



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

«ΜΕΛΕΤΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΕΠΙΒΑΤΑΓΩΓΟΥ-ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟΥ
(ΕΓ-ΟΓ) ΠΛΟΙΟΥ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΕΦΑΤΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο παρόν θέμα γίνεται μελέτη και σχεδίαση ενός επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου (ROPAX) περίπου 120 μέτρα ολικό μήκος. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία γενική εισαγωγή στο θέμα της εργασίας.

Η πρώτη πρόκληση που αντιμετωπίστηκε στο στάδιο της προμελέτης ήταν η επιλογή των κύριων διαστάσεων (Κεφάλαιο 2) του υπό μελέτη πλοίου, στο οποίο δόθηκε το όνομα JUPITER.

Στο 3^ο κεφάλαιο υπολογίζεται το βάρος του άφορτου σκάφους του πλοίου (Lightship) με τη βοήθεια προσεγγιστικών μεθόδων.

Με γνωστές τις κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου, ακολούθησε ο σχεδιασμός του Σχεδίου Γενικής Διάταξης του JUPITER στο κεφάλαιο 4 και της Μέσης Τομής στο κεφάλαιο 5. Για τη σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD.

Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε το Ναυπηγικό πακέτο προγραμμάτων AVEVA MARINE (Lines, Surface & Compartment, Hydrostatics & Hydrodynamics). Με τη βοήθεια του Lines αναπτύχθηκε το Σχέδιο Γραμμών της γάστρας του πλοίου. Με γνωστή πλέον τη γεωμετρία της γάστρας, προχωρήσαμε στη διαμερισματοποίηση του εσωτερικού της με τη βοήθεια του Surface & Compartment. Στο τελευταίο εκ των τριών προγραμμάτων (Hydrostatics & Hydrodynamics) πραγματοποιήθηκαν υδροστατικοί και λοιποί υπολογισμοί, πιθανοθεωρητικός έλεγχος της ευστάθειας του πλοίου μετά από βλάβη καθώς και σχεδιάστηκαν οι καταστάσεις φόρτωσης. Όλα τα σχετικά με το AVEVA MARINE παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται διάφοροι υπολογισμοί σχετικοί με το πλοίο, όπως ο κανονισμός της Γραμμής Φόρτωσης, η καταμέτρηση του πλοίου, η σύνθεση του πληρώματος και ο αριθμός εξοπλισμού.

Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται το Safety Plan του υπό μελέτη πλοίου στο οποίο εμπεριέχονται πληροφορίες σχετικά με την πυρασφάλεια, τα σωστικά μέσα και τις οδούς διαφυγής του πλοίου. Για τη σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε και πάλι το AutoCAD ενώ ακολουθήθηκαν και οι αντίστοιχοι κανονισμοί της S.O.L.A.S. (Safety of Life at Sea).

Το κεφάλαιο 9 σχετίζεται με την πρόωση του πλοίου. Αρχικά έγινε υπολογισμός της αντίστασης ρυμούλκησης της γάστρας του πλοίου σε ελεύθερη ροή με τη βοήθεια του προγράμματος Shipflow. Με γνωστή την αντίσταση, μπορεί να υπολογιστεί πλέον η απαιτούμενη ώση που πρέπει να είναι ικανές να αναπτύξουν οι δύο (2) έλικες του πλοίου. Αφού επιλέχθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των ελίκων και με γνωστή την απαιτούμενη ώση, ο κώδικας Grid_d παρέχει το συνδυασμό στροφών-ισχύος (MCR operation point) στον οποίο πρέπει να λειτουργούν οι έλικες και καταλήγουμε στην επιλογή κατάλληλων Κύριων Μηχανών και μειωτήρων στροφών από καταλόγους κατασκευαστών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο 10 παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη κάποιων πτυχών της παρούσας εργασίας που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ζαραφωνίτη Γεώργιο, αφενός διότι μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του και να καταπιαστώ με ένα θέμα το οποίο με ενδιέφερε και διεύρυνε σημαντικά τη γνώση μου πάνω στα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία, αφετέρου διότι μου προσέφερε συνεχή και άμεση καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας,

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους κυρίους Μουρκογιάννη Δημήτριο και Αθανασάτο Ιωάννη από το PC lab της σχολής μας και από τη Διεύθυνση Επιθεώρησης Πλοίων (Δ.Ε.Π.) του Υπουργείου Ναυτιλίας αντίστοιχα, για την πολύτιμη βοήθεια τους και το χρόνο που μου διέθεσαν.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ οφείλω στους αρχικά συναδέλφους και πλέον φίλες και φίλους που απέκτησα όλα αυτά τα χρόνια στη σχολή και με τους οποίους μοιράζομαι πολύ όμορφες στιγμές και αναμνήσεις. Ακόμα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κοπέλα μου για την κατανόηση και εμπύχωση που μου προσέφερε στις δύσκολες στιγμές.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω την παρούσα εργασία στην οικογένειά μου, τους γονείς μου και τον αδερφό μου, που αποτελούσαν μόνιμο στήριγμα καθόλα τα φοιτητικά μου χρόνια και όχι μόνο. Η στήριξη και τα εφόδια που μου παρείχαν αποτελούν ανεκτίμητη βοήθεια στη μέχρι στιγμής σταδιοδρομία μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	8
ΕΙΚΟΝΕΣ	8
ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	9
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	9
ΣΧΕΔΙΑ	10
ΣΧΗΜΑΤΑ	11
ΤΕΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ.....	12
1. Εισαγωγή	13
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	13
1.2 Μελέτη & Σχεδίαση Πλοίου	15
1.3 Γενική Περιγραφή Πλοίων ROPAX	19
1.3.1 Πυρασφάλεια	20
1.3.2 Safe Return to Port	20
1.3.3 Σωστικά μέσα.....	20
1.3.4 Σταθμοί διάσωσης/συγκέντρωσης (Muster Stations) και οδοί διαφυγής	22
1.3.5 Έλικες.....	23
1.3.6 Bow thrusters.....	24
1.3.7 Διπύθμενο & φρακτές.....	25
1.3.8 Καταπέλτες & Καταστρώματα	25
1.3.9 Προωστήρια εγκατάσταση	27
2. Κύριες Διαστάσεις υπό μελέτης Πλοίου.....	31
2.1 Απαιτήσεις πλοιοκτήτη	31
2.2 Δεδομένα από υπάρχοντα πλοία	31
2.3 Ολικό μήκος L_{OA} και μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}	32
2.4 Πλάτος B	32
2.5 Βύθισμα Σχεδίασης T_{des}	33
2.6 Κοίλο D	34
2.7 Ταχύτητα υπηρεσίας V_s	34
2.8 Συντελεστής γάστρας C_B	34
2.9 Έλεγχος εκτοπίσματος.....	34
2.10 Σύνοψη χαρακτηριστικών υπό μελέτη πλοίου (Προμελέτη)	36
3. Βάρος Κενού Σκάφους (Lightship).....	37

3.1	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}	38
3.1.1	Μέθοδος Schneekluth.....	38
3.1.2	Μέθοδος Muller-Koster.....	38
3.1.3	Συνδυασμός των 2 μεθόδων	39
3.2	Βάρος Εξοπλισμού και Ενδιαίτησης W_{OT}	39
3.3	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M	41
3.4	Σύνοψη.....	41
3.5	Υπολογισμός κέντρου βάρους KG και LCG κενού σκάφους LS	43
4.	Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan - G.A.).....	44
4.1	Μέση τομή (Midship section).....	46
4.2	Προφίλ (Profile)	48
4.2.1	Κατασκευαστικοί νομείς (frame spacing & web frames)	48
4.2.2	Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης (Collision Bulkhead).....	49
4.2.3	Υδατοστεγείς Φρακτές – Διαμερισματοποίηση	49
4.3	Καταστρώματα (Decks).....	52
4.3.1	Κατώτερο στρώμα (Καταστρώματα 1 και 2)	52
4.3.1.1	Κατάστρωμα 1 – Διπύθμενο (Deck 1 – Double Bottom)	52
4.3.1.2	Κατάστρωμα 2 (Deck 2)	53
4.3.2	Ενδιάμεσο στρώμα (Καταστρώματα 3,4 και 5)	56
4.3.2.1	Κατάστρωμα 3 – Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (Deck 3 – Main Deck)	56
4.3.2.2	Κατάστρωμα 4 (Deck 4).....	57
4.3.2.3	Κατάστρωμα 5 – Άνω Κατάστρωμα οχημάτων (Deck 5 – Upper Deck)	57
4.3.3	Ανώτερο στρώμα (Καταστρώματα 6, 7 και 8)	60
4.3.3.1	Κατάστρωμα 6 (Deck 6).....	60
4.3.3.2	Κατάστρωμα 7 (Deck 7).....	60
4.3.3.3	Κατάστρωμα 8 – Κατάστρωμα καιρού (Deck 8 – Weather Deck)	61
5.	Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section).....	63
5.1	Σύστημα ενίσχυσης.....	63
5.2	Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμηκών ενισχυτικών (MARS2000) 64	
5.3	Κύρια κατασκευαστικά στοιχεία (Primary Support Members)	66
5.4	Σχέδιο σε AutoCAD	67
6.	Aveva Marine	68
6.1	Lines – Σχέδιο Γραμμών	68
6.2	Surface & Compartment (Διαμερισματοποίηση).....	73
6.3	Hydrostatics & Hydrodynamics.....	78

6.3.1	Κατανομή βάρους άφορτου σκάφους (Lightship distribution)	78
6.3.2	Υδροστατικό διάγραμμα.....	79
6.3.3	Deadweight Scale	82
6.3.4	Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (Cross curves of stability)	84
6.3.5	Κατακλύσιμα μήκη (Floodable lengths)	85
6.3.6	Καταστάσεις φόρτωσης (Loading conditions)	86
6.3.7	Έλεγχος Άθικτης ευστάθειας (Intact Stability).....	89
6.3.7.1	Κανονισμός A749 (18)	89
6.3.7.2	Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion).....	90
6.3.8	Ευστάθεια μετά από βλάβη (SOLAS 2009).....	91
7.	Διάφοροι Υπολογισμοί	98
7.1	Γραμμή Φόρτωσης (Load Line).....	98
7.2	Αριθμός Εξοπλισμού EN.....	103
7.3	Καταμέτρηση.....	105
7.3.1	Ολική Χωρητικότητα GT (Gross Tonnage).....	105
7.3.2	Καθαρή Χωρητικότητα NT (Net Tonnage)	106
7.4	Σύνθεση πληρώματος.....	107
8.	Safety Plan.....	109
8.1	Σχέδιο Πυρασφάλειας (Fire Plan).....	109
8.1.1	Συστήματα Παροχής Νερού (Water Supply Systems & Fixed fire-extinguishing Systems)	110
8.1.2	Φορητές πυροσβεστικές συσκευές (Portable fire extinguishers).....	111
8.2	Σωστικά μέσα (Lifesaving appliances).....	111
8.3	Σχέδιο Οδών διαφυγής (Evacuation Plan).....	113
8.4	Σχέδιο σε AutoCAD	113
9.	Πρωοστήρια Εγκατάσταση	115
9.1	Αντίσταση.....	115
9.1.1	Computational Fluid Dynamics – CFD	116
9.1.2	Δημιουργία επιφάνειας γάστρας.....	117
9.1.3	Αποτελέσματα Shipflow	118
9.2	Αλληλεπίδραση γάστρας – έλικας.....	120
9.2.1	Ποσοστό ομόρου w	121
9.2.2	Ποσοστό μείωσης ώσης t	121
9.2.3	Βαθμός απόδοσης γάστρας η_H	122
9.2.4	Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R	122
9.3	Έλικες	123

9.3.1	Αριθμός ελίκων	123
9.3.2	Τύπος έλικας	123
9.3.3	Απαιτούμενη αναπτυσσόμενη ώση ελίκων T	124
9.3.4	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελίκων.....	124
9.3.4.1	Διάμετρος D	124
9.3.4.2	Αριθμός πτερυγίων z	125
9.3.4.3	Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0	125
9.3.4.4	Βήμα της έλικας P.....	126
9.3.4.5	Συνοπτικός πίνακας.....	129
9.3.5	Σπηλαιώση (Cavitation) της έλικας – Κριτήριο του Burrill.....	130
9.4	Επιλογή Κύριων Μηχανών	131
9.4.1	Διάγραμμα φόρτισης (Load Diagram) Κύριων Μηχανών	132
9.5	Επιλογή μειωτήρων στροφών	133
9.6	Δείκτης EEDI (Energy Efficiency Desing Index).....	134
10.	Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες	137
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Καταστάσεις φόρτωσης)	140

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 6.3.1.1: Κατανομή βάρους άφορτου σκάφους Lightship LS σύμφωνα με το Νηογνώμονα Lloyd's Register.	79
Διάγραμμα 6.3.2.1: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου.	81
Διάγραμμα 6.3.3.1: Deadweight Scale.	83
Διάγραμμα 6.3.4.1: Διάγραμμα καμπυλών ευστάθειας (Cross curves of stability).	84
Διάγραμμα 6.3.5.1: Κατακλύσιμα μήκη με διαχωρητότητες 60%, 85% και 95%.	86
Διάγραμμα 6.3.8.2.1: Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion).	90
Διάγραμμα 9.1.3.1: Διάγραμμα Αντίστασης R – Ταχύτητας πλεύσης V_s	119
Διάγραμμα 9.2.4.1: Διάγραμμα υπολογισμούς βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής n_R της μεθόδου BSRA.	123
Διάγραμμα 9.3.4.4.1: Πλέγμα ισοβηματικών και ισοταχών καμπυλών της έλικας υπό σταθερή διάμετρο.	127
Διάγραμμα 9.3.5.1: Διάγραμμα του Burrill με σημειωμένο το σημείο λειτουργίας κάθε έλικας. [32]	130
Διάγραμμα 9.4.1.1: Διάγραμμα φόρτισης (Load Diagram) των κινητήρων και χαρακτηριστικές καμπύλες της έλικας BHP-n.	133

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1.1: Train ferry.	14
Εικόνα 1.3.3.1: Πλήρως κλειστή σωσίβια λέμβος.	21
Εικόνα 1.3.3.2: Marine Evacuation System (M.E.S.).	22
Εικόνα 1.3.5.1: Οι προπέλες διπλέλικου επιβατηγού πλοίου.	24
Εικόνα 1.3.6.1: Bow thrusters επιβατηγού πλοίου.	24
Εικόνα 1.3.8.1: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με δύο πρυμναίους καταπέλτες.	25
Εικόνα 1.3.8.2: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με πρυμναίο καταπέλτη υπό γωνία.	26
Εικόνα 1.3.8.3: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με πρωραίο καταπέλτη.	27
Εικόνα 1.3.9.1: Αξονικό σύστημα πλοίου RoPax, ενισχυμένο με V-brackets, που καταλήγει στην έλικα και το πηδάλιο.	28
Εικόνα 6.1.1: Βασικές παράμετροι υπό μελέτη πλοίου για το AVEVA LINES.	68
Εικόνα 6.1.2: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο lines 1.	70
Εικόνα 6.1.3: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο lines 2.	71
Εικόνα 6.2.1: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο Surface & Compartment 1. .	74
Εικόνα 6.2.2: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο Surface & Compartment 2. .	75
Εικόνα 6.2.3: Τελική μορφή του πλοίου (γάστρα & υπερκατασκευές).	77
Εικόνα 9.1.2.1: Τελική επιφάνεια γάστρας στο Rhinoceros.	118

ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Ραβδόγραμμα 9.1.3.1: Ποσοστό συνεισφοράς συνιστωσών αντίστασης στην ολική συναρτήση της ταχύτητας πλεύσης	120
---	-----

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας: Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών υπό μελέτη πλοίου.....	12
Πίνακας 2.1.1: Απαιτήσεις πλοιοκτήτη.	31
Πίνακας 2.2.1: Στοιχεία πλοίων.	32
Πίνακας 2.4.1: Πίνακας στοιβασίας.	33
Πίνακας 2.10.1: Χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου (φάση Προμελέτης).	36
Πίνακας 3.1.1.1: Υπολογισμός βάρους γάστρας W_H κατά Schneekluth.....	38
Πίνακας 3.1.3.1: Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}	39
Πίνακας 3.2.1: Υπολογισμός βάρους καταπελτών (φορτοεκφορτωτικών μέσω).	40
Πίνακας 3.4.1: Υπολογισμός βάρους άφορτου σκάφους LS_{calc}	41
Πίνακας 3.4.2: Τελικές διαστάσεις υπό μελέτη πλοίου.....	42
Πίνακας 3.5.1: Αναλυτικός υπολογισμός κέντρου βάρους KG και LCG του κενού σκάφους LS.	43
Πίνακας 3.5.2: Υπολογισμός πραγματικού κέντρου βάρους KG και LCG του κενού σκάφους LS.	43
Πίνακας 5.2.1: Βασικές διαστάσεις υπό μελέτη πλοίου για το MARS2000.	64
Πίνακας 6.2.1: Κατηγορίες διαμερισμάτων-δεξαμενών υπό μελέτη πλοίου.....	76
Πίνακας 6.3.1.1: Δεδομένα κατανομής βάρους άφορτου σκάφους κατά Lloyd's Register.....	78
Πίνακας 6.3.2.1: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου 1.....	80
Πίνακας 6.3.2.2: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου 2.....	81
Πίνακας 6.3.3.1: Δεδομένα για τους υπολογισμούς του Deadweight Scale.....	82
Πίνακας 6.3.5.1: Διαμήκης θέση εγκάρσιων υδατοστεγών φρακτών.	85
Πίνακας 6.3.7.1: Συνοπτικός πίνακας στοιχείων καταστάσεων φόρτωσης.....	88
Πίνακας 6.3.8.1: Απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης R κατά SOLAS 2009 συναρτήση των επιβαινόντων.	93
Πίνακας 6.3.8.2: Όρια διαμερισμάτων υπό μελέτη πλοίου.	96
Πίνακας 6.3.8.3: Δεδομένα καταστάσεων φόρτωσης για SOLAS 2009.....	96
Πίνακας 6.3.8.4: Αποτελέσματα SOLAS 2009 ανά ζώνη.....	97
Πίνακας 7.1.1: Υπολογισμός μήκους κανονισμού Γραμμής Φόρτωσης L_{LILC}	99
Πίνακας 7.1.2: Βασικό Ύψος Εξάλων BYE υπό μελέτη πλοίου.....	99
Πίνακας 7.2.1: Υπολογισμός Αριθμού Εξοπλισμού EN.	104
Πίνακας 7.2.2: Χαρακτηριστικά αγκύρων, καδενών και σχοινιού ρυμουλκήσεως βάση του Αριθμού Εξοπλισμού EN.....	105

Πίνακας 7.3.2.1: Υπολογισμός Καθαρής Χωρητικότητας NT του υπό μελέτη πλοίου.	107
Πίνακας 7.4.1: Σύνθεση πληρώματος υπό μελέτη πλοίου.....	108
Πίνακας 9.1.3.1: Αποτελέσματα αντίστασης ρυμούλκησης Shipflow.	119
Πίνακας 9.2.1: Υπολογισμός ποσοστού ομόρου w για το υπό μελέτη πλοίο.	121
Πίνακας 9.2.2: Υπολογισμός ποσοστού μείωσης ώσης t για το υπό μελέτη πλοίο.	122
Πίνακας 9.2.4.1: Εμπλεκόμενα μεγέθη στον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής n_R μέσω του διαγράμματος της μεθόδου BSRA.	122
Πίνακας 9.3.4.4.1: Δεδομένα εισόδου (input) στον κώδικα Grid_d.	126
Πίνακας 9.3.4.4.2: Αποτελέσματα (δεδομένα εξόδου – output) του κώδικα Grid_d για την ισοσταχή καμπύλη των 18 κόμβων στην κατάσταση πλεύσης A.....	128
Πίνακας 9.3.4.4.3: Αποτελέσματα (δεδομένα εξόδου – output) του κώδικα Grid_d για την ισοσταχή καμπύλη των 18 κόμβων στην κατάσταση πλεύσης B.....	128
Πίνακας 9.3.4.5.1: Χαρακτηριστικά ελίκων υπό μελέτης πλοίου.	129
Πίνακας 9.4.1: Χαρακτηριστικά των Κύριων Μηχανών.....	132
Πίνακας 9.6.1: Μεταβλητές τιμής αναφοράς (reference) δείκτη EEDI.	135
Πίνακας 9.6.2: Σύγκριση επιτευχθείσας τιμής του δείκτη A_{EEDI} με τις κανονιστικές επιτρεπόμενες R_{EEDI}	135

ΣΧΕΔΙΑ

Σχέδιο 1.3.9.2: Συμβατικό σύστημα πρόωσης επιβατηγού πλοίου.	28
Σχέδιο 1.3.9.3: Διάταξη Κυρίως Μηχανών σε δύο (2) μηχανοστάσια.	29
Σχέδιο 1.3.9.4: Εναλλακτική διάταξη δύο (2) μηχανοστασίων.....	30
Σχέδιο 2.4.1: Διαστάσεις οχημάτων.....	33
Σχέδιο 4.1: Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου (Jupiter).....	45
Σχέδιο 4.1.1: Μέση τομή Σχεδίου Γενικής Διάταξης.	46
Σχέδιο 4.2.3.1: Προφίλ υπό μελέτη πλοίου.....	51
Σχέδιο 4.3.1.1: Καταστρώματα 1 (διπύθμενο) και 2.....	55
Σχέδιο 4.3.2.1: Καταστρώματα 3, 4 και 5.	59
Σχέδιο 4.3.3.1: Καταστρώματα 6, 7 και 8.	62
Σχέδιο 5.4.1: Σχέδιο Μέσης Τομής υπό μελέτη πλοίου.	67
Σχέδιο 6.1.1: Σχέδιο Γραμμών της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου.....	72
Σχέδιο 6.3.8.2: Στεγανή υποδιαίρεση του υπό μελέτη πλοίου.	94
Σχέδιο 8.4.1: Safety Plan υπό μελέτης πλοίου.	114

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.2.1: Στοιχεία που εμπλέκονται στη διαδικασία της σχεδίασης (Nowacki 2009).	15
Σχήμα 1.2.2: Κλασική Σπείρα Παραδοσιακής Σχεδίασης του Evans, 1959.	16
Σχήμα 5.2.1: Διατομή ενός Bulb Flat.	65
Σχήμα 6.3.8.1: Τα βυθίσματα d_s , d_p , d_l κατά SOLAS 2009.	92
Σχήμα 7.1.1: Σύμβολα του Plimsoll (Plimsoll marks) για τη Γραμμή Φόρτωσης.	98
Σχήμα 7.2.1: Ενεργό ύψος υπερκατασκευών (για πλάτος μεγαλύτερο του $B/4$).	103
Σχήμα 9.1.1.1: Απεικόνιση των τριών (3) ζωνών που απαρτίζουν την υπολογιστική περιοχή στην προσέγγιση με ζώνες (Zonal approach).	117

ΤΕΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά κάποια εκ των βασικότερων χαρακτηριστικών που περιγράφουν το υπό μελέτη πλοίο.

Όνομα πλοίου	Jupiter
Τύπος πλοίου	Επιβατηγό – Οχηματαγωγό (ROPAX)
L_{OA}	118.2 m
L_{BP}	108.02 m
L_{WL}	117.73 m
L_R	109.06 m
B	18.5 m
T_{des}	5.1 m
D_{MD} (Main Deck)	7.25 m
D_{UD} (Upper Deck)	12.25 m
Trailers & Cars	21 trailers / 105 cars @ MD & 94 cars @ UD
Passengers (max)	1500
Crew	60
C_B	0.577
C_P	0.626
C_M	0.922
C_{WL}	0.842
LS	4144.07 tons
DWT	1912.4 tons
Δ	6056.5 tons
GT	9760.32 κόροι
NT	4760.05 κόροι
Equipment Number EN	1188.63
Vs	18 knots
Froude number	0.279
Rt (@Vs)	29179.6 kp
Total BHP (MCR)	5280 kW
No of Main Engines x MCR (manufacturer)	4 x 1320 kW (Wartsila)
No of Gensets (manufacturer)	3 (Wartsila) + 1 emergency (Wartsila)
No of propellers	2
Type of propellers	Controllable Pitch Propellers CPP
Diameter of propellers	3.5 m
Number of blades on propellers z	4
A_E/A_O	0.44
P/D	1.2
P	4.2 m
EEDI attained	50.26 g/tm

Πίνακας: Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών υπό μελέτης πλοίου.

