκε στις 24 Δεκεμβρίου.



Εικόνα 2.3.3: Το ναυάγιο του Horta Barbosa. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Amoco Cadiz – 1978 (227000 t oil spilled)**

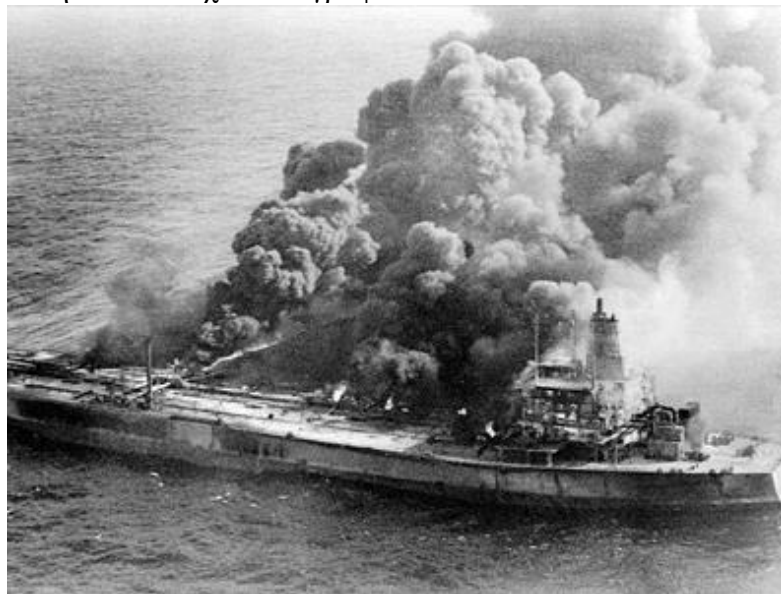
Συνολικά, υπάρχουν 12 σημαντικά ατυχήματα όπου ο όγκος πετρελαίου χύθηκε στη θάλασσα. Μία από αυτές τις περιπτώσεις είναι το Amoco Cadiz, ένα ισπανικό σκάφος το οποίο δραστηριοποιούνταν, κυρίως, στις ακτές της Βρετανίας της Γαλλίας. Ωστόσο, η καταστροφή του επέφερε ολέθριες συνέπειες αφού περισσότεροι από 130000 τόνοι ξεχύθηκαν στον ωκεανό, ρυπαίνοντας έτσι έκταση 360 τετραγωνικών χιλιομέτρων(km²).



Εικόνα 2.3.4: Μέρος της πλώρης του Amoco Cadiz. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Atlantic Empress & Aegean Captain – 1979 (287000 t oil spilled)**

Ένα χρόνο αργότερα, μετά το Amoco Cadiz, σημειώθηκε άλλο ένα μεγάλης έκτασης ατύχημα όπου έλαβε χώρα στη Καραϊβική. Συγκεκριμένα, τα 2 πλοία που ενεπλάκησαν ήταν το Atlantic Empress και το Aegean Captain, τα οποία συγκρούστηκαν κατά τη διάρκεια μίας τροπικής καταιγίδας με αποτέλεσμα περίπου 287000 τόνοι αργού πετρελαίου να ξεχυθούν στη θάλασσα. Το συγκεκριμένο ατύχημα έχει χαραχθεί με μεγάλα γράμματα στην ιστορία αφού παραμένει μέχρι και σήμερα η μεγαλύτερη πετρελαιοκηλίδα που έχει καταγραφεί.



Εικόνα 2.3.5: Οι εκρήξεις έπειτα από τη σύγκρουση των δύο πλοίων. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Exxon Valdez – 1989 (37000 t oil spilled)**

Στα ανοιχτά της Αλάσκας το 1989 αποτέλεσε “μαύρη” σελίδα για τις Η.Π.Α., αφού το Exxon Valdez που ήταν υπό την ιδιοκτησία των Η.Π.Α. προσάραξε σε έναν ύφαλο και διέρρευσε περισσότερο από 37000 τόνοι πετρελαίου στη θάλασσα. Για τις Η.Π.Α. θεωρείται η μεγαλύτερη οικολογική καταστροφή έως και σήμερα.



Εικόνα 2.3.6: Η καταστροφή του Exxon Valdez. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))



Εικόνα 2.3.7: Οι καταστροφικές συνέπειες του ατυχήματος. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Erika – 1999 (20000 t oil spilled)**

Το Μαλτέζικης καταγωγής δεξαμενόπλοιο Erika, έσπασε στα δύο μετά από σφοδρή κακοκαιρία στον Βискаϊκό Κόλπο στις 12 Δεκεμβρίου του 1999. Το πλοίο μετέφερε περίπου 31000 τόνους βαρύ μαζούτ και το συμβάν έλαβε χώρα 60 ναυτικά μίλια από την ακτή της Βρετανίας. Τα μέλη του πληρώματος διασώθηκαν από τις Γαλλικές Αρχές, ωστόσο όμως ξεχύθηκαν 19800 τόνοι πετρελαίου στη θάλασσα. Το πετρέλαιο, κάτω από ισχυρούς ανέμους και ρεύματα, συσσωρεύθηκε γύρω από το ποταμό Λίγηρα όπου έλαβαν χώρα διάφορες προσπάθειες να καθαριστούν οι περιοχές από το πετρέλαιο.



Εικόνα 2.3.8: Η στιγμή της βύθισης του Erika. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– **Prestige – 2002 (63000 t oil spilled)**

Πριν από μερικά χρόνια, το Prestige φορτωμένο με 77000 τόνους βαρέος μαζούτ και με κατεύθυνση προς το Γιβραλτάρ βυθίστηκε 130 ναυτικά μίλια από τις ακτές της Γαλικίας, με όλο το μαζούτ να καταλήγει στη θάλασσα. Το συγκεκριμένο συμβάν, αποτέλεσε μία από τις μεγαλύτερες οικολογικές και όχι μόνο καταστροφές της Ισπανίας.



Εικόνα 2.3.8: Μία από τις χειρότερες πετρελαιοκηλίδες στην Ευρώπη, η καταστροφή του Prestige. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Κεφάλαιο 3: Πατρικό πλοίο και βάση δεδομένων

Για την περάτωση της Προμελέτης του υπό μελέτη πλοίου, πέραν από τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη που πρέπει να αξιολογηθούν, απαιτείται συλλογή δεδομένων και στοιχείων από όμοια πλοία καθώς και επιλογή ενός πατρικού πλοίου με πιο εκτενείς πληροφορίες στοιχείων, μελετών και σχεδίων. Το πατρικό - υπάρχον πλοίο που χρησιμοποιείται στη παρούσα μελέτη ανήκει στην εταιρεία «PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD» και είναι ένα δεξαμενόπλοιο, κατηγορίας Aframax, όπου τα χαρακτηριστικά του απεικονίζονται στο πίνακα 3.1.

3.1 Δεδομένα πατρικού πλοίου

Η φάση της προμελέτης περιλαμβάνει τη συλλογή και τη χρήση στοιχείων, μελετών και σχεδίων από όμοιο - πατρικό πλοίο. Τα στοιχεία και σχέδια που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη, τα οποία δόθηκαν από την ναυτιλιακή εταιρεία, «PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD», όπου ανήκει το εν λόγω πλοίο, είναι τα εξής:

- Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πλοίου (General Arrangement Plan)
- Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section Plan)
- Trim & Stability Booklet
- Capacity Plan
- Drawing and Data List of Propeller
- Rudder & Rudder Stock

Επίσης, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του πατρικού πλοίου:

Στοιχεία Πατρικού Πλοίου		
Ολικό Μήκος Length O. A.	L.O.A.=249.9	m
Μήκος Μεταξύ Καθέτων L.B.P.	L.B.P.=239	m
Πλάτος Breadth	B=44	m
Κοίλο Depth	D=21.35	m
Μέγιστο Βύθισμα Scant. Draft	T _{sc} =15.1	m
Βύθισμα Σχεδίασης Design Draft	T _{DT} =13.6	m
Συντ. Γάστρας CB	CB=0.825	
“Νεκρό” Φορτίο DWT	DWT=114000	mt
Ταχύτητα Υπηρεσίας Service Speed	V _s =14.5	kn
Ισχύς Κύριας Μηχανής W _{Main Engine}	W=16080	kW
Βάρος Άφορτου Πλοίου W _{steel}	W _{steel} =20600	t

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά πατρικού πλοίου. (Πηγή: PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD)

3.2 Βάση δεδομένων όμοιων πλοίων

Για την περάτωση της Προμελέτης, πέρα από το πατρικό πλοίο, απαιτείται η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων από όμοια πλοία. Η συγκέντρωση των στοιχείων έγινε σε συνεργασία με 2 ναυτιλιακές εταιρείες, την «PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD» & «Minerva Marine» καθώς και από την εφαρμογή *Marine Traffic* (<https://www.marinetraffic.com>). Για την αξιοπιστία της μελέτης, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με όμοια πλοία με εύρος ωφέλιμου φορτίου (DeadWeight) από 31953 (t) έως 183164.4 (t) με στόχο την προμελέτη ενός δεξαμενοπλοίου, κατηγορίας Aframax, με ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=14.5$ (knots) και ωφέλιμο φορτίο $DWT=116000$ (t).

Ο παρακάτω πίνακας είναι μια σύντομη ανασκόπηση του αναλυτικού πίνακα που βρίσκεται στο Παράρτημα Α της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει: την ονομασία του κάθε πλοίου, τον αριθμό IMO, την σημαία που φέρει το κάθε πλοίο, το DWT σε (t), το εκτόπισμα Δ σε (t), το μήκος (ολικό και μεταξύ καθέτων), το πλάτος, το κοίλο, το βύθισμα, την ταχύτητα υπηρεσίας και την ισχύ της κύριας μηχανής σε (kW). Επίσης, ο αναλυτικό πίνακας που βρίσκεται στο παράρτημα περιλαμβάνει παραπάνω στοιχεία για το κάθε πλοίο, τα οποία ωστόσο είναι αρκετά σημαντικά για μία πιο ενδελεχή μελέτη. Τα στοιχεία που παραθέτονται, χρησιμοποιούνται σε αριθμητικές και υπολογιστικές μεθόδους όπου εξάγονται οι πιθανές διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου. Εκτός από τα στοιχεία των όμοιων πλοίων, χρησιμοποιούνται, επίσης, εμπειρικοί τύποι, διαγράμματα και πίνακες που εμπεριέχονται στη βιβλιογραφία. Παρακάτω παρουσιάζεται η βάση δεδομένων:

1	Vessel Name	IMO Number	DWT (t)	Displacement (t)	Length Overall (m)	Length BP (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Draught (m)	Service Speed (knots)	Gross tonnage	Net tonnage	Ballast Capacity (m ³)	Power (kW)
2	PEONIA	9313436	10266302.951	11316658.672	164.5	156	27.6	15.9	10.5	14.5	19549	7487	16698	7860
3	SEACONGER	9352298	10309140.961	11363879.482	177.75	168	28	16.8	11	16	21329	8429	16643	8340
4	CHEM P	6806444	7502818.092	8270438.914	202.03	202.03	27.43	14.33	10.78	20	21760	9742	13535	1000
5	GRAND POWER	9236999	10182045.605	11223780.873	171.2	162	27.4	17.3	11.82	15.5	22184	9438	15898	7150
6	FOREST	9283760	10233590.769	11280599.675	176	168	31	17	10.06	15	25214	8277	-	8580
7	FORTUNE	9283746	10233575.337	11280582.663	175.93	168	31	17	10.06	15	25214	8277	-	8580
8	FAXON	9283758	10233588.565	11280597.244	175.95	168	31	17	10.06	15	25214	8227	20811	8580
9	IBLEA	9244441	10190249.003	11232823.569	175.87	169	29.8	16.8	11.48	15.2	23375	10150	17018	9000
10	STOLT EFFICIENCY	9102112	10033358.181	11059881.090	176.75	168.5	31	15.61	11.9	16.2	24625	11933	15805	13365
11	KEONAMEX VICTORY	9274642	10223539.898	11269520.488	185.6	176	31	16.7	10.6	15.2	26659	10224	18208	8580
12	RAINBOW	9302126	10253835.813	11302916.009	182.55	175	27.34	16.7	11.22	14.5	23246	10126	18940	10010
13	ROMA	9286047	10236111.755	11283378.584	182.55	175	27.34	16.7	10.85	14.5	23235	1074	18907	9466
14	SAN FELIX	9314868	10267881.460	11318398.680	182.55	176.08	27.34	16.7	11.2	23	23315	10135	-	9480
15	NOREASTER	9350642	10307315.534	11361867.293	184	176	27.4	17.2	11.32	14	23589	9628	-	9720
16	LUCKY LADY	9288796	10239142.008	11286718.865	176	168	31	17	10.5	14.5	25124	9118	20742	11640
17	EAST COAST	9298703	10250062.603	11298756.758	183	175	27	16.7	7.4	14.7	23552	10119	18609	9488
18	ACADIAN	9298715	10250075.830	11298771.339	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
19	NEW ENGLAND	9298727	10250089.058	11298785.920	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
20	GREAT EASTERN	9298739	10250102.286	11298800.501	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
21	ACADIA TRADER	9278492	10227783.795	11274198.583	180	171.2	32	16.2	10.26	15.3	25487	9528	21058	11060
22	MINERVA LEO	9723289	10718088.421	11814666.765	184.27	176.13	27.4	17.6	11.92	14.4	24090	10389	18587	7290
23	MINERVA TYCHI	9723291	10718090.626	11814669.195	184.27	176	27.4	17.6	11.92	14.4	24090	10389	18587	7290

Πίνακας 3.2: Κύρια χαρακτηριστικά των όμοιων πλοίων που υπάρχουν στη βάση δεδομένων.

Κεφάλαιο 4: Εκλογή κυρίων διαστάσεων και υπολογισμός βασικών παραμέτρων για τον σχεδιασμό του πλοίου

4.1 Προκαταρκτική εκτίμηση εκτοπίσματος Δ

Ορισμός: Ο όρος αυτός προέρχεται από την αρχή του Αρχιμήδη, συγκεκριμένα το βάρος των πλοίων στη θάλασσα είναι ίσο με το βάρος του νερού που εκτοπίζουν, ήτοι ο όγκος που προκύπτει από το βάρος του νερού ίσο με τον όγκο εκτοπίσματος του πλοίου. Το βάρος αυτό αλλάζει σύμφωνα με την κάθε κατάσταση φόρτωσης του πλοίου και ισχύει η σχέση:

$$\Delta = \nabla \cdot \gamma$$

– Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση των στοιχείων H. Schneekluth και E. Strohbusch

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τυπικά μεγέθη και ποσοστά ομάδων βαρών για κύριους τύπους εμπορικών πλοίων. Στη δική μας περίπτωση, εστιάζουμε στα δεξαμενόπλοια (Tankers) με DWT περίπου ίσο με 116000 (t).

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)	$L \geq 80$ m	16,000 t	50–60	68–78	12–19	10–20
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	$L \geq 85$ m	$L \geq 120$ m	16–33	56–66	23–28	11–18
Large passenger ships (cruise ships)	$L \geq 200$ m	$L \geq 360$ m	23–34	52–56	30–34	15–20
Small passenger ships	$L \geq 50$ m	$L \geq 120$ m	15–25	50–52	28–31	20–29
Stern Trawlers	$L \approx 44$ m	$L \geq 82$ m	30–58	42–46	36–40	15–20
Tugboats	$P_B \approx 500$ KW	3,000 KW	20–40	42–56	17–21	38–43
River ships (towed)	$L \geq 32$ m	$L \geq 35$ m	22–27	58–63	19–23	16–21
River ships (self-propelled)	$L \geq 80$ m	$L \geq 110$ 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 4.1: Τυπικά μεγέθη και ποσοστά ομάδων βαρών για κύριους τύπους εμπορικών πλοίων. (Πηγή: Ship Design, Apostolos Papanikolaou 2014)

Παρότι βρισκόμαστε κοντά στο ανωτέρω όριο του πίνακα θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο της γραμμικής παρεμβολής ώστε να είμαστε πιο ακριβείς στους υπολογισμούς μας.

Γραμμική Παρεμβολή:

$$y(x) = f(x_1) + \frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2} \cdot (x - x_1) \Rightarrow y(x) = 0.78 + \frac{0.78 - 0.86}{25000 - 120000} \cdot (116000 - 25000) \Rightarrow$$

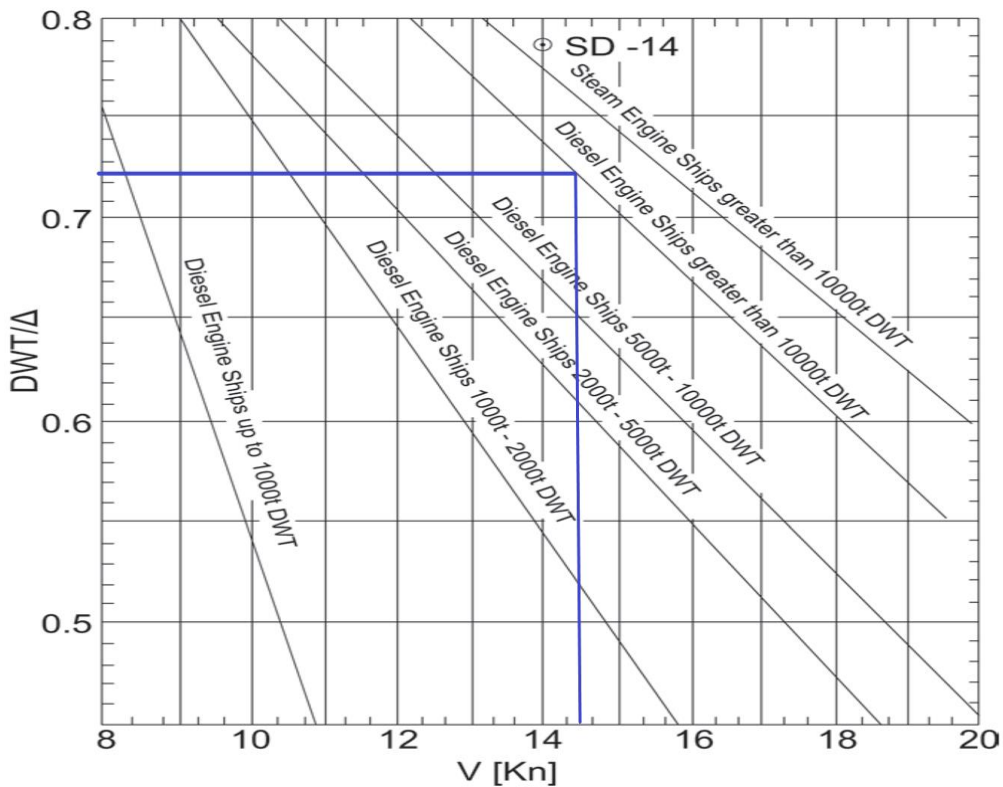
$$y(x) = 0.78 + \frac{0.08}{95000} \cdot 91000 \Rightarrow y(x) = 0.857$$

Επομένως, μέσω της γραμμικής παρεμβολής ανάμεσα στα όρια που μας δίνει ο πίνακας, έχουμε ότι:

$$\frac{DWT}{\Delta_1} = 0.857 \Rightarrow \Delta_1 = \frac{DWT}{0.857} \Rightarrow \Delta_1 = \frac{116000}{0.857} = 135355.893 \text{ (t)}$$

– **Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση το διάγραμμα DWT/Δ κατά Schünemann**

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα θα γίνει η 2η εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ για ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=14.5$ (knots) όπως παρατηρείται:



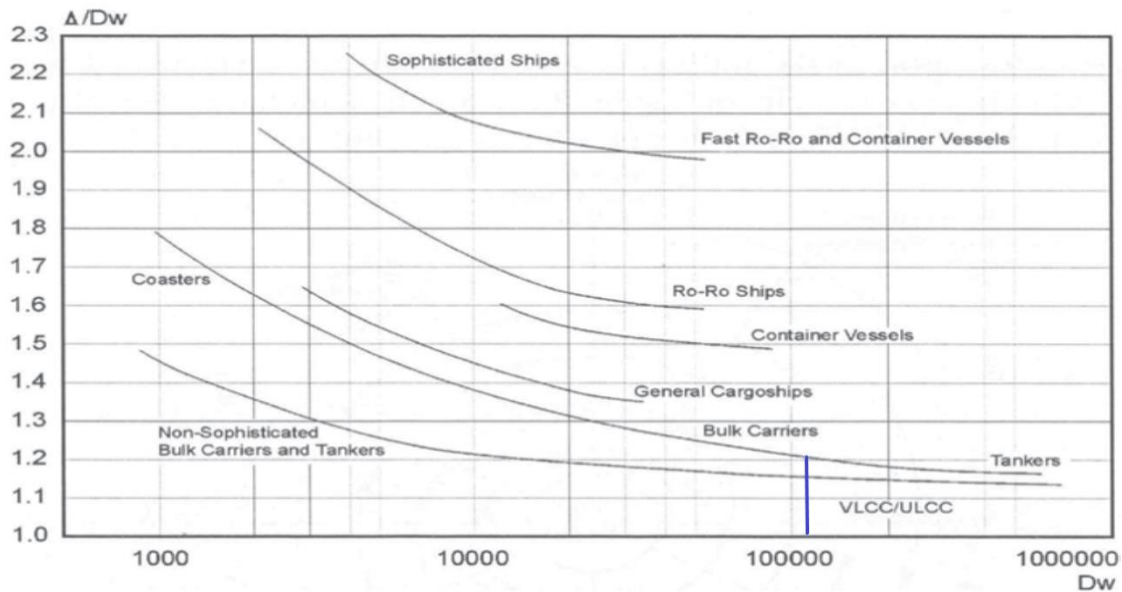
Διάγραμμα 4.1.1: Ο λόγος DWT/Δ συναρτήσει DWT και υπηρεσιακής ταχύτητας V_s για Δηζελοκίνητα πλοία κατά Schünemann. (Πηγή: Ship Design, Apostolos Papanikolaou 2014)

Παρατηρώντας το διάγραμμα για Δηζελοκίνητα πλοία άνω των 10000 (t) DWT και για υπηρεσιακή ταχύτητα 14.5 (knots) έχουμε:

$$\frac{DWT}{\Delta_2} = 0.722 \Rightarrow \Delta_2 = \frac{DWT}{0.722} \Rightarrow \Delta_2 = \frac{116000}{0.722} \Rightarrow \Delta_2 = 160664.82 \text{ (t)}$$

– Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση το λόγο Δ/DWT κατά Harvald

Με το παρακάτω διάγραμμα θα γίνει η 3η εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ με λόγο Δ/DWT συναρτήσεις DWT για διαφόρους τύπους πλοίων.



Διάγραμμα 4.1.2: Ο λόγος DWT/Δ συναρτήσει DWT για διαφόρους τύπους πλοίων κατά Harvald. (Πηγή: Ship Design, Apostolos Papanikolaou 2014)

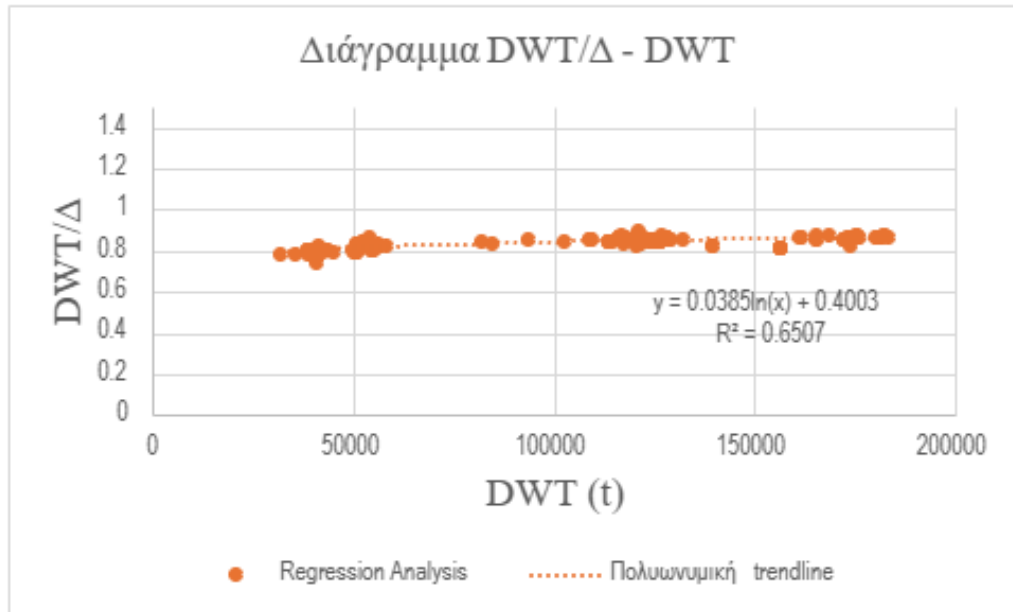
– $DWT=116000$ (t) & κατηγορία Δεξαμενοπλοίων (Tankers)

Από διάγραμμα προκύπτει:

$$\frac{\Delta_3}{DWT} = 1.21 \Rightarrow \Delta_3 = 1.21 \cdot DWT \Rightarrow \Delta_3 = 1.21 \cdot 116000 \Rightarrow \Delta_3 = 140360 \text{ (t)}$$

– Εκτίμηση εκτοπίσματος Δ με βάση την παλινδρομική ανάλυση από όμοια πλοία

Στην 4η και τελευταία εκτίμηση, η οποία θα έχει και τον μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας, περιλαμβάνει το διάγραμμα που προκύπτει μέσα από την παλινδρομική ανάλυση από τη βάση δεδομένων που έχουμε από όμοια πλοία. Από τον πίνακα που έχουμε ως βάση δεδομένων από όμοια πλοία, βάσει του «νεκρού» φορτίου DWT συναρτήσει του εκτοπίσματος Δ δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό, χρησιμοποιούμε τη γραμμή τάσης (trendline) με συντελεστή συσχέτισης R^2 όσο γίνεται πιο κοντά στη μονάδα, για να έχουμε ισχυρή συσχέτιση των 2 μεταβλητών και χρησιμοποιώντας την εξίσωση που προκύπτει και για $DWT=116000$ (t) θα εκτιμηθεί ο λόγος DWT/Δ όπου στην συγκεκριμένη μέθοδο δίνεται μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας αφού η σχέση στηρίζεται σε υπάρχοντα και πιο σύγχρονα πλοία.



Διάγραμμα 4.1.3: Ο λόγος DWT/Δ συναρτήσει DWT για δεξαμενόπλοια της βάσης δεδομένων.

Η εξίσωση, λοιπόν, που προκύπτει όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα είναι η εξής:

$$\frac{DWT}{\Delta_4} = 0.0385 \cdot \ln(DWT) + 0.4003$$

Επομένως, για DWT=116000 (t), προκύπτει ότι:

$$\frac{DWT}{\Delta_4} = 0.849$$

Τελικώς, έχουμε:

$$\Delta_4 = 136631.331 (t)$$

➤ Συνολική εκτίμηση εκτοπίσματος Δ

Μετά το πέρας για την εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ για κάθε μέθοδο που προαναφέρθηκε, θα αποδοθούν συντελεστές βαρύτητας για κάθε μέθοδο αφού κάποιες μέθοδοι προσεγγίζουν καλύτερα τα τωρινά δεδομένα καθώς και πώς κυμαίνονται οι τιμές του εκτοπίσματος την σημερινή εποχή.

Μέθοδος Εκτίμησης	Εκτίμηση Εκτοπίσματος (t)	Συντελεστής βαρύτητας
Πίνακας στοιχείων (H. Schneekluth & E. Strohbusch)	$\Delta_1=135355.893$	$B_1=0.10$
Διάγραμμα κατά Schünemann	$\Delta_2=160664.82$	$B_2=0.05$
Διάγραμμα κατά Harvald	$\Delta_3=140360$	$B_3=0.05$
Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	$\Delta_4=136631.331$	$B_4=0.80$

Πίνακας 4.1.4: Συγκεντρικός πίνακας με τις τιμές του εκτοπίσματος για κάθε μέθοδο και τους συντελεστές βαρύτητας αυτών.

$$\begin{aligned} \Delta &= B_1 \cdot \Delta_1 + B_2 \cdot \Delta_2 + B_3 \cdot \Delta_3 + B_4 \cdot \Delta_4 \Rightarrow \\ \Delta &= 0.10 \cdot 135355.893 + 0.05 \cdot 160664.82 + 0.05 \cdot 140360 + 0.80 \cdot 136631.331 \Rightarrow \\ \Delta &= 13535.5893 + 8033.241 + 7018 + 109305.065 \Rightarrow \end{aligned}$$

Τελικώς, η αρχική εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ είναι ίση με:

$$\Delta = 137891.895 (t)$$

Ο όγκος εκτοπίσματος, για θαλασσινό νερό $\gamma = 1025.9 \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 1.0259 \left(\frac{t}{m^3}\right)$, είναι ίσος με:

$$\Delta = \gamma_{\theta\alpha\lambda\alpha\sigma\sigma} \cdot \nabla \Rightarrow \nabla = \frac{\Delta}{\gamma_{\theta\alpha\lambda\alpha\sigma\sigma}} = \frac{137891.895}{1.0259} = 134410.66 (m^3)$$

4.2 Προεκτίμηση μήκους μεταξύ καθέτων LPP

Ορισμός: η οριζόντια απόσταση μεταξύ της πρυμναίας και πρωραίας καθέτου. Το εγκάρσιο επίπεδο που διέρχεται από το μισό του μήκους μεταξύ καθέτων (LPP/2) ονομάζεται μέση τομή.

(πρυμναία κάθετος: ορίζεται ως η κάθετη γραμμή στο βασικό επίπεδο αναφοράς που περνά από τον άξονα του πηδαλίου)

(πρωραία κάθετος: ορίζεται ως η κάθετη γραμμή στο βασικό επίπεδο αναφοράς που περνά από το σημείο τομής της ισάλου σχεδίασης με το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου).

- Εκτίμηση μήκους LPP σύμφωνα με το λόγο $\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{\frac{1}{\gamma}}}$

Ο παρακάτω πίνακας (βλέπε σελ. 102 βιβλ. “Ship Design”, Apostolos Papanikolaou) περιλαμβάνει διάφορους συντελεστής μορφής καθώς και λόγους βασικών διαστάσεων του πλοίου αλλά και τον συντελεστή λυγηρότητας $\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{\frac{1}{\gamma}}}$, ανάλογα με το είδος του πλοίου:

Ship type	Hull form coefficients				Ratios of main dimensions		
	C_P	C_M	C_B	C_{WP}	L_{PP}/B	B/T	$L_{PP}/\sqrt[3]{\frac{1}{\gamma}}$
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

^a For $L > 100$ m

^b For $L = 80–95$ m

^c $C_P, C_B < 0.57$

Πίνακας 4.2.1: Συντελεστές μορφής και λόγοι διαστάσεων για τους τύπους εμπορικών πλοίων. (Πηγή: Ship Design, Apostolos Papanikolaou 2014)

Από πατρικό πλοίο έχουμε: $L_{PP}=239$ (m) και με ταχύτητα $V_s=14.5$ (knots)

$$Fn = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{14.5 \cdot 0.514}{\sqrt{9.81 \cdot 239}} \Rightarrow Fn = \frac{7.453}{48.421} = 0.154$$

Για το υπό μελέτη πλοίο θα χρησιμοποιήσουμε την κατηγορία των δεξαμενοπλοίων με αριθμό Froude=0.15 και επομένως προκύπτει ότι ο συντελεστής λυγηρότητας $\frac{L_{PP}}{V^{\frac{1}{3}}}$ κυμαίνεται από 4.55 - 5.6. Λόγω του ότι το πλοίο μας είναι ογκώδες επιλέγουμε συντελεστή λυγηρότητας κοντά στο κάτω όριο αφού και το πατρικό πλοίο κυμαίνεται σε αυτές τις τιμές.

$$\frac{L_{PP}}{V^{\frac{1}{3}}} = 4.7$$

Επομένως, η 1η εκτίμηση του μήκους μεταξύ καθέτων προκύπτει ίση με:

$$\frac{L_{PP1}}{V^{\frac{1}{3}}} = 4.6 \Rightarrow L_{PP1} = 4.7 \cdot 134410.66^{\frac{1}{3}} \Rightarrow L_{PP1} = 240.755 \text{ (m)}$$

Προκύπτει αριθμός Froude ίσος με:

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{14.5 \cdot 0.514}{\sqrt{9.81 \cdot 240.755}} \Rightarrow Fn = \frac{7.453}{48.595} = 0.153$$

– **Εκτίμηση μήκους L_{PP} με βάση τον τύπο “μήκους ελάχιστου κόστους ναυπήγησης” κατά Schneekluth**

Ο τύπος “μήκους ελάχιστου κόστους ναυπήγησης” κατά Schneekluth είναι ο εξής:

$$L = \Delta^{0.3} \cdot V^{0.3} \cdot C \quad \text{όπου:}$$

L=L_{PP}: είναι το μήκος μεταξύ καθέτων σε μέτρα (m),

V: είναι η υπηρεσιακή ταχύτητα σε κόμβους (knots) &

Για τις 2 περιπτώσεις του C ισχύει ότι:

$$C = 3.2, \text{ για } C_B = \frac{0.145}{Fn}$$

$$C = 3.2 \cdot \frac{C_B + 0.5}{\left(\frac{0.145}{Fn}\right) + 0.5}, \text{ για } C_B \neq \frac{0.145}{Fn}$$

Η αρχική εκτίμηση του C_B γίνεται από τον εξής πίνακα 4.1 και σε μεταγενέστερο στάδιο αφού έχουν εκτιμηθεί όλες οι βασικές διαστάσεις υπολογίζεται αναλυτικά. Στον πίνακα η τιμή του συντελεστή γάστρας κυμαίνεται από C_B=0.82 - 0.88 για δεξαμενόπλοια με αριθμό Froude=0.15. Επιλέγεται η μέση τιμή που είναι ίση με C_B=0.85. Επομένως, απορρίπτεται η 1η περίπτωση για το C και υπολογίζεται ως εξής:

$$C = 3.2 \cdot \frac{C_B + 0.5}{\left(\frac{0.145}{Fn}\right) + 0.5} = 3.2 \cdot \frac{0.85 + 0.5}{\left(\frac{0.145}{0.153}\right) + 0.5} \Rightarrow C = 3.2 \cdot \frac{1.35}{1.448} \Rightarrow$$

$$C = 2.983$$

Επομένως, αντικαθιστούμε στον τύπο “μήκους ελάχιστου κόστους ναυπήγησης” κατά Schneekluth και έχουμε:

$$L_{PP2} = \Delta^{0.3} \cdot V^{0.3} \cdot C = 137891.895^{0.3} \cdot 14.5^{0.3} \cdot 2.983 \Rightarrow$$

$$L_{PP2} = 231.7 \text{ (m)}$$

– **Εκλογή μήκους L_{PP} με βάση τύπους από στατιστικές αναλύσεις υπαρχόντων πλοίων**

1. Μήκος κατά Ayre:

$$\frac{L_{PP}}{V^{\frac{1}{3}}} = 3.33 + 1.67 \cdot \frac{V \text{ (kn)}}{\sqrt{L_{PP}}}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\frac{L_{PP}}{51.224} = 3.33 + 1.67 \cdot \frac{14.5}{\sqrt{L_{PP}}} \Rightarrow \frac{L_{PP}}{51.224} = 3.33 + \frac{24.215}{\sqrt{L_{PP}}}$$

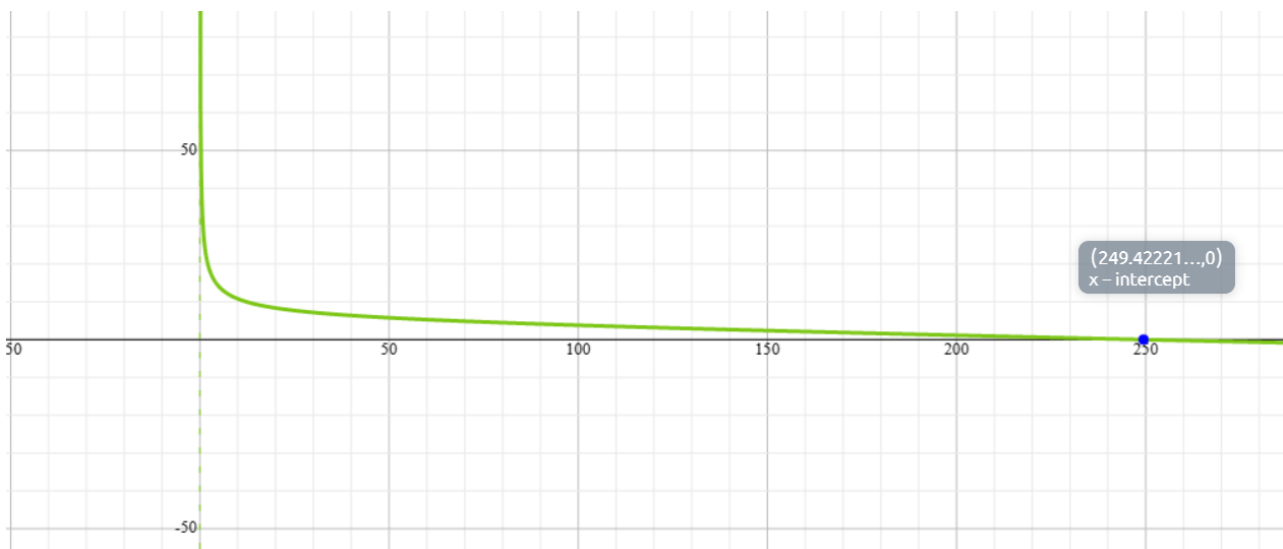
Η συγκεκριμένη εξίσωση είναι δύσκολο να επιλυθεί αναλυτικά, για αυτό το λόγο θα επιλυθεί γραφικά με χρήση του προγράμματος Symbolab ή και γραμμικά με δοκιμές τιμών στο μήκος μεταξύ καθέτων L_{PP} , αφού αποτελεί ο μόνος άγνωστος στην παραπάνω εξίσωση. Ο τύπος του Ayre μετασχηματίζεται ως εξής:

$$ax = b + \frac{c}{\sqrt{x}} \text{ όπου προκύπτει ότι:}$$

$$ax = \frac{1}{51.287} \cdot L_{PP}, \quad b = 3.33 \quad \& \quad \frac{c}{\sqrt{x}} = \frac{24.215}{\sqrt{L_{PP}}}$$

Για να επιλύσουμε την εξίσωση θα σχεδιαστεί στο Symbolab η συνάρτηση:

$$y = 3.33 + \frac{24.215}{\sqrt{x}} - \frac{x}{51.287} \text{ και θα βρούμε σε ποιο σημείο τέμνει τον άξονα } x.$$



Διάγραμμα 4.2.3: Χάραξη της παραπάνω συνάρτησης και εύρεση σημείου τομής με τον άξονα x. (Πηγή: Symbolab)

Παρατηρείται ότι η λύση βρίσκεται για $L_{PP3} = 249.422$ (m)

2. Μήκος ισάλου L_{WL} κατά Posdunine / V. Lammeren:

$$\frac{L_{WL}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = C \cdot \left[\frac{V(kn)}{V(kn)+2} \right]^2 \text{ όπου:}$$

$$\begin{aligned} C &= 7.62 \text{ (όλοι τύποι, Posdunine)} \\ &= 7.16 \text{ (φορτηγά, V. Lammeren)} \\ &= 7.32 \text{ (ταχεία διπλέλικά, V. Lammeren)} \\ &= 7.92 \text{ (ταχεία επιβατηγά, V. Lammeren)} \end{aligned}$$

Στη δική μας περίπτωση, επιλέγουμε $C=7.62$ και προκύπτει:

$$\frac{L_{WL}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = C \cdot \left[\frac{V(kn)}{V(kn)+2} \right]^2 \Rightarrow \frac{L_{WL}}{51.287} = 7.62 \cdot \left[\frac{14.5}{16.5} \right]^2 \Rightarrow \frac{L_{WL}}{51.287} = 7.62 \cdot 0.772 \Rightarrow$$

Τελικώς, έχουμε:

$$L_{WL} = 301.703 \text{ (m)}$$

3. Μήκος κατά Völker:

$$\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}} = C_1 + 4.5 \cdot \frac{V \left(\frac{m}{s} \right)}{\sqrt{g \cdot \sqrt[3]{1}}} \quad \text{όπου:}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 3.5 \text{ για φορτηγά ξηρού φορτίου / εμπορευματοκιβωτίων} \\ &= 3.0 \text{ για πλοία ψυγεία} \\ &= 2.0 \text{ για αλιευτικά / ακτοπλοϊκά φορτηγά} \end{aligned}$$

Στη δική μας περίπτωση, επιλέγουμε $C=3.5$ και προκύπτει:

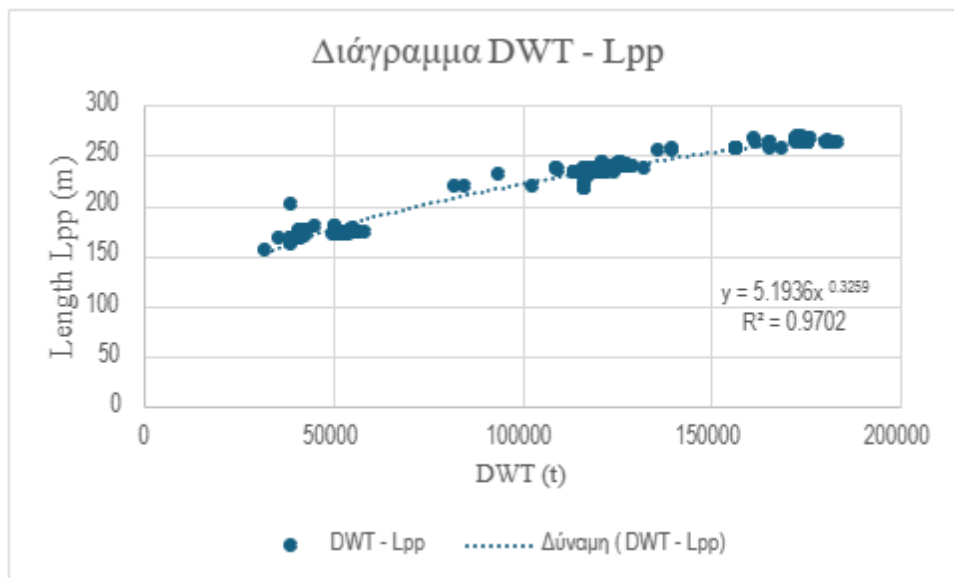
$$\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}} = C_1 + 4.5 \cdot \frac{V \left(\frac{m}{s} \right)}{\sqrt{g \cdot \sqrt[3]{1}}} \Rightarrow \frac{L_{PP}}{51.224} = 3.5 + 4.5 \cdot \frac{14.5 \cdot 0.514}{\sqrt{9.81 \cdot 51.224}} \Rightarrow$$

Τελικώς, έχουμε:

$$L_{PP4} = 255.986 \text{ (m)}$$

– **Εκτίμηση μήκους μεταξύ καθέτων LPP μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης**

Σύμφωνα με την βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί από όμοια πλοία, κατασκευάζεται το διάγραμμα DWT – LPP και με τη χρήση της γραμμής τάσης (trendline) που εμφανίζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης, που σε αυτήν την περίπτωση είναι η σχέση με την δύναμη. Αντικαθιστώντας στη σχέση με τη δύναμη το “γνωστό” DWT, βρίσκουμε το μήκος μεταξύ καθέτων LPP.



Διάγραμμα 4.2.4: Το DWT συναρτίζει του LPP από όμοια πλοία.

Αντικαθιστώντας, λοιπόν, στην δυναμική σχέση την γραμμής τάσης βρίσκουμε ότι:

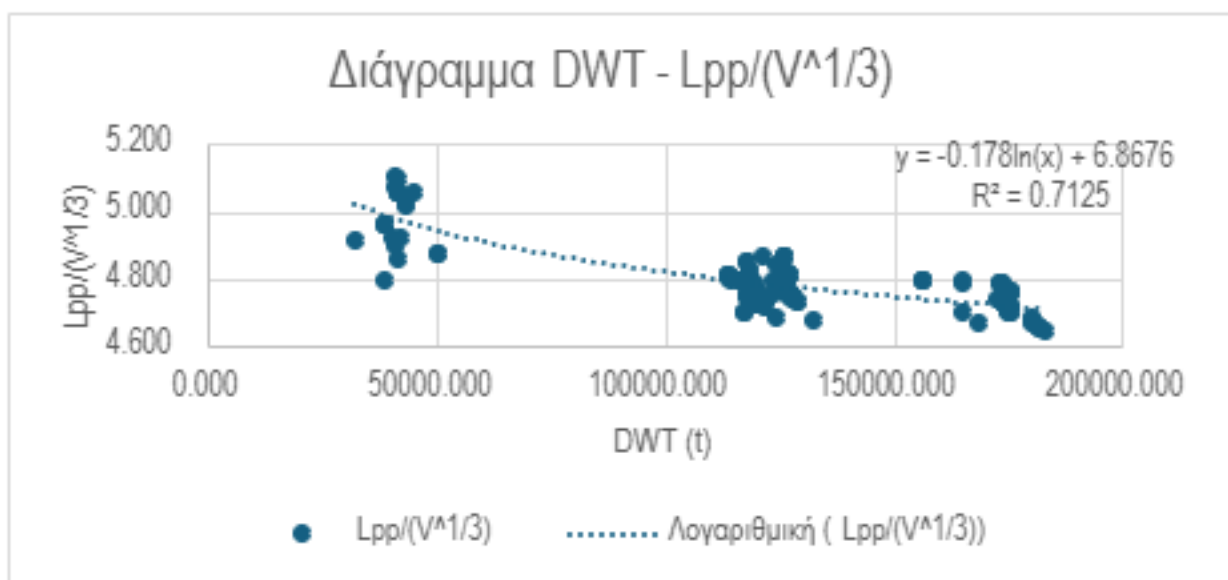
$$L_{PP} = 5.1936 \cdot DWT^{0.3259}$$

Εφαρμογή $DWT=116000$ (t) και έχουμε:

$$L_{PP5} = 232.26 \text{ (m)}$$

- Εκτίμηση μήκους μεταξύ καθέτων LPP με βάση τον συντελεστή λυγηρότητας $\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}}$ συναρτήσει του DWT μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης από όμοια πλοία

Αντιστοίχως, θα δημιουργήσουμε το διάγραμμα DWT συναρτήσει του συντελεστή λυγηρότητας $\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}}$ που προκύπτει από τη βάση δεδομένων από όμοια πλοία. Επίσης, θα δημιουργήσουμε τη γραμμή τάσης (trendline) και θα βρούμε τη σχέση αναζητώντας τη μέθοδο με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 όπου είναι η λογαριθμική σχέση.



Διάγραμμα 4.2.5: Το DWT συναρτήσει του συντελεστή λυγηρότητας που προέκυψε μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Η εξίσωση που προκύπτει είναι η λογαριθμική σχέση:

$$\frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{1}} = -0.178 \cdot \ln(DWT) + 6.8676$$

Επομένως, για DWT=116000 (t) έχουμε ότι:

$$\frac{L_{PP}}{51.224} = -2.076 + 6.8676$$

$$L_{PP6} = 245.445 (m)$$

➤ Συνολική εκτίμηση μήκους μεταξύ καθέτων LPP

Όπως για την εκτίμηση του εκτοπίσματος Δ , έτσι και εδώ, θα αποδοθεί συντελεστής βαρύτητας για κάθε μέθοδο που αναλύθηκε για την προεκτίμηση του μήκους μεταξύ καθέτων LPP. Μεγαλύτεροι συντελεστές θα αποδοθούν στις 2 τελευταίες μεθόδους, αφού είναι πιο κοντά στα τωρινά δεδομένα καθώς προσεγγίζουν πιο ρεαλιστικές τιμές από αυτές των προσεγγιστικών τύπων. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο αναλυτικός πίνακας με τις επιμέρους μεθόδους καθώς και τους συντελεστές για την εκλογή του μήκους μεταξύ καθέτων LPP:

A/a	Μέθοδος εκτίμησης	Μήκος μεταξύ καθέτων LPP (m)	Συντελεστής βαρύτητας
1	Πίνακας σελ. 102 βιβλ. “Ship Design”, Apostolos Papanikolaou	240.755	0.05
2	Τύπος κατά “Schneekluth”	231.700	0.1
3	Τύπος κατά “Ayre”	249.422	0.03
4	Τύπος κατά “Völker”	255.986	0.02
5	DWT – LPP (Παλινδρομική ανάλυση)	232.261	0.667
6	$DWT - \frac{L_{PP}}{\sqrt{3}}$ Συντελεστής λυγηρότητας (Παλινδρομική ανάλυση)	245.445	0.133

Πίνακας 4.2.6: Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων, τιμών εκτίμησης για το μήκος μεταξύ καθέτων LPP καθώς και συντελεστές βαρύτητας για κάθε μέθοδο.

Από τα παραπάνω, πρέπει να σημειώσουμε ότι ο τύπος “μήκους ελάχιστου κόστους ναυπήγησης” κατά Schneekluth είναι βελτιστοποιημένος ως προς το κόστος ναυπήγησης ενός πλοίου και δεν συμπεριλαμβάνει διάφορα άλλα κόστη που προκύπτουν ή αναμένεται να προκύψουν. Επίσης, το σχεδιασμένο πλοίο σύμφωνα με αυτόν το τύπο έχει μεγαλύτερη αντίσταση καθώς και μεγαλύτερη ισχύ πρόωσης. Ακόμη, οι δύο εμπειρικοί τύποι, ο τύπος του “Ayre” και ο τύπος του “Völker” αφορούν κυρίως παλαιού τύπου πλοία και για αυτό οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες. Επομένως, μεγάλοι συντελεστές βαρύτητας αποδόθηκαν στις εκτιμήσεις μήκους που προκύπτουν από την παλινδρομική ανάλυση μέσω της βάσης δεδομένων όμοιων πλοίων τόσο για τη συνάρτηση DWT – LPP όσο και για την $DWT - \frac{L_{PP}}{\sqrt{3}}$ αφού συμπεριλαμβάνει σύγχρονα πλοία καθώς και σύγχρονες μεθόδους κατασκευής και λειτουργίας του πλοίου. Επομένως, προκύπτει ότι:

$$L_{PP} = L_{PP1} \cdot B_1 + L_{PP2} \cdot B_2 + L_{PP3} \cdot B_3 + L_{PP4} \cdot B_4 + L_{PP5} \cdot B_5 + L_{PP6} \cdot B_6 \Rightarrow$$

$$L_{PP} = 240.755 \cdot 0.05 + 231.700 \cdot 0.1 + 249.422 \cdot 0.03 + 255.986 \cdot 0.02 +$$

$$+ 232.261 \cdot 0.667 + 245.445 \cdot 0.133 \Rightarrow$$

Κάνοντας επιμέρους τις πράξεις προκύπτει ότι η εκτίμηση του μήκους μεταξύ καθέτων LPP είναι ίση:

$$L_{PP} = 235.371 (m)$$

4.3 Εκτίμηση του συντελεστή γάστρας C_B

Ορισμός: Ο συντελεστής γάστρας C_B αντιστοιχεί στο λόγο του όγκου εκτοπίσματος ως προς τον όγκο του περιγεγραμμένου ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με τις διαστάσεις L (κυρίως LPP), B και T.

[Πηγή: Απόστολος Παπανικολάου, 2011]

Η σχέση που προκύπτει είναι η εξής: $C_B = \frac{\nabla}{L_{PP} \cdot B \cdot T}$

Για την εκλογή του συντελεστή γάστρας C_B βασικό ρόλο για την επιλογή του αντιπροσωπεύει η αντίσταση του σκάφους, για την ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου, σε συνδυασμό με το αρχικά εκτιμηθέν μήκος για τον δεδομένο αριθμό Froude. Γενικά ισχύει ότι:

Υψηλός αριθμός Froude => χαμηλός αριθμός συντελεστή γάστρας C_B

Η εκτίμηση του συντελεστή γάστρας C_B θα γίνει με τους εξής τρόπους:

- Εκτίμηση με βάση τους μαθηματικούς τύπους από στατιστικά στοιχεία από υπάρχοντα πλοία.
- Εκτίμηση με χρήση μαθηματικών τύπων που προκύπτουν από στατιστική ανάλυση πλοίων “ελαχίστου κόστους ναυπήγησης για δεδομένο πρόσθετο βάρος (DWT) και ταχύτητα”
- Εκτίμηση με χρήση διαγραμμάτων και στατιστικά στοιχεία από όμοια πλοία

– **Εκτίμηση του συντελεστή γάστρας C_B από ημιεμπειρικούς τύπους**

Οι χρησιμοποιούμενοι ημιεμπειρικοί τύποι έχουν την εξής μορφή:

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

Όπου: K_1 , K_2 & K_3 είναι συντελεστές που εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα που ακολουθεί τόσο για ταχύτητα δοκιμών V_T ή για ταχύτητα υπηρεσίας V_s .

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 4.3.1: Συντελεστές K_1 , K_2 & K_3 για τον υπολογισμό του C_B από τους ημιεμπειρικούς τύπους. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Από τους παραπάνω ημιεμπειρικούς τύπους, ο μόνος που μπορούμε να εξετάσουμε είναι ο τύπος του Horn, αφού οι υπόλοιποι τύποι προκύπτουν από την ταχύτητα δοκιμών και όχι από την ταχύτητα υπηρεσίας που είναι δεδομένη.

$$V_s = 14.5 \text{ (knots)} = 7.459 \text{ (m/s)}$$

Ο αριθμός Froude είναι ίσος με:

$$Fn = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_{PP}}} = \frac{14.5 \cdot 0.514}{\sqrt{9.81 \cdot 235.028}} \Rightarrow Fn = \frac{7.453}{48.017} = 0.155$$

Επομένως, έχουμε ότι:

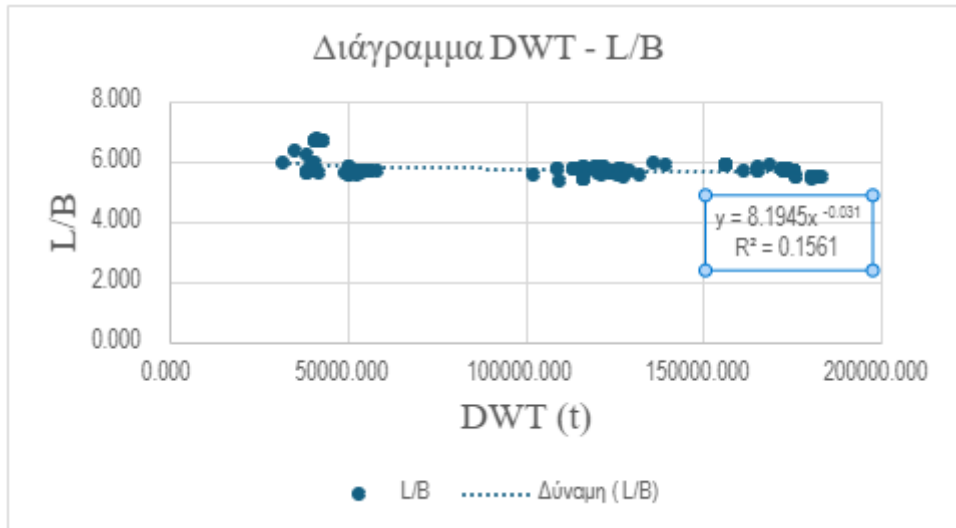
$$C_B = K_1 - K_2 \cdot F_n - K_3 \cdot F_n^2 \Rightarrow$$

$$C_B = 1.06 - 1.68 \cdot 0.155 - 0 \cdot 0.155^2 \Rightarrow$$

$$C_{B1} = 0.799$$

– **Εκτίμηση του συντελεστή γάστρας C_B μέσω παλινδρομικής ανάλυσης όμοιων πλοίων - Τύπος “ελαχίστου κόστους ναυπήγησης για δεδομένο πρόσθετο βάρος (DWT) και ταχύτητα”**

Μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης από τη βάση δεδομένων που υπάρχει για όμοια πλοία δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα, L/B συναρτήσει του DWT, ως προς το “ελάχιστο κόστος ναυπήγησης για δεδομένο πρόσθετο βάρος και ταχύτητα” (Schneekluth):



Διάγραμμα 4.3.2: Το DWT συναρτίζει με το λόγο L/B μέσω παλινδρομικής ανάλυσης.

Παρατηρούμε ότι η εξίσωση της γραμμής τάσης (trendline) που έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 είναι η συνάρτηση με την δύναμη. Επομένως, προκύπτει:

$$\frac{L}{B} = 8.1945 \cdot DWT^{-0.031}$$

Εφαρμόζοντας $DWT=116000$ (t), ο λόγος L/B υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{L}{B} = 8.1945 \cdot 116000^{-0.031} \Rightarrow \frac{L}{B} = 5.7085$$

Οι τύποι που προκύπτουν από υπολογισμούς βελτιστοποίησης των πλοίων ως προς το ελάχιστο κόστος ναυπήγησης για δεδομένο πρόσθετο βάρος και ταχύτητα (Schneecluth):

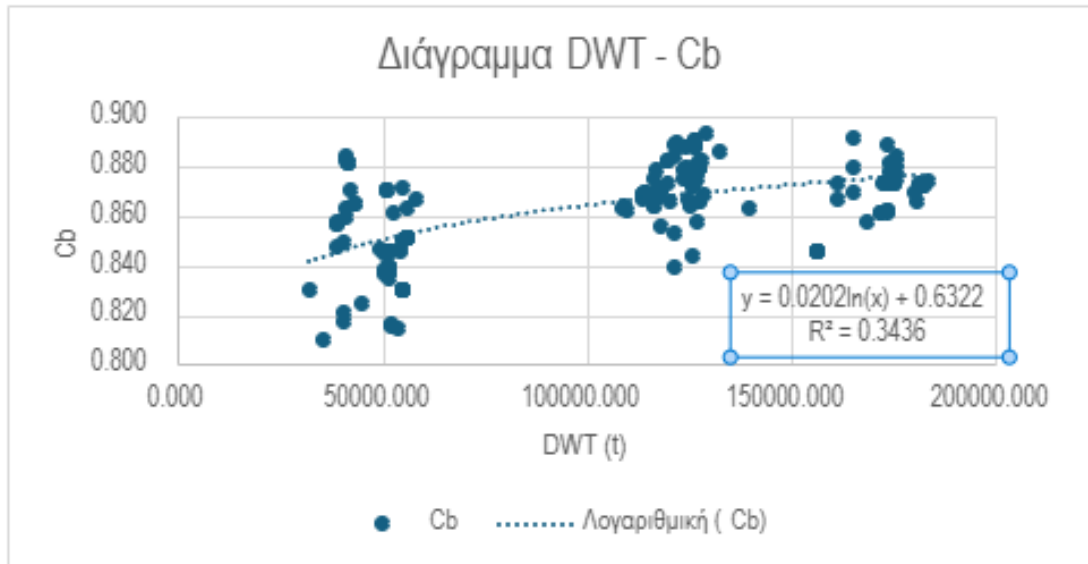
$$C_B = \frac{0.14}{F_n} \cdot \frac{\frac{L}{B} + 20}{26}$$

Με αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο προκύπτει:

$$C_B = \frac{0.14}{0.155} \cdot \frac{5.7085 + 20}{26} \Rightarrow C_{B2} = 0.892$$

– Εκτίμηση του συντελεστή γάστρας C_B μέσω παλινδρομικής ανάλυσης

Με βάση τα όμοια πλοία που υπάρχουν ως βάση δεδομένων, δημιουργείται το διάγραμμα DWT συναρτίζει του συντελεστή γάστρας C_B των όμοιων πλοίων και σύμφωνα με τη γραμμή τάσης (trendline) που θα σχεδιαστεί, θα επιλεγεί η σχέση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 όπου στη δεδομένη περίπτωση είναι η λογαριθμική σχέση.



Διάγραμμα 4.3.3: Το DWT συναρτήσει συντελεστή γάστρας C_B που προέκυψε μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Η γραμμική σχέση που προέκυψε είναι η εξής:

$$C_B = 0.0202 \cdot \ln(DWT) + 0.6322$$

Εφαρμόζοντας DWT=116000 (t) έχουμε ότι:

$$C_B = 0.0202 \cdot \ln(116000) + 0.6322$$

$$C_{B3} = 0.868$$

➤ Συνολική εκτίμηση συντελεστή γάστρας C_B

Οι τιμές του συντελεστή γάστρας C_B σχετικά με τις μεθόδους που περιγράφηκαν παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Συντελεστή Γάστρας C _B	Συντελεστής Βαρύτητας
Τύπος κατά "Horn"	0.799	0.05
Τύπος κατά "Schneekluth"	0.892	0.352
Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	0.868	0.598

Πίνακας 4.3.4: Μέθοδοι και τιμές εκτίμησης του συντελεστή γάστρας C_B καθώς και συντελεστές βαρύτητας για τις επιμέρους μεθόδους.

Μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας θα χρησιμοποιηθεί για τη μέθοδο που προκύπτει από το διάγραμμα DWT – C_B από όμοια πλοία αφού είναι πιο κοντά στα πραγματικά και τωρινά δεδομένα. Επομένως, ο συντελεστής γάστρας C_B υπολογίζεται:

$$C_B = C_{B1} \cdot B_1 + C_{B2} \cdot B_2 + C_{B3} \cdot B_3 \Rightarrow$$

$$C_B = 0.799 \cdot 0.05 + 0.892 \cdot 0.352 + 0.868 \cdot 0.598 \Rightarrow$$

$$C_B = 0.873$$

4.4 Προεκτίμηση του πλάτους B και του βυθίσματος T

Ορισμός Πλάτους B: Ορίζεται ως η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών της γάστρας. Συνήθως, με τον όρο πλάτος υπονοείται το μέγιστο πλάτος του πλοίου (beam overall, BOA), το οποίο παρουσιάζεται στην περιοχή της μέσης τομής στο ύψος του κυρίου καταστρώματος.

[Πηγή: Δήμου ΠΜ, 2015]

Ορισμός Βυθίσματος T: Ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση από το βασικό επίπεδο αναφοράς μέχρι την ίσαλο επιφάνεια. Το βύθισμα αλλάζει όταν μεταβάλλεται το βάρος του πλοίου. Το βύθισμα στη μέση τομή είναι το μέσο βύθισμα, εκτός αν το μέσο βύθισμα αναφέρεται απευθείας στις ενδείξεις της κλίμακας βυθισμάτων.

[Πηγή: Δήμου ΠΜ, 2015]

– Εκτίμηση του πλάτους B και του βυθίσματος T σύμφωνα με πίνακα

Γενικά, ισχύει ότι:

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot T} \Rightarrow B \cdot T = \frac{\nabla}{C_B \cdot L_{pp}}$$
$$B \cdot T = \frac{134410.66}{0.873 \cdot 235.371} \Rightarrow B \cdot T = 653.994 \text{ (m}^2\text{)}$$

Από τον πίνακα για δεξαμενόπλοια με αριθμό Froude=0.15 (βλέπε σελ 104 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou, 2014”) έχουμε ότι:

$$\frac{B}{T} = 2.4 - 3.2$$

Επιλέγεται η τιμή:

$$\frac{B}{T} = 3.0$$

Επομένως, για το πλάτος B και το βύθισμα T προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$B_1 = 44.294 \text{ (m)} \ \& \ T_1 = 14.765 \text{ (m)}$$

Επίσης, ο ίδιος πίνακας μας αναφέρει τιμές για τον λόγο L_{PP}/B , οι οποίες κυμαίνονται:

$$\frac{L_{PP}}{B} = 5.1 - 6.8$$

Έλεγχος του λόγου L_{PP}/B με τις τιμές του πίνακα:

$$\frac{L_{PP}}{B} = 5.314$$

Σύμφωνα, με το βιβλίο του κ. Παπανικολάου Απόστολου (βλέπε σελ 104 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou, 2014”), ο λόγος L_{PP}/B για δεξαμενόπλοια πρέπει να είναι ανάμεσα σε 5.1 - 6.8 βάσει την ανάλυση στοιχείων πλοίων που κατασκευάστηκαν την δεκαετία του 90’. Επομένως, η εκτίμηση μας είναι ορθή.

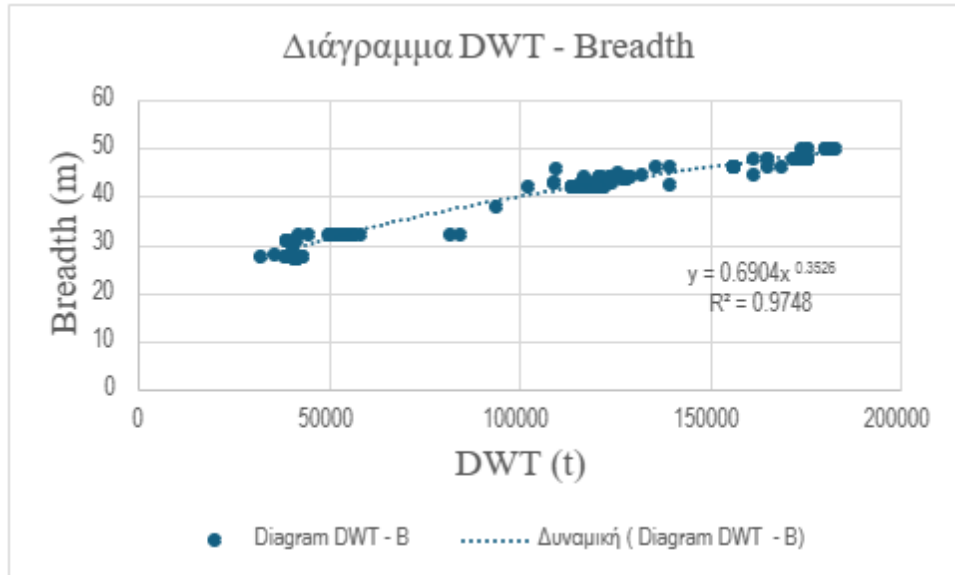
Αφού επαναπροσδιορίστηκαν οι τιμές των βασικών διαστάσεων, θα επανεκτιμηθεί ο συντελεστής γάστρας C_B :

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot T} \Rightarrow C_B = \frac{134410.66}{235.371 \cdot 44.294 \cdot 14.765} \Rightarrow$$
$$C_B = 0.873$$

Η τιμή του συντελεστή γάστρας C_B που επαναπροσδιορίστηκε είναι ακριβώς η ίδια με την αρχική εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω.

- Εκτίμηση του πλάτους **B** και του βυθίσματος **T** σύμφωνα με τη παλινδρομική ανάλυση που εφαρμόστηκε σε όμοια πλοία

Όπως και παραπάνω, δημιουργείται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του **B**, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων από υπάρχοντα όμοια πλοία, χαράσσεται η γραμμή τάσης (trendline) και επιλέγεται τη σχέση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 , όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η σχέση με τη δύναμη.



Διάγραμμα 4.4.2: Το DWT συναρτήσεως του πλάτους **B** που προκύπτει μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Η σχέση που προκύπτει είναι η εξής:

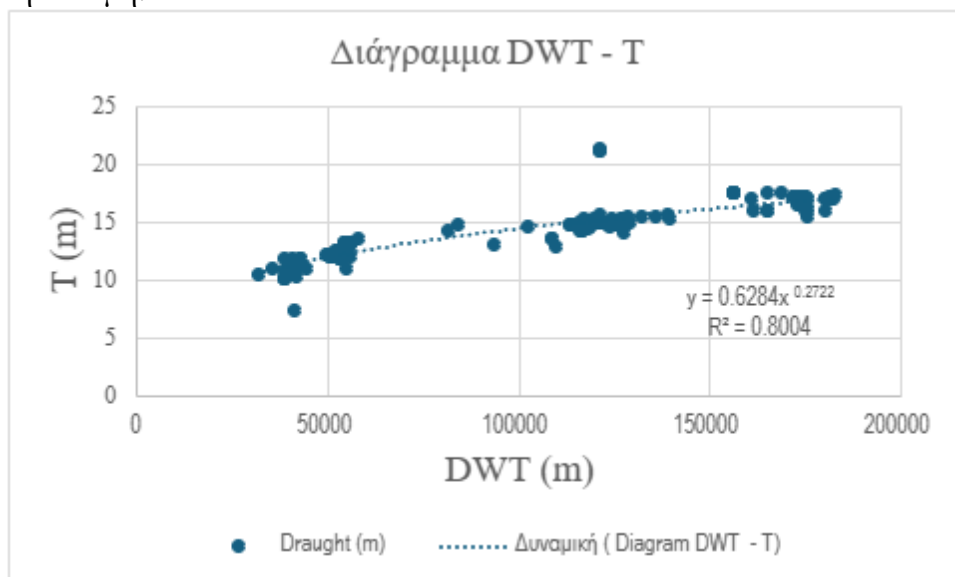
$$B = 0.6904 \cdot DWT^{0.3526}$$

Εφαρμογή $DWT=116000$ (t), έχουμε:

$$B = 0.6904 \cdot 116000^{0.3526}$$

$$B_2 = 42.153 \text{ (m)}$$

Όπως και για το πλάτος **B**, έτσι και για το βύθισμα θα σχεδιαστεί το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του βυθίσματος **T** ώστε να εφαρμοσθεί παλινδρομική ανάλυση σύμφωνα με τη βάση δεδομένων από όμοια πλοία και θα επιλεγεί η σχέση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 όπου στη περίπτωση μας είναι και πάλι η σχέση με τη δύναμη.



Διάγραμμα 4.4.3: Το DWT συναρτήσεως του βυθίσματος **T** που προκύπτει μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Η σχέση που προκύπτει από το διάγραμμα είναι η εξής:

$$T = 0.6284 \cdot DWT^{0.2722}$$

Αντικατάσταση του $DWT=116000$ (t) και προκύπτει:

$$T = 0.6284 \cdot 116000^{0.2722}$$

$$T = 15.024 \text{ (m)}$$

➤ Συνολική εκτίμηση του πλάτους B και του βυθίσματος T

Παρακάτω, ακολουθεί ο πίνακας με τις εκτιμήσεις του πλάτους B και του βυθίσματος T σύμφωνα με τον πίνακα καθώς και την παλινδρομική ανάλυση από όμοια πλοία.

Μέθοδος Εκτίμησης	Εκτίμηση Πλάτους B (m)	Εκτίμηση Βυθίσματος T (m)
Πίνακας σελ. 104 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou, 2014”	44.331	14.777
Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	42.153	15.024
Τελικές Τιμές	43	15

Πίνακας 4.4.3: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις εκτιμήσεις και τις τελικές τιμές του πλάτους B και του βυθίσματος T για το υπό μελέτη πλοίο.

Οι τιμές του πλάτους B και του βυθίσματος T έλαβαν, κυρίως, υπ’ όψιν τις τιμές του πατρικού πλοίου σε συνδυασμό με αυτές που προκύπτουν από τον ανωτέρω πίνακα.

Επομένως, οι τιμές που προκύπτουν για πλάτος B και βύθισμα T είναι οι εξής:

$$B_1 = 43 \text{ (m)} \ \& \ T_1 = 15 \text{ (m)}$$

Επίσης, σε αυτό το σημείο θα επαναπροσδιοριστεί ο συντελεστής γάστρας C_B , ο οποίος ισούται με:

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot T} \Rightarrow C_B = \frac{134410.66}{235.371 \cdot 43 \cdot 15} \Rightarrow C_B = 0.885$$

4.5 Προεκτίμηση του κοίλου D

Ορισμός: Λογίζεται ως η κάθετη απόσταση σε ένα εγκάρσιο επίπεδο από την άνω όψη της οριζόντιας τρόπιδας μέχρι την ίσαλο σχεδίασης. Αν δεν διευκρινίζεται διαφορετικά η μέτρηση αναφέρεται σε διάσταση υπολογιζόμενη στη μέση τομή.

Σε πλοία με οριζόντιο πυθμένα, το βασικό επίπεδο εφάπτεται της άνω πλευράς του ελάσματος του πυθμένα, το δε κοίλο μετράται μέχρι την κάτω πλευρά του ελάσματος του καταστρώματος (Moulded Depth).

[Πηγή: Δήμου ΠΜ, 2015]

– Εκτίμηση κοίλου D από πίνακα βιβλίου σελ. 104 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou”

Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει το λόγο του μήκους μεταξύ καθέτων L_{PP} προς το κοίλο D για τις επιμέρους κατηγορίες πλοίων:

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 $F_n=0.15$	12.0–14.0	3.6–4.5	50–60
Tankers $F_n=0.16-0.18$	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Fast seagoing reefers	– 11.0	5.6–6.6	10–15

Πίνακας 4.5.1: Λόγοι βασικών διαστάσεων για κοινούς τύπους πλοίων. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou 2014)

Για δεξαμενόπλοια με αριθμό Froude=0.15, ο λόγος L_{PP}/D κυμαίνεται από 12.0 - 14.0. Επιλέγεται η μέση τιμή δηλαδή:

$$\frac{L_{PP}}{D} = 13$$

Επομένως, αφού έχουμε εκτιμήσει ότι το μήκος μεταξύ καθέτων L_{PP} ισούται με:

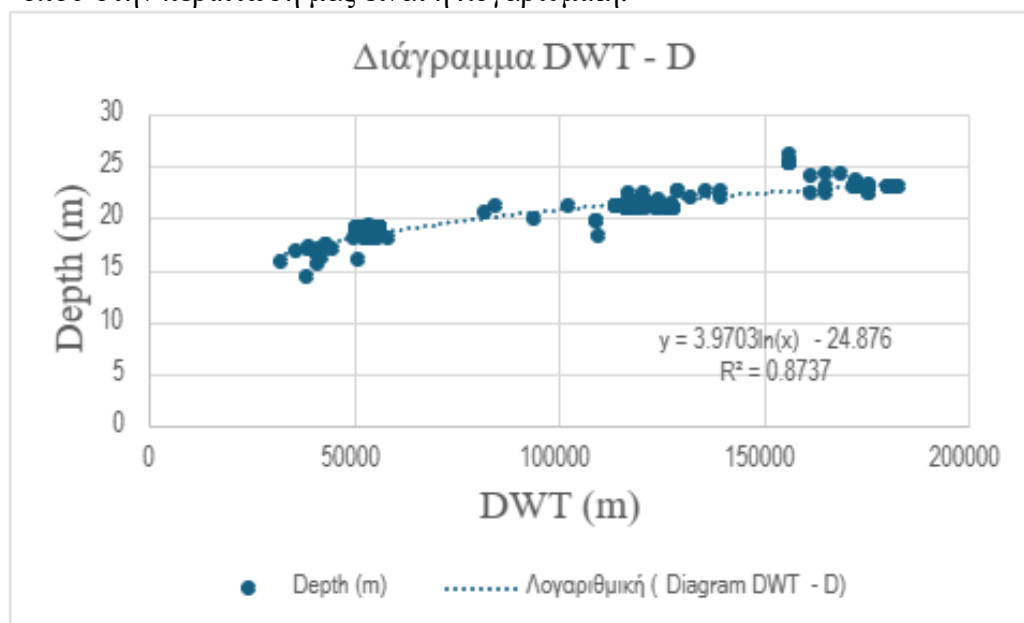
$$L_{PP} = 235.371 \text{ (m)}$$

Τότε το κοίλο λαμβάνει την εξής τιμή:

$$D_1 = 18.105 \text{ (m)}$$

– Εκτίμηση κοίλου D από παλινδρομική ανάλυση όμοιων πλοίων (1η μέθοδος)

Έχοντας τη βάση δεδομένων από όμοια πλοία, δημιουργείται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του κοίλου D και χαράσσοντας τη γραμμή τάσης (trendline) επιλέγουμε τη σχέση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 όπου στην περίπτωση μας είναι η λογαριθμική.