1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς του Διεθνούς Οργανισμού Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization – IMO), επιβατηγό θεωρείται κάθε εμπορικό πλοίο που με βάση τα πιστοποιητικά του επιτρέπεται να μεταφέρει περισσότερους από 12 επιβάτες.

Τα επιβατηγά πλοία διακρίνονται σε αμιγώς επιβατηγά (pure passenger ships), όπως είναι τα μικρά πορθμεία (ferries) και τα κρουαζιερόπλοια (cruise ships), και σε επιβατηγά-οχηματαγωγά (RoPax).

Τα πλοία τύπου RoPax χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες γραμμές και τακτά δρομολόγια (μικρών και μεσαίων αποστάσεων) και αποτελούν σημαντικούς κρίκους μιας ευρύτερης αλυσίδας μεταφορών και επικοινωνιών, μεταφέροντας επιβάτες αλλά και οχήματα που εισέρχονται στο πλοίο με χρήση δικών τους μέσων (τροχών) από τους καταπέλτες του πλοίου. [1]

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία των επιβατηγών πλοίων είναι σχετικά σύντομη και ξεκινά στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, οπότε και για έναν αιώνα περίπου, είχαμε την κατασκευή μεγάλων υπερωκεάνιων που ήταν αναμφίβολα τα μεγαλύτερα, ταχύτερα και πιο προηγμένα πλοία της εποχής. Τα πρώτα αυτά υπερωκεάνια βέβαια, δεν ήταν αμιγώς επιβατηγά πλοία, καθώς εκτός από τους επιβάτες μπορούσαν να μεταφέρουν, στα κατάλληλα διαμορφωμένα αμπάρια τους, και σημαντικές ποσότητες φορτίου.

Τα μεγάλα υπερωκεάνια όμως τέθηκαν εκτός αγοράς λόγω της ανάπτυξης των αεροπορικών συγκοινωνιών. Λίγα από αυτά τα πλοία συνέχισαν τη λειτουργία τους ως κρουαζιερόπλοια. Από την άλλη πλευρά, το επιβατηγό πλοίο συνέχισε να χρησιμοποιείται σαν μέσο συγκοινωνίας σε μικρές αποστάσεις και σε συνδυασμό με τη μεταφορά οχημάτων. Έτσι προέκυψαν τα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά πλοία (RoRo passenger ferry ή RoPax), που διαθέτουν μεγάλα καταστρώματα οχημάτων στα οποία η επιβίβαση των οχημάτων γίνεται οδηγώντας (Roll on, Roll off) πάνω στους καταπέλτες του πλοίου. [1]

Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας τους, τα πλοία αυτά έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην ανάπτυξη του δικτύου μεταφορών σε παγκόσμιο επίπεδο, διευρύνοντας το εν λόγω δίκτυο της στεριάς διά μέσου της θαλάσσης.

Συγκεκριμένα, τα πλοία τύπου RoRo είχαν αρχικά σκοπό να εξυπηρετούν το σιδηροδρομικό δίκτυο, μεταφέροντας βαγόνια τρένων ανάμεσα σε λιμάνια. Στη συνέχεια, η επέκταση του σιδηροδρομικού δικτύου, δημιούργησε την ανάγκη κάλυψης νέων θαλάσσιων οδών για τη μεταφορά βαγονιών. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στη μετάβαση αυτών των πλοίων (των RoRo) από φορτηγίδες (barge-type vessels) σε σιδηροδρομικά πορθμεία (train ferries). Στη μετάβαση αυτή, λήφθηκε υπόψιν και η εξυπηρέτηση επιβατών που επιθυμούσαν να ταξιδέψουν για δουλειά ή αναψυχή. Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν υπερκατασκευές πάνω από το κύριο κατάστρωμα, οι οποίες περιείχαν χώρους σχεδιασμένους για τους επιβάτες.



Εικόνα 1.1.1: Train ferry.

Η ιδέα των πλοίων τύπου RoPax προέρχεται από τα αποβατικά πλοία (Landing Ship Tank – LST) που χρησιμοποιήθηκαν στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Η καινοτομία των πλοίων αυτών ήταν οι καταπέλτες που διέθεταν, που επέτρεπαν σε οχήματα να εισέρχονται στο κύτος του πλοίου απευθείας με δικά τους μέσα (τροχούς), αυξάνοντας σημαντικά τη ροή φορτοεκφόρτωσης.

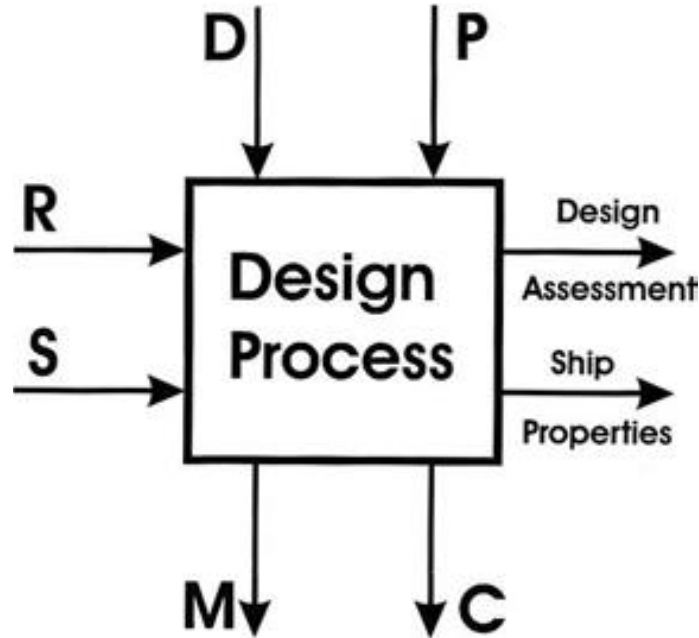
Μετά το πέρας του πολέμου, κάποια αποβατικά πλοία μετασκευάστηκαν σε πλοία τύπου RoPax. Οι κύριες προκλήσεις των μετασκευών αυτών ήταν η εκπλήρωση τεχνικών προδιαγραφών όσον αφορά στην ασφάλεια και η ανακαίνιση των εσωτερικών χώρων.

Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα τα RoPax εξελίχθηκαν σημαντικά και εδραιώθηκαν στην αγορά. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες με σημαντικότερο εξ αυτών την εδραίωση του αυτοκινήτου ως το πιο δημοφιλές μέσο μεταφοράς. Έχοντας λοιπόν την ικανότητα μεταφοράς τέτοιου είδους φορτίου μαζί με επιβάτες (μικτό φορτίο), αυξήθηκε η ζήτηση των πλοίων αυτών και κατά συνέπεια και η δυναμική της αγορά τους.

Οι τροποποιήσεις/βελτιώσεις που υπέστησαν τα πλοία αυτά, ήταν συνεχώς σε πλήρη αρμονία με την πρόοδο της τεχνολογίας, τη μεταπολεμική οικονομική άνθιση η οποία οδήγησε σε ανάπτυξη των θαλάσσιων εμπορικών οδών, αλλά και τον μεταβαλλόμενο τρόπο ζωής των επιβατών που εξυπηρετούσαν. Αυτές οδήγησαν στην κατασκευή μεγαλύτερων και καλύτερων πλοίων από πλευράς αρχιτεκτονικής, ασφάλειας και λειτουργικότητας με την πάροδο των χρόνων, καταλήγοντας σταδιακά στα σημερινά, σύγχρονα πλοία RoPax. [3]

1.2 Μελέτη & Σχεδίαση Πλοίου

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία που εμπλέκονται σε ένα πρόβλημα σχεδίασης πλοίου σύμφωνα με τον Nowacki (2009). [7]



Σχήμα 1.2.1: Στοιχεία που εμπλέκονται στη διαδικασία της σχεδίασης (Nowacki 2009).

Αυτά είναι:

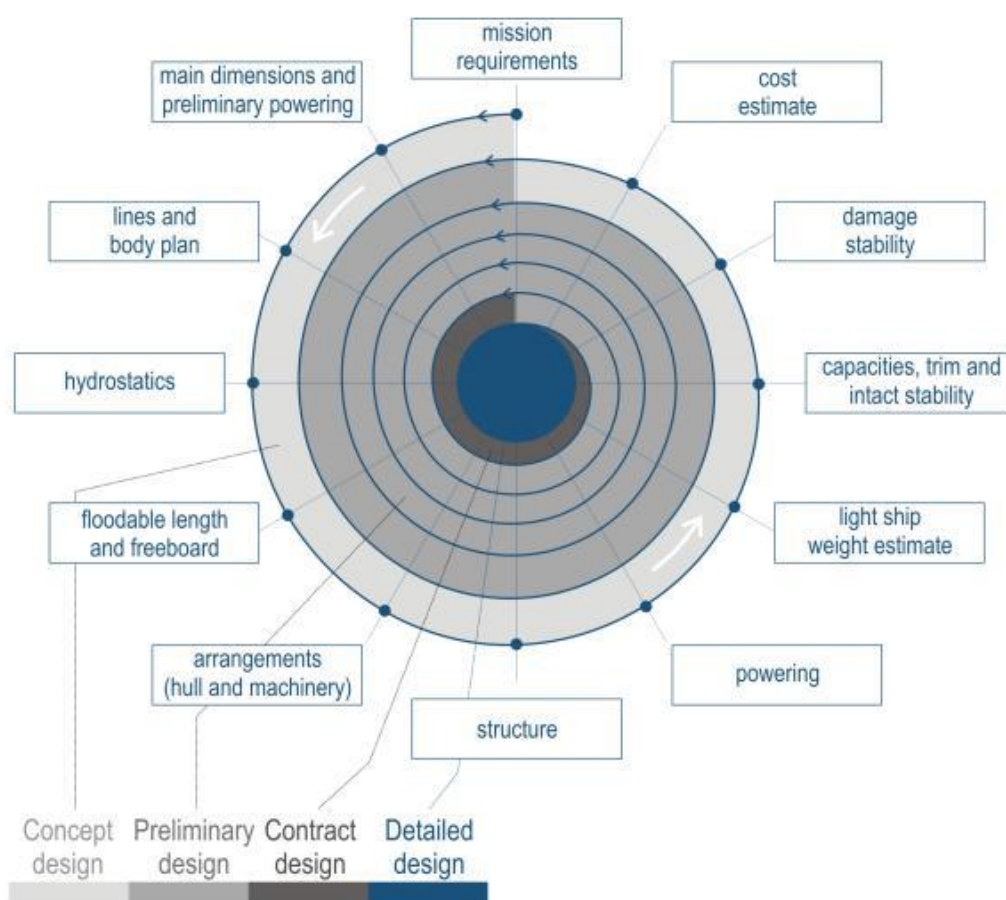
- R (Requirements): Λειτουργικές απαιτήσεις, νομικές απαιτήσεις, απαιτήσεις ασφάλειας, απαιτήσεις του ιδιοκτήτη και των χρηστών του τελικού προϊόντος.
- S (Solution space): Οριοθέτηση του χώρου στον οποίο θα αναζητηθούν οι αποδεκτές λύσεις του προβλήματος.
- D (Design variables): Μεταβλητές του προβλήματος σχεδίασης που μπορεί να καθορίσει ο σχεδιαστής, όπως οι βασικές διαστάσεις του πλοίου (π.χ. μήκος)
- P (Parameters): Μεταβλητές του προβλήματος σχεδίασης που καθορίζονται από το εκάστοτε σενάριο και παραμένουν σταθερές κατά τη σχεδίαση.
- M (Measures of merit): Η αντικειμενική συνάρτηση της σχεδίασης. Συνήθως χρησιμοποιούνται οικονομικά κριτήρια για εμπορικά πλοία.
- C (Constraints): Οι περιορισμοί του προβλήματος που μπορεί να προκύψουν από τις απαιτήσεις της Γραμμής Φόρτωσης, την ευστάθεια, κ.ά.
- Design assessment: Αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης που ικανοποιεί όλες τις ανωτέρω απαιτήσεις, περιορισμούς και κριτήρια.
- Ship properties: Απαρίθμηση των επιτευχθέντων σχεδιαστικών ιδιοτήτων παρέχοντας μία πλήρη περιγραφή του τελικού προϊόντος. Αποτελεί τη βάση για την παραγωγή του προϊόντος.

Η διαδικασία της μελέτης και σχεδίασης ενός πλοίου αποτελείται συνήθως από τέσσερα (4) στάδια. Αυτά είναι τα εξής:

- Μελέτη Εφεκτικότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού (Concept Design-Feasibility Study)
- Προμελέτη (Preliminary Design)
- Συμβατική Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design)
- Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detail Design)

Οι δύο πρώτες φάσεις συγχωνεύονται στον γενικό ορισμό της Βασικής Μελέτης, που έχει σαν στόχο τον αρχικό προσδιορισμό των κύριων χαρακτηριστικών του πλοίου και επιτρέπει την προεκτίμηση του αρχικού κόστους. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της Συμβατικής Μελέτης ή Μελέτης Προδιαγραφών Συμβολαίου, αναπτύσσονται τα σχέδια και οι προδιαγραφές που απαιτούνται για τη σύναψη του συμβολαίου ναυπήγησης, ενώ η Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού που ακολουθεί, αποτελεί ευθύνη του ναυπηγείου που αναλαμβάνει τη λεπτομερή σχεδίαση όλων των κατασκευαστικών στοιχείων και των στοιχείων εξοπλισμού του πλοίου. [9]

Η σχεδίαση ενός πλοίου αντιμετωπίζεται ως μία διαδοχική διαδικασία η οποία μπορεί να απεικονιστεί από την Ελικοειδή Καμπύλη Μελέτης που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Η Ελικοειδής Καμπύλη Μελέτης (Design Spiral) αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε από τον Evans το 1959. [11]



Σχήμα 1.2.2: Κλασική Σπείρα Παραδοσιακής Σχεδίασης του Evans, 1959.

Η Σπείρα του Evans παρουσιάζει εξιδανικευμένη τη διαδικασία της μελέτης. Παρόλα αυτά, η παραδοσιακή ροή της μελέτης πράγματι εξετάζει ξεχωριστά κάθε ζήτημα της σχεδίασης και προχωράει σταδιακά, βήμα-βήμα, προς το τελικό αποτέλεσμα. Μετά το πέρας κάθε εξεταζόμενου σταδίου γίνονται τροποποιήσεις και βελτιώσεις, οι οποίες με κάθε επαναληπτική διαδικασία πλησιάζουν στο βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. [8]

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με την Κλασική Σπείρα Σχεδίασης και τη διαδικασία της μελέτης, τα περιεχόμενα των τεσσάρων (4) σταδίων περιγράφονται εν συντομία ως ακολούθως:

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

Είναι η αρχική προσπάθεια των μελετητών να μετατρέψουν τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη σε τεχνικά χαρακτηριστικά, ναυπηγικά και μηχανολογικά. Γίνεται επομένως ένας αρχικός καθορισμός του μήκους L , του πλάτους B , του κοίλου D , του βυθίσματος T , της απαιτούμενης ισχύος P_B , του συντελεστή γάστρας C_B με βασικό στόχο την ισορροπία μεταξύ δυνατοτήτων του πλοίου και ενός προσιτού κόστους κατασκευής. Περιλαμβάνει επίσης, προκαταρκτική εκτίμηση του βάρους του άφορτου σκάφους LS (Lightship) που συνήθως λαμβάνεται από διαγράμματα και εμπειρικές σχέσεις. Σε αυτό το στάδιο, εναλλακτικές σχεδιάσεις αναλύονται μέσω παραμετρικής μελέτης για να καθορισθεί η πιο οικονομική σχεδιαστική λύση, ανάλογα και με άλλα κριτήρια που μπορούν να καθορίσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η επιλεγμένη σχεδίαση από τις παραμετρικές μελέτες χρησιμοποιείται ως βάση για να αποκτηθεί ένα ενδεικτικό κόστος κατασκευής. Ανάλογα το κόστος, κρίνεται αν η σχεδίαση είναι βιώσιμη και εάν θα ακολουθήσει το επόμενο στάδιο της μελέτης με αυτή τη σχεδίαση. Ενδεικτικά, στο στάδιο αυτό αντιστοιχούσαν είκοσι (20) ανθρωποημέρες εργασίας τη δεκαετία του 1950. Η εξέλιξη των Η/Υ και των συναφών υποβοηθητικών προγραμμάτων-λογισμικών έχει υποπολλαπλασιάσει σήμερα τον προαναφερθέντα χρόνο περίπου στη μία ανθρωποημέρα. [9] [10]

- Προμελέτη (Preliminary Design) – *2η έως 5η σπείρα*

Το στάδιο της προμελέτης ενός πλοίου διυλίζει περαιτέρω τα βασικά χαρακτηριστικά που το καθορίζουν και τα οποία επηρεάζουν το κόστος και τις επιδόσεις του. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά όπως είναι το μήκος L , το πλάτος B , η απαιτούμενη ισχύς P_B και το νεκρό βάρος DWT οριστικοποιούνται σε αυτό το στάδιο για ολόκληρη τη διαδικασία της μελέτης. Η ολοκλήρωση του σταδίου της προμελέτης παρέχει μία ακριβή περιγραφή του πλοίου, το οποίο θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις. Ενδεικτικά, στο στάδιο αυτό αντιστοιχεί περίπου 15 φορές μεγαλύτερη προσπάθεια από αυτήν του προηγούμενου σταδίου. [9] [10]

- Συμβατική Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design) – 6η σπειρά

Στο στάδιο αυτό βασικός στόχος είναι η εκπόνηση των τελικών μελετών, σχεδίων και προδιαγραφών που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του επίσημου συμβολαίου μεταξύ πλοιοκτήτη και Ναυπηγείου. Το στάδιο αυτό περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά του πλοίου όπως τη μορφή της γάστρας μέσα από τις εξομαλυμένες ναυπηγικές γραμμές, τον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος, χαρακτηριστικά ναυσιπλοΐας και ελιγμών, τον λεπτομερή καθορισμό της μεταλλικής κατασκευής, τον αναλυτικό υπολογισμό των επιμέρους βαρών, του ολικού βάρους και των αντίστοιχων κέντρων βαρών, καθώς και την εκπόνηση των τελικών σχεδίων, όπως το τελικό σχέδιο Γενικής Διάταξης. Μέσω του σχεδίου Γενικής Διάταξης καθορίζονται και οριστικοποιούνται οι όγκοι και οι χώροι που θα καταλαμβάνουν το φορτίο, το μηχανοστάσιο, τα καύσιμα, το φρέσκο νερό, κ.ά. Ενδεικτικά, στο στάδιο αυτό αντιστοιχεί προσπάθεια περίπου 17 φορές μεγαλύτερη από αυτή του δεύτερου σταδίου (Προμελέτη). [9] [10]

- Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detail Design)

Αποτελεί το τελευταίο στάδιο της Μελέτης και Σχεδίασης κατά το οποίο αναπτύσσονται και σχεδιάζονται λεπτομερώς όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία και τα στοιχεία εξοπλισμού. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν αναλυτικές οδηγίες για την εφαρμογή και εγκατάσταση των στοιχείων αυτών πάνω στο πλοίο. Ενώ καθ' όλη τη διάρκεια του σχεδιασμού, σε κάθε φάση, τα σχέδια περνούσαν από τη μια ομάδα μηχανικών στην άλλη, σε αυτό το στάδιο έχουμε ανάθεση από τον μηχανικό στον τεχνίτη, συνεπώς τα σχέδια πρέπει να έχουν την απαιτούμενη πληρότητα ώστε να εξυπηρετούν πλήρως τις ανάγκες του τμήματος παραγωγής του ναυπηγείου. Σε αυτό το στάδιο δημιουργούνται οι απαραίτητες βάσεις για να ληφθούν τα κόστη από το Ναυπηγείο. Ενδεικτικά, στο στάδιο αυτό αντιστοιχούν εξήντα χιλιάδες (60000) ανθρωπομήρες εργασίας για δεδομένα της δεκαετίας του 1950. [9] [10]

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Έκτοτε, ολοένα και περισσότερα ζητήματα της σχεδίασης του πλοίου επεξεργάζονται και ολοκληρώνονται με τη βοήθεια υπολογιστών, ιδίως τα βαριά υπολογιστικά κομμάτια. Ταυτόχρονα, εμφανίστηκαν και τα πρώτα λογισμικά προκαταρκτικής σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Design – C.A.D.). Αυτά τα λογισμικά ασχολούνται με την παραμετρική διερεύνηση του σχεδιαστικού χώρου για απλοποιημένα μοντέλα πλοίων ή στοχεύουν να βρουν σχέσεις βελτιστοποίησης ανάμεσα στις σχεδιαστικές μεταβλητές με γνώμονα οικονομικά κριτήρια. Μελέτες με τη βοήθεια τέτοιων λογισμικών έχουν βρει μεγάλη επιτυχία ανά τα χρόνια στους τομείς της υδροδυναμικής βελτιστοποίησης της γάστρας.

Σε γενικές γραμμές, η πρόοδος των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και των διαθέσιμων λογισμικών παρέχουν στον σχεδιαστή-ερευνητή πρωτοφανή υπολογιστική ισχύ και δυνατότητες που επιτρέπουν την ολιστική προσέγγιση στο ζήτημα της σχεδίασης. Οπότε, ο σχεδιαστής μπορεί πλέον να αντιμετωπίσει και να βελτιστοποιήσει ταυτόχρονα πολλές πτυχές της σχεδίασης. [7]

1.3 Γενική Περιγραφή Πλοίων ROPAX

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα πλοία τύπου RoPax αποτελούν εμπορικά πλοία, δηλαδή κατασκευάζονται με στόχο την εκμετάλλευσή τους σε κάποιου είδους οικονομική δραστηριότητα. Άρα, η σχεδίαση τους επηρεάζεται άμεσα με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Με βάση αυτό το κριτήριο, η κατασκευή και η σχεδίαση στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, κάτι που επιτυγχάνεται με την ένταξη πολλαπλών ενιαίων καταστρωμάτων-υπερκατασκευών που εκτείνονται σχεδόν καθ' όλο το μήκος του πλοίου. Έτσι όμως ανυψώνεται το κέντρο βάρους δημιουργώντας προβλήματα ευστάθειας που πρέπει να επιλυθούν από τα πρώτα στάδια της μελέτης. Ακόμα, εξαιτίας των υπερκατασκευών αυξάνεται η προβεβλημένη επιφάνεια σε πλάγιους ανέμους που προκαλούν υπολογίσιμες ροπές εγκάρσιας κλίσης. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, σε κάποιες περιπτώσεις, υλοποιείται εν μέρει μέσω της χρήσης ελαφριών κραμάτων στις υπερκατασκευές, αντί του χάλυβα. Έτσι, ελαφραίνει η κατασκευή και κατεβαίνει το κέντρο βάρους της. Παρόλα αυτά, η απαραίτητη ευστάθεια εξασφαλίζεται κυρίως με αύξηση του πλάτους του πλοίου.

Όσον αφορά στο φορτίο τους, οι επιβάτες και τα οχήματα έχουν πολύ μικρό βάρος συγκριτικά με τον όγκο που καταλαμβάνουν. Αυτό οδηγεί στη μεταφορά μικρού Νεκρού Φορτίου (Deadweight - DWT) συγκριτικά με το μέγεθός τους (λόγος DWT/Δ στην περιοχή του 0.3), γεγονός που επιτρέπει τη σχεδίαση λεπτόγραμμης γάστρας. Η λεπτόγραμμη γάστρα βοηθάει στην επίτευξη υψηλών ταχυτήτων που μειώνουν τη διάρκεια του ταξιδιού.

Λόγω της μεταφοράς επιβατών, είναι υψίστης σημασίας η ασφάλεια σε αυτά τα πλοία και πρόκειται για μια πτυχή που καθορίζει αποφασιστικά τη σχεδίαση και την κατασκευή τους. Τα κύρια ζητήματα της ασφάλειας που λαμβάνονται υπόψιν είναι η ανατροπή και απώλεια του πλοίου λόγω θαλασσοταραχής, η ευστάθεια έπειτα από κατάκλυση των στεγανών διαμερισμάτων του πλοίου (σύγκρουση – ρήγμα) και η πρόληψη και αντιμετώπιση πυρκαγιάς (πυρασφάλεια). Η ασφάλεια αποτελεί ένα πολύπλευρο ζήτημα, καθώς αναφέρεται όχι μόνο στους επιβάτες, αλλά και στο πλήρωμα, το ίδιο το πλοίο, το φορτίο που μεταφέρει αλλά και το περιβάλλον. [1]

Η προστασία του περιβάλλοντος μεταφράζεται κυρίως σε χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα του πλοίου κατά τη λειτουργία του. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μείωση των εκπομπών βλαβερών αερίων της Κύριας Μηχανής, κάτι το οποίο με τη σειρά του μπορεί να επιτευχθεί με ποικιλία μεθόδων όπως τη χρήση αποδοτικότερων και λιγότερο βλαβερών καυσίμων, την υδροδυναμική βελτιστοποίηση της γάστρας, τη μείωση της ταχύτητας υπηρεσίας του πλοίου κ.ά. Η μείωση της ταχύτητας των πλοίων αποτελεί τάση τα τελευταία χρόνια τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς λόγους (χαμηλότερη κατανάλωση). Όμως, μειώνει την εμπορικότητα του πλοίου, καθώς το φορτίο φτάνει αργοπορημένα στον προορισμό του. Ακόμα, μεγάλη μείωση της ταχύτητας του πλοίου μπορεί να οδηγήσει και σε λιγότερα δρομολόγια. Την τελευταία δεκαετία η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου μετράται με το δείκτη EEDI (Energy Efficiency Design Index). Σκοπός του EEDI είναι να μετριάσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των πλοίων.

Το επίπεδο της ασφάλειας σε σχέση με τους προβλεπόμενους κινδύνους καθορίζεται από τις απαιτήσεις των αρμόδιων κανονισμών που ισχύουν κατά περίπτωση, με σημαντικότερη τη «Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα» (Safety of Life at Sea – S.O.L.A.S.) που συντάσσεται από τον IMO. Μερικές από τις ενέργειες που ενισχύουν την ασφάλεια αναλύονται παρακάτω. [1]

1.3.1 Πυρασφάλεια

Το πλοίο χωρίζεται σε κάθετες ζώνες πυρασφάλειας που βοηθούν στον περιορισμό της πυρκαγιάς. Το κατάστρωμα των οχημάτων είναι απομονωμένο από το υπόλοιπο πλοίο και λειτουργεί σαν μία αυτόνομη ζώνη πυρασφάλειας. Οι πόρτες που συνδέουν τις ζώνες αυτές είναι ειδικές πόρτες πυρασφάλειας, οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες λειτουργούν σαν κανονικές πόρτες. Σε περίπτωση πυρκαγιάς όμως, κλείνουν ερμητικά και δεν επιτρέπουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η αντοχή τους εξαρτάται από την κλάση τους και μπορούν να αντέξουν μερικές ώρες. [3], [5]

Για την κατάσβεση της φωτιάς, υπάρχουν τοποθετημένοι πυροσβεστήρες σε κάθε ζώνη αλλά και μόνιμα αυτόματα συστήματα καταιόνησης με χρήση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή νερού-Sprinkler (H₂O). Αυτά τα συστήματα ενεργοποιούνται αυτόματα όταν οι πυραυλιχνευτές, που θεωρούνται υπερευαίσθητοι, εντοπίσουν την πυρκαγιά. Πέρα από τα αυτόματα συστήματα υπάρχουν και σταθεροί πυροσβεστικοί κρουνοί που χρησιμοποιούνται χειροκίνητα και μαζί με τις λήψεις τους μπορούν να «εξυπηρετήσουν» μία περιοχή ακτίνας περίπου 25 μέτρων. [5]

1.3.2 Safe Return to Port

Σύμφωνα με τους κανονισμούς ασφαλούς επιστροφής σε λιμάνι της SOLAS (Safe Return to Port – SRtP regulations), όλα τα επιβατηγά πλοία μήκους 120 μέτρων και άνω ή που διαθέτουν τουλάχιστον τρεις (3) ζώνες πυρασφάλειας πρέπει να είναι ικανά να επιστρέψουν με δικά τους μέσα στο πλησιέστερο λιμάνι με ασφάλεια σε περίπτωση πυρκαγιάς ή κατάκλισης. Κατά την επιστροφή τους σε λιμάνι, όλοι οι επιβάτες πρέπει να διακομιστούν σε ασφαλές μέρος επί του πλοίου όπου βασικές υπηρεσίες υγείας και ασφάλειας είναι διαθέσιμες, καθώς και προμήθειες. [3]

1.3.3 Σωστικά μέσα

Σύμφωνα με τη SOLAS / Chapter III, όλα τα πλοία πρέπει να είναι εξοπλισμένα με σωσίβιας λέμβους και σχεδίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έσχατη λύση για την εγκατάλειψη του πλοίου. Σύμφωνα με την τροπολογία της SOLAS ισχύουν τα εξής:

Οι σωσίβιας λέμβοι πρέπει να είναι εξοπλισμένες με κινητήρες για την αυτοπρόωσή τους.

Για μεγάλης διάρκειας και απόστασης πλόες, τα επιβατηγά πλοία πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αρκετές σωσίβιας λέμβους (μερικώς ή πλήρως κλειστές) ώστε να μπορούν να παραλάβουν τουλάχιστον το 100% των επιβαινόντων του πλοίου και φουσκωτές σωσίβιας σχεδίες που να μπορούν να φιλοξενήσουν τουλάχιστον το 25% των επιβαινόντων του πλοίου.

Αντίστοιχα, για μικρής διάρκειας και απόστασης πλόες, τα επιβατηγά πλοία πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αρκετές σωσίβιας λέμβους (πλήρως ή μερικώς κλειστές) ώστε να μπορούν να παραλάβουν τουλάχιστον το 30% των επιβαινόντων του πλοίου και με φουσκωτές σωσίβιας σχεδίες, οι οποίες μαζί με τις λέμβους να μπορούν να φιλοξενήσουν συνολικά το 100% των επιβαινόντων. Το ποσοστό που μπορούν να εξυπηρετήσουν οι σχεδίες, δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο του 25% των επιβαινόντων. [18]

Παρόλα αυτά, τη σημερινή εποχή η τάση που επικρατεί είναι η αντικατάσταση των σωσίβιων λέμβων με σχεδίες, λόγω της δυσκολίας καθέλκυσής τους σε περίπτωση που το πλοίο έχει υπολογίσιμη εγκάρσια κλίση.

Επίσης, επιβατηγά πλοία ολικής χωρητικότητας (Gross Tonnage) μεγαλύτερης των 500 τόνων πρέπει να διαθέτουν τουλάχιστον δύο (2) σκάφη διάσωσης, ένα σε κάθε πλευρά του πλοίου. Αντίστοιχα, πλοία ολικής χωρητικότητας μικρότερης των 500 τόνων πρέπει να διαθέτουν τουλάχιστον ένα (1) σκάφος διάσωσης. [18]



Εικόνα 1.3.3.1: Πλήρως κλειστή σωσίβια λέμβος.

Τέλος, υπάρχουν κανονισμοί που προσδιορίζουν την επιτρεπόμενη χρονική διάρκεια της επιβίβασης στις σωσίβιες λέμβους και σχεδίες, καθώς και τη χρονική διάρκεια προσθαλάσσωσής τους, ενώ όλοι οι επιβαίνοντες στο πλοίο πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με ατομικά σωσίβια (life jackets). Συνήθως, η χρονική διάρκεια αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά τα τριάντα λεπτά της ώρας (30').

Η επιβίβαση στις σχεδίες γίνεται με τη βοήθεια ενός συστήματος εγκατεστημένου πάνω στο πλοίο το οποίο ονομάζεται Marine Evacuation System (M.E.S.). Πρόκειται για μία φουσκωτή τσουλήθρα η οποία ξεκινάει από τα καταστρώματα των επιβατών (υπερκατασκευές) και καταλήγει σε σωσίβιες λέμβους που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας. Το σύστημα αυτό είναι έτοιμο προς χρήση συνήθως εντός μερικών λεπτών και είναι ικανό να εξυπηρετήσει αρκετές εκατοντάδες επιβατών σε πολύ μικρό χρόνο. Ένας εναλλακτικός τρόπος διαφυγής στις λέμβους είναι με χρήση ανεμόσκαλας. [18]



Εικόνα 1.3.3.2: Marine Evacuation System (M.E.S.)

1.3.4 Σταθμοί διάσωσης/συγκέντρωσης (Muster Stations) και οδοί διαφυγής Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι σωστικές λέμβοι και σχεδίες αποτελούν κρίκο της αλυσίδας της ασφάλειας στα επιβατηγά πλοία. Για να φτάσουν σε αυτές, οι επιβάτες συγκεντρώνονται αρχικά σε σταθμούς συγκέντρωσης. Οι σταθμοί αυτοί αποτελούν κοινόχρηστες, ευρύχωρες περιοχές συνήθως τοποθετημένες στα ανώτερα καταστρώματα επιβατών των υπερκατασκευών του πλοίου, προκειμένου να βρίσκονται κοντά στους σταθμούς διάσωσης. Στους σταθμούς αυτούς οι επιβάτες εξοπλίζονται με ατομικά σωσίβια και επιβιβάζονται στα σωστικά μέσα του πλοίου.

Συνεπώς, η σχεδίαση ενός επιβατηγού επηρεάζεται άμεσα από την στρατηγική τοποθέτηση των σταθμών αυτών, ώστε να μπορεί επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή συγκέντρωση των επιβατών και έπειτα η εκκένωση του πλοίου, από άποψη χρόνου και ασφάλειας. [3]

Μία ακόμα πολύ σημαντική απαίτηση που επηρεάζει σημαντικά τη σχεδίαση και τη διάταξη των χώρων του πλοίου είναι πως από οποιοδήποτε χώρο του πλοίου πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο (2) ξεχωριστοί οδοί διαφυγής προς τους σταθμούς συγκέντρωσης.

Σε περίπτωση κινδύνου, όλοι οι επιβάτες πρέπει να μαζευτούν στους σταθμούς συγκέντρωσης σε λιγότερο από 30 λεπτά. Ο χρόνος είναι πολύτιμος σε τέτοιες καταστάσεις. Για να μη χάνεται πολύτιμος χρόνος είναι σημαντικό οι διασωστικές κινήσεις να γίνονται με τάξη, σύμφωνα με το πρωτόκολλο, και όχι χαοτικά. Το χάος μπορεί να μειώσει σημαντικά τη ροή μετακίνησης των επιβατών.

Κατά τη μετακίνησή τους, οι επιβάτες χρησιμοποιούν τους διαδρόμους και τις σκάλες του πλοίου. Σχετικά με αυτούς, υπάρχουν κανονισμοί που καθορίζουν το πλάτος τους. Οι διάδρομοι πρέπει να έχουν αρκετό πλάτος ώστε να εξυπηρετούν τη βελτίωση της ροής των επιβατών, αλλά ταυτόχρονα να επιτρέπει στους επιβάτες να στηρίζονται στα τοιχώματά τους.

Σύμφωνα με τη SOLAS, οι διαμήκεις διάδρομοι πλάτους μεγαλύτερου του 1,8 μέτρων και εγκάρσιοι διάδρομοι πλάτους μεγαλύτερου του ενός (1) μέτρου πρέπει να διαθέτουν από ένα κιγκλιδώμα σε κάθε πλευρά τους. Αντίστοιχα, διπλά κιγκλιδώματα απαιτούνται και σε όλες τις σκάλες. Τα κιγκλιδώματα είναι απαραίτητα για να προσφέρουν στήριξη στους επιβάτες και κατά συνέπεια να αυξήσουν τη ροή των επιβατών προς τους σταθμούς σε περίπτωση που το πλοίο έχει αποκτήσει κάποια κλίση. Σύμφωνα με έρευνες, η μετακίνηση σε ένα πλοίο κλίσης 15-20 μοιρών, αυξάνει το χρόνο εκκένωσής του κατά 33%. [6]

1.3.5 Έλικες

Σε αντίθεση με τη συντριπτική πλειοψηφία των εμπορικών πλοίων που διαθέτουν μόνο μία έλικα τοποθετημένη στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, τα επιβατηγά πλοία είναι διπλέλικα.

Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας, ώστε αν κάποια μηχανική βλάβη θέσει εκτός λειτουργίας το ένα προωστήριο σύστημα, το άλλο να παραμείνει σε λειτουργία και το πλοίο να μη μείνει ακυβέρνητο.

Από την άλλη, στα επιβατηγά πλοία οι δύο (2) έλικες απαιτούνται και για λειτουργικούς λόγους. Ο βασικότερος είναι πως τα πλοία αυτά έχουν πολύ μικρό βύθισμα συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαστάσεις τους. Συνεπώς, η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος της έλικας είναι πολύ μικρή για να παράγει την απαραίτητη ώση, καθώς η έλικα πρέπει να είναι συνεχώς πλήρως βυθισμένη. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με χρήση πολλαπλών ελίκων (άρα και προωστήριων συστημάτων), οι οποίες παρέχουν και το πλεονέκτημα της αποτελεσματικότερης πηδαλιουχίας σε χαμηλές ταχύτητες πρόωσης. Διαθέτοντας δύο έλικες, ο κυβερνήτης μπορεί να λειτουργεί τις δύο έλικες αντίστροφα, δημιουργώντας σημαντική ροπή στρέψης. Σε χαμηλές ταχύτητες το πηδάλιο του πλοίου δεν είναι αποτελεσματικό. Αυτό συμβαίνει διότι το πηδάλιο λειτουργεί σαν υδροτομή και απαιτεί σημαντική ταχύτητα του ρευστού (ισοδύναμα, ταχύτητα πλευσης του πλοίου) γύρω από την επιφάνειά του προκειμένου να μπορέσει να παράγει πλευρικές δυνάμεις και ροπές που στρίβουν το πλοίο. Οι δυνάμεις που παράγονται από το πηδάλιο είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας του ρευστού.

Οι ελιγμοί σε χαμηλές ταχύτητες είναι πολύ σημαντικοί για ένα επιβατηγό πλοίο λόγω των συχνών επισκέψεών του σε λιμάνια ή γενικότερα σε περιορισμένο χώρο. Για αυτό επιλέγονται δύο έλικες αντί μίας. Περισσότερα για τις έλικες στο [Κεφάλαιο 9](#) που σχετίζεται με την πρόωση του υπό μελέτη πλοίου. [1]



Εικόνα 1.3.5.1: Οι προπέλες διπλέλικου επιβατηγού πλοίου.

1.3.6 Bow thrusters

Οι ελιγμοί σε λιμάνια και περιορισμένης έκτασης θάλασσες αποτελούν ένα ζήτημα που απασχολεί του Ναυπηγούς, ειδικά όσον αφορά τα επιβατηγά πλοία των οποίων οι επισκέψεις σε λιμάνια είναι συχνές. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού γίνεται χάρη στα bow thrusters που διαθέτουν τα επιβατηγά πλοία. Σε ορισμένες περιπτώσεις διαθέτουν και stern thrusters. Πρόκειται για έλικες τοποθετημένες κατά το εγκάρσιο, μέσα σε διαμπερή κυλινδρική σπή (διαπερνά τη γάστρα του πλοίου από πλευρά σε πλευρά), έτσι ώστε κατά τη λειτουργία τους να παράγουν πλευρικές δυνάμεις που βοηθούν στη στροφή του πλοίου, όταν αυτό κινείται με χαμηλή ταχύτητα. Τα thrusters αυτά είναι πολύ σημαντικά για την ασφάλεια του πλοίου, όχι μόνο για καλύτερο έλεγχο των ελιγμών σε χαμηλές ταχύτητες και περιορισμένο χώρο, αλλά και όταν φυσούν ισχυροί πλευρικοί άνεμοι. [1]



Εικόνα 1.3.6.1: Bow thrusters επιβατηγού πλοίου.

1.3.7 Διπύθμενο & φρακτές

Η κατασκευή διπυθμένου κάτω από το χώρο φορτίου αλλά και κάτω από το μηχανοστάσιο έχει πλέον γενικευθεί. Το διπύθμενο αποτελεί πρόληψη έναντι ρήγματος στον πυθμένα του πλοίου. Αντίστοιχα, για προστασία έναντι πλευρικών ρηγμάτων τοποθετούνται φρακτές. Αυτές μπορεί να είναι εγκάρσιες ή διαμήκεις. Με την τοποθέτηση αυτών των διαχωριστικών κατασκευαστικών στοιχείων επιτυγχάνεται υποδιαίρεση του κύτους του, με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο περιορισμός τυχόν βλαβών, όπως είναι η κατάκλυση ενός στεγανού διαμερίσματος ή ο περιορισμός της πυρκαγιάς. [1]

1.3.8 Καταπέλτες & Καταστρώματα

Οι επιβάτες και τα οχήματα εισέρχονται στο πλοίο μέσω των καταπελών που διαθέτει αυτό, με ίδια μέσα. Οι καταπέλτες είναι κινητές ράμπες που συνδέουν το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων του πλοίου με την προβλήτα του λιμανιού και μπορεί να είναι τοποθετημένοι στην πρύμνη, την πλώρη ή στην πλευρά του πλοίου. Αν το επιτρέπει το πλάτος τους, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης και δύο (2) καταπελών στην πρύμνη.



Εικόνα 1.3.8.1: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με δύο πρυμναίους καταπέλτες.

Οι καταπέλτες που απεικονίζονται στο ανωτέρω πλοίο είναι ιδανικοί στη συνήθη περίπτωση όπου η υψομετρική διαφορά μεταξύ του Κύριου Καταστρώματος Οχημάτων και της προβλήτας του λιμανιού είναι μικρή. Όμως, πέρα των κλασικών και συνήθων περιπτώσεων, υπάρχουν και καταπέλτες ικανοί να εξυπηρετήσουν πιο ειδικές καταστάσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι καταπέλτες υπό γωνία. Αυτοί οι καταπέλτες είναι κατάλληλοι όταν το πλοίο πρέπει να δέσει με την πλευρά.



Εικόνα 1.3.8.2: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με πρυμναίο καταπέλτη υπό γωνία.

Αντίστοιχα, οι πρωραίοι καταπέλτες είναι πιο σπάνιοι από τους πρυμναίους. Αυτό συμβαίνει διότι η εγκατάσταση πρωραίου καταπέλτη είναι πολύπλοκη λόγω των μηχανισμών του, αλλά και δαπανηρή. Από την άλλη, το βασικό πλεονέκτημα του είναι ότι αυξάνει σημαντικά τη ροή φορτοεκφόρτωσης των οχημάτων, καθώς τα οχήματα εισέρχονται από την πρύμνη και εξέρχονται από την πλώρη δίχως την εκτέλεση επιτόπιας αναστροφής στο κατάστρωμα οχημάτων. Συνεπώς, συμβάλουν σημαντικά στη μείωση του χρόνου παραμονής στα λιμάνια, ο οποίος είναι «νεκρός» χρόνος για τα εμπορικά πλοία.

Παράδειγμα της πολυπλοκότητας των πρωραίων καταπελτών αποτελεί το ακόλουθο εικονιζόμενο πλοίο. Προκειμένου να ανοίξει ο καταπέλτης, πρέπει να ανυψωθεί πρώτα κομμάτι της πλώρης ώστε να ελευθερωθεί. Άλλες εγκαταστάσεις πρωραίων καταπελτών μπορεί να είναι ακόμα πιο πολύπλοκες και για αυτό το λόγο δε συνηθίζονται.



Εικόνα 1.3.8.3: Επιβατηγό-Οχηματαγωγό πλοίο με πρωραίο καταπέλτη.

Τα μεγάλα πλοία της κατηγορίας αυτής διαθέτουν και παραπάνω καταστρώματα οχημάτων, πέρα από το κύριο. Αυτά τα καταστρώματα μπορεί να βρίσκονται είτε πάνω είτε κάτω από το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων. Η σύνδεση μεταξύ των καταστρωμάτων, συνεπώς και η μετακίνηση των οχημάτων ανάμεσά τους, γίνεται με ράμπες οι οποίες είναι σταθερές ή συνηθέστερα κινητές. Η επιλογή της αντοχής των ελασμάτων των καταστρωμάτων οχημάτων, αλλά και το ύψος των καταστρωμάτων αυτών, γίνεται με γνώμονα και τη μεταφορά βαρέων οχημάτων όπως τα λεωφορεία και τα φορτηγά, πέρα από ελαφριά ιδιωτικά αυτοκίνητα. Η αναλογία Ι.Χ. αυτοκινήτων και φορτηγών ποικίλει ανάλογα τη γραμμή λειτουργίας και την εποχή. Το καλοκαίρι τα πλοία γεμίζουν με ιδιωτικά αυτοκίνητα, ενώ το χειμώνα τα έσοδα των πλοίων προέρχονται κυρίως από τη μεταφορά φορτηγών.

Πάνω από τα καταστρώματα οχημάτων τοποθετούνται ένα ή περισσότερα καταστρώματα για τους επιβάτες. Ανάλογα το μέγεθος του πλοίου, τα καταστρώματα αυτά μπορεί να διαθέτουν αποκλειστικά κοινόχρηστους χώρους ή και καμπίνες, και είναι σημαντικό να διαθέτουν δραστηριότητες ψυχαγωγίας και να είναι άνετα για τους επιβάτες. [1]

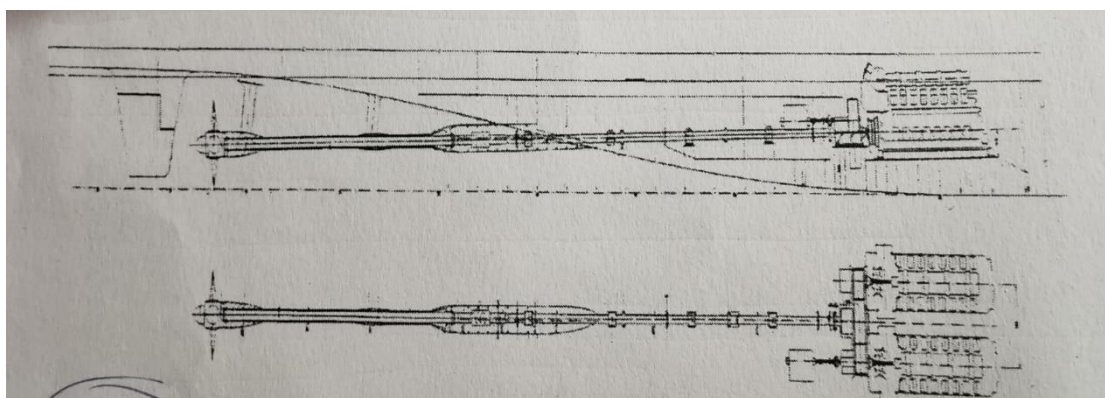
1.3.9 Προωστήρια εγκατάσταση

Στα περισσότερα εμπορικά πλοία, το μηχανοστάσιο τοποθετείται στην πρύμνη. Αυτό γίνεται προκειμένου να ελευθερωθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό του μήκους του πλοίου για μεταφορά φορτίου, αλλά και για να μειωθεί το μήκος του αξονικού συστήματος που παρεμβάλλεται μεταξύ των Κυρίων Μηχανών και της έλικας. Εξαιρέση στον κανόνα αυτό αποτελούν τα επιβατηγά πλοία. Λόγω της λεπτόγραμμης γάστρας τους, το μηχανοστάσιο τοποθετείται στο ένα τέταρτο με ένα τρίτο του μήκους του πλοίου από την πρύμνη. [1]

Το πιο συνηθισμένο (συμβατικό) σύστημα πρόωσης Επιβατηγών-Οχηματαγωγών πλοίων περιλαμβάνει τέσσερις (4) Κύριες Μηχανές τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη σε ένα μηχανοστάσιο, στο πρώτο κατάστρωμα του πλοίου που αποτελεί την οροφή του διπυθμένου. Οι Κύριες Μηχανές συνδέονται ανά δύο (2) με ένα μειωτήρα στροφών, δημιουργώντας δύο (2) ζεύγη. Ο μειωτήρας με τη σειρά του κινεί τον άξονα της έλικας. Έτσι, έχουμε δύο (2) ανεξάρτητα αξονικά συστήματα, ένα σε κάθε πλευρά του πλοίου. Το πρωραία τμήμα των συστημάτων αυτών βρίσκεται εντός της γάστρας του πλοίου, ενώ το πρυμναίο τμήμα, που προεξέχει από τη γάστρα, καταλήγει στην έλικα. Το προεξέχον τμήμα κρέμεται από κατάλληλα ενισχυτικά (V-brackets, I-brackets) προκειμένου να περιοριστεί η κάμψη του αξονικού συστήματος. Πίσω από κάθε έλικα τοποθετείται το πηδάλιο. [1]



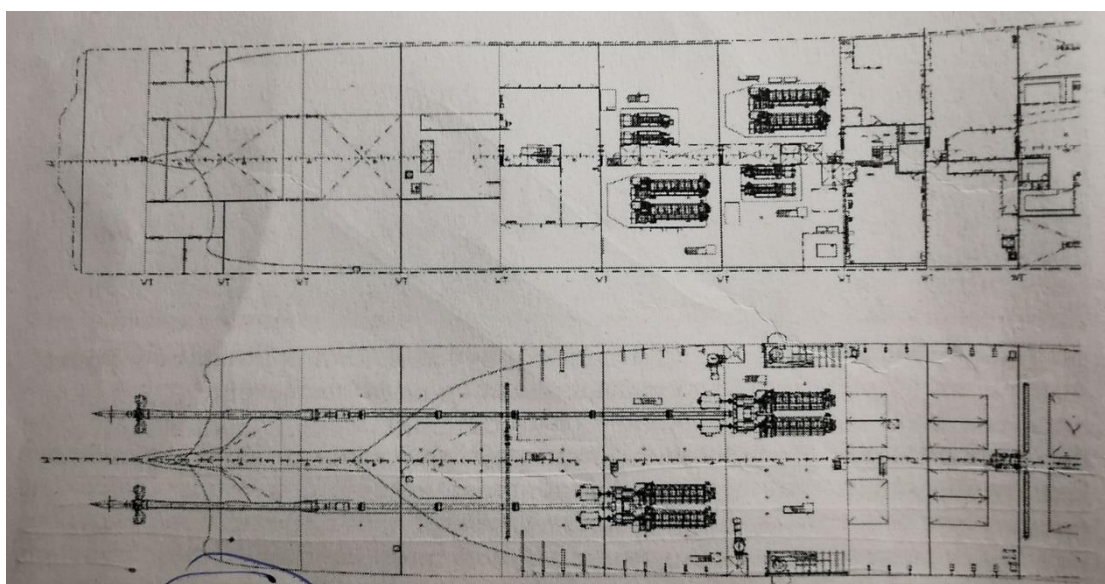
Εικόνα 1.3.9.1: Αξονικό σύστημα πλοίου RoPax, ενισχυμένο με V-brackets, που καταλήγει στην έλικα και το πηδάλιο.