Διάγραμμα 4.5.2: Το DWT συναρτήσεως του κοίλου D που προέκυψε μέσω παλινδρομικής ανάλυσης (1η μέθοδος).

Η σχέση που προκύπτει είναι η εξής:

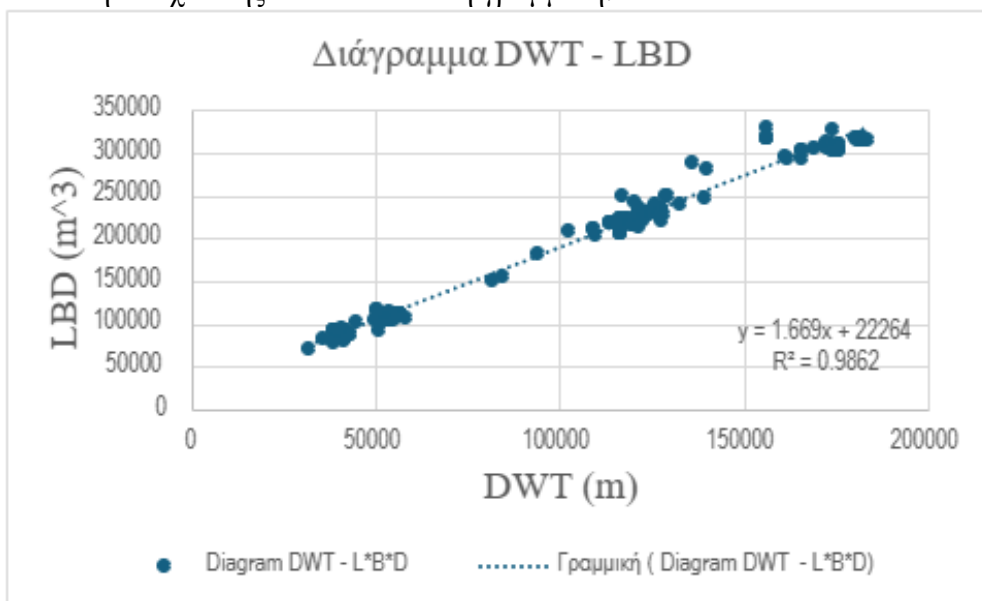
$$D = 3.9703 \cdot \ln(DWT) - 24.876$$

Αντικαθιστώντας, λοιπόν, ότι το $DWT=116000$ (t) προκύπτει ότι το κοίλο D ισούται με:

$$D_2 = 21.423 \text{ (m)}$$

– **Εκτίμηση κοίλου D από παλινδρομική ανάλυση όμοιων πλοίων (2η μέθοδος)**

Όπως και παραπάνω, έχοντας τη βάση δεδομένων από όμοια πλοία, δημιουργείται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως του γινομένου $L \cdot B \cdot D$ και χαράσσοντας τη γραμμή τάσης (trendline) επιλέγουμε τη σχέση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 όπου είναι η γραμμική.



Διάγραμμα 4.5.3: Το DWT συναρτήσεως του γινομένου $L \cdot B \cdot D$ που προέκυψε μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης (2η μέθοδος).

Η σχέση που προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα είναι η εξής:

$$L \cdot B \cdot D = 1.669 \cdot DWT + 22264$$

Αντικαθιστώντας ότι $DWT=116000$ (t) έχουμε ότι:

$$L \cdot B \cdot D = 215868 \text{ (m}^3\text{)}$$

Επίσης, είναι γνωστές οι τιμές $L_{PP}=235.028$ και $B=43$ (m)

$$D_3 = 21.36 \text{ (m)}$$

➤ **Συνολική εκτίμηση κοίλου D**

Το κοίλο D, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εκτιμήθηκε με βάση τον πίνακα καθώς και την παλινδρομική ανάλυση από όμοια πλοία που προέκυψε από τα διαγράμματα $DWT - D$ και $DWT - L \cdot B \cdot D$. Παρακάτω, εμφανίζονται ο πίνακας με τις τιμές τις κάθε μεθόδου:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Κοίλου D (m):
Πίνακας σελ. 104 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou”	18.079
1η μέθοδος - Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	21.423
2η μέθοδος - Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	21.36

Πίνακας 4.5.4: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις εκτιμήσεις και τις τελικές τιμές του κοίλου D για το υπό μελέτη πλοίο.

Η τιμή του κοίλου D θα προκύψει από τη μέση τιμή των 2 μεθόδων παλινδρομικής ανάλυσης, αφού είναι πιο κοντά στη τιμή του πατρικού πλοίου και επίσης προκύπτουν από όμοια πλοία οι 2 τιμές των μεθόδων. Επομένως, το κοίλο ισούται με:

$$D = 21.4 \text{ (m)}$$

4.6 Εκτίμηση υπόλοιπων συντελεστών πλοίου

Παρακάτω, υπολογίζονται οι υπόλοιποι συντελεστές του πλοίου, δηλαδή ο συντελεστής μέσης τομής C_M , ο πρισματικός συντελεστής C_P και ο συντελεστής ισάλου C_{WL} σύμφωνα με προσεγγιστικούς τύπους και σχέσεις.

– Υπολογισμός συντελεστή μέσης τομής C_M

Ορισμός: Ο συντελεστής μέσης τομής C_M , υπολογίζεται ως 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. Η τιμή συνήθως ξεπερνά το 0.85 σε πλοία εκτός από τα μικρά σκάφη αναψυχής, αλιευτικά κ.λπ.

[Πηγή: K. J. Rawson & E. C. Tupper, 2016a]

Η σχέση του συντελεστή μέσης τομής C_M είναι η εξής:

$$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T}$$

A. Συντελεστής C_M (μεγάλα πλοία χωρίς ανύψωση πυθμένα):

1. Προσεγγιστικός τύπος κατά Van Lammeren:

$$C_M = 0.9 + 0.1 \cdot C_B \Rightarrow \\ C_{M1} = 0.989$$

2. Προσεγγιστικός τύπος κατά Kerlen (1979):

$$C_M = 1.006 - 0.0056 \cdot C_B^{-3.56} \Rightarrow \\ C_{M2} = 0.997$$

3. Προσεγγιστικός τύπος κατά εργαστήριο HSV A (Αμβούργο):

$$C_M = \frac{1}{(1 + (1 - C_B)^{3.5})} \Rightarrow \\ C_{M3} = 0.999$$

Η τελική τιμή του συντελεστή μέσης τομής C_M υπολογίζεται από τη μέση τιμή των παραπάνω, δηλαδή:

$$C_M = \frac{C_{M1} + C_{M2} + C_{M3}}{3} = 0.995$$

– Υπολογισμός πρισματικού συντελεστή C_P

Ορισμός: Ο διαμήκης πρισματικός συντελεστής C_P είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός πρίσματος που έχει μήκος ίσο με το μήκος μεταξύ καθέτων και μία εγκάρσια επιφάνεια ίση με την επιφάνεια της μέσης τομής. Οι αναμενόμενες τιμές ξεπερνούν το 0.55.

Η σχέση του πρισματικού συντελεστή C_P είναι η εξής:

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M \cdot L_{PP}} = \frac{C_B}{C_M} \\ C_P = 0.89$$

– Υπολογισμός ισάλου επιφανείας C_{WP}

Ορισμός: Ο συντελεστής πληρότητας της ισάλου επιφανείας C_{WP} είναι ο λόγος του εμβαδού της ισάλου επιφάνειας προς το εμβαδόν του περιγεγραμμένου ορθογωνίου. Κυμαίνεται από περίπου 0.70 για πλοία με ασυνήθιστα λεπτόγραμμα άκρα έως περίπου 0.90 για πλοία με μεγάλο παράλληλο τμήμα στο μέσον.

Η σχέση του πρισματικού συντελεστή C_{WP} είναι η εξής:

$$C_{WP} = \frac{A_W}{L_{WL} \cdot B} \quad \text{ή} \quad C_{WP} = \frac{(1+2C_B)}{3}$$

$$C_{WP} = 0.924$$

4.7 Πίνακας μεγεθών

Ο νέος εκτοπιζόμενος όγκος ∇ και το εκτόπισμα Δ που προκύπτουν είναι οι εξής:

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

$$\nabla = 134410.659 \text{ (m}^3\text{)}$$

Και το εκτόπισμα Δ ισούται με:

$$\Delta = \nabla \cdot \gamma = 137891.895 \text{ (t)}$$

Ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας περιλαμβάνει όλες τις τιμές των βασικών διαστάσεων, των συντελεστών μορφής καθώς και διαφόρων άλλων χαρακτηριστικών που θα έχει το υπό μελέτη πλοίο:

Μέγεθος:	Τιμή:	Μονάδες μέτρησης
Ταχύτητα υπηρεσία V_s	14.5	kn
Ωφέλιμο Φορτίο DWT	116000	t
Μήκος μεταξύ καθέτων LPP	235.371	m
Πλάτος B	43	m
Βύθισμα T	15	m
Κοίλο D	21.4	m
Συντελεστής γάστρας C_B	0.885	
Συντελεστής μέσης τομής C_M	0.995	
Πρισματικός συντελεστής C_P	0.89	
Συντελεστής ισάλου επιφανείας C_{WP}	0.924	
Εκτόπισμα Δ	137891.895	t
Εκτοπιζόμενος όγκος ∇	134410.659	m ³

Πίνακας 4.7: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις βασικές διαστάσεις, τους συντελεστές μορφής καθώς και διάφορα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

Κεφάλαιο 5: Προκαταρκτική εκτίμηση της ισχύος πρόωσης

Το παρόν κεφάλαιο, είναι αφιερωμένο στην εκτίμηση της ισχύος που απαιτείται για την πρόωση του πλοίου ώστε να επιτευχθεί η ταχύτητα υπηρεσίας Vs (Service speed).

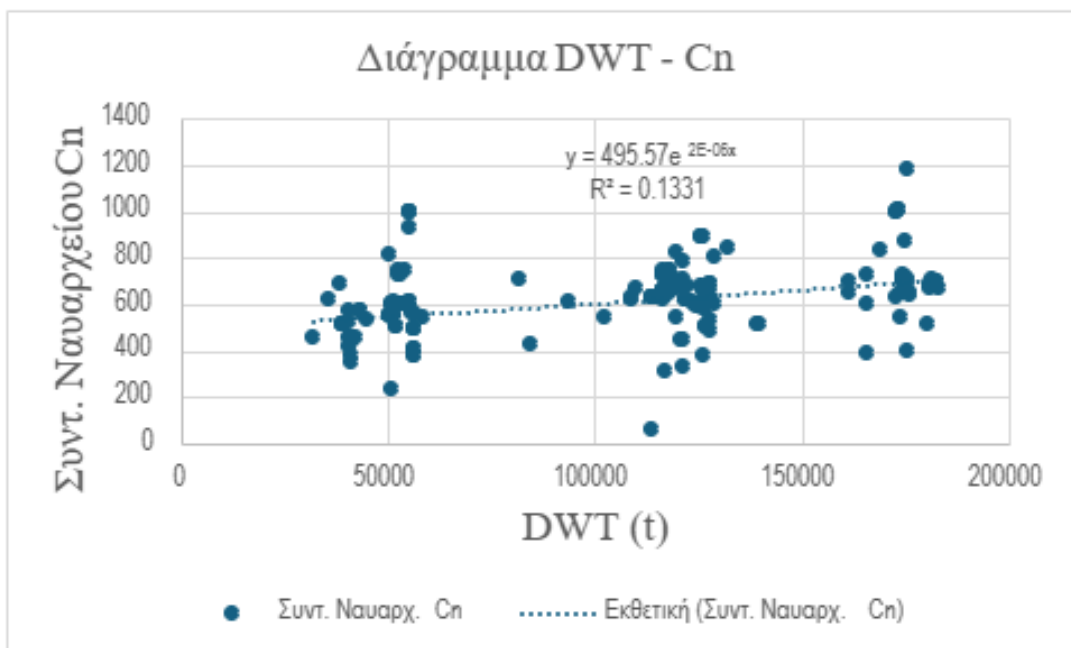
– Τύπος Αγγλικού ναυαρχείου

Ο τύπος του Αγγλικού ναυαρχείου είναι ο εξής:

$$C_N = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \cdot V^3}{P} \text{ όπου:}$$

- Δ: εκτόπισμα (t) ,
- V: ταχύτητα (m/s),
- P: εγκατεστημένη ισχύς (PS), (HP).

Η σταθερά του Αγγλικού Ναυαρχείου C_N θα υπολογιστεί με βάση το παρακάτω διάγραμμα που προκύπτει από την παλινδρομική ανάλυση όμοιων πλοίων με τις ίδιες μονάδες αναφοράς για Δ, V και P. Επομένως, στο διάγραμμα που δημιουργείται από τα παραπάνω, χαράσσεται η γραμμή τάσης (trendline) για την εύρεση του συντελεστή Ναυαρχείου C_N και μετέπειτα της ισχύος πρόωσης για το υπό μελέτη πλοίο. Ακολουθεί το διάγραμμα όπου όπως παρατηρείται η συνάρτηση με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 είναι η εκθετική:



Διάγραμμα 5.1: Το DWT συναρτήσει του υπολογισμένου συντελεστή Ναυαρχείου C_N που προκύπτει μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Επομένως, η συνάρτηση που προκύπτει:

$$C_N = 495.57 \cdot e^{2 \cdot 10^{-6} \cdot DWT}$$

Με αντικατάσταση του $DWT=116000$ (t), έχουμε:

$$C_N = 624.973$$

Αφού υπολογίστηκε ο συντελεστής Ναυαρχείου, επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της ισχύος πρόωσης P σε (kW):

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

Με αντικατάσταση των γνωστών μεγεθών προκύπτει:

$$P = \frac{137891.895^{\frac{2}{3}} \cdot 14.5^3}{624.973}$$

Εκτελώντας, επιμέρους τις πράξεις, προκύπτει:

$$P_1 = 13019.726 \text{ (kW)}$$

– **Εκτίμηση ισχύος πρόωσης με βάση τους τύπους της MAN**

Ο τύπος της MAN είναι της μορφής $f(DWT, V_s)$ και είναι ο εξής:

$$P = 0.0114 \cdot V^3 \cdot DWT^{0.55} \text{ όπου:}$$

- V: ταχύτητα σε (kn),
- DWT: “νεκρό” φορτίο σε (t),
- P: ισχύς σε (PS)

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$P = 0.0114 \cdot 14.5^3 \cdot 116000^{0.55} \Rightarrow P_2 = 21206.097 \text{ (PS)}$$

Μετατροπή (PS) σε (kW):

$$P_2 = 15597.058 \text{ (kW)}$$

Επίσης, υπάρχει και ένας εναλλακτικός τύπος της MAN, ο οποίος είναι:

$$P = 0.0175 \cdot V^3 \cdot DWT^{0.5}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

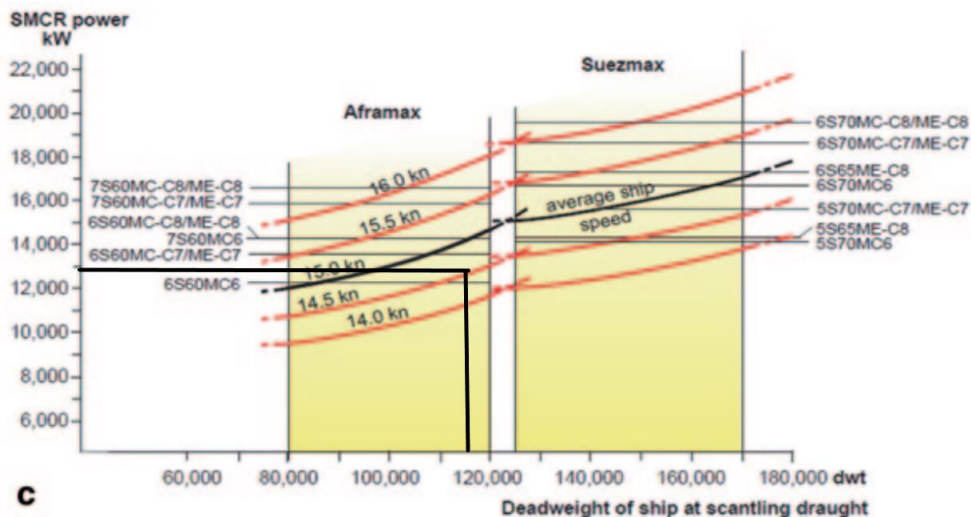
$$P = 0.0175 \cdot 14.5^3 \cdot 116000^{0.5} \Rightarrow P_3 = 18170.675 \text{ (PS)}$$

Μετατροπή (PS) σε (kW):

$$P_3 = 13364.508 \text{ (kW)}$$

– **Εκτίμηση ισχύος πρόωσης με βάση εμπειρικό διάγραμμα σελ. 171 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou”**

Με βάση το παρακάτω εμπειρικό διάγραμμα, θα γίνει η 4η εκτίμηση της ισχύος πρόωσης:



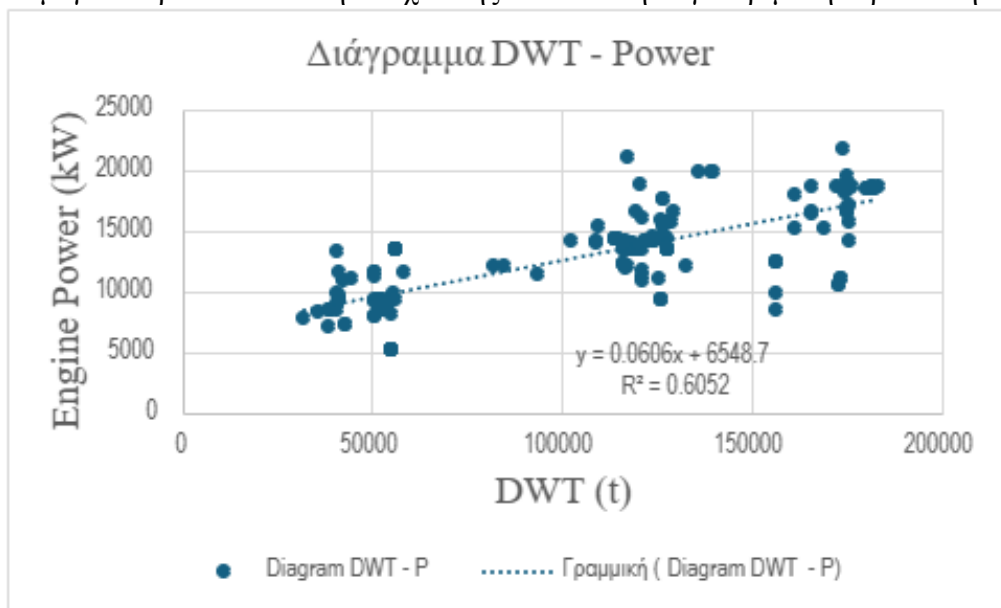
Διάγραμμα 5.3: Το DWT συναρτήσει του SMCR Power με βάση στατιστικές μελέτες. (Apostolos Papanikolaou, 2014)

Όπως, προκύπτει από την χάραξη των κάθετων γραμμών στο διάγραμμα η ισχύς πρόωσης είναι ίση με:

$$P_4 = 12950 \text{ (kW)}$$

– **Εκτίμηση ισχύος πρόωσης P με βάση την παλινδρομική ανάλυση όμοιων πλοίων**

Όπως και στις προηγούμενες εκτιμήσεις, έτσι και εδώ, δημιουργείται το διάγραμμα DWT συναρτήσεως της ισχύος πρόωσης P που υπάρχει στη βάση δεδομένων από όμοια πλοία και χαράσσεται η γραμμή τάσης (trendline) με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R^2 που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η γραμμική.



Διάγραμμα 5.4: Το DWT συναρτήσεως της ισχύος πρόωσης P που προκύπτει μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης.

Επομένως, η σχέση που προκύπτει από το διάγραμμα είναι η εξής:

$$P = 0.0606 \cdot DWT + 6548.7$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$P_5 = 13578.3 \text{ (kW)}$$

➤ **Τελική εκτίμηση ισχύος πρόωσης P**

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας με τις εκτιμήσεις των επιμέρους μεθόδων για την ισχύ πρόωσης πλοίου:

Μέθοδος Εκτίμησης:	Τιμή Ισχύος Πρόωσης P (kW)	Συντελεστής Βαρύτητας
Τύπος Αγγλικού Ναυαρχείου	13019.726	0.1
1ος τύπος MAN	15597.058	0.1
2ος τύπος MAN	13364.508	0.05
Εμπειρικό Διάγραμμα σελ. 171 βιβλ. “Ship Design, Apostolos Papanikolaou”	12950	0.05
Παλινδρομική Ανάλυση (Regression Analysis)	13578.3	0.7

Πίνακας 5.5: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις εκτιμήσεις και τους συντελεστές βαρύτητας της ισχύος πρόωσης P για το υπό μελέτη πλοίο.

Όπως και σε προηγούμενες εκτιμήσεις, μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας αποδίδεται στην τιμή της ισχύος πρόωσης P που προκύπτει από την παλινδρομική ανάλυση (Regression Analysis) από όμοια πλοία καθώς και

τον 1ο τύπο της MAN αφού είναι πιο κοντά στις «πραγματικές» τιμές των δεδομένων στα σύγχρονα πλοία. Επομένως, η ισχύ πρόωσης ισούται με:

$$P = P_1 \cdot B_1 + P_2 \cdot B_2 + P_3 \cdot B_3 + P_4 \cdot B_4 + P_5 \cdot B_5 \Rightarrow$$
$$P = 13019.726 \cdot 0.1 + 15597.058 \cdot 0.1 + 13364.508 \cdot 0.05 + 12950 \cdot 0.05 + 13578.3 \cdot 0.7 \Rightarrow P$$
$$= 13682.21 \text{ (kW)}$$

➤ Τελική εκτίμηση ισχύος γεννητριών

Με βάση την τελική εκτίμηση της ισχύος πρόωσης της κύριας μηχανής του υπό πλοίου, θα γίνει η εκτίμηση της ισχύος των γεννητριών που απαιτούνται τόσο για βοηθητικά συστήματα όσο και λόγους ασφαλείας. Ο τύπος είναι ο εξής:

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

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$P_{gen} = 532.187 \text{ (kW)}$$

Η ισχύς των ηλεκτρογεννητριών που εκτιμήθηκε θα προσαυξηθεί κατά 15%, τόσο για λόγους επάρκειας του συγκεκριμένου πλοίου όσο και για λόγους ασφαλείας. Τελικώς, έχουμε:

$$P_{gen} = 612 \text{ (kW)}$$

Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός επιμέρους βαρών πλοίου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της προσέγγισης των διαφόρων ομάδων βαρών του πλοίου και θα γίνει η σύγκριση μεταξύ του πατρικού και του υπό μελέτη πλοίου. Η ανάλυση θα πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν πιο, ακριβής αφού τυχόν λάθη σε αυτό το σημείο θα επιφέρουν σημαντικές αλλαγές τόσο στην μεταφορική ικανότητα του πλοίου, την υπηρεσιακή ταχύτητα, την ευστάθεια καθώς και την ασφάλεια του πλοίου. Με τα δεδομένα του πατρικού πλοίου υπολογίζεται το βάρος του άφορτου πλοίου, με την υπάρχουσα μεθοδολογία και συγκρίνεται με το πραγματικό βάρος που δίνεται στο Trim & Stability Booklet. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο συντελεστής απόκλισης λ που προκύπτει από τη σύγκριση του πραγματικού βάρους με του υπολογισμένου αλλά πλήρως εξοπλισμένου πατρικού σκάφους. Τέλος, υπολογίζεται το βάρος του υπό μελέτη πλοίου και πολλαπλασιάζεται με βάση τον διορθωτικό συντελεστή λ .

6.1 Υπολογισμός βαρών πατρικού πλοίου

Όπως έχουν ήδη προαναφερθεί, τα στοιχεία του πατρικού πλοίου είναι τα εξής:

Στοιχεία Πατρικού Πλοίου		
Ολικό Μήκος Length O.A.	L.O.A.=249.9	m
Μήκος Μεταξύ Καθέτων L.B.P.	L.B.P.=239	m
Πλάτος Breadth	B=44	m
Κοίλο Depth	D=21.35	m
Μέγιστο Βύθισμα Scant. Draft	Tsc=15.1	m
Συντ. Γάστρας CB	CB=0.825	
“Νεκρό”- Ωφέλιμο Φορτίο DWT	DWT=114000	mt
Ταχύτητα Υπηρεσίας Service Speed	Vs=14.5	knots
Ισχύς Κύριας Μηχανής PMain Engine	P=16080	kW
Βάρος Άφορτου Πλοίου Wlightship	Wlightship=20600	t

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών πατρικού πλοίου. (Πηγή: PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD)

6.1.1 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{st}

Ορισμός W_{steel} : Το βάρος μεταλλικής κατασκευής περιλαμβάνει το βάρος όλων των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και αντιστοιχεί περίπου στο αντικείμενο εργασίας του ελασματοουργείου ενός Ναυπηγείου. Στο βάρος αυτό περιλαμβάνονται, πέραν του συνόλου των ελασμάτων και ενισχυτικών του πλοίου: τα στοιχεία έδρασης της μηχανής, οι υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα, έστω και είναι διαφορετικό υλικό του χάλυβα, οι ιστοί, το πηδάλιο, ο άξονας του πηδαλίου, τα στόμια κυτών, το δύφρακτο (παραπέτο).

[Πηγή: Απόστολος Παπανικολάου, 2011]

– Μέθοδος Watson

Το βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{steel} μπορεί να υπολογισθεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού EN (Equipment Numerical) του πλοίου Lloyds Register:

$$E_N = L \cdot (B + T) + 0.8 \cdot L \cdot (D - T) + 0.85 \cdot \sum_{i=1}^{N1} h_{1i} l_{1i} + 0.75 \cdot \sum_{i=1}^{N2} h_{2i} l_{2i} \quad \text{όπου:}$$

- $N1, h_{1i}, l_{1i}$: αριθμός, ύψος και το μήκος υπερστεγασμάτων.
- $N2, h_{2i}, l_{2i}$: αριθμός, ύψος και μήκος των υπερκατασκευών.

Από το σχέδιο γενικής διάταξης (General Arrangement) μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι παρακάτω διαστάσεις για τα υπερστεγάσματα και τις υπερκατασκευές:

Υπερστεγάσματα	Μήκος l (m)	Ύψος h (m)	L*h (m ²)
B Deck	25.2	2.75	69.3
C Deck	17.4	2.75	47.85
D Deck	17.4	2.75	47.85
Navigation Bridge Deck	15.3	2.65	40.545
Άθροισμα:			205.545

Πίνακας 6.1.1 - Απεικόνιση: Μήκος και ύψος υπερστεγασμάτων του πατρικού πλοίου.

Υπερκατασκευές	Μήκος l (m)	Ύψος h (m)	L*h (m ²)
A Deck	25.2	2.75	69.3
Πρόστεγο (Forecastle)	15.2	2.65	40.28
Άθροισμα:			109.58

Πίνακας 6.1.2: Μήκος και ύψος υπερκατασκευών του πατρικού πλοίου.

Με αντικατάσταση στο δείκτη εξοπλισμού E_N προκύπτει:

$$E_N = 239(44 + 15.1) + 0.8 \cdot 239(21.35 - 15.1) + 0.85 \cdot 205.545 + 0.75 \cdot 109.58$$

$$E_N = 15576.798$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(W_{ST})^* = K \cdot E_N^{1.36}, \text{ όπου } K \text{ από τον ακόλουθο πίνακα}$$

Ship type	Average value K	Fluctuation K [±]	Lower limit E_N	Upper limit E_N
Crude oil tankers	0.032	0.003	1,500	40,000
Chemical tankers	0.036	0.001	1,900	2,500
Bulkcarriers	0.031	0.002	3,000	15,000
Containerships	0.036	0.003	6,000	13,000
General cargo	0.033	0.004	2,000	7,000
Reefers	0.034	0.002	4,000	6,000
Coasters cargo	0.030	0.002	1,000	2,000
Offshore supply vessels	0.045	0.005	800	1,300
Tugs	0.044	0.002	350	450
Trawlers	0.041	0.001	250	1,300
Hydrographic vessels	0.045	0.002	1,350	1,500
RoPax	0.031	0.006	2,000	5,000
Passenger ships	0.038	0.001	5,000	15,000
Frigates/corvettes	0.023			

The above coefficients refer to structures built from 100% mild shipbuilding steel. Given that a series of ship types today are built to some extent from higher tensile steel, the resulting weights by use of the above coefficients are expected to be slightly higher than today's standards (e.g., for tankers, bulkcarriers, containerships)

Πίνακας 6.1.3: Πίνακας συντελεστών βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά Watson. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou 2014)

Επομένως, η τιμή K λαμβάνεται ίση με 0.032 και με αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο προκύπτει:

$$(W_{ST})^* = 0.032 \cdot 15576.798^{1.36}$$

$$(W_{ST})^* = 16103.502 (t)$$

Διόρθωση για $C_B^*(0.8D) \neq 0.7$:

$$C_B^*(0.8D) = C_{B1} + \frac{(1 - C_{B1})(0.8 \cdot D - T)}{3T}$$

$$C_B^*(0.8D) = 0.833 \neq 0.7$$

Επομένως, ο παραπάνω τύπος μετασχηματίζεται ως εξής:

$$(W_{ST}) = (W_{ST})^* \cdot (1 + 0.5 \cdot (C_B^* - 0.7)) \Rightarrow$$

$$(W_{ST}) = 16103.502 \cdot (1 + 0.5 \cdot (0.833 - 0.7)) \Rightarrow$$

$$(W_{ST})_1 = 17171.558 (t)$$

– Μέθοδος Schneekluth

Τα απαιτούμενα στοιχεία για τον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής με την μέθοδο Schneekluth είναι τα εξής:

Στοιχεία Πατρικού Πλοίου:	Τιμές Στοιχείων:	Μονάδες:
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{pp}	$L_{pp}=239$	m
Πλάτος επί νομέων B	B=44	m
Βύθισμα μελέτης	T=15.1	m
Κοίλο ανώτατου συνεχούς καταστρ. D	D=21.35	m
Συντελεστής γάστρας στην ίσαλο C_B	$C_B = 0.825$	
Συντελεστής μέσου νομέα C_M	$C_M = 0.995$	
Κυρτότητα καταστρώματος στη μέση τομή b	b = 0.85	m
Αριθμός καταστρωμάτων n	n=1	

Πίνακας 6.1.4: Απαιτούμενα στοιχεία πατρικού πλοίου που απαιτούνται για την μέθοδο Schneekluth.

Για τον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής, απαιτείται ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος. Ο όγκος ∇_U , εφόσον δεν είναι γνωστός, υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

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

Όπου:

- ∇_D , όγκος έως το κοίλο D
- ∇_S , αυξημένος όγκος λόγω σιμότητας
- ∇_b , αυξημένος όγκος λόγω κυρτότητας
- ∇_H , αυξημένος όγκος λόγω στομίων κυτών

Προσδιορισμός όγκους έως το κοίλο D, ∇_D :

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} \text{ (όγκος έως το D)}$$

με

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

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

$$C_{BD} = 0.843$$

$$\nabla_D = 239 \cdot 44 \cdot 21.35 \cdot 0.843$$

$$\nabla_D = 189267.494 (m^3)$$

Για την αύξηση όγκου λόγω σιμότητας, ισχύει ότι:

$$\nabla_S = 0$$

Δεν υπάρχει σιμότητα στο πατρικό πλοίο.

Για την αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας, ισχύει ότι:

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3$$

Όπου:

$$C_3 \cong C_{BD}$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \nabla_b &= 239 \cdot 44 \cdot 0.85 \cdot 0.843 \Rightarrow \\ \nabla_b &= 7535.24 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Για την αύξηση όγκου λόγω κυτών, ισχύει ότι:

$$\nabla_H = 0$$

Αφού δεν υπάρχουν στόμια κυτών στο εν λόγω πλοίο.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, ο συνολικός όγκος ∇_U ισούται με:

$$\begin{aligned} \nabla_U &= \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H \Rightarrow \\ \nabla_U &= 189267.494 + 0 + 7535.24 + 0 \Rightarrow \\ \nabla_U &= 196802.734 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Το βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} υπολογίζεται συναρτήσει του υπολογισμένου όγκου ∇_U , ενός συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους C'_{ST} και διαφόρων διορθώσεων:

$$\begin{aligned} W'_{ST} &= \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \left[1 + 0.033 \left(\frac{L}{D} - 12\right)\right] \cdot \left[1 + 0.06 \left(n - \frac{D}{D_0}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.05 \left(1.85 - \frac{B}{D}\right)\right] \cdot \\ &\cdot \left[1 + 0.2 \left(\frac{T}{D} - 0.85\right)\right] \cdot [0.92 + (1 - C_{BD})^2] \cdot [1 + 0.75 \cdot C_{BD} (C_M - 0.98)] \end{aligned}$$

Όπου:

$$D_0 = 4 \text{ (m)} \ \& \ \frac{L}{D} \geq 9.$$

Οι τιμές του συντελεστή C'_{ST} $\left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)$ είναι συνάρτηση του τύπου του σκάφους:

Για δεξαμενόπλοια (περιοχή μήκους 150 – 350):

$$\begin{aligned} C'_{ST} &= [0.112 + L(m) \cdot 10^{-4}] \cdot (0.95 \div 1.05) \\ C'_{ST} &= [0.112 + 239 \cdot 10^{-4}] \cdot (1) \\ C'_{ST} &= 0.1359 \end{aligned}$$

Με αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \left[1 + 0.033 \left(\frac{L}{D} - 12\right)\right] &= 0.973 \\ \left[1 + 0.06 \left(n - \frac{D}{D_0}\right)\right] &= 0.74 \\ \left[1 + 0.05 \left(1.85 - \frac{B}{D}\right)\right] &= 0.989 \\ \left[1 + 0.2 \left(\frac{T}{D} - 0.85\right)\right] &= 0.971 \\ [0.92 + (1 - C_{BD})^2] &= 0.945 \\ [1 + 0.75 \cdot C_{BD} (C_M - 0.98)] &= 1.009 \end{aligned}$$

Επομένως, προκύπτει:

$$\begin{aligned} W'_{ST} &= 196802.734 \cdot 0.1359 \cdot 0.973 \cdot 0.74 \cdot 0.989 \cdot 0.971 \cdot 0.945 \cdot 1.009 \Rightarrow \\ W'_{ST} &= 17653.092 \text{ (t)} \end{aligned}$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST} του πλοίου, που υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ανωτέρω τύπο, πρέπει να προσαυξηθεί κατά 0.4 - 0.7% λόγω της βολβοειδούς πλώρας. Λόγω του όγκου του πλοίου επιλέγεται προσαύξηση κατά 0.6% του βάρους μεταλλικής κατασκευής και επομένως, έχουμε:

$$\begin{aligned} W_{ST} &= W'_{ST} \cdot 1.006 = 17653.092 \cdot 1.006 \Rightarrow \\ W_{ST} &= 17759.011 \text{ (t)} \end{aligned}$$

➤ **Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}**

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους εκτίμησης του βάρους μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, παρουσιάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής WST (t)
Μέθοδος Watson	17171.558
Μέθοδος Schneekluth	17759.011
Τελική Τιμή	17465.285

Πίνακας 6.1.5: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής WST.

Για την τελική εκτίμηση του βάρους μεταλλικής κατασκευής WST λήφθηκε η μέση τιμή των ανωτέρω μεθόδων και προκύπτει ότι:

$$W_{ST} = 17465.285 (t)$$

6.1.2 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού Wot

Ορισμός WOT: περιλαμβάνει το βάρος όλων των επί του “γυμνού” σκάφους εφαρμοσμένων / εγκατεστημένων και αποσυνδεδεμένων εξαρτημάτων του πλοίου χωρίς τη μηχανολογική εγκατάσταση. Ορισμένα στοιχεία του WST μπορεί να ενταχθούν εξ’ αρχής στο WOT, π.χ. οι ιστοί και το πηδάλιο, ανάλογα με την πρακτική του Ναυπηγείου.

– Προσεγγιστικός τύπος (προκαταρκτική φάση μελέτης)

Σύμφωνα με τον κ. Απόστολο Παπανικολάου, η πρώτη εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT γίνεται με τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο στην φάση της προκαταρκτικής μελέτης:

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

Όπου:

$$K_{OT} = 0.28 \frac{t}{m^2} \text{ για δεξαμενόπλοια } L \cong 150 m$$

$$= 0.17 \frac{t}{m^2} \text{ για δεξαμενόπλοια } L \cong 300 m$$

Για την επιλογή του συντελεστή K_{OT} , γίνεται γραμμική παρεμβολή για $L_{PP}=239 (m)$ και επομένως προκύπτει:

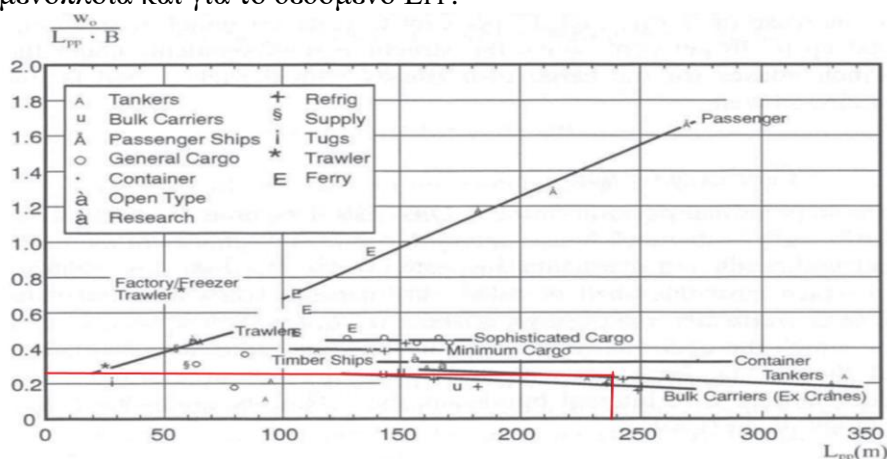
$$K_{OT} = 0.215 \left(\frac{t}{m^2} \right)$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$W_{OT1} = 2260.94 (t)$$

– Εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού Wot με βάση το διάγραμμα Watson

Η 2η εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT, θα γίνει με βάση τον λόγο βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson, όπου θα επιλεγθεί η καμπύλη που αντιστοιχεί σε δεξαμενόπλοια και για το δεδομένο L_{PP} :



Διάγραμμα 6.1.6: Ο λόγος του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Από το διάγραμμα, προκύπτει ότι:

$$\frac{W_o}{L_{pp} \cdot B} = 0.25$$

Και με αντικατάσταση προκύπτει:

$$W_{OT2} = 2629 (t)$$

– Εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT κατά Strohbusch

Η 3η εκτίμηση περιλαμβάνει τη μέθοδο υπολογισμού των βαρών που συνθέτουν το WOT αφού πραγματοποιηθεί ανάλυση των μεγαλύτερων ομάδων σε επιμέρους βάρη. Υπολογίζεται με βάση τις αντίστοιχες κατασκευαστικές οδηγίες του Ναυπηγείου ή πληροφορίες των προμηθευτών. Η κάθε μία ομάδα που θα αναλυθεί, περιλαμβάνει έναν συντελεστή βαρύτητας w_i όπου εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθός του καθώς και την ποιότητα ενδιαίτησης και τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρει. Έχοντας, λοιπόν, τον συντελεστή βαρύτητας για κάθε ομάδα, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

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

Σύμφωνα με τον Απόστολο Δ. Παπανικολάου καθώς και η εφαρμογή συστημάτων μηχανοργάνωσης της παραγωγής, που επιτρέπει σήμερα την καταγραφή και ταξινόμηση των επί μέρους στοιχείων με σχετική ευκολία, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT μπορεί να χωριστεί στις επιμέρους παρακάτω κατηγορίες:

I: Χονδρές ξυλουργικές εργασίες: ξύλινα καταστρώματα, ξύλινες επενδύσεις χώρων κυτών, ψυκτικών χώρων & διπυθμένου, ξύλινα καλύμματα στομίων κυτών, ξύλινα διαφράγματα, ξύλινα υπερστεγάσματα, ακόμα: μη ξύλινες επενδύσεις χώρων κυτών (αλουμίνιο ή σύνθετα υλικά).

Π1: Μονωτικές εργασίες: βάρος μόνωσης συναρτήσει του υλικού και λιγότερο του πάχους της επένδυσης. Συνήθεις τιμές: $V_{NET} \text{ NET}/LBD=0.82-0.35$ ή βάρος μόνωσης/ $V_{NET} \text{ NET}=30-80 \frac{kp}{m^3}$.

Π2: Χωματοουργικές και αντιδιαβρωτικές εργασίες: χρώματα, πισσαρίσματα, πλακοστρώσεις δαπέδων και τοιχωμάτων.

Π3: Μικρές ξυλουργικές εργασίες: ενδιάμεσα τοιχώματα ενδιαίτησης, πόρτες, επιπλώσεις χώρων ενδιαίτησης, επενδύσεις εσωτερικών δαπέδων (μοκέτες), κουρτίνες, ταπετσαρίες, υαλουργικές εργασίες. Σύνηθες βάρος / επιφάνεια χώρων ενδιαίτησης: $60 - 70 \frac{kp}{m^3}$.

IV: Σωληνουργικές εργασίες σκάφους: σωλήνες ερματισμού, απάντλησης, πυρόσβεσης, γλυκού-θαλάσσιου νερού, θέρμανσης, ευδοίαιοι, σωλήνες εξαέρωσης και μετρητικοί. Όλα τα επιστόμια, βαλβίδες, σύρτες, κλπ. Σκευή υγιεινής, καλοριφέρ-υψηλές τιμές πίνακα για δεξαμενόπλοια και επιβατηγά λόγω εκτεταμένων σωληνώσεων.

V: Μηχανουργικές εργασίες: χαλύβδινες πόρτες, καλύμματα στομίων κυτών και ανοιγμάτων φρακτών, κλπ. Σκαλωσιές. Μεταλλουργικές εργασίες εσωτερικής διαρρύθμισης, σκευή κουζίνας χρήσης (φούρνοι, πλυντήρια, κλπ). Αγωγοί φυσικού εξαερισμού και κλιματισμού, Σημερινές τιμές στα άνω όρια του πίνακα λόγω χαλύβδινων καλυμμάτων στομίων κυτών, μειωμένη χρήση ξύλου.

VI: Φορτοεκφορτωτικά σκεύη: πλην των ιστών, των βαρούλκων και γερανών, όλα τα φορτοεκφορτωτικά εξαρτήματα, δηλαδή βραχίονες φορτωτήρα, σχοινιά, τροχαλίες, άγκιστρα, αλυσίδες, κλπ - επακριβής υπολογισμός μέσω του αριθμού φορτωτήρων και της ανυψωτικής ικανότητας.

VII: Σκεύη ρυμούλκησης και όρμησης: πλην των βαρούλκων, όλα τα σκεύη ρυμούλκησης και όρμησης. Οι τιμές του πίνακα μειώνονται με το απόλυτο μέγεθος του πλοίου.

VIII1: Ψυκτικά μηχανήματα: για χώρους φορτίου.

VIII2: Λοιπά βοηθητικά μηχανήματα: μηχανισμός πηδαλίου, βαρούλκα για όλες τις χρήσεις (άγκυρες, φορτωτήρες, λέμβοι), εγκατάσταση κλιματισμού, πυρόσβεσης. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις. Εγκαταστάσεις επικοινωνίας. - Υψηλές τιμές πίνακα για φορτηγά με βαρείς φορτωτήρες, ψυκτικούς χώρους. Υψηλές τιμές για επιβατηγά λόγω εκτεταμένων εγκαταστάσεων ηλεκτρολογίας, κλιματισμού, πυρόσβεσης και επικοινωνίας.

Μόνο για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις:

δεξαμενόπλοια: $0.7-1.0 \frac{kp}{m^3}$, από τα βάρη αυτά, 50-80% αφορούν τα καλώδια. Βάρος ψυκτικής εγκατάστασης για χώρους φορτίου εξαρτάται από τον καθαρό όγκο του προς ψύξη χώρου: Βάρος / V_{NET NET}=20 – 30 $\frac{kp}{m^3}$.

IX: Λοιπός εξοπλισμός: άγκυρες, αλυσίδες, κάβοι, караβόπανα, λέμβοι, όργανα σήμανσης ναυσιπλοΐας, εργαλεία, αναλώσιμα, κουζινικά σκεύη, κινητός εξοπλισμός χώρων ενδιαίτησης και διαμονής.

Με βάση την παραπάνω ομαδοποίηση των βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το εύρος των συντελεστών βάρους ενώ γίνεται και ο υπολογισμός του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού για κάθε ομάδα (για δεξαμενόπλοια):

Ομάδα Βάρους w _i	Εύρος Τιμών	Επιλογή Τιμής	WOT _i (t)
I	0.5 - 1	0.75	168.387
II1	-	-	0
II2	1 - 2	1.5	336.775
III	1 - 2	1.5	336.775
IV	2.5 - 5	3.75	841.937
V	1.5 - 2	1.75	392.904
VI	0 – 0.1	0.05	11.226
VII	0.3 - 0.5	0.4	89.807
VIII1	-	-	0
VIII2	1.5 - 2	1.75	392.904
IX	1 - 1.5	1.25	280.646
Σύνολο:			2907.491

Πίνακας 6.1.7: Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT για δεξαμενόπλοια. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Επομένως, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, με την μέθοδο του E. Strohbusch, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού που προκύπτει είναι η εξής τιμή:

$$W_{OT3} = \sum_{i=1}^{IX} W_{OTi} \Rightarrow W_{OT3} = 2851.361 (t)$$

➤ **Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT**

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους εκτίμησης του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού του πλοίου, παρουσιάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού WOT (t)
Μέθοδος Εμπειρικού Τύπου	2260.94
Μέθοδος - Διάγραμμα Watson	2629
Μέθοδος E. Strohbusch	2851.361
Τελική Τιμή	2599.144

Πίνακας 6.1.8: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT.

Επομένως, η συνολική εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT, που προκύπτει από τη μέση τιμή των παραπάνω μεθόδων είναι:

$$W_{OT} = 2580.434 (t)$$

6.1.3 Υπολογισμός βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Ανάλυση W_M:

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

Όπου:

- W_{MM}: βάρος κύριας μηχανής (Main machinery),
- W_{MS}: βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας (Shaft – propeller Weight) &
- W_{MR}: βάρος λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων (Rest machinery)

Περιλαμβάνει αναλυτικά τα εξής βάρη:

- Κύρια κινητήρια εγκατάσταση αποτελούμενη από τις μηχανές με τυχόν μειωτήρες (για μη βραδύστροφες Δήζελ), ή στροβίλους με λέβητες (W_{MM}),
- Το σύστημα εξάτμισης (W_{MR}),
- Τις έλικες και το σύστημα μετάδοσης κίνησης στην έλικα, δηλαδή ελικοφόρους άξονες, έδρανα αξόνων, στορείς (W_{MS}),
- Τις ηλεκτρογεννήτριες, καλωδιώσεις προς τους πίνακες / μετασχηματιστές (W_{MR}),
- Αντλίες, συμπιεστές, διαχωριστές (W_{MR}),
- Σωληνώσεις μηχανοστασίου (πληρωμένες), επίσης (συχνά) σωληνώσεις διπυθμένων για την άντληση καυσίμου ή έρματος (W_{MR}),
- Εγκατάσταση παραγωγής ποσίμου νερού (W_{MR}),
- Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (W_{MR}),
- Λοιπός εξοπλισμός μηχανοστασίου: κλίμακες, σχάρες δαπέδων (gratings), θερμό-ηχομονώσεις (W_{MR}) &
- Επίσης συνήθως: κεντρικές ψυκτικές εγκαταστάσεις φορτίου (φορτηγά ψυγεία) και αντλίες φορτίου (δεξαμενόπλοια) (W_{MR}, εφόσον δεν περιλαμβάνονται στο WOT).

Ορισμός W_M: περιλαμβάνει το βάρος της κύριας μηχανής και του μειωτήρα, για στροβιλοφόρα το βάρος των στροβίλων, του μειωτήρα και λεβήτων, αντίστοιχα.

Ορισμός W_{MR}: περιλαμβάνει τα βάρη που αντιστοιχούν στις αντλίες πάσης φύσεως, σωληνώσεις μηχανοστασίων, καπνοδόχοι, κύριες ηλεκτρογεννήτριες (η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης εντάσσεται πολλές φορές στο WOT), μετασχηματιστές, υποβοηθητικά στοιχεία της κύριας μηχανής.

– Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M με βάση τον τύπο Watson-Gilfillan

Σύμφωνα με τον προσεγγιστικό τύπο των Watson – Gilfillan, ισχύει ότι:

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

Όπου:

- P_B [kW] : ισχύς πέδης κύριας μηχανής
- $C_{MD} = 0.3 - 0.5$ (αργόστροφες Δήζελ)

Η ισχύς πρόωσης του πατρικού πλοίου ισούται με:

$$P_B = 16080 \text{ [kW]}$$

Για την τιμή του συντελεστή C_{MD} επιλέγεται η μέση τιμή, δηλαδή:

$$C_{MD} = 0.4$$

Με αντικατάσταση, στον παραπάνω τύπο, προκύπτει:

$$W_{M1} = 2216.433 \text{ (t)}$$

– Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M με τη μέθοδο Strohbusch

Για την 2η εκτίμηση, χρησιμοποιείται η μέθοδος του Strohbusch, όπου δίνεται μια σειρά εμπειρικών συντελεστών βάρους w για τον υπολογισμό του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M (επιλέγεται η μέση τιμή των διαφόρων συντελεστών) για το πατρικό πλοίο.

Συντελεστής:	Εύρος Τιμών:	Τιμή Συντελεστή	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$
$w_1 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	3-5	4	0.004
$w_2 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	25-35	30	0.03
$w_3 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	4	4	0.004
$w_4 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	Αργόστροφη ντηζελομηχ. 30-40	35	0.035
$w_5 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	55-60	57	0.057

Πίνακας 6.1.9: Τιμή συντελεστών βαρών μηχανολογικής εγκατάστασης για δεξαμενόπλοια κατά Strohbusch. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Για την ισχύ πρόωσης του πατρικού πλοίου έχουμε τα εξής στοιχεία:

$$W = 16080 \text{ [kW]} = 21862.716 \text{ [HP]}$$

Για τον βαθμό απόδοσης του άξονα έχουμε: $n_s = 0.98$

$$SHP = SHP_{engine} \cdot n_s \Rightarrow SHP = 21425.462 \text{ [HP]}$$

Αντικαθιστώντας στους ορισμούς των συντελεστών w , προκύπτουν τα διάφορα βάρη της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M , όπου:

$$w_1 = \frac{W_{MR}}{L \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{MR} = 898.066 \text{ (t)}$$

Επίσης ισχύει ότι:

$$w_2 = \frac{W_{MR}}{SHP} \Rightarrow W_{MR} = 642.764 \text{ (t)}$$

Τελικώς, επιλέγεται η μέση τιμή αυτών, δηλαδή:

$$W_{MR} = \frac{898.066 + 642.764}{2} = 770.415 \text{ (t)}$$

Ακόμη:

$$w_3 = \frac{W_{MS}}{SHP} \Rightarrow W_{MS} = 85.702 \text{ (t)}$$

Για το w_4 , δίνεται:

$$w_4 = \frac{W_{MM}}{SHP} \Rightarrow W_{MM} = 749.891 (t)$$

Και τέλος έχουμε:

$$w_5 = \frac{W_M}{SHP} \Rightarrow W_M = 1221.251 (t)$$

Επίσης, για τον υπολογισμό του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR} \Rightarrow \\ W_M = 1606.008 (t)$$

Επομένως, το τελικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M , της παραπάνω μεθόδου είναι:

$$W_{M2} = 1413.630 (t)$$

– Εκτίμηση συναρτήσεων του βάρους της κύριας μηχανής με τη μέθοδο Watson & Gilfillan

Κατά Watson & Gilfillan, το συνολικό βάρος διζελοκίνητων εγκαταστάσεων μπορεί να προσεγγισθεί ως εξής:

$$W_M = W_{MM} + W_{MREST}$$

Όπου:

$$- W_{MM} = \frac{12}{N} \left(\frac{MCR_1}{RPM_1} + \frac{MCR_2}{RPM_2} + \dots + \frac{MCR_N}{RPM_N} \right), \text{ όπου:}$$

MCR_i: ισχύς MCR κινητήρα i , RPM_i: στροφές κινητήρα i , N: αριθμός κινητήρων

$$- W_{MREST} = C_m (MCR)^{0.70}, \text{ όπου:}$$

$C_m = 0.72$ (tankers)

Για το πατρικό πλοίο έχουμε Specified - MCR = 13500 kW at 87 RPM και επομένως προκύπτει:

$$W_{MREST} = 560.488 (t)$$

Από τη βάση δεδομένων θα υπολογιστεί το W_{MM} , το οποίο ισούται με:

$$W_{MM} = 964.638 (t)$$

Τελικώς, προκύπτει:

$$W_{M3} = 1525.126 (t)$$

– Εκτίμηση συναρτήσεων βάρους της κύριας μηχανής με τη μέθοδο Schneekluth

Για άμεσες αργόστροφες διζελοκίνητριες εγκαταστάσεις το βάρος W_M υπολογίζεται ως εξής:

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

Όπου:

$$- W_{MM}: \text{βάρος κύριας μηχανής [t]}$$

$$- C_{M1} = 2.2 \div 3.6, \mu. \sigma. = 2.6$$

Στο πατρικό πλοίο, η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη είναι η MAN 6G60ME – C9,5 – HPSCR (6 cylinders). Παρατηρείται στο εγχειρίδιο των χαρακτηριστικών του μοντέλου της κύριας μηχανής, ότι το βάρος της μηχανής είναι:

$$W_{MM} = 423.1 (t)$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$W_{M4} = 1100.06 (t)$$

➤ **Συνολική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M**

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τις επιμέρους μεθόδους εκτίμησης του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M :

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους (t)
Watson-Gilfillan	2216.433
Strohbusch	1413.629
Watson & Gilfillan (όμοια πλοία)	1525.126
Schneekluth	1100.06
Τελική Τιμή	1563.812

Πίνακας 6.1.10: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M .

Για την τελική εκτίμηση του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M λήφθηκε η μέση τιμή των ανωτέρω μεθόδων και προκύπτει ότι:

$$W_M = 1563.812 (t)$$

6.2 Συγκεντρωτική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου $W_{Lightship}$ του πατρικού πλοίου

Σύμφωνα με τις παραπάνω προσεγγίσεις των επιμέρους βαρών του πλοίου, παρακάτω υπολογίζεται το βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου για το πατρικό πλοίο:

Ομάδα Βάρους	Τιμή Βάρους (t)
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	17465.285
Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	2580.434
Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	1563.82
Βάρος Άφορτου Πλοίου	21609.53

Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτιμήσεων βαρών του πατρικού πλοίου καθώς και η εκτίμηση του άφορτου πλοίου.

Το βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου προκύπτει από την εξής σχέση:

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

$$W_{LS} = 21609.53 (t)$$

6.3 Σύγκριση πραγματικού με το υπολογίσιμο βάρους του άφορτου πατρικού πλοίου

W_{LS}

Σε αυτό το σημείο προσδιορίζεται η σύγκριση μεταξύ του υπολογίσιμου βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πατρικού πλοίου $W_{Lightship}$, σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους που μελετήθηκαν, σε σχέση με το βάρους άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πατρικού πλοίου που δίνεται από το Trim & Stability Booklet και γίνεται ο υπολογισμός ενός συντελεστή λ , όπου ανάλογα με το πρόσημο που θα έχει θα γίνει η προσαύξηση ή η μείωση του βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου στο υπό μελέτη πλοίο. Το βάρους του άφορτου πλοίου από το Trim & Stability Booklet του πατρικού πλοίου είναι:

$$W_{LS(Actual)} = 20600 (t)$$

Επομένως, υπολογίζεται ο συντελεστής λ :

$$\lambda = \frac{W_{LS(Actual)} - W_{LS(Estimated)}}{W_{LS(Actual)}} \Rightarrow$$

$$\lambda = -0.049 \cong -4.9\%$$

6.4 Υπολογισμός βαρών υπό μελέτη πλοίου

Στις προηγούμενες ενότητες, έγινε ανάλυση της προσέγγισης του βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου του πατρικού πλοίου. Αυτό επετεύχθη διότι σε κάποιες εκτιμήσεις που απαιτούνταν οι διαστάσεις κάποιων χώρων ή διαμερισμάτων, οι διαστάσεις μετρήθηκαν από το σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement). Η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν είναι δυνατή για το υπό μελέτη πλοίο αφού δεν είναι γνωστές οι διαστάσεις, ούτε υπάρχει σχέδιο γενικής διάταξης, και για αυτό τον λόγο θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω λόγοι διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου σε σχέση με το πατρικό οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

Λόγοι Διαστάσεων υπό μελέτη - πατρικού πλοίου	
$L_{\text{υπό μελέτη}}/L_{\text{πατρικό}}=L1/L0=$	0.985
$B_{\text{υπό μελέτη}}/B_{\text{πατρικό}}=B1/B0=$	0.977
$D_{\text{υπό μελέτη}}/D_{\text{πατρικό}}=D1/D0=$	1.002

Πίνακας 6.4.1: Λόγοι διαστάσεων του υπό μελέτη προς το πατρικό πλοίο.

Επομένως, με τους παραπάνω λόγους θα γίνει η ανάλυση και ο υπολογισμός των επιμέρους ομάδες βαρών καθώς και του συνολικού βάρους με τις ίδιες μεθόδους που πραγματοποιήθηκε η ανάλυση για το πατρικό πλοίο.

6.4.1 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{st}

– Μέθοδος Watson

Το βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{steel} μπορεί να προσεγγισθεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού EN (Equipment Numerical) του πλοίου σύμφωνα με τον Νηογνώμονα Lloyds Register:

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

- $N1, h_{1i}, l_{1i}$: αριθμός, ύψος και το μήκος υπερστεγασμάτων.
- $N2, h_{2i}, l_{2i}$: αριθμός, ύψος και μήκος των υπερκατασκευών.

Με βάση τους λόγους των διαστάσεων που προέκυψαν παραπάνω ισχύουν οι εξής τύποι:

$$l_{\text{υπό μελέτη}} = l_{\text{πατρικού}} * (L_{\text{υπό μελέτη}} / L_{\text{πατρικού}})$$

$$h_{\text{υπό μελέτη}} = h_{\text{πατρικού}} * (D_{\text{υπό μελέτη}} / D_{\text{πατρικού}})$$

Επομένως, προκύπτουν οι κάτωθι διαστάσεις των υπερστεγασμάτων και υπερκατασκευών για το υπό μελέτη πλοίο:

Υπερστεγάσματα:

Υπερστεγάσματα	Μήκος l (m)	Ύψος h (m)	$L * h$ (m ²)
B Deck	24.817	2.756	68.408
C Deck	17.136	2.756	47.234
D Deck	17.136	2.756	47.234
Navigation Bridge Deck	15.068	2.656	40.023
Άθροισμα:			202.898

Πίνακας 6.4.2: Μήκος και ύψος υπερστεγασμάτων του υπό μελέτη πλοίου.

Υπερκατασκευές:

Υπερκατασκευές	Μήκος l (m)	Ύψος h (m)	L*h (m ²)
A Deck	24.817	2.756	68.408
Πρόστεγο (Forecastle)	14.969	2.656	39.761
Άθροισμα:			108.169

Πίνακας 6.4.3: Μήκος και ύψος υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου.

Με αντικατάσταση στο δείκτη εξοπλισμού E_N προκύπτει:

$$E_N = 235.371(43 + 15) + 0.8 \cdot 235.371(21.4 - 15) + 0.85 \cdot 202.898 + 0.75 \cdot 108.169$$

$$E_N = 15110.236$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(W_{ST})^* = K \cdot E_N^{1.36}, \text{ όπου } K \text{ δίνεται από το πίνακα 6.2.3}$$

Επομένως, η τιμή K λαμβάνεται ίση με 0.032 και με αντικατάσταση στο παραπάνω τύπο προκύπτει:

$$(W_{ST})^* = 0.032 \cdot 15110.236^{1.36}$$

$$(W_{ST})^* = 15451.082 \text{ (t)}$$

Διόρθωση για $C_B^*(0.8D) \neq 0.7$:

$$C_B^*(0.8D) = C_{B1} + \frac{(1 - C_{B1})(0.8 \cdot D - T)}{3T}$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$C_B^*(0.8D) = 0.891 \neq 0.7$$

Επομένως, ο παραπάνω τύπος μετασχηματίζεται ως εξής:

$$(W_{ST}) = (W_{ST})^* \cdot (1 + 0.5 \cdot (C_B^* - 0.7)) \Rightarrow$$

$$(W_{ST})_1 = 16924.817 \text{ (t)}$$

– Μέθοδος Schneekluth

Τα απαιτούμενα στοιχεία για τον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου με την μέθοδο Schneekluth είναι τα εξής:

Στοιχεία Πατρικού Πλοίου:	Τιμές Στοιχείων:	Μονάδες:
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{pp}	$L_{pp}=235.371$	m
Πλάτος επί νομέων B	B=43	m
Βύθισμα μελέτης	T=15	m
Κοίλο ανώτατου συνεχούς καταστρ. D	D=21.4	m
Συντελεστής γάστρας στην ισάλο C_B	$C_B=0.885$	
Συντελεστής μέσου νομέα C_M	$C_M=0.995$	
Κυρτότητα καταστρώματος στη μέση τομή b	b=0.852	m
Αριθμός καταστρώματων n	n=1	

Πίνακας 6.4.4: Απαιτούμενα στοιχεία υπό μελέτη πλοίου που απαιτούνται για την μέθοδο Schneekluth.

Για τον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής, απαιτείται ο προσδιορισμός του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος. Ο όγκος ∇_U , εφόσον δεν είναι γνωστός, υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

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

Προσδιορισμός όγκους έως το κοίλο D, ∇_D :

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} \text{ (όγκος έως το D)}$$

Με:

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

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

$$C_{BD} = 0.898$$

$$\nabla_D = 194407.697 (m^3)$$

Για την αύξηση όγκου λόγω σιμότητας, ισχύει ότι:

$$\nabla_S = 0$$

Δεν υπάρχει σιμότητα στο υπό μελέτη πλοίο.

Για την αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας, ισχύει ότι:

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3$$

Στο υπό μελέτη πλοίο, η κυρτότητα b υπολογίζεται ως εξής:

$$b_{\text{υπό μελέτη}} = b_{\text{πατρικό}} \cdot (D_1/D_0)$$

Με αντικατάσταση, η κυρτότητα b προκύπτει:

$$b = 0.852 (m)$$

Επίσης:

$$C_3 \cong C_{BD} = 0.898$$

Τελικώς, προκύπτει:

$$\nabla_b = 7739.885 (m^3)$$

Για την αύξηση όγκου λόγω κυτών, ισχύει ότι:

$$\nabla_H = 0$$

Αφού δεν υπάρχουν στόμια κυτών στο εν λόγω πλοίο.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, ο συνολικός όγκος ∇_U ισούται με:

$$\nabla_U = 202147.582 (m^3)$$

Το βάρος του άφορτου σκάφους W'_{ST} υπολογίζεται συναρτήσει του υπολογισμένου όγκου ∇_U , ενός συντελεστή ειδικού μοναδιαίου βάρους C'_{ST} και διαφόρων διορθώσεων:

$$W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \left[1 + 0.033 \left(\frac{L}{D} - 12\right)\right] \cdot \left[1 + 0.06 \left(n - \frac{D}{D_0}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.05 \left(1.85 - \frac{B}{D}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.2 \left(\frac{T}{D} - 0.85\right)\right] \\ \cdot [0.92 + (1 - C_{BD})^2] \cdot [1 + 0.75 \cdot C_{BD} (C_M - 0.98)]$$

Όπου:

$$D_0 = 4 (m) \ \& \ \frac{L}{D} \geq 9.$$

Οι τιμές του συντελεστή C'_{ST} $\left(\frac{ton}{m^3}\right)$ είναι συνάρτηση του τύπου του σκάφους:

Για δεξαμενόπλοια (περιοχή μήκους 150 – 350):

$$C'_{ST} = [0.112 + L(m) \cdot 10^{-4}] \cdot (0.95 \div 1.05)$$

$$C'_{ST} = 0.1355$$

Με αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο, προκύπτει:

$$\left[1 + 0.033 \left(\frac{L}{D} - 12\right)\right] = 0.967$$

$$\left[1 + 0.06 \left(n - \frac{D}{D_0}\right)\right] = 0.739$$

$$\left[1 + 0.05 \left(1.85 - \frac{B}{D}\right)\right] = 0.992$$

$$\left[1 + 0.2 \left(\frac{T}{D} - 0.85\right)\right] = 0.97$$

$$[0.92 + (1 - C_{BD})^2] = 0.93$$

$$[1 + 0.75 \cdot C_{BD} (C_M - 0.98)] = 1.010$$

Επομένως, προκύπτει:

$$W'_{ST} = 17710.617 (t)$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST} του πλοίου, που υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ανωτέρω τύπο, πρέπει να προσαυξηθεί κατά 0.4 - 0.7% λόγω της βολβοειδούς πλώρας. Λόγω του όγκου του πλοίου επιλέγεται προσαύξηση κατά 0.6% του βάρους μεταλλικής κατασκευής και επομένως, έχουμε:

$$W_{ST2} = 17816.880 (t)$$

➤ **Συνολική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής Wst**

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους εκτίμησης του βάρους μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, παρουσιάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής WST (t)
Μέθοδος Watson	16924.817
Μέθοδος Schneekluth	17816.880
Τελική Τιμή	17370.849

Πίνακας 6.4.5: Συγκεντρωτική εκτίμηση βάρους μεταλλικής κατασκευής WST.

Για την τελική εκτίμηση του βάρους μεταλλικής κατασκευής WST λήφθηκε η μέση τιμή των ανωτέρω μεθόδων και προκύπτει ότι:

$$W_{ST} = 17370.849 (t)$$

6.4.2 Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού Wot

– Προσεγγιστικός τύπος (προκαταρτική φάση μελέτης)

Σύμφωνα με τον κ. Απόστολο Παπανικολάου, η πρώτη εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT γίνεται με τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο στη φάση της προκαταρτικής μελέτης:

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

Όπου:

$$\begin{aligned} K_{OT} &= 0.28 \frac{t}{m^2} \text{ για δεξαμενόπλοια } L \cong 150 m \\ &= 0.17 \frac{t}{m^2} \text{ για δεξαμενόπλοια } L \cong 300 m \end{aligned}$$

Για την επιλογή του συντελεστή K_{OT} , γίνεται γραμμική παρεμβολή για $L_{PP}=235.371 (m)$ και επομένως προκύπτει:

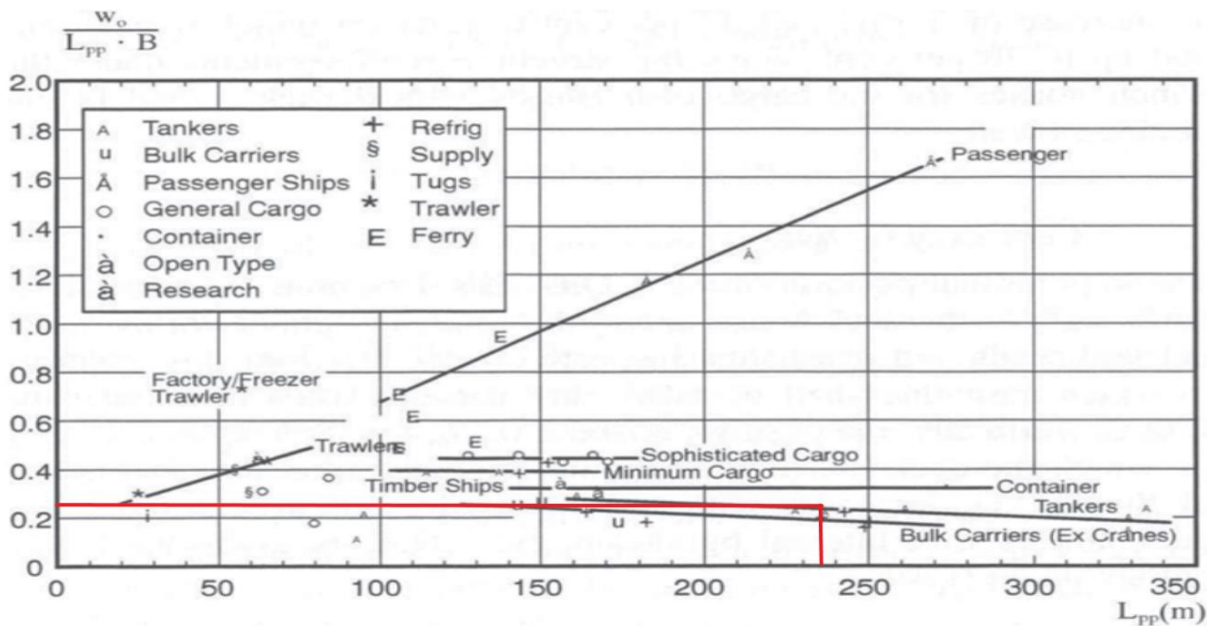
$$K_{OT} = 0.217 \left(\frac{t}{m^2} \right)$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$W_{OT1} = 2429.033 (t)$$

– Εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού Wot με βάση το διάγραμμα Watson

Η 2η εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT, γίνεται με βάση τον λόγο βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson, όπου θα επιλεγεί η καμπύλη που αντιστοιχεί σε δεξαμενόπλοια και για το δεδομένο L_{PP} :



Διάγραμμα 6.4.6 Ο λόγος του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού προς $L \cdot B$ συναρτήσει του μήκους L κατά Watson. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Από το διάγραμμα, προκύπτει ότι:

$$\frac{W_o}{L_{PP} \cdot B} = 0.24$$

Και με αντικατάσταση προκύπτει:

$$W_{OT2} = 2429.033 \text{ (t)}$$

– Εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} κατά Strohbusch

Η 3η εκτίμηση περιλαμβάνει τη μέθοδο υπολογισμού των βαρών που συνθέτουν το W_{OT} αφότου πραγματοποιηθεί ανάλυση των μεγαλύτερων ομάδων σε επιμέρους βάρη. Υπολογίζεται με βάση τις αντίστοιχες κατασκευαστικές οδηγίες του Ναυπηγείου ή πληροφορίες των προμηθευτών. Η κάθε μία ομάδα που θα αναλυθεί, περιλαμβάνει ένα συντελεστή βαρύτητας w_i όπου εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος του καθώς και την ποιότητα ενδιαίτησης και τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρει. Έχοντας, λοιπόν, τον συντελεστή βαρύτητας για κάθε ομάδα, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

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

Σύμφωνα με τον Απόστολο Δ. Παπανικολάου, καθώς και η εφαρμογή συστημάτων μηχανοργάνωσης της παραγωγής, που επιτρέπει σήμερα την καταγραφή και ταξινόμηση των επί μέρους στοιχείων με σχετική ευκολία, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} μπορεί να χωριστεί στις επιμέρους κατηγορίες που επισυνάπτονται στον υπολογισμό του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού του πατρικού πλοίου.

Με βάση την ομαδοποίηση των βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το εύρος των συντελεστών βάρους καθώς γίνεται και ο υπολογισμός του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού για κάθε ομάδα (για δεξαμενόπλοια):

Ομάδα	Βάρους w_i	Εύρος Τιμών	Επιλογή Τιμής	W_{OTi} (t)
I		0.5 - 1	0.75	162.442
Π1		-	-	0
Π2		1 - 2	1.5	324.883

III	1 - 2	1.5	324.883
IV	2.5 - 5	3.75	812.208
V	1.5 - 2	1.75	379.030
VI	0 – 0.1	0.05	10.8294
VII	0.3 - 0.5	0.4	86.6355
VIII1	-	-	0
VIII2	1.5 - 2	1.75	379.030
IX	1 - 1.5	1.25	270.736
Σύνολο:			2750.678

Πίνακας 6.4.7: Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT για δεξαμενόπλοια. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Επομένως, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, με την μέθοδο του E. Strohbusch, το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού που προκύπτει είναι η εξής τιμή:

$$W_{OT3} = \sum_{i=1}^{IX} W_{OTi} \Rightarrow W_{OT3} = 2750.678 (t)$$

➤ Συνολική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού Wot

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους εκτίμησης του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού του πλοίου, παρουσιάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού WOT (t)
Μέθοδος Εμπειρικού Τύπου	2196.251
Μέθοδος - Διάγραμμα Watson	2429.033
Μέθοδος E. Strohbusch	2750.678
Τελική Τιμή	2599.144

Πίνακας 6.4.8: Συγκεντρωτική εκτίμηση βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT.

Επομένως, η συνολική εκτίμηση του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού WOT, που προκύπτει από τη μέση τιμή των παραπάνω μεθόδων είναι:

$$W_{OT} = 2458.654 (t)$$

6.4.3 Υπολογισμός βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Ανάλυση W_M :

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

– Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M με βάση τον τύπο Watson-Gilfillan

Σύμφωνα με τον προσεγγιστικό τύπο των Watson – Gilfillan, ισχύει ότι:

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

Όπου:

- P_B [kW] : ισχύς πέδης κύριας μηχανής
- $C_{MD} = 0.3 - 0.5$ (αργόστροφες Δήζελ)

Η ισχύς πρόωσης του πατρικού πλοίου ισούται με:

$$P_B = 13682.214 \text{ [kW]}$$

Για την τιμή του συντελεστή C_{MD} επιλέγεται η μέση τιμή, δηλαδή:

$$C_{MD} = 0.4$$

Με αντικατάσταση, στον παραπάνω τύπο, προκύπτει:

$$W_{M1} = 1919.726 (t)$$

– Εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M με τη μέθοδο Strohbusch

Για την 2η εκτίμηση, χρησιμοποιείται η μέθοδος του Strohbusch, όπου δίνεται μια σειρά εμπειρικών συντελεστών βάρους w για τον υπολογισμό του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M (επιλέγεται η μέση τιμή των διαφόρων συντελεστών) για το υπό μελέτη πλοίο.