Σχέδιο 1.3.9.2: Συμβατικό σύστημα πρόωσης επιβατηγού πλοίου.

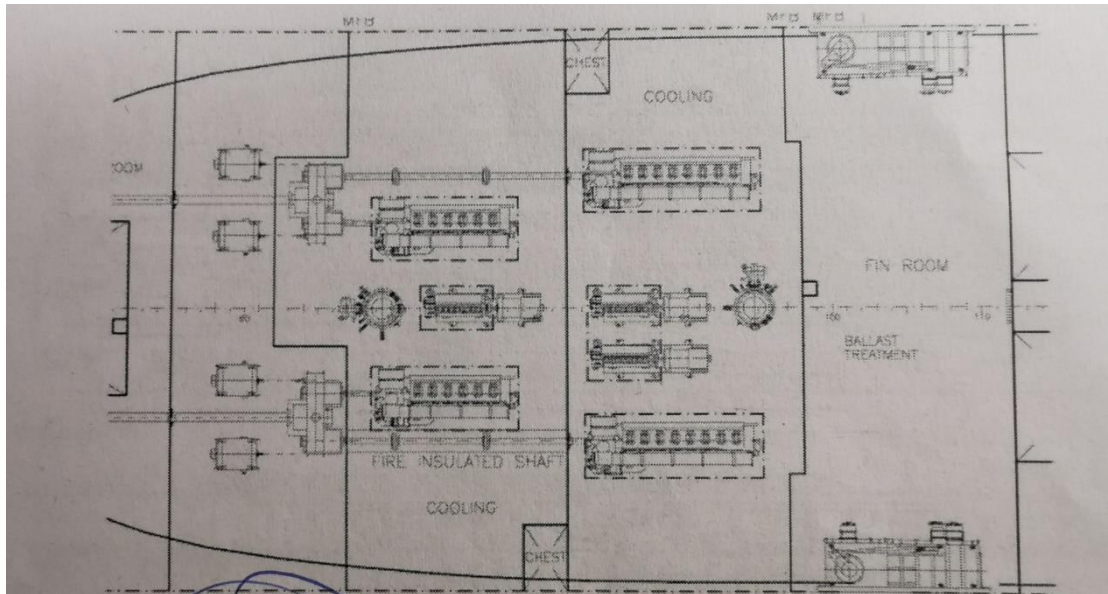
Αυτό το σύστημα πρόωσης (συμβατικό) εφαρμοζόταν, μέχρι πρόσφατα, σχεδόν στο σύνολο των επιβατηγών-οχηματαγωγών πλοίων. Πρόσφατες αλλαγές όμως στους κανόνες ασφαλείας είχαν ως αποτέλεσμα να χρειαστούν κάποιες τροποποιήσεις. Σύμφωνα με τις νέες απαιτήσεις των κανονισμών, τα επιβατηγά πλοία θα πρέπει να είναι σε θέση να καταφύγουν στο πλησιέστερο λιμάνι με δικά τους μέσα (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως) μετά από οποιασδήποτε φύσεως βλάβη (π.χ. πυρκαγιά ή κατάκλυση). Μία λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να μοιραστούν τα ζεύγη των Κύριων Μηχανών σε δύο (2) μηχανοστάσια , ώστε αν προκληθεί βλάβη στο ένα και ουδετεροποιηθεί το ζεύγος του, το άλλο να παραμείνει λειτουργικό.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι Κύριες Μηχανές τοποθετούνται πάντα στο πρώτο κατάστρωμα του πλοίου, δηλαδή την οροφή του διπυθμένου. Λόγω του μεγάλου ύψους τους, οι Κύριες Μηχανές εκτείνονται και πάνω από το δεύτερο κατάστρωμα στο οποίο έχει διαμορφωθεί κατάλληλο άνοιγμα στην περιοχή των Κυρίων Μηχανών. Στο δεύτερο κατάστρωμα και στην αντίθετη πλευρά από αυτήν που καταλαμβάνουν οι Κύριες Μηχανές, είναι εγκατεστημένα δύο (2) ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη αποτελούμενα από κινητήρα Diesel και γεννήτρια.



Σχέδιο 1.3.9.3: Διάταξη Κυρίως Μηχανών σε δύο (2) μηχανοστάσια.

Εναλλακτική διάταξη δύο (2) μηχανοστασίων παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Η διαφορά εδώ είναι ότι τα ζεύγη των Κυρίων Μηχανών που συνεργάζονται μεταξύ τους βρίσκονται σε διαφορετικό μηχανοστάσιο, σε αντίθεση με την ανωτέρω διάταξη όπου βρίσκονταν στο ίδιο. Με αυτόν τον τρόπο, σε περίπτωση που τεθεί εκτός λειτουργίας οποιοδήποτε μηχανοστάσιο, υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας και των δύο (2) αξονικών συστημάτων, με έναν κινητήρα όμως αντί για δύο. [1]



Σχέδιο 1.3.9.4: Εναλλακτική διάταξη δύο (2) μηχανοστασίων.

Η κατασκευή δύο (2) μηχανοστασίων όμως, δημιουργεί προβλήματα. Ένα εξ αυτών είναι ότι αυξάνει το κόστος κατασκευής. Ακόμα, δημιουργείται η ανάγκη επιτήρησης ενός ακόμα μηχανοστασίου κατά τη λειτουργία του πλοίου. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου μήκους των Κύριων Μηχανών, απαιτείται η κατασκευή δύο (2) μεγάλων γειτονικών και στεγανών διαμερισμάτων-μηχανοστασίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφενός τη μείωση του διαθέσιμου χώρου στην πρύμνη, αφετέρου σε περίπτωση κατάκλισης και των δύο (2) διαμερισμάτων, είναι πιθανό να υπάρξουν προβλήματα σχετικά με την ασφάλεια του πλοίου. [1]

2. Κύριες Διαστάσεις υπό μελέτης Πλοίου

Πριν ακολουθήσει η παρουσίαση του Σχεδίου Γενικής Διάταξης (επόμενο κεφάλαιο), πρέπει να προσδιοριστούν οι κύριες διαστάσεις και κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν το υπό μελέτη πλοίο Jupiter. Αυτά προέκυψαν με βάση τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και δεδομένα από υπάρχοντα πλοία.

2.1 Απαιτήσεις πλοιοκτήτη

Οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Τύπος πλοίου	ROPAX
Μέγιστο ολικό μήκος L_{OA}	120 m
Μέγιστο πλάτος B	19 m
Μέγιστο έμφορτο βύθισμα T	5.1 m
Deadweight DWT (Desing Load)	περίπου 1900 tons
Ταχύτητα υπηρεσίας Vs	18 knots
Lane meters	Τουλάχιστον 750 m
Επιβάτες θέρους	1500
Νηογνώμονας	Οποιοσδήποτε αναγνωρισμένος

Πίνακας 2.1.1: Απαιτήσεις πλοιοκτήτη.

Τα οχήματα που μπορεί να μεταφέρει ένα πλοίο ROPAX καθορίζονται από το συνολικό μήκος των λωρίδων στα καταστρώματα οχημάτων (lane metres). Ο λόγος που χρησιμοποιείται το συνολικό μήκος λωρίδων ως μονάδα μέτρησης, αντί για παράδειγμα 200 αυτοκινήτων, είναι επειδή τα πλοία αυτού του τύπου εξυπηρετούν μικτού μήκους οχήματα, όπως λεωφορεία και νταλίκες πέρα από Ι.Χ.

Παρόλα αυτά, κρίθηκε χρήσιμο να υπάρχει απαίτηση και για το DWT, καθώς με βάση αυτή θα επιλεγεί το εκτόπισμα του πλοίου. Επίσης, εντός του Deadweight εμπεριέχονται περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τα βάρη καυσίμων, λιπαντικών, εφοδίων και άλλων. Τέλος, η παραπάνω απαίτηση αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης σχεδίασης (Design Condition) και σε αυτήν περιλαμβάνεται και το μόνιμο έρμα το οποίο τυχόν μπορεί να μεταφέρει το πλοίο για λόγους ευστάθειας και διαγωγής.

2.2 Δεδομένα από υπάρχοντα πλοία

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα δεδομένα των πλοίων που επιλέχθηκαν για να βοηθήσουν στην επιλογή των κύριων διαστάσεων του Jupiter. Η επιλογή τους έγινε με γνώμονα τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και με επιπλέον προϋπόθεση να εκτελούν δρομολόγια σε ελληνικά ύδατα προκειμένου να έχουν παρόμοια φιλοσοφία σχεδίασης.

Τα δεδομένα των πλοίων βρέθηκαν στην ακόλουθη ιστοσελίδα:

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro>

	ΠΛΟΙΟ Α	ΠΛΟΙΟ Β	ΠΛΟΙΟ Γ	ΠΛΟΙΟ Δ	ΠΛΟΙΟ Ε		Min	Average	Max
L_{OA} [m]	124.2	116.5	125.7	115.4	109.2		109.2	118.2	125.7
L_{BP} [m]	111.8	105	114.3	108.4	100.6		100.6	108.02	114.3
B [m]	18.9	18	18.55	18.7	15.03		15.03	17.84	18.9
T [m]	5.1	4.51	5.21	4.19	4.1		4.1	4.62	5.21
D [m]	12.45	11.65	11.2	11.2	11.4		11.2	11.59	12.45
L_{BP}/B	5.92	5.83	6.16	5.8	6.69		5.8	6.08	6.69
B/T	3.71	3.99	3.56	4.46	4.18		3.56	3.98	4.46
L_{BP}/D	8.98	9.01	10.21	9.68	8.82		8.82	9.34	10.21
Vs [knots]	24.4	18.6	20	18.5	18		18	19.9	24.4
P_B [kW]	16560	6620	11033	11776	8206		6620	10839	16560
Δ [tons]	6563	4830	6600	4460	3835		3835	5257.6	6600
DWT [tons]	1896	1300	2250	1189	1280		1189	1583	2250
LS [tons]	4667	3530	4350	3271	2555		2555	3674.6	4667
DWT/ Δ	0.289	0.269	0.341	0.267	0.334		0.267	0.3	0.341
W_{LS}	0.296	0.281	0.331	0.26	0.264		0.26	0.287	0.331
Passengers	1450	1000	1518	1707	1000		1000	1335	1707

Πίνακας 2.2.1: Στοιχεία πλοίων.

2.3 Ολικό μήκος L_{OA} και μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}

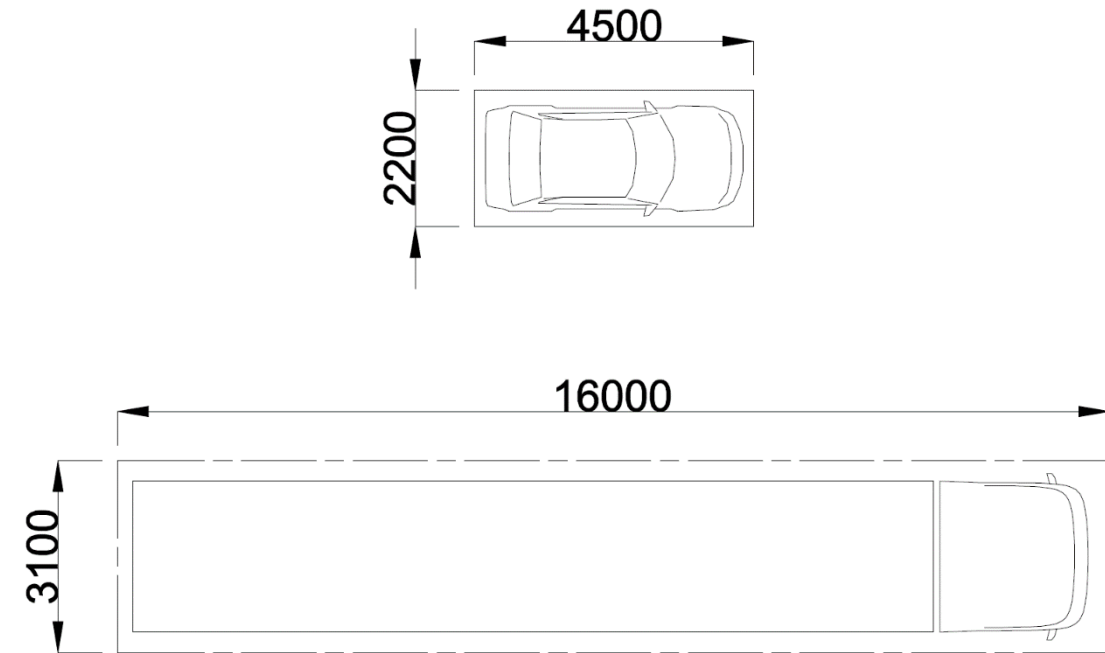
Για την επιλογή του ολικού μήκους L_{OA} του υπό μελέτη πλοίου, υπάρχει ο περιορισμός του πλοιοκτήτη και τα δεδομένα του ανωτέρω πίνακα. Σε αυτό το στάδιο της μελέτης επιλέχθηκε ως ολικό μήκος L_{OA} ο μέσος όρος που προκύπτει από τα πλοία αυτά, εφόσον τηρεί την απαίτηση του πλοιοκτήτη ($L_{OA} < 120m$). Αντίστοιχα, ελλείψει λοιπών δεδομένων, επιλέγεται και το μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP} ίσο με τον αντίστοιχο μέσος όρο. Τελικά:

$$L_{OA} = 118.2 \text{ m}$$

$$L_{BP} = 108.02 \text{ m}$$

2.4 Πλάτος B

Η απαίτηση του πλοιοκτήτη για το πλάτος B είναι αυτό να είναι μικρότερο των 19 μέτρων. Τα πλοία τύπου ROPAX έχουν κατά κύριο λόγο κβαντισμένες δυνατότητες πλάτους επειδή μεταφέρουν οχήματα τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο (στοιβασία). Για τα Ι.Χ. θεωρείται ότι ο χώρος που τους αναλογεί στο κατάστρωμα οχημάτων είναι ίσος με πλάτος 2.2 μέτρα, ενώ για νταλίκες ίσος με 3.1 μέτρα όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Οι διαστάσεις είναι σε χιλιοστά (mm). Οπότε, ανάλογα με το πόσες σειρές οχημάτων χρησιμοποιούνται ανά κατάστρωμα, καθορίζεται το αντίστοιχο απαιτούμενο πλάτος στοιβασίας. Το πλάτος στοιβασίας πρέπει να αυξηθεί κατά μία ποσότητα, η οποία αντιστοιχεί στο ύψος των κορμών των πλευρικών εγκάρσιων ενισχυτικών (primary webs). Το ύψος των κορμών των ενισχυτικών αυτών θεωρείται ίσο με 450mm, επομένως αυτή η ποσότητα θεωρείται ίση με 0.9 μέτρα για το υπό μελέτη πλοίο.



Σχέδιο 2.4.1: Διαστάσεις οχημάτων.

Στην οριστικοποίηση του τελικού πλάτους B του πλοίου οδηγεί ο ακόλουθος πίνακας. Ο πίνακας δίνει ανάλογα τον τύπο οχήματος και τις σειρές που τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη το απαιτούμενο πλάτος, αυξημένο κατά 0.9 μέτρα.

Τύπος οχήματος	Αριθμός σειρών						
	3	4	5	6	7	8	9
I.X.	7.5	9.7	11.9	14.1	16.3	18.5	20.7
Trailer	10.2	13.3	16.4	19.5	22.6	25.7	28.8

Πίνακας 2.4.1: Πίνακας στοιβασίας.

Από τον ανωτέρω πίνακα είναι φανερό πως το μέγιστο δυνατό πλάτος για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει για οχτώ (8) σειρές οχημάτων I.X. και αυτό είναι ίσο με 18.5 m. Η ποσότητα αυτή είναι η μέγιστη που δεν ξεπερνά την απαίτηση του πλοιοκτήτη των 19 m. Ακόμα, με αυτό το πλάτος ο λόγος L_{BP}/B του υπό μελέτη πλοίου θα ισούται με 5.84, τιμή που βρίσκεται εντός των ορίων του [πίνακα 2.2.1](#).

2.5 Βύθισμα Σχεδίασης T_{des}

Για το βύθισμα T υπάρχει ο περιορισμός του πλοιοκτήτη αυτό να είναι μικρότερο των 5.1 m. Ως εκ τούτου, επιλέγεται αυτό να είναι ίσο με το βύθισμα σχεδίασης:

$$T_{des} = 5.1 \text{ m}$$

Με το βύθισμα αυτό, ο λόγος B/T_{des} ισούται με 3.63 για το υπό μελέτη πλοίο, τιμή που βρίσκεται εντός των ορίων του [πίνακα 2.2.1](#).

2.6 Κοίλο D

Για την επιλογή του κοίλου D θα γίνει εκμετάλλευση του λόγου L_{BP}/D από τον [πίνακα 2.2.1](#). Ακόμα, λαμβάνοντας υπόψη τη Γραμμή Φόρτωσης, το μεγάλο ύψος των Κύριων Μηχανών και την ευστάθεια μετά από βλάβη (Damage Stability) επιλέχθηκε:

$$D = 12.25 \text{ m}$$

Το ανωτέρω κοίλο D αναφέρεται στο κοίλο του άνω καταστρώματος (Upper Deck). Για το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων το οποίο αποτελεί και το άνω όριο των στεγανών φρακτών, θεωρείται ότι βρίσκεται πέντε (5) μέτρα κάτω από το άνω κατάστρωμα, καθώς σε αυτό μπορεί να εισέρχονται και νταλίκες που έχουν ύψος περίπου 4.2 μέτρα, ενώ λαμβάνονται υπόψη και τα εγκάρσια ενισχυτικά (Deck beams) των οποίων το ύψος κορμού θεωρείται ίσο με 500 mm. Άρα:

$$D_{MD} = 7.25 \text{ m (Depth Main Deck)}$$

$$D_{UD} = 12.25 \text{ m (Depth Upper Deck)}$$

2.7 Ταχύτητα υπηρεσίας V_s

Για την ταχύτητα υπηρεσίας V_s του πλοίου υπάρχει απαίτηση από τον πλοιοκτήτη αυτή να είναι ίση με 18 knots. Με αυτήν την ταχύτητα και μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP} ίσο με 108.02 μέτρα, ο αριθμός Froude ισούται με την ακόλουθη τιμή η οποία κρίνεται ικανοποιητική:

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} = 0.284$$

2.8 Συντελεστής γάστρας C_B

Ο συντελεστής γάστρας για πλοία τύπου ROPAX συνήθως παίρνει τιμές εντός του εύρους από 0.52 έως 0.62. Για το υπό μελέτη πλοίο η επιλογή του συντελεστή έγινε με γνώμονα να τηρείται η απόκλιση της τάξης του 0.5% για το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ_T και το εκτόπισμα βαρών Δ_B (επόμενο εδάφιο). Συνεπώς, από την εξίσωση εκτοπίσματος λήφθηκε:

$$C_B = 0.577$$

2.9 Έλεγχος εκτοπίσματος

Πριν οριστικοποιηθούν οι ανωτέρω διαστάσεις ως αποδεκτές, πρέπει να γίνει έλεγχος ότι ικανοποιείται η απαίτηση απόκλισης 0.5% για το εκτόπισμα βαρών Δ_B και για το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ_T .

Αρχικά θα γίνει μία εκτίμηση για το βάρος του άφορτου σκάφους του υπό μελέτη πλοίου με τη βοήθεια του συντελεστή βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{LS} . Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{LS} = \frac{LS}{LBD} [t/m^3]$$

Από τα δεδομένα του πίνακα 2.2.1, επιλέγεται ο συντελεστής να είναι ίσος με το μέσο όρο, οπότε για το υπό μελέτη πλοίο θα ισχύει:

$$LS = 4158.11 \text{ tons}$$

Ακόμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη (πίνακας 2.2.1), το υπό μελέτη πλοίο πρέπει να μεταφέρει περίπου 1900 τόνους DWT. Άρα, για το εκτόπισμα βαρών Δ_B θα ισχύει:

$$\Delta_B = LS + DWT = 4158.11 + 1900 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta_B = 6058.11 \text{ tons}$$

Αντίστοιχα, το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ_r υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta_r = C_B c \gamma L B T$$

Το c αναφέρεται στο εκτόπισμα του περιβλήματος του πλοίου (ελάσματα της γάστρας), του πηδαλίου και άλλων παρελκομένων.

Το γινόμενο $c \cdot \gamma$ συνήθως λαμβάνει τιμές από 1.027 για μεγάλα πλοία έως 1.031 για μικρά πλοία. Με δεδομένο ότι τα πλοία ROPAX της εν λόγω εργασίας είναι μικρού μεγέθους, επιλέχθηκε:

$$c \gamma = 1.031$$

Με γνωστά πλέον όλα τα μεγέθη που εμπλέκονται στον υπολογισμό του γεωμετρικού εκτοπίσματος Δ_r , βρίσκουμε:

$$\Delta_r = 6062.9 \text{ tons}$$

Μπορεί πλέον να γίνει έλεγχος για το εάν ικανοποιείται η απαίτηση. Σύμφωνα με αυτήν, πρέπει να ισχύει η ακόλουθη ανισότητα:

$$0 < \frac{\Delta_r - \Delta_B}{\Delta_r} < 0.5\%$$

Για το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ_r και το εκτόπισμα βαρών Δ_B , που μόλις υπολογίστηκαν για το υπό μελέτη πλοίο, ισχύει:

$$\frac{\Delta_r - \Delta_B}{\Delta_r} = 0.08\%$$

Προφανώς λοιπόν, η απαίτηση ικανοποιείται με τις επιλεγμένες διαστάσεις από τις προηγούμενες ενότητες. Αυτές παρουσιάζονται σε συνοπτικό πίνακα στην επόμενη ενότητα.

2.10 Σύνοψη χαρακτηριστικών υπό μελέτη πλοίου (Προμελέτη)

Στον ακόλουθο συνοπτικό πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου τα οποία επιλέχθηκαν κατά το στάδιο της Προμελέτης, στα προηγούμενα εδάφια, και περιγράφουν ικανοποιητικά το υπό μελέτη πλοίο στην παρούσα φάση της εργασίας. Κάποια εξ αυτών δύναται να μεταβληθούν στο επόμενο κεφάλαιο που θα γίνει αναλυτικός υπολογισμός του βάρους του άφορτου σκάφους Lightship.

Τύπος πλοίου	ROPAX
Όνομα πλοίου	Jupiter
L_{OA}	118.2 m
L_{BP}	108.02 m
B	18.5 m
D_{MD}	7.25 m
D_{UD}	12.25 m
T_{des}	5.1 m
L_{BP}/B	5.84
B/T	3.63
L_{BP}/D_{UD}	8.82
C_B	0.577
DWT	1904.79 tons
LS	4158.11 tons
Δ	6062.9 tons
DWT/Δ	0.314
W_{LS}	0.287 t/m ³
Vs	18 knots
Fn	0.284

Πίνακας 2.10.1: Χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου (φάση Προμελέτης).

3. Βάρος Κενού Σκάφους (Lightship)

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι ο υπολογισμός, με τη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια, του βάρους του κενού σκάφους (lightship) του υπό μελέτη πλοίου. Το βάρος αυτό αντιστοιχεί στο έτοιμο και πλήρες εξοπλισμένο πλοίο, δίχως να συμπεριλαμβάνονται σε αυτό τα εφόδια και το ωφέλιμο φορτίο (DWT).

Από το προηγούμενο κεφάλαιο είναι γνωστά όλα τα απαραίτητα δεδομένα που θα ενταχθούν στους υπολογισμούς, εκτός από το συντελεστή μέσης τομής C_M του πλοίου. Από επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 6.1) και με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου ναυπηγικών προγραμμάτων AVEVA MARINE, υπολογίζεται από το Σχέδιο Γραμμών της γάστρας η ακριβής τιμή του συντελεστή αυτού για το υπό μελέτη πλοίο. Αυτή είναι:

$$C_M = 0.922$$

Οι τρεις (3) βασικές ομάδες που συνθέτουν το lightship είναι οι εξής:

1. W_{ST} : Περιλαμβάνει το βάρος όλων των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου όπως το σύνολο των ελασμάτων και των ενισχυτικών, τις υπερκατασκευές και τα υπερστεγάσματα, το πηδάλιο με τον άξονα περιστροφής του κ.ά.
2. W_{OT} : Περιλαμβάνει το βάρος όλων των εφαρμοσμένων-εγκατεστημένων και αποσυνδεόμενων εξαρτημάτων επί του γυμνού σκάφους, εξαιρώντας τη μηχανολογική εγκατάσταση
3. W_M : Περιλαμβάνει το βάρος των Κυρίων Μηχανών, των μειωτήρων εφόσον υπάρχουν, των λεβήτων, των αντλιών πάσης φύσεως, των ηλεκτρογεννητριών, του ελικοφόρου άξονα και της έλικας και γενικά όλων των εξαρτημάτων που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο.

Επομένως, με βάση αυτές τις τρεις (3) ομάδες βαρών, ισχύει για το lightship:

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

Ο υπολογισμός του W_{ST} θα γίνει με το συνδυασμό μεθόδων Schneekluth και Muller-Koster. Η πρώτη (1^η) μέθοδος υπολογίζει μόνο το βάρος της γάστρας του πλοίου ενώ η δεύτερη (2^η) το βάρος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων.

Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό του βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} θα χρησιμοποιηθεί η αναλυτική μέθοδος Schneekluth κατά ομάδες βαρών.

Τέλος, για τον υπολογισμό του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης θα αξιοποιηθούν πληροφορίες από καταλόγους κατασκευαστών, καθώς και οι εμπειρικοί συντελεστές κατά Strohbusch για λοιπά βάρη τα οποία δε γνωρίζουμε με ακρίβεια και για τα οποία μπορούμε να αποκτήσουμε μια καλή εικόνα των μεγεθών τους με χρήση των συντελεστών.

Για να υπολογιστεί το LS του υπό σχεδίαση πλοίου, θα πρέπει πρώτα να εφαρμοστούν οι παραπάνω μέθοδοι σε υπαρκτά πλοία παρόμοιας σχεδίασης με το υπό μελέτη. Με αυτό τον τρόπο θα έχει υπολογιστεί μία τιμή για το LS, η LS_{calc} , ενώ ταυτόχρονα είναι γνωστή η πραγματική τιμή του LS, LS_{real} , από τα δεδομένα των πλοίων αυτών.

Από τις δύο (2) αυτές τιμές υπολογίζεται ο λόγος $\lambda_{LS} = LS_{calc} / LS_{real}$, ο οποίος εκφράζει την υπολογιστική ακρίβεια των μεθόδων που εφαρμόστηκαν. Στη συνέχεια και με πλέον γνωστό το λ_{LS} εφαρμόζονται οι ακριβώς ίδιες μέθοδοι προκειμένου να υπολογιστεί το LS_{calc} του υπό σχεδίαση πλοίου. Χρησιμοποιώντας την τιμή του λ_{LS} που υπολογίστηκε, λαμβάνεται το πραγματικό βάρος LS_{real} του υπό σχεδίαση πλοίου.

3.1 Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{ST}

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής θα υπολογιστεί με το συνδυασμό των μεθόδων του Schneekluth και των Muller-Koster. Η μέθοδος Schneekluth υπολογίζει το βάρος της γάστρας του πλοίου, ενώ η μέθοδος των Muller-Koster το βάρος των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων.

3.1.1 Μέθοδος Schneekluth

Η μέθοδος του Schneekluth υπολογίζει το βάρος της γάστρας του πλοίου. Να σχολιαστεί πως το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει κυρτότητα ούτε σιμότητα. Η εφαρμογή της μεθόδου δίνει τα ακόλουθα αποτελέσματα για το υπό μελέτη πλοίο:

W'_{ST}	1701.77 tons
Προσαύξηση λόγω βολβοειδούς πλώρας	0.5%
W_H	1710.28 tons

Πίνακας 3.1.1.1: Υπολογισμός βάρους γάστρας W_H κατά Schneekluth.

Οπότε, το βάρος της γάστρας W_H του υπό μελέτη πλοίου υπολογισμένο κατά Schneekluth ισούται με 1710.28 τόνους.

3.1.2 Μέθοδος Muller-Koster

Η μέθοδος αυτή λειτουργεί συμπληρωματικά στη μέθοδο Schneekluth προκειμένου να υπολογιστεί και το βάρος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων. Με άθροιση των βαρών των δύο (2) μεθόδων λαμβάνεται το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

Αρχικά υπολογίζεται το βάρος των υπερκατασκευών. Σύμφωνα με τους Κανονισμούς της Γραμμής Φόρτωσης, στην κατηγορία αυτή θεωρούνται κατασκευές επί του κυρίου καταστρώματος με απόσταση πλάγιων τοιχωμάτων από τα πλευρά του πλοίου μικρότερη ή ίση του 4% του πλάτους B. Τέτοιες υπερκατασκευές είναι το πρόστεγο και το επίστεγο. Το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει τέτοιες κατασκευές. Παρόλα αυτά, το πλοίο διαθέτει κλειστές υπερκατασκευές με ενδιαιτήσεις.

Τελικά, το βάρος των υπερκατασκευών του πλοίου κατά Muller-Koster είναι ίσο με:

$$W_{M-K} = 778.24 \text{ tons}$$

Ακόμα, με τη βοήθεια της μεθόδου υπολογίζεται η συνολικά στεγασμένη επιφάνεια των υπερκατασκευών η οποία ισούται με 4689.63 m².

3.1.3 Συνδυασμός των 2 μεθόδων

Συγκεντρωτικά, το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής που προκύπτει από το συνδυασμό των δύο (2) παραπάνω μεθόδων είναι:

$$W_{ST} = W_H + W_{M-K}$$

Στο Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (κατάστρωμα 3) γίνεται χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής (Grade AH-36), λόγω των υψηλών φορτίων που καλείται να παραλάβει το κατάστρωμα από τους τροχούς των οχημάτων. Αυτό εκτιμάται ότι μειώνει το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής κατά ένα ποσοστό 5%.

Στη συνέχεια ακολουθεί συνοπτικός ανακεφαλαιωτικός πίνακας, στον οποίο παρουσιάζεται και το τελικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτης πλοίου, έτσι όπως υπολογίστηκε από το συνδυασμό των δύο (2) ανωτέρω μεθόδων:

Wschneekluth	1710.28 tons
W _{M-K}	778.24 tons
W _{ST}	2488.53 tons
Ποσοστό μείωσης βάρους λόγω χρήσης χάλυβα υψηλής αντοχής	5%
W_{ST}final	2364.1 tons

Πίνακας 3.1.3.1: Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{ST}.

Οπότε, το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST}, υπολογισμένο σύμφωνα με τις δύο (2) προαναφερθείσες μεθόδους ισούται με 2364.1 τόνους.

3.2 Βάρος Εξοπλισμού και Ενδιαίτησης W_{OT}

Το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} θα υπολογιστεί σύμφωνα με την αναλυτική μέθοδο του Schneekluth κατά ομάδες βαρών. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Καλύμματα στομίων κυτών
2. Φορτοεκφορτωτικά μέσα
3. Ενδιαίτηση
4. Λοιπά βάρη

Θα ακολουθήσει ξεχωριστή ανάλυση για κάθε ομάδα βαρών και στο τέλος θα υπολογιστεί το συνολικό βάρος εξοπλισμού που δίνεται από τη μέθοδο.

i. Καλύμματα στομίων κυτών

Το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει στόμια κυτών, επομένως W_H=0.

ii. Φορτοεκφορτωτικά μέσα

Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει μία (1) εσωτερική και έξι (6) εξωτερικές ράμπες. Οι διαστάσεις τους μετρήθηκαν στο Σχέδιο Γενικής διάταξης. Οι τιμές των βαρών ανά τετραγωνικό μέτρο (m²) λήφθηκαν από τη μέθοδο με βάση το μήκος της εκάστοτε ράμπας. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα απαραίτητα μεγέθη για τον υπολογισμό του βάρους κάθε ράμπας, καθώς και το συνολικό τους βάρος.

	l [m]	b [m]	a [m ²]	w [t/m ²]	W _{II} [tons]
Εξωτερική πρυμναία ράμπα οχημάτων	11.1	9.29	103.16	0.4	41.27
Εξωτερική πρυμναία ράμπα επιβατών (Port)	5.43	2.17	11.8	0.3	3.54
Εξωτερική πρυμναία ράμπα επιβατών (Starboard)	5.43	2.17	11.8	0.3	3.54
Εξωτερική πρωραία ράμπα οχημάτων	13.22	5.25	69.41	0.4	27.76
Εξωτερική πρωραία / πλάγια ράμπα επιβατών (Port)	4.51	2.18	9.84	0.4	3.94
Εξωτερική πρωραία / πλάγια ράμπα επιβατών (Starboard)	4.51	2.18	9.84	0.4	3.94
Εσωτερική ράμπα	37.02	3.5	129.59	0.3	38.88
				Σ	122.86

Πίνακας 3.2.1: Υπολογισμός βάρους καταπελτών (φορτοεκφορτωτικών μέσω).

Οπότε το συνολικό βάρος των φορτοεκφορτωτικών μέσων ισούται με 122.862 τόνους.

iii. Ενδιαίτηση

Στη μέθοδο Muller-Koster είχε υπολογιστεί το συνολικό εμβαδόν των χώρων ενδιαίτησης $A_U=4689.63 \text{ m}^2$. Δεδομένου πως στη μέθοδο αυτή (Muller-Koster) είχαμε υπολογίσει και τα διαχωριστικά τοιχώματα των υπερκατασκευών, επιλέγουμε συντελεστή βάρους ίσο με 0.15 t/m^2 και βρίσκουμε:

$$W_{ACC} = 0.2 \text{ t/m}^2 * 4689.63 \text{ m}^2 = 937.93 \text{ tons}$$

iv. Λοιπά βάρη

Για τον υπολογισμό του βάρους αυτής της ομάδας θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

$$W_{IV} = (L B D)^{2/3} C_1$$

όπου $C_1 = 0.2$

Οπότε:

$$W_{IV} = 168.62 \text{ tons}$$

Τέλος, το συνολικό βάρος της μεθόδου υπολογίζεται αθροίζοντας όλα τα επιμέρους βάρη. Έτσι:

$$W_{OT} = W_H + W_{CR} + W_{ACC} + W_{IV} \Rightarrow W_{OT} = 1229.41 \text{ tons}$$

3.3 Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης W_M

Για τη μηχανολογική εγκατάσταση του υπό σχεδίαση πλοίου επιλέχθηκαν Κύριες Μηχανές, μειωτήρες, προπέλες, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος έκτακτης ανάγκης από καταλόγους κατασκευαστών, τα οποία να είναι ικανά να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του υπό μελέτη πλοίου. Αναλυτικότερη μελέτη σχετικά με την προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου ακολουθεί σε μεταγενέστερο κεφάλαιο της εργασίας (Κεφάλαιο 9). Τα βάρη των στοιχείων αυτών, συμπεριλαμβανομένου και του αξονικού συστήματος, ανέρχεται στους 370.91 τόνους.

Όσον αφορά το βάρος της λοιπής μηχανολογικής εγκατάστασης W_{MR} , μελετώντας τους συντελεστές Strohbusch («Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης», Α. Παπανικολάου, Τεύχος 1, σελ. 273) παρατηρείται πως κατά μέσο όρο αυτό αποτελεί περίπου το 50% της συνολικής μηχανολογικής εγκατάστασης. Να σχολιαστεί πως σε αυτή την ομάδα βαρών συμπεριλαμβάνονται αντλίες, σωληνώσεις, λέβητες, σιγαστήρες, καλώδια, διακλαδωτές, ανταλλακτικά, κλίμακες, σχάρες, περβάζια, δεξαμενές ημέρας, φιάλες αερίων, συμπυκνωτές, διαχωριστές, ψύκτες ελαίου, σύστημα ψυκτικού νερού, σύστημα ελέγχου μηχανοστασίου, ηχομονώσεις και θερμομονώσεις μηχανοστασίου κ.ά.

Άρα, και το βάρος της λοιπής μηχανολογικής εγκατάστασης W_{MR} θα είναι ίσο με 370.91 tons.

Οπότε, το συνολικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M θα είναι ίσο με:

$$W_M = 741.82 \text{ tons}$$

3.4 Σύνοψη

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται τα αποτελέσματα των ανωτέρω μεθόδων και υπολογισμών για το υπό μελέτη πλοίο:

$W_{STfinal}$	2364.1 tons
$W_{OT-schneekluth}$	1229.41 tons
$W_{MACHINERY}$	741.82 tons
LS_{calc}	4335.33 tons

Πίνακας 3.4.1: Υπολογισμός βάρους άφορτου σκάφους LS_{calc} .

Έχοντας εφαρμόσει τις ίδιες μεθόδους και στα υπόλοιπα πλοία παρόμοιας σχεδίασης με το υπό μελέτη, αλλά γνωρίζοντας και την πραγματική τιμή του βάρους άφορτου σκάφους LS_{real} τους, μπορούμε να υπολογίσουμε τον ακόλουθο λόγο:

$$\lambda_{LS} = LS_{calc} / LS_{real} \Rightarrow \lambda_{LS} = 1.046$$

Ο λόγος λ_{LS} εκφράζει την υπολογιστική ακρίβεια των μεθόδων που εφαρμόστηκαν προηγουμένως, ενώ αποδεκτές τιμές του λόγου αυτού κυμαίνονται στο εύρος από 0.94 έως 1.06 (απόκλιση έως και 6% από τη μονάδα). Κρατώντας το λόγο σταθερό και για το υπό μελέτη πλοίο, υπολογίζεται το πραγματικό βάρος του άφορτου σκάφους:

$$LS_{real} = 4144.1 \text{ tons}$$

Η νέα αυτή τιμή του LS_{real} διαφέρει πολύ λίγο από την τιμή του LS που επιλέχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Πίνακας 2.10.1), παρόλα αυτά πρέπει να ελεγχθεί εκ νέου η απόκλιση που παρουσιάζει το γεωμετρικό εκτόπισμα Δ_r με το εκτόπισμα βαρών Δ_B . Με το νέο LS_{real} , το εκτόπισμα βαρών ισούται με (υπενθυμίζεται πως η απαίτηση του πλοιοκτήτη για το DWT είναι 1900 τόνοι):

$$\Delta_B = 6044.1 \text{ tons}$$

$$\Delta_r = 6062.9 \text{ tons}$$

$$\frac{\Delta_r - \Delta_B}{\Delta_r} = 0.31\% < 0.5\%$$

Παρατηρείται πως η απαίτηση για απόκλιση μικρότερη του 0.5% ικανοποιείται και πάλι, επομένως δεν απαιτείται κάποια μεταβολή στις διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου. Αυτές παρουσιάζονται εκ νέου στον ακόλουθο πίνακα:

Τύπος πλοίου	ROPAX
Όνομα πλοίου	Jupiter
L_{OA}	118.2 m
L_{BP}	108.02 m
B	18.5 m
D_{MD}	7.25 m
D_{UD}	12.25 m
T_{des}	5.1 m
L_{BP}/B	5.84
B/T	3.63
L_{BP}/D_{UD}	8.82
C_B	0.577
DWT	1918.8 tons
LS	4144.1 tons
Δ	6062.9 tons
DWT/ Δ	0.314
W_{LS}	0.287 t/m ³
Vs	18 knots
Fn	0.284

Πίνακας 3.4.2: Τελικές διαστάσεις υπό μελέτης πλοίου.

3.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους KG και LCG κενού σκάφους LS

Για τον καθορισμό των KG (κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους) και LCG (διαμήκης θέση κέντρου βάρους) του κενού σκάφους Lightship αξιοποιήθηκαν εμπειρικοί συντελεστές KG/D και LCG/LBP («Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι (Μεθοδολογία Προμελέτης) – Συλλογή Βοηθημάτων») για κάθε ομάδα που συνθέτει το LS (W_{ST}, W_{OT}, W_M).

Σημειώνεται ότι το εκάστοτε κέντρο βάρους προκύπτει ως λόγος της αντίστοιχης ροπής προς το συνολικό βάρος της ομάδας που μελετάται. Το βάρος κάθε ομάδας προκύπτει ως το υπολογισμένο (βλ. πίνακας 3.4.1) προς το λόγο ακρίβειας λ_{LS} που υπολογίσαμε και ισούται με 1.046.

Για το υπό μελέτη πλοίο έχουμε:

Ομάδα βάρους	W [tons]	KG/D	KG [m]	M_t [t*m]	LCG/LBP	LCG [m]	M_L [t*m]
W_{ST}	2259.82	0.7	8.575	19377.93	0.48	51.85	117170.61
W_{OT}	1175.18	1	12.25	14395.91	0.53	57.25	62279.56
W_M	709.1	0.5	6.125	4343.25	0.33	35.65	25277.1
LS	4144.1	-	9.198	38117.1	-	50.609	209727.27

Πίνακας 3.5.1: Αναλυτικός υπολογισμός κέντρου βάρους KG και LCG του κενού σκάφους LS.

Εφαρμόζοντας τους παραπάνω υπολογισμούς, με τους ίδιους συντελεστές KG/D και LCG/LBP, και στα υπόλοιπα πλοία, υπολογίζεται αντίστοιχα η θέση του κέντρου βάρους του. Γνωρίζοντας την πραγματική του θέση από το Trim & Stability Booklet τους, υπολογίζονται οι συντελεστές ακρίβειας λ_{KG} και λ_{LCG} , όμοια με το λ_{LS} . Χρησιμοποιώντας τους συντελεστές αυτούς και για το υπό μελέτη πλοίο, καταλήγουμε στην οριστική θέση του κέντρου βάρους του. Οι τιμές των συντελεστών ακρίβειας είναι:

$$\lambda_{KG} = 1.007$$

$$\lambda_{LCG} = 0.9831$$

Παρατηρούμε πως και πάλι οι συντελεστές βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων 0.94 έως 1.06. Κρατώντας τους σταθερούς και για το υπό μελέτη πλοίο, έχουμε:

KG_{calc}	9.198 m
KG_{real}	9.136 m
λ_{KG}	1.007

LCG_{calc}	50.609 m
LCG_{real}	51.478 m
λ_{LCG}	0.9831

Πίνακας 3.5.2: Υπολογισμός πραγματικού κέντρου βάρους KG και LCG του κενού σκάφους LS.

Τελικά, το κέντρο βάρους του άφορτου σκάφους του υπό μελέτη πλοίου θα βρίσκεται σε απόσταση 51.478 μέτρων κατά το διάμηκες από την αρχή των αξόνων που είναι τοποθετημένη στην πρυμναία κάθετο AP και σε απόσταση 9.136 μέτρων από τον πυθμένα.

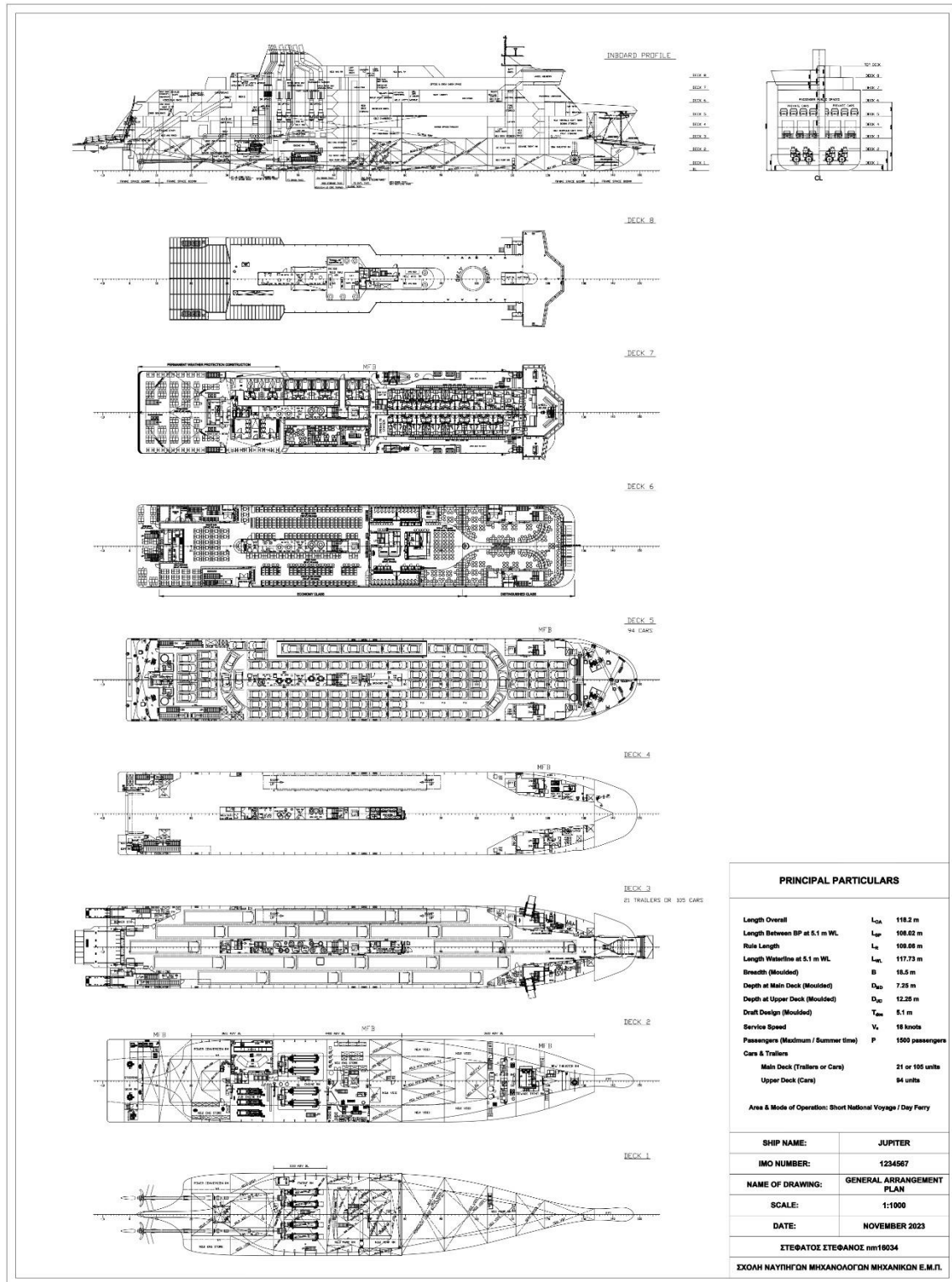
4. Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan - G.A.)