Συντελεστής:	Εύρος Τιμών:	Τιμή Συντελεστή	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$
$w_1 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	3-5	4	0.004
$w_2 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	25-35	30	0.03
$w_3 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	4	4	0.004
$w_4 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	Αργόστροφη νηξελομηχ. 30-40	35	0.035
$w_5 \left[\frac{kp}{m^3}\right]$	55-60	57	0.057

Πίνακας 6.4.9: Τιμή συντελεστών βαρών μηχανολογικής εγκατάστασης για δεξαμενόπλοια κατά Strohbusch. (Πηγή: Apostolos Papanikolaou, 2014)

Για την ισχύ πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου έχουμε τα εξής στοιχεία:

$$W = 13682.214 [kW] = 18348.15 [HP]$$

Για τον βαθμό απόδοσης του άξονα έχουμε: $n_s = 0.98$

$$SHP = SHP_{engine} \cdot n_s \Rightarrow SHP = 17981.188 [HP]$$

Αντικαθιστώντας στους ορισμούς των συντελεστών w , προκύπτουν τα διάφορα βάρη της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M , όπου:

$$w_1 = \frac{W_{MR}}{L \cdot B \cdot D} \Rightarrow W_{MR} = 607.258 (t)$$

Επίσης ισχύει ότι:

$$w_2 = \frac{W_{MR}}{SHP} \Rightarrow W_{MR} = 539.436 (t)$$

Τελικώς, επιλέγεται η μέση τιμή αυτών, δηλαδή:

$$W_{MR} = \frac{607.258 + 539.436}{2} = 573.347 (t)$$

Ακόμη:

$$w_3 = \frac{W_{MS}}{SHP} \Rightarrow W_{MS} = 71.925 (t)$$

Για το w_4 , δίνεται:

$$w_4 = \frac{W_{MM}}{SHP} \Rightarrow W_{MM} = 629.342 (t)$$

Και τέλος έχουμε:

$$w_5 = \frac{W_M}{SHP} \Rightarrow W_M = 1024.928 (t)$$

Επίσης, για τον υπολογισμό του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

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

$$W_M = 1274.613 (t)$$

Επομένως, το τελικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M , της παραπάνω μεθόδου είναι:

$$W_{M2} = 1149.771 (t)$$

– Εκτίμηση συναρτήσεων του βάρους της κύριας μηχανής με τη μέθοδο Watson & Gilfillan

Κατά Watson & Gilfillan, το συνολικό βάρος δηζελοκίνητων εγκαταστάσεων μπορεί να προσεγγισθεί ως εξής:

$$W_M = W_{MM} + W_{MREST}$$

Όπου:

$$W_{MM} = \frac{12}{N} \left(\frac{MCR_1}{RPM_1} + \frac{MCR_2}{RPM_2} + \dots + \frac{MCR_N}{RPM_N} \right), \text{ όπου:}$$

MCR_i: ισχύς MCR κινητήρα i, RPM_i: στροφές κινητήρα i, N: αριθμός κινητήρων

$$W_{MREST} = C_m (MCR)^{0.70}, \text{ όπου:}$$

C_m=0.72 (tankers)

Για το πατρικό πλοίο έχουμε Specified - MCR= 13500 kW at 87 RPM και επομένως προκύπτει:

$$W_{MREST} = 560.488 (t)$$

Από τη βάση δεδομένων θα υπολογιστεί το W_{MM}, το οποίο ισούται με:

$$W_{MM} = 964.638 (t)$$

Τελικώς, προκύπτει:

$$W_{M3} = 1525.126 (t)$$

– Εκτίμηση συναρτήσεων βάρους της κύριας μηχανής με τη μέθοδο Schneekluth

Για άμεσες αργόστροφες δηζελοκίνητες εγκαταστάσεις το βάρος W_M υπολογίζεται ως εξής:

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

Όπου:

- W_{MM}: βάρος κύριας μηχανής [t]
- Στο υπό μελέτη πλοίο, η κύρια μηχανή που είναι εγκατεστημένη είναι η MAN 6G60ME – C9,5 – HPSCR (6 cylinders). Παρατηρείται στο εγχειρίδιο των χαρακτηριστικών του μοντέλου της κύριας μηχανής, ότι το βάρος της μηχανής είναι:

$$W_{MM} = 423.1 (t)$$

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$W_{M4} = 1100.06 (t)$$

➤ Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τις επιμέρους μεθόδους εκτίμησης του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M:

Μέθοδος Εκτίμησης	Τιμή Βάρους (t)
Watson-Gilfillan	1919.726
Strohbusch	1149.771
Watson & Gilfillan (όμοια πλοία)	1525.126
Schneekluth	1100.06
Τελική Τιμή	1423.67

Πίνακας 6.4.10: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M.

Για την τελική εκτίμηση του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_M λήφθηκε η μέση τιμή των ανωτέρω μεθόδων και προκύπτει ότι:

$$W_M = 1423.67 (t)$$

6.5 Συνολική εκτίμηση βάρους άφορτου πλοίου $W_{Lightship}$ του υπό μελέτη πλοίου

Σύμφωνα με τις παραπάνω προσεγγίσεις των επιμέρους βαρών του πλοίου, παρακάτω υπολογίζεται το βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου για το υπό μελέτη πλοίο:

Ομάδα Βάρους	Τιμή Βάρους (t)
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	17370.849
Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	2458.654
Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	1423.67
Βάρος Άφορτου Πλοίου	21253.173

Πίνακας 6.10: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτιμήσεων βαρών του υπό μελέτη πλοίου καθώς και η εκτίμηση του άφορτου πλοίου.

Το βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου πλοίου προκύπτει από την εξής σχέση:

$$W'_{LS} = W_{ST} + W_{OT} + W_M \Rightarrow$$

$$W'_{LS} = 21253.173 (t)$$

Όμως σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει η διόρθωση με βάση τον συντελεστή λ , που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και επομένως προκύπτει η τελική τιμή του βάρους του άφορτου - πλήρως εξοπλισμένου του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$\lambda = -0.049 \text{ ή } -4.9\%$$

Οπότε προκύπτει:

$$W_{LS} = W'_{LS} \cdot 0.951 \Rightarrow$$

$$W_{LS} = 20211.768 (t)$$

Επομένως, σε αυτό το σημείο θα γίνει επαναπροσδιορισμός των επιμέρους βαρών που καταλαμβάνουν στο συνολικό βάρους του άφορτου, αλλά πλήρως εξοπλισμένου πλοίου. Συνεπώς, έχουμε:

Ομάδα Βάρους	Τιμή Βάρους (t)
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	16519.677
Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού W_{OT}	2338.18
Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	1353.91
Βάρος Άφορτου Πλοίου	20211.768

Πίνακας 6.11: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτιμήσεων βαρών του υπό μελέτη πλοίου καθώς και η εκτίμηση του άφορτου πλοίου.

Κεφάλαιο 7: Έλεγχος εκτόπισματος Δ

Όπως υπολογίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ που προκύπτει από βασικές διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$\Delta_{\text{γεωμ.}} = 137891.895(t)$$

Εξίσωση εκτόπισματος:

$$\Delta = W_{LS} + DWT$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\Delta = 136211.768(t) < \Delta_{\text{γεωμ.}}$$

Η διαφορά των εκτοπισμάτων, ανάμεσα στο γεωμετρικό και αυτό που προκύπτει από την παραπάνω σχέση, είναι:

$$E\% = \frac{\Delta_{\text{γεωμ.}} - \Delta}{\Delta_{\text{γεωμ.}}} \cdot 100 \Rightarrow$$

$$E\% = \frac{137891.895 - 136211.768}{137891.895} \cdot 100$$

$$E\% = 1.218$$

Δεδομένου ότι η διαφορά - ανοχή που προκύπτει είναι εντός ορίων $R = 1 - 3\%$, μπορούμε να προχωρήσουμε στην επόμενη φάση, χωρίς καμία διόρθωση στα παραπάνω.

7.1 Τελικά χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου

Βασικές Διαστάσεις Πλοίου:			
Μήκος Μεταξύ Καθέτων	$L_{pp} =$	235.371	(m)
Πλάτος	$B =$	43	(m)
Κοίλο	$D =$	21.4	(m)
Βύθισμα	$T =$	15	(m)
Εκτόπισμα	$\Delta =$	137891.895	(t)
Εκτοπιζόμενος Όγκος	$V =$	134410.659	(m ³)
Πρόσθετο Βάρος	$DWT =$	116000	(t)
Βάρος Άφορτου Πλοίου	$W_{ls} =$	20211.768	(t)

Συντελεστές Πλοίου:		
Συντελεστής Γάστρας	$C_B =$	0.885
Συντελεστής Μέσης Τομής	$C_M =$	0.995
Πρισματικός Συντελεστής	$C_p =$	0.89
Συντελεστής Ισάλου Επιφανείας	$C_{wp} =$	0.924

Απαιτούμενη Ισχύς Πλοίου:			
Ταχύτητα Υπηρεσίας	$V_s =$	14.5	(kn)
Αριθμός Froude	$F_n =$	0.155	
Απαιτούμενη Ισχύς Πρόωσης	$P =$	13682.214	(kW)
Απαιτούμενη Ισχύ Γεννητριών	$P_{gen.} =$	612.015	(kW)

Πίνακας 7.1: Πίνακας χαρακτηριστικών του υπό μελέτη πλοίου.

Κεφάλαιο 8: Ανάλυση πρόσθετου βάρους DWT

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται η ανάλυση του πρόσθετου βάρους DWT στις συνισταμένες του. Ο πλοιοκτήτης συνήθως καθορίζει το ολικό πρόσθετο βάρος DWT και σπανιότερα το βάρος ωφέλιμου φορτίου WLO. Το πρόσθετο βάρος DWT αναλύεται ως εξής:

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

Όπου:

- WLO: Βάρος ωφέλιμου φορτίου,
- WF: Βάρος καυσίμων / λιπαντικών,
- WPR: Βάρος εφοδίων και νερού,
- WP: Βάρος επιβατών και αποσκευών,
- WCR: Βάρος πληρώματος,
- B: Βάρος μη μόνιμου έρματος (νερό), εφόσον απαιτείται για την επιτυχία ενός προκαθορισμένου βυθίσματος και ικανοποιητικής ευστάθειας και διαγωγής.

Επομένως, παρακάτω υπολογίζονται αναλυτικά οι επιμέρους ομάδες.

8.1 Υπολογισμός βάρους καυσίμων και λιπαντικών WF

Το βάρος καυσίμων και λιπαντικών WF αναλύεται σε WF1 και WF2, δηλαδή:

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

Όπου:

- WF1: Βάρος καυσίμων,
- WF2: Βάρος λιπαντικών.

Το βάρος καυσίμων WF1 υπολογίζει τα απαιτούμενα καύσιμα για ένα ταξίδι μετ' επιστροφής στο λιμένα αναχώρησης (χωρίς ανεφοδιασμό), εκτός αν ο πλοιοκτήτης ορίζει διαφορετικά. Τα απαιτούμενα καύσιμα μπορεί να προσεγγισθούν με βάση τον τύπο:

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

Όπου:

- PB,1: απαιτούμενη ισχύς κύριας μηχανής (ταχύτητα και συνθήκες υπηρεσίας) [kW],
- PB,2: απαιτούμενη μέση ισχύς ηλεκτρογεννητριών [kW],
- t1: χρόνος ταξιδιού μετ' επιστροφής [hrs] με βάση την υπηρεσιακή ταχύτητα και ακτίνα δράσης,
- t2: χρόνος λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών [hrs],
- b1: ειδική κατανάλωση κύριας μηχανής [gr / kW*h],
- b2: ειδική κατανάλωση βοηθητικών μηχανών - κινητήρων ηλεκτρογεννητριών [gr / kW*h],
- ηE: μέσος βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους
- C: σταθερά όπου αφορά την εφεδρεία για υπερκατανάλωση λόγω αλλαγής πορείας, απρόβλεπτης αναμονής, αρωγή σε περίπτωση ανάγκης και τα κατάλοιπα στις δεξαμενές (2 – 4 %) & C = 1.2 έως 1.4. Επιλέγεται C=1.3 .

Η αυτονομία του πλοίου εκτιμάται στα 18800 ναυτικά μίλια (Nautical Miles) και επομένως ο χρόνος ταξιδιού προκύπτει:

$$t_1 = t_2 = \frac{\text{Nautical Miles}}{Vs [kn]} = \frac{17800}{14.5}$$
$$t_1 = t_2 = 1166.2 \text{ (hrs.)} = 48.6 \text{ (days)}$$

Από τα εγχειρίδια της κύριας μηχανής και του ηλεκτροκινητήρα που φέρει το υπό μελέτη πλοίο, εξάγονται τα παρακάτω στοιχεία που θα χρειαστούν για τον υπολογισμό του βάρους καυσίμων και λιπαντικών.

Στοιχεία Κύριας Μηχανής	
Κατασκευαστική Εταιρεία	MAN
Μοντέλο Μηχανής	MAN B&W 6G60ME-C9.5
Ισχύς Μηχανής (kW)	13682.214
SFOC (gr / kWh) +7% Margin	158.9

Πίνακας 8.1.a: Πίνακας στοιχείων κύριας μηχανής.

Στοιχεία Ηλεκτροκινητήρα	
Κατασκευαστική Εταιρεία	Himsen
Μοντέλο Ηλεκτρογεννήτριας	H21/32
Ισχύς Ηλεκτρογεννήτριας (kW)	1100
SFOC (gr / kWh)	180
η_e	0.97

Πίνακας 8.1.b: Πίνακας στοιχείων ηλεκτροκινητήρα.

Οπότε, σύμφωνα με τα παραπάνω, το βάρος καυσίμων υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{F1} = \left(13682.214 \cdot 158.9 \cdot 1166.2 + \frac{1100 \cdot 180 \cdot 1166.2}{0.97} \right) \cdot 1.3 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$$

$$W_{F1} = 3605.557 \text{ (t)}$$

Όσον αφορά το βάρος του ελαίου λίπανσης, το βάρος των λιπαντικών αντιστοιχεί περίπου στα 3 – 5 % του βάρους των καυσίμων (Δηζελομηχανές). Επιλέγεται το βάρος του ελαίου λίπανσης να είναι το 4% του βάρους των καυσίμων. Επομένως, προκύπτει:

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

$$W_{F2} = 144.222 \text{ (t)}$$

Τελικώς, το βάρος καυσίμων και λιπαντικών W_F υπολογίζεται ως εξής:

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

$$W_F = 3749.779 \text{ (t)}$$

8.2 Υπολογισμός βάρους εφοδίων και νερού W_{PR}

Όπως και προηγουμένως, το βάρος εφοδίων και νερού W_{PR} , θα αναλυθεί σε επιμέρους συνιστώσες και υπολογίζεται το βάρος της κάθε ομάδας ξεχωριστά. Για τον υπολογισμό των συνιστωσών του βάρους εφοδίων και νερού, λογίζεται ότι το προσωπικό που φέρει το υπό μελέτη πλοίο είναι 28 άτομα. Οι συνιστώσες του βάρους εφοδίων και νερού W_{PR} αναλύεται στις εξής συνιστώσες:

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

Όπου:

- W_{PR1} : Βάρος φρέσκου νερού
- W_{PR2} : Βάρος εφοδίων και τροφίμων

Βάρος φρέσκου νερού W_{PR1} :

Οι ενδεικτικές τιμές του Α. Δ. Παπανικολάου, όσον αφορά την ποσότητα του φρέσκου νερού που πρέπει να φέρει το πλοίο είναι:

- Πόσιμο νερό: 10-20 kg / ανθρωποημέρα

- Καθαριότητας: 200 kg / ανθρωποημέρα, για ενδιαιτήσεις με λουτήρες (μπαγιέρες)
- Επιλέγονται οι μέσες τιμές των 2 κατηγοριών και επομένως το βάρος φρέσκου νερού προκύπτει:

$$W_{PR1} = (15 + 200) \cdot 28 \cdot 48.592 \Rightarrow$$

$$W_{PR1} = 292.524(t)$$

Βάρος Τροφίμων W_{PR2} :

Οι ενδεικτικές τιμές του Α. Δ. Παπανικολάου, όσον αφορά την ποσότητα του εφοδίων - τροφίμων που πρέπει να φέρει το πλοίο, υπολογίζεται περίπου 7 – 16 kg / ανθρωποημέρα (Επιλέγεται 12 kg / ανθρωποημέρα). Το βάρος αυτό δεν αφορά την ημερήσια κατανάλωση, αλλά και τις εφεδρείες για καθυστερήσεις ταξιδιού, αλλοιώσεις τροφίμων, καθυστερήσεις ανεφοδιασμού. Επομένως, υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{PR2} = 12 \cdot 28 \cdot 48.592 \Rightarrow$$

$$W_{PR2} = 16.327 (t)$$

Επομένως, συνολικά για το βάρος εφοδίων και νερού έχουμε:

$$W_{PR} = W_{PR1} + W_{PR2} \Rightarrow$$

$$W_{PR} = 308.850 (t)$$

8.3 Υπολογισμός βάρους πληρώματος και αποσκευών W_{CR}

Σύμφωνα με τον Α. Δ. Παπανικολάου, το βάρος επιβατών και αποσκευών W_{CR} υπολογίζεται ως εξής:

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

Όπου:

W_{CR1} : Βάρος επιβατών,

W_{CR2} : Βάρος αποσκευών των επιβατών

- Επιβάτες: 75 kg / επιβάτη,
- Αποσκευές: 60 kg / επιβάτη, μακρείς πλόες και μέλη πληρώματος.

Σύνθεση πληρώματος που θα φέρει το υπό μελέτη πλοίο	
Ειδικότητα - Βαθμός πληρώματος	Αριθμός ατόμων
A. Προσωπικό Καταστρώματος	
Πλοίαρχος Α'	1
Πλοίαρχος Β'	1
Πλοίαρχος Γ'	1
Κυβερνήτης ΔΙΠ	1
Δόκιμος Πλοίαρχος	1
Ναύκληρος	1
Ναύτης	7
Αντλίωρος	1
B. Προσωπικό Μηχανής	
Μηχανικός Α'	1
Μηχανικός Β'	1
Μηχανικός Γ'	1
Μηχανικός Β' ή Γ' ΑΝ	1
Δόκιμος Μηχανικός	1
Μηχανοδηγός	1
Χειριστής	1
Ηλεκτρολόγος	1

Γ. Προσωπικό Γενικών Υπηρεσιών	
Ραδιοτηλεγραφετής	1
Μάγειρας	1
Βοηθός Μάγειρα	2
Θαλαμηπόλος	1
Βοηθ. Θαλαμηπόλος	1
Σύνολο	28

Πίνακας 8.3: Σύνθεση πληρώματος του υπό μελέτη πλοίου.

Επομένως, ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

$$W_{CR1} = 75 \cdot 28 = 2100 \text{ (kg)} = 2.1 \text{ (t)}$$

$$W_{CR2} = 60 \cdot 28 = 1680 \text{ (kg)} = 1.68 \text{ (t)}$$

Επομένως, το συνολικό βάρος πληρώματος και αποσκευών ισούται:

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

$$W_{CR} = 3.78 \text{ (t)}$$

8.4 Υπολογισμός βάρους μη μόνιμου έρματος B

Το υπό μελέτη πλοίου, πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν απαιτεί μόνιμο έρμα σε κατάσταση πλήρους φόρτωσης (Full Load – Departure) όσον αφορά τους κανονισμούς διαμήκους αντοχής και ευστάθειας του πλοίου. Επομένως, λαμβάνεται:

$$B=0$$

8.5 Υπολογισμός βάρους ωφέλιμου φορτίου W_{LO}

Σε αυτό το σημείο, γίνεται επαναπροσδιορισμός του ωφέλιμου φορτίου που μπορεί να λάβει το πλοίο αφού έχουν υπολογιστεί τα επιμέρους βάρη που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση του DWT και δεν έχει προκαθορίσει ο πλοιοκτήτης στην αρχική εκτίμησή του. Το βάρος ωφέλιμου φορτίου υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Με αντικατάσταση, προκύπτει η εξής τιμή:

$$W_{LO} = 111937.6 \text{ (t)}$$

Κεφάλαιο 9: Έλεγχος γραμμής φόρτωσης (Load ή Plimsoll Line)

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται έλεγχος γραμμής φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου σύμφωνα με τους Κανονισμούς Γραμμής Φόρτωσης (Load Line Convention), που έχουν δημοσιευτεί στο ΦΕΚ Α 125 / 1968 (Έκδοση 2016).

9.1 Υπολογισμός βασικού ύψους εξάλων (B.Y.E.)

Σύμφωνα με το ΦΕΚ Α 125 / 1968 (Έκδοση 2016), το υπό μελέτη πλοίο ανήκει στην Κατηγορία Α για τον υπολογισμό του βασικού ύψους εξάλων. Από τον πίνακα της Διεθνούς Σύμβασης Γραμμής Φορτώσεως για τα πλοία Κατηγορίας Α, με βάση το μήκος του πλοίου, το βασικό ύψος εξάλων προκύπτει:

Μήκη (L)	Βασικό Ύψος Εξάλων (B.Y.E.) (mm)
235	2910
236	2918

Πίνακας 9.1: Βασικό ύψος εξάλων. (Πηγή: Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης, [document_k6rk1Bj.pdf \(ynanp.gr\)](#))

Κάνοντας γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στα 2 μήκη πλοίου, για το υπό μελέτη πλοίο με μήκος $L_{PP}=235.371$ (m), το βασικό ύψος εξάλων προκύπτει:

$$\mathbf{B.Y.E.=2913 \text{ (mm)}}$$

Το βασικό ύψος εξάλων, σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης, υπόκειται σε κάποιες διορθώσεις σύμφωνα με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

– Διόρθωση για τον συντελεστή γάστρας:

Το βασικό ύψος εξάλων προκύπτει από συντελεστή γάστρας σε ύψος $0.85D$, με τιμή $C_{B(0.85D)} = 0.68$. Συνεπώς, για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει:

$$C_{B(0.85D)} = C_B \cdot \left(\frac{0.85D}{T} \right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = 0.885 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot 21.4}{15} \right)^{\frac{0.924}{0.885} - 1} \Rightarrow \\ C_{B(0.85D)} = 0.892 > 0.68$$

Επομένως, σύμφωνα με τον κανονισμό, απαιτείται διόρθωση:

$$YE = BYE \cdot K, \text{ όπου:}$$

$$- K = \frac{C_{B(0.85D)} + 0.68}{1.36} = \frac{0.892 + 0.68}{1.36} = 1.156$$

Άρα, με αντικατάσταση προκύπτει η εξής διόρθωση:

$$YE_1 = 2913 \cdot 1.156 \Rightarrow YE_1 = 3367.428 \text{ (mm)}$$

– Διόρθωση για το πλευρικό ύψος D_f :

Για το υπό μελέτη πλοίο, το πάχος ελάσματος της υδρορροής είναι $t_f=17$ (mm). Πλευρικό ύψος D_f θεωρείται το ύψος στην πρύμνη, όπου είναι πιο χαμηλό σε σχέση με το κύριο κατάστρωμα. Επομένως, το πλευρικό ύψος προκύπτει:

$$D_f = D + t_f = 21.4 + 0.017 = 21.417 \text{ (m)}$$

Ακόμη, έχουμε:

$$\frac{L_{\Gamma\Phi}}{15} = \frac{235.371}{15} = 15.691 \text{ (m)}$$

Επομένως, προκύπτει:

$$D_f > \frac{L_{\Phi\Gamma}}{15}$$

Και σύμφωνα με τον κανονισμό, θα πρέπει να γίνει η εξής προσαύξηση:

$$YE = \left(D_f - \frac{L_{\Phi\Gamma}}{15} \right) \cdot R, \text{ όπου:}$$

$$- R=250 \text{ (mm) αφού } L>120 \text{ (m)}$$

Με αντικατάσταση, έχουμε:

$$YE_2 = 1431.5 \text{ (mm)}$$

- Διόρθωση για υπερκατασκευές και πυργωτά υπερκατασκευάσματα:

Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει πρόστεγο και επομένως σύμφωνα με τους κανονισμούς, υπόκειται σε έλεγχο για το ελάχιστο ύψος πλώρας. Αφού το μήκος του υπό μελέτη πλοίου είναι $L_{pp}=235.371$ (m), ο τύπος που υπολογίζεται το ελάχιστο ύψος πλώρας είναι ο εξής:

$$F_B \geq 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500} \right) \cdot \frac{1.36}{C_B + 0.68} = 56 \cdot 235.371 \cdot (1 - 0.4707) \cdot \frac{1.36}{1.565} \Rightarrow$$

$$F_B \geq 6062.652 \text{ (mm)}$$

Στο υπό μελέτη πλοίο, το ύψος εξάλων υπολογίζεται ως εξής:

$$(D_f - T_{design}) + h_{\text{προστ.}} = (21.417 - 15) + 2.65 = 9067 \text{ (mm)} > F_B$$

Επομένως, το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τον παραπάνω κανονισμό περί ελαχίστου ύψους πλώρας και δεν απαιτείται καμία διόρθωση στο πρόστεγο.

Σε συνέχεια των παραπάνω, υπολογίζεται το συνολικό δρών μήκος των υπερκατασκευών και των πυργωτών υπερκατασκευών (E). Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μόνο υπερκατασκευές, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

Υπερκατασκευές	Μήκος l (m)	Ύψος h (m)	hs (m)	Πλάτος B (m)	b (m)	lE (m)
A Deck	24.817	2.756	2.3	43	43	29.737
Πρόστεγο (Forecastle)	14.969	2.656	2.3	19.45	19.45	17.286

Πίνακας 9.2 - Απεικόνιση: Διαστάσεις υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου.

Ο τύπος για τις υπερκατασκευές είναι ο εξής:

$$l_{Ei} = l_i \cdot \frac{b_i}{B_i} \cdot \frac{h_i}{h_s}, \text{ όπου:}$$

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

Ο κανονισμός ορίζει πως για το υπό μελέτη πλοίο με μήκος $L_{pp}=235.371$ (m) > 125 (m), το κανονικό ύψος των υπερκατασκευών πρέπει να είναι $h_s=2.3$ (m). Επίσης, το πλάτος των υπερκατασκευών εκτείνεται σε όλο το πλάτος του πλοίου.

Επομένως, προκύπτει:

$$E = \sum l_{Ei} = 47.023$$

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του λόγου E/L:

$$\frac{E}{L} = \frac{l_{E1} + l_{E2}}{L} = \frac{29.737 + 17.286}{235.371} \Rightarrow$$

$$\frac{E}{L} = 0.2 \Rightarrow E = 0.2 \cdot L$$

Σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση, αν το δρών μήκος των υπερκατασκευών του πλοίου ήταν 1.0L, τότε ισχύει ότι για το υπό μελέτη πλοίο με μήκος $L_{pp}=235.371 > 122$ (m) υπάρχει μείωση του ύψους εξάλων κατά 1070 (mm). Εφόσον, το δρών μήκος που βρέθηκε απέχει αρκετά από το 1.0L του κανονισμού, ο υπολογισμός της μείωσης του ύψους εξάλων γίνεται με τον εξής πίνακα:

Δρών Μήκος E	Ποσοστό Μείωσης (Α Κατηγορία)
0	0
0.1L	7
0.2L	14
0.3L	21
0.4L	31
0.5L	41
0.6L	52
0.7L	63
0.8L	75.3
0.9L	87.7

Πίνακας 9.3: Ποσοστά μείωσης του ύψους εξάλων για κάθε δρών μήκος. (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Επομένως, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, το ποσοστό μείωσης του ύψους των εξάλων προκύπτει ότι είναι ίσο με 14%. Επομένως, η μείωση του ύψους των εξάλων των υπερκατασκευών είναι ίση με:

$$Y_{E3} = -1070 \cdot \left(\frac{14}{100}\right) \Rightarrow Y_{E3} = -149.8 \text{ (mm)}$$

– Διόρθωση για σιμότητα:

Το υπό μελέτη πλοίο, όπως και το πατρικό, έχουν μηδενική σιμότητα τόσο στο πρωραίο όσο και το πρυμναίο τμήμα. Δηλαδή:

$$M_{SF} = 0$$

$$M_{SA} = 0$$

Επομένως, η σιμότητα στο υπό μελέτη πλοίο ισούται με:

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

Στη συνέχεια, γίνεται ο υπολογισμός του μέτρου της κανονικής σιμότητας του υπό μελέτη πλοίου:

$$M_N = 12.5663 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 12.5663 \cdot \left(\frac{235.371}{3} + 10\right) = 1111.577 \text{ (mm)}$$

Η διόρθωση λόγω σιμότητας βρίσκεται από τη σχέση (S: το πραγματικό μήκος των υπερκατασκευών):

$$Y_{E4} = (M_N - M_S) \cdot \left(0.75 - \frac{S}{2L}\right) = (1111.577 - 0) \cdot \left(0.75 - \frac{39.786}{2 \cdot 235.371}\right) \Rightarrow$$

$$Y_{E4} = 739.732 \text{ (mm)}$$

➤ Τελικό ύψος εξάλων:

Το τελικό ύψος εξάλων του υπό μελέτη πλοίου είναι ίσο με:

$$Y_{E_{\text{Τελ}}} = Y_{E1} + Y_{E2} + Y_{E3} + Y_{E4} \Rightarrow$$

$$Y_{E_{\text{Τελ}}} = 5388.86 \text{ (mm)} = 5.38886 \text{ (m)}$$

➤ Μέγιστο έμφορτο βύθισμα:

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα του υπό μελέτη πλοίου ισούται με:

$$T_{max} = D_F - Y_{E_{\text{Τελ}}} = 21.417 - 5.38886 = 16.028 \text{ (m)} > T_{Design} = 15 \text{ (m)}$$

Εφόσον το μέγιστο βύθισμα είναι μεγαλύτερο του βυθίσματος σχεδίασης, η προμελέτη είναι αποδεκτή έως αυτό το σημείο και μπορεί να συνεχιστεί. Το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τη Διεθνή Σύμβαση της Γραμμής Φόρτωσης και είναι αποδεκτό ως προς το απαιτούμενο ύψος πλώρας. Επίσης, η χάραξη των γραμμών φόρτωσης γίνεται σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση της Γραμμής Φόρτωσης.

Κεφάλαιο 10: Ανάπτυξη ναυπηγικών γραμμών και τρισδιάστατου μοντέλου

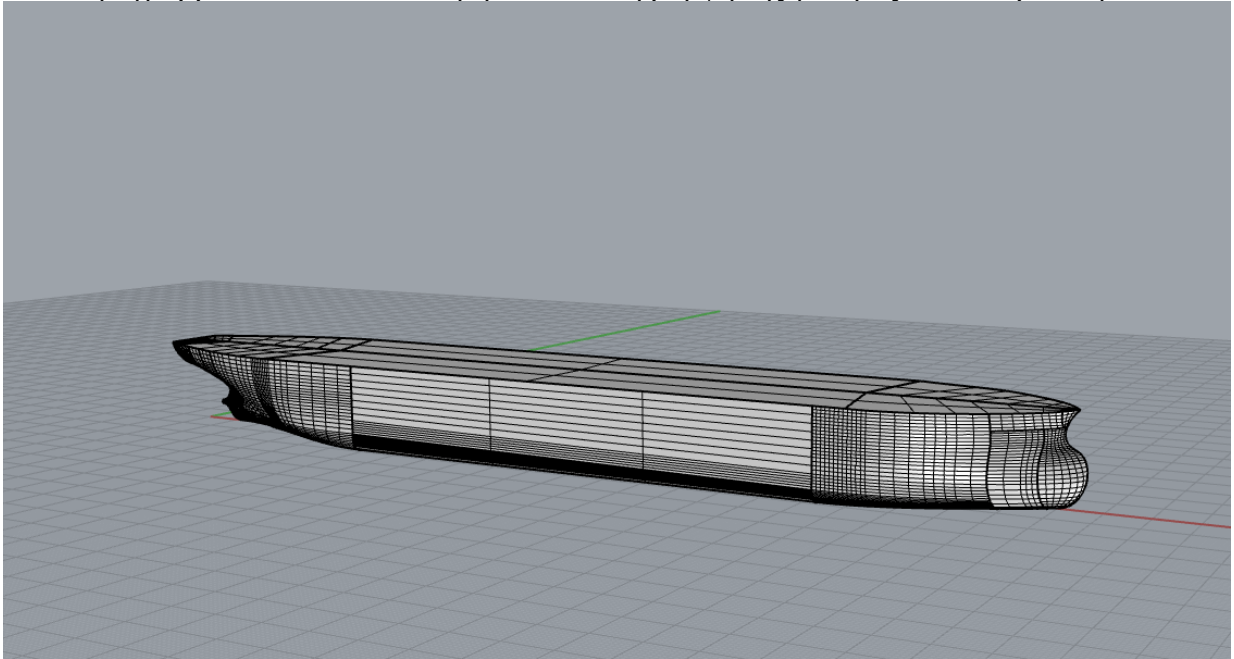
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ανάπτυξη του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών καθώς και το τρισδιάστο μοντέλο της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου με τη χρήση του προγράμματος *Rhinoceros 3D*. Αρχικά, το σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* κυρίως αποτελεί ένα μοντέλο επιφανειών ελεύθερας μορφής χρησιμοποιώντας το μαθηματικό μοντέλο NURBS. Το *Rhinoceros 3D*, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα προγράμματα πλεονεκτεί στην προσαρμοστικότητα της διεπαφής του χρήστη καθώς και στο να προσαρμόζει τις εντολές και το μενού σύμφωνα με τις ανάγκες του. Ακόμη, η εταιρεία που διαχειρίζεται το *Rhinoceros 3D* (*McNeel*) καθώς και άλλες εταιρείες με σχεδιαστικά προγράμματα επιθυμούν να συμπληρώσουν και να επεκτείνουν τις δυνατότητες τους σε αρκετούς τομείς πχ. απόδοση και κινούμενα σχέδια, αρχιτεκτονική, ναυτιλία, μηχανική, δημιουργία προτύπων κ.α. Για την κατασκευή των ανωτέρω χρησιμοποιήθηκε σχέδιο ναυπηγικών γραμμών από ένα άλλο δεξαμενόπλοιο (2ο πατρικό πλοίο), παρόμοιου τύπου δηλαδή Aframax Tanker.

10.1 Σχεδίαση ναυπηγικών γραμμών και γάστρας

Με χρήση του προγράμματος *Rhinoceros 3D*, προσαρμόστηκαν καταλλήλως τα σχέδια των ναυπηγικών γραμμών από το 2ο πατρικό πλοίο ώστε να εισαχθούν στο πρόγραμμα και επομένως παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης:

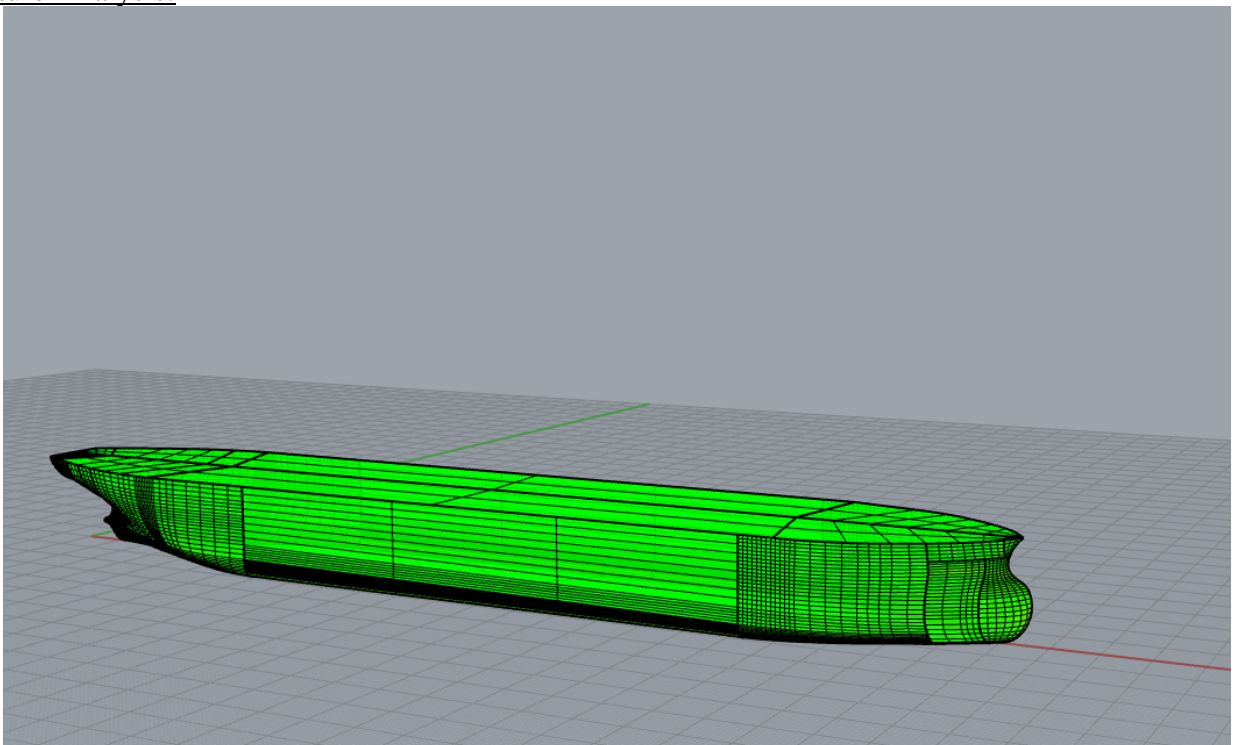
1. Προετοιμασία σχεδίασης: Ξεκινώντας τη σχεδίαση και χωρίς καμία προηγούμενη επεξεργασία εκκινώντας το λογισμικό σχεδίασης *Rhinoceros 3D* και ορισμός της μονάδας μέτρησης στο πρόγραμμα,
2. Πρωταρχικό βήμα είναι η εισαγωγή των εικόνων στο κατάλληλο view plane και ορισμός αρχής αξόνων σε κάθε φωτογραφία,
3. Μετακίνηση εικόνων στη αρχή των αξόνων και Scaling αυτών με την εντολή ScaleNU σύμφωνα με τους λόγους των βασικών διαστάσεων ανάμεσα στο πατρικό και στο υπό μελέτη πλοίο,
4. Σχεδιασμός των νομέων-offsets με την εντολή curve με start Tangent σε ξεχωριστά Layers, ελέγχοντας την καμπυλότητα αυτών (CurvatureGraph) και όπου απαιτείται γίνεται εξομάλυνση (Fair),
5. Σχεδιασμός της καρίνας του πλοίου καθώς και σχεδιασμός των ισάλων και μετακίνηση καθ' ύψος,
6. Αφού ολοκληρωθεί η γάστρα του πλοίου, δημιουργώντας κατακόρυφες γραμμές ανά σταθμό και ολοκληρώνεται η μετακίνηση νομέων κατά το διάμηκες του σκάφους,
7. Έπειτα γίνεται ο σχεδιασμός και η εξομάλυνση της γραμμής καταστρώματος,
8. Αναπροσαρμογή νομέων σύμφωνα με τη γραμμή καταστρώματος και πραγματοποιείται ολοκλήρωση της γάστρας με την συμμετρική εντολή Mirror ως προς τη Center Line,
9. Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται έλεγχος καμπυλών σε όλα τα σημεία χωρίς να υπάρχουν ασυνέχειες αλλά ούτε περιέργες καμπυλότητες αφού θα πρέπει να έχει προηγηθεί ένας έλεγχος συμβατότητας με τις βασικές καμπύλες του πλοίου καθώς και τυχόν διορθώσεις που θα προκύψουν, θα σχεδιαστούν οι επιφάνειες του υπό μελέτη πλοίου για να προκύψει το τρισδιάστατο μοντέλο του πλοίου μας με συνέχεια εφαπτομενικού επιπέδου (G^1).
10. Δημιουργία επιφανειών (Surface) με χρήση της εντολής Curve Network, σχηματίζοντας τετράπλευρα ώστε η επιφάνεια να σχεδιαστεί ομαλά και ομοιόμορφα και ένωση μεταξύ τους με την εντολή Join,
11. Ακόμη, υλοποιείται έλεγχος για ελεύθερες επιφάνειες-«naked edges» ώστε να εντοπιστούν ασυνέχειες καθώς και να πραγματοποιηθεί ένωση μεταξύ των ασυνεχειών ομοιόμορφα.
12. Έλεγχος των διάκενων μεταξύ “δύσκολων” επιφανειών (πχ. πλώρη, πρύμνη) με την εντολή ShowEdges και ένωση των παραπάνω διακένων με την εντολή JoinEdges ώστε να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα της γάστρας του πλοίου.
13. Τέλος, αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος για ελεύθερες επιφάνειες, γίνεται ανάλυση της καμπυλότητας του υπό μελέτη πλοίου με τον σχεδιασμό διαφόρων γραφημάτων όπως πχ. Curvature Analysis, Zebra Analysis κλπ. με στόχο να γίνει εντοπισμός σημείων με ανομοιομορφίες και ατέλειες που απεικονίζονται στη γάστρα.

Το Body Plan απεικονίζεται στο Παράρτημα Β της παρούσας εργασίας. Παρακάτω απεικονίζεται, στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*, η τρισδιάστατη μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου:



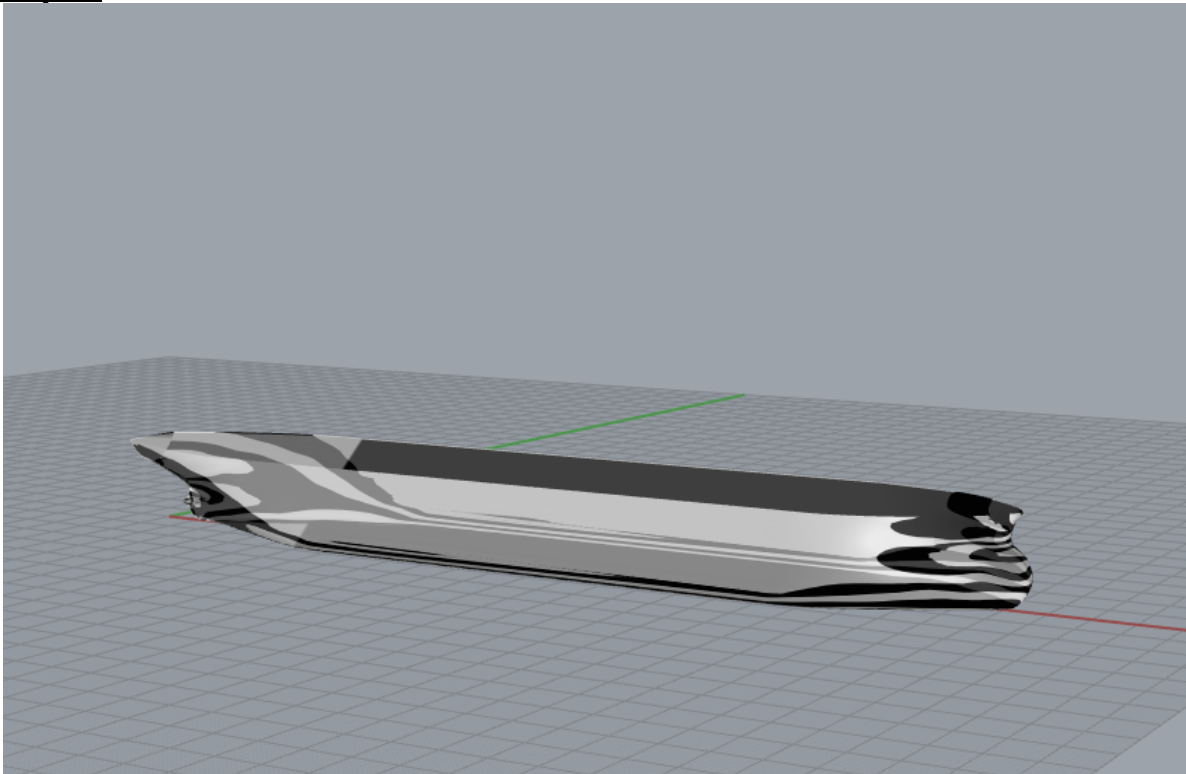
Εικόνα 11.1: 3D γεωμετρία του υπό μελέτη πλοίου. (Πηγή: Rhino 3D)

Curvature Analysis:



Εικόνα 11.2: Curvature analysis. (Πηγή: Rhino 3D)

Zebra Analysis:



Εικόνα 11.3: Zebra analysis. (Πηγή: Rhino 3D)

Με τη χρήση κάποιων βασικών εργαλείων, που περιέχει το *Rhinoceros 3D*, πραγματοποιείται ο υπολογισμός των βασικών υδροστατικών μεγεθών του υπό μελέτη πλοίου και για βύθισμα $T=15$ (m):

- ◆ *Volume Displacement* $\nabla = 131760$ (m^3)
- ◆ *Longitudinal Center of Buoyancy LCB* = 127.841 (m)
- ◆ *Vertical Center of Buoyancy VCB* = 7.71456 (m)
- ◆ *Wetted Surface Area Sw* = 15621.7 (m^2)
- ◆ *Waterline Length Lw* = 246.126 (m)
- ◆ *Maximum Waterline Beam Bw(max)* = 43 (m)
- ◆ *Water Plane Area Aw* = 9345.12
- ◆ *Longitudinal Center of Floatation LCF* = 120.954 (m)
- ◆ *Vertical Center of Floatation VCF* = 15 (m)

Προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης της γάστρας του πλοίου, υπολογίζεται η απόκλιση του όγκου εκτοπίσματος ανάμεσα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* και στην εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω. Επομένως, προκύπτει ότι:

$$\delta\nabla = \left| \frac{\nabla_{act.} - \nabla_{est.}}{\nabla_{act.}} \right| = \left| \frac{131760 - 134410.659}{131760} \right| = 0.02 \text{ ή } 2\%$$
$$\delta\nabla\% = 2 < 5\%$$

Επομένως, η σχεδιασμένη γάστρα του υπό μελέτη πλοίου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D* είναι αποδεκτή και η μελέτη μπορεί να προχωρήσει.

Κεφάλαιο 11: Διαμερισματοποίηση και έλεγχος χωρητικότητας φορτίου

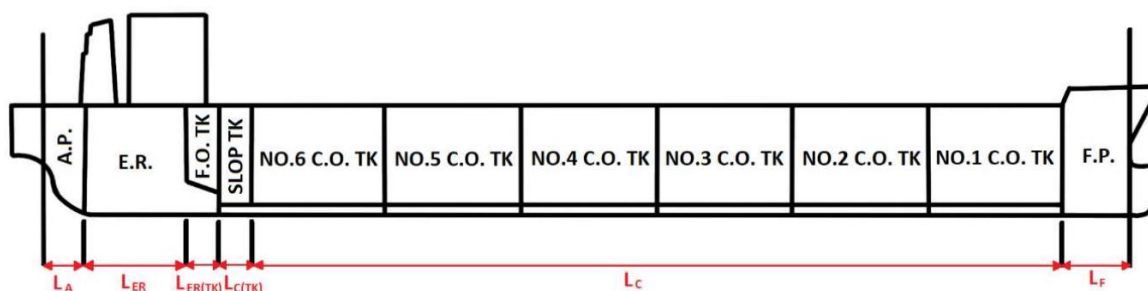
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει η διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα με το πατρικό και θα γίνει και έλεγχος χωρητικότητας των δεξαμενών φορτίου (Cargo Tanks) και έρματος (Ballast Tanks) σε σχέση με τον όγκο που έχουν οι δεξαμενές καθώς και τη θέση τους στο πλοίο. Επίσης, περιλαμβάνεται η συνολική διαμερισματοποίηση του πλοίου.

11.1 Διαμερισματοποίηση πλοίου

Η διαμερισματοποίηση του πλοίου θα γίνει σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του πατρικού και σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς στους οποίους υπόκειται το υπό μελέτη πλοίο. Αργότερα, αφού ολοκληρωθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση του πλοίου και με χρήση του ναυπηγικού προγράμματος MaxSurf, πραγματοποιείται η τρισδιάστατη απεικόνιση της διαμερισματοποίησης του πλοίου. Επομένως, σε αυτό το σημείο, η προσεγγιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται ενδέχεται να έχει κάποιες αποκλίσεις από την ακριβέστερη μέθοδο που ακολουθεί με τη χρήση του MaxSurf. Παρακάτω, επεξηγούνται κάποιες βασικές έννοιες και συμβολισμοί της διαμερισματοποίησης των χώρων που έχει το πατρικό πλοίο στο σχέδιο γενικής διάταξης όπου:

- L_A : απόσταση από την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου έως την πρυμναία κάθετο (A.P.),
- L_{ER} : απόσταση από την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Tanks) μέχρι την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου,
- $L_{ER(Tanks)}$: απόσταση από την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Tanks) έως την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών αυτών,
- $L_{S(Tanks)}$: απόσταση από την πρυμναία φρακτή των Slop Tanks έως την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών αυτών,
- L_{cargo} : απόσταση από την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών φορτίου (Cargo Holds) έως την πρυμναία φρακτή των δεξαμενών φορτίου &
- L_F : απόσταση από την πρυμναία στεγανή φρακτή συγκρούσεως (Collision Bulkhead) έως την πρυμναία κάθετο (F.P.).

Παρακάτω, παρουσιάζεται μία απεικόνιση της διαμερισματοποίησης των τμημάτων κατά μήκος του πλοίου:



Εικόνα 10.1: Διαμερισματοποίηση τμημάτων του πλοίου.

Για την μέτρηση των παραπάνω μηκών καταφεύγουμε στο σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου, ώστε να εξάγουμε τις αποστάσεις του κάθε τμήματος του πλοίου καθώς και το σύνολο των νομέων που καταλαμβάνει η κάθε περιοχή.

	Νομείς	Αριθμός Νομέων	Ισαπόσταση Νομέων	L_i	$L_i(\text{πατρικό})$	%LBp	$L_i(\text{υπό μελέτη})$
L_A	A.P.-13	13	0.8	10.4	10.4	0.043	10.1
L_{ER}	13-47	34	0.8	27.2	27.2	0.114	25
$L_{ER(Tanks)}$	47-55	8	0.8	6.4	6.4	0.027	6.2
$L_{S(Tanks)}$	55-57	2	2.4	4.8	4.8	0.02	4.6

Lcargo	57-64	7	4.27	29.89	179.34	0.75	179.34
	64-71	7	4.27	29.89			
	71-78	7	4.27	29.89			
	78-85	7	4.27	29.89			
	85-92	7	4.27	29.89			
	92-99	7	4.27	29.89			
LF	99-112.7	13.6	0.8	10.88	10.88	0.046	10.131
				239	239	1	235.371

Πίνακας 10.2: Ανάλυση επιμέρους μηκών τμημάτων του υπό μελέτη πλοίου.

Το υπό μελέτη πλοίο έχει περίπου το ίδιο μήκος με το πατρικό πλοίο, για αυτό η διαμερισματοποίηση των χώρων θα είναι περίπου η ίδια με το πατρικό.

Παρακάτω, εμφανίζονται τα μήκη των τμημάτων του υπό μελέτη πλοίου, όπου είναι τα εξής:

- $L_A = 10.1$ (m)
- $L_{ER} = 25$ (m)
- $L_{ER(Tanks)} = 6.2$ (m)
- $L_{S(Tanks)} = 4.6$ (m)
- $L_{cargo} = 179.34$ (m)
- $L_F = 10.131$ (m)

11.2 Πρωραία φρακτή συγκρούσεως

Ένα πλοίο θα πρέπει να «φέρει» μία πρωραία φρακτή ή φρακτή σύγκρουσης η οποία θα είναι υδατοστεγής και θα εκτείνεται μέχρι το κατάστρωμα εξάλων. Η υδατοστεγής αυτή φρακτή πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση από την πρωραία φρακτή τουλάχιστον 5% του μήκους του πλοίου ή 10 μέτρα, όποιο είναι μικρότερο, εκτός αν επιτρέπεται από τον εκάστοτε Αρχή ή Οργανισμό διαφορετικό μήκος, αλλά όχι μεγαλύτερο από 8% του μήκους του πλοίου ή 5% του μήκους του πλοίου + 3 μέτρα (όποιο είναι μεγαλύτερο). Τα όρια για την πρωραία φρακτή συγκρούσεως ορίζονται σύμφωνα με τον κανονισμό της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα - SOLAS (Chapter II-1, Regulation 12, “Peak and machinery space bulkheads, shaft tunnels, etc.”), συγκεκριμένα ισχύει ο εξής κανονισμός:

$$X_{C.BHD(min.)} = \min.(0.05 \cdot L_{PP}, 10) = \min.(11.768, 10) = 10 \text{ (m)}$$

$$X_{C.BHD(max.)} = \min.(0.08 \cdot L_{PP}, 0.05 \cdot L_{PP} + 3) = \min.(18.829, 14.768) = 14.768 \text{ (m)}$$

$$10 \leq X_{C.BHD} \leq 14.768 \text{ (m)}$$

Επιπροσθέτως, για τα πλοία με βολβό υπάρχουν τα εξής όρια για την φρακτή σύγκρουσης:

$$X_r = \min(0.5 \cdot L_{Bulb}, 0.015 \cdot L_{pp}, 3) = \min(0.5 \cdot 5.92 = 2.96, 0.015 \cdot 235.371, 3) = 2.96 \text{ (m)}$$

$$X_{Fmin} = \min(0.05 \cdot L_{BP}, 10) - X_r = \min(0.05 \cdot 235.371, 10) - 2.96 = 7.04 \text{ (m)}$$

$$L_{Fmax} = 0.08 \cdot L_{BP} - X_r = 15.87 \text{ (m)}$$

$$7.04 < L_F < 15.87$$

Η πρωραία φρακτή συγκρούσεως, στο υπό μελέτη πλοίο, τοποθετήθηκε στα 10.5 (m) και επομένως καλύπτει τον παραπάνω κανονισμό.

11.3 Ελάχιστο ύψος διπυθμένου

Σύμφωνα με τους Κανονισμούς των Νηογνομώνων και της MARPOL, το ελάχιστο ύψος του διπυθμένου λαμβάνεται από τις εξής κανονισμούς:

ABS:

$$h_{DB} \geq (32 \cdot B + 190 \cdot \sqrt{T}) \cdot 0.001 = (32 \cdot 43 + 190 \cdot \sqrt{15}) \cdot 0.001 \Rightarrow h_{DB} \geq 2.112 (m)$$

LR:

$$h_{DB} \geq (28 \cdot B + 205 \cdot \sqrt{T}) \cdot 0.001 = (28 \cdot 43 + 105 \cdot \sqrt{15}) \cdot 0.001 \Rightarrow h_{DB} \geq 1.998 (m)$$

DNV:

$$h_{DB} \geq (250 + 20 \cdot B + 50 \cdot T) \cdot 0.001 = (250 + 20 \cdot 43 + 50 \cdot 15) \cdot 0.001 \Rightarrow h_{DB} \geq 1.86 (m)$$

MARPOL – Tankers > 5000 (t) DWT:

$$h_{DB} \geq \min\left(\frac{B}{15}, 2\right) \text{ \& } h_{DB} \geq 1.0 (m)$$

$$h_{DB} \geq 2.0 (m)$$

Τελικώς, το ύψος του διπυθμένου θα επανεξεταστεί συνυπολογίζοντας και άλλες παραμέτρους, αφού πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος στην πληρότητα των δεξαμενών φορτίου, καυσίμου και έρματος καθώς και έλεγχος του κανονισμού της MARPOL (Annex 1 – Regulation 18 – Segregated Ballast Tanks) περί ελαχίστων βυθισμάτων.

11.4 Ελάχιστη απόσταση διπλού τοιχώματος

Η ελάχιστη απόσταση του διπλού τοιχώματος, του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνεται από τον εξής κανονισμό:

MARPOL – Tankers > 5000 (t) DWT:

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

Με αντικατάσταση του DWT, προκύπτει:

$$w_{DH} = \min(6.3, 2)$$

Επομένως, η απόσταση διπλού τοιχώματος του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$w_{DH} = 2.0 (m)$$

Τέλος, αφού υπολογιστεί ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος των δεξαμενών έρματος και πραγματοποιηθεί έλεγχος των δεξαμενών καυσίμου και έρματος, πραγματοποιείται έλεγχος ελαχίστων βυθισμάτων που πρέπει να πληροί το πλοίο σύμφωνα με τον κανονισμό της MARPOL (Chapter 4 - Requirements for the cargo area of oil tankers) στο κεφάλαιο 11.7.

11.5 Υπολογισμός όγκου δεξαμενών φορτίου (V_{cargo})

Για τον υπολογισμό του όγκου των δεξαμενών χρησιμοποιείται η μέθοδος του κυβικού συντελεστή $C_{V_{cargo}}$, όπου αρχικά βρίσκεται για το πατρικό πλοίο και στη συνέχεια τον εφαρμόζουμε στο υπό μελέτη πλοίο. Ο τύπος του κυβικού συντελεστή $C_{V_{cargo}}$ είναι ο εξής:

$$C_{V_{cargo}} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot B_c \cdot D_c} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot (B - 2w) \cdot (D - h_{BD})}$$

Όπου:

- V_{cargo} : όγκος των δεξαμενών φορτίου (Capacity Plan),
- L_c : το ολικό μήκος των δεξαμενών φορτίου (Cargo Holds),
- B_c : το πλάτος των δεξαμενών φορτίου (Cargo Holds) &
- D_c : το κοίλο των δεξαμενών φορτίου (Cargo Holds)

Για το πατρικό πλοίο προκύπτει:

$$C_{V_{cargo}} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot B_c \cdot D_c} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot (B - 2w) \cdot (D - h_{BD})} = \frac{130405.86}{179.34 \cdot (44 - 2 \cdot 2.4) \cdot (21.35 - 2.4)} \Rightarrow$$

$$V_{cargo} = 130405.86 (m^3), \text{ ανακτήθηκε από Capacity Plan}$$

$$C_{vc\ arg o} = 0.979$$

Για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει:

Αφού έχουμε βρει τον κυβικό συντελεστή C_{VCargo} για το πατρικό πλοίο, θα βρούμε το V_{cargo} για το υπό μελέτη πλοίο έχοντας ως δεδομένο τον κυβικό συντελεστή C_{VCargo} . Επομένως,

$$\begin{aligned} V_{cargo} &= C_{vc\ arg o} \cdot (L_c \cdot B_c \cdot D_c) = C_{vc\ arg o} (L_c \cdot [B - 2w] \cdot [D - h_B]) \Rightarrow \\ V_{cargo} &= 0.979 \cdot (179.34 \cdot [43 - 2 \cdot 2.25] \cdot [21.4 - 3]) \Rightarrow \\ V_{cargo} &= 124376.522 \text{ (m}^3\text{)} \\ V_{cargo}^{98\%} &= 121888.992 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Συνεπώς, με δεδομένο το βάρος του φορτίου W_{LO} , που υπολογίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και με την πληρότητα των δεξαμενών στο 98%, υπολογίζεται το μέγιστο ειδικό βάρος του φορτίου γ_{HOM} :

$$\gamma_{HOM} = \frac{W_{LO}}{V_{cargo}^{98\%}} = \frac{111937.6}{121888.992} \Rightarrow \gamma_{HOM} = 0.918 \left(\frac{t}{m^3} \right)$$

11.6 Υπολογισμός ελάχιστης χωρητικότητας δεξαμενών έρματος (∇_{WB})

Για τα δεξαμενόπλοια η MARPOL ορίζει έναν κανονισμό για το ελάχιστο βύθισμα, ο οποίος αποσκοπεί στην ασφαλή λειτουργία του πλοίου όσον αφορά στη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτωσης, η οποία είναι «Ballast condition at arrival». Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, οι δεξαμενές φορτίου είναι άδειες, τα αναλώσιμα βάρη έχουν πληρότητα 10% και οι δεξαμενές έρματος είναι πλήρως γεμάτες 100%. Επομένως, το ελάχιστο βύθισμα που ορίζει ο κανονισμός της MARPOL υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} T_{min} &\geq 2 + 0.02 \cdot L_{BP} = 2 + 0.02 \cdot 235.371 \Rightarrow \\ T_{min} &\geq 6.707 \text{ (m)} \end{aligned}$$

Το βύθισμα στην κατάσταση ερματισμού είναι το εξής:

$$T_m = T_B = 6.707 \text{ (m)}$$

Υπολογισμός του C_B για το παραπάνω βύθισμα:

$$C_{B(T_{min})} = C_B \cdot \left(\frac{T_m}{T} \right)^{\frac{C_{WP}}{C_B} - 1} = 0.885 \cdot \left(\frac{6.707}{15} \right)^{\frac{0.924}{0.885} - 1} \Rightarrow C_{B(T_{min})} = 0.854$$

Το εκτόπισμα Δ , στο παραπάνω βύθισμα, υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \Delta_{WB} &= \gamma_{sw} \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T_b \cdot C_{B(T_{min})} = 1.0259 \cdot 235.371 \cdot 43 \cdot 6.707 \cdot 0.854 \Rightarrow \\ \Delta_{WB} &= 59472.01 \text{ (t)} \end{aligned}$$

Έτσι, από την εξίσωση του εκτοπίσματος για την κατάσταση ερματισμού «Ballast condition at arrival», στην οποία έχουμε το ελάχιστο βύθισμα για το πλοίο, γίνεται ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάρους του έρματος καθώς και της ποσότητας του που αντιστοιχεί στο παραπάνω εκτόπισμα ($DWT_{const-πατρικό}=483.8$ (t)):

$$\begin{aligned} WB_{req} &= \Delta_{WB} - W_{LS} - DWT_{const} - 0.1(W_F + W_{PR}) \Rightarrow \\ WB_{req} &= 59472.01 - 20211.768 - 483.8 - 0.1 \cdot (3749.779 + 308.85) \Rightarrow \\ WB_{req} &= 38370.579 \text{ (t)} \end{aligned}$$

Ο όγκος έρματος υπολογίζεται ως εξής:

$$\nabla_{WB(req)} = \frac{WB_{req}}{\gamma_{sw}} = \frac{38370.579}{1.0259} \Rightarrow \nabla_{WB(req)} = 37401.87 \text{ (m}^3\text{)}$$

Επομένως, ο συνολικός όγκος των δεξαμενών έρματος που θα τοποθετηθεί στο υπό μελέτη πλοίο, για να ικανοποιείται ο κανονισμός της MARPOL θα πρέπει να ξεπερνά την ανωτέρω τιμή όγκου. Για αυτό, ο υπολογισμός των δεξαμενών έρματος γίνεται, όπως και προηγουμένως, με τη μέθοδο των κυβικών συντελεστών C_{VWB} όπου θα γίνει προσέγγιση του όγκου των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου. Για τον υπολογισμό των κυβικών συντελεστών, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι παρακάτω όγκοι από το πατρικό πλοίο, χρησιμοποιώντας το Capacity Plan:

$$\nabla_c^{100\%} = 130405.86 \text{ (m}^3\text{)} \Rightarrow \text{Όγκος δεξαμενών φορτίου - 100\% πληρότητα}$$

$$\nabla_{FO} = 2909.65 \text{ (m}^3\text{)} \Rightarrow \text{Όγκος δεξαμενών καυσίμου - 100\% πληρότητα}$$

$$\nabla_{WB(AP)} = 1809.47 \text{ (m}^3\text{)} \Rightarrow \text{Όγκος πυρμαϊκής δεξαμενής έρματος - 100\% πληρότητα}$$

$\nabla_{WB(FP)} = 903.88 (m^3) \Rightarrow$ Όγκος πρωραίας δεξαμενής έρματος - 100% πληρότητα
 $\nabla_{WB(Panama Canal)} = 2488.61 (m^3) \Rightarrow$ Όγκος δεξαμενής έρματος - 100% πληρότητα
 $\nabla_{WB(Wing)} = 37178.6 (m^3) \Rightarrow$ Όγκος πλευρικών δεξαμενών έρματος - 100% πληρότητα
 $L_c = 179.34 (m) \Rightarrow$ Ολικό μήκος των δεξαμενών φορτίου
 $L_{AP} = 14.8 (m) \Rightarrow$ Μήκος πρωραίας δεξαμενής έρματος
 $L_{FP} = 16.4 (m) \Rightarrow$ Μήκος πρωραίας δεξαμενής έρματος
 $L_{Panama Canal} = 14.4 (m) \Rightarrow$ Μήκος δεξαμενής έρματος για το κανάλι του Παναμά

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των κυβικών συντελεστών C_{VWB} :

$$C_{VWB(AP)} = \frac{\nabla_{WB(AP)}}{L_{AP} \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(AP)} = \frac{1809.47}{14.8 \cdot 44 \cdot 21.35} \Rightarrow C_{VWB(AP)} = 0.13$$

$$C_{VWB(FP)} = \frac{\nabla_{WB(FP)}}{L_{FP} \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(FP)} = \frac{903.88}{16.4 \cdot 44 \cdot 21.35} \Rightarrow C_{VWB(FP)} = 0.059$$

$$C_{VWB(Panama Canal)} = \frac{\nabla_{WB(Panama Canal)}}{L_{Panama Canal} \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(Panama Canal)} = \frac{2488.61}{14.4 \cdot 44 \cdot 21.35} \Rightarrow C_{VWB(Panama Canal)} = 0.184$$

$$C_{VWB(Wing)} = \frac{\nabla_c^{100\%} + \nabla_{WB(Wing)}}{L_{Wing} \cdot B \cdot D} \Rightarrow C_{VWB(Wing)} = \frac{130405.86 + 37178.6}{179.34 \cdot 44 \cdot 21.35} \Rightarrow C_{VWB(Wing)} = 0.995$$

Οι παραπάνω συντελεστές θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του όγκου των δεξαμενών έρματος στο υπό μελέτη πλοίο.

Για το υπό μελέτη πλοίο:

Ο όγκος των δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Tanks) του υπό μελέτη πλοίου, υπολογίζεται με βάση τον εξής τύπο:

$$\nabla_{FO(v)} = \nabla_{FO(\pi)} \cdot \frac{D_{c(v)} \cdot B_{c(v)}}{D_{c(\pi)} \cdot B_{c(\pi)}} = 2909.65 \cdot \frac{18.4 \cdot 38.5}{18.95 \cdot 39.2} \Rightarrow \nabla_{FO(v)} = 2774.751 (m^3)$$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου, δηλαδή ο όγκος των δεξαμενών καυσίμου και έρματος:

Υπό μελέτη πλοίο	
LAP=	14.5 (m)
LFP=	16.1 (m)
LC=	179.34 (m)
V _{Cargo} =	124376.522 (m ³)
V _{Fuel Oil} =	2774.751 (m ³)

Πίνακας 10.6: Στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των δεξαμενών του υπό μελέτη πλοίου.

Επομένως, ο όγκος των δεξαμενών έρματος του υπό μελέτη πλοίου υπολογίζεται ως εξής:

$$\nabla_{WB(AP)} = C_{VWB(AP)} \cdot L_{AP} \cdot B \cdot D = 0.13 \cdot 14.5 \cdot 43 \cdot 21.4 \Rightarrow \nabla_{WB(AP)} = 1734.577 (m^3)$$

$$\nabla_{WB(FP)} = C_{VWB(FP)} \cdot L_{FP} \cdot B \cdot D = 0.059 \cdot 16.1 \cdot 43 \cdot 21.4 \Rightarrow \nabla_{WB(FP)} = 874.098 (m^3)$$

$$\nabla_{Panama Canal} = C_{VWB(Panama Canal)} \cdot L_{Pan.} \cdot B \cdot D \Rightarrow \nabla_{Panama Canal} = 2438.162 (m^3)$$

$$\nabla_{WB(Wing)} = C_{VWB(Wing)} \cdot L_c \cdot B \cdot D - \nabla_c^{100\%} - \nabla_{FO} \Rightarrow \nabla_{WB(Wing)} = 37052.252 (m^3)$$

Ο συνολικός όγκος των δεξαμενών έρματος για το υπό μελέτη πλοίο υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$\nabla_{WB(Total)} = \nabla_{WB(AP)} + \nabla_{WB(FP)} + \nabla_{Panama Canal} + \nabla_{WB(Wing)} \Rightarrow \nabla_{WB(Total)} = 42099.089 (m^3)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω προσέγγιση, έχουμε:

$$\nabla_{WB(Total)} > \nabla_{WB(req)}$$

Συνολικά, λοιπόν, το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί την απαίτηση περί ελαχίστου όγκου δεξαμενών έρματος της MARPOL. Ο όγκος των δεξαμενών θα υπολογιστεί αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.

11.7 Έλεγχος βυθισμάτων σύμφωνα με MARPOL (Annex 1 – Regulation 18 – Segregated Ballast Tanks)

Σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπολογίστηκε η ελάχιστη απόσταση του διπλού τοιχώματος και η ελάχιστη απόσταση διπυθμένου προέκυψαν ότι πρέπει να είναι ίσοι με $w_{DH}=2.0$ (m) & $w_{DB}=2.0$ (m) αντιστοίχως. Ωστόσο, ο κανονισμός της MARPOL (Chapter 4 - Requirements for the cargo area of oil tankers) περί απόστασης διπλού τοιχώματος ορίζει κάποια ελάχιστα βυθίσματα που πρέπει να έχει το πλοίο που βασίζονται τόσο σε θεωρητική αλλά και σε πρακτική έρευνα σε δεξαμενόπλοια με διαφορετική διαμόρφωση. Οι κανονισμοί, επίσης, αντικατοπτρίζουν και επιλύουν διάφορες ανησυχίες που υπάρχουν για την ανάδυση της έλικας, τους κραδασμούς, τις σφυροκρούσεις, την απώλεια ταχύτητας, την κίνηση του διατοιχισμού (Roll), τον δεξαμενισμό (Dry Dock) και άλλα λοιπά θέματα. Επίσης, ενσωματώνουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με τις υποτιθέμενες συνθήκες θάλασσας καθώς και του ανέμου.

Η χωρητικότητα των δεξαμενών έρματος πρέπει να εξετάζεται ώστε το πλοίο να μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια σε ταξίδια που φέρει αποκλειστικά έρμα, χωρίς τη χρήση των δεξαμενών φορτίου για έρμα εκτός από κάποιες ειδικές περιπτώσεις. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται, το πλοίο θα πρέπει να έχει επαρκή χωρητικότητα των δεξαμενών έρματος, τέτοια ώστε σε οποιαδήποτε κατάσταση έρματος, σε οποιαδήποτε φάση του ταξιδιού βρίσκεται και συμπεριλαμβανομένων όλων των συνθηκών που απαιτούνται για το έρμα, θα πρέπει να εξετάζονται το βύθισμα και η διαγωγή του πλοίου ώστε να πληρούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις.

Οι κανονισμοί και οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με την καθοδήγηση των εκάστοτε κανονιστικών πλαισίων των Ναυτιλιακών Οργανισμών αλλά και ότι το πλοίο θα πρέπει να έχει επαρκή χωρητικότητα έρματος για την ασφαλή λειτουργία του. Ωστόσο, η σταθερότητα - άθικτη ευστάθεια του πλοίου θα εξετάζεται ανεξάρτητα.

Κανονιστικό Πλαίσιο (MARPOL):

1. Το βύθισμα (d) στο μέσο του πλοίου σε μέτρα (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη κάποια παραμόρφωση του πλοίου) δεν πρέπει να είναι μικρότερο από:

$$d_m = 2.0 + 0.02 \cdot L$$

Στο υπό μελέτη πλοίο, ισχύει:

$$d_m = 6.707 \text{ (m)}$$

2. Τα βυθίσματα στη πρωραία και πρυμναία κάθετο θα πρέπει να αντιστοιχούν στα βυθίσματα στο μέσο του πλοίου (όπως προηγουμένως), σε συνδυασμό με τη διαγωγή στη πρύμνη όπου η τιμή της δεν θα πρέπει να ξεπερνά την τιμή:

$$Trim_{stern} \leq 0.015 \cdot L$$

Στο υπό μελέτη πλοίο, ισχύει:

$$Trim_{stern} \leq 3.531 \text{ (m)}$$

3. Σε κάθε περίπτωση, το βύθισμα στην πρυμναία κάθετο δεν πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που είναι απαραίτητο ώστε να επιτευχθεί η πλήρης βύθιση της (ή των) έλικας (ελικών).

ΜΕ βάση με την έλικα που φέρει το πατρικό πλοίο, η διάμετρος που έχει η έλικα συμπεριλαμβανομένου και των ανοχών αυτής, προκύπτει το ελάχιστο βύθισμα, το οποίο είναι:

Η βύθιση της προπέλας (I/D), συμπεριλαμβανομένου και των ανοχών αυτής, λαμβάνεται ως εξής:

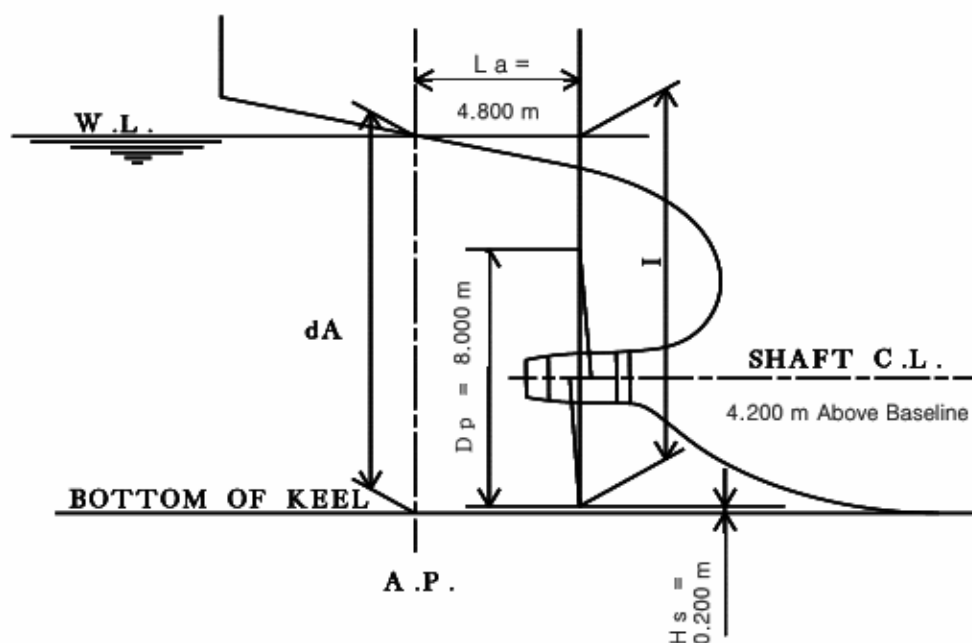
$$I/D \text{ (\%)} = \frac{d_A + \left(\frac{Trim}{L_{BP} \cdot L_a} \right) - H_S}{D_p} \cdot 100$$

Όπου:

- I : η κατακόρυφη απόσταση από το κάτω επίπεδο του πτερυγίου της προπέλας μέχρι την ίσαλο του ακροπτερυγίου της προπέλας,

- d_A : το βύθισμα στην πρυμναία κάθετο,
- $Trim$: η διαγωγή της πρωραίας με την πρυμναία κάθετο (αρνητική διαγωγή στη πρύμνη μη επιθυμητή) $\Rightarrow Trim_{stern} \leq 3.531 (m)$
- LBP : το μήκος μεταξύ πρωραίας με την πρυμναία κάθετο = 235.371 (m),
- LA : η οριζόντια απόσταση από την πρυμναία κάθετο έως την άκρη της λεπίδας = 4.8 (m),
- H_s : η κατακόρυφη απόσταση από το κάτω μέρος της καρίνας μέχρι το κάτω επίπεδο του πτερυγίου της προπέλας = 0.2 (m) &
- D_p : η διάμετρος της προπέλας = 8 (m)

Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση για την επεξήγηση των παραπάνω μεγεθών:



Εικόνα 10.7: Ανοχές και βύθιση της προπέλας. (Πηγή: Trim & Stability Booklet πατρικού πλοίου)

Ο κανονισμός προβλέπει πως ο λόγος I/D (%) δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 100% διότι υπάρχουν σημαντικές συνέπειες, κυρίως στην έλικα καθώς και στη λειτουργία του πλοίου. Μερικές από αυτές είναι:

- Αυξημένη καμπτική ροπή με κατεύθυνση προς τα κάτω στο πίσω άκρο του άξονα της προπέλας,
- Αυξημένη σπηλαιώση στην προπέλα,
- Αυξημένοι κραδασμοί στο αξονικό σύστημα,
- Υπερβολική εκκεντρική ώθηση κ.α.