Στο προηγούμενα Κεφάλαια έγινε ο υπολογισμός των βασικών χαρακτηριστικών του Jupiter και με γνωστά αυτά ακολούθησε η εκπόνηση του Σχεδίου Γενικής Διάταξης του.

Κατά τη σχεδίαση, κατευθυντήριοι παράγοντες υπήρξε η τήρηση των απαιτούμενων διεθνών κανονισμών της S.O.L.A.S. (Safety Of Life At Sea) αλλά και η βέλτιστη δυνατή εκμετάλλευση των διαθέσιμων χώρων προκειμένου να επιτευχθεί το ζητούμενο, από τον πλοιοκτήτη, φορτίο (σε lane meters). Αυτό το ζήτημα αφορά κυρίως τα καταστρώματα οχημάτων (καταστρώματα 3 και 5) όπου φορτώνονται και αποθηκεύονται τα οχήματα, αλλά λόγω κατασκευαστικής συνοχής ανά τα καταστρώματα, επί της ουσίας αποτελούσε ζήτημα ολόκληρου του πλοίου και όχι μονάχα των δύο (2) αυτών καταστρωμάτων.

Σε γενικές γραμμές, οι κανονισμοί της SOLAS επικεντρώνονται γύρω από την ασφάλεια των επιβατών στα πλοία τύπου ROPAX.

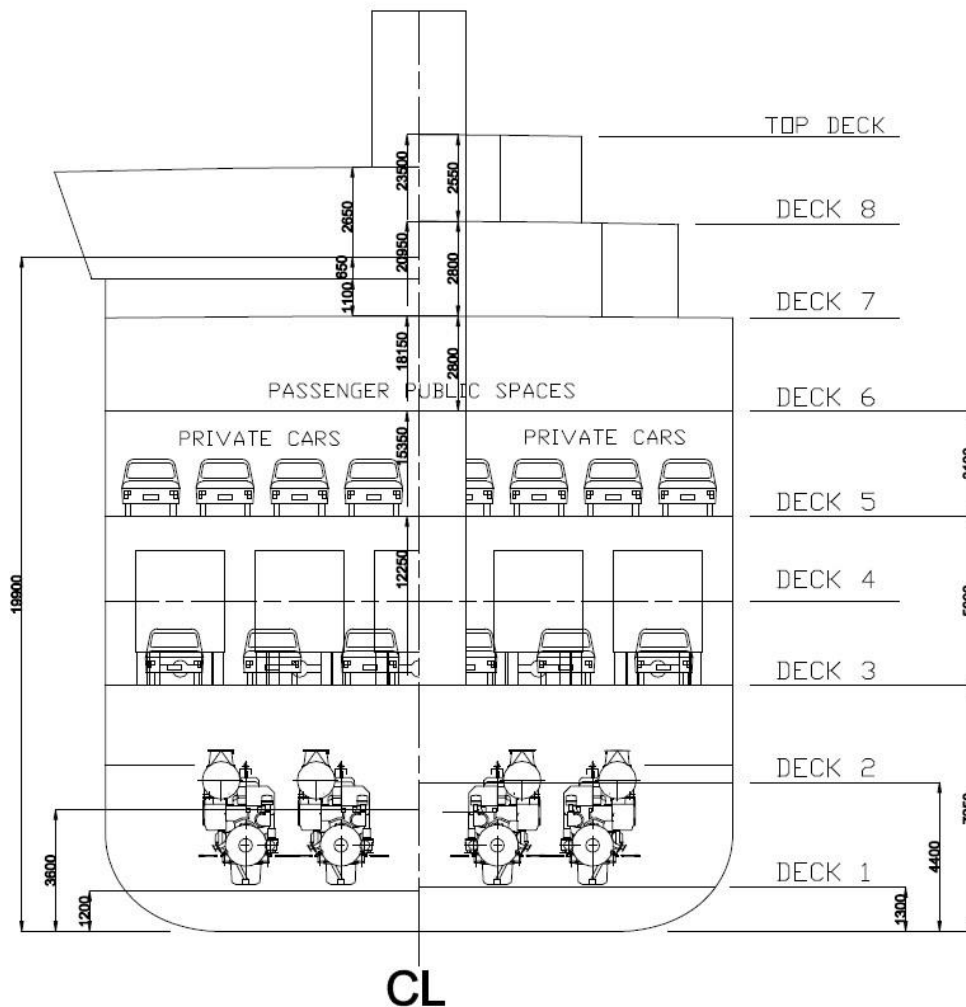
Ακολουθεί ολοκληρωμένο το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του Jupiter ενώ στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή της διαδικασίας σχεδίασης και ξεχωριστή ανάλυση κάθε οριζόντιας τομής του (καταστρώματος).



Σχέδιο 4.1: Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου (Jupiter).

4.1 Μέση τομή (Midship section)

Η σχεδίαση ξεκίνησε από τη μέση τομή του Σχεδίου Γενικής Διάταξης προκειμένου να καθοριστούν τα ύψη στα οποία βρίσκονται τα καταστρώματα. Η μέση τομή είναι μία εγκάρσια τομή στο μέσον του πλοίου.



Σχέδιο 4.1.1: Μέση τομή Σχεδίου Γενικής Διάταξης.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχέδιο, το κατάστρωμα 1 (Deck 1) που ισοδυναμεί με το διπύθμενο του πλοίου βρίσκεται σε ύψη 1.2 και 1.3 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πλοίο θα έχει κλιμακωτό διπύθμενο. Συγκεκριμένα, στη θέση του μηχανοστασίου το διπύθμενο θα βρίσκεται σε ύψος 1.3 μέτρα από τον πυθμένα, ενώ στο υπόλοιπο κομμάτι του πλοίου θα βρίσκεται στα 1.2 μέτρα. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μικρή ανύψωση του πυθμένα είναι προκειμένου να αυξηθεί η απόσταση κάποιων δεξαμενών από τον πυθμένα, αυξάνοντας το συντελεστή ασφαλείας σε περίπτωση προσάραξης, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και ο διαθέσιμος χώρος κάτω από τα μηχανοστάσια, άρα μεγαλώνουν και οι δεξαμενές στη συγκεκριμένη περιοχή.

Σύμφωνα με τον κανονισμό της SOLAS Chapter II-1 / Part B / Regulation 9.9, το ελάχιστο ύψος διπυθμένου για πλοία τύπου ROPAX πρέπει να είναι μεγαλύτερο από B/20.

Για το υπό μελέτη πλοίο, αυτή η απαίτηση μεταφράζεται σε ελάχιστο ύψος διπυθμένου ίσο με 0.925 μέτρα. Οπότε, η τοποθέτηση του διπυθμένου στα 1.2 και 1.3 μέτρα αντίστοιχα κρίνεται επαρκής και με επαυξημένο το κριτήριο της ασφάλειας σε περιπτώσεις προσάραξης, ενώ ταυτόχρονα η επάρκεια του χώρου στην περιοχή κάνει πιο εύκολη την κατασκευή αλλά και τη συντήρηση.

Συνεχίζοντας, τα ύψη των καταστρωμάτων 3 και 5 είχαν καθοριστεί πριν από την εκκίνηση της σχεδίασης, από την [ενότητα 2.6](#) όπου έγινε η επιλογή του κοίλου D.

Το κατάστρωμα 3 αποτελεί το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων, το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών και βρίσκεται σε ύψος 7.25 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας. Δηλαδή:

$$D_{MD} = 7.25 \text{ m}$$

Αντίστοιχα, το κατάστρωμα 5 αποτελεί το ανώτατο κατάστρωμα της γάστρας του πλοίου (Upper Deck) και βρίσκεται 5 μέτρα πιο ψηλά από το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών ή 12.25 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας. Άρα:

$$D_{UD} = 12.25 \text{ m}$$

Ανάμεσα σε αυτά τα δύο (2) καταστρώματα (το 3 και το 5) υπάρχει το κατάστρωμα 4 το οποίο περιορίζεται εντός του Engine Casing και των κατασκευών που υπάρχουν στις πλευρές του πλοίου στο πρυμναίο και το πρωραίο τμήμα. Το κατάστρωμα αυτό είναι τοποθετημένο στην καθ' ύψος μέση των δύο (2) παρακείμενων καταστρωμάτων, άρα σε ύψος 9.75 μέτρων από τον πυθμένα.

Το κατάστρωμα 6 (Deck 6) αποτελεί την οροφή του άνω καταστρώματος οχημάτων, στο οποίο επιλέχθηκε ύψος ίσο με 3.1 μέτρα. Ως εκ τούτου, το κατάστρωμα 6 βρίσκεται σε ύψος 15.35 μέτρα από τον πυθμένα.

Αντίστοιχα, τα καταστρώματα επιβατών έχουν ύψος ίσο με 2.8 μέτρα το καθένα. Συνεπώς, τα καταστρώματα 7 και 8 βρίσκονται σε ύψη 18.15 και 20.95 από τον πυθμένα αντίστοιχα.

Τέλος, το ανώτατο κατάστρωμα του πλοίου (Top deck) είναι τοποθετημένο στα 23.5 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας, δίνοντας ύψος κατασκευής στο τελευταίο κατάστρωμα ίσο με 2.55 μέτρα.

Τα πλοία τύπου ROPAX, λόγω των υπερκατασκευών που φιλοξενούν τα καταστρώματα των επιβατών, έχουν πολύ μεγάλα ύψη και κατά συνέπεια πολύ μεγάλο εγκάρσιο προφίλ (Wind profile). Και τα δύο (2) αυτά χαρακτηριστικά επηρεάζουν αρνητικά την ευστάθεια, καθώς το μεγάλο ύψος της συνολικής κατασκευής ανυψώνει το κέντρο βάρους της, ενώ το μεγάλο εγκάρσιο προφίλ αυξάνει την επιφάνεια την οποία «σπρώχνουν» οι άνεμοι, άρα και την επίδραση τους στην κίνηση Roll του πλοίου.

Το πρώτο εκ των δύο ζητημάτων αντιμετωπίζεται σε ένα βαθμό με τη χρήση κραμάτων ελαφρύτερων του χάλυβα στις υπερκατασκευές. Συνήθης είναι η χρήση του αλουμινίου το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε στο υπό μελέτη πλοίο στο κατάστρωμα 8. Παρόλα αυτά, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ζητήματα ευστάθειας επιλύονται κατά κύριο λόγο με αύξηση του πλάτους B της γάστρας του πλοίου.

4.2 Προφίλ (Profile)

4.2.1 Κατασκευαστικοί νομείς (frame spacing & web frames)

Για τη σχεδίαση του πλοίου αλλά και των καταστρωμάτων, ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός της ισαπόστασης των κατασκευαστικών νομέων του πλοίου (frame spacing). Αυτό είναι σημαντικό καθώς η αρίθμηση των κατασκευαστικών νομέων αποτελεί σημείο αναφοράς για τη διαμήκη θέση του πλοίου η οποία μελετάται.

Χαρακτηριστικά, οι υδατοστεγείς φρακτές, άρα τα όρια των διαμερισμάτων όπως και των δεξαμενών περιγράφονται με ακρίβεια σύμφωνα με τον κατασκευαστικό νομέα στον οποίο βρίσκονται.

Για το υπό μελέτη πλοίο, επιλέχθηκε ένα συμβατικό σύστημα ισαπόστασης των κατασκευαστικών νομέων, σύμφωνα με το οποίο:

- Ξεκινώντας από την πρύμνη μέχρι και τον κατασκευαστικό νομέα υπ' αριθμόν 11, η ισαπόσταση (frame spacing) θα ισούται με 600 mm.
- Από τον νομέα 11 μέχρι και το νομέα 133 η ισαπόσταση θα είναι ίση με 800 mm
- Από το νομέα 133 μέχρι και το πρωραίο πέρας του πλοίου η ισαπόσταση θα είναι και πάλι ίση με 600 mm

Ορίζονται επίσης και οι ενισχυμένοι νομείς (web frames) οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στην αντοχή του πλοίου.

- Μέχρι το νομέα 11, τοποθετείται ένας ενισχυμένος νομέας ανά 4 κατασκευαστικούς. Δηλαδή η ισαπόσταση των web frames στο πρυμναίο κομμάτι του πλοίου θα είναι ίση με $600 \cdot 4 = 2400$ mm.
- Συνεχίζοντας, ανάμεσα στους νομείς 11 και 133, τοποθετείται ένα web frame ανά 3 κατασκευαστικούς νομείς. Οπότε, η ισαπόσταση των ενισχυμένων νομέων θα είναι ίση με $800 \cdot 3 = 2400$ mm και πάλι, όπως και στο πρυμναίο κομμάτι του πλοίου.
- Αντίστοιχα με το πρυμναίο κομμάτι του πλοίου, έτσι και στο πρωραίο, δηλαδή από το νομέα 133 και έπειτα, θα τοποθετείται ένα web frame ανά 4 κατασκευαστικούς νομείς, οπότε και εδώ έχουμε ισαπόσταση ενισχυμένων νομέων ίση με 2400 mm.

Συνοψίζοντας, κατά κύριο λόγο η ισαπόσταση των web frames ισούται με 2400 mm κατά όλο το μήκος του πλοίου. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως ανάμεσα στους νομείς 11 και 133 δεν τηρείται πάντα η ισαπόσταση των 2400 mm για τους ενισχυμένους νομείς, καθώς υπάρχουν 4 περιπτώσεις όπου η ισαπόστασή τους ισούται με 1600 mm, δηλαδή ανά 2 αντί για 3 κατασκευαστικούς νομείς. Οι περιπτώσεις αυτές είναι:

1. Στα web frames που είναι τοποθετημένα στους νομείς 23 και 25
2. Σε αυτά που είναι τοποθετημένα στους νομείς 103 και 105
3. Σε αυτά που είναι τοποθετημένα στους νομείς 111 και 113
4. Σε αυτά που είναι τοποθετημένα στους νομείς 128 και 130

Η τοποθέτηση ενισχυμένων κατασκευαστικών νομέων γίνεται προκειμένου να ενισχυθεί η αντοχή του πλοίου και η επίδρασή τους στην αντοχή του πλοίου είναι άμεσα συνδεδεμένη από την ισαπόστασή τους. Μειώνοντάς τη, αυξάνεται η αντοχή, επομένως αυτή η «ανωμαλία» δεν κρίνεται βλαβερή για την σχεδίαση.

4.2.2 Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης (Collision Bulkhead)

Στη συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί η ακριβής διαμήκη θέση της Πρωραίας Φρακτής Σύγκρουσης. Για αυτήν ισχύουν κάποιες απαιτήσεις.

Σύμφωνα με τη SOLAS Chapter II-1 / Part B / Regulation 12, η Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης πρέπει να είναι υδατοστεγής και να τοποθετηθεί σε απόσταση α , η οποία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την από τη μικρότερη ποσότητα των $0.05L$ ή 10 μέτρων και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μεγαλύτερη ποσότητα των $0.08L$ ή $0.05L+3$. Ως μήκος L σε αυτούς τους κανονισμούς χρησιμοποιείται το μήκος των κανονισμών για τη Γραμμή Φόρτωσης L_{LLC} (βλ. [υποκεφάλαιο 7.1](#)). Για το υπό μελέτη πλοίο το μήκος αυτό ισούται με:

$$L_{LLC} = 109.06 \text{ m}$$

Οπότε:

- $\alpha_{\min} = \min (0.05L , 10) = \min (0.05 * 109.06 , 10) = \min (5.453 , 10) = 5.453 \text{ m}$
- $\alpha_{\max} = \max (0.08L , 0.05L + 3) = \max (0.08 * 109.06 , 0.05 * 109.06 + 3) = \max (8.725 , 8.453) = 8.725 \text{ m}$

Λόγω βολβοειδούς πλώρης, ο κανονισμός προβλέπει ότι η απόσταση α δε θα μετράται από την πρωραία κάθετο FP αλλά από ένα σημείο πλώραθεν της πρωραίας καθέτου το οποίο απέχει από αυτήν απόσταση ίση με την μικρότερη απόσταση εκ των 3 που περιγράφονται στη συνέχεια:

1. Το μέσο της απόστασης από την FP μέχρι το ακραίο (κατά πλώρας) σημείο του βολβού. Για το υπό μελέτη πλοίο, η απόσταση αυτή ανέρχεται 2.58 m .
2. Απόσταση ίση με $0.015L$ πλώραθεν της πρωραία καθέτου FP. Για το υπό μελέτη πλοίο η απόσταση αυτή ισούται με 1.636 μέτρα.
3. Σε απόσταση 3 μέτρων πλώραθεν της πρωραίας καθέτου FP.

Προφανώς, η μικρότερη εκ των 3 θεωρήσεων είναι η 2^η η οποία ισούται με 1.636 m .

Όπως φαίνεται από το προφίλ του Σχεδίου Γενικής Διάταξης, η Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης τοποθετήθηκε στον κατασκευαστικό νομέα 133. Η απόσταση του νομέα αυτού από το σημείο που απέχει 1.636 μέτρα πλώραθεν της FP, ισούται με 5455 mm . Η απόσταση αυτή καλύπτει τις απαιτήσεις που υποδεικνύουν οι κανονισμοί της SOLAS καθώς είναι εντός των ενδεικνυόμενων ορίων. Συγκεκριμένα, είναι μικρότερη των 8725 mm και μεγαλύτερη των 5453 mm και η τοποθέτησή της κρίνεται ικανοποιητική.

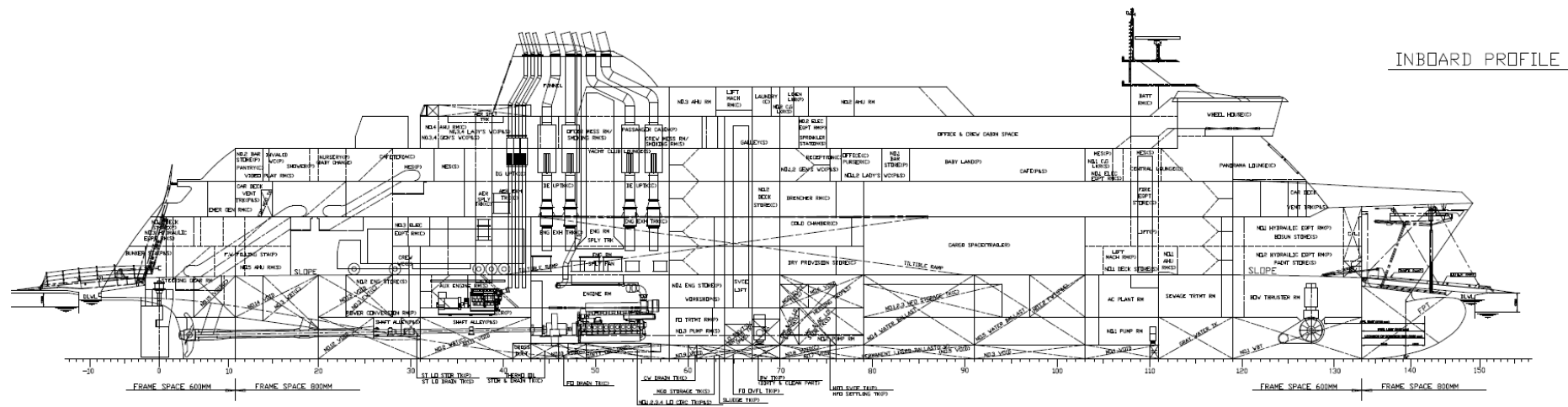
4.2.3 Υδατοστεγείς Φρακτές – Διαμερισματοποίηση

Με γνωστή τη θέση της Πρωραία Φρακτής Σύγκρουσης, είναι πλέον δυνατή η τοποθέτηση και των υπόλοιπων Στεγανών Φρακτών. Αυτές πρέπει να είναι υδατοστεγείς και θα εκτείνονται μέχρι το κατάστρωμα 3 που αποτελεί το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων και το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών.

Συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν 12 υδατοστεγείς φρακτές (11+1 όπου η μία είναι η Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης), χωρίζοντας τη γάστρα του πλοίου (μέχρι και το κατάστρωμα 3) σε 13 υδατοστεγή διαμερίσματα. Κάθε φρακτή τοποθετήθηκε σε έναν ενισχυμένο κατασκευαστικό νομέα. Αυτοί είναι οι εξής:

1. Frame 11
2. Frame 20
3. Frame 31
4. Frame 43
5. Frame 58
6. Frame 70
7. Frame 79
8. Frame 91
9. Frame 103
10. Frame 111
11. Frame 119
12. Frame 133 (Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης)

Στην τομή του προφίλ που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα (διαμήκης τομή του πλοίου) παρουσιάζονται πολλές πληροφορίες σχετικά με τη διάταξη και τους χώρους του πλοίου. Προκειμένου να παρουσιαστούν επαρκώς όλες οι πληροφορίες που εμπεριέχονται στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης, θα εξεταστεί κάθε κατάστρωμα ξεχωριστά στην επόμενη ενότητα.



Σχέδιο 4.2.3.1: Προφίλ υπό μελέτη πλοίου.

4.3 Καταστρώματα (Decks)

Εξετάζοντας κάθε οριζόντια τομή του πλοίου (καταστρώματα) ξεχωριστά, δίνεται η ευκαιρία να γίνει κατανοητή η λογική της διάταξης των χώρων. Για το υπό μελέτη πλοίο (γενικότερα για πλοία τύπου ROPAX) θα μπορούσε να πει κανείς πως αυτό χωρίζεται σε τρία (3) στρώματα τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο:

1. Κατώτερο στρώμα - Καταστρώματα Δεξαμενών, Μηχανολογικών χώρων και Προωστήριας Εγκατάστασης (Καταστρώματα 1 και 2)
2. Ενδιάμεσο στρώμα - Καταστρώματα Οχημάτων (Καταστρώματα 3,4 και 5)
3. Ανώτερο στρώμα - Καταστρώματα Επιβατών (Καταστρώματα 6,7 και 8)

Στη συνέχεια θα εξεταστεί κάθε στρώμα ξεχωριστά, άρα και τα καταστρώματα από τα οποία αποτελείται, περιγράφοντας τη διάταξη και τη χρήση των χώρων σε καθένα εξ αυτών.

4.3.1 Κατώτερο στρώμα (Καταστρώματα 1 και 2)

Το κατώτερο στρώμα αποτελείται από τα καταστρώματα 1 (διπύθμενο) και 2. Σε αυτό τοποθετούνται οι δεξαμενές του πλοίου, η προωστήρια εγκατάστασή του και διάφοροι χώροι μηχανολογικής φύσεως, όπως αντλιοστάσια, μηχανοστάσια και χώροι επεξεργασίας καυσίμων.

4.3.1.1 Κατάστρωμα 1 – Διπύθμενο (Deck 1 – Double Bottom)

Το διπύθμενο όπως έχει ήδη αναφερθεί βρίσκεται 1.2 και 1.3 μέτρα πάνω από τον πυθμένα της γάστρας, ανάλογα τη διαμήκη θέση του πλοίου που μελετάται. Επίσης, τα διαμήκη όρια του είναι από τον κατασκευαστικό νομέα 41 μέχρι και τον 111. Αυτό συμβαίνει λόγω της λεπτόγραμμης γάστρας του πλοίου.

Πρύμνηθεν του νομέα 41 στο ύψος του διπυθμένου υπάρχει η δεξαμενή έρματος 2 (10° στεγανό διαμέρισμα) και διαθέσιμος χώρος προκειμένου να εγκατασταθεί το αξονικό σύστημα της προπέλας (shaft alley).

Πρώραθεν του νομέα 111 υπάρχει μία δεξαμενή αποβλήτων νερού (Gray Water tank – 3° στεγανό διαμέρισμα), η δεξαμενή έρματος 1 (2° στεγανό διαμέρισμα) και η πρωραία δεξαμενή ζυγοστάθμισης (Fore Peak tank – 1° στεγανό διαμέρισμα).

Το 9° στεγανό διαμέρισμα φιλοξενεί το μηχανοστάσιο του πλοίου και είναι το μοναδικό διαμέρισμα στο οποίο το διπύθμενο βρίσκεται σε ύψος 1.3 μέτρων από τον πυθμένα. Σε αυτό και κάτω από το διπύθμενο είναι τοποθετημένες δεξαμενές που σχετίζονται με τη λειτουργία του μηχανοστασίου, όπως δεξαμενές λιπαντικών και καυσίμων, ενώ πάνω στο διπύθμενο είναι τοποθετημένες οι τέσσερις (4) Κύριες Μηχανές του πλοίου.