Για να αποφευχθούν τα παραπάνω ζητήματα, το ελάχιστο βύθισμα της πρύμνης θα πρέπει να έχει μελετηθεί με 100% βύθιση της προπέλας (100% Propeller Immersion) και περιθώριο 0.6 (m)

Επομένως, θα εξεταστούν 2 περιπτώσεις:

A) Θεωρούμε μηδενική διαγωγή στο πλοίο και επίσης ο λόγος: I/D (%) $\geq 100 +$ περιθώριο 0.6 (m)

B) $Trim_{stern} \leq 3.531 (m)$ & I/D (%) $\geq 100 +$ περιθώριο 0.6 (m)

Στο υπό μελέτη πλοίο, προκύπτει:

$$A) 100 \leq \frac{d_A - 0.2}{8} \cdot 100 \Rightarrow d_A \geq 8.2 (m) + 0.6 \Rightarrow d_A \geq 8.8 (m)$$

$$B) 100 \leq \frac{d_A + \left(\frac{3.351}{235.371 - 4.8} \right) - 0.2}{8} \cdot 100 \Rightarrow d_A \geq 8.197 (m) + 0.6 \Rightarrow d_A \geq 8.797 (m)$$

Με τη χρήση του προγράμματος *MaxSurf Stability*, πραγματοποιείται μια αρχική διαμερισματοποίηση των δεξαμενών φορτίου, δεξαμενών καυσίμου καθώς και των δεξαμενών έρματος (σύμφωνα με το πατρικό) για να γίνει μία αρχική μελέτη ως προς τα βυθίσματα του πλοίου και σύμφωνα με τον όγκο των εκάστοτε δεξαμενών. Από τα αποτελέσματα αυτών και όταν το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ερματισμού - Άφιξη, το πλοίο με βάση την απόσταση διπλού τοιχώματος ίση με $w_{DH}=2.0$ (m) και το ύψος του διπυθμένου $w_{DB}=2.0$ (m) δεν επιτυγχάνει τα απαιτούμενα βυθίσματα για την πλήρη κατάδυση της έλικας καθώς και των ανοχών αυτής.

Βύθισμα από *MaxSurf Stability*:

$$\Delta = W_{LS} + DWT_{const.} + \nabla_{WB} + \nabla_{FW} + \nabla_{FO} + \nabla_{MGO} + \nabla_{Lub.} + \nabla_{Misc.} \Rightarrow \Delta_{min} = 58330.008 (t) \Rightarrow$$

$$\Delta = \nabla \cdot \gamma \Rightarrow \nabla = 56857.401 (m^3) \Rightarrow$$

$$\nabla = C_B \cdot L \cdot B \cdot T \Rightarrow T = 7.5 (m)$$

Επομένως, γίνονται διάφορες δοκιμές ως προς την απόσταση του διπλού τοιχώματος και του ύψους διπυθμένου ώστε να επιτευχθούν οι προαναφερθείσες απαιτήσεις αλλά χωρίς την υπερβολική αύξηση της απόστασης αυτής με συνέπεια τη μείωση της ολικής χωρητικότητας του φορτίου. Το πλοίο θα πρέπει για να ικανοποιεί τους κανονισμούς της MARPOL και επομένως πραγματοποιείται μια μικρή αύξηση στις δεξαμενές έρματος για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κανονισμών καθώς και την πλήρη βύθιση της έλικας. Επομένως,

$$\Delta = W_{LS} + DWT_{const.} + \nabla_{WB} + \nabla_{FW} + \nabla_{FO} + \nabla_{MGO} + \nabla_{Lub.} + \nabla_{Misc.} \Rightarrow \Delta_{min} = 62494.957 (t) \Rightarrow$$

$$\Delta = \nabla \cdot \gamma \Rightarrow \nabla = 60917.201 (m^3) \Rightarrow$$

$$\nabla = C_B \cdot L \cdot B \cdot T \Rightarrow T = 8.6 (m)$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί έχουν συνυπολογισθεί με χρήση του προγράμματος *MaxSurf Stability* ώστε να είμαστε ακριβείς καθώς και να ληφθεί υπόψιν η γεωμετρία του πλοίου. Τελικώς, η απόσταση διπλού τοιχώματος και του ύψους διπυθμένου για το υπό μελέτη πλοίο (για να πληροί το πλοίο τις ανωτέρω απαιτήσεις) είναι:

$$w_{DH} = 2.4(m) \ \& \ w_{DB} = 2.4 (m)$$

Κεφάλαιο 12: Έλεγχος εκροής πετρελαίου σε περίπτωση ατυχήματος (Accidental Oil Outflow Performance)

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστεί και θα εξεταστεί ο κανονισμός της MARPOL (Regulation 23 - Accidental oil outflow performance) περί υπολογισμού του πετρελαίου εκροής και απόδοσης του πλοίου σε περίπτωση ατυχήματος. Ο παρών κανονισμός εφαρμόζεται στα δεξαμενόπλοια που παραδίδονται την ή και μετά την 1η Ιανουαρίου του 2010, όπως ορίζεται στο κανονισμό 1.28.8. Ακολουθούν, βασικοί ορισμοί μεγεθών για την εφαρμογή του παρών κανονισμού:

- Βύθισμα γραμμής φόρτωσης (ds): ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση (m), στο μέσον του πλοίου, από τη βασική γραμμή (baseline) έως την ίσαλο που αντιστοιχεί στη θερινή περίοδο του πλοίου. Οι υπολογισμοί, λοιπόν, θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με το βύθισμα της γραμμής φόρτωσης και όχι με άλλα βυθίσματα που ενδέχεται να ξεπερνούν το εν λόγω βύθισμα (πχ. Tropical load line),
- Ίσαλο πλεύσης (Waterline db): ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση (m), στο μέσον του πλοίου, από τη βασική γραμμή (baseline) έως την ίσαλο που αντιστοιχεί στο 30% του βυθίσματος της γραμμής φορτώσεως ds,
- Πλάτος (Breadth Bs): ορίζεται ως το μέγιστο πλάτος (m), στο ή κάτω από το βύθισμα της γραμμής φόρτωσης ds,
- Πλάτος (Breadth Bb): ορίζεται ως το μέγιστο πλάτος (m), στο ή κάτω από την ίσαλο πλεύσης db,
- Κοίλο (Depth Ds): ορίζεται ως το κοίλο (m), που μετράται από το μέσο του πλοίου έως το άνω κατάστρωμα στο πλάι,
- Μήκος (L) και “νεκρό” βάρος (DWT) όπως ορίζονται στις παραγράφους 1.19 και 1.23 του κανονισμού.

Για την επαρκή προστασία έναντι της ρύπανσης που προκαλείται από το πετρέλαιο σε περίπτωση σύγκρουσης (Collision) ή προσάραξης (Grounding), πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα:

Για πετρελαιοφόρα με DWT=5000 (t) και άνω, η μέση παράμετρος εκροής πετρελαίου (mean oil outflow parameter) ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} & - O_M \leq 0.015 \quad \text{for } C \leq 200000 \text{ (m}^3\text{)} \\ - O_M & \leq 0.012 + \left(\frac{0.003}{200000} \right) \cdot (400000 - C) \quad \text{for } 200000 \text{ (m}^3\text{)} < C < 400000 \text{ (m}^3\text{)} \\ & - O_M \leq 0.012 \quad \text{for } C \geq 400000 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Για δεξαμενόπλοια συνδυαστικού τύπου μεταξύ 5000 τόνων “νεκρού” βάρους DWT και χωρητικότητας 200000 (m³), μπορεί να εφαρμοστεί η μέση παράμετρος εκροής λαδιού υπό την προϋπόθεση ότι οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με την εκάστοτε Αρχή - Οργανισμό, που όπου αποδεικνύει ότι έχει ληφθεί υπ’ όψιν η αυξημένη απαιτούμενη κατασκευαστική αντοχή του πλοίου, τότε τουλάχιστον το δεξαμενόπλοιο συνδυαστικού τύπου μπορεί να λάβει ισοδύναμο δείκτη απόδοσης εκροής πετρελαίου με ένα τυπικό δεξαμενόπλοιο διπλού κύτους ίδιο μεγέθους με $O_M \leq 0.015$.

$$\begin{aligned} & - O_M \leq 0.021 \quad \text{for } C \leq 100000 \text{ (m}^3\text{)} \\ - O_M & \leq 0.015 + \left(\frac{0.006}{100000} \right) \cdot (200000 - C) \quad \text{for } 100000 \text{ (m}^3\text{)} < C < 200000 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Όπου:

- O_M : μέση παράμετρος εκροής πετρελαίου &
- C : συνολικός όγκος φορτίου - πετρελαίου σε (m³), με πληρότητα στις δεξαμενές ίση με 98%,

12.1 Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος

Κατά τον υπολογισμό της μέσης παραμέτρου εκροής πετρελαίου O_M , ισχύουν οι παρακάτω παραδοχές:

1. Το μήκος του μπλοκ φορτίου εκτείνεται ανάμεσα στο μπροστινά και πίσω άκρα όλων των διατεταγμένων δεξαμενών που μεταφέρουν φορτίου, συμπεριλαμβανομένου και των Slop δεξαμενών,
2. Ο παρών κανονισμός αναφέρεται στις δεξαμενές φορτίου, τις Slop δεξαμενές καθώς και τις δεξαμενές καυσίμου που βρίσκονται εντός του μήκους του μπλοκ φορτίου,
3. Το πλοίο θα θεωρείται φορτωμένο στο βύθισμα της γραμμής φορτώσεως (d_s) χωρίς διαγωγή ή να βρίσκεται υπό κλίση,
4. Οι δεξαμενές φορτίου θα έχουν πληρότητα 98% της συνολικής χωρητικότητας αυτών. Η πυκνότητα του πετρελαίου που βρίσκεται στις δεξαμενές φορτίου (ρ_n) υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho_n = 1000 \cdot \frac{DWT}{C} \left(\frac{kg}{m^3} \right),$$

5. Για τους υπολογισμούς της εκροής πετρελαίου, η διαπερατότητα των χώρων που βρίσκονται στα διαμερίσματα των χώρων φορτίου, δηλαδή τις δεξαμενές φορτίου, τις δεξαμενές έρματος και άλλων δεξαμενών και χώρων που δεν περιλαμβάνουν πετρέλαιο, θα λαμβάνεται ίση με 0.99, εκτός αν αποδεικνύεται ότι έχουν διαφορετική τιμή,
6. Τα φρεάτια αναρρόφησης μπορεί να παραμεληθούν στον προσδιορισμό της θέσης της δεξαμενής, με την προϋπόθεση ότι τα φρεάτια αυτά είναι όσο το δυνατόν μικρότερα και η απόσταση μεταξύ του πυθμένα και του κελύφους του πυθμένα δεν είναι μικρότερη από 0.5h, όπου h όπως ορίζεται στο εκάστοτε κανονισμό.

Οι ακόλουθες παραδοχές γίνονται συνδυαστικά με τις παραμέτρους εκροής πετρελαίου. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής:

1. Η μέση εκροή πετρελαίου υπολογίζεται ανεξάρτητα για πλευρικές ζημιές (OMS) και ζημιές στον πυθμένα (OMB) και στην συνέχεια συνδυάζονται στην παράμετρο μη διαστάσεων εκροής πετρελαίου O_M , ως εξής:

$$O_M = \left(\frac{0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}}{C} \right)$$

Όπου:

- OMS: Μέση εκροή για πλευρική βλάβη σε (m^3) &
- OMB: Μέση εκροή για ζημιά στον πυθμένα σε (m^3).

Για ζημιές στον πυθμένα, η μέση εκροή πετρελαίου υπολογίζεται ανεξάρτητα για συνθήκες παλίρροιας 0 έως και -2.5 μέτρα και υπολογίζεται συνδυαστικά ως εξής:

$$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(2.5)}$$

Όπου:

- OMB(0): μέση εκροή πετρελαίου για κατάσταση παλίρροιας για 0 m, σε m^3 &
- OMB(2.5): μέση εκροή πετρελαίου για κατάσταση παλίρροιας -2.5 m, σε m^3 .

Η μέση εκροή πετρελαίου για πλευρική βλάβη OMS, υπολογίζεται ως εξής:

$$O_{MS} = C_3 \cdot \sum_i^n P_{s(i)} \cdot O_{s(i)} \quad (m^3)$$

Όπου:

- i: εκφράζει την κάθε δεξαμενή φορτίου που εξετάζεται,
- n: ο συνολικός αριθμός των δεξαμενών φορτίου,

- $P_s(i)$: ορίζεται ως η πιθανότητα διείσδυσης στη δεξαμενή φορτίου i , λόγω πλευρικής βλάβης σύμφωνα με την παράγραφο 8.1 του εκάστοτε κανονισμού,
- $O_s(i)$: ορίζεται ως η εκροή πετρελαίου σε (m^3), λόγω πλευρικής βλάβης στη δεξαμενή φορτίου i με πληρότητα αυτής στο 98%, εκτός αν έχει αποδειχθεί από τις κατευθυντήριες οδηγίες (κανονισμός 19.5) πως σημαντικός όγκος του φορτίου θα διατηρηθεί &
- $C_3= 0.77$ για πλοία με δύο διαμήκης φρακτές που βρίσκονται εντός των δεξαμενών φορτίου, υπό την προϋπόθεση ότι είναι συνεχή και βρίσκονται πάνω από το τμήμα του φορτίου και ότι η πιθανότητα $P_s(i)$ έχει υπολογισθεί σύμφωνα με τον προαναφερθέντα κανονισμό. Το $C_3= 1$ για όλα τα άλλα πλοία ή όταν η πιθανότητα $P_s(i)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 10 του παρόντος κανονισμού.

Η μέση εκροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα για κάθε παλίρροια, υπολογίζεται ως εξής:

$$1. O_{MB(0)} = \sum_i^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{DB(i)} \quad (m^3)$$

Όπου:

- i : εκφράζει την κάθε δεξαμενή φορτίου που εξετάζεται,
- n : ο συνολικός αριθμός των δεξαμενών φορτίου,
- $P_{B(i)}$: ορίζεται ως η πιθανότητα διείσδυσης στη δεξαμενή φορτίου i , λόγω βλάβης στον πυθμένα του πλοίου σύμφωνα με την παράγραφο 9.1 του εκάστοτε κανονισμού,
- $O_{B(i)}$: ορίζεται ως η εκροή πετρελαίου σε (m^3), λόγω βλάβης στον πυθμένα που υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 7.3 του παρόντος κανονισμού &
- $C_{DB(i)}$: συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη δέσμευση πετρελαίου, όπως ορίζεται στη παράγραφο 7.4 του κανονισμού

$$2. O_{MB(2.5)} = \sum_i^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{DB(i)} \quad (m^3)$$

Όπου:

- $i, n, P_{B(i)}$ & $C_{DB(i)}$: όπως ορίζονται παραπάνω &
- $O_{B(i)}$: ορίζεται ως η εκροή πετρελαίου σε (m^3), λόγω βλάβης στον πυθμένα μετά από παλιρροιακή αλλαγή

Η εκροή πετρελαίου $O_{B(i)}$ για κάθε δεξαμενή φορτίου υπολογίζεται σύμφωνα με τις αρχές ισορροπίας της πίεσης, σύμφωνα με τις παρακάτω παραδοχές:

1. Το πλοίο θα θεωρείται ότι έχει υποστεί προσάραξη με μηδενική διαγωγή και γωνία κλίσης, με προσαραγμένο βύθισμα πριν από την παλιρροιακή αλλαγή ίσο με το βύθισμα της γραμμής φόρτωσης ds ,
2. Το επίπεδο του φορτίου μετά τη βλάβη, υπολογίζεται ως εξής:

$$h_c = \frac{(d_s + t_c - Z_1) \cdot \rho_s - \left(\frac{1000p}{g}\right)}{\rho_n}$$

Όπου:

- h_c : το ύψος του πετρελαίου - φορτίου πάνω από το Z_1 σε μέτρα,
- t_c : η παλιρροιακή μεταβολή σε μέτρα. Οι μειώσεις της παλιρροιακής τιμής λαμβάνονται ως αρνητικές τιμές,
- Z_1 : το ύψος του χαμηλότερου σημείου, σε μέτρα, στη δεξαμενή φορτίου πάνω από τη βασική γραμμή (baseline),
- ρ_s : η πυκνότητα του θαλασσινού νερού που είναι ίση με 1025 (kg/m^3),
- p : εάν έχει τοποθετηθεί στο πλοίο σύστημα αδρανούς αερίου, η κανονική υπερπίεση σε kPa, τουλάχιστον πρέπει να λαμβάνεται ως 5 kPa. Εάν δεν υπάρχει σύστημα αδρανούς αερίου, η υπερπίεση μπορεί να ληφθεί μηδενική,

- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας που είναι ίση με $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ &
- ρ_n : ονομαστική πυκνότητα φορτίου - πετρελαίου, υπολογισμένη σύμφωνα με την παράγραφο 4.4 του κανονισμού.

Για τις δεξαμενές φορτίου που οριοθετούνται από το πυθμένα του πλοίου, εκτός αν αποδεικνύεται το αντίθετο, η εκροή του πετρελαίου $OB(i)$ λαμβάνεται τουλάχιστον 1% του συνολικού όγκου του φορτίου - πετρελαίου που έχει φορτωθεί στη δεξαμενή i , ώστε να ληφθούν υπόψη αρχικές απώλειες ανταλλαγής υγρών και δυναμικές επιπτώσεις που οφείλονται στα θαλάσσια ρεύματα και τα κύματα.

Σε περίπτωση βλάβης στον πυθμένα του πλοίου, ένα τμήμα της εκροής από μια δεξαμενή φορτίου μπορεί να δεσμευθεί από τα διαμερίσματα χωρίς πετρέλαιο. Το φαινόμενο αυτό προσεγγίζεται με την εφαρμογή του συντελεστή $C_{DB(i)}$ για κάθε δεξαμενή και λαμβάνεται ως εξής:

$C_{DB(i)}=0.6$ για δεξαμενές φορτίου που οριοθετούνται από το κάτω μέρος από τα διαμερίσματα χωρίς πετρέλαιο &

$C_{DB(i)}=1.0$ για δεξαμενές φορτίου που οριοθετούνται από το πυθμένα του πλοίου.

Η πιθανότητα P_S για παραβίαση ενός διαμερίσματος από πλευρική ζημιά στα τοιχώματα, υπολογίζεται ως εξής:

$$P_S = P_{SL} \cdot P_{SV} \cdot P_{ST}$$

Όπου:

- $P_{SL}=1-P_{Sf}-P_{Sa}$: η πιθανότητα η ζημιά να επεκταθεί στη διαμήκη ζώνη που οριοθετείται από X_a και X_f ,
- $P_{SV}=1-P_{Su}-P_{SI}$: η πιθανότητα η ζημιά να επεκταθεί στη κατακόρυφη ζώνη που οριοθετείται από Z_1 και Z_u ,
- $P_{ST}=1-P_{Sy}$: η πιθανότητα η ζημιά να επεκταθεί εγκάρσια πέρα από το όριο που καθορίζεται από το y .

P_{Sa} , P_{Sf} , P_{SI} , P_{Su} & P_{Sy} προσδιορίζονται με γραμμική παρεμβολή από τους πίνακες πιθανοτήτων, που απεικονίζονται παρακάτω, για πλευρική ζημιά όπως προβλέπεται στην παράγραφο 8.3 του κανονισμού, όπου:

- P_{Sa} : η πιθανότητα ότι η βλάβη να βρίσκεται ολοκληρωτικά πίσω από τη θέση X_a/L ,
- P_{Sf} : η πιθανότητα ότι η βλάβη να βρίσκεται ολοκληρωτικά μπροστά από τη θέση X_f/L ,
- P_{SI} : η πιθανότητα ότι η βλάβη να βρίσκεται ολοκληρωτικά κάτω από τη δεξαμενή,
- P_{Su} : η πιθανότητα ότι η βλάβη να βρίσκεται ολοκληρωτικά πάνω από τη δεξαμενή &
- P_{Sy} : η πιθανότητα ότι η βλάβη να βρίσκεται ολοκληρωτικά έξω από τη δεξαμενή.

Τα όρια των διαμερισμάτων X_a , X_f , Z_1 , Z_u και y αναπτύσσονται ως εξής:

- X_a : ορίζει την διαμήκη απόσταση από τον πρυμναίο τερματικό του L έως το ακρο-πρυμναίο σημείο του διαμερίσματος που εξετάζεται σε μέτρα (m),
- X_f : ορίζει την διαμήκη απόσταση από τον πρυμναίο τερματικό του L έως το ακρο-πρωραίο σημείο του διαμερίσματος που εξετάζεται σε μέτρα (m),
- Z_1 : ορίζει την κατακόρυφη απόσταση από τη βασική γραμμή έως το χαμηλότερο σημείο του διαμερίσματος που εξετάζεται σε μέτρα (m),
- Z_u : ορίζει την κατακόρυφη απόσταση από τη βασική γραμμή έως το υψηλότερο σημείο του υπό εξεταζόμενου διαμερίσματος και μετριέται σε μέτρα (m) &
- y : ορίζεται ως η ελάχιστη οριζόντια απόσταση μετρούμενη σε ορθές γωνίες προς την κεντρική γραμμή μεταξύ του εξεταζόμενου διαμερίσματος και του πλευρικού περιβλήματος, σε μέτρα (m).

Ακολουθούν, οι πίνακες των πιθανοτήτων για πλευρική ζημιά:

X_a/L	P_{Sa}	X_f/L	P_{Sf}	Z_l/D_S	P_{Sl}	Z_u/D_S	P_{Su}
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

Εικόνα 12.1.1: Πίνακας πιθανοτήτων για πλευρική ζημιά. (Πηγή: [Regulation 23 - Accidental oil outflow performance \(marpoltraining.com\)](#))

Το P_{Sy} υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{Sy} = \left(24.96 - \frac{199.6 \cdot y}{B_S} \right) \cdot \left(\frac{y}{B_S} \right) \text{ για } \frac{y}{B_S} \leq 0.05$$

$$P_{Sy} = 0.749 + \left(5 - 44.4 \left(\frac{y}{B_S} - 0.05 \right) \right) \cdot \left(\frac{y}{B_S} - 0.05 \right) \text{ για } 0.05 < \frac{y}{B_S} < 0.1$$

$$P_{Sy} = 0.888 + 0.56 \left(\frac{y}{B_S} - 0.1 \right) \text{ για } \frac{y}{B_S} \geq 0.1$$

Ακόμη, το P_{Sy} δεν πρέπει να ξεπερνά την μονάδα, δηλαδή $P_{Sy} \leq 1$.

Η πιθανότητα P_B να παραβιαστεί ένα διαμέρισμα από βλάβη στον πυθμένα υπολογίζεται ως εξής:

$$P_B = P_{BL} \cdot P_{BT} \cdot P_{BV}$$

Όπου:

- $P_{BL}=1-P_{Bf}-P_{Ba}$: ορίζει την πιθανότητα, η βλάβη να επεκταθεί στη διαμήκη ζώνη που οριοθετείται από X_a και X_f ,
- $P_{BT}=1-P_{Bp}-P_{Bs}$: ορίζει την πιθανότητα, η βλάβη να επεκταθεί στην εγκάρσια ζώνη που οριοθετείται από Y_p και Y_s &
- $P_{BV}=1-P_{Bz}$: ορίζει την πιθανότητα, η βλάβη να εκτείνεται κατακόρυφα ζώνη πάνω από όριο που ορίζεται από το z .

P_{Ba} , P_{Bf} , P_{Bp} , P_{Bs} και P_{Bz} προσδιορίζονται με γραμμική παρεμβολή σύμφωνα με τους πίνακες πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα του πλοίου όπως προβλέπεται στην παράγραφο 9.3 του κανονισμού:

Όπου:

- P_{Ba} : η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εντελώς πίσω από τη θέση X_a/L ,
- P_{Bf} : η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εντελώς μπροστά από τη θέση X_f/L ,
- P_{Bp} : η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εντελώς στην αριστερή πλευρά της δεξαμενής,
- P_{Bs} : η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εντελώς στη δεξιά πλευρά της δεξαμενής &
- P_{Bz} : η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εντελώς κάτω από τη δεξαμενή.

Τα όρια των διαμερισμάτων X_a , X_f , Y_p , Y_s και z αναπτύσσονται ως εξής (Τα X_a και X_f λαμβάνονται όπως έχουν ήδη οριστεί):

- Y_p : ορίζεται ως η εγκάρσια απόσταση από το πιο αριστερό σημείο του διαμερίσματος που βρίσκεται στην ή κάτω από την ίσαλο της γραμμής dB , σε ένα κατακόρυφο επίπεδο που βρίσκεται $B_B/2$ προς τα δεξιά της κεντρικής γραμμής του πλοίου και μετριέται σε μέτρα (m),
- Y_s : ορίζεται ως η εγκάρσια απόσταση από το πιο δεξιό σημείο του διαμερίσματος που βρίσκεται στην ή κάτω από την ίσαλο της γραμμής dB , σε ένα κατακόρυφο επίπεδο που βρίσκεται $B_B/2$ προς τα δεξιά της κεντρικής γραμμής του πλοίου και μετριέται σε μέτρα (m) &
- z : η ελάχιστη τιμή του z σε όλο το μήκος του διαμερίσματος του πλοίου, όπου, σε οποιαδήποτε διαμήκη θέση, z λογίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση από το χαμηλότερο σημείο του περιβλήματος του πυθμένα του πλοίου στη διαμήκη θέση αυτή έως το χαμηλότερο σημείο του διαμερίσματος σε αυτή τη διαμήκη θέση και μετριέται σε μέτρα (m).

Οι παρακάτω πίνακες, περιλαμβάνουν τις επιμέρους πιθανότητες για ζημιά στον πυθμένα του πλοίου:

X_a/L	P_{Ba}	X_f/L	P_{Bf}	Y_p/B_B	P_{Bp}	Y_s/B_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

Εικόνα 12.1.2: Πίνακες πιθανοτήτων για βλάβη στον πυθμένα του πλοίου. (Πηγή: [Regulation 23 - Accidental oil outflow performance \(marpoltraining.com\)](https://www.marpoltraining.com))

Η πιθανότητα P_{Bz} υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{Bz} = \left(14.5 - \frac{67 \cdot z}{D_S}\right) \cdot \left(\frac{z}{D_S}\right) \text{ για } \frac{z}{D_S} \leq 0.1$$

$$P_{Bz} = 0.78 + 1.1 \left(\frac{z}{D_s} - 0.1 \right) \text{ για } \frac{z}{D_s} > 0.1$$

Η πιθανότητα P_{Bz} δεν θα πρέπει να ξεπερνά τη μονάδα, δηλαδή: $P_{Bz} \leq 1$.

Τέλος, ο κανονισμός αυτός είναι μια απλοποιημένη πιθανοθεωρητική προσέγγιση όπου πραγματοποιείται άθροιση των συνεισφορών στη μέση εκροή όλων των δεξαμενών φορτίου. Για ορισμένα πλοία που έχουν κάποια από τα εξής χαρακτηριστικά, δηλαδή σκαλοπάτια/εσοχές σε φρακτές/διαμερίσματα και κεκλιμένες φρακτές ή και έντονη καμπυλότητα κύτους είναι κατάλληλοι πιο αυστηροί υπολογισμοί. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία που περιγράφηκε αποτελεί βασική πιθανοθεωρητική μεθοδολογία με αρκετά καλές προσεγγίσεις, ωστόσο σε περίεργες γεωμετρίες πλοίων πρέπει να εξετάζονται ενδελεχώς για ακριβέστερα αποτελέσματα.

12.2 Εξεταζόμενα όρια βλάβης - Κανονισμός 24 (MARPOL Annex 1 – Chapter 4 – Regulation 24)

Για τον υπολογισμό της υποθετικής εκροής πετρελαίου για πετρελαιοφόρα, σύμφωνα με τους κανονισμούς 25 και 26, λαμβάνονται όπως παρακάτω, δηλαδή στις 3 διαστάσεις της έκτασης της ζημιάς ενός παραλληλεπίπεδου στο πλάι και στον πυθμένα ενός πλοίου. Όσον αφορά σε περίπτωση βλαβών στο πυθμένα, λαμβάνονται 2 περιπτώσεις οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται ξεχωριστά στα αναφερόμενα τμήματα του πετρελαιοφόρου.

Για την πλευρική βλάβη:

Περιοχή βλάβης	Εξεταζόμενα μέγιστα όρια βλάβης
Διαμήκης έκταση I_C	$\frac{1}{3} \cdot L^{\frac{2}{3}}$ ή 14.5 (m), όποιο είναι μικρότερο
Εγκάρσια έκταση t_c	B/5 ή 11.5 (m), όποιο είναι μικρότερο
Κατακόρυφη έκταση v_c	Από τη βασική γραμμή χωρίς κάποιο όριο

Πίνακας 12.2.1: Μέγιστα εξεταζόμενα όρια πλευρικής βλάβης. (Πηγή: [Regulation 23 - Accidental oil outflow performance \(marpoltraining.com\)](http://marpoltraining.com))

Βλάβη στον πυθμένα:

Περιοχή βλάβης	Για 0.3L από την πρωραία κάθετο του πλοίου	Οποιοδήποτε άλλο μέρος του πλοίου
Διαμήκης έκταση I_s	L/10 (m)	L/10 ή 5 (m), όποιο είναι μικρότερο
Εγκάρσια έκταση t_s	B/6 ή 10 (m), όποιο είναι μικρότερο αλλά όχι λιγότερο από 5 (m)	5 (m)
Κατακόρυφη έκταση v_s	B/15 ή 6 (m), όποιο είναι μικρότερο	B/15 ή 6 (m), όποιο είναι μικρότερο

Πίνακας 12.2.2: Μέγιστα εξεταζόμενα όρια βλάβης στον πυθμένα. (Πηγή: [Regulation 23 - Accidental oil outflow performance \(marpoltraining.com\)](http://marpoltraining.com))

12.3 Υποθετική εκροή πετρελαίου - Κανονισμός 25 (MARPOL Annex 1 – Chapter 4 – Regulation 25)

Η υποθετική εκροή πετρελαίου σε περίπτωση πλευρικής βλάβης (O_C) και βλάβης στον πυθμένα (O_S) του πλοίου υπολογίζεται με τους παρακάτω τύπους, για τα διαμερίσματα που έχουν παραβιαστεί από βλάβη σύμφωνα με τις όλες πιθανές περιοχές κατά μήκος του πλοίου καθώς και την έκταση της βλάβης όπως προαναφέρθηκαν στο Κανονισμό 24 του ίδιου κεφαλαίου.

Για πλευρικές βλάβες:

$$O_C = \sum w_i + \sum K_i \cdot C_i \quad (\text{I})$$

Για βλάβες στον πυθμένα:

$$O_S = \frac{1}{3} \cdot (\sum Z_i \cdot W_i + \sum Z_i \cdot C_i) \quad (\text{II})$$

Όπου:

- W_i: ο όγκος της πλευρικής δεξαμενής σε (m³), όπου θεωρείται ότι έχει παραβιαστεί από τη βλάβη όπως ορίστηκε στον Κανονισμό 24. Αν πρόκειται για δεξαμενή διαχωρισμένου έρματος, τότε το W_i μπορεί να ληφθεί ίσο με μηδέν,
- C_i: ο όγκος της κεντρικής δεξαμενής σε (m³), όπου θεωρείται ότι έχει παραβιαστεί από τη βλάβη όπως ορίστηκε στον Κανονισμό 24. Αν πρόκειται για δεξαμενή διαχωρισμένου έρματος, τότε το C_i μπορεί να ληφθεί ίσο με μηδέν,
- K_i=1-(b_i/t_c): όταν το b_i είναι ίσο ή μεγαλύτερο του t_c, τότε το K_i λαμβάνεται ίσο με μηδέν,
- Z_i=1-(h_i/v_s): όταν το h_i είναι ίσο ή μεγαλύτερο του v_c, τότε το Z_i λαμβάνεται ίσο με μηδέν,
- b_i: το πλάτος της εξεταζόμενης πλευρικής δεξαμενής σε (m), μετρημένο από την εσωτερική πλευρά του πλοίου, κάθετα ως προς τον κεντρικό άξονα στο επίπεδο που αντιστοιχεί το θερινό ύψος εξάλων &
- h_i: ελάχιστο ύψος διπυθμένου σε (m). Εάν δεν υπάρχει διπύθμενο λαμβάνεται ίσο με μηδέν.

Ακόμη, εάν υπάρχει ένας κενός χώρος ή διαχωρισμένη δεξαμενή έρματος μήκους μικρότερου του I_c, σύμφωνα με τον προαναφερθέντα Κανονισμό 24, βρίσκεται μεταξύ πλευρικών δεξαμενών πετρελαίου, τότε το O_C μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον όγκο W_i όπου είναι και ο πραγματικός όγκος μιας δεξαμενής (όπου είναι ίσης χωρητικότητας) ή της μικρότερης από τις δύο δεξαμενές (αν έχουν διαφορετική χωρητικότητα) που βρίσκεται δίπλα από το χώρο τους, πολλαπλασιαζόμενου με το S_i όπως παρουσιάζεται παρακάτω και για τις υπόλοιπες πλευρικές δεξαμενές που εμπλέκονται στη σύγκρουση την τιμή του πραγματικού πλήρους όγκου.

$$S_i = 1 - (l_i / l_c)$$

Όπου:

- l_i: το μήκος σε (m), του υπό κενού χώρου ή της διαχωρισμένης δεξαμενής έρματος .

Πίστωση δίνεται μόνο για τις δεξαμενές διπυθμένου που είτε είναι κενές είτε μεταφέρουν καθαρό νερό καθώς το φορτίο μεταφέρεται στις παραπάνω δεξαμενές.

Όταν το διπύθμενο δεν εκτείνεται σε όλο το μήκος και πλάτος της εμπλεκόμενης δεξαμενής, το διπύθμενο θεωρείται ανύπαρκτο όπως και ο όγκος των δεξαμενών πάνω από την περιοχή της ζημιάς του πυθμένα, όπου θα περιλαμβάνεται στο τύπο (II), ακόμα και αν η δεξαμενή δεν θεωρείται ότι έχει υποστεί ρήγμα λόγω της κατασκευής του διπυθμένου.

Τα φρεάτια αναρρόφησης μπορούν να παραλειφθούν στον προσδιορισμό της τιμής h_i , υπό την προϋπόθεση ότι τα φρεάτια αυτά δεν είναι υπερβολικά μεγάλα και εκτείνονται για μικρή απόσταση κάτω από τη δεξαμενή και σε καμία περίπτωση από το μισό ύψος του διπτυθμένου. Εάν το ύψος του φρεατίου ξεπερνάει το ήμισυ του ύψους του διπτυθμένου, τότε το h_i θα λαμβάνεται ως το ύψος του διπτυθμένου αφαιρώντας το ύψος που εκτείνεται το φρεάτιο.

Σε περίπτωση που η ζημιά στο πυθμένα περιλαμβάνει επιπροσθέτως 4 κεντρικές δεξαμενές, η τιμή του O_S υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$O_S = \frac{1}{4} \cdot (\sum Z_i \cdot W_i + \sum Z_i \cdot C_i) \quad (\text{III})$$

Μια Αρχή ή ένας Οργανισμός μπορεί να πιστώσει σε κατάσταση βλάβης πως ένα εγκατεστημένο σύστημα μεταφοράς φορτίου με υψηλή αναρρόφηση έκτακτης ανάγκης σε κάθε δεξαμενή φορτίου, μπορεί να μειώσει την εκροή πετρελαίου όπου θα μεταφέρεται σε δεξαμενή που έχει υποστεί βλάβη ή σε διαχωρισμένες δεξαμενές έρματος ή σε άλλη δεξαμενή φορτίου.

12.4 Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος με χρήση του προγράμματος MaxSurf Stability

Σύμφωνα με την τρισδιάστατη γάστρα, τη διαμερισματοποίηση των επιμέρους δεξαμενών καθώς και τα υποθετικά σενάρια βλάβης που θα εισάγουμε στο *MaxSurf Stability*, θα εξάγουμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Αρχικά, οι υποθετικές μέγιστες βλάβες στο υπό μελέτη πλοίο είναι οι εξής:

Για την πλευρική βλάβη:

Περιοχή βλάβης	Εξεταζόμενα μέγιστα όρια βλάβης	Μέγιστο όριο βλάβης
Διαμήκης έκταση I_C	12.707 ή 14.5 (m)	12.707 (m)
Εγκάρσια έκταση t_c	8.6 ή 11.5 (m)	8.6 (m)
Κατακόρυφη έκταση v_c	Από τη βασική γραμμή χωρίς κάποιο όριο	0-21.5 (m)

Πίνακας 12.4.1: Μέγιστα όρια πλευρικής βλάβης.

Βλάβη στον πυθμένα:

Περιοχή βλάβης	Για 0.3L από την προωαία κάθετο του πλοίου	Οποιοδήποτε άλλο μέρος του πλοίου
Διαμήκης έκταση I_S	23.357 (m)	5 (m)
Εγκάρσια έκταση t_s	7.167 (m)	5 (m)
Κατακόρυφη έκταση v_s	2.867 (m)	2.867 (m)

Πίνακας 12.4.2: Μέγιστα όρια βλάβης στον πυθμένα.

Αφού, λοιπόν, εισάγουμε τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της υποθετικής εκροής πετρελαίου είτε σε πλευρική βλάβη είτε σε βλάβη στον πυθμένα, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για το υπό μελέτη πλοίο:

<i>Main parameters: Reg. 23</i>		
Length (L)	235,371	m
Aft terminus of Length (L)	-6,247	m
Deepest loadline draft (d_S)	15,000	m
Lightship draft (d_L)	5,660	m
Partial loadline draft (d_P)	11,264	m
Draft B (d_B)	6,420	m
Depth amidships to upper deck (D_S)	21,400	m
Breadth at or below d_S (B_S)	43,000	m
Breadth at or below d_B (B_B)	43,000	m
Deadweight (DWT)	116000	tonne
Total volume of fuel oil at 98% filling (C)	104669,186	m ³
Nominal seawater density (rho_S)	1,0250	tonne/m ³
Nominal cargo density (rho_n)	1,1083	tonne/m ³
Inert gas over pressure (p)	5000,0	Pa
Acceleration due to gravity (g)	9,810	m/s ²
Tidal change (t_C)	-2,500	m ³

Πίνακας 12.4.3: Απαραίτητα στοιχεία που μετριοούνται στο πρόγραμμα MaxSurf Stability για τον υπολογισμό της υποθετικής εκροής πετρελαίου. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Πλευρική ζημιά:

	Permeability	Loading %	Loading vol.	Oil density	Xa	Xf
	%	% full	m ³	tonne/m ³	m	m
Side damage						
No.1 C.O.T. (P)	99,0	98,00	5488,886	1,1083	190,000	215,000
No.1 C.O.T. (S)	99,0	98,00	5488,886	1,1083	190,000	215,000
No.2 C.O.T. (P)	99,0	98,00	8583,420	1,1083	160,000	190,000
No.2 C.O.T. (S)	99,0	98,00	8583,420	1,1083	160,000	190,000
No.3 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9232,467	1,1083	130,000	160,000
No.3 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9232,467	1,1083	130,000	160,000
No.4 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	100,000	130,000
No.4 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	100,000	130,000
No.5 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	70,000	100,000
No.5 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	70,000	100,000
No.6 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9163,133	1,1083	40,000	70,000
No.6 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9163,133	1,1083	40,000	70,000
SLOP T. (P)	99,0	98,00	1340,718	1,1083	35,400	40,000
SLOP T. (S)	99,0	98,00	1340,718	1,1083	35,400	40,000
Mean outflow for side damage (O_MS)			104669,186			
Long. Bhd. Coefficient (C_3)	1,00					

Zl	Zu	y	z
m	m	m	m
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	3,960	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
2,400	21,400	21,800	2,400
2,400	21,400	2,400	2,400
3,000	21,400	21,800	3,000
3,000	21,400	11,800	3,000

Πίνακας 12.4.4: Ογκομέτρηση και μετρήσεις αποστάσεων Xa, Xf, Zl, Zu, y & z για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές. (Πηγή: MaxSurf Stability)

P(Sa)	P(Sf)	P(Sl)	P(Su)	P(Sy)	P(SL)	P(SV)	P(ST)	P(S)
0,7742	0,0559	0,0015	0,0000	1,0000	0,1699	0,9985	0,0000	0,0000
0,7742	0,0559	0,0015	0,0000	0,8808	0,1699	0,9985	0,1192	0,0202
0,6468	0,1598	0,0015	0,0000	1,0000	0,1935	0,9985	0,0000	0,0000
0,6468	0,1598	0,0015	0,0000	0,7766	0,1935	0,9985	0,2234	0,0432
0,5193	0,2872	0,0015	0,0000	1,0000	0,1935	0,9985	0,0000	0,0000
0,5193	0,2872	0,0015	0,0000	0,7766	0,1935	0,9985	0,2234	0,0432
0,3919	0,4147	0,0015	0,0000	1,0000	0,1935	0,9985	0,0000	0,0000
0,3919	0,4147	0,0015	0,0000	0,7766	0,1935	0,9985	0,2234	0,0432
0,2644	0,5421	0,0015	0,0000	1,0000	0,1935	0,9985	0,0000	0,0000
0,2644	0,5421	0,0015	0,0000	0,7766	0,1935	0,9985	0,2234	0,0432
0,1369	0,6696	0,0015	0,0000	1,0000	0,1935	0,9985	0,0000	0,0000
0,1369	0,6696	0,0015	0,0000	0,7766	0,1935	0,9985	0,2234	0,0432
0,1174	0,7971	0,0026	0,0000	1,0000	0,0855	0,9974	0,0000	0,0000
0,1174	0,7971	0,0026	0,0000	0,9857	0,0855	0,9974	0,0143	0,0012

Πίνακας 12.4.5: Υπολογισμός πιθανοτήτων πλευρικής βλάβης για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές. (Πηγή: MaxSurf Stability)

OS	OS.P(S)
m ³	m ³
5488,886	0,000
5488,886	110,980
8583,420	0,000
8583,420	370,464
9232,467	0,000
9232,467	398,477
9262,985	0,000
9262,985	399,794
9262,985	0,000
9262,985	399,794
9163,133	0,000
9163,133	395,484
1340,718	0,000
1340,718	1,639
	2076,631
	2076,631

Πίνακας 12.4.6: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω πλευρικής βλάβης συνολικά και για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές.
(Πηγή: MaxSurf Stability)

Ζημιά στο πυθμένα:

	Permeability	Loading	Loading	Oil density	Xa	Xf	Yp
	%	% full	m ³	tonne/m ³	m	m	m
Bottom damage							
No.1 C.O.T. (P)	99,0	98,00	5488,886	1,1083	190,000	215,000	23,300
No.1 C.O.T. (S)	99,0	98,00	5488,886	1,1083	190,000	215,000	19,700
No.2 C.O.T. (P)	99,0	98,00	8583,420	1,1083	160,000	190,000	26,900
No.2 C.O.T. (S)	99,0	98,00	8583,420	1,1083	160,000	190,000	19,700
No.3 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9232,467	1,1083	130,000	160,000	26,900
No.3 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9232,467	1,1083	130,000	160,000	19,700
No.4 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	100,000	130,000	26,900
No.4 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	100,000	130,000	19,700
No.5 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	70,000	100,000	26,900
No.5 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9262,985	1,1083	70,000	100,000	19,700
No.6 C.O.T. (P)	99,0	98,00	9163,133	1,1083	40,000	70,000	26,900
No.6 C.O.T. (S)	99,0	98,00	9163,133	1,1083	40,000	70,000	19,700
SLOP T. (P)	99,0	98,00	1340,718	1,1083	35,400	40,000	28,700
SLOP T. (S)	99,0	98,00	1340,718	1,1083	35,400	40,000	18,700
Mean outflow for bottom damage (O_MB)			104669,186				

Ys	Zl	Zu	y	z
m	m	m	m	m
32,800	2,400	21,400	21,800	2,400
9,400	2,400	21,400	3,960	2,400
38,200	2,400	21,400	21,800	2,400
8,400	2,400	21,400	2,400	2,400
38,200	2,400	21,400	21,800	2,400
8,400	2,400	21,400	2,400	2,400
38,200	2,400	21,400	21,800	2,400
8,400	2,400	21,400	2,400	2,400
38,200	2,400	21,400	21,800	2,400
8,400	2,400	21,400	2,400	2,400
38,200	2,400	21,400	21,800	2,400
8,400	2,400	21,400	2,400	2,400
37,700	3,000	21,400	21,800	3,000
10,800	3,000	21,400	11,800	3,000

Πίνακας 12.4.7: Ογκομέτρηση και μετρήσεις αποστάσεων X_a , X_F , Y_p , Y_s , Z_l , Z_u , y & z για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές. (Πηγή: MaxSurf Stability)

P(Ba)	P(Bf)	P(BP)	P(BS)	P(BZ)	P(BL)	P(BV)	P(BT)	P(B)	CBD	Bounds bot.sl
0,4196	0,0721	0,3047	0,6068	0,7934	0,5084	0,2066	0,0886	0,0093	0,6000	No
0,4196	0,0721	0,3859	0,1104	0,7934	0,5084	0,2066	0,5037	0,0529	0,6000	No
0,2700	0,2401	0,2315	0,7324	0,7934	0,4899	0,2066	0,0361	0,0037	0,6000	No
0,2700	0,2401	0,3859	0,0938	0,7934	0,4899	0,2066	0,5203	0,0527	0,6000	No
0,1725	0,4437	0,2315	0,7324	0,7934	0,3838	0,2066	0,0361	0,0029	0,6000	No
0,1725	0,4437	0,3859	0,0938	0,7934	0,3838	0,2066	0,5203	0,0413	0,6000	No
0,1074	0,6269	0,2315	0,7324	0,7934	0,2657	0,2066	0,0361	0,0020	0,6000	No
0,1074	0,6269	0,3859	0,0938	0,7934	0,2657	0,2066	0,5203	0,0286	0,6000	No
0,0572	0,7546	0,2315	0,7324	0,7934	0,1882	0,2066	0,0361	0,0014	0,6000	No
0,0572	0,7546	0,3859	0,0938	0,7934	0,1882	0,2066	0,5203	0,0202	0,6000	No
0,0218	0,8435	0,2315	0,7324	0,7934	0,1348	0,2066	0,0361	0,0010	0,6000	No
0,0218	0,8435	0,3859	0,0938	0,7934	0,1348	0,2066	0,5203	0,0145	0,6000	No
0,0171	0,9072	0,1970	0,7207	0,8242	0,0757	0,1758	0,0822	0,0011	0,6000	No
0,0171	0,9072	0,4091	0,1339	0,8242	0,0757	0,1758	0,4570	0,0061	0,6000	No

Πίνακας 12.4.8: Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης στον πυθμένα για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές. (Πηγή: MaxSurf Stability)

OB min	hC1	vol(hC1)	OB1	hC2	vol(hC2)	OB2	OB	OB.P(B).CBD
m ³	m	m ³	m ³	m	m ³	m ³	m ³	m ³
0,000	11,194	2548,110	2940,776	8,881	1728,940	3759,947	3186,527	17,787
0,000	11,194	2548,110	2940,776	8,881	1728,940	3759,947	3186,527	101,176
0,000	11,194	4875,088	3708,331	8,881	3724,828	4858,591	4053,409	8,891
0,000	11,194	4875,088	3708,331	8,881	3724,828	4858,591	4053,409	128,091
0,000	11,194	5537,381	3695,085	8,881	4387,121	4845,345	4040,163	6,943
0,000	11,194	5537,381	3695,085	8,881	4387,121	4845,345	4040,163	100,021
0,000	11,194	5568,522	3694,463	8,881	4418,262	4844,723	4039,541	4,805
0,000	11,194	5568,522	3694,463	8,881	4418,262	4844,723	4039,541	69,229
0,000	11,194	5568,522	3694,463	8,881	4418,262	4844,723	4039,541	3,404
0,000	11,194	5568,522	3694,463	8,881	4418,262	4844,723	4039,541	49,046
0,000	11,194	5466,632	3696,500	8,881	4316,372	4846,760	4041,578	2,439
0,000	11,194	5466,632	3696,500	8,881	4316,372	4846,760	4041,578	35,133
0,000	10,639	776,047	564,671	8,326	599,674	741,044	617,583	0,405
0,000	10,639	776,047	564,671	8,326	599,674	741,044	617,583	2,253
								529,624

Πίνακας 12.4.9: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα συνολικά και για τις υπό διερεύνηση δεξαμενές, για περιπτώσεις παλίρροιας 0 και -2.5 (m). (Πηγή: MaxSurf Stability)

Τελικά, έχουμε:

<i>Calculations</i>		
Mean outflow for side damage (O_MS)	2076,631	m ³
Mean outflow for bottom damage (O_MB)	529,624	m ³
Mean outflow parameter (O_M)	0,011	
Maximum allowable mean outflow parameter (O_M_max)	0,015	
Satus Reg.23	Pass	

Πίνακας 12.4.10: Μέση εκροή πετρελαίου ανά κατηγορία βλάβης και υπολογισμός μέσης παραμέτρου εκροής πετρελαίου, σε σύγκριση με αυτή που ορίζει ο κανονισμός. (Πηγή: MaxSurf Stability)

12.5 Μεθοδολογία υπολογισμού διαρροής πετρελαίου λόγω ατυχήματος χωρίς τη χρήση MaxSurf Stability

Στο παρόν κεφάλαιο, σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω, πραγματοποιείται υπολογισμός της διαρροής πετρελαίου σε περίπτωση πλευρικής βλάβης και ζημιάς στο πυθμένα. Για τον υπολογισμό του πετρελαίου που θα διαρρεύσει σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτούνται τα εξής στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου:

Στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου		
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{pp}	235.371	(m)
Πλάτος B	43	(m)
Κοίλο D	21.4	(m)
Βύθισμα T	15	(m)
Χωρητικότητα DWT	116000	(t)
Χωρητικότητα δεξαμενών C	104669.186	(m ³)

Πίνακας 12.5: Πίνακας που περιέχει απαιτούμενα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου για τον υπολογισμό του πετρελαίου διαρροής.

– 12.5.1 Υπολογισμός πετρελαίου διαρροής λόγω πλευρικής βλάβης

Για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων της πλευρικής βλάβης απαιτούνται κάποιες αποστάσεις για τις επιμέρους δεξαμενές που εξετάζονται. Ο όγκος των επιμέρους δεξαμενών είναι υπολογισμένος λαμβάνοντας υπόψη τη διαχωρητικότητα (Permeability), η οποία ισούται με το 99% όπως ορίζει ο κανονισμός, ενώ με βάση το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου η πληρότητα των δεξαμενών λήφθηκε ίση με 98% του συνολικού όγκου για την κάθε δεξαμενή. Οι μετρήσεις για κάθε μία δεξαμενή παρουσιάζονται παρακάτω:

Holds	Os (m ³)	Xa	Xf	ZI	Zu	y
No.1 C.O.T. (P)	5488.886	190	215	2.4	21.4	21.8
No.1 C.O.T. (S)	5488.886	190	215	2.4	21.4	3.96
No.2 C.O.T. (P)	8583.42	160	190	2.4	21.4	21.8
No.2 C.O.T. (S)	8583.42	160	190	2.4	21.4	2.4
No.3 C.O.T. (P)	9232.467	130	160	2.4	21.4	21.8
No.3 C.O.T. (S)	9232.467	130	160	2.4	21.4	2.4
No.4 C.O.T. (P)	9262.985	100	130	2.4	21.4	21.8
No.4 C.O.T. (S)	9262.985	100	130	2.4	21.4	2.4
No.5 C.O.T. (P)	9262.985	70	100	2.4	21.4	21.8
No.5 C.O.T. (S)	9262.985	70	100	2.4	21.4	2.4
No.6 C.O.T. (P)	9163.133	40	70	2.4	21.4	21.8
No.6 C.O.T. (S)	9163.133	40	70	2.4	21.4	2.4
SLOP T. (P)	1340.718	35.4	40	3	21.4	21.8
SLOP T. (S)	1340.718	35.4	40	3	21.4	11.8
Total:	104669.186					

Πίνακας 12.5.1: Όγκος των δεξαμενών καθώς και οι επιμέρους αποστάσεις Xa, Xf, ZI, Zu & y όπως ορίζονται από τον κανονισμό.

Για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων P_{SL} , P_{SV} , P_{ST} και P_S θα πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι εξής λόγοι X_a/L , X_f/L , Z_l/D , Z_u/D & y/B . Ακολούθως, σύμφωνα με τους πίνακες της MARPOL (Reg. 23) και μέσω της γραμμικής παρεμβολής θα υπολογιστούν οι παρακάτω πιθανότητες:

Holds	X_a/L	P_{sa}	X_f/L	P_{sf}	Z_l/D
No.1 C.O.T. (P)	0.807	0.7742	0.913	0.0559	0.112
No.1 C.O.T. (S)	0.807	0.7742	0.913	0.0559	0.112
No.2 C.O.T. (P)	0.680	0.6468	0.807	0.1598	0.112
No.2 C.O.T. (S)	0.680	0.6468	0.807	0.1598	0.112
No.3 C.O.T. (P)	0.552	0.5193	0.680	0.2872	0.112
No.3 C.O.T. (S)	0.552	0.5193	0.680	0.2872	0.112
No.4 C.O.T. (P)	0.425	0.3919	0.552	0.4147	0.112
No.4 C.O.T. (S)	0.425	0.3919	0.552	0.4147	0.112
No.5 C.O.T. (P)	0.297	0.2644	0.425	0.5421	0.112
No.5 C.O.T. (S)	0.297	0.2644	0.425	0.5421	0.112
No.6 C.O.T. (P)	0.170	0.1369	0.297	0.6696	0.112
No.6 C.O.T. (S)	0.170	0.1369	0.297	0.6696	0.112
SLOP T. (P)	0.150	0.150	0.170	0.7971	0.140
SLOP T. (S)	0.150	0.150	0.170	0.7971	0.140

Holds	P_{sl}	Z_u/D	P_{su}	y/B	P_{sy}
No.1 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.1 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0921	0.8808
No.2 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.2 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0558	0.7766
No.3 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.3 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0558	0.7766
No.4 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.4 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0558	0.7766
No.5 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.5 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0558	0.7766
No.6 C.O.T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
No.6 C.O.T. (S)	0.0015	1	0	0.0558	0.7766
SLOP T. (P)	0.0015	1	0	0.5070	1
SLOP T. (S)	0.0015	1	0	0.2744	0.9857

Πίνακας 12.5.2: Υπολογισμός λόγων και πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η πιθανότητα πλευρικής βλάβης ενός διαμερίσματος P_S , σύμφωνα με την παράγραφο 8.3 του Reg. 23 της MARPOL, υπολογίζεται ως εξής:

$$P_S = P_{SL} \cdot P_{SV} \cdot P_{ST}$$

- $P_{BL}=1-P_{Bf}-P_{Ba}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί στη διαμήκη ζώνη που οριοθετείται από X_a και X_f ,
- $P_{BT}=1-P_{Bp}-P_{Bs}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί στην εγκάρσια ζώνη που οριοθετείται από Y_p και Y_s &
- $P_{BV}=1-P_{Bz}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται στη κατακόρυφη ζώνη πάνω από όριο που ορίζεται από το z .

Με αντικατάσταση, λοιπόν, προκύπτει:

$P_{sl}=1-P_{sf}-P_{sa}$	$P_{sv}=1-P_{su}-P_{sl}$	$P_{st}=1-P_{sy}$	$P_s=P_{sl}*P_{sv}*P_{st}$
0.1699	0.9985	0	0
0.1699	0.9985	0.1192	0.0202
0.1935	0.9985	0	0
0.1934	0.9985	0.2234	0.0432
0.1935	0.9985	0	0
0.1935	0.9985	0.2234	0.0432
0.1935	0.9985	0	0
0.1934	0.9985	0.2234	0.0431
0.1935	0.9985	0	0
0.1935	0.9985	0.2234	0.0432
0.1935	0.9985	0	0
0.1935	0.9985	0.2234	0.0432
0.0529	0.9985	0	0
0.0529	0.9985	0.0143	0.0008

Πίνακας 12.5.3: Υπολογισμός πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη.

Η μέση εκροή πετρελαίου για πλευρική βλάβη OMS, υπολογίζεται ως εξής:

$$O_{MS} = C_3 \cdot \sum_i^n P_{s(i)} \cdot O_{s(i)} \quad (m^3)$$

Όπου:

- $C_3=1$ αφού το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μία διαμήκη φρακτή που εκτείνεται σε όλο το μήκος των δεξαμενών φορτίου.

Επομένως, τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς είναι τα εξής:

$O_s \text{ (m}^3\text{)}$	$O_s*P_s \text{ (m}^3\text{)}$
5488.886	0
5488.886	110.974
8583.42	0
8583.42	370.389
9232.467	0
9232.467	398.461
9262.985	0
9262.985	399.692
9262.985	0
9262.985	399.813
9163.133	0
9163.133	395.418
1340.718	0
1340.718	1.015
Total	2075.763

Πίνακας 12.5.4: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου εξαιτίας πλευρικής βλάβης.

Συνεπώς, έχουμε:

$$O_{MS} = 2075.763 (m^3)$$

– 12.5.2 Υπολογισμός πετρελαίου διαρροής λόγω ζημιάς στον πυθμένα

Όπως και στη προηγούμενη ενότητα, έτσι και εδώ ο υπολογισμός των πιθανοτήτων για ζημιά στον πυθμένα υπολογίζεται αφού έχουν μετρηθεί οιαποσδήποτε X_a , X_f , Y_p , Y_s & z για κάθε δεξαμενή. Ο όγκος των επιμέρους δεξαμενών είναι υπολογισμένος λαμβάνοντας υπόψη τη διαχωρητικότητα (Permeability), η οποία ισούται με το 99% όπως ορίζει ο κανονισμός και με βάση το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου η πληρότητα των δεξαμενών λήφθηκε ίση με 98% του συνολικού όγκου για την κάθε δεξαμενή. Οι μετρήσεις για κάθε μία δεξαμενή παρουσιάζονται παρακάτω:

Holds	Os (m ³)	X _a	X _f	Y _p	Y _s	z
No.1 C.O.T. (P)	5488.886	190	215	23.3	32.8	2.4
No.1 C.O.T. (S)	5488.886	190	215	19.7	9.4	2.4
No.2 C.O.T. (P)	8583.42	160	190	26.9	38.2	2.4
No.2 C.O.T. (S)	8583.42	160	190	19.7	8.4	2.4
No.3 C.O.T. (P)	9232.467	130	160	26.9	38.2	2.4
No.3 C.O.T. (S)	9232.467	130	160	19.7	8.4	2.4
No.4 C.O.T. (P)	9262.985	100	130	26.9	38.2	2.4
No.4 C.O.T. (S)	9262.985	100	130	19.7	8.4	2.4
No.5 C.O.T. (P)	9262.985	70	100	26.9	38.2	2.4
No.5 C.O.T. (S)	9262.985	70	100	19.7	8.4	2.4
No.6 C.O.T. (P)	9163.133	40	70	26.9	38.2	2.4
No.6 C.O.T. (S)	9163.133	40	70	19.7	8.4	2.4
SLOP T. (P)	1340.718	35.4	40	28.7	37.7	3
SLOP T. (S)	1340.718	35.4	40	18.7	10.8	3
Total:	104669.186					

Πίνακας 12.5.5: Όγκος των δεξαμενών καθώς και οι επιμέρους αποστάσεις X_a , X_f , Z_l , Z_u & y όπως ορίζονται από τον κανονισμό.

Για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων P_{BL} , P_{BT} , P_{BV} και P_B θα πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι εξής λόγοι X_a/L , X_f/L , Y_p/B , Y_s/D & z/D . Έπειτα σύμφωνα με τους πίνακες της MARPOL (Reg. 23) και μέσω της γραμμικής παρεμβολής θα υπολογιστούν οι παρακάτω πιθανότητες:

Holds	X_a/L	P_{Ba}	X_f/L	P_{Bf}	Y_p/B
No.1 C.O.T. (P)	0.807	0.4196	0.913	0.0721	0.542
No.1 C.O.T. (S)	0.807	0.4196	0.913	0.0721	0.458
No.2 C.O.T. (P)	0.680	0.27	0.807	0.2401	0.626
No.2 C.O.T. (S)	0.680	0.27	0.807	0.2401	0.458
No.3 C.O.T. (P)	0.552	0.1725	0.680	0.4437	0.626
No.3 C.O.T. (S)	0.552	0.1725	0.680	0.4437	0.458
No.4 C.O.T. (P)	0.425	0.1074	0.552	0.6274	0.626
No.4 C.O.T. (S)	0.425	0.1074	0.552	0.6274	0.458
No.5 C.O.T. (P)	0.297	0.0572	0.425	0.7546	0.626
No.5 C.O.T. (S)	0.297	0.0572	0.425	0.7546	0.458
No.6 C.O.T. (P)	0.170	0.0218	0.297	0.8435	0.626
No.6 C.O.T. (S)	0.170	0.0218	0.297	0.8435	0.458
SLOP T. (P)	0.150	0.017	0.170	0.9072	0.667
SLOP T. (S)	0.150	0.017	0.170	0.9072	0.435

Holds	P_{Bp}	Y_s/B	P_{Bs}	z/D	P_{Bz}
No.1 C.O.T. (P)	0.3047	0.7628	0.6068	0.1121	0.7934
No.1 C.O.T. (S)	0.3859	0.2186	0.1104	0.1121	0.7934
No.2 C.O.T. (P)	0.2315	0.8884	0.7324	0.1121	0.7934
No.2 C.O.T. (S)	0.3859	0.1953	0.0938	0.1121	0.7934
No.3 C.O.T. (P)	0.2315	0.8884	0.7324	0.1121	0.7934
No.3 C.O.T. (S)	0.3859	0.1953	0.0938	0.1121	0.7934
No.4 C.O.T. (P)	0.1315	0.8884	0.7324	0.1121	0.7934
No.4 C.O.T. (S)	0.3859	0.1953	0.0938	0.1121	0.7934
No.5 C.O.T. (P)	0.2315	0.8884	0.7324	0.1121	0.7934
No.5 C.O.T. (S)	0.3859	0.1953	0.0938	0.1121	0.7934
No.6 C.O.T. (P)	0.2315	0.8884	0.7324	0.1121	0.7934
No.6 C.O.T. (S)	0.3859	0.1953	0.0938	0.1121	0.7934
SLOP T. (P)	0.1970	0.8767	0.7207	0.1402	0.8242
SLOP T. (S)	0.4091	0.2512	0.1339	0.1402	0.8242

Πίνακας 12.5.6: Υπολογισμός λόγων και πιθανοτήτων για ζημιά στο πυθμένα.

Η πιθανότητα P_B να παραβιαστεί ένα διαμέρισμα από βλάβη στον πυθμένα υπολογίζεται ως εξής:

$$P_B = P_{BL} \cdot P_{BT} \cdot P_{BV}$$

Όπου:

- $P_{BL}=1-P_{Bf}-P_{Ba}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί στη διαμήκη ζώνη που οριοθετείται από X_a και X_f ,
- $P_{BT}=1-P_{Bp}-P_{Bs}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί στην εγκάρσια ζώνη που οριοθετείται από Y_p και Y_s &
- $P_{BV}=1-P_{Bz}$: ορίζει την πιθανότητα η βλάβη να εκτείνεται στη κατακόρυφη ζώνη πάνω από όριο που ορίζεται από το z .

Με αντικατάσταση, λοιπόν, προκύπτει:

$P_{B1}=1-P_{Bf}-P_{Ba}$	$P_{Bt}=1-P_{Bp}-P_{Bs}$	$P_{Bv}=1-P_{Bz}$	$P_B=P_{B1} \cdot P_{Bt} \cdot P_{Bv}$
0.5084	0.0886	0.2066	0.0093
0.5083	0.5037	0.2066	0.0529
0.4899	0.0361	0.2066	0.0037
0.4899	0.5203	0.2066	0.0527
0.3838	0.0361	0.2066	0.0029
0.3838	0.5203	0.2066	0.0413
0.2652	0.1361	0.2066	0.0075
0.2652	0.5203	0.2066	0.0285
0.1882	0.0361	0.2066	0.0014
0.1882	0.5203	0.2066	0.0202
0.1348	0.0361	0.2066	0.0010
0.1347	0.5203	0.2066	0.0145
0.0758	0.0822	0.1758	0.0011
0.0758	0.4570	0.1758	0.0061

Πίνακας 12.5.7: Υπολογισμός πιθανοτήτων για ζημιά στο πυθμένα του πλοίου.

Στη συνέχεια, θα υπολογιστεί ο όγκος φορτίου των δεξαμενών για τις 2 καταστάσεις παλίρροιας [(0) και (-2.5) m] που ορίζει ο κανονισμός της MARPOL και έχει ήδη προαναφερθεί. Παρακάτω, απεικονίζονται τα αποτελέσματα και οι υπολογισμοί:

$H_c(0)$ (m)	$O_{b(0)}$ (m ³)	$H_c(2.5)$ (m)	$O_{b(2.5)}$ (m ³)
11.194	2940.776	8.881	3759.947
11.194	2940.776	8.881	3759.947
11.194	3708.331	8.881	4858.591
11.194	3708.331	8.881	4858.591
11.194	3695.085	8.881	4845.345
11.194	3695.085	8.881	4845.345
11.194	3694.463	8.881	4844.723
11.194	3694.463	8.881	4844.723
11.194	3694.463	8.881	4844.723
11.194	3694.463	8.881	4844.723
11.194	3696.5	8.881	4846.76
11.194	3696.500	8.881	4846.76
10.639	564.671	8.326	741.044
10.639	564.671	8.326	741.044

Πίνακας 12.5.7: Υπολογισμός όγκου πετρελαίου για τις 2 καταστάσεις παλίρροιας [(0) και (-2.5) m] για ζημιά στο πυθμένα του πλοίου.

Η μέση εκροή πετρελαίου λόγω βλάβης στον πυθμένα για κάθε παλίρροια, υπολογίζεται ως εξής:

$$O_{MB(0)} = \sum_i^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{DB(i)} \quad (m^3) \quad \&$$

$$O_{MB(2.5)} = \sum_i^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{DB(i)} \quad (m^3)$$

Όπου:

- $C_{DB}=0.6$ για δεξαμενές φορτίου που οριοθετούνται από το κάτω μέρος από τα διαμερίσματα χωρίς πετρέλαιο.

Κάνοντας τους υπολογισμούς προκύπτει:

$P_B=P_{B1} \cdot P_{Bt} \cdot P_{Bv}$	C_{db}	$O_{b(0)} \cdot C_{db} \cdot P_B$	$O_{b(2.5)} \cdot C_{db} \cdot P_B$
0.0093	0.6	16.4149	20.9874
0.0529	0.6	93.3573	119.3626
0.0037	0.6	8.1344	10.6575
0.0527	0.6	117.1831	153.5312
0.0029	0.6	6.3470	8.3228
0.0413	0.6	91.4828	119.9609
0.0075	0.6	16.5330	21.6805
0.0285	0.6	63.2026	82.8805
0.0014	0.6	3.1122	4.0812
0.0202	0.6	44.8519	58.8164
0.0010	0.6	2.2295	2.9233
0.0145	0.6	32.1195	42.1143
0.00110	0.6	0.3710	0.4869
0.00610	0.6	2.0632	2.7076
Total		497.4024	648.5132

Πίνακας 12.5.8: Υπολογισμός διαρροής πετρελαίου λόγω βλάβη για τις 2 καταστάσεις παλίρροιας [(0) & (-2.5) m].

Τελικώς, έχουμε:

$$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(-2.5)} = 542.736 (m^3)$$

➤ Υπολογισμός συνολικού πετρελαίου διαρροής

Σύμφωνα με τον κανονισμό 23 της MARPOL, ο υπολογισμός της μέση παραμέτρου εκροής πετρελαίου υπολογίζεται ως εξής:

$$O_M = \frac{0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}}{C} \Rightarrow$$

$$O_M = \frac{0.4 \cdot 2075.763 + 0.6 \cdot 542.736}{104669.186} \Rightarrow$$

$$O_M = 0.011 < 0.015 (Reg. Sat.) \text{ Pass}$$

Επομένως, το πλοίο συμμορφώνεται πλήρως με τον κανονισμό 23 (Reg. 23) της MARPOL, όσον αφορά την απόδοση του πλοίου σε περίπτωση εκροής πετρελαίου κατόπιν βλάβης (Accidental Oil Outflow Performance of ship).

Κεφάλαιο 13: Υδροστατικά χαρακτηριστικά και μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου

Σε όλη τη διάρκεια της ζωής του υπό μελέτη πλοίου αλλάζει το βάρος του, η κατανομή φορτίου, το βύθισμα, η διαγωγή καθώς και το ύψος εξάλων του. Επίσης, η ευστάθεια που αναλύεται σε αυτό το κεφάλαιο αλλάζει και αυτή. Για την εκτίμηση των παραπάνω χαρακτηριστικών του πλοίου σε οποιαδήποτε συνθήκη, απαιτούνται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά για την συγκεκριμένη κατάσταση που μελετάται. Συνήθως αυτή η κατάσταση αποκαλείται κατάσταση σχεδίασης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι γνωστά ως υδροστατικά στοιχεία (hydrostatic data) και παρουσιάζονται είτε σε μορφή πίνακα είτε ως ομάδα καμπυλών οι οποίες ονομάζονται υδροστατικές καμπύλες (hydrostatic curves). Επίσης, πραγματοποιείται έλεγχος της ευστάθειας του άθικτου - υπό μελέτη πλοίου για τις 4 ακόλουθες καταστάσεις φόρτωσης σύμφωνα με τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας.

– Εισαγωγή της γεωμετρίας της γάστρας στο *MaxSurf Modeler*:

Αρχικά, αφού πραγματοποιηθεί εκκίνηση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf Modeler*, γίνεται εισαγωγή του αρχείου είτε με τη μορφή *Rhino .3dm file* είτε σε μορφή *IGES Surfaces and Curves*. Σε περίπτωση που γίνει εισαγωγή με *IGES Surfaces and Curves* θα πρέπει να έχει προηγηθεί αποθήκευση στο *Rhinoceros 3D* στην αντίστοιχη μορφή αρχείου. Έπειτα, υλοποιείται ορισμός του “Frame of Reference & Zero Point”, δηλαδή διαφορετικό σύστημα συντεταγμένων, όπου σημείο αναφοράς είναι το Aft Perpendicular & Baseline. Επίσης, συμπληρώνουμε το συνολικό μήκος πλοίου και το βύθισμα σχεδίασής του. Σε αυτό το σημείο, ενδεχομένως να απαιτηθεί η σχεδίαση κάποιων επιφανειών σε σημεία όπου δεν έχουν εφαρμοστεί κάποιες επιφάνειες του *Rhinoceros 3D*. Στη συνέχεια, γίνεται αποθήκευση του αρχείου στο *MaxSurf Modeler*, όπου κυρίως αφορά το σχεδιαστικό κομμάτι της γάστρας και όχι μόνο του πλοίου, ενώ η διαμερισματοποίηση πραγματοποιείται στο *MaxSurf Stability* σύμφωνα με το κεφάλαιο 11 καθώς και το *Capacity Plan* του πατρικού πλοίου. Τέλος, αφού οριστικοποιηθεί η γεωμετρία και η διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου, με τη βοήθεια του προγράμματος *MaxSurf Stability* καθίσταται δυνατός ο έλεγχος των υδροστατικών στοιχείων και ο σχεδιασμός του υδροστατικού διαγράμματος. Ακόμη, γίνεται έλεγχος των κριτηρίων ευστάθειας καθώς και του κριτηρίου καιρού για τις επιμέρους καταστάσεις φόρτωσης.

13.1 Υδροστατικό διάγραμμα

Το υδροστατικό διάγραμμα (Hydrostatic Diagram), λοιπόν, ενός πλοίου αποτελείται από ένα σύνολο καμπυλών, οι οποίες παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της ισορροπίας του στις καταστάσεις φόρτωσης, οι οποίες ικανοποιούν τις συνθήκες των μικρών μεταβολών. Το βασικό δεδομένο που εισάγεται σε όλους τους σχετικούς υπολογισμούς είναι το βύθισμα (T) του πλοίου συναρτήσει του οποίου βρίσκονται, από το σύνολο των υδροστατικών καμπυλών, όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν την πλευση του. Το υδροστατικό διάγραμμα:

- Εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωμετρία του πλοίου και είναι ανεξάρτητο από την κατανομή των βαρών του, &
- Κατασκευάζεται για μια συγκεκριμένη διαγωγή. Η συνήθης κατάσταση για την οποία υπολογίζεται είναι η ισοβύθιστη, δηλαδή στο υπό μελέτη πλοίο έχουμε μηδενική διαγωγή ($trim=0$).

Οι υδροστατικές καμπύλες σχεδιάζονται για τα παρακάτω μεγέθη:

- Όγκο εκτοπίσματος ∇ και το εκτόπισμα του πλοίου Δ σε θαλασσινό νερό,
- Διαμήκη (LCB) και κατακόρυφη (VCB) θέση του κέντρο αντώσεως,
- Μεταβολή εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος (TP1),

- Διαμήκη θέση του κέντρου πλευστότητας της ισάλου (LCF),
- Εγκάρσια και διαμήκης μετακεντρική ακτίνα (BMT, BML),
- Κατακόρυφη απόσταση εγκάρσιου μετακέντρου (KMT) και διαμήκους μετακέντρου (KML),
- Ροπή διαγωγής ανά μονάδα μεταβολής βυθισμάτων (MT1),
- Πρισματικός συντελεστής C_p ,
- Συντελεστής γάστρας C_B ,
- Συντελεστής μέσης τομής C_M &
- Συντελεστής ισάλου επιφανείας C_{WP}

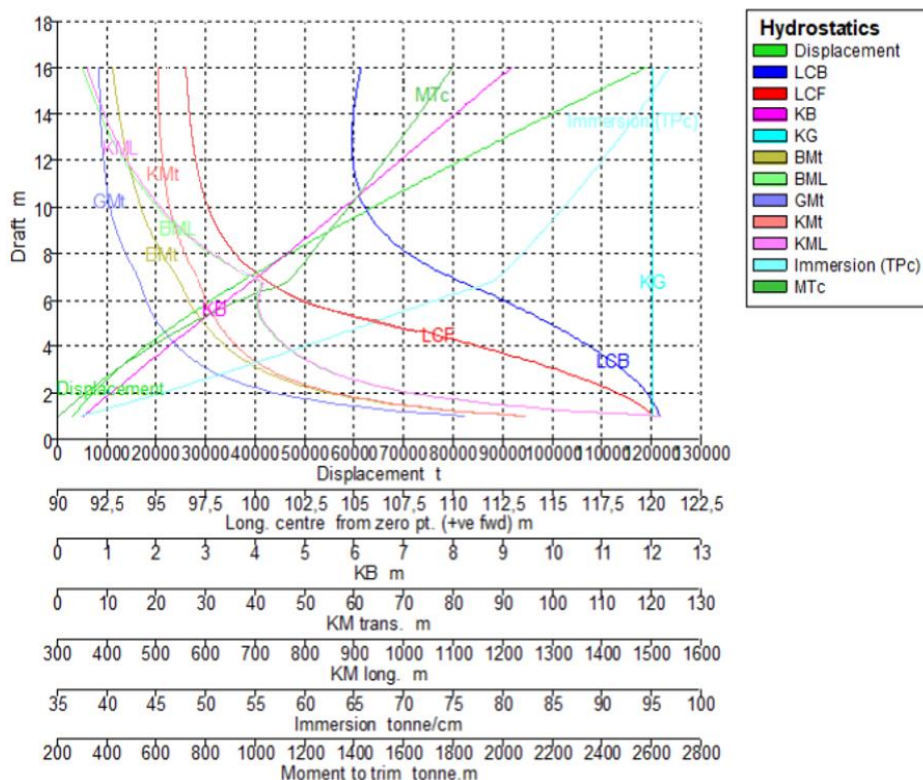
Αν και προηγουμένως, στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*, υπολογίστηκαν κάποια βασικά υδροστατικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, θα γίνει επαναπροσδιορισμός αυτών με τη χρήση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf*.

Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	134320	t
2	Volume (displaced)	131043,933	m ³
3	Draft Amidships	15,000	m
4	Immersed depth	15,000	m
5	WL Length	246,126	m
6	Beam max extents on WL	43,000	m
7	Wetted Area	15630,120	m ²
8	Max sect. area	633,285	m ²
9	Waterpl. Area	9987,110	m ²
10	Prismatic coeff. (C_p)	0,841	
11	Block coeff. (C_b)	0,825	
12	Max Sect. area coeff. (C_m)	0,990	
13	Waterpl. area coeff. (C_{wp})	0,944	
14	LCB length	2,698	from zero pt. (+ve fwd) m
15	LCF length	4,805	from zero pt. (+ve fwd) m
16	LCB %	1,096	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	1,952	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18	KB	8,095	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMT	11,210	m
21	BML	348,268	m
22	GMt corrected	19,305	m
23	GML	356,363	m
24	KMt	19,305	m
25	KML	356,363	m
26	Immersion (TPc)	102,368	tonne/cm
27	MTc	2510,669	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	45255,160	tonne.m
29	Length:Beam ratio	5,724	

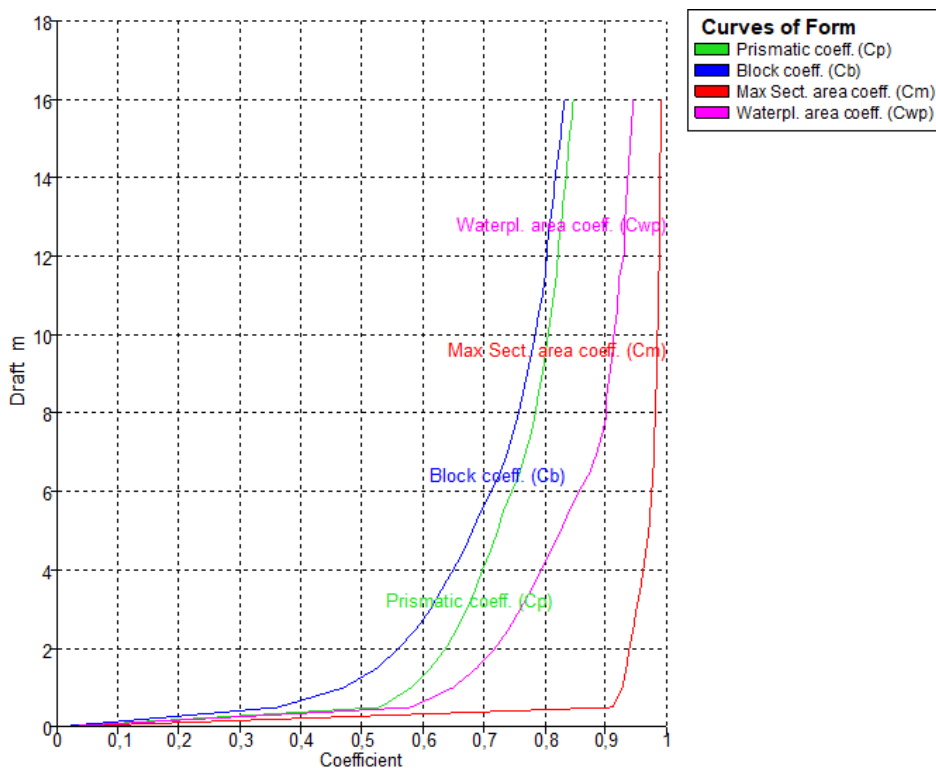
Density (water)	1,025 tonne/m ³
Std. densities	1,025 tonne/m ³ - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m ³)
VCG	0 m
	<input type="button" value="Recalculate"/>

Πίνακας 13.1: Υδροστατικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου. (Πηγή: MaxSurf Modeler)

Ακολούθως, η γεωμετρία εισάγεται το *MaxSurf Stability* για τη δημιουργία του υδροστατικού διαγράμματος, για βυθίσματα από 0 – 16 (m) με βήμα 0.5 (m). Το υδροστατικό διάγραμμα απεικονίζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 13.2: Υδροστατικό διάγραμμα του υπό μελέτη πλοίου για βυθίσματα 0 – 16 (m). (Πηγή: MaxSurf Stability)

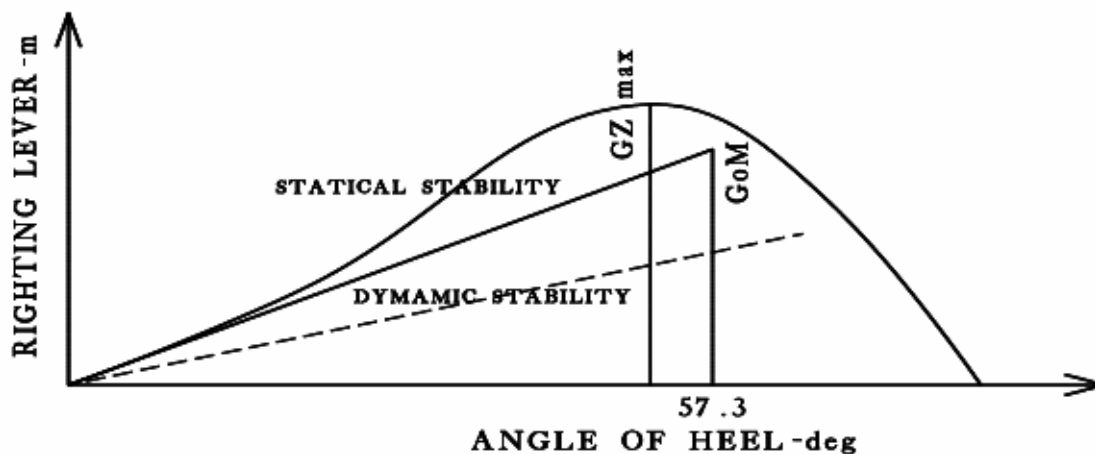


Διάγραμμα 13.3: Υδροστατικό διάγραμμα του υπό μελέτη πλοίου συναρτήσεως των συντελεστών μορφής. (Πηγή: MaxSurf Stability)

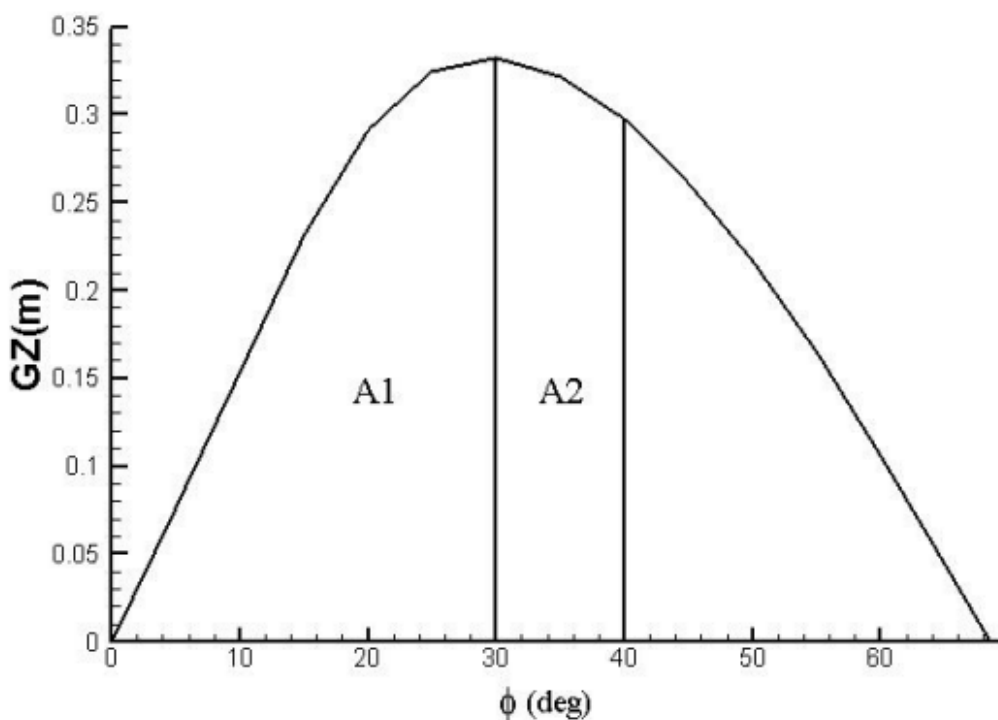
13.2 Μελέτη ευστάθειας άθικτου πλοίου σύμφωνα με IMO A.749(18) - Code on Intact Stability

Η ανάλυση ευστάθειας του άθικτου - υπό μελέτη πλοίου, γίνεται σύμφωνα με τον κανονισμό του IMO A.749(18) Chapter 3 - Code on Intact Stability, όπου περιλαμβάνει:

- Κριτήρια άθικτης ευστάθειας (IMO 2008 IS CODE, Pt.A, Ch.2.3):



Διάγραμμα 13.4: Διάγραμμα GZ - φ. (Πηγή: IMO Instruments)



Διάγραμμα 13.5: Επεξήγηση εμβαδών για εφαρμογή κριτηρίου IMO A.749. (Πηγή: Τζαμπίρας 2015)

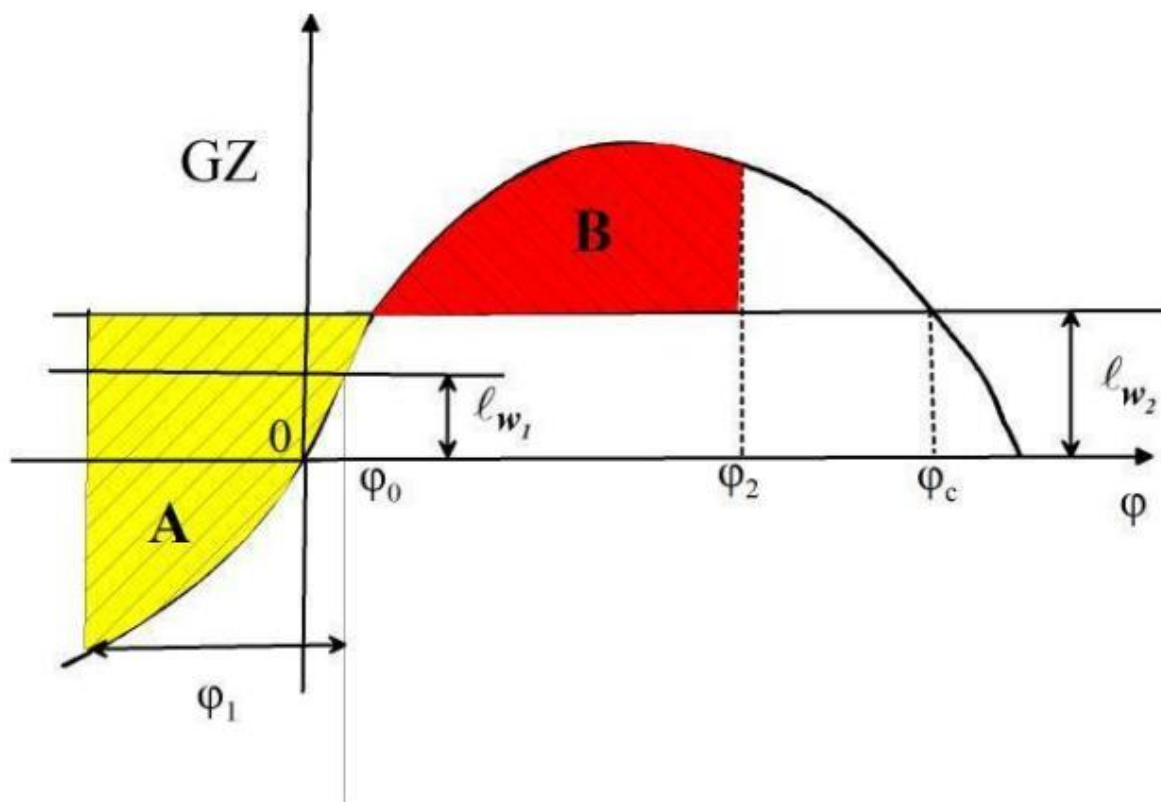
- Η περιοχή κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς (GZ CURVE) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.055 (meter – radians) έως $\phi = 30^\circ$ και όχι μικρότερη από 0.09 (meter – radians) έως $\phi = 40^\circ$ ή τη γωνία κατάκλισης Θf^* , εάν αυτή η γωνία είναι μικρότερη από 40° ,

- Επιπλέον, η περιοχή κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς (GZ CURVE) μεταξύ των γωνιών 30° και 40° ή μεταξύ 30° και ΘF^* (εάν αυτή η γωνία είναι μικρότερη από 40°), δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.03 (meter – radians),
- Ο δεξιός μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.20 μέτρα σε γωνία ίση ή μεγαλύτερη από 30° ,
- Ο μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ πρέπει να εμφανίζεται σε γωνία κατά προτίμηση μεγαλύτερη 30° αλλά όχι μικρότερη από 25° ,
- Το ελάχιστο αρχικό ύψος του μετακέντρου (GoM) δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,15 m (σε συνδυασμό με κριτήρια καιρού) &
- Κριτήρια καιρού (σοβαρού ανέμου) και διατοιχισμού - rolling (Code IS 2008 Ch.2.3).

Όλα τα παραπάνω κριτήρια θα πρέπει να ικανοποιούνται σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης που εξετάζονται παρακάτω.

Το κριτήριο “Severe wind and rolling” περιλαμβάνει την επίδραση των εγκάρσιων κυματισμών και του ανέμου στην ευστάθεια των πλοίων, και περιγράφεται ως εξής:

- Το πλοίο υπόκειται σε πλευρικό άνεμο, στον οποίο ο μοχλοβραχίονας εγκάρσιας κλίσης είναι l_{w1} και ισορροπεί σε μια γωνία εγκάρσιας κλίσης φ_0 . Η εγκάρσια κλίση του πλοίου κινείται μεταξύ θετικών και αρνητικών γωνιών, με τη μέγιστη αρνητική να συμβολίζεται με φ_1 , όταν το πλοίο κινείται και εκτελεί διατοιχισμό. Επίσης, δέχεται ριπή πλευρικού ανέμου για την οποία ο μοχλοβραχίονας εγκάρσιας κλίσης συμβολίζεται με l_{w2} . Αφού το πλοίο κινείται προς τις θετικές γωνίες (αρνητικοί μοχλοβραχίονες), λόγω κίνησης του πλοίου καθώς και της ριπής ανέμου, και ισορροπεί με τη συνεισφορά των θετικών μοχλοβραχιόνων στη γωνία φ_2 όπου η επιφάνεια A γίνεται ίση με τη B.



Διάγραμμα 13.6: Διάγραμμα GZ - φ για τα κριτήρια καιρού. (Πηγή: Τζαμπίρας, 2015)

Οι μοχλοβραχίονες l_{w1} και l_{w2} υπολογίζονται από τους εξής τύπους:

$$lw_1 = \frac{P \cdot A_v \cdot \alpha}{\Delta}$$

$$lw_2 = 1.5 \cdot lw_1$$

Όπου:

- P (πίεση ανέμου) = 504 (Pa),
- A_v: συνολική προβεβλημένη επιφάνεια εξάλων του πλοίου,
- α: η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου της επιφάνειας A_v από το κέντρο της προβεβλημένης επιφάνειας των υφάλων κατά το διάμηκες (συνήθως T/2) &
- Δ: εκτόπισμα πλοίου

Η γωνία διατοιχισμού φ₁ του πλοίου, που προκύπτει από επίδραση πλευρικών κυματισμών υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\varphi_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

Όπου:

- K, X₁, X₂ & s : λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα,
- r = 0.73 ± 0.6 · (T - KG) (+αν η εγκάρσια απόσταση του κέντρου βάρους είναι πάνω από την ίσαλο)

K = f(L, B, A _K)		X ₁ = B/T		X ₂ = f(CB)		s = f(T _R)	
A _K ·100/(LB)	K	B/T	X ₁	CB	X ₂	T _R	s
0	1,00	≤ 2,4	1,00	≤ 0,45	0,75	≤ 6	0,100
1,	0,98	2,5	0,98	0,50	0,82	7	0,098
1,5	0,95	2,6	0,96	0,55	0,89	8	0,093
2,	0,88	2,7	0,95	0,60	0,95	12	0,065
3,	0,74	2,8	0,93	0,65	0,97	14	0,053
3,5	0,72	2,9	0,91	≥ 0,70	1,00	16	0,044
≥ 4,0	0,70	3,0	0,90			18	0,038
		3,1	0,88			≥ 20	0,035
		3,2	0,86				
		3,3	0,84				
		3,4	0,82				
		≥ 3,5	0,80				

Παρατηρήσεις
 (1) Για ενδιάμεσες τιμές, γραμμική παρεμβολή.
 (2) K = 1,0, για πλοία με κυρτό γάστρας, χωρίς παρατροπίδια.
 (3) A_K = συνολική επιφάνεια παρατροπίδιων [m²].

Εικόνα 13.7: Ορισμός παραμέτρων για την εφαρμογή κριτηρίων καιρού. (Τζαμπίρας, 2015)

Επίσης, η ιδιοπερίοδος διατοιχισμού (roll period) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_R = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

Όπου:

- C = 0.373 + 0.023 · (B/T) - 0.043 · (L_{WL}/100),
- L_{WL}: μήκος της ισάλου,
- B: πλάτος πλοίου,
- T: βύθισμα πλοίου &

- GM: διορθωμένο μετακεντρικό ύψος, λόγω ελεύθερων επιφανειών

13.3 Ανάλυση κέντρου βάρους άφορτου πλοίου (Lightship)

Η μελέτη και η ανάλυση της ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου απαιτεί τη γνώση των θέσεων του κέντρου βάρους του άφορτου πλοίου ως προς το διάμηκες και το κατακόρυφο επίπεδο. Από το Trim & Stability Booklet, του πατρικού πλοίου, η διαμήκη και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους είναι γνωστές και για αυτό το λόγο γίνεται η χρήση συντελεστή με τους λόγους των διαστάσεων του πατρικού με το υπό μελέτη πλοίο, καταλήγοντας στη διάμηκη και κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του άφορτου - υπό μελέτη πλοίου. Συνεπώς, έχουμε:

$$LCG_{\pi} = -10 \text{ (m) πρύμνηθεν της μέσης τομής}$$

$$VCG_{\pi} = 12 \text{ (m) απόσταση από τη βασική γραμμή (Base Line)}$$

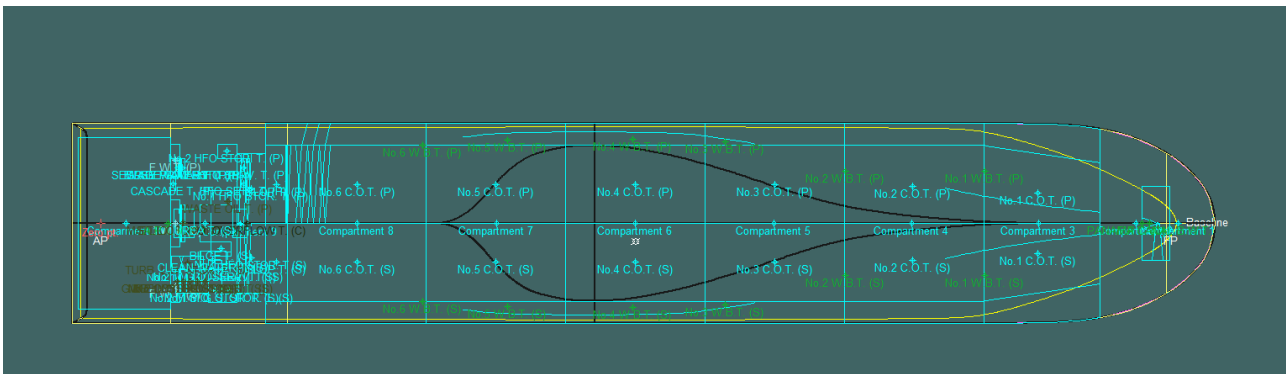
Επομένως, για το υπό μελέτη πλοίο έχουμε:

$$LCG_v = LCG_{\pi} \cdot \frac{L_v}{L_{\pi}} = -10 \cdot \frac{235.371}{239} \Rightarrow LCG_v = -9.848 \text{ (m) πρύμνηθεν της μέσης τομής}$$

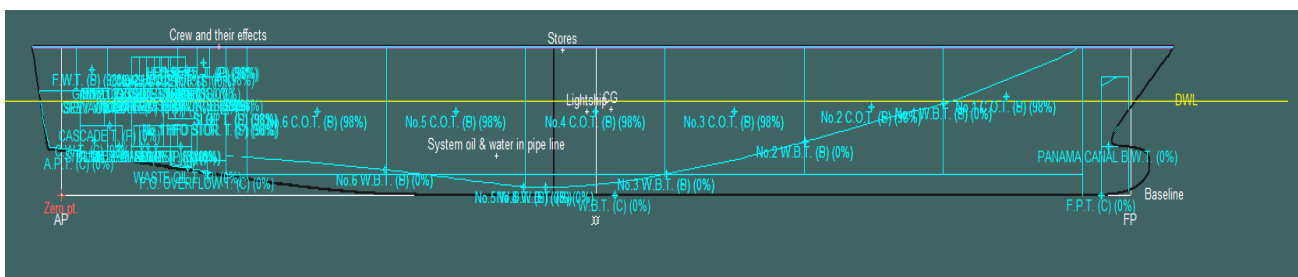
$$VCG_v = VCG_{\pi} \cdot \frac{D_v}{D_{\pi}} = 12 \cdot \frac{21.4}{21.35} \Rightarrow VCG_v = 12.028 \text{ (m) απόσταση από τη βασική γραμμή (Baseline)}$$

13.4 Διαμερισματοποίηση και έλεγχος χωρητικότητας δεξαμενών

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη διαμερισματοποίηση των δεξαμενών φορτίου, καυσίμου, λιπαντικών καθώς και των δεξαμενών έρματος και καθαρού νερού. Η παραπάνω τρισδιάστατη γάστρα εισάγεται στο ναυπηγικό πρόγραμμα *MaxSurf* ώστε να πραγματοποιηθεί η διαμερισματοποίηση των παραπάνω δεξαμενών σύμφωνα με το *Capacity Plan* και το *General Arrangement* του πατρικού πλοίου. Οι δεξαμενές τοποθετούνται σύμφωνα με το πατρικό και τους λόγους διαστάσεων ανάμεσα στο υπό μελέτη και πατρικό πλοίο. Επίσης, το ειδικό βάρος των δεξαμενών προκύπτει από το *Trim & Stability Booklet* του πατρικού.



Εικόνα 13.4.1: Κάτοψη της διαμερισματοποίησης του υπό μελέτη πλοίου. (Πηγή: MaxSurf Stability)



Εικόνα 13.4.2: Πλάγια όψη της διαμερισματοποίησης του υπό μελέτη πλοίου. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Αφού ολοκληρωθεί η διαμερισματοποίηση και ο έλεγχος των δεξαμενών ως προς την πληρότητα, επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος των κριτηρίων ευστάθειας για τις 4 καταστάσεις φόρτωσης που θα εξεταστούν ενδελεχώς στα παρακάτω κεφάλαια. Οι 4 καταστάσεις φόρτωσης είναι:

- Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Homogenous loaded condition on design draft at Departure)
- Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Homogenous loaded condition on design draft at Arrival)
- Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αναχώρηση (Ballast condition at Departure)
- Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Άφιξη (Ballast condition at Arrival)

Για τις παραπάνω καταστάσεις φόρτωσης, η χωρητικότητα των δεξαμενών σχετικά με το είδος φορτίου απεικονίζεται παρακάτω. Επίσης, λαμβάνεται διαχωρητικότητα ίση με 99% λόγω διάφορων ενισχυτικών και διαμορφώσεων που φέρουν οι δεξαμενές αυτές. Επομένως, η χωρητικότητα των δεξαμενών είναι οι εξής:

Tanks	Volume 100% (m ³)	Fullness (%)	Specific gravity (t/m ³)	Max Weight (t)
Cargo T.	104669.189	98%	0.858	89806.162
Fresh Water T.	290.284	100%	1	290.284
Heavy Fuel Oil T.	2327.395	98%	0.99	2304.121
Marine Gas Oil T.	499.847	98%	0.89	444.864
Lubricating Oil T.	143.59	98%	0.92	132.102
Water Ballast T.	37694.781	100%	1.025	38637.15
Miscellaneous T.	267.3	100%	1	262.3
Total	154812.115			137424.13

Πίνακας 13.3: Πληρότητα δεξαμενών που φέρει το υπό μελέτη πλοίο. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Lightship	1	20211,768	20211,768			113,152	0,000	12,028
Crew and their effects	28	0,150	4,200			34,000	0,000	21,400
Stores	1	115,000	115,000			108,000	0,000	21,000
System oil & water in pipe line	1	58,200	58,200			93,750	0,330	5,670
Provision	1	6,700	6,700			26,700	0,000	21,400
Total			20395,868			113,023	0,001	12,065

Πίνακας 13.4: Βάρη άφορτου πλοίου καθώς και οι επιμέρους θέσεις αυτών. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Ακολουθούν στα επόμενα υποκεφάλαια, οι 4 «δυσμενέστερες» καταστάσεις φόρτωσης που θα εξεταστούν ως προς τα κριτήρια ευστάθειας (άθικτης και κριτήριο καιρού), την καμπύλη στατικής ευστάθειας (GZ-φ) και τον υπολογισμό των υδροστατικών χαρακτηριστικών κάτι το οποίο γίνεται στο *MaxSurf Stability* επιλέγοντας καταλλήλως μέσω του προγράμματος, τα κριτήρια αυτά για κάθε κατάσταση φόρτωσης.

13.5 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Homogenous loaded condition on design draft at Departure)

Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, το φορτωμένο πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με τις δεξαμενές φορτίου, καυσίμου, λίπανσης και αναλωσίμων γεμάτες (πληρότητα 98%) ενώ οι δεξαμενές έρματος και διάφορες άλλες είναι άδειες (πληρότητα 0%). Παρακάτω εμφανίζονται οι επιμέρους δεξαμενές καθώς και η πληρότητα που φέρουν στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης:

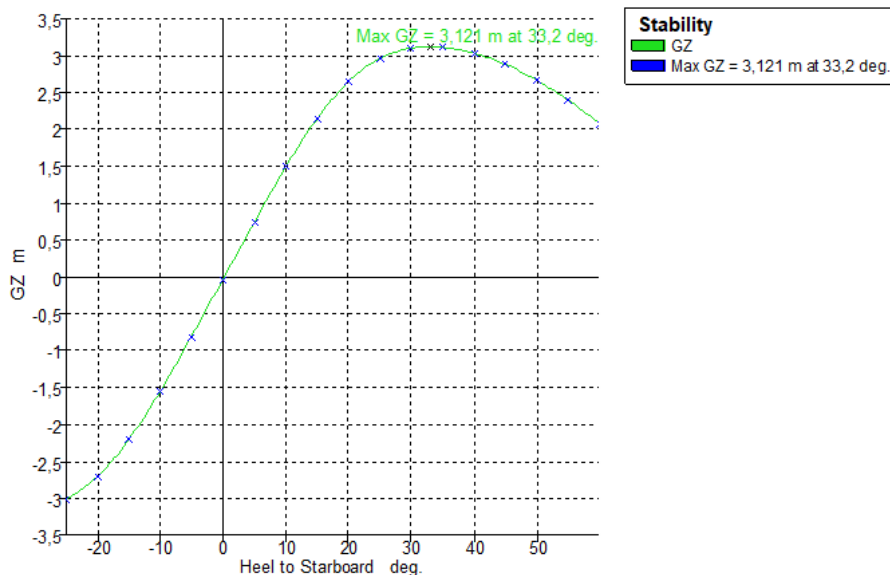
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
.Cargo Holds										
No.1 C.O.T. (P)	98%	4805,576	4709,465	5600,904	5488,887	201,643	-6,796	13,595	0,000	Maximu
No.1 C.O.T. (S)	98%	4805,576	4709,464	5600,904	5488,886	201,643	6,796	13,595	0,000	Maximu
No.2 C.O.T. (P)	98%	7514,871	7364,574	8758,591	8583,420	174,627	-7,933	12,299	0,000	Maximu
No.2 C.O.T. (S)	98%	7514,871	7364,574	8758,591	8583,420	174,627	7,933	12,299	0,000	Maximu
No.3 C.O.T. (P)	98%	8083,119	7921,456	9420,884	9232,466	144,964	-8,350	11,740	0,000	Maximu
No.3 C.O.T. (S)	98%	8083,119	7921,456	9420,884	9232,467	144,964	8,350	11,740	0,000	Maximu
No.4 C.O.T. (P)	98%	8109,837	7947,641	9452,025	9262,985	115,000	-8,375	11,710	0,000	Maximu
No.4 C.O.T. (S)	98%	8109,837	7947,642	9452,025	9262,987	115,000	8,375	11,710	0,000	Maximu
No.5 C.O.T. (P)	98%	8109,837	7947,640	9452,025	9262,984	85,000	-8,375	11,710	0,000	Maximu
No.5 C.O.T. (S)	98%	8109,837	7947,641	9452,025	9262,985	85,000	8,375	11,710	0,000	Maximu
No.6 C.O.T. (P)	98%	8022,416	7861,968	9350,135	9163,133	55,097	-8,318	11,810	0,000	Maximu
No.6 C.O.T. (S)	98%	8022,416	7861,969	9350,135	9163,134	55,097	8,318	11,810	0,000	Maximu
SLOP T. (P)	98%	1173,812	1150,336	1368,079	1340,718	37,706	-8,252	12,247	0,000	Maximu
SLOT T. (S)	98%	1173,812	1150,336	1368,079	1340,718	37,706	8,252	12,247	0,000	Maximu
Total Cargo Holds	98%	91638,937	89806,163	106805,290	104669,190	121,374	0,000	12,041	0,000	
.Fresh Water Tanks										
C.W.T. (C)	98%	118,800	116,424	118,800	116,424	16,000	0,000	12,940	0,000	Maximu
F.W.T. (P)	98%	88,704	86,930	88,704	86,930	16,000	-13,500	18,136	0,000	Maximu
F.W.T. (S)	98%	88,704	86,930	88,704	86,930	16,000	13,500	18,136	0,000	Maximu
Total Fresh Water Tanks	98%	296,208	290,284	296,208	290,284	16,000	0,000	16,052	0,000	
.Heavy Fuel Oil Tanks										
No.1 HFO STOR. T. (P)	98%	1093,792	1071,917	1104,841	1082,744	32,300	-7,500	10,880	0,000	Maximu
No.1 HFO STOR. T. (S)	98%	1093,792	1071,917	1104,841	1082,744	32,300	7,500	10,880	0,000	Maximu
No.2 HFO STOR. T. (P)	98%	79,035	77,455	79,834	78,237	27,100	-15,500	18,136	0,000	Maximu
HFO SERV. T. (P)	98%	48,299	47,333	48,787	47,812	30,600	-12,000	19,156	0,000	Maximu
HFO SETT. T. (P)	98%	36,225	35,500	36,590	35,859	30,600	-8,500	19,156	0,000	Maximu
Total Heavy Fuel Oil Tanks	98%	2351,144	2304,121	2374,893	2327,395	32,064	-0,899	11,421	0,000	
.Marine Gas Oil Tanks										
No.1 M.G.O. STOR. T. (S)	98%	112,781	110,525	126,720	124,185	27,600	14,500	13,920	0,000	Maximu
No.2 M.G.O. STOR. T. (S)	98%	105,732	103,617	118,800	116,424	24,500	14,500	13,920	0,000	Maximu
No.1 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	25,250	10,000	13,920	0,000	Maximu
No.2 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	23,750	10,000	13,920	0,000	Maximu
Total Marine Gas Oil Tanks	98%	303,098	297,036	340,560	333,749	25,653	13,244	13,920	0,000	
◀ ▶ \ Full Load - Departure \ Homo. Full Load - Arrival \ Ballast condition - Departure \ Ballast condition - Arrival										
.Lubricating Oil Tanks										
No.1 CYL. OIL STOR. T. (S)	98%	6,376	6,248	6,930	6,791	22,300	12,500	16,490	0,000	Maximu
No.2 CYL. OIL STOR. T. (S)	98%	7,286	7,141	7,920	7,762	20,800	12,500	16,490	0,000	Maximu
M/E L.O. STOR. T. (S)	98%	7,286	7,141	7,920	7,762	19,200	12,500	16,490	0,000	Maximu
M/E L.O. SETT. T. (S)	98%	6,376	6,248	6,930	6,791	17,700	12,500	16,490	0,000	Maximu
G/E L.O. STOR. T. (S)	98%	3,643	3,570	3,960	3,881	16,400	12,500	14,990	0,000	Maximu
M/E L.O. SUMP. T. (C)	98%	48,090	47,128	52,272	51,227	17,800	0,000	7,980	0,000	Maximu
TURB. L.O. STOR. T. (S)	98%	55,741	54,626	60,588	59,376	18,600	8,500	8,470	0,000	Maximu
Total Lubricating Oil Tanks	98%	134,798	132,102	146,520	143,590	18,539	6,386	10,084	0,000	
.Water Ballast Tanks										
A.P.T. (C)	0%	10315,189	0,000	10063,599	0,000	14,470	0,000	5,000	0,000	Maximu
F.P.T. (C)	0%	125,569	0,000	122,506	0,000	224,034	0,000	0,001	0,000	Maximu
PANAMA CANAL B.W.T.	0%	462,071	0,000	450,801	0,000	225,545	0,000	7,000	0,000	Maximu
No.1 W.B.T. (P)	0%	1113,603	0,000	1086,442	0,000	190,102	-10,067	9,851	0,000	Maximu
No.1 W.B.T. (S)	0%	1113,603	0,000	1086,442	0,000	190,102	10,067	9,851	0,000	Maximu
No.2 W.B.T. (P)	0%	2113,553	0,000	2062,003	0,000	160,212	-10,067	3,987	0,000	Maximu
No.2 W.B.T. (S)	0%	2113,553	0,000	2062,003	0,000	160,212	10,067	3,987	0,000	Maximu
No.3 W.B.T. (P)	0%	2928,652	0,000	2857,221	0,000	136,828	-16,409	2,400	0,000	Maximu
No.3 W.B.T. (S)	0%	2928,652	0,000	2857,221	0,000	136,828	16,409	2,400	0,000	Maximu
No.4 W.B.T. (P)	0%	3158,911	0,000	3081,864	0,000	114,629	-17,296	2,400	0,000	Maximu
No.4 W.B.T. (S)	0%	3158,911	0,000	3081,864	0,000	114,629	17,296	2,400	0,000	Maximu
No.5 W.B.T. (P)	0%	3129,305	0,000	3052,981	0,000	86,435	-17,097	2,400	0,000	Maximu
No.5 W.B.T. (S)	0%	3129,305	0,000	3052,981	0,000	86,435	17,097	2,400	0,000	Maximu
No.6 W.B.T. (P)	0%	3331,855	0,000	3250,590	0,000	67,159	-15,712	2,400	0,000	Maximu
No.6 W.B.T. (S)	0%	3331,855	0,000	3250,590	0,000	67,159	15,712	2,400	0,000	Maximu
Total Water Ballast Tanks	0%	42454,587	0,000	41419,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

.Miscellaneous Tanks										
BILGE PRIMARY T. (P)	30%	14,256	4,277	14,256	4,277	17,400	-12,000	7,450	6,400	Maximum
S/T L.O. DRAIN T.	30%	7,286	2,186	7,920	2,376	17,500	0,000	9,150	39,253	Maximum
BILGE T. (S)	30%	39,204	11,761	39,204	11,761	25,800	5,500	7,450	9,900	Maximum
WASTE OIL T. (P)	30%	34,146	10,244	37,115	11,134	25,963	-5,440	4,577	9,108	Maximum
GREY WATER T. (P)	30%	3,960	1,188	3,960	1,188	16,500	-12,000	14,150	5,333	Maximum
SEWAGE COLLECT T. (P)	30%	47,520	14,256	47,520	14,256	16,500	-12,000	10,600	16,000	Maximum
F.O. OVERFLOW T. (C)	50%	26,688	13,344	28,262	14,131	29,995	0,000	3,802	50,992	Maximum
UREA T. (S)	90%	38,016	34,214	38,016	34,214	22,400	0,000	18,900	102,400	Maximum
CASCADE T. (P)	50%	5,940	2,970	5,940	2,970	15,500	-8,500	10,500	2,250	Maximum
CLEAN WATER T. (S)	30%	44,352	13,306	44,352	13,306	24,000	8,000	18,300	29,867	Maximum
Total Miscellaneous Tanks	41,22%	261,368	107,745	266,545	109,613	22,914	-1,360	12,310	271,504	

Πίνακας 13.5.1: Πληρότητα δεξαμενών που φέρει το υπό μελέτη πλοίο στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Με τη χρήση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf Stability* γίνεται ο υπολογισμός των τιμών της εγκάρσιας ευστάθειας του μοχλοβραχίονα επαναφοράς συναρτήσεως των γωνιών κλίσης ($GZ - \phi$), για γωνίες από -40 έως 60 μοίρες με βήμα 5 μοίρες και κατεύθυνση Starboard. Επίσης, ελέγχονται από το πρόγραμμα τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας που πρέπει να ικανοποιεί το πλοίο καθώς και το κριτήριο καιρού, τα οποία υπόκεινται στον κανονισμό του IMO A.749(18) - Code on Intact Stability.

Καμπύλη άθικτης ευστάθειας $GZ - \phi$:



Διάγραμμα 13.5.2: Καμπύλη ευστάθειας $GZ - \phi$ για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας:

	UNIT	ATTV	REQ.	STAT.
Maximum GZ at angle	m	3.121		OK
Area under GZ curve up to 30 deg.	m*rad	1.0109	0.055	OK
Area under GZ curve up to 40 deg. Or FAUN	m*rad	1.5516	0.090	OK
Area under GZ curve between 30 and 40 deg or FAUN	m*rad	0.5406	0.030	OK
Max. GZ in angle of heel ≥ 30 deg.	m	3.121	0.200	OK
Max. GZ at an angle >25 deg.	deg.	33.2	25	OK
GoM	m	8.801	0.15	OK
Severe wind and rolling				OK

Πίνακας 13.5.3: Έλεγχος κριτηρίων ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση. (Homogenous loaded condition on design draft at Departure)

**FAUN: Flooding Angle with Unprotected Openings

Large Angle Stability - Full Load - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	60,0	deg			
7		shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	57,9240	Pass	+1738,10
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	60,0	deg			
16		shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	88,9028	Pass	+1624,06
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	60,0	deg			
25		shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	30,9788	Pass	+1702,25
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	33,2	deg	33,2		
33		shall not be less than (\geq)	0,200	m	3,121	Pass	+1460,50
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	33,2		
36							
<div style="text-align: right;"> MARPOL Cross-Flood Criteria Key pts. Rooms / </div>							
Large Angle Stability - Full Load - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (\geq)	25,0	deg	33,2	Pass	+32,73
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		angle of equilibrium	0,2	deg			
42		shall not be less than (\geq)	0,150	m	8,801	Pass	+5767,33
43							
44	A.749(18) C	3.1.2.5: Passenger crowding: an				Pass	
45		Pass. crowding arm = $nPass M / d$					
46		number of passengers: nPass =	28				
47		passenger mass: M =	0,075	tonne			
48		distance from centre line: D =	34,000	m			
49		cosine power: n =	0				
50		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,2	Pass	+97,87
51		Intermediate values					
52		Heel arm amplitude		m	0,001		
53							
54	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibriu				Pass	
55		Turn arm = $a v^2 / (R g) h \cos^n(p)$					
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	4,304	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	0,3	Pass	+96,63
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,020		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = $a P A (h - H) / (g disp.)$					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m ²			
71		H = mean draft / 2	8,002	m			
72		cosine power: n =	0				
<div style="text-align: right;"> MARPOL Cross-Flood Criteria Key pts. Rooms / </div>							

Large Angle Stability - Full Load - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	4,304	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	0,3	Pass	+96,63
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,020		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = a P A (h - H) / (g disp.)					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m²			
71		H = mean draft / 2	8,002	m			
72		cosine power: n =	0				
73		gust ratio	1,5				
74		Area2 integrated to the lesser of					
75		roll back angle from equilibrium (with gust)	40,0	deg			
76		Area 1 upper integration range, to the lesser of					
77		spec. heel angle	50,0	deg			
78		angle of vanishing stability (with gust)		deg			
79		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of					
80		spec. heel angle	180,0	deg			
81		angle of max. GZ	33,2	deg	33,2		
82		Select required angle for angle of stability	DeckEdge1				
83		Criteria:				Pass	
84		Angle of steady heel shall not be greater than	20,0	deg	1,7	Pass	+91,64
85		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle	80,00	%	28,03	Pass	+64,96
86		Heel arm amplitude		m	0,226		
87		Equilibrium angle with steady heel		deg			
88		Equilibrium angle with gust heel arm		deg			
89		Deck edge immersion angle		deg	6,0		
90							

Πίνακας 13.5.4: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Υδροστατικά στοιχεία:

Full Load - Departure - Intact		
1	Draft Amidships m	14,943
2	Displacement t	108750
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	14,826
5	Draft at AP m	15,059
6	Draft at LCF m	14,951
7	Trim (+ve by stern)	0,234
8	WL Length m	237,456
9	Beam max extents	41,742
10	Wetted Area m²	13561,451
11	Waterpl. Area m²	9268,111
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,745
13	Block coeff. (Cb)	0,715
14	Max Sect. area coef	0,961
15	Waterpl. area coeff.	0,935
16	LCB from zero pt. (104,764
17	LCF from zero pt. (+	107,101
18	KB m	8,569
19	KG fluid m	12,011
20	BMT m	11,941
21	BML m	368,097
22	GMt corrected m	8,498
23	GML m	364,655
24	KMt m	20,510
25	KML m	376,666
26	Immersion (TPc) ton	94,998
27	MTc tonne.m	1721,419
28	RM at 1deg = GMt.	16129,713
29	Max deck inclinatio	0,0581
30	Trim angle (+ve by s	0,0581

Πίνακας 13.5.5: Υδροστατικά στοιχεία για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Συμπερασματικά, στην συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, δηλαδή στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (Homogenous loaded condition on design draft at Departure), ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.

13.6 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Homogenous loaded condition on design draft at Arrival)

Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, το φορτωμένο πλοίο φθάνει στο λιμάνι με τις δεξαμενές φορτίου γεμάτες, (πληρότητα 98%) ενώ οι δεξαμενές καυσίμου, λίπανσης και αναλωσίμων είναι σε πληρότητα 10% ενώ οι δεξαμενές έρματος (εκτός από την δεξαμενή στην πρύμνη που θα έχει 100% πληρότητα για καλύτερη ευστάθεια, αντοχή και διαγωγή του πλοίου) και διάφορες άλλες είναι άδειες (πληρότητα 0%). Παρακάτω εμφανίζονται οι επιμέρους δεξαμενές καθώς και η πληρότητα που φέρουν στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης:

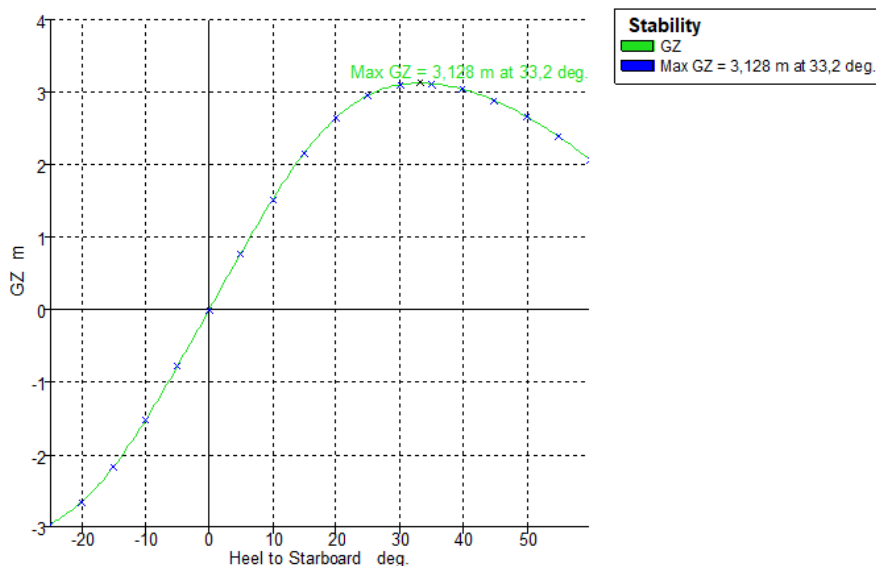
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
8	.Cargo Holds										
9	No.1 C.O.T. (P)	98%	4805,576	4709,465	5600,904	5488,887	201,643	-6,796	13,595	0,000	Maximu
10	No.1 C.O.T. (S)	98%	4805,576	4709,464	5600,904	5488,886	201,643	6,796	13,595	0,000	Maximu
11	No.2 C.O.T. (P)	98%	7514,871	7364,573	8758,591	8583,418	174,627	-7,933	12,299	0,000	Maximu
12	No.2 C.O.T. (S)	98%	7514,871	7364,573	8758,591	8583,418	174,627	7,933	12,299	0,000	Maximu
13	No.3 C.O.T. (P)	98%	8083,119	7921,456	9420,884	9232,466	144,964	-8,350	11,740	0,000	Maximu
14	No.3 C.O.T. (S)	98%	8083,119	7921,456	9420,884	9232,467	144,964	8,350	11,740	0,000	Maximu
15	No.4 C.O.T. (P)	98%	8109,837	7947,642	9452,025	9262,987	115,000	-8,375	11,710	0,000	Maximu
16	No.4 C.O.T. (S)	98%	8109,837	7947,641	9452,025	9262,985	115,000	8,375	11,710	0,000	Maximu
17	No.5 C.O.T. (P)	98%	8109,837	7947,640	9452,025	9262,984	85,000	-8,375	11,710	0,000	Maximu
18	No.5 C.O.T. (S)	98%	8109,837	7947,640	9452,025	9262,984	85,000	8,375	11,710	0,000	Maximu
19	No.6 C.O.T. (P)	98%	8022,416	7861,968	9350,135	9163,133	55,097	-8,318	11,810	0,000	Maximu
20	No.6 C.O.T. (S)	98%	8022,416	7861,969	9350,135	9163,134	55,097	8,318	11,810	0,000	Maximu
21	SLOP T. (P)	98%	1173,812	1150,336	1368,079	1340,718	37,706	-8,252	12,247	0,000	Maximu
22	SLOT T. (S)	98%	1173,812	1150,336	1368,079	1340,718	37,706	8,252	12,247	0,000	Maximu
23	Total Cargo Holds	98%	91638,937	89806,158	106805,290	104669,184	121,374	0,000	12,041	0,000	
24											
25	.Fresh Water Tanks										
26	C.W.T. (C)	10%	118,800	11,880	118,800	11,880	16,000	0,000	10,300	166,667	Maximu
27	F.W.T. (P)	10%	88,704	8,870	88,704	8,870	16,000	-13,500	15,320	57,167	Maximu
28	F.W.T. (S)	10%	88,704	8,870	88,704	8,870	16,000	13,500	15,320	57,167	Maximu
29	Total Fresh Water Tanks	10%	296,208	29,621	296,208	29,621	16,000	0,000	13,307	281,000	
30											
31	.Heavy Fuel Oil Tanks										
32	No.1 HFO STOR. T. (P)	0%	1093,792	0,000	1104,841	0,000	32,300	-7,500	5,000	0,000	Maximu
33	No.1 HFO STOR. T. (S)	0%	1093,792	0,000	1104,841	0,000	32,300	7,500	5,000	0,000	Maximu
34	No.2 HFO STOR. T. (P)	27,2%	79,035	21,498	79,834	21,715	27,100	-15,500	15,870	9,355	Maximu
35	HFO SERV. T. (P)	98%	48,299	47,333	48,787	47,812	30,600	-12,000	19,156	0,000	Maximu
36	HFO SETT. T. (P)	98%	36,225	35,500	36,590	35,859	30,600	-8,500	19,156	0,000	Maximu
37	Total Heavy Fuel Oil Tanks	4,44%	2351,144	104,331	2374,893	105,385	29,879	-11,530	18,479	9,355	
38											
39	.Marine Gas Oil Tanks										
40	No.1 M.G.O. STOR. T. (S)	0%	112,781	0,000	126,720	0,000	27,600	14,500	10,000	0,000	Maximu
41	No.2 M.G.O. STOR. T. (S)	0%	105,732	0,000	118,800	0,000	24,500	14,500	10,000	0,000	Maximu
42	No.1 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	25,250	10,000	13,920	0,000	Maximu
43	No.2 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	23,750	10,000	13,920	0,000	Maximu
44	Total Marine Gas Oil Tanks	27,35%	303,098	82,894	340,560	93,139	24,500	10,000	13,920	0,000	
45											
46	.Lubricating Oil Tanks										
47	No.1 CYL. OIL STOR. T. (S)	10%	6,376	0,638	6,930	0,693	22,300	12,500	16,050	13,417	Maximu
48	No.2 CYL. OIL STOR. T. (S)	10%	7,286	0,729	7,920	0,792	20,800	12,500	16,050	15,333	Maximu
49	M/E L.O. STOR. T. (S)	10%	7,286	0,729	7,920	0,792	19,200	12,500	16,050	15,333	Maximu
50	M/E L.O. SETT. T. (S)	10%	6,376	0,638	6,930	0,693	17,700	12,500	16,050	13,417	Maximu
51	G/E L.O. STOR. T. (S)	10%	3,643	0,364	3,960	0,396	16,400	12,500	14,050	7,667	Maximu
52	M/E L.O. SUMP. T. (C)	10%	48,090	4,809	52,272	5,227	17,800	0,000	7,100	72,864	Maximu
53	TURB. L.O. STOR. T. (S)	10%	55,741	5,574	60,588	6,059	18,600	8,500	7,150	14,076	Maximu
54	Total Lubricating Oil Tanks	10%	134,798	13,480	146,520	14,652	18,539	6,386	9,123	152,107	
55											
56	.Water Ballast Tanks										
57	A.P.T. (C)	0%	10057,852	0,000	9812,538	0,000	14,470	0,000	5,000	0,000	Maximu
58	F.P.T. (C)	0%	125,569	0,000	122,506	0,000	224,034	0,000	0,001	0,000	Maximu
59	PANAMA CANAL B.W.T.	0%	441,535	0,000	430,766	0,000	225,545	0,000	7,000	0,000	Maximu
60	No.1 W.B.T. (P)	0%	1126,594	0,000	1099,116	0,000	190,102	-10,000	9,775	0,000	Maximu
61	No.1 W.B.T. (S)	0%	1126,594	0,000	1099,116	0,000	190,102	10,000	9,775	0,000	Maximu
62	No.2 W.B.T. (P)	0%	2158,023	0,000	2105,389	0,000	160,212	-10,000	3,917	0,000	Maximu
63	No.2 W.B.T. (S)	0%	2158,023	0,000	2105,389	0,000	160,212	10,000	3,917	0,000	Maximu
64	No.3 W.B.T. (P)	0%	2985,717	0,000	2912,894	0,000	136,983	-16,337	2,400	0,000	Maximu
65	No.3 W.B.T. (S)	0%	2985,717	0,000	2912,894	0,000	136,983	16,337	2,400	0,000	Maximu
66	No.4 W.B.T. (P)	0%	3216,752	0,000	3138,294	0,000	114,637	-17,246	2,400	0,000	Maximu
67	No.4 W.B.T. (S)	0%	3216,752	0,000	3138,294	0,000	114,637	17,246	2,400	0,000	Maximu
68	No.5 W.B.T. (P)	0%	3187,146	0,000	3109,411	0,000	86,399	-17,046	2,400	0,000	Maximu
69	No.5 W.B.T. (S)	0%	3187,146	0,000	3109,411	0,000	86,399	17,046	2,400	0,000	Maximu
70	No.6 W.B.T. (P)	0%	3395,907	0,000	3313,080	0,000	67,023	-15,740	2,400	0,000	Maximu
71	No.6 W.B.T. (S)	0%	3395,907	0,000	3313,080	0,000	67,023	15,740	2,400	0,000	Maximu
72	Total Water Ballast Tanks	0%	42765,234	0,000	41722,179	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

.Miscellaneous Tanks										
BILGE PRIMARY T. (P)	50%	14,256	7,128	14,256	7,128	17,400	-12,000	7,750	6,400	Maximum
S/T L.O. DRAIN T.	50%	7,286	3,643	7,920	3,960	17,500	0,000	9,250	39,253	Maximum
BILGE T. (S)	50%	39,204	19,602	39,204	19,602	25,800	5,500	7,750	9,900	Maximum
WASTE OIL T. (P)	50%	34,146	17,073	37,115	18,557	25,898	-5,464	4,864	9,108	Maximum
GREY WATER T. (P)	50%	3,960	1,980	3,960	1,980	16,500	-12,000	14,250	5,333	Maximum
SEWAGE COLLECT T. (P)	50%	47,520	23,760	47,520	23,760	16,500	-12,000	11,000	16,000	Maximum
F.O. OVERFLOW T. (C)	50%	26,688	13,344	28,262	14,131	29,995	0,000	3,802	50,992	Maximum
UREA T. (S)	70%	38,016	26,611	38,016	26,611	22,400	0,000	18,700	102,400	Maximum
CASCADE T. (P)	50%	5,940	2,970	5,940	2,970	15,500	-8,500	10,500	2,250	Maximum
CLEAN WATER T. (S)	50%	44,352	22,176	44,352	22,176	24,000	8,000	18,500	29,867	Maximum
Total Miscellaneous Tanks	52,91%	261,368	138,287	266,545	140,876	22,670	-1,647	11,594	271,504	

Πίνακας 13.6.1: Πληρότητα δεξαμενών που φέρει το υπό μελέτη πλοίο στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Ομοίως με τη χρήση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf Stability* γίνεται ο υπολογισμός των τιμών της εγκάρσιας ευστάθειας του μοχλοβραχίονα επαναφοράς συναρτήσεως των γωνιών κλίσεως ($GZ - \phi$), για γωνίες από -40 έως 60 μοίρες με βήμα 5 μοίρες και κατεύθυνση Starboard. Επίσης, ελέγχονται από το πρόγραμμα τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας που πρέπει να ικανοποιεί το πλοίο καθώς και το κριτήριο καιρού, τα οποία υπόκεινται στον κανονισμό του IMO A.749(18) - Code on Intact Stability.

Καμπύλη άθικτης ευστάθειας $GZ - \phi$:



Διάγραμμα 13.6.2: Καμπύλη ευστάθειας $GZ - \phi$ για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας:

	UNIT	ATTV	REQ.	STAT.
Maximum GZ	m	3.128		OK
Area under GZ curve up to 30 deg.	m*rad	0.9856	0.055	OK
Area under GZ curve up to 40 deg. Or FAUN	m*rad	1.4662	0.090	OK
Area under GZ curve between 30 and 40 deg or FAUN	m*rad	0.4806	0.030	OK
Max. GZ in angle of heel ≥ 30 deg.	m	2.806	0.200	OK
Max. GZ at an angle >25 deg.	deg.	33.2	25	OK
GoM	m	8.286	0.15	OK
Severe wind and rolling				OK

Πίνακας 13.6.3: Έλεγχος κριτηρίων ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - άφιξη. (Homogenous loaded condition on design draft at Arrival)

**FAUN: Flooding Angle with Unprotected Openings

Large Angle Stability - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	60,0	deg			
7		shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	56,4723	Pass	+1692,03
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	60,0	deg			
16		shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	84,0125	Pass	+1529,22
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	60,0	deg			
25		shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	27,5402	Pass	+1502,20
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	30,0	deg	30,0		
33		shall not be less than (\geq)	0,200	m	2,806	Pass	+1303,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	30,0		
36							

◀ ▶ ⌂ MARPOL ⌂ Cross-Flood ⌂ Criteria ⌂ Key pts. ⌂ Rooms /

Large Angle Stability - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (\geq)	25,0	deg	30,0	Pass	+20,00
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMT				Pass	
41		angle of equilibrium	-0,3	deg			
42		shall not be less than (\geq)	0,150	m	8,286	Pass	+5424,00
43							
44	A.749(18) C	3.1.2.5: Passenger crowding: an				Pass	
45		Pass. crowding arm = $nPass M / di$					
46		number of passengers: nPass =	28				
47		passenger mass: M =	0,075	tonne			
48		distance from centre line: D =	34,000	m			
49		cosine power: n =	0				
50		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-0,3	Pass	+103,42
51		Intermediate values					
52		Heel arm amplitude		m	0,001		
53							
54	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibriu				Pass	
55		Turn arm = $a v^2 / (R g) h \cos^n(p)$					
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	3,959	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-0,2	Pass	+102,19
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,018		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = $a P A (h - H) / (g disp.)$					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m ²			
71		H = mean draft / 2	8,393	m			
72		cosine power: n =	0				

◀ ▶ ⌂ MARPOL ⌂ Cross-Flood ⌂ Criteria ⌂ Key pts. ⌂ Rooms /

Large Angle Stability - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	3,959	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	-0,2	Pass	+102,19
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,018		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = a P A (h - H) / (g disp.)					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m²			
71		H = mean draft / 2	8,393	m			
72		cosine power: n =	0				
73		gust ratio	1,5				
74		Area2 integrated to the lesser of					
75		roll back angle from equilibrium (with	40,0	deg			
76		Area 1 upper integration range, to the					
77		spec. heel angle	50,0	deg			
78		angle of vanishing stability (with gust)		deg			
79		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of					
80		spec. heel angle	180,0	deg			
81		angle of max. GZ	30,0	deg	30,0		
82		Select required angle for angle of stability	DeckEdgeL				
83		Criteria:				Pass	
84		Angle of steady heel shall not be greater than	20,0	deg	1,0	Pass	+95,09
85		Angle of steady heel / Deck edge	80,00	%	10,24	Pass	+87,20
86		Heel arm amplitude		m	0,191		
87		Equilibrium angle with steady heel		deg			
88		Equilibrium angle with gust heel arm		deg			
89		Deck edge immersion angle		deg	9,6		
90							

◀ ▶ λ MARPOL λ Cross-Flood λ Criteria λ Key pts. λ Rooms /

Πίνακας 13.6.3: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Υδροστατικά στοιχεία:

Homo. Full Load - Arrival - Intact		
1	Draft Amidships m	14,537
2	Displacement t	104540
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	14,974
5	Draft at AP m	14,099
6	Draft at LCF m	14,507
7	Trim (+ve by stern)	-0,875
8	WL Length m	237,406
9	Beam max extents	41,655
10	Wetted Area m²	13358,246
11	Waterpl. Area m²	9243,590
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,739
13	Block coeff. (Cb)	0,690
14	Max Sect. area coef	0,962
15	Waterpl. area coeff	0,935
16	LCB from zero pt. (106,503
17	LCF from zero pt. (+	107,423
18	KB m	8,323
19	KG fluid m	11,928
20	BMt m	12,319
21	BML m	381,778
22	GMt corrected m	8,715
23	GML m	378,173
24	KMt m	20,642
25	KML m	390,098
26	Immersion (TPc) ton	94,747
27	MTc tonne.m	1716,119
28	RM at 1deg = GMt.	15899,594
29	Max deck inclinatio	0,2176
30	Trim angle (+ve by s	-0,2176

Πίνακας 13.6.4: Υδροστατικά στοιχεία για κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Συνεπώς, στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, δηλαδή στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (Homogenous loaded condition on design draft at Arrival), ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.

13.7 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αναχώρηση (Heavy Ballast condition at Departure)

Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι με άδειες τις δεξαμενές φορτίου (πληρότητα 0%) ενώ οι δεξαμενές καυσίμου και αναλωσίμων είναι σχεδόν γεμάτες (πληρότητα 98%) όπως και οι δεξαμενές έρματος (πληρότητα 100%), εκτός από τις πλευρικές δεξαμενές έρματος 6 που θα έχουν πληρότητα 40%. Παρακάτω εμφανίζονται οι επιμέρους δεξαμενές καθώς και η πληρότητα που φέρουν στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης:

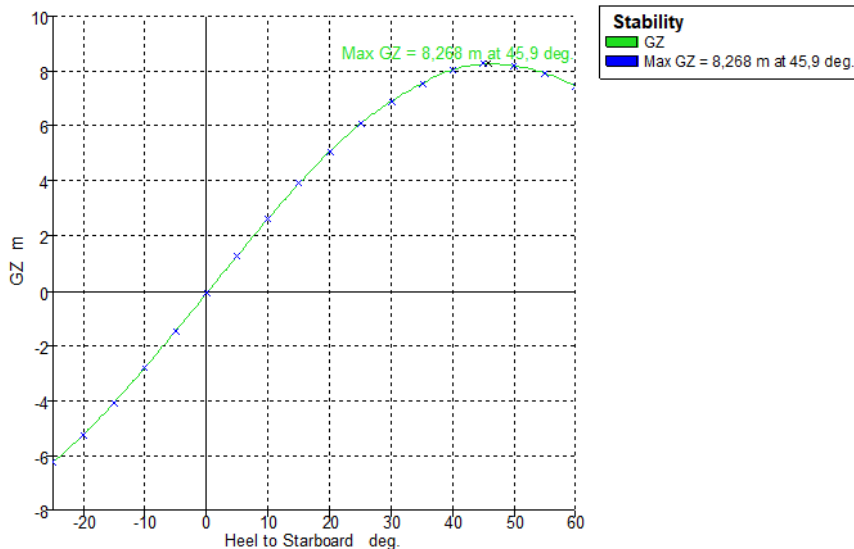
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
8	.Cargo Holds										
9	No.1 C.O.T. (P)	0%	4805,576	0,000	5600,904	0,000	200,681	-2,099	2,400	0,000	Maximur
10	No.1 C.O.T. (S)	0%	4805,576	0,000	5600,904	0,000	200,681	2,099	2,400	0,000	Maximur
11	No.2 C.O.T. (P)	0%	7514,871	0,000	8758,591	0,000	173,174	-4,680	2,400	0,000	Maximur
12	No.2 C.O.T. (S)	0%	7514,871	0,000	8758,591	0,000	173,174	4,680	2,400	0,000	Maximur
13	No.3 C.O.T. (P)	0%	8083,119	0,000	9420,884	0,000	144,277	-7,828	2,400	0,000	Maximur
14	No.3 C.O.T. (S)	0%	8083,119	0,000	9420,884	0,000	144,277	7,828	2,400	0,000	Maximur
15	No.4 C.O.T. (P)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	115,000	-8,375	2,400	0,000	Maximur
16	No.4 C.O.T. (S)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	115,000	8,375	2,400	0,000	Maximur
17	No.5 C.O.T. (P)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	85,000	-8,375	2,400	0,000	Maximur
18	No.5 C.O.T. (S)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	85,000	8,375	2,400	0,000	Maximur
19	No.6 C.O.T. (P)	0%	8022,416	0,000	9350,135	0,000	58,379	-6,554	2,400	0,000	Maximur
20	No.6 C.O.T. (S)	0%	8022,416	0,000	9350,135	0,000	58,379	6,554	2,400	0,000	Maximur
21	SLOP T. (P)	0%	1173,812	0,000	1368,079	0,000	38,012	-2,772	3,000	0,000	Maximur
22	SLOT T. (S)	0%	1173,812	0,000	1368,079	0,000	38,012	2,772	3,000	0,000	Maximur
23	Total Cargo Holds	0%	91638,937	0,000	106805,290	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
24											
25	.Fresh Water Tanks										
26	C.W.T. (C)	100%	118,800	118,800	118,800	118,800	16,000	0,000	13,000	0,000	Maximur
27	F.W.T. (P)	100%	88,704	88,704	88,704	88,704	16,000	-13,500	18,200	0,000	Maximur
28	F.W.T. (S)	100%	88,704	88,704	88,704	88,704	16,000	13,500	18,200	0,000	Maximur
29	Total Fresh Water Tanks	100%	296,208	296,208	296,208	296,208	16,000	0,000	16,114	0,000	
30											
31	.Heavy Fuel Oil Tanks										
32	No.1 HFO STOR. T. (P)	98%	1093,792	1071,917	1104,841	1082,744	32,300	-7,500	10,880	0,000	Maximur
33	No.1 HFO STOR. T. (S)	98%	1093,792	1071,917	1104,841	1082,744	32,300	7,500	10,880	0,000	Maximur
34	No.2 HFO STOR. T. (P)	98%	79,035	77,455	79,834	78,237	27,100	-15,500	18,136	0,000	Maximur
35	HFO SERV. T. (P)	98%	48,299	47,333	48,787	47,812	30,600	-12,000	19,156	0,000	Maximur
36	HFO SETT. T. (P)	98%	36,225	35,500	36,590	35,859	30,600	-8,500	19,156	0,000	Maximur
37	Total Heavy Fuel Oil Tanks	98%	2351,144	2304,121	2374,893	2327,395	32,064	-0,899	11,421	0,000	
38											
39	.Marine Gas Oil Tanks										
40	No.1 M.G.O. STOR. T. (S)	98%	112,781	110,525	126,720	124,185	27,600	14,500	13,920	0,000	Maximur
41	No.2 M.G.O. STOR. T. (S)	98%	105,732	103,617	118,800	116,424	24,500	14,500	13,920	0,000	Maximur
42	No.1 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	25,250	10,000	13,920	0,000	Maximur
43	No.2 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	23,750	10,000	13,920	0,000	Maximur
44	Total Marine Gas Oil Tanks	98%	303,098	297,036	340,560	333,749	25,653	13,244	13,920	0,000	
◀ ▶ ⌘ Homo. Full Load - Arrival ⌘ Ballast condition - Departure ⌘ Ballast condition - Arrival ⌘ empty LC 5 ⌘ empty ▶											
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
46	.Lubricating Oil Tanks										
47	No.1 CYL. OIL STOR. T. (S)	98%	6,376	6,248	6,930	6,791	22,300	12,500	16,490	0,000	Maximur
48	No.2 CYL. OIL STOR. T. (S)	98%	7,286	7,141	7,920	7,762	20,800	12,500	16,490	0,000	Maximur
49	M/E L.O. STOR. T. (S)	98%	7,286	7,141	7,920	7,762	19,200	12,500	16,490	0,000	Maximur
50	M/E L.O. SETT. T. (S)	98%	6,376	6,248	6,930	6,791	17,700	12,500	16,490	0,000	Maximur
51	G/E L.O. STOR. T. (S)	98%	3,643	3,570	3,960	3,881	16,400	12,500	14,490	0,000	Maximur
52	M/E L.O. SUMP. T. (C)	98%	48,090	47,128	52,272	51,227	17,800	0,000	7,980	0,000	Maximur
53	TURB. L.O. STOR. T. (S)	98%	55,741	54,626	60,588	59,376	18,600	8,500	8,470	0,000	Maximur
54	Total Lubricating Oil Tanks	98%	134,798	132,102	146,520	143,590	18,539	6,386	10,084	0,000	
55											
56	.Water Ballast Tanks										
57	A.P.T. (C)	99,47%	10004,857	10004,857	9760,837	9760,837	5,492	0,000	13,253	0,000	Maximur
58	F.P.T. (C)	100%	125,569	125,569	122,506	122,506	226,886	0,000	3,986	0,000	Maximur
59	PANAMA CANAL B.W.T.	100%	441,535	441,535	430,766	430,766	226,594	0,000	14,209	0,000	Maximur
60	No.1 W.B.T. (P)	100%	1126,594	1126,594	1099,116	1099,116	201,229	-16,926	17,731	0,000	Maximur
61	No.1 W.B.T. (S)	100%	1126,594	1126,594	1099,116	1099,116	201,229	16,926	17,731	0,000	Maximur
62	No.2 W.B.T. (P)	100%	2158,023	2158,023	2105,389	2105,389	173,901	-17,720	15,295	0,000	Maximur
63	No.2 W.B.T. (S)	100%	2158,023	2158,023	2105,389	2105,389	173,901	17,720	15,295	0,000	Maximur
64	No.3 W.B.T. (P)	100%	2985,717	2985,717	2912,894	2912,894	144,519	-17,748	13,028	0,000	Maximur
65	No.3 W.B.T. (S)	100%	2985,717	2985,717	2912,894	2912,894	144,519	17,748	13,028	0,000	Maximur
66	No.4 W.B.T. (P)	100%	3216,752	3216,752	3138,294	3138,294	114,981	-17,808	12,440	0,000	Maximur
67	No.4 W.B.T. (S)	100%	3216,752	3216,752	3138,294	3138,294	114,981	17,808	12,440	0,000	Maximur
68	No.5 W.B.T. (P)	100%	3187,146	3187,146	3109,411	3109,411	85,068	-17,788	12,488	0,000	Maximur
69	No.5 W.B.T. (S)	100%	3187,146	3187,146	3109,411	3109,411	85,068	17,788	12,488	0,000	Maximur
70	No.6 W.B.T. (P)	40%	3395,907	1358,363	3313,080	1325,232	53,581	-17,393	7,788	800,996	Maximur
71	No.6 W.B.T. (S)	40%	3395,907	1358,363	3313,080	1325,232	53,581	17,393	7,788	800,996	Maximur
72	Total Water Ballast Tanks	90,46%	42712,239	38637,150	41670,477	37694,781	95,193	0,000	13,042	1601,992	

.Miscellaneous Tanks										
BILGE PRIMARY T. (P)	30%	14,256	4,277	14,256	4,277	17,400	-12,000	7,450	6,400	Maximum
S/T L.O. DRAIN T.	30%	7,286	2,186	7,920	2,376	17,500	0,000	9,150	39,253	Maximum
BILGE T. (S)	30%	39,204	11,761	39,204	11,761	25,800	5,500	7,450	9,900	Maximum
WASTE OIL T. (P)	30%	34,146	10,244	37,115	11,134	25,963	-5,440	4,577	9,108	Maximum
GREY WATER T. (P)	30%	3,960	1,188	3,960	1,188	16,500	-12,000	14,150	5,333	Maximum
SEWAGE COLLECT T. (P)	30%	47,520	14,256	47,520	14,256	16,500	-12,000	10,600	16,000	Maximum
F.O. OVERFLOW T. (C)	50%	26,688	13,344	28,262	14,131	29,995	0,000	3,802	50,992	Maximum
UREA T. (S)	90%	38,016	34,214	38,016	34,214	22,400	0,000	18,900	102,400	Maximum
CASCADE T. (P)	50%	5,940	2,970	5,940	2,970	15,500	-8,500	10,500	2,250	Maximum
CLEAN WATER T. (S)	30%	44,352	13,306	44,352	13,306	24,000	8,000	18,300	29,867	Maximum
Total Miscellaneous Tanks	41,22%	261,368	107,745	266,545	109,613	22,914	-1,360	12,310	271,504	

Πίνακας 13.7.1 - Απεικόνιση: Πληρότητα δεξαμενών που φέρει το υπό μελέτη πλοίο στην εξεταζόμενη κατάσταση φόρτωσης. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Ομοίως με τη χρήση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf Stability* γίνεται ο υπολογισμός των τιμών της εγκάρσιας ευστάθειας του μοχλοβραχίονα επαναφοράς συναρτήσει των γωνιών κλίσης ($GZ - \phi$), για γωνίες από -40 έως 60 μοίρες με βήμα 5 μοίρες και κατεύθυνση Starboard. Επίσης, ελέγχονται από το πρόγραμμα τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας που πρέπει να ικανοποιεί το πλοίο καθώς και το κριτήριο καιρού, τα οποία υπόκεινται στο κανονισμό του IMO A.749(18) - Code on Intact Stability.

Καμπύλη άθικτης ευστάθειας $GZ - \phi$:



Διάγραμμα 13.7.2: Καμπύλη ευστάθειας $GZ - \phi$ για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας:

	UNIT	ATTV	REQ.	STAT.
Maximum GZ	m	8.268		OK
Area under GZ curve up to 30 deg.	m*rad	2.0427	0.055	OK
Area under GZ curve up to 40 deg. Or FAUN	m*rad	3.3649	0.090	OK
Area under GZ curve between 30 and 40 deg or FAUN	m*rad	1.3222	0.030	OK
Max. GZ in angle of heel ≥ 30 deg.	m	8.213	0.200	OK
Max. GZ at an angle >25 deg.	deg.	45.9	25	OK
GoM	m	15.121	0.15	OK
Severe wind and rolling				OK

Πίνακας 13.7.3: Έλεγχος κριτηρίων ευστάθειας για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση. (Heavy Ballast condition at Departure)
 **FAUN: Flooding Angle with Unprotected Openings

Large Angle Stability - Ballast condition - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	60,0	deg			
7		shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	117,0409	Pass	+3614,05
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	60,0	deg			
16		shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	192,7986	Pass	+3638,87
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	60,0	deg			
25		shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	75,7577	Pass	+4307,34
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	45,0	deg	45,0		
33		shall not be less than (\geq)	0,200	m	8,213	Pass	+4006,50
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	45,0		

36 | > MARPOL | Cross-Flood | Criteria | Key pts. | Rooms /

Large Angle Stability - Ballast condition - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (\geq)	25,0	deg	45,0	Pass	+80,00
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		angle of equilibrium	-0,9	deg			
42		shall not be less than (\geq)	0,150	m	15,121	Pass	+9980,67
43							
44	A.749(18) C	3.1.2.5: Passenger crowding: an				Pass	
45		Pass. crowding arm = $nPass M / di$					
46		number of passengers: nPass =	28				
47		passenger mass: M =	0,075	tonne			
48		distance from centre line: D =	34,000	m			
49		cosine power: n =	0				
50		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-0,9	Pass	+109,03
51		Intermediate values					
52		Heel arm amplitude		m	0,001		
53							
54	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibriu				Pass	
55		Turn arm = $a v^2 / (R g) h \cos^n(p$					
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	5,967	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-0,8	Pass	+108,00
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,029		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = $a P A (h - H) / (g disp.)$					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero poin	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m ²			
71		H = mean draft / 2	4,163	m			
72		cosine power: n =	0				

72 | > MARPOL | Cross-Flood | Criteria | Key pts. | Rooms /

Large Angle Stability - Ballast condition - Departure - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	5,967	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	-0,8	Pass	+108,00
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,029		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = a P A (h - H) / (g disp.)					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m²			
71		H = mean draft / 2	4,163	m			
72		cosine power: n =	0				
73		gust ratio	1,5				
74		Area2 integrated to the lesser of					
75		roll back angle from equilibrium (with gust)	40,0	deg			
76		Area 1 upper integration range, to the lesser of					
77		spec. heel angle	50,0	deg			
78		angle of vanishing stability (with gust)		deg			
79		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of					
80		spec. heel angle	180,0	deg			
81		angle of max. GZ	45,0	deg	45,0		
82		Select required angle for angle of steady heel		DeckEdge			
83		Criteria:				Pass	
84		Angle of steady heel shall not be less than	20,0	deg	2,9	Pass	+85,47
85		Angle of steady heel / Deck edge	80,00	%	8,31	Pass	+89,61
86		Heel arm amplitude		m	1,013		
87		Equilibrium angle with steady heel		deg			
88		Equilibrium angle with gust heel arm		deg			
89		Deck edge immersion angle		deg	35,0		
90							

◀ ▶ ⚓ MARPOL ⚓ Cross-Flood ⚓ Criteria ⚓ Key pts. ⚓ Rooms /

Πίνακας 13.7.4: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability) Υδροστατικά στοιχεία:

Ballast condition - Departure - Intact		
1	Draft Amidships m	9,593
2	Displacement t	60719
3	Heel deg	0,3
4	Draft at FP m	9,290
5	Draft at AP m	9,896
6	Draft at LCF m	9,633
7	Trim (+ve by stern)	0,606
8	WL Length m	230,737
9	Beam max extents	40,703
10	Wetted Area m²	10787,081
11	Waterpl. Area m²	8299,994
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,675
13	Block coeff. (Cb)	0,648
14	Max Sect. area coef	0,962
15	Waterpl. area coeff.	0,884
16	LCB from zero pt. (m)	104,410
17	LCF from zero pt. (+)	100,081
18	KB m	5,584
19	KG fluid m	12,543
20	BMT m	17,571
21	BML m	513,264
22	GMt corrected m	10,612
23	GML m	506,305
24	KMt m	23,154
25	KML m	518,839
26	Immersion (TPC) ton	85,075
27	MTc tonne m	1334,472
28	RM at 1deg = GMt.	11245,125
29	Max deck inclinatio	0,3359
30	Trim angle (+ve by s	0,1506

Πίνακας 13.7.5: Υδροστατικά στοιχεία για κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Επομένως, στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, δηλαδή στην κατάσταση ερματισμού - Αναχώρηση (Heavy Ballast Condition - Departure), ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.

13.8 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Άφιξη (Ballast condition at Arrival)

Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, το πλοίο φθάνει στο λιμάνι με άδειες τις δεξαμενές φορτίου (πληρότητα 0%), τις δεξαμενές καυσίμου και των αναλωσίμων σε πληρότητα 10% και γεμάτες τις δεξαμενές έρματος (πληρότητα 100%). Παρακάτω εμφανίζονται οι επιμέρους δεξαμενές καθώς και η πληρότητα που φέρουν στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης:

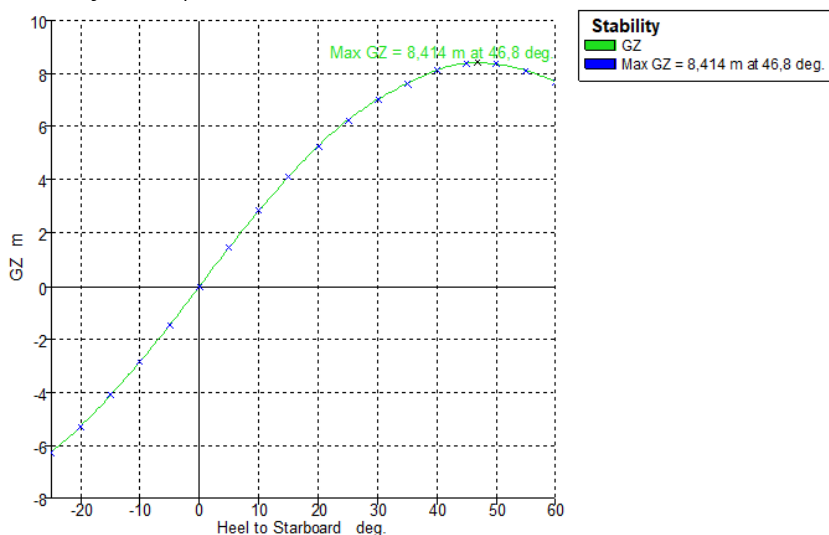
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
8	.Cargo Holds										
9	No.1 C.O.T. (P)	0%	4805,576	0,000	5600,904	0,000	200,681	-2,099	2,400	0,000	Maximun
10	No.1 C.O.T. (S)	0%	4805,576	0,000	5600,904	0,000	200,681	2,099	2,400	0,000	Maximun
11	No.2 C.O.T. (P)	0%	7514,871	0,000	8758,591	0,000	173,174	-4,680	2,400	0,000	Maximun
12	No.2 C.O.T. (S)	0%	7514,871	0,000	8758,591	0,000	173,174	4,680	2,400	0,000	Maximun
13	No.3 C.O.T. (P)	0%	8083,119	0,000	9420,884	0,000	144,277	-7,828	2,400	0,000	Maximun
14	No.3 C.O.T. (S)	0%	8083,119	0,000	9420,884	0,000	144,277	7,828	2,400	0,000	Maximun
15	No.4 C.O.T. (P)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	115,000	-8,375	2,400	0,000	Maximun
16	No.4 C.O.T. (S)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	115,000	8,375	2,400	0,000	Maximun
17	No.5 C.O.T. (P)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	85,000	-8,375	2,400	0,000	Maximun
18	No.5 C.O.T. (S)	0%	8109,837	0,000	9452,025	0,000	85,000	8,375	2,400	0,000	Maximun
19	No.6 C.O.T. (P)	0%	8022,416	0,000	9350,135	0,000	58,379	-6,554	2,400	0,000	Maximun
20	No.6 C.O.T. (S)	0%	8022,416	0,000	9350,135	0,000	58,379	6,554	2,400	0,000	Maximun
21	SLOP T. (P)	0%	1173,812	0,000	1368,079	0,000	38,012	-2,772	3,000	0,000	Maximun
22	SLOT T. (S)	0%	1173,812	0,000	1368,079	0,000	38,012	2,772	3,000	0,000	Maximun
23	Total Cargo Holds	0%	91638,937	0,000	106805,290	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
24											
25	.Fresh Water Tanks										
26	C.W.T. (C)	10%	118,800	11,880	118,800	11,880	16,000	0,000	10,300	166,667	Maximun
27	F.W.T. (P)	10%	88,704	8,870	88,704	8,870	16,000	-13,500	15,320	57,167	Maximun
28	F.W.T. (S)	10%	88,704	8,870	88,704	8,870	16,000	13,500	15,320	57,167	Maximun
29	Total Fresh Water Tanks	10%	296,208	29,621	296,208	29,621	16,000	0,000	13,307	281,000	
30											
31	.Heavy Fuel Oil Tanks										
32	No.1 HFO STOR. T. (P)	0%	1093,792	0,000	1104,841	0,000	32,300	-7,500	5,000	0,000	Maximun
33	No.1 HFO STOR. T. (S)	0%	1093,792	0,000	1104,841	0,000	32,300	7,500	5,000	0,000	Maximun
34	No.2 HFO STOR. T. (P)	27.2%	79,035	21,498	79,834	21,715	27,100	-15,500	15,870	9,355	Maximun
35	HFO SERV. T. (P)	98%	48,299	47,333	48,787	47,812	30,600	-12,000	19,156	0,000	Maximun
36	HFO SETT. T. (P)	98%	36,225	35,500	36,590	35,859	30,600	-8,500	19,156	0,000	Maximun
37	Total Heavy Fuel Oil Tanks	4,44%	2351,144	104,331	2374,893	105,385	29,879	-11,530	18,479	9,355	
38											
39	.Marine Gas Oil Tanks										
40	No.1 M.G.O. STOR. T. (S)	0%	112,781	0,000	126,720	0,000	27,600	14,500	10,000	0,000	Maximun
41	No.2 M.G.O. STOR. T. (S)	0%	105,732	0,000	118,800	0,000	24,500	14,500	10,000	0,000	Maximun
42	No.1 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	25,250	10,000	13,920	0,000	Maximun
43	No.2 M.G.O. SERV. T. (S)	98%	42,293	41,447	47,520	46,570	23,750	10,000	13,920	0,000	Maximun
44	Total Marine Gas Oil Tanks	27,35%	303,098	82,894	340,560	93,139	24,500	10,000	13,920	0,000	
◀ ▶ ⚡ Homo. Full Load - Arrival ⚡ Ballast condition - Departure ⚡ Ballast condition - Arrival ⚡ empty LC 5 ⚡ empty ⚡											
	Item Name	Quantity	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit volume m³	Total volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM
46	.Lubricating Oil Tanks										
47	No.1 CYL. OIL STOR. T. (S)	10%	6,376	0,638	6,930	0,693	22,300	12,500	16,050	13,417	Maximu
48	No.2 CYL. OIL STOR. T. (S)	10%	7,286	0,729	7,920	0,792	20,800	12,500	16,050	15,333	Maximu
49	M/E L.O. STOR. T. (S)	10%	7,286	0,729	7,920	0,792	19,200	12,500	16,050	15,333	Maximu
50	M/E L.O. SETT. T. (S)	10%	6,376	0,638	6,930	0,693	17,700	12,500	16,050	13,417	Maximu
51	G/E L.O. STOR. T. (S)	10%	3,643	0,364	3,960	0,396	16,400	12,500	14,050	7,667	Maximu
52	M/E L.O. SUMP. T. (C)	10%	48,090	4,809	52,272	5,227	17,800	0,000	7,100	72,864	Maximu
53	TURB. L.O. STOR. T. (S)	10%	55,741	5,574	60,588	6,059	18,600	8,500	7,150	14,076	Maximu
54	Total Lubricating Oil Tanks	10%	134,798	13,480	146,520	14,652	18,539	6,386	9,123	152,107	
55											
56	.Water Ballast Tanks										
57	A.P.T. (C)	99,47%	10057,852	10004,857	9812,538	9760,837	5,492	0,000	13,253	0,000	Maximu
58	F.P.T. (C)	100%	125,569	125,569	122,506	122,506	226,886	0,000	3,986	0,000	Maximu
59	PANAMA CANAL B.W.T.	100%	441,535	441,535	430,766	430,766	226,594	0,000	14,209	0,000	Maximu
60	No.1 W.B.T. (P)	100%	1126,594	1126,594	1099,116	1099,116	201,229	-16,926	17,731	0,000	Maximu
61	No.1 W.B.T. (S)	100%	1126,594	1126,594	1099,116	1099,116	201,229	16,926	17,731	0,000	Maximu
62	No.2 W.B.T. (P)	100%	2158,023	2158,023	2105,389	2105,389	173,901	-17,720	15,295	0,000	Maximu
63	No.2 W.B.T. (S)	100%	2158,023	2158,023	2105,389	2105,389	173,901	17,720	15,295	0,000	Maximu
64	No.3 W.B.T. (P)	100%	2985,717	2985,717	2912,894	2912,894	144,519	-17,748	13,028	0,000	Maximu
65	No.3 W.B.T. (S)	100%	2985,717	2985,717	2912,894	2912,894	144,519	17,748	13,028	0,000	Maximu
66	No.4 W.B.T. (P)	100%	3216,752	3216,752	3138,294	3138,294	114,981	-17,808	12,440	0,000	Maximu
67	No.4 W.B.T. (S)	100%	3216,752	3216,752	3138,294	3138,294	114,981	17,808	12,440	0,000	Maximu
68	No.5 W.B.T. (P)	100%	3187,146	3187,146	3109,411	3109,411	85,068	-17,788	12,488	0,000	Maximu
69	No.5 W.B.T. (S)	100%	3187,146	3187,146	3109,411	3109,411	85,068	17,788	12,488	0,000	Maximu
70	No.6 W.B.T. (P)	92%	3395,907	3124,235	3313,080	3048,034	53,106	-17,704	12,449	800,996	Maximu
71	No.6 W.B.T. (S)	92%	3395,907	3124,235	3313,080	3048,034	53,106	17,704	12,449	800,996	Maximu
72	Total Water Ballast Tanks	98,61%	42765,234	42168,894	41722,179	41140,384	91,638	0,000	13,293	1601,992	

.Miscellaneous Tanks										
BILGE PRIMARY T. (P)	50%	14,256	7,128	14,256	7,128	17,400	-12,000	7,750	6,400	Maximum
S/T L.O. DRAIN T.	50%	7,286	3,643	7,920	3,960	17,500	0,000	9,250	39,253	Maximum
BILGE T. (S)	50%	39,204	19,602	39,204	19,602	25,800	5,500	7,750	9,900	Maximum
WASTE OIL T. (P)	50%	34,146	17,073	37,115	18,557	25,898	-5,464	4,864	9,108	Maximum
GREY WATER T. (P)	50%	3,960	1,980	3,960	1,980	16,500	-12,000	14,250	5,333	Maximum
SEWAGE COLLECT T. (P)	50%	47,520	23,760	47,520	23,760	16,500	-12,000	11,000	16,000	Maximum
F.O. OVERFLOW T. (C)	50%	26,688	13,344	28,262	14,131	29,995	0,000	3,802	50,992	Maximum
UREA T. (S)	70%	38,016	26,611	38,016	26,611	22,400	0,000	18,700	102,400	Maximum
CASCADE T. (P)	50%	5,940	2,970	5,940	2,970	15,500	-8,500	10,500	2,250	Maximum
CLEAN WATER T. (S)	50%	44,352	22,176	44,352	22,176	24,000	8,000	18,500	29,867	Maximum
Total Miscellaneous Tanks	52,91%	261,368	138,287	266,545	140,876	22,670	-1,647	11,594	271,504	

Πίνακας 13.8.1: Πληρότητα δεξαμενών που φέρει το υπό μελέτη πλοίο στην εξεταζόμενη κατάσταση φόρτωσης. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Ομοίως με τη χρήση του ναυπηγικού προγράμματος *MaxSurf Stability* γίνεται ο υπολογισμός των τιμών της εγκάρσιας ευστάθειας του μοχλοβραχίονα επαναφοράς συναρτήσεως των γωνιών κλίσης ($GZ - \phi$), για γωνίες από -40 έως 60 μοίρες με βήμα 5 μοίρες και κατεύθυνση Starboard. Επίσης, ελέγχονται από το πρόγραμμα τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας που πρέπει να ικανοποιεί το πλοίο καθώς και το κριτήριο καιρού, τα οποία υπόκεινται στον κανονισμό του IMO A.749(18) - Code on Intact Stability.

Καμπύλη άθικτης ευστάθειας $GZ - \phi$:



Διάγραμμα 13.8.2: Καμπύλη ευστάθειας $GZ - \phi$ για κατάσταση ερματισμού - Αφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας:

	UNIT	ATTV	REQ.	STAT.
Maximum GZ	m	8.414		OK
Area under GZ curve up to 30 deg.	m*rad	2.0219	0.055	OK
Area under GZ curve up to 40 deg. Or FAUN	m*rad	3.3114	0.090	OK
Area under GZ curve between 30 and 40 deg or FAUN	m*rad	1.2895	0.030	OK
Max. GZ in angle of heel ≥ 30 deg.	m	7.912	0.200	OK
Max. GZ at an angle >25 deg.	deg.	46.8	25	OK
GoM	m	14.953	0.15	OK
Severe wind and rolling				OK

Πίνακας 13.8.3: Έλεγχος κριτηρίων ευστάθειας για κατάσταση ερματισμού - Αφιξη. (Ballast condition at Arrival)

**FAUN: Flooding Angle with Unprotected Openings

Large Angle Stability - Ballast condition - Arrival - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	60,0	deg			
7		shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	115,8465	Pass	+3576,15
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	60,0	deg			
16		shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	189,7328	Pass	+3579,42
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	60,0	deg			
25		shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	73,8863	Pass	+4198,46
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
33		shall not be less than (\geq)	0,200	m	7,912	Pass	+3856,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	44,5		
36							
⏪ ▶ ⏪ MARPOL ⏪ Cross-Flood ⏪ Criteria ⏪ Key pts. ⏪ Rooms /							
Large Angle Stability - Ballast condition - Arrival - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (\geq)	25,0	deg	44,5	Pass	+78,18
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		angle of equilibrium	-1,2	deg			
42		shall not be less than (\geq)	0,150	m	14,953	Pass	+9868,67
43							
44	A.749(18) C	3.1.2.5: Passenger crowding: an				Pass	
45		Pass. crowding arm = $nPass M / di$					
46		number of passengers: $nPass =$	28				
47		passenger mass: $M =$	0,075	tonne			
48		distance from centre line: $D =$	34,000	m			
49		cosine power: $n =$	0				
50		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-1,2	Pass	+112,06
51		Intermediate values					
52		Heel arm amplitude		m	0,001		
53							
54	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibri				Pass	
55		Turn arm = $a v^2 / (R g) h \cos^n(p)$					
56		constant: $a =$	0,9996				
57		vessel speed: $v =$	14,500	kn			
58		turn radius, R , as percentage of Lw	510,00	%			
59		$h = KG - \text{mean draft} / 2$	6,120	m			
60		cosine power: $n =$	0				
61		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	-1,1	Pass	+110,99
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,030		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = $a P A (h - H) / (g disp.)$					
67		constant: $a =$	0,99966				
68		wind pressure: $P =$	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: $A =$	120000,000	m ²			
71		$H = \text{mean draft} / 2$	4,255	m			
72		cosine power: $n =$	0				
⏪ ▶ ⏪ MARPOL ⏪ Cross-Flood ⏪ Criteria ⏪ Key pts. ⏪ Rooms /							

Large Angle Stability - Ballast condition - Arrival - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
56		constant: a =	0,9996				
57		vessel speed: v =	14,500	kn			
58		turn radius, R, as percentage of Lw	510,00	%			
59		h = KG - mean draft / 2	6,120	m			
60		cosine power: n =	0				
61		shall not be greater than (<=)	10,0	deg	-1,1	Pass	+110,99
62		Intermediate values					
63		Heel arm amplitude		m	0,030		
64							
65	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
66		Wind arm = a P A (h - H) / (g disp.)					
67		constant: a =	0,99966				
68		wind pressure: P =	504,0	Pa			
69		area centroid height (from zero point)	12,300	m			
70		total area: A =	120000,000	m^2			
71		H = mean draft / 2	4,255	m			
72		cosine power: n =	0				
73		gust ratio	1,5				
74		Area2 integrated to the lesser of					
75		roll back angle from equilibrium (with	40,0	deg			
76		Area 1 upper integration range, to t					
77		spec. heel angle	50,0	deg			
78		angle of vanishing stability (with gu		deg			
79		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the l					
80		spec. heel angle	180,0	deg			
81		angle of max. GZ	44,5	deg	44,5		
82		Select required angle for angle of st	DeckEdge1				
83		Criteria:				Pass	
84		Angle of steady heel shall not b	20,0	deg	2,6	Pass	+86,88
85		Angle of steady heel / Deck edge	80,00	%	8,33	Pass	+89,59
86		Heel arm amplitude		m	1,000		
87		Equilibrium angle with steady heel		deg			
88		Equilibrium angle with gust heel ar		deg			
89		Deck edge immersion angle		deg	31,5		
90							

Πίνακας 13.8.4: Έλεγχος κριτηρίων άθικτης ευστάθειας για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Υδροστατικά στοιχεία:

Ballast condition - Arrival - Intact		
1	Draft Amidships m	9,386
2	Displacement t	58704
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	9,298
5	Draft at AP m	9,474
6	Draft at LCF m	9,397
7	Trim (+ve by stern)	0,175
8	WL Length m	230,616
9	Beam max extents	40,657
10	Wetted Area m^2	10659,890
11	Waterpl. Area m^2	8273,438
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,670
13	Block coeff. (Cb)	0,649
14	Max Sect. area coef	0,971
15	Waterpl. area coef.	0,882
16	LCB from zero pt. ()	105,578
17	LCF from zero pt. (+)	100,143
18	KB m	5,447
19	KG fluid m	14,348
20	BMt m	18,042
21	BML m	527,679
22	GMt corrected m	9,142
23	GML m	518,779
24	KMt m	23,490
25	KML m	533,126
26	Immersion (TPc) ton	84,803
27	MTc tonne m	1321,980
28	RM at 1deg = GMT.	9365,942
29	Max deck inclinatio	0,0436
30	Trim angle (+ve by s	0,0436

Πίνακας 13.8.5: Υδροστατικά στοιχεία για κατάσταση ερματισμού - Άφιξη. (Πηγή: MaxSurf Stability)

Επίσης, λοιπόν, στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης, δηλαδή στην κατάσταση ερματισμού - Άφιξη (Heavy Ballast Condition - Arrival), ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου.

Κεφάλαιο 14: Καταμέτρηση - Δείκτης Εξαρτισμού

Ορισμός: Καταμέτρηση του πλοίου ορίζεται ως η εργασία για τον προσδιορισμό της χωρητικότητάς του, με βάση τους εκάστοτε νομοθετημένους κανόνες.

Στο παρόν κεφάλαιο θα προσδιοριστούν η Ολική και η Καθαρή Χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης (International Convention on Tonnage Measurement of Ships). Ανάλογα με το μέγεθος ενός εμπορικού πλοίου, ανάλογη είναι και η χωρητικότητά του. Επίσης, ανάλογα με την χωρητικότητα του εμπορικού πλοίου υπολογίζονται και όλες οι φορολογικές και λοιπές οικονομοτεχνικές και νομικές υποχρεώσεις του πλοίου.

Η Αρχή που εκδίδει το Πιστοποιητικό Καταμέτρησης σύμφωνα με τους εκάστοτε ισχύοντες Κανονισμούς, είτε τους Εθνικούς είτε σύμφωνα με την Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης, είναι εκείνη που θα υπολογίσει την χωρητικότητα ενός πλοίου. Στο παρελθόν το μέγεθος των πλοίων και η χωρητικότητά τους υπολογίζονταν με διάφορους τρόπους. Τον 13ο αιώνα τα λιμενικά τέλη σε κάποια λιμάνια από Γαλλία προς Αγγλία υπολογίζονταν με βάση πόσα ξύλινα βαρέλια κρασιού χωρούσε το πλοίο. Ο George Moorson, ο οποίος αποτέλεσε Γραμματέας της επιτροπής στην Αγγλία το 1854, πρότεινε ένα νέο σύστημα καταμέτρησης της χωρητικότητας των πλοίων. Ένεκα αυτού, ο νέος νόμος καταμέτρησης ονομάστηκε σύστημα Moorson και αποτελεί τη βάση όλων των συστημάτων καταμέτρησης που βρίσκονται σε ισχύ και της Διεθνούς Σύμβασης Καταμέτρησης. Η Διεύθυνση Μελετών και Κατασκευών Πλοίων (ΔΙΜΕΚΑΠ) του Κλάδου Ελέγχου Πλοίων είναι αυτή που διενεργεί την καταμέτρηση και Ανακαταμέτρηση των Ελληνικών Εμπορικών Πλοίων. Η Αρχή μπορεί να αναθέτει σε Οργανισμούς, αναγνωρισμένους από αυτή, για τον καθορισμό της Ολικής και Καθαρής Χωρητικότητας. Τέλος, η Αρχή έχει την ευθύνη για τον καθορισμό της χωρητικότητας, Ολικής και Καθαρής. Αποτελεί, λοιπόν, ένα από τα σπουδαιότερα ναυτιλιακά έγγραφα του πλοίου είναι το Πιστοποιητικό ή Πρωτόκολλο Καταμέτρησης. Σ' αυτό γίνεται πλήρης περιγραφή του πλοίου όπως και των μηχανών του, για παράδειγμα διαστάσεις, υλικό κατασκευής, ιπποδύναμη κλπ. Επίσης, αναφέρονται όλα τα στοιχεία της καταμέτρησης όλων των χώρων του πλοίου (Ολική Χωρητικότητα) αλλά και των χώρων που αφαιρούνται από την Ολική Χωρητικότητα σύμφωνα πάντα με το νόμο, και τέλος περιλαμβάνει την Καθαρή Χωρητικότητα του πλοίου, δηλαδή των χώρων που προορίζονται για εκμετάλλευση.

ANNEX II INTERNATIONAL TONNAGE CERTIFICATE (1969)				SPACES INCLUDED IN TONNAGE					
(Official seal) Issued under the provisions of the International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969, under the authority of the Government of _____ (full official designation of country) for which the Convention came into force on _____ 19____ by _____ (full official designation of the competent person or organization recognized under the provisions of the International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969)				GROSS TONNAGE			NET TONNAGE		
				Name of Space	Location	Length	Name of Space	Location	Length
Name of Ship _____ Distinctive Number or Letters _____ Part of Registry _____ Date _____				Underdeck	---	---			
* Date on which the last was laid or the ship was at a similar stage of construction (Article 2(5)), or date on which the ship underwent alterations or modifications of a major character (Article 3(2)(b)), as appropriate.							NUMBER OF PASSENGERS (Regulation 4(1)) Number of passengers in cabins with not more than 2 berths _____ Number of other passengers _____		
MAIN DIMENSIONS							MOULDED DRAUGHT (Regulation 4(2))		
Length (Article 2(1)) _____ Breadth (Regulation 2(3)) _____ Moulded Draught (Regulation 2(2)) _____									
THE TONNAGES OF THE SHIP ARE: GROSS TONNAGE _____ NET TONNAGE _____ This is to certify that the tonnages of this ship have been determined in accordance with the provisions of the International Convention of Tonnage Measurement of Ships, 1969. Issued at _____ 19____ (place of issue of certificate) (date of issue) (signature of official issuing the certificate) and/or (seal of issuing authority) If signed, the following paragraph is to be added: The undersigned declares that he is duly authorized by the said Government to issue this certificate. (signature)				ENCLINED SPACES (Regulation 2(5)) An asterisk (*) should be added to those spaces listed above which comprise both enclined and excluded spaces.					
				Date and place of original measurement _____					
				Date and place of last previous measurement _____					
				REMARKS:					

Εικόνα 14: Πιστοποιητικό Καταμέτρησης. (Πηγή: [KATAMETRHSH\(ntua.gr\)](http://KATAMETRHSH(ntua.gr)))

Η σύμβαση εφαρμόζεται στα ακόλουθα πλοία που πραγματοποιούν διεθνείς πλόες:

(α) πλοία που είναι νηολογημένα σε χώρες οι Κυβερνήσεις των οποίων είναι Συμβαλλόμενες Κυβερνήσεις.
(β) πλοία νηολογημένα σε επικράτειες στις οποίες η παρούσα Σύμβαση επεκτείνεται σύμφωνα με το άρθρο 20 και

(γ) πλοία που δεν είναι νηολογημένα αλλά φέρουν τη σημαία ενός Κράτους η Κυβέρνηση του οποίου είναι Συμβαλλόμενη Κυβέρνηση.

Η παρούσα Σύμβαση εφαρμόζεται σε:

(α) νέα πλοία,

(β) υπάρχοντα πλοία στα οποία έχουν γίνει μετατροπές ή μετασκευές τις οποίες η Αρχή θεωρεί ότι αποτελούν ουσιαστική μεταβολή στην υφιστάμενη Ολική Χωρητικότητα,

(γ) υπάρχοντα πλοία, εφ' όσον ο πλοιοκτήτης το επιθυμεί και

(δ) όλα τα υπάρχοντα πλοία δώδεκα χρόνια μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της Σύμβασης, με την προϋπόθεση ότι τα πλοία αυτά, εκτός από τα αναφερόμενα στις περιπτώσεις β & γ αυτής της παραγράφου, θα διατηρούν τις υφιστάμενες έως τότε χωρητικότητές τους για το σκοπό της εφαρμογής σε αυτά των σχετικών απαιτήσεων που απορρέουν από ισχύουσες Διεθνείς Συμβάσεις.

Η Σύμβαση δεν εφαρμόζεται σε:

(α) πολεμικά πλοία, και

(β) πλοία μήκους μικρότερο από 24 μέτρα (79 πόδια).

Καμία διάταξη της Σύμβασης αυτής δεν εφαρμόζεται στα πλοία τα οποία ταξιδεύουν αποκλειστικά:

(α) στις Μεγάλες Λίμνες της Βόρειας Αμερικής και στον ποταμό του Αγίου Λαυρέντιου ανατολικά μέσα σε μια ρομβοειδή γραμμή που σύρεται από το CAPDES ROSIERS μέχρι το WEST POINT, το νησί ANTICOSTI και στη βόρεια πλευρά του νησιού ANTICOSTI στο μεσημβρινό του μήκους 63οΔ.

(β) στην Κασπία Θάλασσα, ή

(γ) στον ποταμό PLATE PARANA και URUGUAY ανατολικά μέσα σε μία ρομβοειδή γραμμή μεταξύ PUNTA RASA (ακρωτήριο SAN ANTONIO) Αργεντινής και PUNTA DEL ESTE, Ουρουγουάη.

14.1 Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage – GT)

Οι διεθνείς κανονισμοί καταμέτρησης πλοίων (International Tonnage Measurements of Ships) περιγράφονται στην ιστοσελίδα του IMO και εφαρμόζονται σε όλα τα πλοία με μήκος μεγαλύτερο των 24m, που ναυπηγήθηκαν μετά την 18η Ιουλίου 1982. Σύμφωνα με αυτούς, η ολική χωρητικότητα υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$GT = K_1 \cdot V_{TOTAL}$$

Όπου:

- $K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_{TOTAL})$,
- V_{TOTAL} : ο περικλειόμενος όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου.

Ο συνολικός όγκος V_{TOTAL} του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$V_{TOTAL} = V_D + V_{SS}$$

Όπου:

- V_D : ο συνολικός όγκος μέχρι το ανώτερο έλασμα του καταστρώματος &
- V_{SS} : ο συνολικός όγκος των υπερστεγασμάτων

Από το *Rhinoceros 3D* και το *MaxSurf Modeler* προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος (μέχρι και το ανώτερο έλασμα) είναι ίσος με:

$$V_D = 182737.98 \text{ (m}^3\text{)}$$

Σύμφωνα με το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πατρικού πλοίου, όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπολογίζεται το εμβαδόν και ο όγκος των υπερκατασκευών του υπό μελέτη πλοίου. Επομένως, προκύπτει:

Χώροι Ενδιαίτησης			Χώροι Καπνοδόχου	
Deck	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)
Upper	471.24	1413.72	311.2	933.6
A Deck	464.08	1279.004	240.6	685.71
B Deck	464.08	1279.004	235.5	649.038
C Deck	320.443	883.141	224.7	619.273
	320.443	883.141	224.6	619
	240.6	639.034	132.7	352.451
	2280.886	6377.044	1369.3	3859.072
	6377.044+3859.072		10236.116	

Πίνακας 14.1.1: Υπολογισμός όγκου υπερστεγασμάτων.

Χώροι στο άνω κατάστρωμα		
	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)
Πρόστεγο (Forecastle)	239.968	647.914
Deck Store	53.375	144.113
Σύνολο:	293.343	792.027

Πίνακας 14.1.2: Υπολογισμός όγκου των υπερστεγασμάτων που βρίσκονται άνω του καταστρώματος.

Επομένως, προκύπτει ότι ο όγκος των υπερστεγασμάτων ισούται με:

$$V_{SS} = 11028.143 \text{ (m}^3\text{)}$$

Ο συνολικός όγκος των κλειστών χώρων του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$V_{TOTAL} = V_D + V_{SS} \Rightarrow V_{TOTAL} = 193766.123 \text{ (m}^3\text{)}$$

Ο συντελεστής K_1 ισούται με:

$$- K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_{TOTAL}) = 0.3057$$

Συνολικά, λοιπόν, η Ολική Χωρητικότητα (GT) του υπό μελέτη πλοίου ισούται με:

$$GT = K_1 \cdot V_{TOTAL} = 0.3057 \cdot 193766.123 \Rightarrow$$

$$GT=59234.301 \text{ (GRT)} \text{ ή } 167732.87 \text{ (m}^3\text{)}$$

14.2 Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage – NT)

Όπως και προηγουμένως, στην Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage), έτσι και η Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage) προκύπτει από την εφαρμογή των εκάστοτε Κανονισμών Καταμέτρησης και αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μέγεθος της εμπορικής εκμεταλλευσιμότητας του πλοίου. Επιπλέον, υπολογίζεται με βάση την Ολική Χωρητικότητα, με τη μόνη διαφορά ότι αφαιρούνται οι “εκπιπτόμενοι” όγκοι, οι οποίοι δεν συνεισφέρουν στη μεταφορά του φορτίου (πχ. Μέρος του χώρου μηχανοστασίου, χώροι

αντλιοστασίου/βοηθητικών μηχανημάτων, ενδιαίτηση πληρώματος). Επίσης, η Καθαρή Χωρητικότητα δε γίνεται να είναι μικρότερη της Ολικής πέραν του 30%. Το μέτρο της Καθαρής Χωρητικότητας χρησιμοποιείται, όπως και αυτό της ολικής, για τον υπολογισμό διαφορών τελών, πχ. Λιμενικά έξοδα κλπ. Η Καθαρή Χωρητικότητα υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$NT = K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_3 \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

Όπου:

- V_c : ο συνολικός όγκος χώρου κυτών=106812.376 (m³),
- $K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V_c = 0.300396$,
- $K_3 = 1.25 \cdot \left(\frac{GT+10000}{10000}\right)$,
- d : Βύθισμα στο μέσον του πλοίου,
- D : Κοίλο έως το ανώτατο κατάστρωμα στο μέσο του πλοίου,
- $N_1 = 0 \Rightarrow$ Αριθμός επιβατών σε καμπίνες με περισσότερους από 8 επιβάτες &
- $N_2 = 0 \Rightarrow$ Αριθμός των λοιπών επιβατών

Σύμφωνα με το τρισδιάστατο μοντέλο του πλοίου, που σχεδιάστηκε στο *MaxSurf Modeler* και έγινε η διαμερισματοποίηση στο *MaxSurf Stability*, ο συνολικός όγκος του χώρου των κυτών ισούται με:

$$V_{cargo} = 104669.189 \text{ (m}^3\text{)}$$

Επομένως, με αντικατάσταση η Καθαρή Χωρητικότητα προκύπτει ίση με:

$$NT=27471.055 \text{ (NRT)} \text{ ή } 77789.365 \text{ (m}^3\text{)}$$

Για να θεωρηθεί αποδεκτή η τιμή της Καθαρής Χωρητικότητας θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις.

Προϋποθέσεις:

- 1) Ο συντελεστής $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Για το υπό μελέτη πλοίο, ο συντελεστής αυτός ισούται με:

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 0.8734 \leq 1$$

- 2) Ο όρος $K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ δεν θα πρέπει να ισχύει ότι είναι μικρότερος από 0.25GT. Για το υπό μελέτη πλοίο, ο όρος αυτός ισούται με:

$$K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 27471.055 > 14808.576 = 0.25 \cdot GT$$

- 3) Η συνολική Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage) θα πρέπει να ισούται ή να ξεπερνά το 30% της Ολικής Χωρητικότητας. Για το υπό μελέτη πλοίο ισχύει:

4)

$$NT=27471.055 > 17770.291 = 0.30GT$$

Άρα, οι προϋποθέσεις ισχύουν και επομένως η Καθαρή Χωρητικότητα NT ισούται με:

$$NT=27471.055 \text{ (NRT)} \text{ ή } 77789.365 \text{ (m}^3\text{)}$$

14.3 Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number)

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Νηογνωμόνων (I.A.C.S), όλα τα πλοία είναι υποχρεωμένα να φέρουν συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης. Ακόμη, στα σύγχρονα πλοία επιβάλλεται να φέρουν δύο άγκυρες καθώς και να έχουν το κατάλληλο μήκος και μέγεθος όσον αφορά την αλυσίδα που θα φέρουν. Επίσης, θα πρέπει να φέρουν συγκεκριμένο αριθμό και μήκος σχοινιών (κάβλοι) για την πρόσδεση του σκάφους. Μάλιστα, στα δεξαμενόπλοια απαιτείται η ύπαρξη ειδικών διατάξεων που θα επιτρέπουν την εύκολη και γρήγορη πρόσδεση του σκάφους στο ρυμούλκο.

Για τον προσδιορισμό των ως άνω συστημάτων για το υπό μελέτη δεξαμενόπλοιο απαιτείται ο υπολογισμός του Δείκτη Εξαρτισμού EN (Equipment number). Ο Δείκτης Εξαρτισμού αποτελεί μία αδιάστατη παράμετρο η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του μήκους και το μέγεθος των αγκυρών, τη διάμετρο των αλυσίδων καθώς και τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των σχοινιών ρυμούλκησης και το μέγεθος των κάβων πρόσδεσης. Ωστόσο, είναι σημαντικό πως ο εξοπλισμός αγκυροβόλησης που θα φέρει το πλοίο προορίζεται για προσωρινή πρόσδεση ενός πλοίου σε λιμάνι ή σε μια περιοχή, όταν το πλοίο περιμένει ελλιμενισμό, παλίρροια κλπ. Επομένως, δεν έχει σχεδιαστεί για να αντέχει σε πολύ δύσκολες καιρικές συνθήκες. Επίσης, έχουν μελετηθεί έτσι ώστε να συγκρατούν το πλοίο σε ένα “καλό” έδαφος, αφού σε “φτωχό” έδαφος η ισχύ συγκράτησης των αγκυρών μειώνεται δραματικά. Ο Δείκτης Εξαρτισμού EN (Equipment Number), σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Νηογνωμόνων, υπολογίζεται ως εξής:

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A$$

Όπου:

- Δ : το εκτόπισμα στο βύθισμα αντοχής σε (t),
- B : το πλάτος του πλοίου,
- $h = h_{FB} + \sum h_n$,
- h_{FB} : το ύψος εξάλων στο μέσο του πλοίου από τη γραμμή φόρτωσης στη θερινή περίοδο έως τη γραμμή καταστρώματος (m),
- h_n : το ύψος του n-ορόφου της υπερκατασκευής ή του υπερστεγάσματος με πλάτος μεγαλύτερο του $B/4$ (m),
- A : το εμβαδόν (που βρίσκεται πάνω από τη θερινή ίσαλο) της πλευρικής προβεβλημένης επιφάνειας του πλοίου, των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων με πλάτος μεγαλύτερο από $B/4$ που βρίσκονται εντός του μήκους των κανονισμών (rule length).

Αντικαθιστώντας τα εξής μεγέθη, $\Delta=134320$ (t), $B=43$ (m), $h=19.069$ (m) & $A=557.067$ (m²), ο Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number) προκύπτει ίσος με $EN=4318.405$. Σύμφωνα με τον κανονισμό της Διεθνούς Ένωσης Νηογνωμόνων (I.A.C.S. Rec. 1982/Rev.4 2020), No.10 Chain Anchoring, Mooring and Towing Equipment), προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία των χαρακτηριστικών των αγκυρών, των αλυσίδων, των σχοινιών ρυμούλκησης και το μέγεθος των κάβων πρόσδεσης.

Ο κανονισμός μας προβλέπει ότι οι δύο άγκυρες επιτρέπεται να διαφέρουν σε βάρος έως 7% μεταξύ τους, ωστόσο το συνολικό βάρος τους θα πρέπει να συμμορφώνεται με την απαίτηση των κανονισμών. Ακόμη, αν οι άγκυρες που θα φέρει το πλοίο έχουν χαρακτηριστεί ως υψηλής συγκράτησης (HHP) ο κανονισμός τους

επιτρέπει 75% μείωση στο βάρος τους. Σύμφωνα με το μέγεθος των αγκυρών και των αλυσίδων καθορίζονται έπειτα το μέγεθος και η αντοχή των διαφόρων εξαρτημάτων αγκυροβολίας (πχ. εργάτης άγκυρας, chain stopper κ.α.)

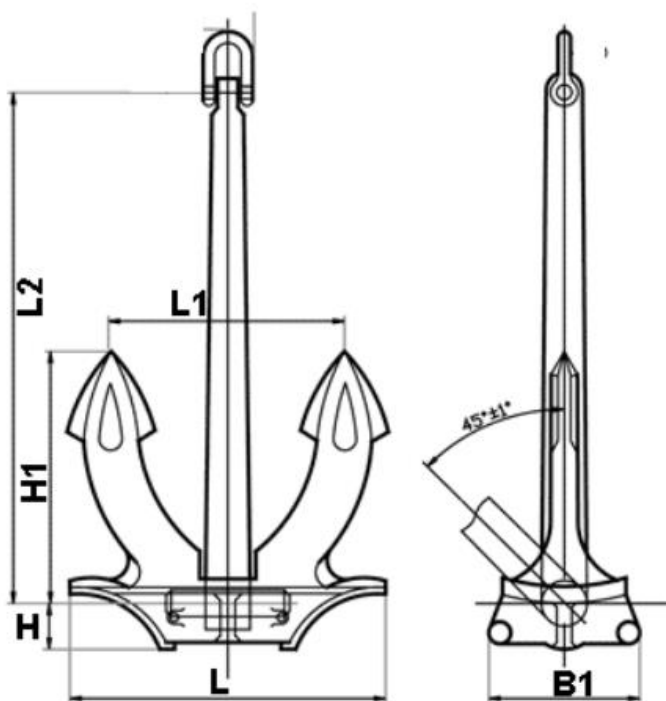
Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

Σύστημα Αγκυροβόλησης		
Δείκτης εξαρτισμού EN (Equipment number)	4318.405	
Αριθμός αγκυρών (Number)	2	
Μάζα της κάθε άγκυρας (Mass per anchor)	21100	kg
Χαρακτηριστικά αλυσίδας (chain cable for bower anchors)		
Μήκος αλυσίδας (Length)	962.5	m
Ελάχιστη διάμετρος αλυσίδας (Min. Diameter-Grade 3)	92	mm
Εξοπλισμός πρόσδεσης (Mooring Equipment)		
Αριθμός εξοπλισμού (number)	7	
Ελάχιστο μήκος κάθε σχοινιού (Minimum length of each line)	190	m
Ελάχιστο φορτίο φρεναρίσματος (minimum breaking load)	437	kN
Χαρακτηριστικά σχοινιών ρυμούλκησης (Towing Equipment)		
Ελάχιστο μήκος σχοινιού (Minimum length)	300	m
Ελάχιστο φορτίο φρεναρίσματος (Ship design minimum breaking load)	1471	kN

Πίνακας 14.3.1: Χαρακτηριστικά του συστήματος αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης.

Για το υπό μελέτη πλοίο επιλέγονται τα ακόλουθα, από την εταιρεία «PILOTFITS ENGINEERING: Marine & Offshore Services» ([High Quality Marine Equipment China Supplier-PILOTFITS](#)):

- Άγκυρες (Hall Anchor):



Εικόνα 14.3.2: Επεξήγηση διαστάσεων άγκυρας κατηγορίας Hall Anchor. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνων](#))

Είναι ο πιο κοινός τύπος άγκυρας και κατασκευάζεται από χυτό χάλυβα, είτε “rocketed” είτε και “non-rocketed”. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αγκυρών:

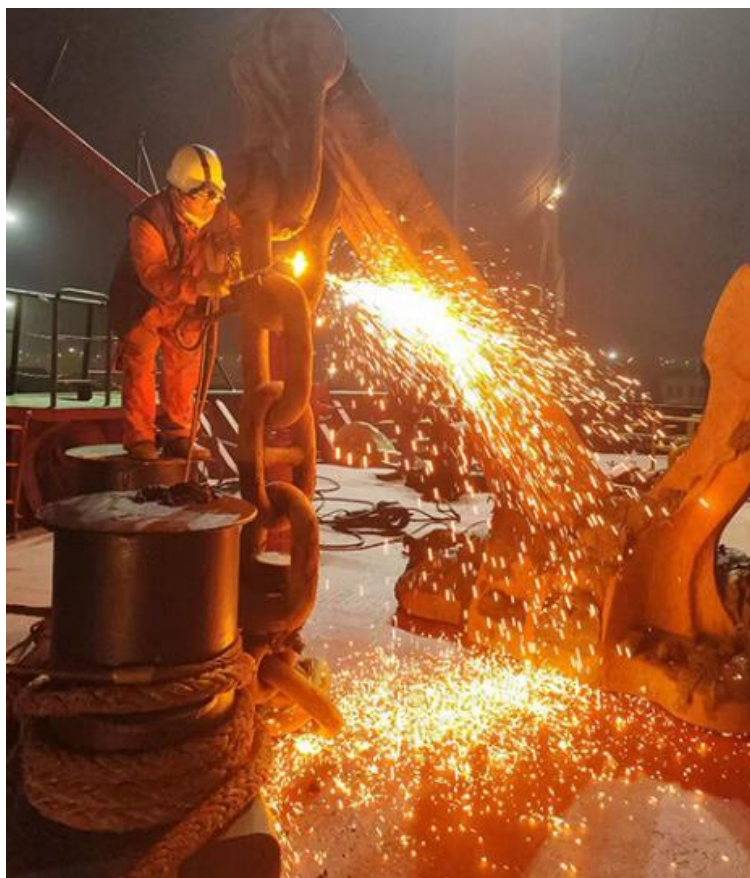
Conventional stockless anchor	
Βάρος άγκυρας	23000 (kg)
Υλικό	ZG200-400
Φινίρισμα	Μαύρη βαφή με πίσσα, γαλβανισμένη εν θερμώ
Πιστοποιητικά	BV, ABS, LRS, DNV, IRS, RINA, RS, CCS, KR, NK

Πίνακας 14.3.3: Χαρακτηριστικά των αγκυρών. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– Αλυσίδες άγκυρας (Studlink Chains):

Αλυσίδες άγκυρας (Studlink Chains)	
Επιλογές υλικών	Χάλυβας άγκυρας θερμής έλασης (CM490, CM690), ανοξείδωτος χάλυβας 316, 316L
Βαθμοί υλικού αλυσίδας	Αλυσίδες Studlink διαθέσιμες σε υλικό 2ου και 3ου βαθμού
Εύρος διαμέτρου	12.5 έως 122 (mm)
Πιστοποιήσεις	I.A.C.S., DNV, GL, ABS, LRS, RINA, BV, NK, KR, IRS, RS
Επιλογές φινιρίσματος	Γαλβανισμένες εν θερμώ, βαμμένες σε μαύρο χρώμα

Πίνακας 14.3.4: Χαρακτηριστικά των αλυσίδων. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))



Εικόνα 15.5: Εργασία στις αλυσίδες των αγκυρών (Studlink Chains). (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– Μικτά σχοινιά πολυπροπυλενίου & πολυεστέρα (Polypropylene & Polyester Mixed Rope):

Τα μικτά σχοινιά πολυπροπυλενίου και πολυεστέρα αποτελούνται από υψηλής ποιότητας μικτή ίνα PP/PE είτε με 8-πλη πλεξούδα είτε με 12-πλη. Έχουν σημείο τήξης στους 165 βαθμούς Κελσίου και μέγιστη επιμήκυνση 14%. Ακόμη, έχουν καλή αντοχή στη τριβή, στην αντοχή από υπεριώδη ακτινοβολία και στην αντοχή από χημικά.



Εικόνα 14.3.6: Σχοινιά πρόσδεσης. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

– Σχοινιά ρυμούλκησης (Towing Equipment): NIKA-NYLON 8 Tail
([NIKA-NYLON 8 Mooring tails - Katradis Marine Ropes](#))

Τα σχοινιά NIKA-NYLON 8 Tail της εταιρείας Katradis παρουσιάζουν υψηλές αντοχές και εξαιρετικές δυναμικές ιδιότητες απορρόφησης κραδασμών και φορτίου. Τα σχοινιά 22 μέτρων NYLON Mooring είναι ιδανικά για συστήματα πρόσδεσης.



Εικόνα 14.3.7: Σχοινιά ρυμούλκησης NYLON Mooring. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Κεφάλαιο 15: Υπολογισμός αντίστασης

Σε αυτό το κεφάλαιο, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της αντίστασης για το υπό μελέτη πλοίο. Σύμφωνα με τον υπολογισμό της αντίστασης που παρουσιάζεται παρακάτω, θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο η μελέτη της προωστήριας εγκατάστασης, δηλαδή η επιλογή της κύριας μηχανής και της έλικας που θα φέρει το υπό μελέτη πλοίο. Ο υπολογισμός της αντίστασης θα γίνει με διάφορες μεθοδολογίες αντίστασης (Συστηματικές Σειρές) και σύμφωνα με τις μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν στο πατρικό πλοίο ώστε να κρίνουμε ποια μεθοδολογία προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική τιμή του πατρικού πλοίου. Με τη χρήση του προγράμματος *MaxSurf Resistance* θα γίνει ο υπολογισμός της αντίστασης του υπό μελέτη πλοίου και σύμφωνα με τις διάφορες συστηματικές σειρές που μας παρέχει το εν λόγω πρόγραμμα. Το πρόγραμμα *MaxSurf Resistance* για τον υπολογισμό της αντίστασης των πλοίων εκτοπίσματος χρησιμοποιεί τις εξής μεθόδους:

- Holtrop,
- Compton,
- Fung,
- Van Oortmerssen,
- Series 60 &
- KR Barge resistance.

Το *MaxSurf Resistance* πέρα από το σχεδιασμό διάγραμμα αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας και του αριθμού Froude, χαράσσει ακόμη και το διάγραμμα της απαιτούμενης ισχύος της κύριας μηχανής που θα πρέπει να φέρει το πλοίο συναρτήσει της ταχύτητας και του αριθμού Froude. Η ορθή επιλογή των συστηματικών σειρών είναι να εφαρμόσουμε τις μεθόδους που προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματική τιμή της αντίστασης του πατρικού πλοίου ώστε να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή τους στο υπό μελέτη πλοίο. Όμως, αφού δεν υπάρχουν αυτά τα δεδομένα για το πατρικό πλοίο, θα γίνει εφαρμογή των παραπάνω συστηματικών σειρών, και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της αντίστασης θα εφαρμοστούν οι μέθοδοι που μας αποδίδουν ορθά αποτελέσματα. Επομένως, η επιλογή των μεθοδολογιών αντίστασης που εφαρμόζονται στο υπό μελέτη πλοίο γίνεται σύμφωνα με τις μεθόδους που προσεγγίζουν καλύτερα την απαιτούμενη ισχύ τόσο του πατρικού και των όμοιων πλοίων που βρίσκεται στη βάση δεδομένων καθώς και του υπό μελέτη πλοίου. Ωστόσο, εξετάστηκαν όλες οι μέθοδοι αντίστασης για το υπό μελέτη πλοίο και διαπιστώθηκε στο διάγραμμα αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας και του αριθμού Froude, ότι αρκετές από τις παραπάνω μεθόδους δεν προσεγγίζουν ικανοποιητικά την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου παρουσιάζοντας αρκετά μεγάλες αποκλίσεις.

Οι μεθοδολογίες που θα υπολογίσουμε την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου, αφού προσεγγίζουν καλύτερα την απαιτούμενη ισχύ της κύριας μηχανής τόσο για πατρικό όσο και για το υπό μελέτη πλοίο, είναι οι εξής:

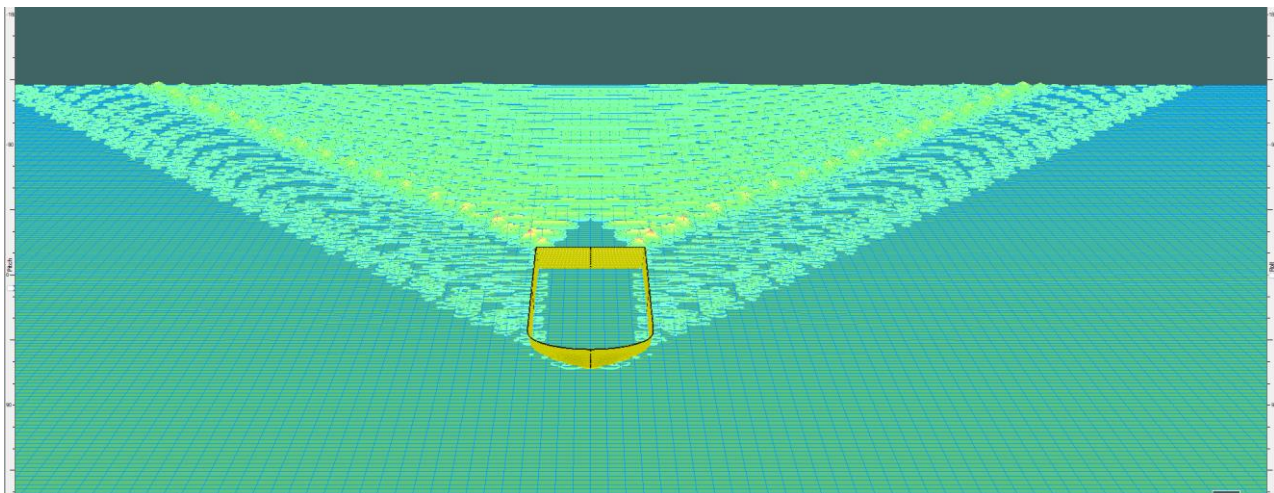
- Μέθοδος Holtrop &
- Μέθοδος Fung.

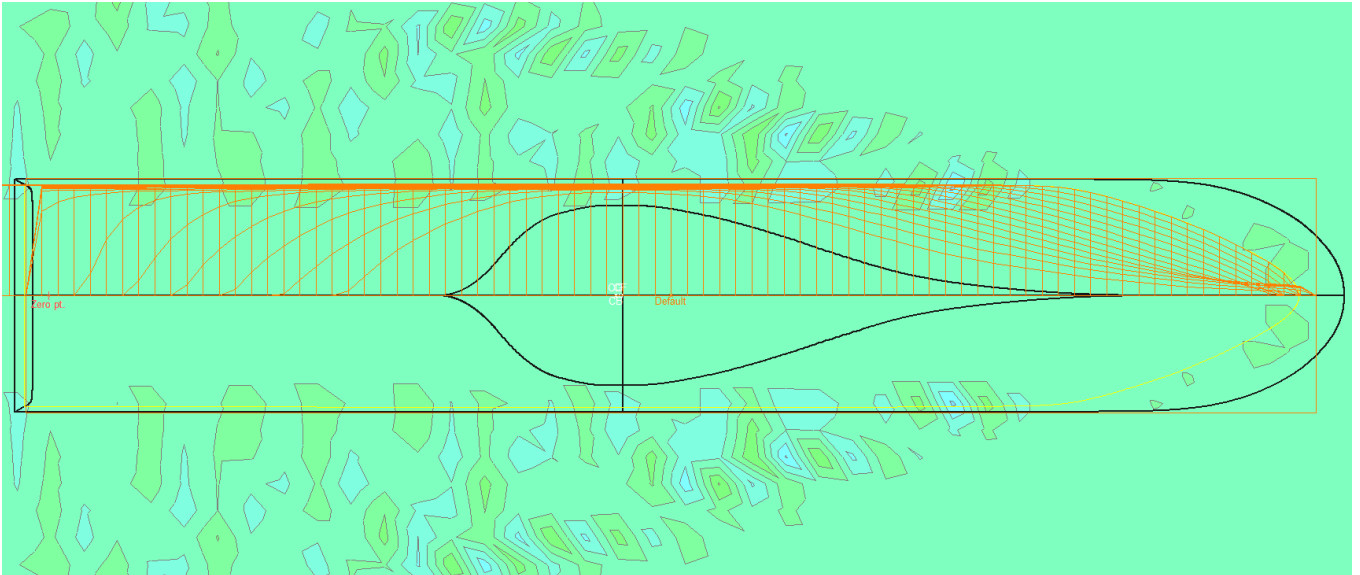
Ο υπολογισμός της αντίστασης θα πραγματοποιηθεί με τις παραπάνω Συστηματικές Σειρές, λόγω του ότι προσεγγίζουν καλύτερα τις τιμές της αντίστασης του πατρικού πλοίου, για εύρος ταχυτήτων από 0 – 20 (kn). Εισάγοντας τα κατάλληλα στοιχεία στο *MaxSurf Resistance* θα εξάγουμε τις τιμές της αντίστασης για το εύρος ταχυτήτων. Επίσης, εισάγουμε διόρθωση στον ομόρρου της γάστρας του πλοίου σύμφωνα με την ITTC 1978 (International Towing Tank Conference).

	Item	Value	Units	Holtrop	Fung
1	LWL	246,126	m	246,126	246,126
2	Beam	43	m	43	43 (low)
3	Draft	15	m	15	15 (low)
4	Displaced volume	131043,933	m ³	131043,933	131043,933
5	Wetted area	15630,12	m ²	15630,12	15630,12
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,8		0,8	0,8 (high)
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,926		0,926	--
8	1/2 angle of entrance	26,9	deg.	26,9	26,9 (high)
9	LCG from midships(+ve for'd)	-9,848	m	-9,848	--
10	Transom area	0,022	m ²	0,022	0,022
11	Transom wl beam	41,02	m	--	41,02
12	Transom draft	0,001	m	--	0,001
13	Max sectional area	665,533	m ²	--	665,533 (high)
14	Bulb transverse area	20,106	m ²	20,106	20,106
15	Bulb height from keel	5,36	m	5,36	--
16	Draft at FP	13,6	m	13,6	--
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--	--
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge		--	--
19					
20	Frontal Area	0	m ²		
21	Headwind	0	kn		
22	Drag Coefficient	0			
23	Air density	0,001	tonne/m ³		
24	Appendage Area	0	m ²		
25	Nominal App. length	0	m		
26	Appendage Factor	1			
27					
28	Correlation allowance	use 19th ITTC formulation		Calculated by method	Fixed at 0.0005
29	Kinematic viscosity	0,0000011883	m ² /s		
30	Water Density	1,0259	tonne/m ³		

Πίνακας 16.1: Δεδομένα του πλοίου καθώς και οι συστηματικές σειρές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντίστασης του πλοίου. (Πηγή: MaxSurf Resistance)

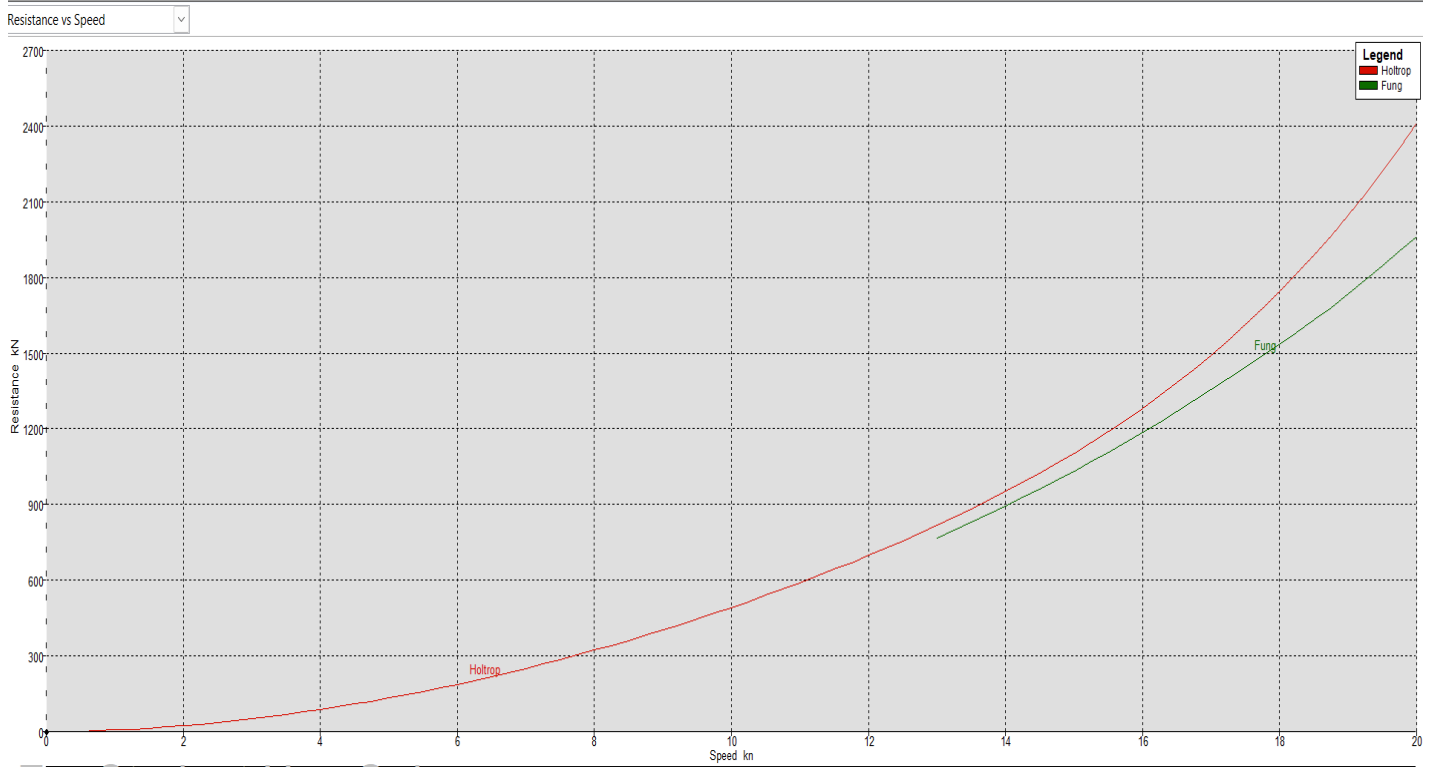
Αρχικά, αφού γίνει ο έλεγχος των παραπάνω δεδομένων, ακολουθεί ο υπολογισμός της αντίστασης του πλοίου σύμφωνα με τις 2 συστηματικές σειρές που περιγράφηκαν παραπάνω διότι προορίζονται για μελέτη αντίστασης σε κατηγορίες πλοίων εκτοπίσματος σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Από τις 2 μεθοδολογίες αντίστασης που θα εξετασθεί το υπό μελέτη πλοίο, θα εξαχθεί ο μέσος όρος αυτών για καλύτερα αποτελέσματα.



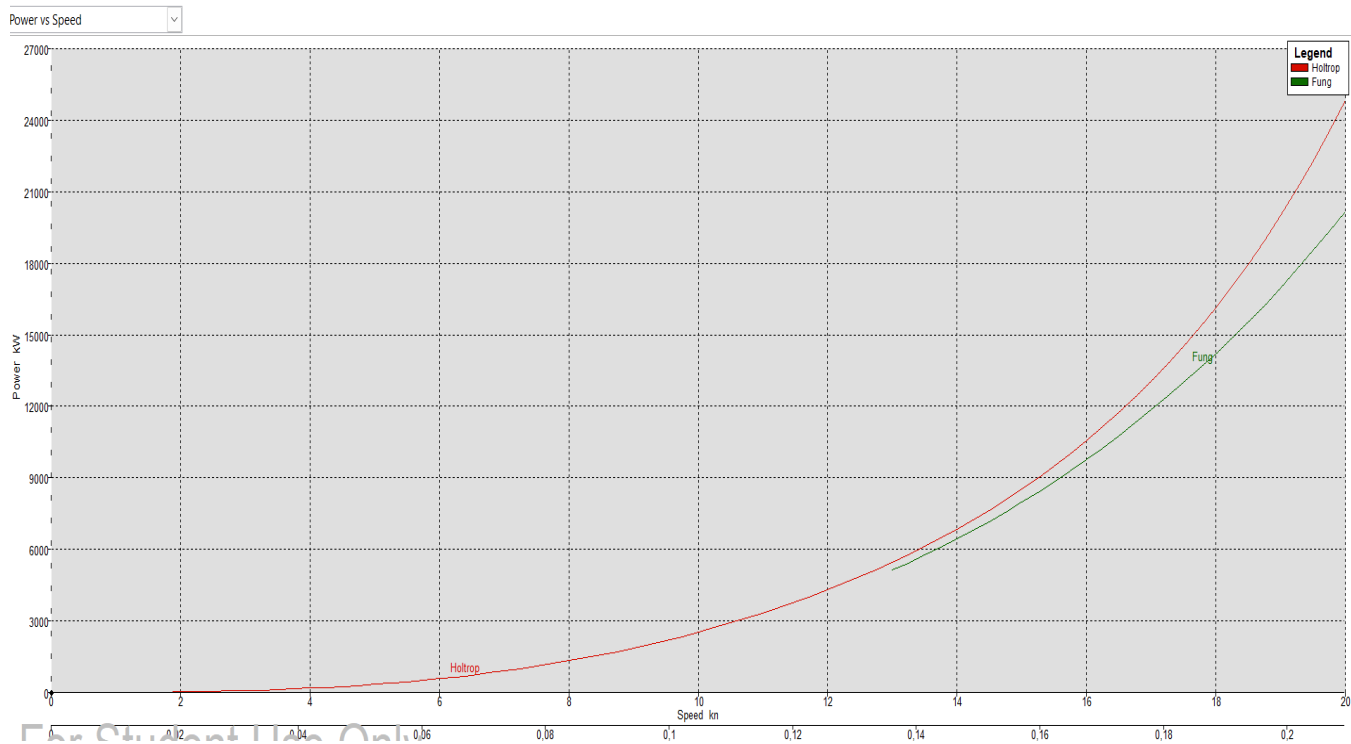


Εικόνα 16.2: Σύστημα κυματισμού Kelvin και διάφορα υδροδυναμικά φαινόμενα κατά την κίνηση του πλοίου. (MaxSurf Resistance)

Παρακάτω απεικονίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος *MaxSurf Resistance*:



Εικόνα 16.3: Διάγραμμα αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας και του αριθμού Froude για τις 2 συστηματικές σειρές. (Πηγή: MaxSurf Resistance)

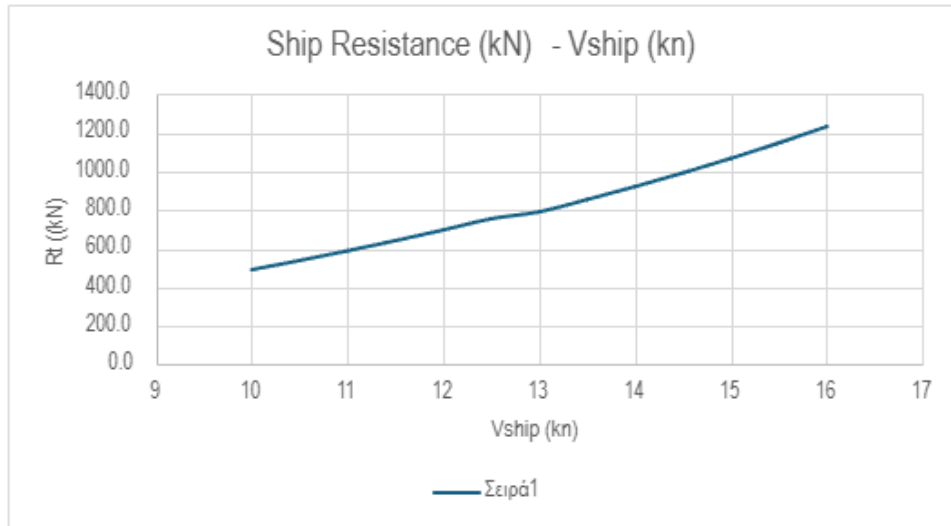


Εικόνα 16.4: Διάγραμμα ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας και του αριθμού Froude για τις 2 συστηματικές σειρές. (Πηγή: MaxSurf Resistance)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συνολική αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου, που προκύπτει από το μέσο όρο των 2 μεθοδολογιών αντίστασης, συναρτήσει της υπηρεσιακής ταχύτητας και του αριθμού Froude.

Vs (knots)	Froude Number LWL	Total Resistance (kN)
10.5	0.110	491.8
11	0.115	539.7
11.5	0.120	589.9
12	0.126	642.5
12.5	0.131	697.8
13	0.136	756.0
13.5	0.141	792
14	0.147	855.5
14.5 (Service Speed)	0.152	922.55
15	0.157	993.5
15.5	0.162	1068.85
16	0.168	1148.85

Πίνακας 16.5: Αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου για διάφορες ταχύτητες.



Διάγραμμα 16.6: Διάγραμμα αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας του πλοίου. Η αντίσταση βρέθηκε από τον μέσο όρο των 2 μεθοδολογιών.

Κεφάλαιο 16: Επιλογή προωστήριας εγκατάστασης & πηδαλίου

Η απαιτούμενη ισχύς του πλοίου στο νερό συνδέεται άρρηκτα με την αντίσταση που προσδίδουν το νερό και ο αέρας, η απόδοση του συστήματος της προωστήριας εγκατάστασης καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών. Με τον όρο προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου αναφερόμαστε στην έλικα, τον μειωτήρα (αν απαιτείται να έχει το πλοίο) και την κύρια μηχανή του πλοίου (προωστήρια μηχανή).

16.1 Επιλογή έλικας

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται η μελέτη και ο σχεδιασμός της έλικας του υπό μελέτη πλοίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, δηλαδή τις τιμές της αντίστασης για δεδομένες ταχύτητες του πλοίου, θα εξεταστούν έλικες της σειράς Wageningen – B series. Για την επιλογή της βέλτιστης έλικας που θα φέρει το υπό μελέτη πλοίο, θα ακολουθήσει μία επαναληπτική διαδικασία για διαφόρους λόγους P/D (βήματος/διάμετρο) καθώς και για διαφόρους λόγους εκτεταμένης επιφάνειας. Σύμφωνα με τον Γεράσιμο Κ. Πολίτη, οι γεωμετρικές παράμετροι που έχουν μεγάλη επιρροή στην υδροδυναμική συμπεριφορά της έλικας είναι οι εξής:

- η διάμετρος της έλικας D ,
- το ονομαστικό βήμα P ,
- αριθμός πτερυγίων z &
- ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας (A_E/A_0)

Ακόμη, στη παράγραφο αυτή, θα σχεδιαστούν οι ισοβηματικές/ισοταχείς καμπύλες για διαφόρους λόγους εκτεταμένων επιφανειών (A_E/A_0) ώστε να έχουμε καλύτερη επίγνωση λειτουργίας της έλικας για την εύρεση της βέλτιστης. Τέλος, γίνεται έλεγχος σπηλαιώσης της προπέλας, για τη βέλτιστη λειτουργία αυτής.

Αρχικά, για να υπολογισθεί η απαιτούμενη ισχύς στον άξονα του πλοίου ώστε να κινηθεί με την ταχύτητα υπηρεσίας θα πρέπει να προσδιοριστούν τα εξής μεγέθη - μεταβλητές:

- οι γεωμετρικές μεταβλητές της έλικας: P , D , A_E/A_0 , z ,
- οι μεταβλητές που αφορούν την κίνησης της n , $V_0=(1-w)*V_{ship}$ &
- οι μεταβλητές που αφορούν την λειτουργικότητας της: $T_0=T$, $Q_0=\eta_R*Q$, έλεγχος σπηλαιώσης.