Στο 8° στεγανό διαμέρισμα (πρώραθεν του 9^{ου}) είναι τοποθετημένο το δωμάτιο επεξεργασίας καυσίμων (Fuel Oil Treatment room), καθώς είναι λογικό να βρίσκεται γειτονικά στο μηχανοστάσιο, και το αντλιοστάσιο 3 (Pump room 3). Αυτοί οι χώροι είναι τοποθετημένοι πάνω στο διπύθμενο. Ακόμα, σε αυτό το διαμέρισμα υπάρχουν και συμμετρικά (ως προς τον διαμήκη άξονα) τοποθετημένοι οι μηχανισμοί των πτερυγίων ευστάθειας (fin stabilizers). Τα πτερύγια αυτά μαζί με τα παρατροπίδια συνεισφέρουν στην ευστάθεια του πλοίου περιορίζοντας την επίδραση του διατοιχισμού (περιστροφική κίνηση ως προς τον διάμηκες άξονα - Roll). Όσον αφορά στις δεξαμενές που έχουν τοποθετηθεί στο

8^ο στεγανό διαμέρισμα, αυτές είναι κατά κύριο λόγο μικρές δεξαμενές αποβλήτων (καυσίμων, έρματος και λιπαντικών) τοποθετημένες κάτω από το διπύθμενο.

Το 7^ο στεγανό διαμέρισμα φιλοξενεί το αντλιοστάσιο 2 (Pump room 2), τις συμμετρικά τοποθετημένες δεξαμενές έρματος εγκάρσιας κλίσης (Heeling tank P & S), δύο (2) δεξαμενές καυσίμων (HFO Settling Tank – HFO Storage Tk) και δύο (2) δεξαμενές λιπαντικών (CPP & RG LO Storage Tk – ME & AE LO Storage Tk). Τα λιπαντικά της δεξαμενής CPP & RG προορίζονται για τις έλικες (Controllable Pitch Propellers – CPP) και τους μειωτήρες του πλοίου (Reduction Gears – RG), ενώ της δεξαμενής ME & AE για τις Κύριες Μηχανές (Main Engines – ME) και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (Auxiliary Engines – AE). Όλοι αυτοί οι χώροι είναι τοποθετημένοι πάνω στο διπύθμενο, ενώ κάτω από αυτό βρίσκονται κενοί χώροι (Void spaces).

Η δεξαμενή καυσίμων Settling Tank χρησιμεύει στον καθαρισμό του καυσίμου ενώ η δεξαμενή καυσίμων Service Tank λαμβάνει το καθαρό καύσιμο από την Settling και το τροφοδοτεί κατά βάση στις Κύριες Μηχανές και στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Στο στεγανά διαμερίσματα 6 και 5 υπάρχουν κενοί χώροι (Void spaces) κάτω και πάνω από το διπύθμενο. Αντίστοιχα στο 4^ο στεγανό διαμέρισμα υπάρχει ένας κενός χώρος κάτω από το διπύθμενο, ενώ πάνω από αυτό βρίσκεται το αντλιοστάσιο 1 (Pump room 1).

Η τομή του καταστρώματος 1 δίνει πληροφορίες για χώρους που υπάρχουν εκατέρωθεν του διπυθμένου (κάτω και άνω αυτού). Αυτό συμβαίνει μονάχα στην τομή του καταστρώματος 1 και αποτελεί ιδιαιτερότητά της. Όλες οι υπόλοιπες οριζόντιες τομές παρουσιάζουν χώρους που βρίσκονται πάνω στο κατάστρωμα που αναφέρονται. Για καλύτερη κατανόηση της πλήρους διάταξης αυτών προτείνεται η ταυτόχρονη παρατήρηση της εκάστοτε τομής του καταστρώματος σε συνδυασμό με την τομή του προφίλ του πλοίου.

4.3.1.2 Κατάστρωμα 2 (Deck 2)

Στο 13^ο στεγανό διαμέρισμα (πρυμναίο) είναι τοποθετημένο το δωμάτιο πηδαλιουχίας. Σε αυτό είναι τοποθετημένος ο μηχανισμός που χειρίζεται-στρίβει το πηδάλιο. Ο μηχανισμός αυτός κανονικά ελέγχεται από τη γέφυρα εξ αποστάσεως. Παρόλα αυτά σε περίπτωση βλάβης υπάρχει η δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας του μηχανισμού του πηδαλίου με χρήση κατάλληλων κλειδιών.

Στο επόμενο στεγανό διαμέρισμα (12^ο) βρίσκεται η δεξαμενή έρματος 3 (Water Ballast Tank 3 – WBT3).

Στο 11^ο στεγανό διαμέρισμα είναι τοποθετημένοι δύο χώροι μηχανολογικής φύσεως, το Power Conversion Room στην αριστερή (port) πλευρά του πλοίου και το Engine store 2 στη δεξιά (starboard). Τα δύο (2) αυτά δωμάτια συνδέονται μεταξύ τους με ένα διάδρομο. Στο κέντρο του διαμερίσματος υπάρχει η δεξαμενή φρέσκου νερού 3 (Fresh Water Tank 3 – FWT3).

Το 10^ο στεγανό διαμέρισμα του καταστρώματος 2 είναι πολύ σημαντικό για τη λειτουργία του πλοίου διότι στη δεξιά πλευρά του (starboard) είναι τοποθετημένα τρία (3) ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που τροφοδοτούν το πλοίο με την απαραίτητη, για την ομαλή λειτουργία του, ενέργεια. Αντίστοιχα, στην αριστερή πλευρά (port side) του διαμερίσματος υπάρχει το Κέντρο Ελέγχου των Μηχανολογικών εγκαταστάσεων (Engine Control Room – ECR) του πλοίου. Σε αυτό το δωμάτιο υπάρχουν όλα τα απαραίτητα μέσα για τον έλεγχο της λειτουργίας των Κύριων Μηχανών και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

Εξίσου σημαντικό είναι και το 9^ο στεγανό διαμέρισμα του συγκεκριμένου καταστρώματος καθώς αυτό φιλοξενεί τις Κύριες Μηχανές του πλοίου εντός του μηχανοστασίου (Engine Room). Λόγω του μεγάλου ύψους των Κυρίων Μηχανών έχει διαμορφωθεί κατάλληλο άνοιγμα στο κατάστρωμα στη θέση από την οποία διέρχονται οι Κύριες Μηχανές.

Συνεχίζοντας, το 8^ο στεγανό διαμέρισμα αποτελείται από δύο (2) χώρους μηχανολογικής φύσεως, το Engine store 1 και το Workshop, καθώς και έναν χώρο γενικής χρήσεως στο κέντρο, ανάμεσα στα δύο (2) προαναφερθέντα δωμάτια.

Στο στεγανό διαμέρισμα 7 του καταστρώματος αυτού εκτείνονται οι δεξαμενές έρματος εγκάρσιας κλίσης (Heeling tank P & S) από το κατάστρωμα 1, όπως και οι δεξαμενές καυσίμων (HFO Settling Tank – HFO Storage Tk). Ακόμα, υπάρχει μία ακόμα δεξαμενή καυσίμων, η Marine Gas Oil – Service Tank (MGO – SRVC Tk).

Το επόμενο στεγανό διαμέρισμα (6^ο) φιλοξενεί τις τρεις (3) δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων Heavy Fuel Oil – Storage Tanks 1,2,3 (HFO – Storage Tanks 1,2,3) που διαθέτει το πλοίο. Μέρος αυτών εκτείνεται και στο επόμενο στεγανό διαμέρισμα υπ' αριθμόν 5.

Οι τρεις (3) διαφορετικοί τύποι δεξαμενών καυσίμου Heavy Fuel Oil (HFO) λειτουργούν ως εξής:

1. Οι δεξαμενές storage αποθηκεύουν τα καύσιμα
2. Στις δεξαμενές settling αντλούνται τα καύσιμα από τις storage, όπου και καθαρίζονται και ετοιμάζονται προς χρήση-εκμετάλλευση
3. Τα καθαρά πλέον καύσιμα καταλήγουν από τις settling στις service οι οποίες τροφοδοτούν τις Κύριες Μηχανές και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη

Στο 5^ο στεγανό διαμέρισμα, μαζί με μέρος των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων, είναι τοποθετημένες δύο (2) δεξαμενές φρέσκου νερού, οι 1 και 2.

Στα στεγανά διαμερίσματα 4, 3 και 2 τοποθετούνται αντίστοιχα το σύστημα διαχείρισης κλιματισμού του πλοίου (AC plant room), το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων-αποβλήτων (Sewage Treatment room) και ο μηχανισμός των bow thrusters.

Τέλος, το 1^ο και πρωραίο στεγανό διαμέρισμα στεγάζει και πάλι την πρωραία δεξαμενή ζυγοστάθμισης (Fore Peak Tank).

Για τη μετακίνηση μεταξύ των διάφορων χώρων στα καταστρώματα 1 και 2, εφόσον αυτά βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, οι κανονισμοί επιβάλλουν όλες οι θύρες που θα συνδέουν αυτά τα διαμερίσματα να είναι υδατοστεγείς.

Πέραν της οριζόντιας μετακίνησης, είναι δυνατή και η μετακίνηση κατακόρυφα ανά τα καταστρώματα με κλίμακες που είναι τοποθετημένες στους χώρους αυτών. Η βασική αρχή που επηρέασε τη σχεδίαση και τη διάταξη των χώρων είναι η απαίτηση για δύο (2) ξεχωριστούς εξόδους κινδύνου από όλους του χώρους του πλοίου, εκτός εάν ο χώρος κρίνεται ότι είναι σπάνια επισκέψιμος από το πλήρωμα. Περισσότερες λεπτομέρειες σύμφωνα με τους κανονισμούς περί εξόδους κινδύνου παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο όπου γίνεται ανάλυση του Safety Plan του πλοίου ([Κεφάλαιο 8](#)).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατόψεις των καταστρωμάτων 1 και 2 όπως αυτές σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα AutoCAD:

4.3.2 Ενδιάμεσο στρώμα (Καταστρώματα 3,4 και 5)

Το ενδιάμεσο στρώμα αποτελείται από τα καταστρώματα 3,4 και 5. Αυτά ονομάζονται και καταστρώματα οχημάτων καθώς σε αυτά αποθηκεύονται τα οχήματα για τα ταξίδια του πλοίου. Προφανώς, σε αυτά τα διαμερίσματα είναι τοποθετημένοι και άλλοι χώροι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία του πλοίου. Αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια ανάλογα το κατάστρωμα στο οποίο είναι τοποθετημένα.

4.3.2.1 Κατάστρωμα 3 – Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (Deck 3 – Main Deck)

Το κατάστρωμα 3, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι τοποθετημένο σε ύψος 7.25 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας και χαρακτηρίζεται και Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών ή Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων. Το ύψος του καταστρώματος είναι 5 μέτρα.

Από την τομή του καταστρώματος αυτού φαίνεται ότι το πλοίο διαθέτει επτά (7) καταπέλτες-ράμπες. Οι έξι (6) από αυτές είναι εξωτερικές ενώ μία μονάχα είναι εσωτερική. Η εσωτερική ράμπα χρησιμεύει ως σύνδεσμος μεταξύ των καταστρωμάτων οχημάτων 3 και 5 για τα οχήματα που εισέρχονται στο κύτος του πλοίου. Η ράμπα αυτή μπορεί να είναι ανακλινόμενη ή όχι. Οι ανακλινόμενες ράμπες είναι πιο ακριβές λόγω του μηχανισμού ανάκλησης που διαθέτουν και πιο επιρρεπείς σε βλάβες. Παρόλα αυτά μεγιστοποιούν τη χωρητικότητα των καταστρωμάτων οχημάτων όταν είναι κλειστές. Στο υπό μελέτη πλοίο τοποθετήθηκε ανακλινόμενη εσωτερική ράμπα.

Οι εξωτερικοί καταπέλτες διακρίνονται σε καταπέλτες επιβατών και οχημάτων. Στην πρύμνη είναι τοποθετημένος στο κέντρο ο καταπέλτης από τον οποίο εισέρχονται τα οχήματα στο Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων και εκατέρωθεν στις πλευρές του δύο (2) καταπέλτες επιβατών για την είσοδο και την έξοδό τους στο πλοίο κατά την φορτοεκφόρτωση. Στην πλώρη είναι τοποθετημένος ένας ακόμα καταπέλτης οχημάτων που συνδέει το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων με την προβλήτα. Η ύπαρξη δύο (2) καταπελτών οχημάτων σε πρύμνη και πλώρη αντίστοιχα επιταχύνει σημαντικά τη φορτοεκφόρτωση του πλοίου καθώς τα οχήματα εισέρχονται από τον έναν καταπέλτη και εξέρχονται από τον άλλο, δίχως αυτά να χρειάζεται να πραγματοποιήσουν επιτόπιο ελιγμό. Τέλος, στο πρωραίο κομμάτι του πλοίου είναι τοποθετημένοι και δύο (2) καταπέλτες επιβατών (frames 113-116) στα πλαϊνά της γάστρας.

Στη μέση του καταστρώματος είναι τοποθετημένο το Engine casing του πλοίου. Πρόκειται για μία απομονωμένη (από το υπόλοιπο κατάστρωμα) κατασκευή μικρού πλάτους (2.8 μέτρα στο υπό μελέτη πλοίο) και μήκους περίπου ίσου με το ένα τρίτο (1/3) του μήκους του πλοίου. Ο ρόλος του Engine casing είναι να εξασφαλίζει πρόσβαση προς τα κατώτερα καταστρώματα (καταστρώματα 1 και 2), ενώ εντός αυτού περνούν τα κλιμακοστάσια και οι καπναγωγοί που διοχετεύουν τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα, καθώς και αποθήκες και λοιπά δωμάτια μηχανολογικής φύσεως όπως το δωμάτιο ηλεκτρικού εξοπλισμού. Αντίστοιχα, μέσω του Engine casing τροφοδοτούνται τα κατώτερα-κλειστά καταστρώματα με φρέσκο αέρα. Το engine casing εκτείνεται κατακόρυφα από το κατάστρωμα 3 μέχρι το ανώτατο κατάστρωμα του πλοίου (top deck) και προσφέρει στήριξη στα ανώτερα καταστρώματα, αυξάνοντας τη στιβαρότητα της κατασκευής.

Στα άκρα του καταστρώματος στην πλώρη και την πρύμνη υπάρχουν τέσσερις (4) κλειστές κατασκευές. Οι δύο (2) πρυμναίες διαθέτουν τις απαραίτητες κλίμακες για τη μεταφορά των επιβατών προς τα ανώτερα καταστρώματα, ενώ οι δύο (2) πρωραίες αποτελούν χώρους

μηχανολογικής φύσεως όπως το δωμάτιο υδραυλικού εξοπλισμού, το κιβώτιο του ανελκυστήρα και αποθήκες.

Τέλος, η κύρια λειτουργία του καταστρώματος είναι η τοποθέτηση οχημάτων σε αυτό. Βάση των σχεδίων το κατάστρωμα χωράει 21 νταλίκες ή 105 Ι.Χ. αντίστοιχα. Αυτή η χωρητικότητα αντιστοιχεί σε 336 lane meters πλάτους 3.1 μέτρων (trailer lane meters) ή σε 472.5 lane meters πλάτους 2.2 μέτρων (car lane meters).

4.3.2.2 Κατάστρωμα 4 (Deck 4)

Το κατάστρωμα 4 συναντάται μόνο εντός του Engine casing και των τεσσάρων (4) κλειστών κατασκευών στις άκρες του καταστρώματος στην πρύμνη και την πλώρη. Εντός των χώρων αυτών είναι κατά κύριο λόγο τοποθετημένα δωμάτια παρόμοιας χρήσης με αυτήν που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη υποενότητα.

4.3.2.3 Κατάστρωμα 5 – Άνω Κατάστρωμα οχημάτων (Deck 5 – Upper Deck)

Το κατάστρωμα 5 αποτελεί το ανώτατο κατάστρωμα της γάστρας του πλοίου (Upper Deck) και Άνω Κατάστρωμα Οχημάτων, τοποθετημένο σε ύψος 12.25 μέτρων από τον πυθμένα της γάστρας. Το ύψος του είναι ίσο με 3.1 μέτρα.

Στην πρύμνη, μέχρι και τον κατασκευαστικό νομέα 11 (frame 11), το κατάστρωμα είναι ανοιχτό. Στον ανοιχτό αυτό χώρο είναι τοποθετημένα τα πρυμναία καραβόσκοινα (κάβοι) με τα οποία δένει και σταθεροποιείται το πλοίο στις ειδικές δέστρες που υπάρχουν στην προβλήτα του λιμανιού.

Στο κλειστό κομμάτι του καταστρώματος, εισερχόμενοι από την πρύμνη, είναι τοποθετημένη η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης (Emergency Generator). Σύμφωνα με τους κανονισμούς, αυτή πρέπει να είναι τοποθετημένη μακριά από τις υπόλοιπες μηχανολογικές εγκαταστάσεις του πλοίου πάνω από το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα (Κατάστρωμα 5), ώστε σε περίπτωση κατάκλισης ή πυρκαγιάς των κατώτερων χώρων του πλοίου η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να παραμένει λειτουργική.

Εκατέρωθεν του δωματίου γεννήτριας έκτακτης ανάγκης υπάρχουν οι πρυμναίοι εξαερισμοί (ventilations) του καταστρώματος. Αντίστοιχοι εξαερισμοί είναι τοποθετημένοι και στο πρωραίο πέρασ της κλειστής κατασκευής του καταστρώματος.

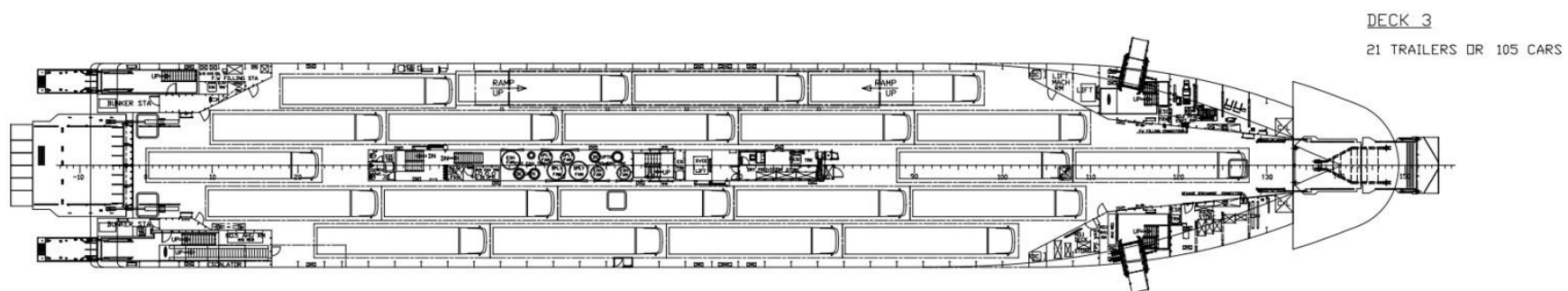
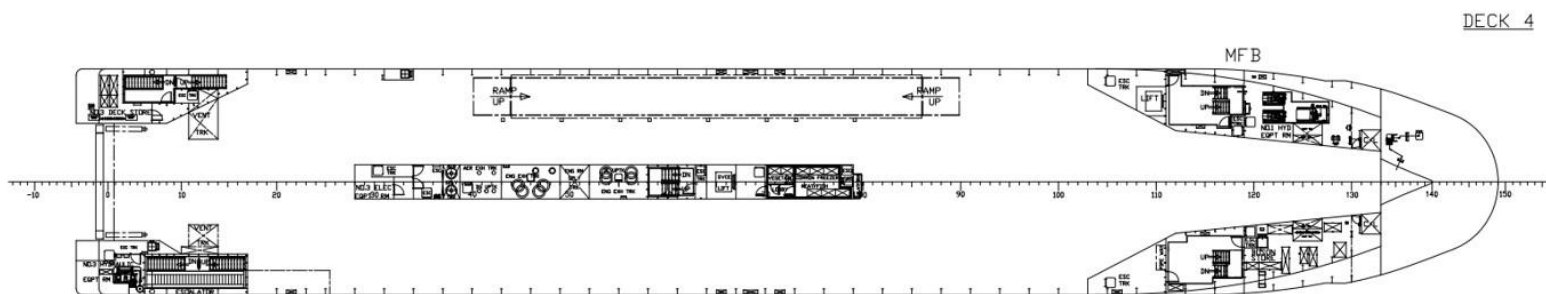
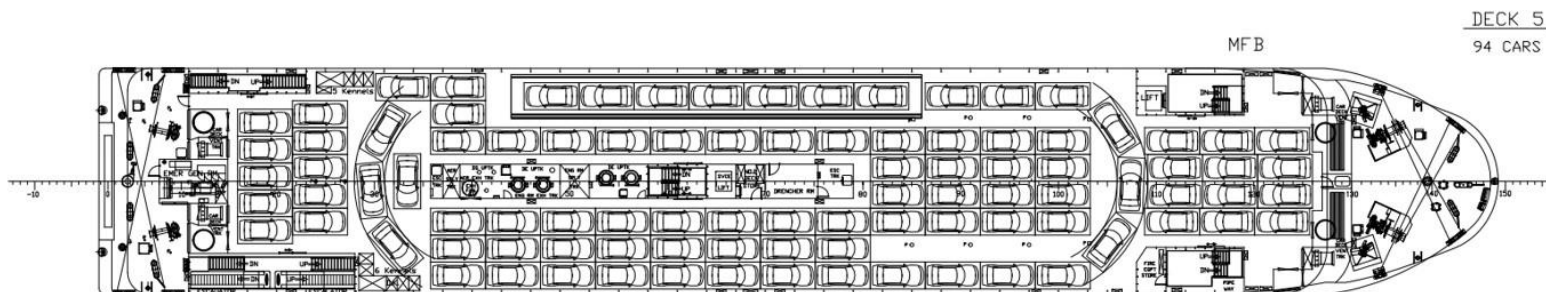
Στις τέσσερις (4) κλειστές κατασκευές που έχουμε ήδη αναφέρει από τα καταστρώματα 3 και 4 και οι οποίες επεκτείνονται μέχρι και το εν λόγω κατάστρωμα, υπάρχουν κλίμακες για τη μετάβαση των επιβατών από το ένα κατάστρωμα στο άλλο που αποτελούν τη συνέχεια των κλιμάκων από τα καταστρώματα 3 και 4. Ακόμα, στην πρωραία κατασκευή του starboard side (δεξιά πλευρά) είναι τοποθετημένο ένα δωμάτιο αποθήκευσης μέσων πυρασφάλειας (fire equipment store).

Στη μέση του καταστρώματος συνεχίζει να επεκτείνεται το engine casing, ενώ το πρωραίο κομμάτι του καταστρώματος, από τον κατασκευαστικό νομέα 127 και έπειτα, είναι και αυτό εκτεθειμένο στον καιρό όπως είναι και το πρυμναίο κομμάτι του. Σε αυτόν τον ανοιχτό χώρο είναι τοποθετημένα τα πρωραία καραβόσκοινα (κάβοι) καθώς και το σύστημα αγκύρωσης του πλοίου.

Τέλος, το άνω κατάστρωμα οχημάτων φιλοξενεί μονάχα οχήματα Ι.Χ. λόγω του χαμηλού του ύψους το οποίο δεν επιτρέπει την στάθμευση νταλικών (ύψος 3.1 μέτρα). Η χωρητικότητα του καταστρώματος ανέρχεται στα 94 Ι.Χ. ή διαφορετικά στα 423 car lane meters πλάτους 2.2 μέτρων.

Συνεπώς, η συνολική χωρητικότητα των δύο (2) καταστρωμάτων οχημάτων (Decks 3 & 5) ανέρχεται στα $336 + 423 = 759$ lane meters και η απαίτηση του πλοιοκτήτη καλύπτεται (βλ. [Πίνακας 2.1.1](#)).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατόψεις των καταστρωμάτων 3, 4 και 5 όπως αυτές σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα AutoCAD:



Σχέδιο 4.3.2.1: Καταστρώματα 3, 4 και 5.