Διάμετρος έλικας:

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες ανοχές της έλικας - πηδαλίου - γάστρας, σύμφωνα με τους Κανονισμούς των Νηογνωμόνων (Classification Societies – DNV) καθώς και όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για τον Κανονισμό 18 της MARPOL που αναφέρεται σε πλήρη βύθιση της έλικας, κυρίως σε κατάσταση ερματισμού, η επιλογή της διαμέτρου της έλικας θα είναι ίση με το πατρικό ώστε να έχουμε το βέλτιστο υδροδυναμικό βαθμό αυτής (CFD Analysis). Επομένως, η διάμετρος της έλικας είναι ίση με:

$$D_{prop.} = 8 (m)$$

Αριθμός πτερυγίων:

Όπως και προηγουμένως, επειδή το πατρικό πλοίο είναι εφοδιασμένο με έλικα όπου έχει πραγματοποιηθεί CFD Analysis (Computational Fluid Dynamics) μαζί με τη γάστρα του πλοίου (Βέλτιστη υδροδυναμική απόδοση) και αφού δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στον αριθμό των πτερυγίων, επιλέγεται ίσος αριθμός σύμφωνα με το πατρικό πλοίο. Δηλαδή:

$$z = 4$$

Ποσοστό ορόρου w :

Για τον υπολογισμό του ποσοστού του ομόρου της γάστρας του πλοίου, θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις και θα ληφθεί ο μέσος όρος αυτών:

- *Heckscher*: $w_1 = 0.7 \cdot C_p - 0.18 \Rightarrow w_1 = 0.408$,
- *Troost*: $w_2 = 0.25 + 2.5(C_B - 0.6)^2 \Rightarrow w_2 = 0.376$ &
- *Kruger*: $w_3 = 0.75 \cdot C_B - 0.24 \Rightarrow w_3 = 0.378$

Επομένως, λαμβάνεται η μέση τιμή αυτών των εμπειρικών τύπων και προκύπτει:

$$w_{ave.} = 0.387$$

Συντελεστής μείωσης ώσης t:

Ομοίως με το ποσοστό ομόρου, έτσι και εδώ, θα υπολογισθεί με χρήση εμπειρικών τύπων. Επομένως, έχουμε τους εξής τύπους:

- *Heckscher*: $t_1 = 0.5 \cdot C_p - 0.12 \Rightarrow t_1 = 0.3$
- *S.S.P.A.*: $t_2 = w \cdot \left(1.57 - C_B \cdot \frac{2.3 - 1.5 \cdot C_{WP}}{C_{WP}} \right) \Rightarrow t_2 = 0.308$
- *Danckwardt*: $t_3 = 0.5 \cdot C_B - 0.15 \Rightarrow t_3 = 0.262$

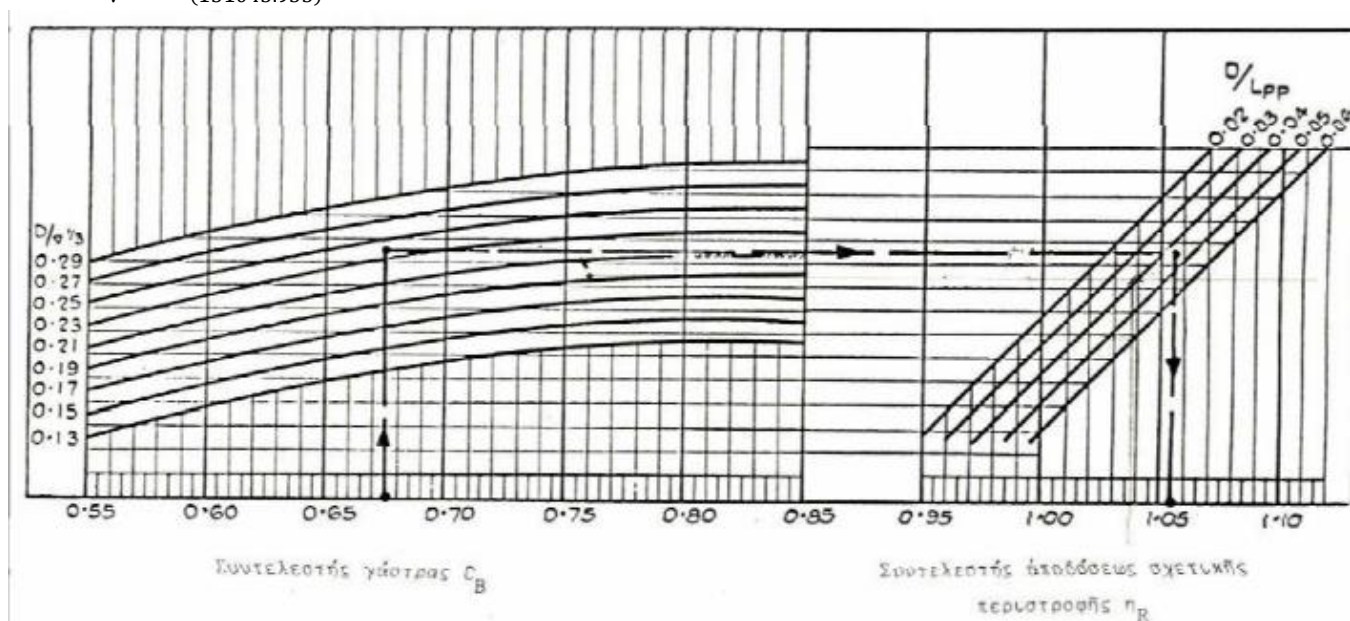
Επομένως, λαμβάνεται η μέση τιμή αυτών των εμπειρικών τύπων και προκύπτει:

$$t_{ave.} = 0.29$$

Συντελεστής σχετικής περιστροφής η_R

Ο συντελεστής σχετικής περιστροφής η_R θα υπολογισθεί σύμφωνα με το διάγραμμα BSRA. Για τον υπολογισμό του

- $\frac{D_{prop.}}{L_{pp}} = \frac{8}{235.371} = 0.034$,
- $C_B = 0.885$ &
- $\frac{D_{prop.}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \frac{8}{(131043.933)^{\frac{1}{3}}} = \frac{8}{50.793} = 0.157$



Διάγραμμα 16.1.1: Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστή σχετικής περιστροφής η_R κατά BSRA.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα ο συντελεστής σχετικής περιστροφής η_R προκύπτει ότι είναι ίσος με:

$$\eta_R = 0.975$$

Συντελεστής απόδοσης άξονα η_s:

Η ισχύς που μεταδίδει η κύρια μηχανή του πλοίου, στον άξονα και τελικώς στην έλικα έχει κάποιες μικρές απώλειες που οφείλονται κυρίως στα έδρανα που στηρίζουν τον ελικοφόρο άξονα καθώς και στην τριβή που αναπτύσσεται στο αξονικό σύστημα του πλοίου που βρίσκεται μετά την κύρια μηχανή. Ο συντελεστής απόδοσης του άξονα η_s , σε πολλές εκτιμήσεις, λαμβάνει την εξής τιμή:

$$\eta_s = 0.98$$

Συντελεστής απόδοσης γάστρας η_H :

Ως συντελεστής απόδοσης γάστρας η_H , λογίζεται ο λόγος $(1-t)/(1-w)$ και επομένως ισούται με:

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w} = \frac{1-0.29}{1-0.387} \Rightarrow \eta_H = 1.158$$

Ταχύτητα προχώρησης V_A :

$$V_{ship} = 14.5 \text{ (kn)} = 7.459 \text{ (m/s)}$$

$$V_A = V_{ship} \cdot (1-w) \Rightarrow V_A = 4.573 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Ωση έλικας T :

Για $V_{ship} = 14.5 \text{ (kn)}$, η αντίσταση που υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ισούται με:

$$R_T = 922.55 \text{ (kN)} = 922550 \text{ (N)} = 94073.919 \text{ (kp)}$$

Επομένως, η ώση που απαιτείται στην έλικα για να υπερνικήσει την αντίσταση του πλοίου είναι ίση με:

$$T = \frac{R_T [kp]}{1-t} = \frac{94073.919}{1-0.29} \Rightarrow T = 132498.477 \text{ [kp]}$$

Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 :

Για τον προσδιορισμό του λόγου εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 , χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα Wageningen B-Series για διαφόρους λόγους εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 από 0.4 έως 1.4 και χαράσσοντας την καμπύλη k_T-J^2 θα βρούμε για ποιο λόγο εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 και P/D έχουμε τον μέγιστο βαθμό απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή, ωστόσο για αποδεκτά όρια σπηλαιώσης. Τα διαγράμματα ελεύθερης ροής της έλικας για την σειρά B -Wageningen απεικονίζονται στο Παράρτημα Γ. Συμπερασματικά, προέκυψε ότι η βέλτιστη έλικα όσον αφορά την απόδοσή της, καθώς λειτουργεί πίσω από το πλοίο σε συνδυασμό με την σπηλαιώση που προκύπτει, έχει λόγο εκτεταμένης επιφάνειας =>

$$A_E/A_0=0.436.$$

Διαδικασία εύρεσης βέλτιστης έλικας:

Σύμφωνα με τις παραπάνω γνωστές παραμέτρους, η διαδικασία υπολογισμού της εύρεσης της βέλτιστης έλικας πραγματοποιείται με τη χάραξη της παραβολής $k_T=C*(J^2)$, για διαφόρους λόγους εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 και βρίσκουμε την τομή με την αντίστοιχη καμπύλη $k_T - J^2$ της έλικας και επόμενο βήμα ο υπολογισμός των J , k_T , k_Q και η_0 . Στη συνέχεια, με τη χρήση των 2 προγραμμάτων H/Y σε Modern – Fortran, που παρουσιάζεται στο βιβλίο «Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου» του κ. Γεράσιμου Κ. Πολίτη, Καθηγητή ΕΜΠ και ο σύνδεσμος των προγραμμάτων παρουσιάζεται στα Προγράμματα παρακάτω, για δεδομένη διάμετρο της έλικας και εισάγοντας βασικές παραμέτρους για την επίλυση του προβλήματος πρόωσης, θα βρεθεί η βέλτιστη έλικα μετά από επαναληπτική διαδικασία για διάφορα λόγους P/D σύμφωνα με τον συντελεστή πρόωσης (Propulsion Coefficient) καθώς και τα αποδεκτά όρια σπηλαιώσης. Ο κώδικας προγραμματισμού χρησιμοποιεί τις εξής σχέσεις υπολογισμού:

Συντελεστής προχώρησης της έλικας: $J_0 = \frac{V_0}{nD}$,

$$- \frac{k_T}{J^2} = \frac{\frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}}{\left(\frac{V}{n \cdot D}\right)^2} = \frac{T}{\rho \cdot V^2 \cdot D^2}, \quad \frac{k_T}{J^2} = C$$

Ροπή στη θέση της έλικας: $Q = \frac{\rho n^2 D^5 k_{Q0}}{\eta_R}$

Αποδιδόμενη ισχύ στην έλικα: $DHP = 2\pi nQ$,

Ισχύς του κινητήρα: $SHP = \frac{DHP}{\eta_s}$,

Ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου: $EHP = R_0 \cdot V$,

Βαθμός απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή: $\eta_0 = \frac{T_0 \cdot V_0}{\omega Q_0} = \frac{J_0}{2\pi} \cdot \frac{k_{T0}}{k_{Q0}}$ &

Συντελεστής πρόωσης: $P.C. = \frac{EHP}{SHP} = \eta_H \eta_0 \eta_R \eta_s$.

Έλεγχος σπηλαίωσης:

Ο έλεγχος της σπηλαίωσης της έλικας του υπό μελέτη πλοίου θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το κριτήριο Burrill. Σύμφωνα με το διάγραμμα Burrill, που περιέχει τα αδιάστατα μεγέθη $\sigma_{0.7R}$ και t_c στον x και y άξονα αντίστοιχα, το ποσοστό σπηλαίωσης της πίσω όψης των πτερυγίων θα πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο του 10%. Τα αδιάστατα μεγέθη $\sigma_{0.7R}$ και t_c υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sigma_{0.7R} = \frac{p_0 - p_v}{q_{0.7R}} = \frac{p_a + \rho g h - p_v}{q_{0.7R}} \quad \& \quad t_c = \frac{\frac{T}{A_p}}{q_{0.7R}}$$

Όπου:

- $q_{0.7R} = \frac{1}{2} \rho V_R^2$ με $V_R^2 = V_0^2 + (0.7\pi nD)^2$,
- T: η ώση της έλικας,
- D: η διάμετρος της έλικας = 8 (m),
- n: οι στροφές/δευτερόλεπτο της έλικας,
- A_p : η προβεβλημένη επιφάνεια της έλικας,
- $p_{atm} = 10332.2745$ [kp/m²],
- $p_0 = p_{atm} + \rho g h = 10332.2745 + 9.81 \cdot 104.61 \cdot 14 = 24699.412$ [kp/m²],
- ρ : η πυκνότητα του ρευστού = 104.61 ((kp*s²)/m⁴),
- h: η απόσταση από το κέντρο του άξονα της έλικας από την ελεύθερη επιφάνεια = 14 (m),
- p_v : η πίεση ατμοποίησης του ρευστού υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας = 173.35 (kp/m²) &
- $A_D \cong A_E$ & $A_D \cong \frac{A_p}{(1.067 - 0.229 \frac{P}{D})}$, A_D : η ανεπτυγμένη επιφάνεια της έλικας & A_p : η προβεβλημένη επιφάνεια της έλικας.

Για την εύρεση της βέλτιστης έλικας του υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια και παραμέτρους, θα χρησιμοποιηθούν οι δύο κώδικες H/Y σε γλώσσα Modern – Fortran για τον υπολογισμό ισοβηματικών - ισοταχών/ισοελεκτικών για την επίλυση του προβλήματος της πρόωσης.

Αρχικά, εισάγουμε τα δεδομένα στον κώδικα υπό σταθερή διάμετρο, που απαιτούνται για να εξάγουμε τα αποτελέσματα για P/D από 0.7 - 1.4 για τις επιμέρους ταχύτητες του πλοίου που θα εξεταστούν. Επομένως, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

V _{ship} =10.5 (knots)			AE/A0=0.436		D=8 (m)		z=4		
RPM	P/D	T (kNt)	Q (kNt*m)	DHP (kW)	SHP (kW)	P.C.	σ0.7R	tc	Burrill Criteria
60.6	0.7	692.68	702.51	4456.46	4547.41	0.584	1.436	0.208	<5% Pass
55.5	0.8	692.68	758.29	4409.09	4499.07	0.59	1.698	0.253	<5% Pass
51.5	0.9	692.68	820.09	4424.14	4514.42	0.588	1.96	0.299	-
48.3	1	692.68	886.02	4479.21	4570.63	0.581	2.218	0.348	-
45.6	1.1	692.68	954.45	4559.35	4652.4	0.571	2.469	0.398	-
43.4	1.2	692.68	1023.55	4652.12	4747.06	0.559	2.711	0.45	-
41.5	1.3	692.68	1090.97	4745.07	4841.91	0.548	2.943	0.503	-
39.9	1.4	692.68	1153.61	4824.16	4922.61	0.539	3.166	0.558	-

Πίνακας 16.1.2: Αποτελέσματα στρωφών, ροπών, ισχύος, συντελεστών προώσεως και έλεγχος σπηλαιώσεως για διαφορετικούς λόγους P/D για ταχύτητα ίση με 10.5 κόμβους. (Πηγή: [Κώδικας Modern - Fortran](#))

V _{ship} =12 (knots)			AE/A0=0.436		D=8 (m)		z=4		
RPM	P/D	T (kNt)	Q (kNt*m)	DHP (kW)	SHP (kW)	P.C.	σ0.7R	tc	Burrill Criteria
71.2	0.7	982.82	988.22	7370.8	7521.23	0.572	1.041	0.214	<5% Pass
65.3	0.8	982.82	1067.9	7306.02	7455.13	0.578	1.229	0.259	<5% Pass
60.7	0.9	982.82	1155.9	7342.16	7492	0.575	1.418	0.307	<5% Pass
56.9	1	982.82	1249.67	7443.39	7595.29	0.567	1.603	0.357	Fail
53.8	1.1	982.82	1346.98	7585.63	7740.44	0.556	1.783	0.408	Fail
51.2	1.2	982.82	1445.26	7748.79	7906.92	0.545	1.956	0.46	Fail
49	1.3	982.82	1541.27	7912.5	8073.98	0.533	2.122	0.514	Fail
47.2	1.4	982.82	1630.68	8053.56	8217.91	0.524	2.281	0.57	Fail

Πίνακας 16.1.3: Αποτελέσματα στρωφών, ροπών, ισχύος, συντελεστών προώσεως και έλεγχος σπηλαιώσεως για διαφορετικούς λόγους P/D για ταχύτητα ίση με 12 κόμβους. (Πηγή: [Κώδικας Modern - Fortran](#))

V _{ship} =14.5 (knots)			AE/A0=0.436		D=8 (m)		z=4		
RPM	P/D	T (kNt)	Q (kNt*m)	DHP (kW)	SHP (kW)	P.C.	σ0.7 R	tc	Burrill Criteria
83.2	0.7	1299.37	1320.24	11502.49	11737.23	0.586	0.761	0.207	<5% Pass
76.2	0.8	1299.37	1424.73	11375.7	11607.86	0.593	0.9	0.251	=5% Pass
70.7	0.9	1299.37	1540.55	11410.82	11643.69	0.591	1.039	0.298	<10% Pass
66.3	1	1299.37	1664.16	11549.66	11785.36	0.584	1.176	0.346	<10% Pass
62.6	1.1	1299.37	1792.48	11753.33	11993.19	0.574	1.309	0.396	Fail
59.6	1.2	1299.37	1922.04	11989.6	12234.29	0.563	1.438	0.448	Fail

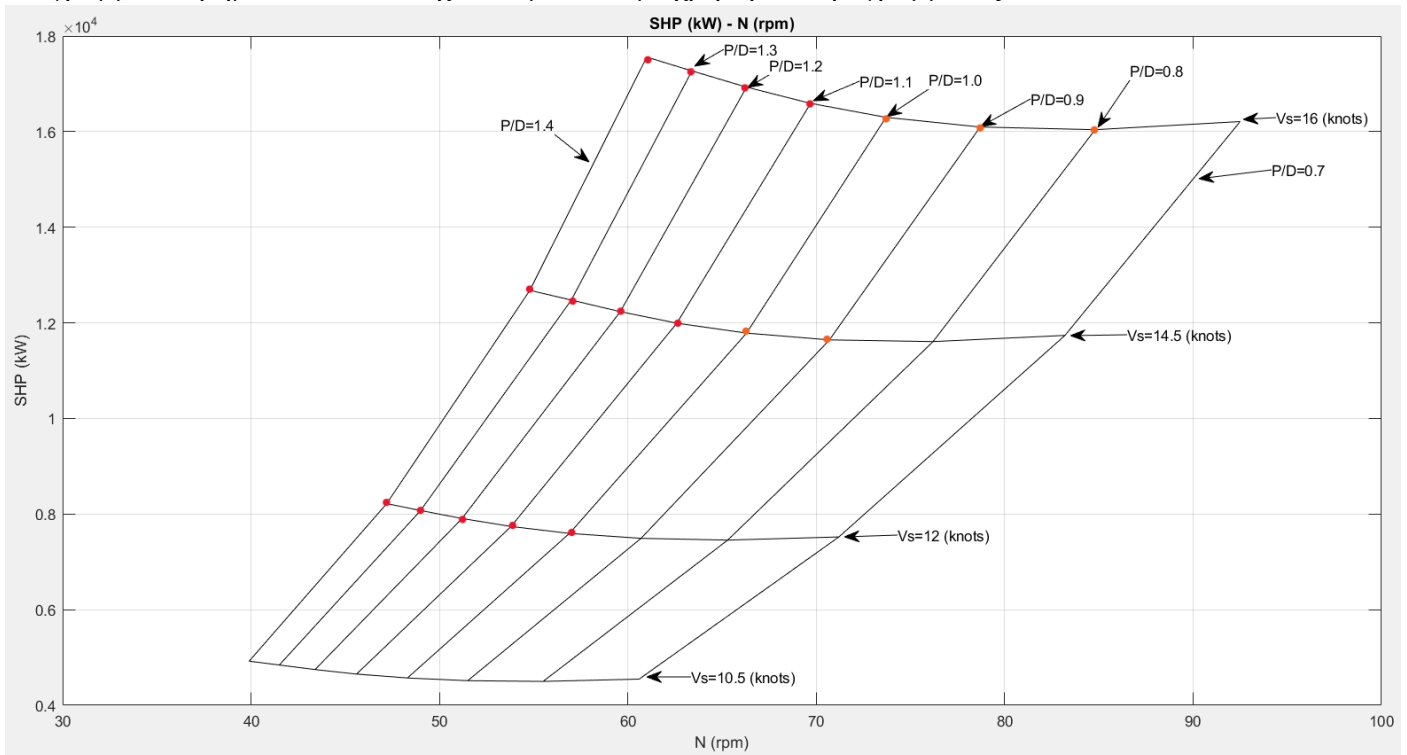
57	1.3	1299.37	2048.41	12226.29	12475.8	0.552	1.561	0.5	Fail
54.8	1.4	1299.37	2165.77	12427.09	12680.71	0.543	1.68	0.555	Fail

Πίνακας 16.1.4: Αποτελέσματα στροφών, ροπών, ισχύος, συντελεστών προώσεως και έλεγχος σπηλαιώσης για διαφορετικούς λόγους P/D για ταχύτητα υπηρεσίας ίση με 14.5 κόμβους. (Πηγή: [Κώδικας Modern - Fortran](#))

Vship=16 (knots)		AE/A0=0.436			D=8 (m)		z=4			
RPM	P/D	T (kNt)	Q (kNt*m)	DHP (kW)	SHP (kW)	P.C.	$\sigma_{0.7R}$	tc	Burrill Criteria	
92.5	0.7	1618.03	1640.02	15886.42	16210.63	0.583	0.616	0.209	<5% Pass	
84.8	0.8	1618.03	1770.39	15719.56	16040.36	0.589	0.728	0.253	5-10% Pass	
78.7	0.9	1618.03	1914.77	15774.86	16096.8	0.587	0.841	0.3	<10% Pass	
73.7	1	1618.03	2068.81	15972.71	16298.68	0.58	0.951	0.349	=10% Pass	
69.7	1.1	1618.03	2228.69	16259.81	16591.65	0.57	1.059	0.399	Fail	
66.3	1.2	1618.03	2390.13	16591.94	16930.55	0.558	1.162	0.451	Fail	
63.4	1.3	1618.03	2547.64	16924.74	17270.14	0.547	1.262	0.504	Fail	
61	1.4	1618.03	2694.03	17208.17	17559.36	0.538	1.357	0.558	Fail	

Πίνακας 16.1.5: Αποτελέσματα στροφών, ροπών, ισχύος, συντελεστών προώσεως και έλεγχος σπηλαιώσης για διαφορετικούς λόγους P/D για ταχύτητα ίση με 16 κόμβους. (Πηγή: [Κώδικας Modern - Fortran](#))

Διάγραμμα ισοβηματικών - ισοταχών καμπυλών με χρήση του προγράμματος Matlab:



Εικόνα 16.1.6: Ισοβηματικές και ισοταχείς καμπύλες για λόγο εκτεταμένης επιφάνειας AE/A0=0.436. Με κόκκινο χρώμα οι λόγοι

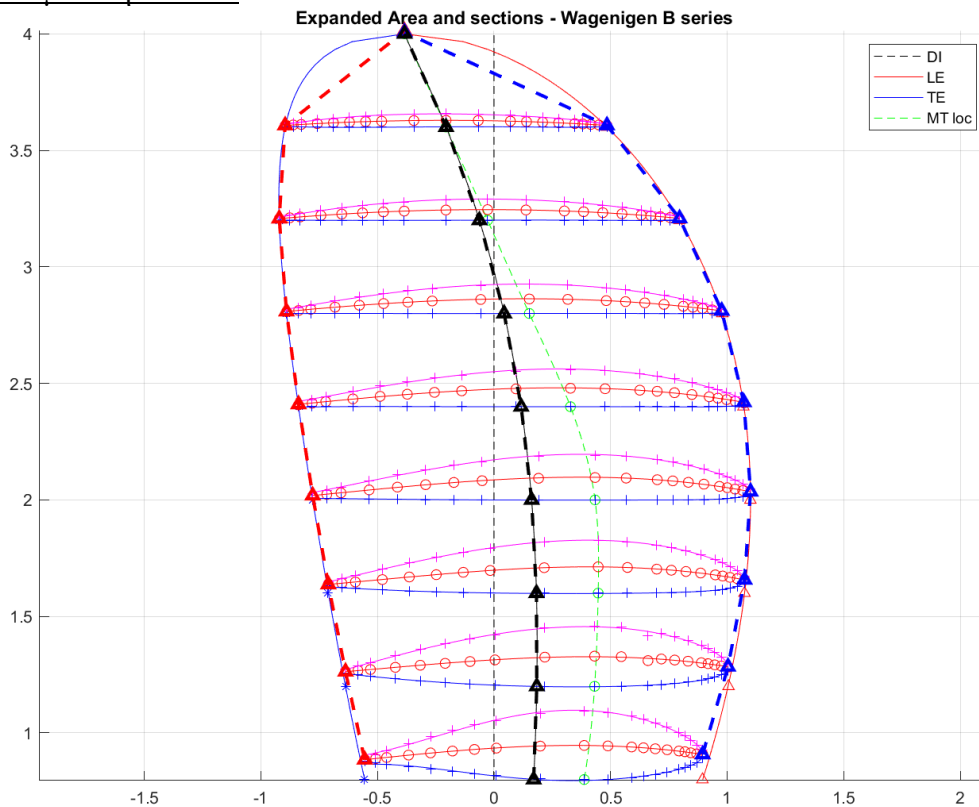
P/D συναρτήσει ταχυτήτων που ξεπερνάνε τα όρια σπηλαίωσης >10%, ενώ με πορτοκαλί χρώμα οι λόγοι P/D που η σπηλαίωση κυμαίνεται μεταξύ 5-10%. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))

Όπως και η μελέτη, έτσι και ο σχεδιασμός ενός πλοίου είναι συνδυασμός αλλά και συμβιβασμός πολλών παραγόντων, ψάχνοντας τη βέλτιστη ιδανική λύση - σχεδιασμό έτσι και εδώ από τους παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων, σύμφωνα με τους λόγους P/D για τον μέγιστο βαθμό συντελεστή πρόωσης (Propulsion Coefficient – P.C.) και το κριτήριο Burrill, η έλικα σειράς Wageningen B που είναι βέλτιστη για το υπό μελέτη πλοίο είναι εκείνη με τα εξής χαρακτηριστικά:

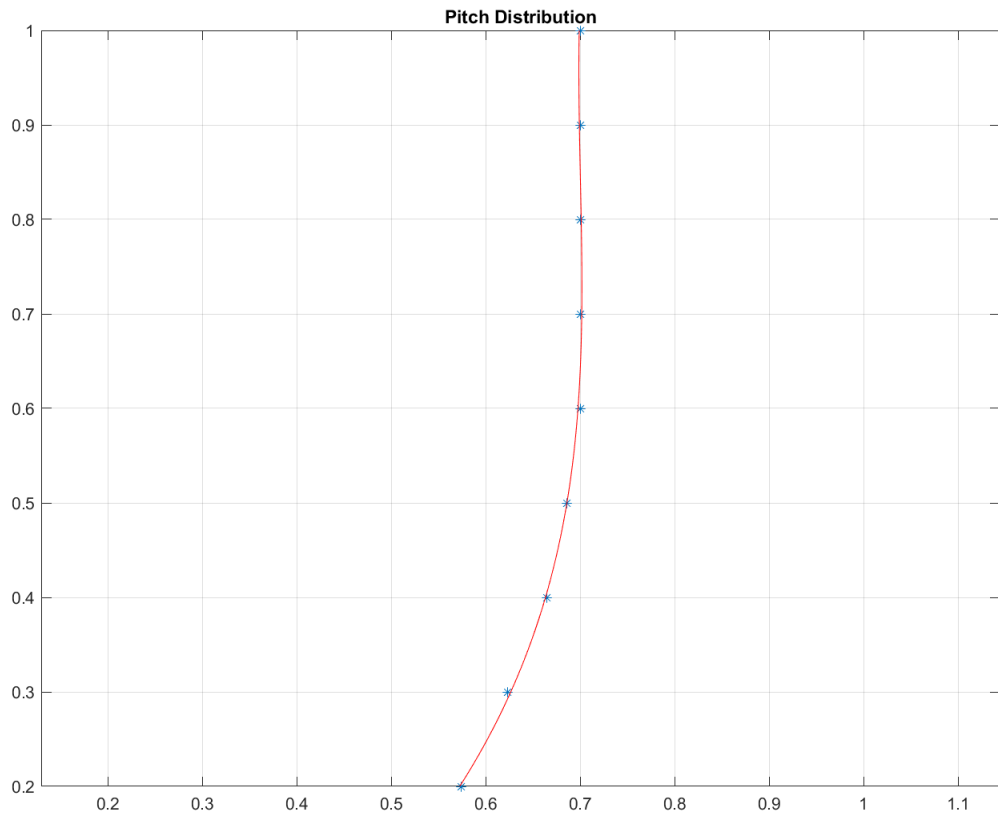
Χαρακτηριστικά βέλτιστης έλικας υπό μελέτη πλοίου	
D (διάμετρος)=	8 (m)
P/D (Λόγος βήματος προς διάμετρο)=	0.7
AE/A0 (Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας)=	0.436
z (αριθμός πτερυγίων έλικας)=	4
P.C. (Συντελεστής πρόωσης)=	0.586
η (Βαθμός απόδοσης έλικας σε ελ. ροή)=	0.53

Πίνακας 16.1.7: Χαρακτηριστικά βέλτιστης έλικας του υπό μελέτη πλοίου.

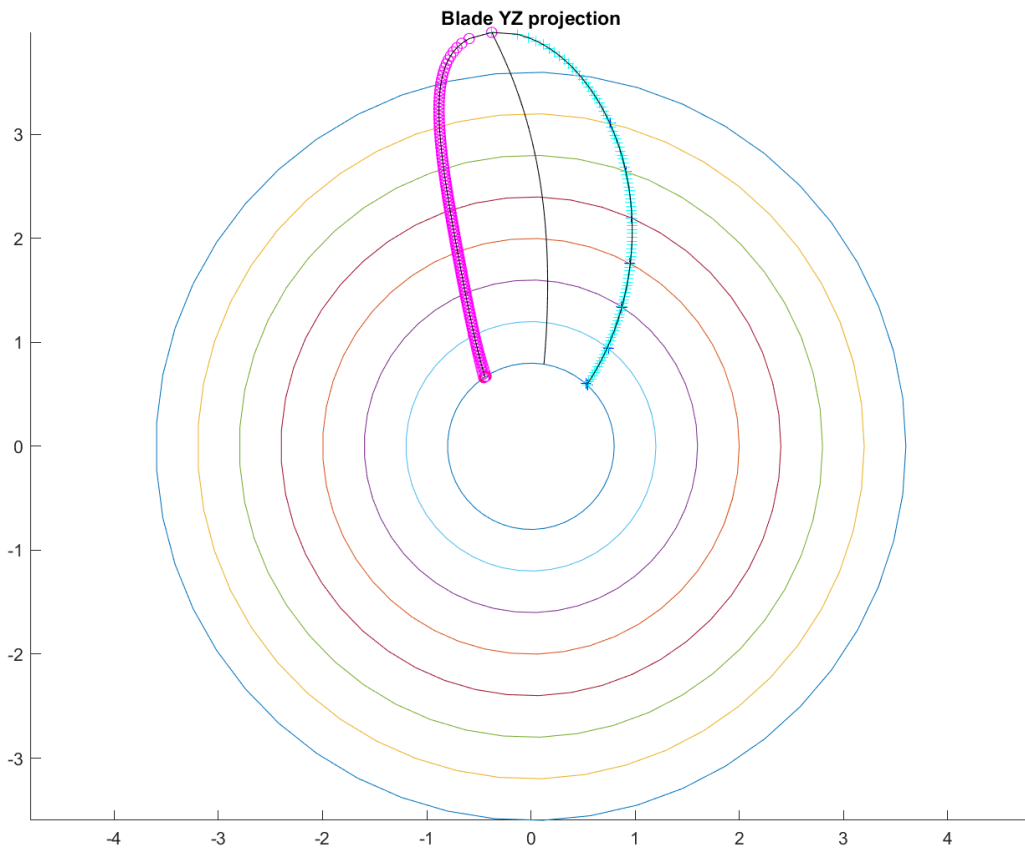
Σχέδια έλικας υπό μελέτη πλοίου:



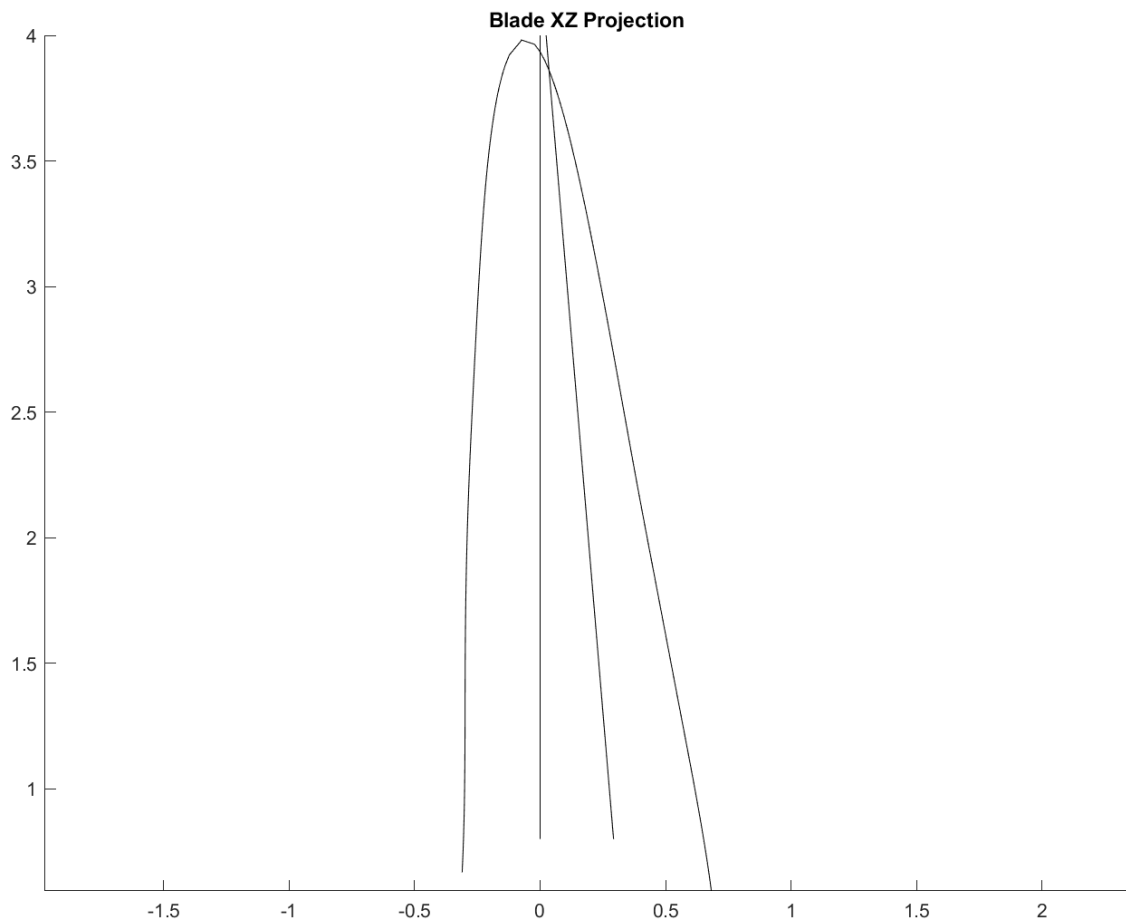
Εικόνα 16.1.8: Ανεπτυγμένη επιφάνεια πτερυγίου και τομές του. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))



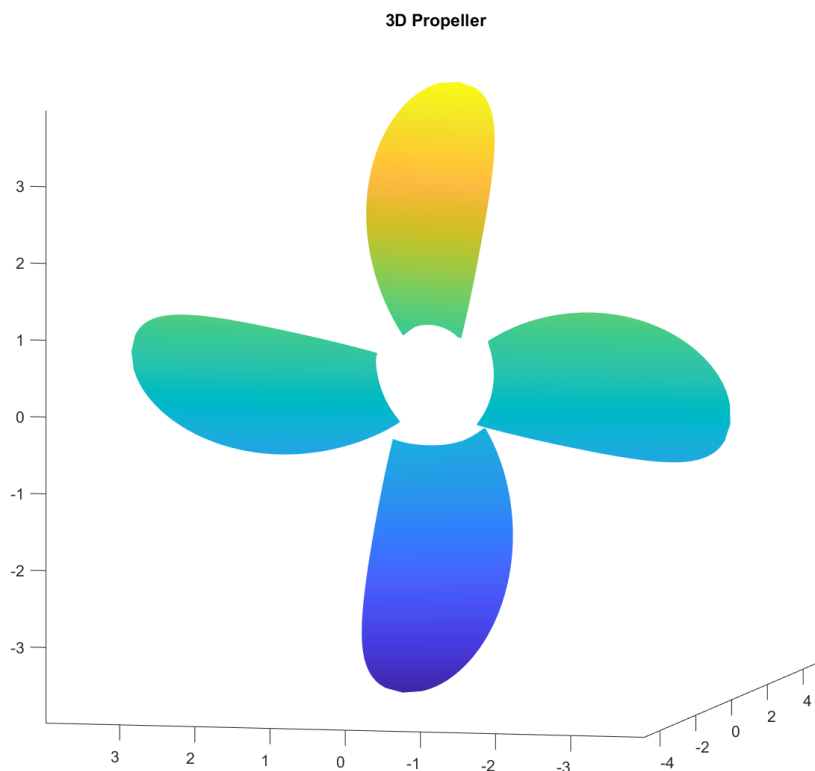
Εικόνα 16.1.9: Κατανομή βήματος. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))



Εικόνα 16.1.10: Προβλεβλημένη όψη YZ. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))

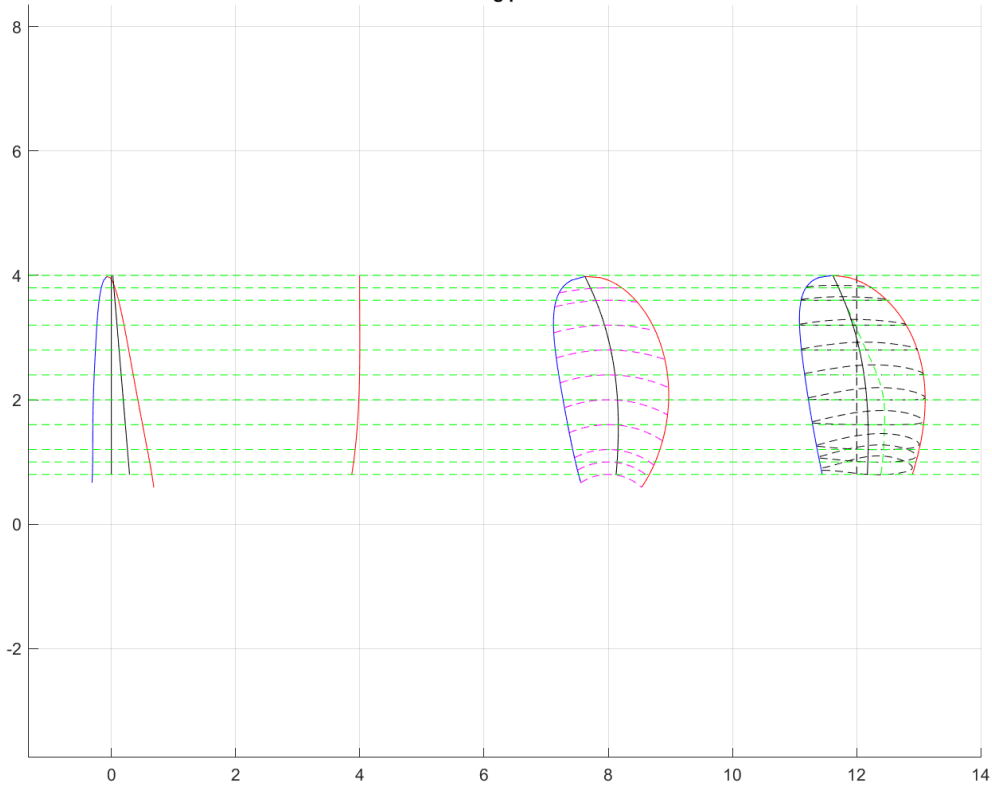


Εικόνα 16.1.11: Όψη XZ του πτερυγίου της έλικας. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))

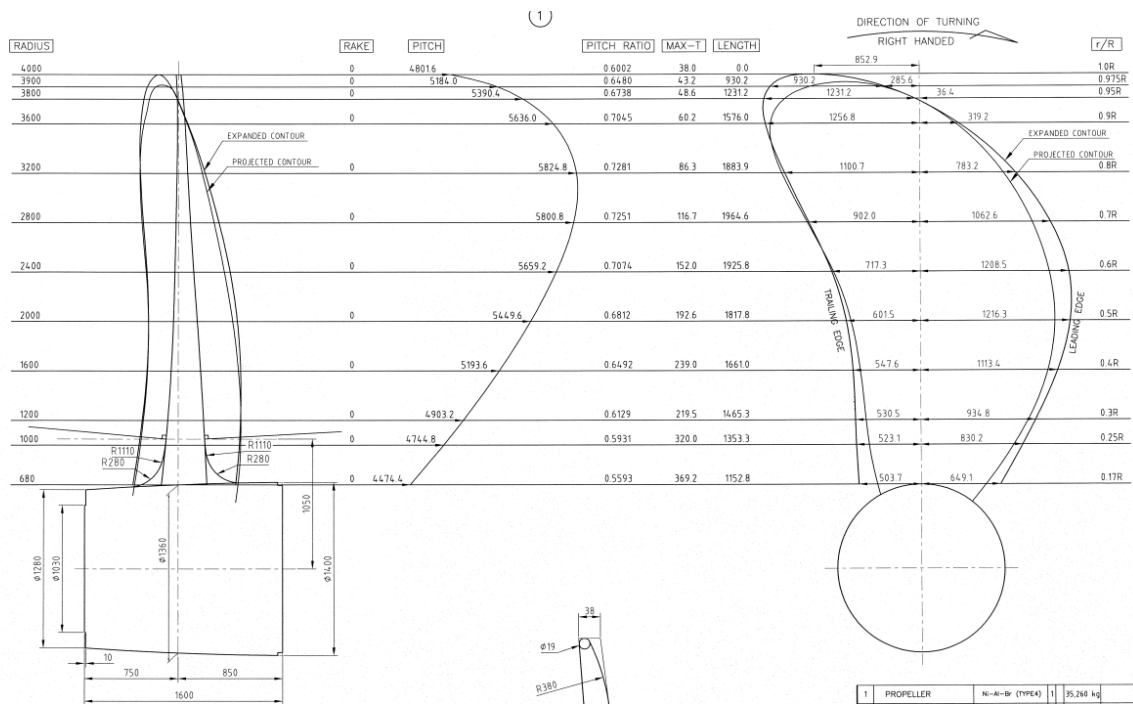


Εικόνα 16.1.12: 3D απεικόνιση προπέλας. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))

Drawing preview



Εικόνα 16.1.13: Ανασκόπηση σχεδίων προπέλας. (Πηγή: [Κώδικας Matlab](#))



Εικόνα 16.1.14: Κατασκευαστικό σχέδιο προπέλας. (Πηγή: [HOME | PANTHEON TANKERS MANAGEMENT](#))

16.2 Επιλογή κύριας μηχανής

Αφού μελετήθηκε, στην προηγούμενη ενότητα, η επιλογή της βέλτιστης έλικας και υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς της μηχανής, θα πρέπει να γίνει έλεγχος και επιλογή της κατάλληλης μηχανής ώστε το πλοίο να ταξιδεύει με ασφάλεια τόσο με καθαρή όσο και με ρυπασμένη γάστρα σύμφωνα με την ταχύτητα υπηρεσίας, δηλαδή στους 14.5 κόμβους. Η προσαύξηση στην αντίσταση για ρυπασμένη γάστρα θα είναι της τάξεως του 20%. Ακολουθούν οι τιμές της αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας του πλοίου για τις 2 καταστάσεις που εξετάζονται.

Καθαρή γάστρα (Clean Hull):

Ταχύτητα πλοίου (V_{ship}) σε κόμβους (kn)	Αντίσταση (R_t) σε (kN)
10.5	539.7
12	697.8
14.5	993.5
16	1233.95

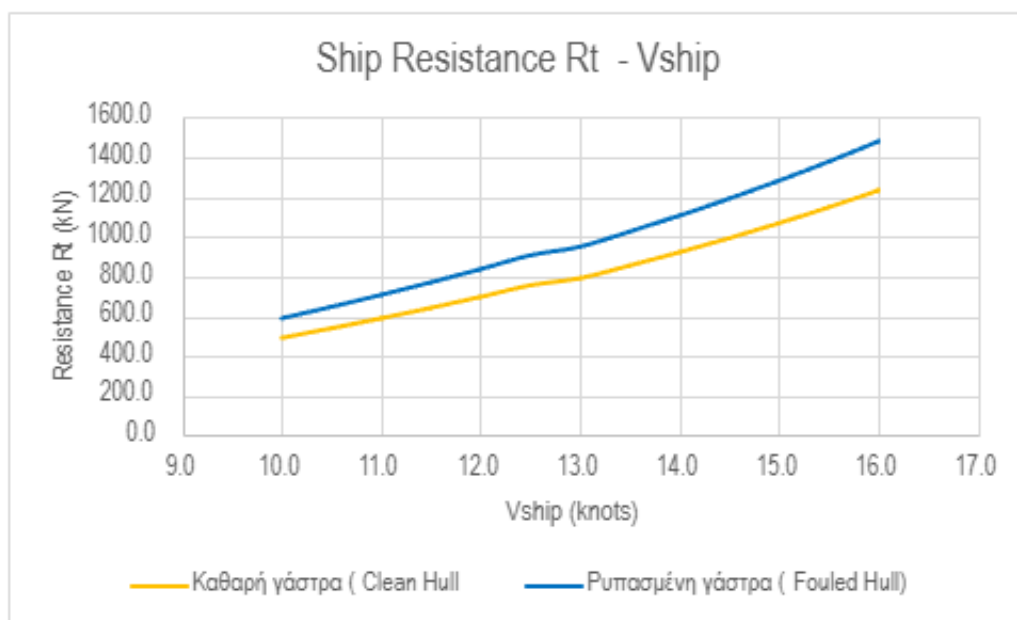
Πίνακας 16.2.1: Τιμές αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας για καθαρή γάστρα.

Ρυπασμένη γάστρα (Fouled Hull):

Ταχύτητα πλοίου (V_{ship}) σε κόμβους (kn)	Αντίσταση (R_t) σε (kN)
10.5	647.64
12	837.36
14.5	1192.2
16	1480.74

Πίνακας 16.2.2: Τιμές αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας για ρυπασμένη γάστρα.

Ακολουθεί το διάγραμμα αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας, για την ρυπασμένη και μη γάστρα του πλοίου:



Διάγραμμα 16.2.3: Η αντίσταση του πλοίου συναρτήσει της ταχύτητας για την ρυπασμένη και μη γάστρα του υπό μελέτη πλοίου.

Καθαρή γάστρα (Clean Hull) - Έλικα Wageningen B series $A_E/A_0=0.436$ & $P/D=0.7$		
RPM	V_s (kn)	SHp (kW)
60.6	10.5	4547.41

71.2	12	7521.23
83.2	14.5 (Service Speed)	11737.23
92.5	16	16210.63

Πίνακας 16.2.4: Απαιτούμενη ισχύς πρόωσης συναρτήσει των στροφών για ταχύτητες από 8-16 knots για τη καθαρή γάστρα.

Θα ακολουθηθεί ίδια διαδικασία με προηγούμενους, δηλαδή σε κώδικα προγραμματισμού Modern – Fortran, μόνο που αντί για τις αρχικές τιμές αντίστασης θα εισάγουμε τις προσαυξημένες τιμές λόγω της ύπαρξης ρυπασμένης γάστρας. Επομένως, οι τιμές που εξάγουμε είναι οι εξής:

Ρυπασμένη γάστρα (Fouled Hull) - Έλικα Wageningen B series AE/A0=0.436 & P/D=0.7		
RPM	Vs (kn)	SHP (kW)
66.7	10.5	6421.04
76.0	12	9462.22
91.0	14.5 (Service Speed)	16072.16
101.1	16	22279.85

Πίνακας 16.2.5: Απαιτούμενη ισχύς πρόωσης συναρτήσει των στροφών για ταχύτητες από 8-16 knots για τη ρυπασμένη γάστρα.

Επομένως, σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, η απαιτούμενη ισχύς που θα πρέπει να έχει η μηχανή του πλοίου για να κινηθεί με την ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=14.5$ (knots) και στις 2 καταστάσεις, δηλαδή για ρυπασμένη και μη γάστρα, είναι $SHP_{req.}=16172.16$ (kW).

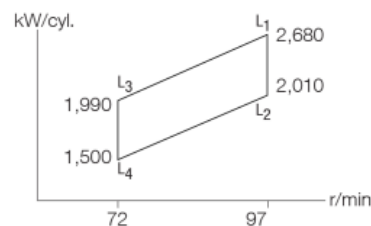
Για να επιτευχθούν οι ανωτέρω απαιτήσεις καθώς και η σύνδεση με τον άξονα της έλικας, από τις λίστες εσωτερικών μηχανών από διάφορες εταιρείες επιλέγεται η εξής κύρια μηχανή που θα φέρει το υπό μελέτη πλοίο:

MAN B&W G60ME-C9.5-GIE

Tier II Tier III

Cyl.	L ₁ kW
5	13,400
6	16,080
7	18,760
8	21,440

Stroke: 2,790 mm/L₁ MEP: 21.0 bar



MAN B&W G60ME-C9.5-GIE (gas optimised)

L₁ dual fuel mode (SGC+SPOC (3.0%))/fuel oil mode (SFOC) [g/kWh]

	50%	75%	100%
Gas optimised	144.2+8.1/168.5	144.9+6.2/167.5	149.1+5.1/171.0

MAN B&W G60ME-C9.5-GIE-HPSCR (gas optimised)

L₁ dual fuel mode (SGC+SPOC (3.0%))/fuel oil mode (SFOC) [g/kWh]

	50%	75%	100%
Tier II mode	139.7+8.1/163.5	144.5+6.2/167.0	150.5+5.1/172.5
Tier III mode	141.0+8.1/165.0	145.4+6.2/168.0	150.9+5.1/173.0

Εικόνα 16.2.6: Χαρακτηριστικά κύριας μηχανής πλοίου. (Πηγή: MAN)

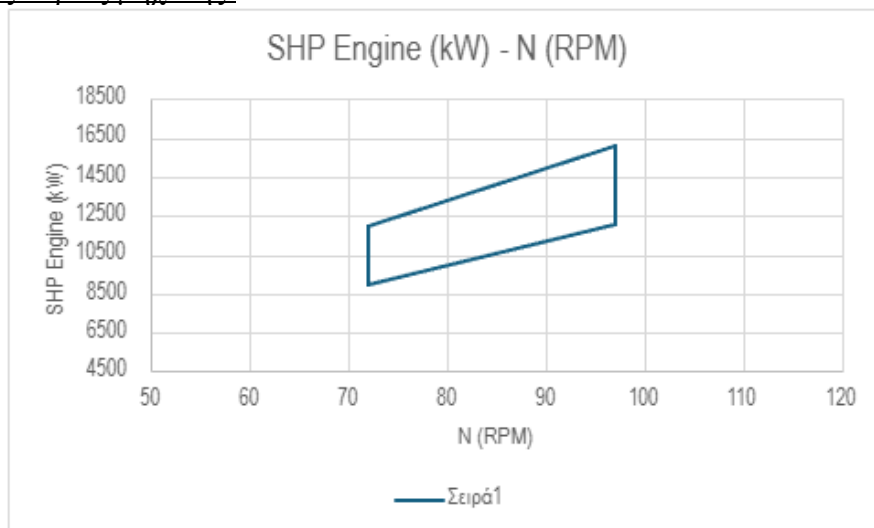
- Main Engine & Ship's Speed Type : MAN 6G60ME-C9.5-HPSCR
- NMCR : 16,080 kW x 97.0 rpm
- SMCR : 13,500 kW x 87.0 rpm
- NCR (77.1% of SMCR) : 10,415 kW x 79.8 rpm
- Service speed on the scantling draft of 15 m when running at service output (77.1% MCR) of main engine with 15% sea margin shall be 14.5 knots.

Επιλέγεται η κύρια μηχανή με τους 6 κυλίνδρους και η κατηγορία HPSCR με Tier mode III.

	L1	L2	L3	L4
N (RPM)	72	72	97	97
Power (kW)/Cyl.	1500	1990	2010	2680
Power (kW)	9000	11940	12060	16080

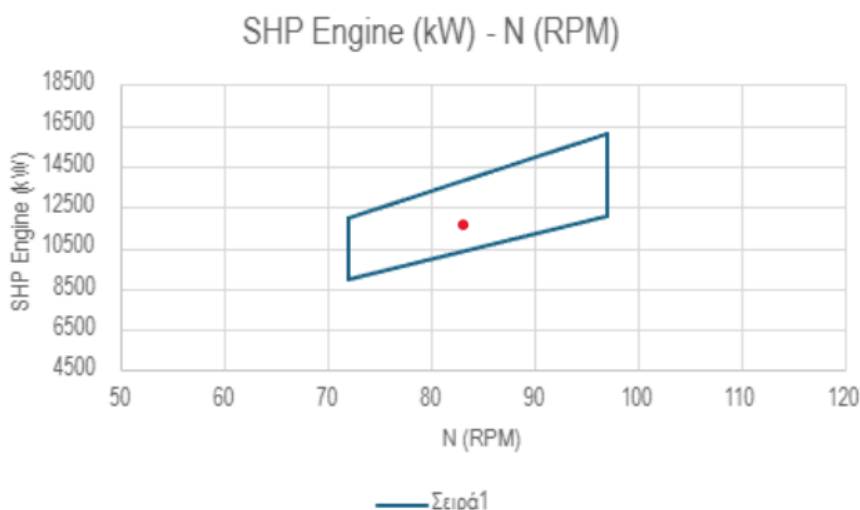
Εικόνα 16.2.7: Σημεία λειτουργίας κύριας μηχανής.

Περιοχή λειτουργίας κύριας μηχανής:



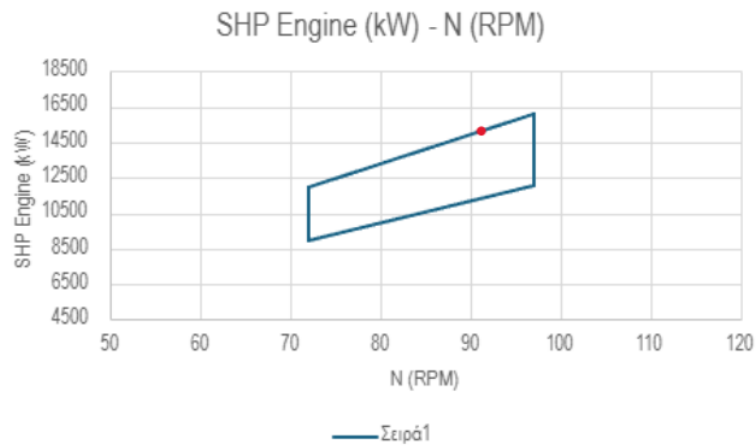
Εικόνα 16.2.8: Περιοχή λειτουργίας κύριας μηχανής.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι η κύρια μηχανή που επιλέχθηκε ικανοποιεί και τις 2 καταστάσεις της γάστρας (ρυπασμένη και μη) τόσο για την ισχύ όσο και για τις στροφές.

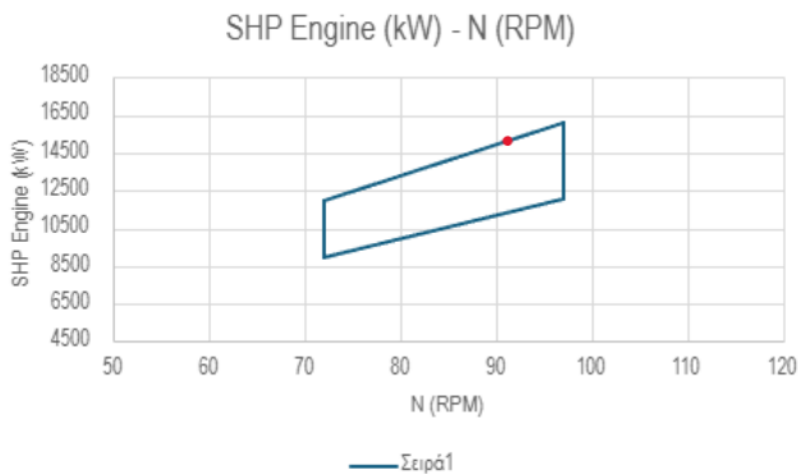


Εικόνα 16.2.9: Σημείο λειτουργίας μηχανής, για καθαρή γάστρα, στη περιοχή διαγράμματος λειτουργίας της μηχανής.

Για την ρυπασμένη γάστρα, υπάρχουν 2 επιλογές στις ρυθμίσεις της μηχανής αφού αποτυγχάνει να επιτύχει τους 14.5 κόμβους για τις δεδομένες στροφές που υπολογίστηκαν παραπάνω. Επομένως, είτε θα χρειαστεί να ρίξει ελάχιστα την ταχύτητά του το πλοίο, περίπου στους 14 κόμβους για να λειτουργεί στις εκάστοτε στροφές είτε θα αυξήσει τις στροφές της μηχανής ώστε να κινείται με 14.5 κόμβους. Ωστόσο, το πλοίο για ρυπασμένη γάστρα έχει μελετηθεί με περιθώριο 20%, κάτι το οποίο είναι εξωπραγματικά μεγάλο ποσοστό ασφαλείας και ενδεχομένως δεν απαιτούνται οι κατώτερες 2 επιλογές για την επίτευξη των 14.5 κόμβων. Ακολουθούν, οι 2 επιλογές λειτουργίες της μηχανής για την ρυπασμένη γάστρα:



Εικόνα 16.2.10: Πρώτο σημείο λειτουργίας μηχανής, για ρυπασμένη γάστρα, στη περιοχή διαγράμματος λειτουργίας της μηχανής.



Εικόνα 16.2.11: Δεύτερο σημείο λειτουργίας μηχανής, για ρυπασμένη γάστρα, στη περιοχή διαγράμματος λειτουργίας της μηχανής.

16.3 Μελέτη και επιλογή πηδαλίου

Στο σημείο αυτό, μελετάται και διαστασιολογείται το πηδάλιο σύμφωνα με τους εκάστοτε κανονισμούς της Διεθνούς Ένωσης Νηογνομόνων (I.A.C.S.) καθώς και με βάση τα χαρακτηριστικά της πρύμνης, της έλικας του πλοίου και πώς αυτό συνεργάζεται και αποδίδει συνολικά στο υπό μελέτη πλοίο. Επίσης, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της δύναμης και της ροπής που ασκούνται σε αυτό και σε συνδυασμό με τη ζυγοστάθμιση επιλέγεται ο βέλτιστος μηχανισμός πηδαλίου για το πλοίο.

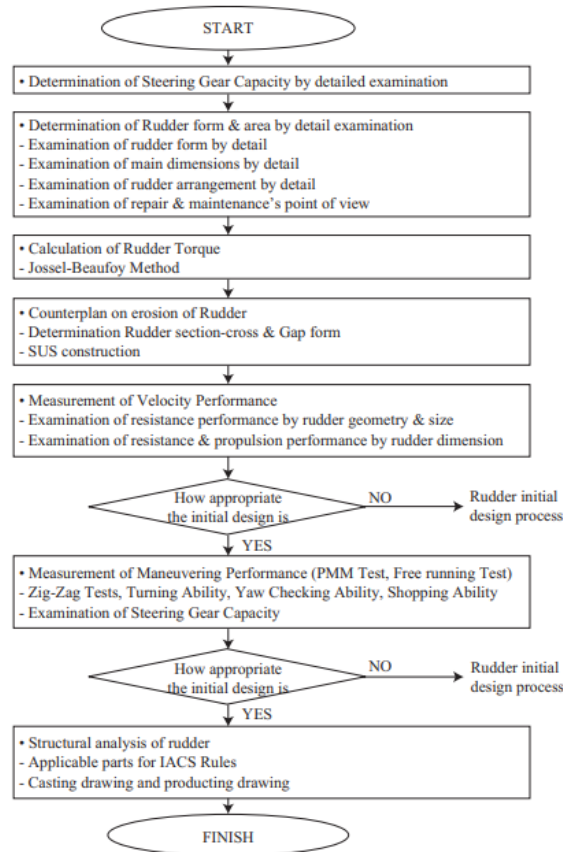
Παρακάτω, απεικονίζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, όπου απαιτούνται για τους υπολογισμούς που προαναφέρθηκαν και αναπαρίστανται παρακάτω.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ		
Μήκος Μεταξύ Καθέτων	$L_{pp}=235.371$	(m)
Πλάτος	$B=43$	(m)
Κοίλο	$D=21.4$	(m)
Βύθισμα	$T=15$	(m)
Εκτόπισμα	$\Delta=134320$	(t)
Εκτοπιζόμενος Όγκος	$V=131043.933$	(m ³)
Συντελεστής γάστρας	$C_B=0.825$	
Μέγιστη υπηρεσιακή ταχύτητα	$V_s=16.5$	(knots)

Πίνακας 16.3.1: Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου που απαιτούνται για τη μελέτη του πηδαλίου.

– Διαδικασία μελέτης και σχεδιασμού πηδαλίου:

Η δομική κατασκευή, η μορφή και οι διαστάσεις του πηδαλίου καθορίζονται στο στάδιο του λεπτομερούς σχεδιασμού. Ακόμη, πιθανά λάθη στον αρχικό σχεδιασμό ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικά τη μελέτη και ίσως απαιτηθεί η αρχική διαδικασία να επαναληφθεί. Επομένως, η διαδικασία μελέτης και σχεδιασμού του πηδαλίου μοιάζει αρκετά με τις φάσεις μελέτης ενός πλοίου και για αυτό σε κάθε στάδιο εξάγονται κάποια δεδομένα, τα οποία θα εξετάζονται περαιτέρω παρακάτω. Η εικόνα 16.3.2 αναπαριστά τη διαδικασία της λεπτομερούς πορείας του σχεδιασμού του πηδαλίου. Συγκεντρωτικά, η διαδικασία μελέτης και σχεδιασμού του πηδαλίου αποτελείται από μία αρχική ιδέα για τη δομή του πηδαλίου, τη χωρητικότητα του αξονικού συστήματος διεύθυνσης του πηδαλίου, τις ανοχές-αποστάσεις αυτού καθώς και τη μορφή που θα έχει. Τέλος, εξετάζεται ως προς τη διάβρωση και τη σπηλαιώση καθώς και η απόδοση του στη ταχύτητα υπηρεσίας και των ελικτικών ικανοτήτων του πλοίου.



Εικόνα 16.3.2: Διαδικασία μελέτης και σχεδίασης του πηδαλίου. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

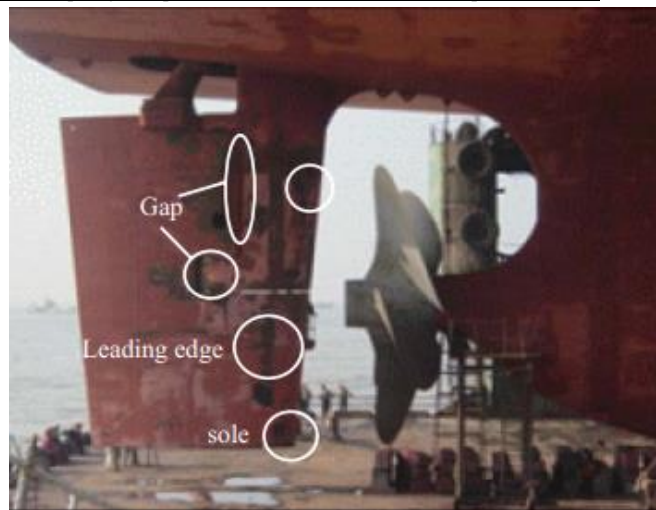
– **Κανονισμός IMO-Απαιτούμενες ελκτικές ικανότητες (Resolution MSC.137):**

Για να μελετηθεί και να σχεδιαστεί το πηδάλιο για το υπό μελέτη πλοίο καθώς και να αποδίδει σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο του IMO όσον αφορά τις ελκτικές ικανότητες του πλοίου, θα πρέπει να γίνουν διάφορες προσομοιώσεις ή δοκιμές σε μοντέλα ώστε να ικανοποιούνται οι κατωτέρω απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις του IMO όσον αφορά τις ελκτικές ικανότητες είναι οι εξής:

Item	Description	Criteria
Turning ability	Implementing left, right and turning test at the given test speed	Advance < 4.5 L Tactical diameter < 5 L
Initial Turning ability	Advance when applying 10° bow angle and rudder angle to left or right	< 2.5 L
Yaw checking ability (Zig-zag test)	10°/10° Zig-zag (1st Overshoot Angle)	L/V < 10(/sec); 10° L/V > 30(/sec); 20° 10 < L/V < 30(/sec); < 5° + 0.5(L/V)
	10°/10° Zig-zag (2nd Overshoot Angle)	1st Overshoot Angle + 15° < 35° in general
	20°/20° Zig-zag (1st Overshoot Angle)	< 25 V°
Stopping ability	Track reach distance of Crash stop astern test	< 15 L

Εικόνα 16.3.3: Κανονιστικό πλαίσιο του IMO για τις ελκτικές ικανότητες που θα πρέπει να πληροί το πλοίο σύμφωνα με το πηδάλιο που φέρει. (Πηγή: [Σύνδεσμος Πίνακα](#))

– **Επιλογή βασικών παραμέτρων-διαστάσεων πηδαλίου:**



Εικόνα 16.3.3: Βασικές παράμετροι-διαστάσεων πηδαλίου. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Υπολογισμός επιφάνειας πηδαλίου:

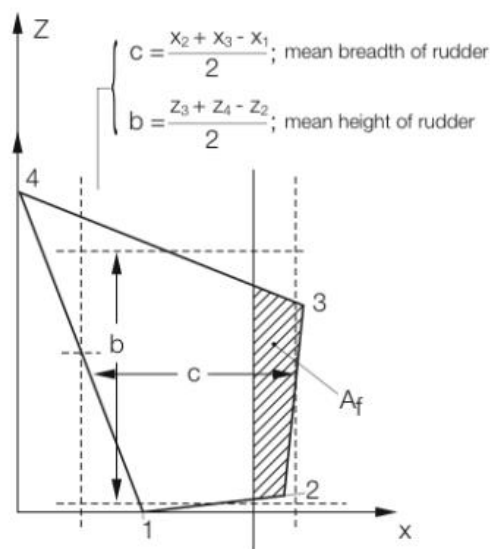
Το πηδάλιο έχει μεγάλη επιρροή στις ελικτικές (και όχι μόνο) ικανότητες του πλοίου. Για τον προσδιορισμό της επιφάνειας του πηδαλίου υπάρχουν αρκετοί τύποι, ωστόσο η μεθοδολογία του DNV σε συνεργασία με τα δεδομένα της Διεθνούς Ένωσης Νηογνώμωνων (I.A.C.S) είναι η πιο διαδεδομένη καθώς και τα αποτελέσματα της είναι αρκετά ικανοποιητικά. Σύμφωνα, λοιπόν, με τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (Det Norske Veritas) η επιφάνεια του πηδαλίου υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$\frac{A_R}{L \cdot T} = 0.01 + 0.5 \cdot \left(\frac{C_B}{L/B} \right)^2 \Rightarrow A_R = 75.406 \text{ (m}^2\text{)}$$

Η τιμή αυτή είναι αρκετά κοντά με αυτή του πατρικού πλοίου, που παρέχεται μέσω του σχεδίου του πηδαλίου που έχει εγκατασταθεί στο πατρικό πλοίο (Rudder & Rudder Stock) και για αυτό η τιμή είναι αποδεκτή.

Υπολογισμός ανοίγματος πηδαλίου (Span):

Ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση b σε (m) από την κάτω έως την κάτω επιφάνεια του πηδαλίου. Σύμφωνα με τους Κανονισμούς η απόσταση αυτή λαμβάνεται ως εξής:



Εικόνα 16.3.4: Επεξήγηση για τον υπολογισμό βασικών παραμέτρων του πηδαλίου. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Η απόσταση αυτή μετρήθηκε και υπολογίστηκε από τα σχέδια του πατρικού πλοίου και βρέθηκε ίση με:

$$b=8.35 \text{ (m)}$$

Υπολογισμός χορδής πηδαλίου:

Σχηματικά είναι η απόσταση που απεικονίζεται στην εικόνα 16.3.4. Επίσης, η απόσταση αυτή μετρήθηκε και υπολογίστηκε από τα σχέδια του πατρικού πλοίου και βρέθηκε ίση με:

$$c=4.5 \text{ (m)}$$

Υπολογισμός λόγου επιμήκους πηδαλίου (Aspect Ratio):

Ο λόγος επιμήκους του πηδαλίου υπολογίζεται σύμφωνα με τον εξής τύπο:

$$A. R. = \frac{b^2}{A_R} = 0.925$$

Επιλογή υδροτομής πηδαλίου:

Οι υδροτομές της NACA είναι κατάλληλες λόγω του λεπτού σώματός τους και της υδροδυναμικής συμπεριφοράς καθώς και της αντοχής που προσφέρουν. Οι διάφοροι τύποι πηδαλίου διαχωρίζονται με βάση το προφίλ, το σχέδιό τους καθώς και τις επιδόσεις που προσφέρουν. Η συμμετρική υδροτομή του πηδαλίου που επιλέγεται από τη σειρά NACA, είναι η NACA 0019. Αρχικά, τα πρώτα δύο ψηφία (00) υποδηλώνουν τη μέγιστη καμπυλότητα ως ποσοστό χορδής (πρώτο ψηφίο) και την απόσταση της μέγιστης καμπυλότητας από το leading edge ως ποσοστό της χορδής (δεύτερο ψηφίο) αντιστοίχως. Τα άλλα 2 ψηφία υποδηλώνουν το μέγιστο πάχος 19% ως προς το μήκος της χορδής. Επομένως,

$$t_{max} = 0.19 \cdot c \Rightarrow t_{max} = 0.855 \text{ (m)}$$

Υπολογισμός δύναμης C_R και ροπής Q_R :

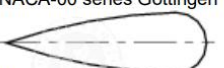



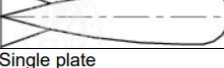
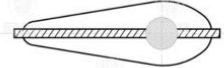
Ο υπολογισμός της δύναμης C_R και της ροπής Q_R θα γίνουν σύμφωνα με τον κανονισμό S10 (Rudders, Sole Pieces and Rudder Horns-Req. 1986/Rev.7 2023) της Διεθνούς Ένωσης Νηογνομόνων (I.A.C.S.).

Η δύναμη που θα δέχεται το σχεδιαζόμενο πηδάλιο υπολογίζεται σύμφωνα με τον εξής τύπο:

$$C_R = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 132 \cdot A \cdot V^2$$

Όπου:

- $K_1 = \frac{(\lambda+2)}{3}$, Συντελεστής που εξαρτάται του λόγου επιμήκους του πηδαλίου,
- K_2 , Συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο του πηδαλίου σύμφωνα με τον πίνακα,
- K_3 , Συντελεστής που εξαρτάται από το σύστημα πρόωσης ή αν υπάρχει δακτύλιος στην έλικα,
- A : η επιφάνεια του πηδαλίου,
- V : η μέγιστη ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου σε κόμβους στη μέγιστη θερινή έμφορτη ίσαλο.

Profile Type	K ₂	
	Ahead condition	Astern condition
NACA-00 series Göttingen 	1.10	0.80
Flat side 	1.10	0.90
Hollow 	1.35	0.90
High lift rudders 	1.70	1.30
Fish tail 	1.40	0.80
Single plate 	1.00	1.00
Mixed profiles (e.g. HSVA)	1.21	0.90

Πίνακας 16.3.5: Προσδιορισμός του συντελεστή K₂ σύμφωνα με το προφίλ του κάθε τύπου πηδαλίου. (Πηγή: [Σύνδεσμος Πίνακα](#))

K ₁ =	0.975
K ₂ =	1.1 (Ahead condition), 0.8 (Astern condition)
K ₃ =	1.0
A _R =	75.406 (m ²)
V _{max_service speed(Ahead)} =	16.5 (kn)
V _{max_service speed(Astern)} =	8.25 (kn)

Πίνακας 16.3.6: Προσδιορισμός των συντελεστών για τον υπολογισμό της δύναμης που δέχεται το πηδάλιο.

Για μπροστινή πλεύση (Ahead condition):

$$C_R = 0.975 \cdot 1.1 \cdot 1 \cdot 132 \cdot 75.406 \cdot 16.5^2 \Rightarrow C_R(\text{ahead}) = 2906.331 \text{ (kN)}$$

Για πλεύση προς τα πίσω (Astern condition):

$$C_R = 0.975 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 132 \cdot 75.406 \cdot 8.25^2 \Rightarrow C_R(\text{astern}) = 528.424 \text{ (kN)}$$

Η ροπή Q_r που δέχεται το πηδάλιο, τόσο για μπροστινή και πίσω πλεύση, υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$Q_r = C_R \cdot r$$

Όπου:

- C_R: η δύναμη που δέχεται το πηδάλιο τόσο για μπροστινή πλεύση όσο και πλεύση προς τα πίσω,
- $r = c(a - k_1)$,
- c: μέσο πλάτος της επιφάνειας του πηδαλίου σε (m),
- α=0.33 για μπροστινή πλεύση, 0.66 για πίσω πλεύση,
- $k_1 = \frac{A_f}{A}$,
- A_f: επιφάνεια του πηδαλίου που βρίσκεται μπροστά από την κεντρική γραμμή του άξονα του πηδαλίου,
- r_{min}=0.1c για μπροστινή πλεύση.

r=	c(a-k1)
c=	4.5 (m)
a=	0.33 for ahead condition, 0.66 for astern condition
k1=	0.27048
Af=	20.396 (m ²)
r _{min.} =	0.45 (m) for ahead condition

Πίνακας 16.3.5: Προσδιορισμός των συντελεστών για τον υπολογισμό της ροπής του πηδαλίου.

Για μπροστινή πλεύση (Ahead condition):

$$Q_r = C_R \cdot r = 2906.331 \cdot 0.45 \Rightarrow Q_r = 1307.849 \text{ (kN} \cdot \text{M)}$$

Για πλεύση προς τα πίσω (Astern condition):

$$Q_r = C_R \cdot r = 528.424 \cdot 1.753 \Rightarrow Q_r = 926.327 \text{ (kN} \cdot \text{M)}$$

Υπολογισμός πάχους ελάσματος πηδαλίου:

Το πάχος της κάθε πλευράς καθώς και της πάνω και κάτω επιφάνειας του πηδαλίου δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από:

$$t = 5.5 \cdot s \cdot \beta \cdot \sqrt{k} \cdot \sqrt{T_{scd} + \frac{C_R \cdot 10^{-4}}{A}} + 2.5 \text{ (mm)}$$

Όπου:

- T_{scd} : μέγιστο έμφορτο βύθισμα κατά τη θερινή περίοδο=15 (m),
- s : το μικρότερο ανυποστήρικτο πλάτος του ελάσματος (πατρικό πλοίο),
- k : συντελεστής υλικού του ελάσματος ($ReH=235 \text{ (N/mm}^2\text{)}$),
- $\beta = \sqrt{1.1 - 0.5 \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^2}$,
- b : το μεγαλύτερο ανυποστήρικτο πλάτος του ελάσματος (πατρικό πλοίο).

Με αντικατάσταση, προκύπτει πάχος ίσο με:

$$t = 16 \text{ (mm)}$$

Υπολογισμός διαμέτρου του άξονα του πηδαλίου (Rudder Stock):

Σύμφωνα με τον κανονισμό, η διάμετρος του άξονα του πηδαλίου, για τη μετάδοση της ροπής του πηδαλίου δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$d_t = 4.2 \cdot \sqrt[3]{Q_R \cdot k} \text{ (mm)}$$

Κάνοντας αντικατάσταση μόνο για Ahead condition αφού έχει μεγαλύτερη ροπή, άρα και μεγαλύτερη διαστασιολογημένη διάμετρο. Συνεπώς, η διάμετρος του άξονα του πηδαλίου δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$d_t = 46 \text{ (mm)}$$

Υπολογισμός Blade Thickness:

$$t_b = 1.5 \cdot s \cdot V \cdot \sqrt{k} + 2.5 \Rightarrow$$

$$t_b = 20 \text{ (mm)}$$

Υπολογισμός Rudder Shaft:

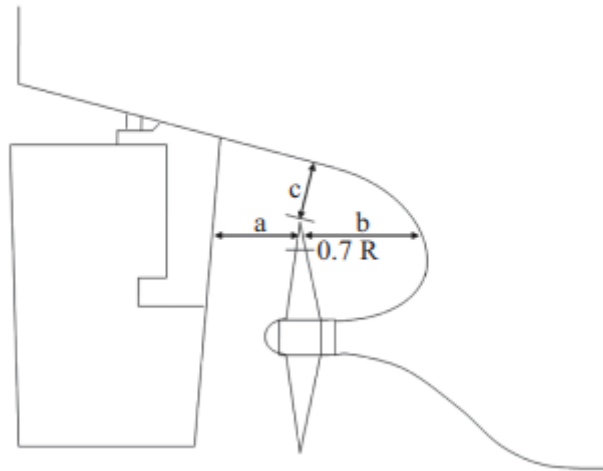
$$d_l = 0.39 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_R \cdot c \cdot k \cdot (l - c)}{l}} \text{ (mm)}$$

Κάνοντας τους επιμέρους υπολογισμούς, προκύπτει ότι το Rudder Shaft θα έχει διάμετρο ίση με:

$$d_l = 761.766 \text{ (mm)}$$

Διερεύνηση αποστάσεων & ανοχών έλικας-πηδαλίου:

Οι απαιτούμενες αποστάσεις που θα πρέπει να έχει το πηδάλιο μεταξύ της προπέλας, του κύτους του πλοίου καθώς και η επίδραση της πρύμνης πρέπει να διερευνώνται ενδελεχώς όσον αφορά τον σχεδιασμό του πηδαλίου. Αρχικά, το σχεδιαζόμενο πηδάλιο για λόγους απόδοσης της έλικας και των ελικτικών ικανοτήτων, θα πρέπει να βρίσκεται πίσω από αυτήν. Παρακάτω, απεικονίζονται σχηματικά οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ έλικας-πηδαλίου-πρύμνης.



Εικόνα 16.3.7: Αποστάσεις & ανοχές έλικας-πηδαλίου-πρύμνης. (Πηγή: [Σύνδεσμος Εικόνας](#))

Οι αποστάσεις που πρέπει να πληρούνται για λόγους αποδοτικότητας και λειτουργικότητας είναι οι εξής:

$$a \geq 0.2 \cdot R$$

$$b \geq (0.7 - 0.04 \cdot z) \cdot R$$

$$c \geq (0.48 - 0.02 \cdot z) \cdot R$$

Όπου:

- R: η ακτίνα της προπέλας-έλικας,
- z: ο αριθμός πτερυγίων.

Εάν η απόσταση μεταξύ «a» & «b» μεγαλώνει, τότε τα οφέλη είναι καλύτερη απόδοση της προωστήριας εγκατάστασης με την απόδοση της έλικας να αυξάνεται σημαντικά ενώ, επίσης, μειώνονται οι δονήσεις στο αξονικό σύστημα. Οι εν λόγω αποστάσεις στο υπό μελέτη πλοίο είναι οι εξής:

$$a \geq 0.8 \text{ (m)}, b \geq 2.16 \text{ (m)} \text{ \& } c \geq 1.6 \text{ (m)}$$

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω Προμελέτη δεξαμενοπλοίου, κατηγορίας Aframax, είναι τα εξής:

- Καθορίστηκαν το εκτόπισμα, οι κύριες διαστάσεις, οι συντελεστές μορφής και η ισχύς πρόωσης σύμφωνα με εμπειρικούς τύπους και στατιστικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από όμοια πλοία. $L_{PP}=235.371$ (m), $B=43$ (m), $D=21.4$ (m), $T=15$ (m), $\Delta=134320$ (t), $\nabla=131043.933$ (m^3), $C_B=0.825$, $C_{bD}=0.62$, $C_M=0.995$, $C_P=0.89$, $C_{wp}=0.924$, $C_N=13019.726$, $P=13682.214$ (kW), $P_{gen.}=612.015$ (kW).
- Πραγματοποιήθηκε ανάλυση και υπολογισμός του συνολικού καθώς και των επιμέρους βαρών του άφορτου αλλά πλήρους εξοπλισμένου πλοίου και επανεξετάστηκε το εκτόπισμα του συγκριτικά με το αρχικά επιλεγμένο. $W_{ST}=16519.677$ (t), $W_{OT}=2338.18$ (t), $W_M=1353.91$ (t), $W_{LS}=20211.768$ (t), $R\%=1.218$
- Έγινε ανάλυση του πρόσθετου βάρους DWT ώστε να επαληθευτεί το βάρος του ωφέλιμου φορτίου. $WLO=111937.6$ (t)
- Εξετάστηκε το ύψος των εξάλων και έγινε έλεγχος της Γραμμής Φόρτωσης όπως ορίζει ο IMO στη σύμβαση του (International Convention on Load Lines).
- Αναπτύχθηκε το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών του πλοίου καθώς και της τρισδιάστατης γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου στο πρόγραμμα *Rhinoceros 3D*. Επίσης, έγινε σύγκριση του εκτοπιζόμενου όγκου που βρέθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο με τον όγκο που υπολογίστηκε στο πρόγραμμα και η διαφορά τους βρέθηκε $\delta V\% = 2$, το οποίο είναι αποδεκτό.
- Από το σχέδιο Γενικής Διάταξης του πατρικού πλοίου μετρήθηκαν και διαστασιολογήθηκαν όλοι οι επιμέρους χώροι του πλοίου ώστε να είναι ίσοι με το υπό μελέτη πλοίο. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκε το κέντρο βάρους του άφορτου-πλήρους εξοπλισμένου πλοίου: $LCG=-9.848$ (m) πρύμνηθεν της μέσης τομής & $VCG=12.028$ (m) απόσταση από τη βασική γραμμή
- Έγινε έλεγχος της χωρητικότητας των δεξαμενών στο πρόγραμμα *MaxSurf Stability* ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις του όγκου φορτίου, καυσίμων, έρματος, λίπανσης κλπ.
- Πραγματοποιήθηκε έλεγχος συμμόρφωσης με τον κανονισμό 23 της MARPOL, δηλαδή για το πετρέλαιο διαρροή σε περίπτωση ατυχήματος (Accidental Oil Outflow) καθώς επίσης υπολογίστηκε η παράμετρος της μέσης εκροής πετρελαίου σε περίπτωση βλάβης τόσο για πλευρική όσο και για ζημιά στον πυθμένα του πλοίου.
- Υπολογίστηκαν τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του πλοίου καθώς σχεδιάστηκε και το υδροστατικό διάγραμμα για βυθίσματα από 0 έως 16 (m).
- Πραγματοποιήθηκε έλεγχος της άθικτης ευστάθειας και της διαγωγής του υπό μελέτη πλοίου καθώς και της συμμόρφωσης τους με τους κανονισμούς του IMO.
- Υλοποιήθηκε έλεγχος Καταμέτρησης του πλοίου, σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης (International Convention on Tonnage Measurement of Ships) και υπολογίστηκε ο Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number) για τον προσδιορισμό των συστημάτων αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης που θα «φέρει» το πλοίο.
- Έγινε υπολογισμός της αντίστασης για ρυπασμένη (Fouled +20%) και μη ρυπασμένη γάστρα, με τις συστηματικές σειρές Holtrop και Fung αφού αυτές οι μέθοδοι προσεγγίζουν καλύτερα την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου.
- Επιλέχθηκε η προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου, δηλαδή βρέθηκε η βέλτιστη έλικα από τη σειρά Wageningen B-Series και η κατάλληλη κύρια μηχανή πρόωσης του πλοίου, και χαράχθηκε η καμπύλη έλικας - μηχανής. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μελέτη και σχεδίαση του πηδαλίου που θα φέρει το πλοίο.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, λοιπόν, πραγματοποιήθηκε προμελέτη και σχεδίαση ενός δεξαμενοπλοίου, κατηγορίας Aframax με μεταφορική ικανότητα 116000 (t) DWT και με υπηρεσιακή ταχύτητα V_s 14.5 (kn). Με βάση την μεθοδολογία προμελέτης που αναλύθηκε παραπάνω, καθορίστηκαν οι κύριες διαστάσεις, οι συντελεστές μορφής, η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και το εκτόπισμα του πλοίου με χρήση εμπειρικών σχέσεων και της στατιστικής ανάλυσης στοιχείων της βάσης δεδομένων 206 δεξαμενοπλοίων διαφόρων μεγεθών που συγκεντρώθηκαν για τη υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Με το πέρας αυτής της διπλωματικής εργασίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Αξιοποιώντας τα στοιχεία των δεξαμενοπλοίων της βάσης δεδομένων μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης, δημιουργήθηκαν νέες εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των κυρίων χαρακτηριστικών των δεξαμενοπλοίων.
2. Η εκλογή των κυρίων χαρακτηριστικών του υπό μελέτη πλοίου πραγματοποιήθηκε δίνοντας ιδιαίτερα βαρύτητα στις σχέσεις που προέκυψαν από τα στατιστικά δεδομένα μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης, αφού οδηγούν σε πιο ορθά αποτελέσματα σε αντίθεση με τις εμπειρικές σχέσεις, λόγω της βάσης δεδομένων που αποτελείται από σύγχρονα και εξελιγμένα πλοία.
3. Ο υπολογισμός των βαρών του άφορτου πλοίου πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την υπάρχουσα μεθοδολογία τόσο για το πατρικό όσο και για το υπό μελέτη πλοίο. Δεδομένου ότι το βάρος του άφορτου πατρικού πλοίου ήταν γνωστό εφαρμόστηκε ένας διορθωτικός συντελεστής λ , με τον οποίο έγινε η διόρθωση στο βάρος του άφορτου υπό μελέτη πλοίου. Η μεθοδολογία ήταν ιδιαίτερα ακριβής.
4. Η απόδοση του υπό μελέτη πλοίου, σε περίπτωση ατυχήματος και εκροής πετρελαίου είναι αρκετά ικανοποιητική, αφού πληροί τις προϋποθέσεις του κανονιστικού πλαισίου της MARPOL και εν προκειμένω η εν λόγω διάταξη του πλοίου θεωρείται ορθή. Η διαφορά στον υπολογισμό του συνολικού πετρελαίου εκροής ανάμεσα στο πρόγραμμα *MaxSurf Stability* και στην μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 12.5 είναι μικρή και για αυτό και οι δύο μέθοδοι θεωρούνται ορθές.
5. Τα υδροστατικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν με τη χρήση των λογισμικών *Maxsurf Stability & MaxSurf Resistance* και συγκρίνοντάς τα με αυτά του πατρικού πλοίου παρουσιάζουν μικρές διαφορές. Για αυτό ο υπολογισμός και η μεθοδολογία αυτών θεωρείται ιδιαίτερα ακριβής.
6. Η Προμελέτη αποτελεί βασικό γνώμονα στο καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών του πλοίου με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις του ενδιαφερομένου πλοιοκτήτη, αφού επηρεάζουν σημαντικά το κόστος ναυπήγησης και οικονομικής εκμετάλλευσης του πλοίου.
7. Για τον υπολογισμό της αντίστασης χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Holtrop & Fung καθώς προσέγγιζαν καλύτερα την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου. Με βάση την αντίσταση που υπολογίστηκε με χρήση του *MaxSurf Resistance* προσδιορίστηκε η προωστήρια εγκατάσταση που θα φέρει το πλοίο τόσο για καθαρή όσο και για ρυπασμένη γάστρα.

Προτάσεις

Στο τελευταίο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται κάποιες αριθμημένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα, καθώς και εξέλιξη, οι οποίες μπορούν να φανούν χρήσιμες και σημαντικές για τα επιμέρους θέματα που αναλύθηκαν παραπάνω.

1. Χρήσιμα συμπεράσματα θα μπορούσαν να εξαχθούν εάν πραγματοποιηθεί η παρούσα μελέτη σε δεξαμενόπλοια διαφόρων μεγεθών/κατηγοριών και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για κάθε επιμέρους μελέτη με αυτήν που αναλύθηκε παραπάνω και παρατηρώντας το πόσο επηρεάζει το μέγεθος του πλοίου, η διάταξή του, το διαφορετικό είδος φορτίου ή και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα.
2. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε να πραγματοποιηθεί μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη (damaged stability) και πώς το πλοίο συμμορφώνεται σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο που ορίζει ο IMO και η SOLAS σε αυτές τις περιπτώσεις.
3. Επίσης, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου σε θαλάσσιους κυματισμούς (Seakeeping Analysis) καθώς και των ελκτικών ικανοτήτων του πλοίου (Maneuvering).
4. Χρήσιμο θα ήταν ο υπολογισμός της αντίστασης της γάστρας να γίνει με διαφορετικές μεθόδους όπως CFD Analysis, B.E.M. (Boundary Element Methods), κ.α.
5. Μία σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να εξετάζεται ενδελεχώς όσον αφορά την ευστάθεια του πλοίου, τόσο την άθικτη όσο και κατόπιν βλάβης, είναι οι μεταβολές της μετακεντρικού ύψους GM για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, ωστόσο βαρύνουσα σημασία θα πρέπει να δίνεται και σε μεγέθη που σχετίζονται με το πόσο καταπονείται η κατασκευή τόσο κατά το διάμηκες όσο και το εγκάρσιο επίπεδο, κατά τον υπολογισμό των διατμητικών, ορθών τάσεων καθώς και των καμπτικών ροπών.
6. Έλεγχος περαιτέρω αύξησης του ωφέλιμου φορτίου μέσω της χρήσης λογισμικών βελτιστοποίησης της εσωτερικής διαρρύθμισης του υπό μελέτη πλοίου.
7. Μελέτη αντοχής της μέσης τομής με βάση τους κανονισμούς CSR (Common Structural Rules – I.A.C.S.)
8. Εφαρμογή πεπερασμένων στοιχείων με κατάλληλα λογισμικά/προγράμματα για τη μελέτη αντοχής των διαφόρων κατασκευαστικών στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου τόσο για στατικές όσο και δυναμικές φορτίσεις.
9. Προτείνεται, επίσης, η αναλυτική μελέτη και σχεδιασμός των συστημάτων και του εξοπλισμού που θα φέρει το μηχανοστάσιο και όχι μόνο.
10. Εκτενής μελέτη για την επιλογή των βέλτιστων υλικών όσον αφορά την ναυπήγηση του πλοίου σε διάφορα τμήματα, με στόχο την επίτευξη του ελαχίστου κόστους.
11. Εποικοδομητική θα ήταν η δημιουργία και η λεπτομερής ανάπτυξη χρονοδιαγράμματος της συντήρησης του πλοίου, τους δεξαμενισμούς του καθώς και επιθεωρήσεις που γίνονται σε αυτό.
12. Αξιόλογη έρευνα θα ήταν η εκτίμηση του χρόνου εκκένωσης σε περίπτωση σοβαρής βλάβης καθώς των ενεργειών (Evacuation Plan) που απαιτούνται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.
13. Ωφέλιμη, θα ήταν η τεχνικοοικονομική μελέτη του πλοίου με στόχο την ακριβή προσέγγιση του κόστους ναυπήγησης και λειτουργίας του πλοίου.
14. Τέλος, προτείνεται η ανάπτυξη ενός κώδικα/αλγορίθμου βελτιστοποίησης, που θα επικοινωνεί με τα διάφορα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, περιλαμβάνοντας 2 ή και περισσότερα κριτήρια βελτιστοποίησης.

Βιβλιογραφία

1. Papanikolaou D. Apostolos, Methodologies of Preliminary Design, Ship Design, Springer Dordrecht 2014.
2. Myung-II Roh & Kyu-Yeul Lee, Computational Ship Design, Springer Singapore 2018
3. Παπανικολάου Δ. Απόστολος, Μελέτη Πλοίου, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2011.
4. Πολίτης Γ. Κωνσταντίνος, Μελέτη Πλοίου. Ανακτήθηκε 15/01/2024 ([Uniwa Eclass - ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ](#))
5. Πολίτης Γ. Κωνσταντίνος, Ειδικά Κεφάλαια Μελέτης Πλοίου. Ανακτήθηκε 15/01/2024 ([Uniwa Eclass - Ειδικά Κεφάλαια Μελέτης Πλοίου](#))
6. K. J. Rawson & E. C. Tupper, Βασική Θεωρία Πλοίου, Τόμος 1, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2016.
7. K. J. Rawson & E. C. Tupper, Βασική Θεωρία Πλοίου, Τόμος 2, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2016.
8. Τζαμπίρας Γιώργος, Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Εκδόσεις Κάλλιπος, Αθήνα 2015.
9. Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019.
10. Μαυρούδης Ν. Ευστράτιος, Μελέτη και Σχεδίαση δεξαμενόπλοιου μεγέθους Aframax με χρήση του προγράμματος NAPA και έλεγχος συμμόρφωσης τους με τους κανονισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης και εκροής πετρελαίου, Αθήνα 2015.
11. Θάνος Τ. Γιάννης, “Προμελέτη Πλοίου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου”, 2022.
12. Θεοδουλίδης Αλέξανδρος, ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ. Ανακτήθηκε 18/01/2024 ([Uniwa Eclass - ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ](#)).
13. Χατζηκωνσταντής Γεώργιος, ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ (Θεωρία & Εργαστήριο). Ανακτήθηκε 08/02/2024 ([Uniwa Eclass - ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ](#)).
14. Χατζηκωνσταντής Γεώργιος, ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ CAD. (Θεωρία & Εργαστήριο). Ανακτήθηκε 08/02/24 ([Uniwa Eclass - ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ CAD - ΘΕΩΡΙΑ](#)) & ([Uniwa Eclass - ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ CAD - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ](#)).
15. Χατζηκωνσταντής Γεώργιος, ΤΕΧΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ (Θεωρία & Εργαστήριο). Ανακτήθηκε 08/02/2024 ([Uniwa Eclass - ΤΕΧΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ](#)) & ([Uniwa Eclass - ΤΕΧΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ](#)).
16. Πέππα Σοφία, Αντίσταση - Πρόωση - Υδροδυναμική Πλοίου. Ανακτήθηκε 08/03/2024 ([Uniwa Eclass - ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ - ΠΡΟΩΣΗ - ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΟΙΟΥ](#)).
17. Πέππα Σοφία, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΚΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ. Ανακτήθηκε 08/03/2024 ([Uniwa Eclass - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΚΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ](#)).
18. Τίγκας Ιωάννης, ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ. Ανακτήθηκε 25/01/2024 ([Uniwa Eclass - ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ](#)).
19. Τίγκας Ιωάννης, ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ. Ανακτήθηκε 25/01/2024 ([Uniwa Eclass - ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ](#)).
20. Μαζαράκος Θωμάς & Τίγκας Ιωάννης, ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ. Ανακτήθηκε 25/01/2024 ([Uniwa Eclass - ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ](#)).
21. Φίλιππας Ευάγγελος, Υπολογιστική ναυτική και θαλάσσια υδροδυναμική. Ανακτήθηκε 18/01/2024 ([Uniwa Eclass - Υπολογιστική ναυτική και θαλάσσια υδροδυναμική](#)).
22. Φίλιππας Ευάγγελος, Ανωστικές Ροές και Θεωρία Ελίκων. Ανακτήθηκε 18/01/2024 ([Uniwa Eclass - Ανωστικές Ροές και Θεωρία Ελίκων](#)).

23. Γεροστάθης Θεόδωρος, Γεωμετρική σχεδίαση ναυπηγικών κατασκευών με τη βοήθεια Η/Υ (Θεωρία & Εργαστήριο). Ανακτήθηκε 08/02/2024 ([Uniwa Eclass - Γεωμετρική σχεδίαση ναυπηγικών κατασκευών με τη βοήθεια Η/Υ](#)).

Προγράμματα

- Rhinoceros 3D

Link: [Rhino - Rhinoceros 3D \(rhino3d.com\)](#)

Ανακτήθηκε: 20/01/2024

- MATLAB R2023a

Link: [Release R2023a Products and Services - MATLAB & Simulink \(mathworks.com\)](#)

Ανακτήθηκε: 20/01/2024

- MaxSurf Modeler

Link: [Use Modeler to optimise hull forms & appendages. Parametric. \(maxsurf.net\)](#)

- MaxSurf Stability

Link: [Intact and Damage Stability Analysis- Maxsurf](#)

- MaxSurf Resistance

Link: [Resistance and Power Requirements calculated for any Maxsurf design](#)

Ανακτήθηκαν: 18/02/2024

- grid_d & grid_n (Προγράμματα Η/Υ σε γλώσσα Modern – Fortran)

Link: [Δύο προγράμματα Η/Υ σε γλώσσα Modern - Fortran](#)

Ανακτήθηκαν: 20/01/2024

Παράρτημα Παράρτημα Α

– Βάση Δεδομένων (Όμοια πλοία):

	Vessel Name	IMO Number	DWT (t)	Displacement (t)	Length Overall (m)	Length BP (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Draught (m)	Service Speed (knots)	Gross tonnage	Net tonnage	Ballast Capacity (m ³)	Power (kW)
1														
2	PEONIA	9313436	10266302.951	11316658.672	164.5	156	27.6	15.9	10.5	14.5	19549	7487	16698	7860
3	SEACONGER	9352298	10309140.961	11363879.482	177.75	168	28	16.8	11	16	21329	8429	16643	8340
4	CHEM P	6806444	7502818.092	8270438.914	202.03	202.03	27.43	14.33	10.78	20	21760	9742	13535	1000
5	GRAND POWER	9236999	10182045.605	11223780.873	171.2	162	27.4	17.3	11.82	15.5	22184	9438	15898	7150
6	FOREST	9283760	10233590.769	11280599.675	176	168	31	17	10.06	15	25214	8277	-	8580
7	FORTUNE	9283746	10233575.337	11280582.663	175.93	168	31	17	10.06	15	25214	8277	-	8580
8	FAXON	9283758	10233588.565	11280597.244	175.95	168	31	17	10.06	15	25214	8227	20811	8580
9	IBLEA	9244441	10190249.003	11232823.569	175.87	169	29.8	16.8	11.48	15.2	23375	10150	17018	9000
10	STOLT EFFICIENCY	9102112	10033358.181	11059881.090	176.75	168.5	31	15.61	11.9	16.2	24625	11933	15805	13365
11	KEONAMEX VICTORY	9274642	10223539.898	11269520.488	185.6	176	31	16.7	10.6	15.2	26659	10224	18208	8580
12	RAINBOW	9302126	10253835.813	11302916.009	182.55	175	27.34	16.7	11.22	14.5	23246	10126	18940	10010
13	ROMA	9286047	10236111.755	11283378.584	182.55	175	27.34	16.7	10.85	14.5	23235	1074	18907	9466
14	SAN FELIX	9314868	10267881.460	11318398.680	182.55	176.08	27.34	16.7	11.2	23	23315	10135	-	9480
15	NOREASTER	9350642	10307315.534	11361867.293	184	176	27.4	17.2	11.32	14	23589	9628	-	9720
16	LUCKY LADY	9288796	10239142.008	11286718.865	176	168	31	17	10.5	14.5	25124	9118	20742	11640
17	EAST COAST	9298703	10250062.603	11298756.758	183	175	27	16.7	7.4	14.7	23552	10119	18609	9488
18	ACADIAN	9298715	10250075.830	11298771.339	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
19	NEW ENGLAND	9298727	10250089.058	11298785.920	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
20	GREAT EASTERN	9298739	10250102.286	11298800.501	183	175	27.34	16.7	11.2	14.7	23552	10119	18609	9480
21	ACADIA TRADER	9278492	10227783.795	11274198.583	180	171.2	32	16.2	10.26	15.3	25487	9528	21058	11060
22	MINERVA LEO	9723289	10718088.421	11814666.765	184.27	176.13	27.4	17.6	11.92	14.4	24090	10389	18587	7290
23	MINERVA TYCHI	9723291	10718090.626	11814669.195	184.27	176	27.4	17.6	11.92	14.4	24090	10389	18587	7290
24	SEAMARLIN	9380489	10340216.210	11398134.071	188.18	179.5	32.2	17.05	11	16	26548	10304	20429	11200
25	Minerva Oceania	9380075	10339759.853	11397631.024	182.5	172	32.23	18.1	12.14	16	-	-	-	-
26	BRENTON REEF	9144926	10080552.524	111111903.933	188.9	180	32.2	19.15	12.19	16	30770	11071	21688	11750
27	OVERSEAS KEY WEST	9144914	10080539.296	111111889.352	188.9	180	32.2	19.15	12.22	16	30770	11071	21140	11750
28	MINERVA PACIFICA	9325831	10279966.095	11331719.707	179.88	172	32.2	18.7	12.02	17	28059	11645	20183	9267
29	MINERVA JOY	9363479	10321465.900	11377465.398	179.88	172	32.22	18.7	12.07	15	28056	11649	20183	9480
30	SEABULK PRIDE	9118630	10051566.154	11079951.939	183	174.3	32.2	19.15	12.2	14.5	30415	58223	20280	8057
31	MISSISSIPPI VOYAGER	9131369	10065608.494	11095430.964	183	174.3	32.2	19.15	12.2	14.5	30415	11125	20280	8057
32	ALBATROSS 1	9359387	10316955.243	11372493.251	182.88	175	32.2	16.05	12	12	26329	14416	17858	11300
33	OVERSEAS MARTINEZ	9353589	10310564.044	11365448.162	183.2	174	32.2	18.8	12.2	14.6	29242	11926	24348	8580
34	FLORIDA	9568469	10547428.632	11626546.603	183	174	32	18.8	12.2	14.6	29242	11926	24348	8580
35	OVERSEAS BOSTON	9353565	10310537.589	11365419.000	184.21	174	32.2	18.8	12.2	15	29242	11926	24348	8580
36	SEAKAY STAR	9353539	10310508.929	11365387.408	183.2	174	32.2	18.8	12.2	14.6	29242	11926	24348	8580
37	SEAKAY VALOR	9353541	10310511.133	11365389.838	183.2	174	32.2	18.8	12.2	14.6	29242	11926	24348	8580
38	OVERSEAS HOUSTON	9351062	10307778.504	11362377.631	183.2	174	32.2	18.8	12.2	14.6	29242	11926	24348	8580
39	MINERVA ANTONIA	9380398	10340115.900	11398023.498	183.21	174	32.24	18.8	12.22	14.5	29295	12034	33348	9480
40	MINERVA JOANNA	9380386	10340102.672	11398008.917	183.21	174	32.24	18.8	12.22	14.5	29295	12034	33348	9480
41	SCF AMUR	9333436	10288349.171	11340960.463	183	173.9	32.2	19.1	12.43	14.5	29844	12025	24326	-
42	MINERVA OCEANIA	9380075	10339759.853	11397631.024	182.5	172	32.2	18.1	12.6	16	26934	13660	18353	8580
43	MINERVA EMILY	9380063	10339746.626	11397616.443	182.5	172	32.23	18.1	12.61	15.9	26900	13660	18417	8580
44	MINERVA LYDIA	9262900	10210596.562	11255252.907	179.99	172	32.2	19.05	12.48	16.3	28799	12945	20896	9480
45	SUNSHINE STATE	9408114	10370667.551	11431700.919	183	174	32.2	19	11.8	14.8	29527	12859	23326	8684
46	GOLDEN STATE	9407562	10370059.076	11431030.190	183	174	32.2	19	11.8	14.8	29527	12859	23326	8684

47	EMPIRE STATE	9408126	10370680.779	11431715.500	183	174	32.2	19	11.8	14.8	29527	12859	23326	8580
48	EVERGREEN STATE	9408138	10370694.007	11431730.081	183	174	32.2	19.4	11.8	14.8	29606	12859	23326	8580
49	MINERVA MEDITERRANEA	9367671	10326086.788	11382559.053	182.5	172	32.23	18.1	12.62	16	26897	13660	18417	8580
50	CLAVEL	9820312	10825037.941	11932558.398	183	174	32	19.1	13.3	14.5	29698	13626	-	-
51	PETUNIA	9820336	10825064.396	11932587.560	183	175.1	32	19.1	13.3	14.5	29470	13626	-	-
52	STENA IMPERO	9797400	10799781.791	11904718.266	183	178.45	32	18.2	12.9	15	29594	14210	-	-
53	AMERICAN LIBERTY	9763851	10762800.360	11863953.227	183.31	174	32.2	19.1	11	14.5	29801	13454	22428	8200
54	SEA WOLF	9849033	10856697.415	11967456.985	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.83	29529	13816	21444	5357
55	SEA DOLPHIN	9807229	10810616.406	11916661.381	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.83	29492	13788	-	5357
56	SEA COUGAR	9834868	10841083.180	11950245.241	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.5	29529	13816	21444	5357
57	SEA TIGER	9834870	10841085.385	11950247.671	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.83	29529	13816	21444	5357
58	SEA EAGLE	9849045	10856710.643	11967471.566	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.83	29529	13816	21444	5357
59	SEA ELEPHANT	9853254	10861350.270	11972585.877	182.92	173.9	32.2	19.1	13.3	14.83	29492	13788	-	5357
60	MP MR TANKER 1	9472763	10441930.855	11510255.243	183.31	174	32.2	19.1	13.29	15.2	29726	14072	22438	9480
61	SLNC GOODWILL	9448334	10415002.500	11480571.821	183.19	175.97	32.2	18.21	12.62	15	30241	14686	21965	9960
62	MINERVA JULIE	9380831	10340593.200	11398549.631	183	173.9	32.2	19.1	13.29	14.6	28960	13306	23461	13560
63	MINERVA VASO	9318008	10271342.716	11322214.061	183	173.9	32.2	19.1	13.29	15.9	28960	13670	23461	13560
64	MINERVA VIRGO	9307827	10260120.088	11309843.235	183	173.9	32.2	19.1	13.29	15.9	28960	13291	23461	13560
85	MINERVA XANTHE	9318010	10271344.921	11322216.491	183	173.9	32.2	19.1	13.29	15.9	29032	13673	23461	13560
86	MINERVA GRACE	9305855	10257946.331	11307447.078	183	173.9	32.2	19.1	13.11	15	29021	13695	23461	13540
87	SCF USSURI	9384306	10344423.731	11402772.068	183	173.9	32.2	19.1	12	14.8	29967	13532	-	9480
88	MINERVA ANNA	9298507	10249846.550	11298518.600	183	173.9	32.2	19.1	13.29	14.6	29021	13695	24048	13540
89	MINERVA RITA	9305867	10257959.559	11307461.659	183	173.9	32.2	19.1	13.29	15	29032	13673	23461	13540
70	MINERVA ZEN	9410909	10373748.511	11435097.095	183	174.5	32.2	18.2	13.49	15.5	29442	15937	22103	11620
71	SALAMINA	9382968	10342948.839	11401146.278	228.13	219	32.24	20.6	14.3	16	41676	21792	28516	12240
72	HAFNIA ZAMBESI	9393101	10354118.556	11413458.780	228.6	220	32.26	21.2	14.72	13.5	43885	21967	28972	12240
73	MARIANNA V.V	9259707	10207076.883	11251373.126	239	231	38	20	13.04	14.5	50199	23217	34270	11470
74	MARGARETA	9233818	10178539.153	11219915.673	235	219.08	42	21.3	14.52	14.7	54865	26367	53862	14314
75	EVEREST	9180126	10119353.871	11154675.085	248	238	43	19.8	13.52	15.2	53074	28469	43085	14249
76	YOSELIN	9226970	10170990.528	11211594.740	248	238	43	19.8	13.5	15.2	56115	28647	60789	14049
77	EOS	9038878	9963654.647	10983046.118	244	235.99	45.64	18.4	12.96	16	54827	29295	44251	15412
78	MINERVA HELEN	9276561	10225655.232	11271852.245	243.57	233	42	21.3	14.77	15.2	58156	31033	40016	14511
79	MINERVA IRIS	9285861	10235906.725	11283152.578	243.8	233.05	42.04	21.3	14.77	15.2	58193	31033	40481	14511
80	MINERVA ELLIE	9297321	10248539.209	11297077.504	243.57	233	42	21.3	14.77	15.2	58156	31033	40481	14511
81	MINERVA CLARA	9297333	10248552.437	11297092.085	243.57	233.01	42	21.3	14.77	15.2	58156	31033	40481	14511
82	MINERVA ROXANNE	9276585	10225681.688	11271881.407	243.56	232.99	42	21.3	14.77	15.2	58156	31033	40481	14511
83	MINERVA ELEONORA	9276573	10225668.460	11271866.826	243.57	232.98	42	21.3	14.75	15.2	58156	31033	40481	14511
84	MINERVA LISA	9276597	10225694.916	11271895.988	243.57	233.01	42	21.3	14.75	15.2	58193	31033	40481	14511
85	URAGA PRINCESS	9439204	10404938.400	11469478.053	229	217.8	42	21.5	14.81	15.1	55909	29810	-	12350
86	CY VICTORIOUS	9364215	10322277.201	11378359.704	229	217.8	42	21.5	14.81	15.1	55894	29810	-	12350
87	IZUMO PRINCESS	9330472	10285081.921	11337358.937	229	217.8	42	21.5	14.2	15.1	55909	29810	37202	12350
88	MINERVA PISCES	9410179	10372943.824	11434210.079	244.18	234	42	21	15.02	15	57135	33181	37929	13560
89	MINERVA ARIES	9412177	10375146.241	11436637.828	244.18	234	42	21	15.02	15	57135	33181	37929	13560
90	NORDLOTUS	9624067	10608714.919	11694103.151	228.6	224.64	42	21.45	14.8	14.8	57081	31074	-	13560
91	ALEXIA 3	9173721	10112293.569	11146892.437	248	238	43	21	14.3	15.2	56841	23898	39504	14249
92	PHENIX VI	9255880	10202858.339	11246722.978	248	238	43	21	14.32	15.2	59719	31451	61541	14049

93	CLIO	9238052	10183206.338	11225060.362	248	237.99	43	21	14.32	15.2	59719	31451	61541	14049
94	CHRIS	9304643	10256610.330	11305974.389	239.1	229	42	21.3	14.85	15.1	49838	32082	38508	12000
95	LIANA	9266841	10214940.770	11260041.575	240	230	42	21.2	14.88	15	58070	32118	39420	12239
96	PETALI	9235892	10180825.346	11222435.768	252	230	44	22.5	15.34	13.5	64259	30846	46922	21080
97	SARASOTA A	9383869	10343942.021	11402241.073	243.8	233	42	21.4	15.1	15	58418	32391	40293	13560
98	BOTAFOGO	9395329	10356574.505	11416166.000	243.8	233	42	21.4	15.1	15	58667	32391	40293	13560
99	MYRTOS	9389100	10349708.210	11408597.207	243.8	233	42	21.4	15.1	15	58667	32391	40293	13560
100	OMERA LEGACY	9291236	10241831.646	11289683.684	248	238	43	21	14.5	15.8	60007	32205	40148	14048
101	AMALTHEA	9298650	10250004.180	11298692.358	248	238	43.04	21	14.52	15.8	60007	32205	40148	14038
102	IONIC ASTRAPI	9529346	10504302.919	11579008.655	243.8	237	42	21.3	14.57	15.4	60379	32114	42017	13560
103	YAMATO SPIRIT	9414503	10377710.216	11439464.126	243.8	237	42	21.3	14.58	15.4	60379	32114	42018	13560
104	BONITA	9297541	10248781.717	11297344.824	246.5	234	42	21	14.9	15	58054	33521	38526	16630
105	OLIB	9334739	10289785.482	11342543.724	246	236	42	21	15	16.1	59315	34574	-	13560
106	BAY TREZOR	9439541	10405309.879	11469887.538	243	233	42	22	15.35	15	60193	33762	39129	13570
107	AMUNDSEN SPIRIT	9438858	10404557.001	11469057.632	248.56	235	43.8	22.4	15.02	14.6	66563	29517	44039	18960
108	FRONT ALTAIR	9745902	10743014.980	11842143.585	251.84	241	44	21.3	21.3	12.5	62849	34099	40620	11850
109	MINERVA ZOE	9800568	10803273.913	11908567.670	243.9	243.95	43.97	21.2	21.21	13.5	62508	33578	-	-
110	FRONT JAGUAR	9703332	10696089.600	11790417.223	251.83	242.79	44.01	21.3	14.93	12.5	62700	34260	62884	16080
111	NS CONCORD	9299692	10251152.788	11299958.481	244	234	42	21	15.36	14.5	57248	34836	37893	11327
112	PING AN	9378632	10338169.219	11395877.649	243.8	234	42	21.5	15.62	15.7	59172	33486	38796	13560
113	YPAPANTI	9693082	10684790.913	11777962.556	249.9	242	44	21.2	21.2	14	62388	33412	41215	11050
114	KRITI VERANO	9346861	10303147.696	11357273.040	245.5	234	42	21.5	14.98	14.9	59611	33406	41656	14280
115	FUTURE	9260823	10208307.062	11252729.166	246	234	42	21.5	14.95	14.9	59574	33437	41344	14280
116	YASA GOLDEN DARDANELLES	9339985	10295568.205	11348918.084	245.5	234	42	21.5	14.98	15.3	59745	33382	41349	14280
117	ASHLEY LADY	9429039	10393733.409	11457126.668	248	237	44	21	14.8	14.7	62491	34325	-	14280
118	PRADA	9213301	10155923.039	11194985.681	250.17	239	44	21	14.62	14.7	62385	33878	43996	14517
119	MINERVA ELPIDA	9440526	10406395.656	11471084.402	249.9	239.02	44	21	14.8	14.5	62571	34784	41856	14280
120	MINERVA KALLISTO	9853008	10861079.101	11972286.965	244.16	234	43.04	21.8	15.24	14.5	62372	33650	-	-
121	MINERVA BALTICA	9728241	10765107.065	11820683.889	249.918	242	44	21.2	15.023	14	62513	35199	41210	-
122	LEONTIOS H	9724336	10719242.540	11815938.964	249.97	242.01	44	21.2	15.02	14	62557	34908	41200	-
123	THOMAS ZAFIRAS	9724087	10718968.065	11815636.407	249.97	242.01	44	21.2	15.02	14	62557	34908	41200	-
124	MINERVA CORALIA	9728239	10723544.860	11820681.459	249.9	242	44.03	21.2	15.023	14	62513	35199	41210	11140
125	SEA URCHIN	9886720	10898240.210	12013250.064	249.95	243.95	44	21.2	15	14.5	62624	35161	-	9491
126	SEA TURTLE	9886718	10898238.005	12013247.634	249.95	243.95	44	21.2	15	14.5	62599	35140	-	9491
127	EAGLE HELSINKI	9453963	10421207.408	11487411.560	249.9	239	44	21	14.82	14.7	62851	34562	42224	14517
128	SEA DRAGON	9903918	10917197.754	12034147.174	249.95	243.95	44	21.2	15	14.5	62624	35161	-	9491
129	NISSOS CHRISTIANA	9694658	10686528.155	11779877.537	251.98	241	45	21.2	15.12	13	62914	35804	41410	15960
130	SEA PUMA	9802176	10805046.429	11910521.534	250	241	44	21.2	14.8	15	63460	35033	-	14357
131	LIGOVSKY PROSPECT	9256066	10203063.369	11246948.985	249.9	239	44	21	14.82	14.8	62586	34823	42345	15519
132	MINERVA OLYMPIA	9787194	10788531.605	11892317.062	250	241	44	21.2	14.838	14.4	63485	35025	-	-
133	MINERVA ELEFThERIA	9787168	10788502.945	11892285.470	250.01	241	44.04	21.2	14.84	14.4	63485	35025	41970	-
134	MINERVA KARTERIA	9787170	10788505.150	11892287.900	249.97	241	44	21.2	14.84	14.4	63485	35025	-	-
135	MINERVA ZENOBIA	9787182	10788518.378	11892302.481	249.97	241	44	21.2	14.84	14.4	63485	35025	-	-
136	SEA PANTHER	9802164	10805033.201	11910506.953	249.97	241	44	21.2	14.8	15	63479	35025	-	14357
137	MINERVA ALICE	9309435	10261892.604	11311797.099	253.5	242	44	21	14.82	14.7	63619	34833	43263	17647
138	MINERVA NOYNOY	9309423	10261879.377	11311782.517	253.5	242	44	21	14.82	14.7	63619	34833	44447	17647

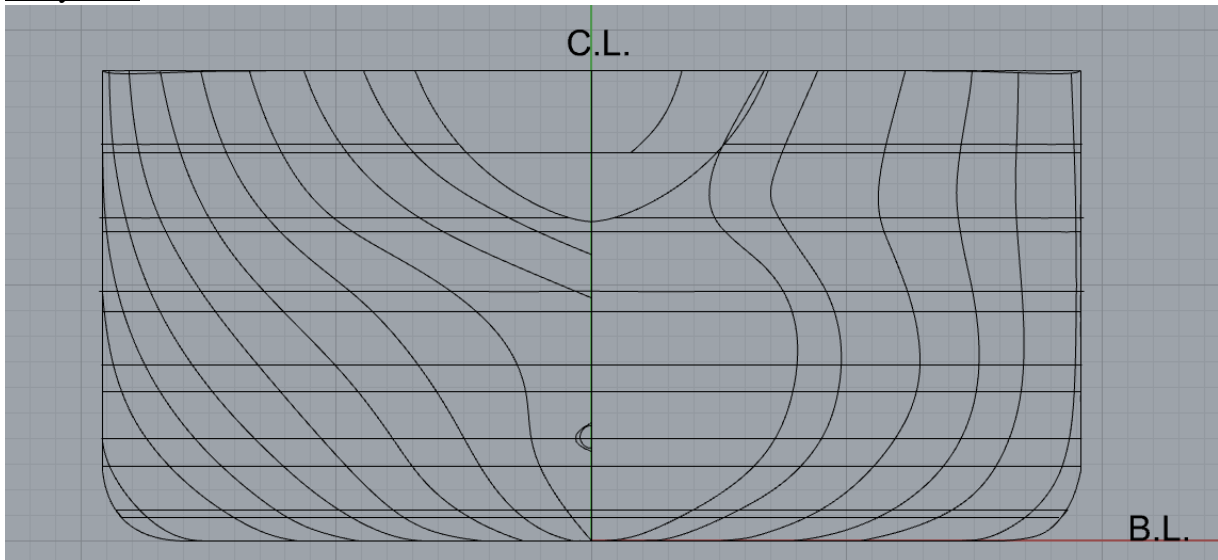
139	LUGGATI	9281009	10230558.312	11277256.963	249.9	239	44	21	14.82	14.7	62845	34739	38969	14303
140	PENELOP	9325908	10280050.973	11331813.269	253.5	242	44	21	14.8	15.2	63448	34837	43264	15820
141	BRIGHT SONIA	9213296	10155917.527	11194979.605	250.17	239	44	21	14.91	14.7	62385	35342	43996	14517
142	MINERVA ASTRA	9893008	10905171.541	12020890.547	249.9	242	44.04	21.2	15.223	14	62762	36148	41136	-
143	MINERVA ALEXANDRA	9892999	10905161.621	12020879.611	249.9	242	44.04	21.2	15.223	14	62762	36148	41136	-
144	DUBAI GLAMOUR	9402483	10364460.438	11424858.750	250	239	44	21.35	14.97	14.8	63294	34735	42380	13560
145	MINERVA KYTHNOS	9592252	10573644.894	11655445.077	240.63	239	43.8	21	15.023	15	61242	35877	39975	13560
146	KAZAN	9258002	10205197.443	11249301.398	250	239	44	21.14	14	14	62395	35279	42488	15806
147	CASTRO ALVES	9547673	10524504.972	11601277.601	248.97	239	43.8	21	15	15	61426	35855	-	13560
148	MINERVA SOPHIA	9382762	10342721.763	11400895.969	248.96	239	43.8	21	14.93	14.5	61382	35396	63185	13560
149	SHAANXI	9338905	10294377.709	11347605.787	248.95	239.03	43.8	21	14.93	14.5	61473	35396	63168	13560
150	AEGEAN MYTH	9348479	10304931.235	11359239.055	248.95	238.98	43.8	21	14.93	14.5	61473	35396	41106	15820
151	MINERVA GLORIA	9382750	10342708.535	11400881.388	248.96	239	43.8	21	14.93	14.5	61382	35396	41125	13560
152	BELMAR	9516959	10490648.592	11563957.340	248.97	239	43.8	21	15	15	61332	35877	40068	14400
153	MINERVA LIBRA	9317951	10271279.885	11322144.801	249.85	239.02	44	22.7	15.42	15	67032	35024	44308	15806
154	PROPONTIS	9305623	10257690.595	11307165.177	249.9	239	44	22.7	15	16.8	66919	34956	-	16625
155	TOKYO MARU	9617038	10600966.775	11685562.287	246.8	238.4	44.4	22	15.44	15.3	66541	37726	39612	12210
156	TORILL KNUITSEN	9630030	10615287.999	-	275.7	256	46	22.7	15.5	14.5	80850	36065	53718	19920
157	ZEVS	9168946	10107030.034	11141090.384	265	256	42.5	22	15.65	15	72449	38045	76394	20020
158	SHIP 115	9131876	10066167.365	11096047.015	271.8	258	46	22.6	15.3	15	76216	34631	61451	19978
159	POLAR ENDEAVOUR	9193551	10134152.396	11170987.662	272.69	258.16	46.2	25.3	17.5	16	85387	41995	62362	8600
160	POLAR DISCOVERY	9206114	10148000.729	11186252.832	272.69	258.16	46.2	25.3	17.5	16.1	85387	41995	60841	1250
161	POLAR RESOLUTION	9193563	10134165.624	11171002.243	272.61	258.01	46.15	26.29	17.52	16.1	85387	41995	60841	1000
162	POLAR ADVENTURE	9244063	10189832.330	11232364.265	272.69	258.16	46.2	25.3	17.5	16	85387	41995	60841	1250
163	POLAR ENTERPRISE	9250660	10197104.275	11240380.211	272.69	258.16	46.2	25.3	17.5	16	85387	41995	60841	1250
164	GOTICA	9041057	9966056.583	10985693.798	276.87	267.7	44.4	24.1	16.97	14.5	79592	45604	82011	15345
165	FIGHTER TWO	9296391	10247514.060	11295947.471	274	263	48	22.4	16	15.7	77636	46181	55392	17990
166	DILIGENT WARRIOR	9750050	10747587.366	11847183.777	274.22	263.14	48	23.1	16	12.5	81287	47515	52414	16590
167	KATTUSKA	9236004	10180948.805	11222571.858	274	263	48	22.4	15.96	15.4	78845	46893	55252	16460
168	OTTOMAN EQUITY	9404950	10367179.839	11427856.376	269.17	258	46	24.4	17.48	15	79934	48517	82029	18660
169	IONA	9183271	10122820.639	11158496.542	272.75	258	46	24.4	17.5	15.7	80086	48822	51788	15368
170	CAP PEMBROKE	9817119	10821518.262	11928678.617	277	267	48	23.1	17.17	12.8	82099	51760	-	-
171	CAP PORT ARTHUR	9829801	10835497.770	11944088.382	277.09	267	48	23.1	17.17	12.8	82099	51760	-	-
172	SMYRNI	9493779	10465097.023	11535791.565	274.49	264	48	23.7	17	15.1	83562	49022	51612	18660
173	SEA ONYX	9922108	10937248.792	12056249.653	274.28	269.9	48	23.2	17.15	14.52	82916	51600	54135	10570
174	SEA SAPPHIRE	9935600	10952121.172	12072643.641	274.3	269.9	48	23.2	17.15	14.52	82916	52005	-	10570
175	SEA CORAL	9920708	10935705.556	12054548.527	277.36	267	48	23.3	17	14.89	80934	50992	-	11209
176	SEA AMETHYST	9920693	10935689.022	12054530.301	277.36	267	48	23.3	16.5	14.89	80934	50992	-	11209
177	ENERGY TRIUMPH	9817614	10822063.906	11929280.086	277.17	267	48	23.1	17.17	13.5	81394	51730	52418	-
178	NORDIC SPACE	9748681	10746078.302	11845520.319	277.05	266.97	48	23.1	17.17	12.5	81721	51135	84416	-
179	BODIL KNUITSEN	9472529	10441672.915	11509970.912	284.95	270	50	23	16.52	15	93759	50197	54352	21770
180	CAPTAIN MICHAEL	9531480	10506655.250	11581601.656	274.83	264	48	23.2	17.01	15.2	81482	51258	51818	18660
181	MINERVA MARINA	9411939	10374883.891	11436348.637	274.33	264	48	23.1	17.17	15.8	81467	52687	54243	18660
182	MINERVA VERA	9411941	10374886.096	11436351.067	274.33	264	48	23.1	17.17	24.25	81467	52687	84419	18660
183	LIPARI	9529487	10504458.344	11579179.982	274.39	264	48	23.2	17	15.5	81380	51274	-	18280
184	MARAN PLATO	9399507	10361179.961	11421242.644	274	264	48	23.1	17.15	15.7	79936	52352	84616	18660
185	MARE PICENUM	9449405	10416183.075	11481873.182	274.39	264	48	23.2	17	15.5	81499	51105	-	18660
186	KAPSALI	9587312	10568199.478	11649442.535	274.39	264	48	23.2	17.03	16.8	81548	51283	51819	18660

187	SABLE	9524451	10498907.106	11573060.791	274.33	264	48	23.1	17.15	16	81282	52295	54096	19620
188	SPEEDWAY	9749506	10746987.708	11846522.768	274.17	263.14	48	23.1	17.15	15	81413	52056	52873	16590
189	APACHE	9749489	10746968.969	11846502.111	274.17	263.14	48	23.1	17.15	15	81413	52056	52814	16590
190	LI BAI	9589750	10570886.912	11652404.923	274.39	264	48	23.2	17	15	81384	51274	47462	16995
191	CHIOS	9772113	10771907.653	11873992.297	274	263.14	48	23.1	16	12.5	81315	52014	52857	16590
192	MINERVA KALYPSO	9785225	10786361.155	11889924.551	274.21	263.14	48.04	23.1	17.17	17	81361	52258	52588	14320
193	MINERVA EVROPI	9785237	10786374.383	11889939.132	274.21	263.14	48.04	23.1	17.17	15	81361	52258	52588	-
194	AEGEAN ANGEL	9290323	10240825.236	11288574.307	274.48	264	48	23.1	17.05	15.7	81074	51751	54317	18630
195	TIREX	9203772	10145419.117	11183407.092	274	264	48	23.2	17.02	15.2	81230	50687	54560	17098
196	MONTESPERANZA	9585871	10566611.048	11647691.591	274	264	48	23.22	17	14.5	81468	51148	-	15720
197	FOLEGANDROS	9793753	10795761.663	11900286.835	274.3	266.4	48	23.15	15.4	14.65	82648	50932	-	-
198	MINERVA DOXA	9304617	10256581.670	11305942.797	276.88	267.08	50	22.4	16.11	15.2	83742	50496	58786	18660
199	MINERVA SYMPHONY	9304605	10256568.442	11305928.216	276.88	267.08	50.04	22.4	16.14	15.25	83742	50496	58786	18660
200	MINERVA GEORGIA	9332157	10286939.315	11339406.363	274.24	264	50.07	23.1	17.03	14	84914	53393	57066	18623
201	BOUBOULINA	9298753	10250117.718	11298817.512	276	264	50	23.1	17.02	15.4	85206	53844	57305	18610
202	SOUNION	9312145	10264879.867	11315089.991	274	265	50	23.1	16	15.3	85206	53844	56064	18610
203	EURONIKE	9299678	10251137.356	11299941.470	274	264	50	23.1	17	15.6	85431	53684	57489	18660
204	VIOLANDO	9429285	10394004.578	11457425.580	274.19	264	50	23.1	17.17	24.25	84795	54305	88564	18660
205	EVAGORAS	9239484	10184784.848	11226800.370	274.18	264	50	23.1	17	15.5	84789	53755	57310	18623
206	BLUE	9236353	10181333.512	11222995.925	274	264	50	23.1	17	15.5	84789	53755	57310	18623
207	AFRODITI	9452880	10420013.606	11486095.618	274	264	50	23.1	17.3	15.2	84716	55321	-	18660

Πίνακας Α: Βάση δεδομένων από 207 όμοια πλοία.

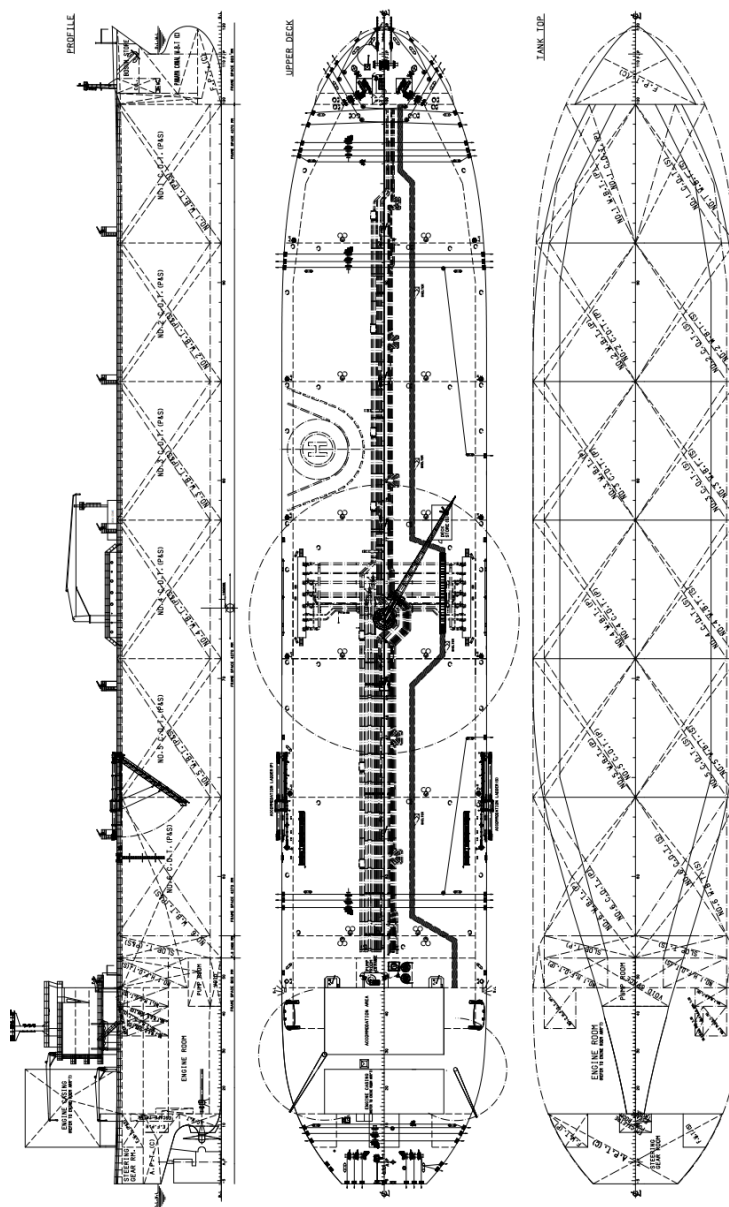
Παράρτημα Β

- Body Plan



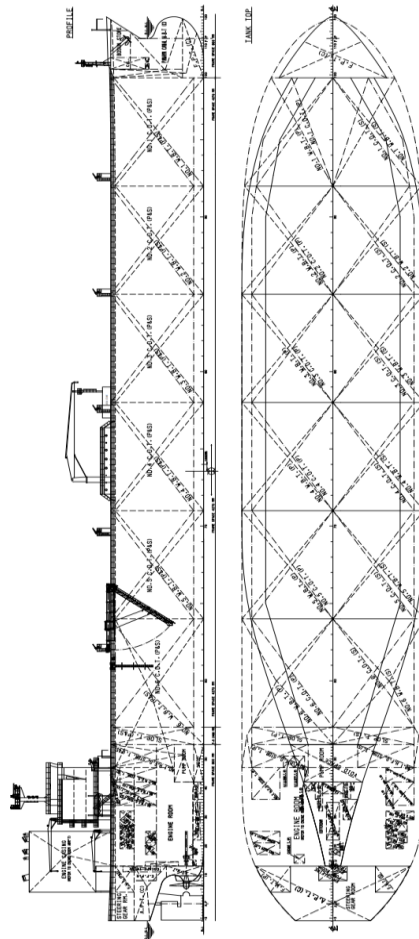
Πίνακας Β.1: Το body Plan του πλοίου. (Πηγή: Rhinoceros 3D)

- Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement)



Εικόνα Β.2: Το σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement) του πατρικού πλοίου. (Πηγή: PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD)

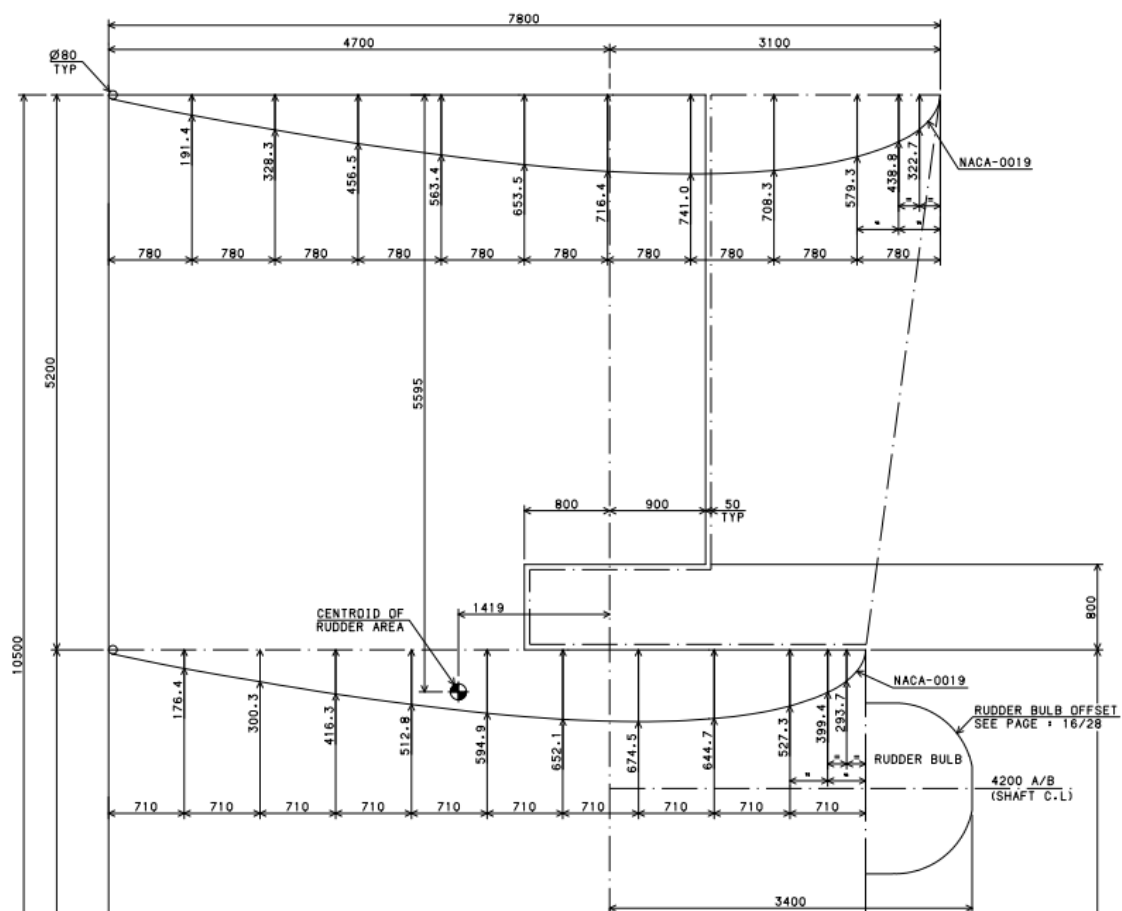
– Capacity Plan



Εικόνα Β.3: Το σχέδιο Χωρητικότητας των δεξαμενών (Capacity Plan) του πατρικού πλοίου. (Πηγή: PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD)

- Γραμμές πηδαλίου (Rudder Lines):

RUDDER LINES

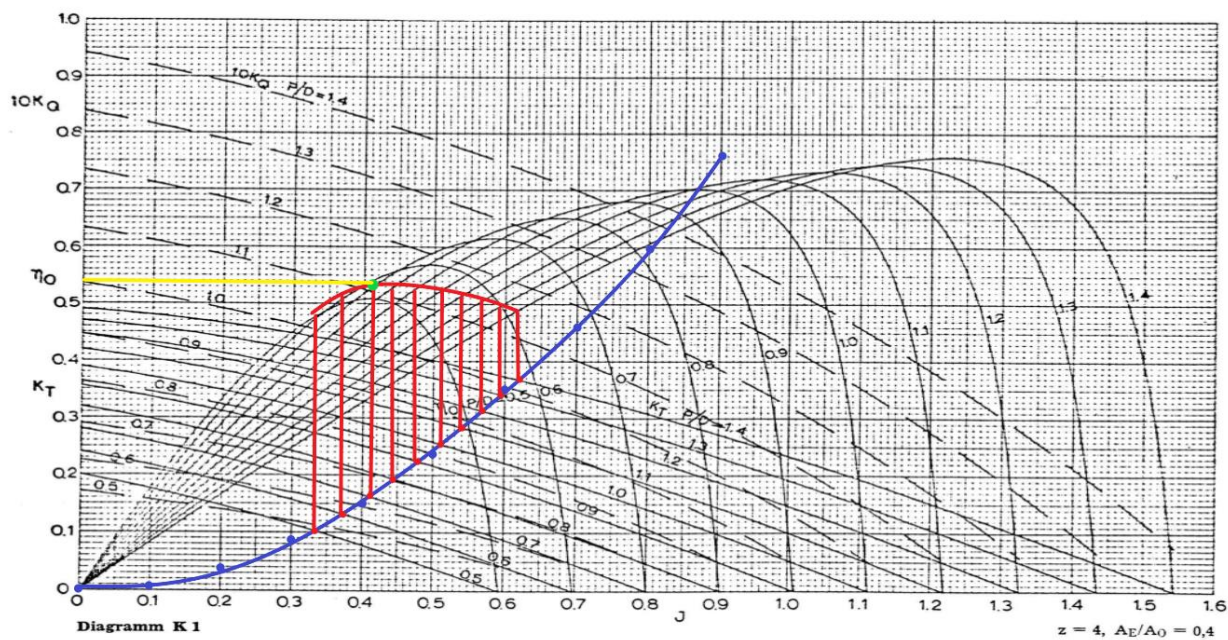


Εικόνα Β.4: Το σχέδιο γραμμών του πηδαλίου (Rudder & Rudder Stock). (Πηγή: PANTHEON TANKERS MANAGEMENT LTD)

Παράρτημα Γ

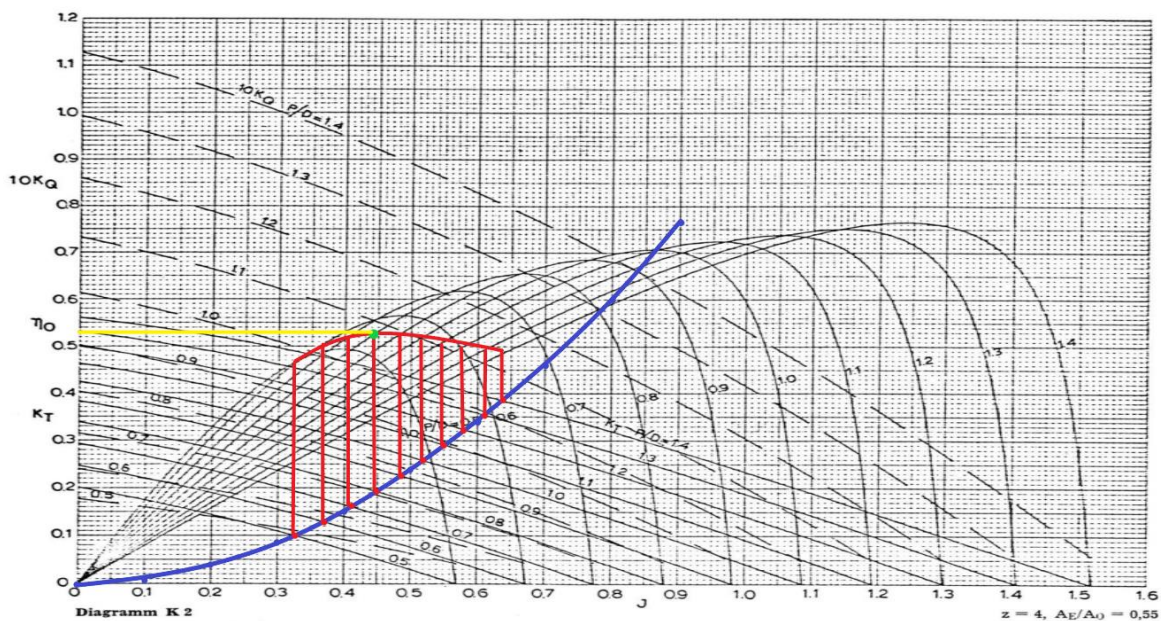
Σχεδιασμός $K_T=C*J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, σειρά Β - Wageningen διαφόρους λόγους εκτεταμένων επιφανειών:

B4.40 (Wageningen):



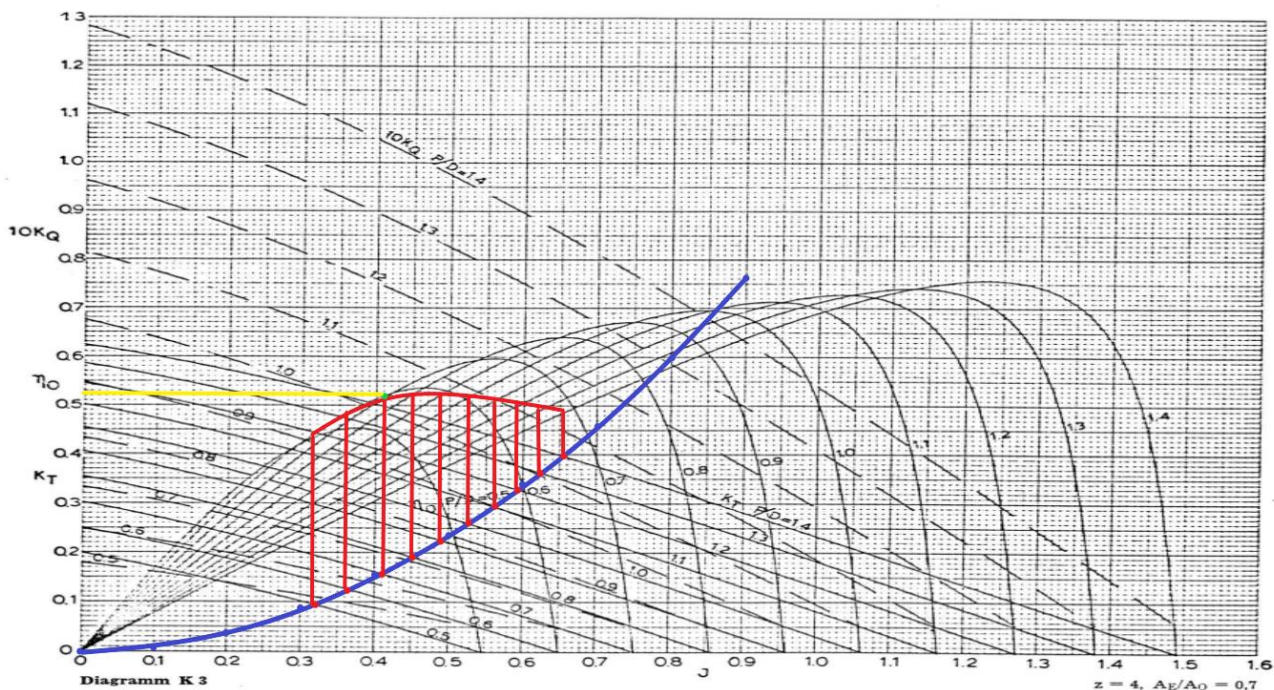
Διάγραμμα Γ.1: Σχεδιασμός $K_T=C*J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, B4.40. (Πηγή: Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019)

B4.55 (Wageningen):



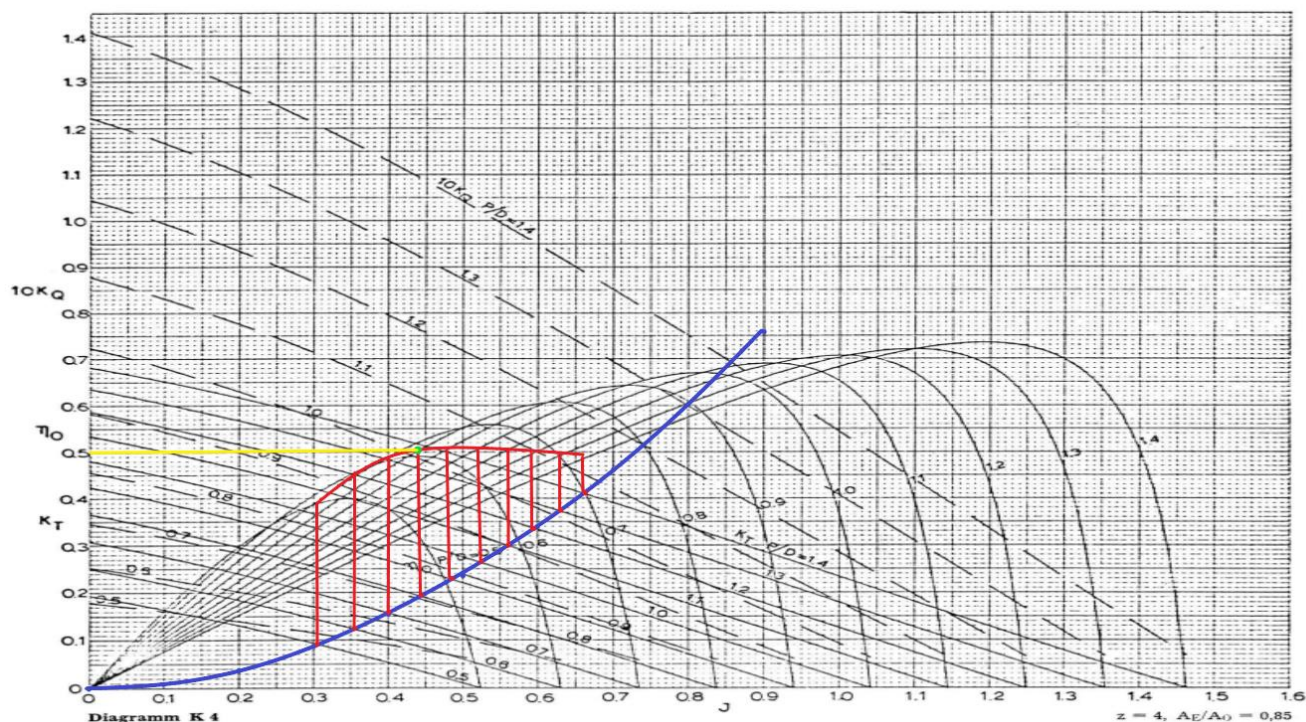
Διάγραμμα Γ.2: Σχεδιασμός $K_T=C*J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, B4.55. (Πηγή: Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019)

B4.70 (Wageningen):



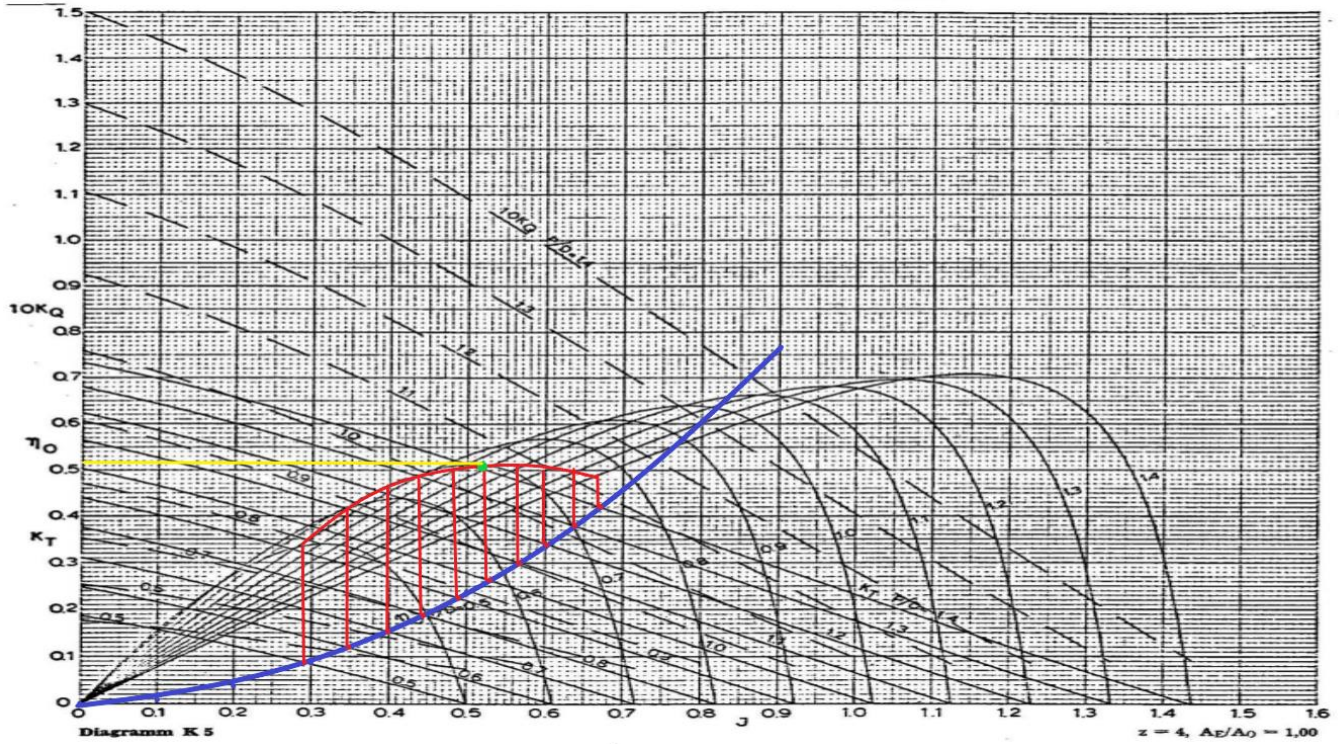
Διάγραμμα Γ.3: Σχεδιασμός $K_T=C*J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, B4.70. (Πηγή: Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019)

B4.85 (Wageningen):



Διάγραμμα Γ.4: Σχεδιασμός $K_T=C*J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, B4.85. (Πηγή: Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019)

B4.100 (Wageningen):



Διάγραμμα Γ.5: Σχεδιασμός $K_T=C \cdot J^2$ στο διάγραμμα ελεύθερης ροής της έλικας, B4.100. (Πηγή: Πολίτης Κ. Γεράσιμος, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, 5η Έκδοση, Αθήνα 2019)

Παράρτημα Δ

1	Στοιχεία Υπό Μελέτη Πλοίου:							
2	V _{ship} =	14.5 (knots)	=	7.459 (m/s)				
3	DWT=	105000 (mt)	=	115742.782 (t)	=	116000 (t)		
4	L _{pp} =	235.371 (m)						
5	B=	43 (m)						
6	T=	15 (m)						
7	D=	21.4 (m)						
8	C _b =	0.885						
9	C _m =	0.995						
10	C _p =	0.89						
11	C _{wp} =	0.924						
12	Δ=	137891.8951 (t)						
13	V=	134410.659 (m ³)						
14	P=	13682.21382 (kW)						
15	P _{gen} =	612.016 (kW)						
16								
17								
18	Λόγοι Διαστάσεων Υπό Μελέτη - Πατρικό Πλοίο:							
19	Λυπό μελέτη / Λπατρικό=L1/L0=	0.985	λυπό μελέτη=	=ιπατρικού*	(Λυπό μελ./Λπατρικού)			
20	Βυπό μελέτη / Βπατρικό=B1/B0=	0.977						
21	Δυπό μελέτη / Δπατρικό=D1/D0=	1.002	δυπό μελέτη=	=ηπατρικού*	(Δυπό μελ./Δπατρικού)			
22								
23	1η Εκτίμηση:							
24	Μέθοδος Watson:							
25	E _n =L(B+T)+0.8L(D-T)+0.85Σh ₁ i ₁ i+0.75Σh ₂ i ₂ i							
26	ΥΠΟ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ:				ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ:			
27	Υπερστεγάσματα:	Μήκος l (m)	Υψος h (m)	L*h (m ²)	Υπερστεγάσματα:	Μήκος l (m)	Υψος h (m)	L*h (m ²)
28	B Deck	24.817	2.756	68.408	B Deck	25.2	2.75	69.3
29	C Deck	17.136	2.756	47.234	C Deck	17.4	2.75	47.85
30	D Deck	17.136	2.756	47.234	D Deck	17.4	2.75	47.85
31	Navigation Bridge Deck	15.068	2.656	40.023	Navigation Bridge Deck	15.3	2.65	40.545
32	Άθροισμα:		Σ=	202.898 (m ²)	Άθροισμα:		Σ=	205.545 (m ²)
33								

< > ≡ Πατρικό Πλοίο Wsteel Woutfitting Wmachinery Wlightship Υπό Μελέτη Πλοίο Wsteel Woutfitting"

Εικόνα Δ: Αξιοποίηση του Excel για τον υπολογισμό διαφόρων μεγεθών-παραμέτρων ως προς την υλοποίηση της Προμελέτης.