4.3.3 Ανώτερο στρώμα (Καταστρώματα 6, 7 και 8)

Το τελευταίο και ανώτερο στρώμα αποτελείται από τα καταστρώματα 6, 7 και 8. Αυτά αποτελούν τις υπερκατασκευές του πλοίου, τοποθετημένες πάνω στη γάστρα του. Σε αυτά είναι τοποθετημένοι οι χώροι των επιβατών και ενδιαίτησης (καταστρώματα 6 και 7) ενώ το κατάστρωμα 8 είναι επισκέψιμο μονάχα από το πλήρωμα του πλοίου.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και συγκεκριμένα το Προεδρικό Διάταγμα 44 του 2011 και το Νόμο 11637 του 1986, οι κλειστοί χώροι ενδιαίτησης των επιβατών πρέπει να τοποθετηθούν πίσω από την Πρωραία Φρακτή Σύγκρουσης καθ' όλο το ύψος του πλοίου. Ως εκ τούτου, όλοι οι κλειστοί χώροι των καταστρωμάτων που θα αναλυθούν στη συνέχεια είναι τοποθετημένοι πρύμνηθεν του κατασκευαστικού νομέα 133 (frame 133) στον οποίο βρίσκεται η εν λόγω φρακτή.

4.3.3.1 Κατάστρωμα 6 (Deck 6)

Το κατάστρωμα 6 αποτελεί το 1^ο κατάστρωμα ενδιαίτησεως – επιβατών και βρίσκεται σε ύψος 15.35 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας. Το ύψος του ανέρχεται στα 2.8 μέτρα.

Το πρυμναίο κομμάτι του καταστρώματος 6 μέχρι και τον νομέα 11 είναι ανοιχτό. Σε αυτό το εξωτερικό κομμάτι εμβαδού 92 m² είναι διαθέσιμα 90 καθίσματα για τους επιβάτες ενώ υπάρχουν και εξωτερικές κλίμακες που οδηγούν στον πρυμναίο ανοιχτό χώρο του καταστρώματος 7.

Το κλειστό μέρος του καταστρώματος είναι ιδιαίτερα ευρύχωρο. Σε αυτόν έχουν τοποθετηθεί ένα snack bar, μία αποθήκη για το snack bar (bar store), τουαλέτες, ένα κατάστημα (shop), η υποδοχή (reception), τηλεοράσεις και προφανώς τα σαλόνια των επιβατών στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα αεροπορικά καθίσματα, τα τραπέζια με τα καθίσματα τους και οι καναπέδες. Επίσης, το engine casing εκτείνεται και σε αυτό το κατάστρωμα. Τα σαλόνια έχουν συνολικό εμβαδό 1091 m² ενώ διαθέτουν συνολικά 1054 θέσεις. Οπότε, τα συνολικά καθίσματα του καταστρώματος ανέρχονται σε 1144.

Το κατάστρωμα αυτό φιλοξενεί τα τέσσερα (4) συστήματα έκτακτης εγκατάλειψης του πλοίου τα οποία είναι τοποθετημένα στα τέσσερα (4) MES (Marine Evacuation System) rooms του καταστρώματος. Η δυνατότητα εκκένωσής τους ανέρχεται στα 400 άτομα σε 30 λεπτά της ώρας, οπότε όλα μαζί καλύπτουν τις ανάγκες του πλοίου το οποίο είναι σχεδιασμένο να φιλοξενεί κατά μέγιστο 1560 άτομα (1500 επιβάτες + 60 πλήρωμα).

4.3.3.2 Κατάστρωμα 7 (Deck 7)

Το 7^ο κατάστρωμα αποτελεί το 2^ο κατάστρωμα επιβατών και ενδιαίτησεως. Είναι τοποθετημένο στα 18.15 μέτρα από τον πυθμένα της γάστρας και οι κλειστοί του χώροι έχουν ύψος 2.8 μέτρων, όπως συμβαίνει και στο κατάστρωμα 6.

Στο κατάστρωμα αυτό οι κοινόχρηστοι χώροι που προορίζονται για τους επιβάτες βρίσκονται στο ανοιχτό πρυμναίο κομμάτι του. Αυτό έχει συνολικό εμβαδό 408 m² και σε αυτό βρίσκονται 451 καθίσματα διαθέσιμα για τους επιβάτες, ενώ υπάρχει καντίνα-μπαρ για την εξυπηρέτησή τους.

Επιπλέον καθίσματα βρίσκονται στο πρωραίο κομμάτι του ανοιχτού καταστρώματος. Ως καθίσματα χρησιμεύουν οι στοιβαγμένες (stackable) καρέκλες και τα ντουλαπάκια που

έχουν αποθηκευμένα ατομικά σωσίβια για τους επιβάτες. Ο αριθμός των καθισμάτων στο χώρο αυτό (εκατέρωθεν της κλειστής υπερκατασκευής) ανέρχεται στα 197. Οπότε, ο συνολικός αριθμός καθισμάτων του καταστρώματος θα είναι ίσος με 648 ενώ όλου του πλοίου 1792. Συνεπώς, μπορούν να εξυπηρετηθούν όλοι οι επιβάτες που προορίζεται να μεταφέρει το υπό μελέτη πλοίο (1500).

Στο πρωραίο κομμάτι του ανοιχτού καταστρώματος είναι τοποθετημένα επίσης δύο (2) μηχανοκίνητα σωστικά σκάφη και τέσσερις (4) σωσίβιες λέμβοι χωρητικότητας 100 ατόμων η κάθε μία.

Όσον αφορά το περιεχόμενο της κλειστής υπερκατασκευής του καταστρώματος, σε αυτό υπάρχουν τουαλέτες, το engine casing, το μαγειρείο του πλοίου (Galley), δωμάτια για κάπνισμα (Smoking room), οχτώ (8) καμπίνες επιβατών χωρητικότητας τεσσάρων (4) ατόμων και μία χωρητικότητας δύο (2) ατόμων για τους ασθενείς, ιατρείο (hospital), ένα δωμάτιο ηλεκτρικού εξοπλισμού, το sprinkler station και οι καμπίνες του πληρώματος. Οι καμπίνες του πληρώματος είναι τοποθετημένες ανάμεσα στους νομείς 75 και 113, απομονωμένες από όλους του υπόλοιπους χώρους που αναφέρθηκαν. Η διάταξη των ανωτέρω χώρων γίνεται πιο κατανοητή παρατηρώντας το ακόλουθο σχέδιο των καταστρωμάτων επιβατών.

Τέλος, στο πρωραίο κομμάτι του καταστρώματος 7 είναι τοποθετημένη η Γέφυρα (Wheel house) του πλοίου. Από τη Γέφυρα του πλοίου ελέγχονται σχεδόν όλες οι λειτουργίες του που εξασφαλίζουν ασφαλή πλοήγηση. Σε αυτήν είναι τοποθετημένο το κέντρο τηλεπικοινωνιών και αισθητήρων (radar) του πλοίου μέσω του οποίου εξασφαλίζεται επικοινωνία με το μηχανοστάσιο (Engine Control Room – ECR) και τον περιβάλλοντα χώρο (πλοία και λιμενικές αρχές), ενώ από εκεί οδηγείται το πλοίο με τη βοήθεια του τιμονιού που ελέγχει το πηδάλιο και άλλων μοχλών που ρυθμίζουν την ταχύτητα πλεύσης.

4.3.3.3 Κατάστρωμα 8 – Κατάστρωμα καιρού (Deck 8 – Weather Deck)

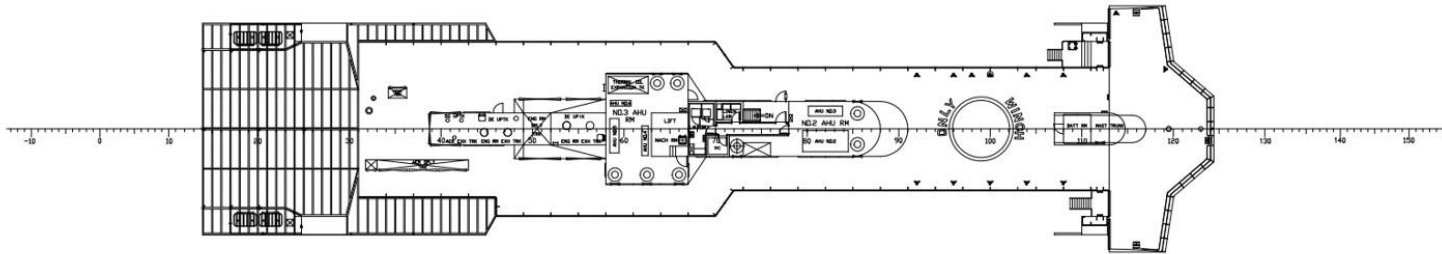
Το τελευταίο κατάστρωμα του πλοίου είναι το 8^ο το οποίο αποκαλείται και Κατάστρωμα Καιρού, διότι είναι συνεχώς εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Είναι τοποθετημένο στα 20.95 μέτρα και οι κλειστοί χώροι του έχουν ύψος 2.55 μέτρα. Το κατάστρωμα αυτό είναι κατασκευασμένα σε μεγάλο βαθμό από αλουμίνιο προκειμένου να χαμηλώσει το κέντρο βάρους τη συνολικής μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

Το κατάστρωμα αυτό είναι επισκέψιμο μονάχα από το πλήρωμα του πλοίου. Ως εκ τούτου, σε αυτό τοποθετούνται μόνο χώροι σχετικοί με εργασίες του πληρώματος. Τέτοιοι είναι οι υπομονάδες του κεντρικού κλιματισμού (Air Handling Unit – AHU) και το δωμάτιο αποθήκευσης των μπαταριών του πλοίου. Οι μπαταρίες αποτελούν εναλλακτική μορφή τροφοδότησης ενέργειας για το πλοίο σε περίπτωση όπου η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης παρουσιάσει βλάβη. Στην κορυφή του καταστρώματος πάνω από την γέφυρα είναι τοποθετημένες οι, σχετικές με τα συστήματα τηλεπικοινωνίας και αισθητήρων, κεραίες του πλοίου, ενώ οι καπναγωγοί του engine casing που ξεκίνησαν από το κατάστρωμα 3, καταλήγουν πλέον στο φουγάρο του πλοίου (funnel). Ακόμα, στο κατάστρωμα αυτό είναι τοποθετημένο και το ελικοδρόμιο του πλοίου.

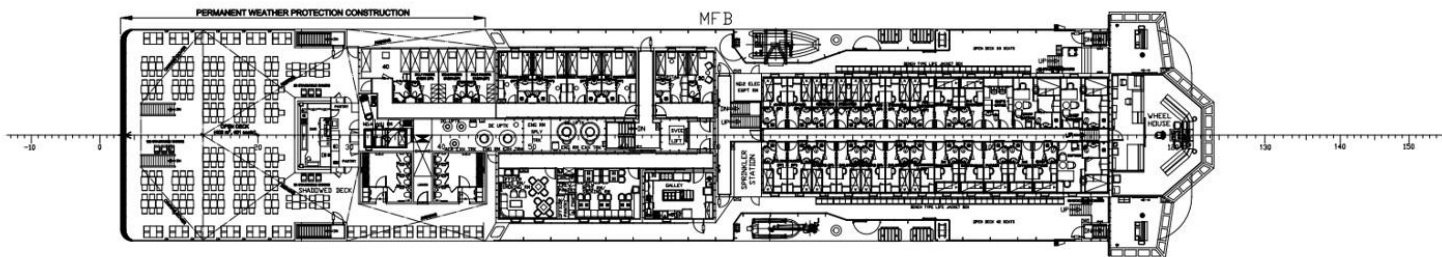
Τέλος, και σε αυτό το κατάστρωμα (όπως και στο 7) είναι τοποθετημένες τέσσερις σωσίβιες λέμβοι χωρητικότητας 100 ατόμων. Αυτές είναι τοποθετημένες στην πρύμνη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατόψεις των καταστρώματων 6, 7 και 8 όπως αυτές σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα AutoCAD:

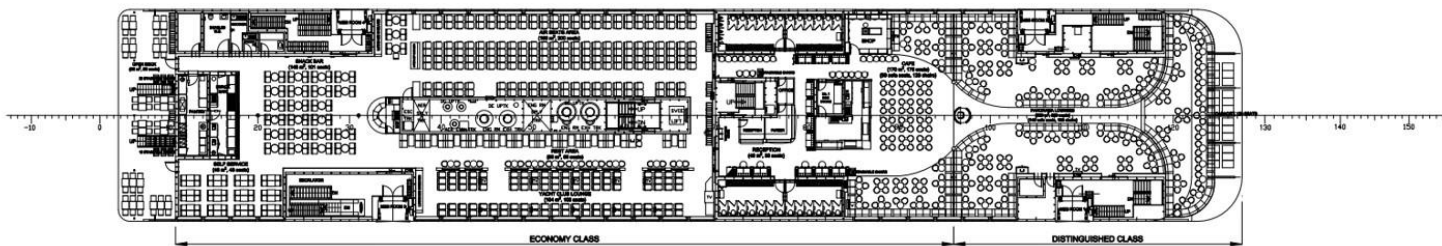
DECK 8



DECK 7



DECK 6



Σχέδιο 4.3.3.1: Καταστρώματα 6, 7 και 8.

5. Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section)

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section) του υπό μελέτη πλοίου. Σε ένα Σχέδιο Μέσης Τομής παρουσιάζονται πληροφορίες που σχετίζονται με την αντοχή ενός πλοίου, όπως είναι:

- Η γεωμετρία διαφόρων κατασκευαστικών νομέων της γάστρας του πλοίου
- Το πάχος των ελασμάτων που συνθέτουν τη γεωμετρία αυτή
- Ισαπόσταση, διαστάσεις, πάχος και μορφή διαμηκών και εγκάρσιων ενισχυτικών
- Διαστάσεις των υποστυλωμάτων

Η ακριβής γεωμετρία της γάστρας του πλοίου, άρα και των εγκάρσιων τομών της, είναι γνωστή από μετέπειτα κεφάλαιο ([υποκεφάλαιο 6.1](#)) στο οποίο παρουσιάζεται το Σχέδιο Γραμμών του υπό μελέτη πλοίου. Αυτά που είναι άγνωστα είναι οι πληροφορίες που σχετίζονται με τα ελάσματα και τα κατασκευαστικά στοιχεία που τα ενισχύουν.

Η διαστασιολόγηση των κατασκευαστικών στοιχείων αυτών σχετίζεται άμεσα με την επίτευξη επαρκούς αντοχής της κατασκευής. Για τον καθορισμό μερίδας αυτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MARS2000 που διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο από το Γαλλικό Νηογνώμονα Bureau Veritas. Το λογισμικό αυτό εναρμονίζεται με τους κανονισμούς του Νηογνώμονα για την αντοχή πλοίων κατασκευασμένων από χάλυβα “NR467 Rules for the Classification of Steel Ships – Part B – Hull and Stability, Bureau Veritas, July 2023” και με τη βοήθειά του διαστασιολογήθηκαν τα ελάσματα (πλάκες) και τα διαμήκη ενισχυτικά (χωρίς τα Girders) του υπό μελέτη πλοίου. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού χάλυβα και αλουμινίου στην κατασκευή. Για την ακρίβεια, στο υπό μελέτη πλοίο παρατηρούνται τα εξής τρία (3) υλικά κατασκευής:

1. Grade A steel με όριο διαρροής (yield strength) 235 N/mm^2
2. Grade AH-36 steel με όριο διαρροής (yield strength) 355 N/mm^2
3. Aluminum (Al) 5086 με όριο διαρροής (yield strength) 120 N/mm^2

Ο ενισχυμένος χάλυβας τοποθετείται μονάχα στο Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (Κατάστρωμα 3) ενώ αλουμίνιο συναντάται στο Ανώτερο Κατάστρωμα Καιρού. Η χρήση αλουμινίου αποσκοπεί στη μείωση του κέντρου βάρους του πλοίου.

5.1 Σύστημα ενίσχυσης

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως για το υπό μελέτη πλοίο επιλέχθηκε διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, όπως συμβαίνει με όλα τα σύγχρονα πλοία ROPAX. Σε αυτό το σύστημα ενίσχυσης τοποθετείται ένας εγκάρσιος ενισχυμένος νομέας (web frames) ανά τρεις (3) κατασκευαστικούς νομείς (frames), όπως επίσης και διαμήκη ενισχυτικά σε μικρή μεταξύ τους απόσταση.

Για το υπό μελέτη πλοίο, η ισαπόσταση των web frames/floors είναι 2.4 m, εκτός από τοπικές εξαιρέσεις στις οποίες γίνεται 1.6 m (ανά δύο (2) κατασκευαστικούς νομείς αντί τριών, (βλ. [ενότητα 4.2.1](#))), και η απόσταση των δευτερευόντων διαμηκών ενισχυτικών ισούται κατά κύριο λόγο με 600 mm, εκτός εάν επισημαίνεται κάτι διαφορετικό στο σχέδιο.

5.2 Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμηκών ενισχυτικών (MARS2000)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για τον υπολογισμό των ελασμάτων και των διαμηκών ενισχυτικών, χωρίς τα Girders, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MARS2000. Στο λογισμικό αυτό εντάχθηκαν τρεις (3) εγκάρσιες τομές στην κατάλληλη διαμήκη θέση τους, η γεωμετρία των οποίων είναι γνωστή από τα Σχέδια Γενικής Διάταξης και Γραμμών (Κεφάλαια 3 και 6.1) αντίστοιχα. Αυτές αντιστοιχούν στους ακόλουθους κατασκευαστικούς νομείς:

- Frame 64 (Web frame / floor)
- Frame 85 (Web frame / floor)
- Frame 105 (Web frame / floor)

Μαζί με τη γεωμετρία των εγκάρσιων τομών, το λογισμικό πρέπει να γνωρίζει και κάποιες βασικές παραμέτρους για το υπό μελέτη πλοίο. Αυτές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Μήκος Κανονισμών L_R	109.06 m
Πλάτος B	18.5 m
Συντελεστής γάστρας C_B	0.577
Ταχύτητα υπηρεσίας V_S	18 knots
Απόσταση πρυμναίας υδατοστεγούς φρακτής από την πρυμναία κάθετο AP	6.6 m
Απόσταση Πρωραίας Φρακτής Σύγκρουσης από την πρυμναία κάθετο AP	104.2 m
Κοίλο Καταστρώματος Αντοχής D_{UD}	12.25 m
Κοίλο Καταστρώματος Εξάλων D_{FB}	7.25 m
Βύθισμα αντοχής T_{SCANT}	5.1 m
Ροπή κάμψης σε ήρεμο νερό (Sagging)	0 kNm
Ροπή κάμψης σε ήρεμο νερό (Hogging)	0 kNm

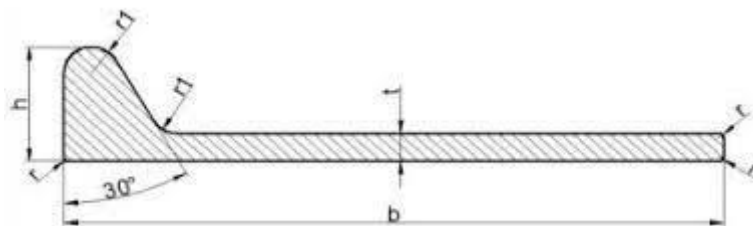
Πίνακας 5.2.1: Βασικές διαστάσεις υπό μελέτη πλοίου για το MARS2000.

Οι ροπές κάμψης σε ήρεμο νερό θεωρήθηκαν ίσες με το μηδέν (0) εφόσον είναι άγνωστες σε αυτό το στάδιο της μελέτης. Παρόλα αυτά, οι υπολογισμοί εντός του λογισμικού θα πραγματοποιηθούν με τις επιτρεπτές, από τον κανονισμό, τιμές.

Ακόμα, η διαμήκης αντοχή του πλοίου αξιολογείται με βάση τη γάστρα του πλοίου καθώς θεωρείται ότι οι υπερκατασκευές δε συνεισφέρουν σε αυτήν. Ως εκ τούτου, το Κατάστρωμα Αντοχής (Strength Deck) ταυτίζεται με το ανώτατο κατάστρωμα της γάστρας, δηλαδή το Κατάστρωμα 5 που βρίσκεται 12.25 μέτρα από τον πυθμένα.

Αφού εισαχθούν όλα τα παραπάνω, απομένει να καθοριστούν οι θέσεις, το πάχος και το μήκος των ελασμάτων, η ισαπόσταση, το μήκος και οι διαστάσεις των ενισχυτικών και η ισαπόσταση των web frames.

Το πρόγραμμα υπολογίζει ένα ελάχιστο πάχος για τα ελάσματα σύμφωνα με τους κανονισμούς, ενώ σε αυτό προστίθεται και το πάχος έναντι πρόληψης διάβρωσης. Το πάχος αυτό μπορεί να είναι έως και 4 mm ανά πλευρά. Όσον αφορά στα διαμήκη ενισχυτικά, όπως προαναφέρθηκε, αυτά είναι τοποθετημένα σε ισαπόσταση μεταξύ τους ίση με 600 mm. Αντίστοιχα, πάχος διάβρωσης υπολογίζεται και για τα ενισχυτικά αυτά. Τα ενισχυτικά επιλέχθηκε να είναι κατά κύριο λόγο Bulb flats (Bulb Plates – BP) και τοπικά Flat Bars FB. Η διατομή των ενισχυτικών τύπου BP φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2.1: Διατομή ενός Bulb Flat.

Όσον αφορά στα καταστρώματα οχημάτων, τα δύο αυτά καταστρώματα μεταφέρουν μεγαλύτερο βάρος, συγκριτικά με τα υπόλοιπα, λόγω οχημάτων και φορτηγών. Το πρόγραμμα αδυνατεί να υπολογίσει με ικανοποιητική ακρίβεια τις φορτίσεις που προκαλούνται από αυτό το φορτίο. Ως εκ τούτου, όσον αφορά τα ελάσματα και ενισχυτικά που τοποθετούνται σε αυτά τα καταστρώματα, αυτά τοποθετήθηκαν με βάση στοιχεία από όμοια πλοία.

Τελικά, με γνωστά πλέον όλα τα ανωτέρω, το λογισμικό υπολογίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη Ροπή Αντίστασης Z κάθε εγκάρσιας τομής. Με δεδομένη την απαίτηση αυτή, καθορίζονται και το πάχος των ελασμάτων και οι διαστάσεις των ενισχυτικών, με γνώμονα να επιτευχθεί η ζητούμενη Ροπή Αντίστασης Z.

Από τα αποτελέσματα του MARS2000, παρατηρήθηκε η εμφανής ομοιότητα στα πάχη των ελασμάτων και στις διαστάσεις των διαμηκών ενισχυτικών που προτείνει το λογισμικό, με αυτά πλοίων ίδιου τύπου και μεγέθους.

Στην περιοχή του πυθμένα, όσο απομακρύνονται τα ενισχυτικά από το διαμήκη άξονα συμμετρίας (Centerline), τόσο μειώνονται οι απαιτήσεις των κανονισμών αναφορικά στην αντοχή της κατασκευής με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι διαστάσεις των ενισχυτικών, ενώ παρατηρείται μείωση του πάχους των ελασμάτων της γάστρας (πλάκες) όσο απομακρύνονται αυτά καθ' ύψος από την Baseline.

5.3 Κύρια κατασκευαστικά στοιχεία (Primary Support Members)

Μετά τη μελέτη για τα ελάσματα και τα διαμήκη ενισχυτικά, ακολουθεί ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των κύριων κατασκευαστικών στοιχείων, δηλαδή κατά κύριο λόγο της εγκάρσιας ενίσχυσης του πλοίου.

Κύρια κατασκευαστικά στοιχεία (Primary support members) είναι τα ακόλουθα:

- Girders, δηλαδή ενισχυμένα διαμήκη ενισχυτικά
- Web frames / floors / Deck beams
- Φρακτές (Bulkheads)
- Υποστυλώματα (Pillars)

Ελλείψει λοιπών πληροφοριών, και με δεδομένη την ομοιότητα των αποτελεσμάτων του MARS2000 για τα ελάσματα και τα διαμήκη ενισχυτικά με αυτά όμοιων πλοίων, επιλέχθηκε να τοποθετηθούν ίδιων διαστάσεων και πάχους κύρια κατασκευαστικά στοιχεία στο υπό μελέτη πλοίο, όπως αυτά φαίνονται στο Σχέδιο Μέσης Τομής των πλοίων αυτών.

Οι εγκάρσιοι ενισχυμένοι νομείς (web frames) θα έχουν διατομή T. Κατά κανόνα, τοποθετείται ένας ενισχυμένος νομέας ανά τρεις (3) κατασκευαστικούς, οπότε η ισαπόστασή τους είναι ανάλογη του frame spacing. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισαπόσταση αυτή ανέρχεται στα 2.4 μέτρα εκτός από τοπικές εξαιρέσεις όπου η ισαπόσταση ισούται με 1.6 μέτρα.

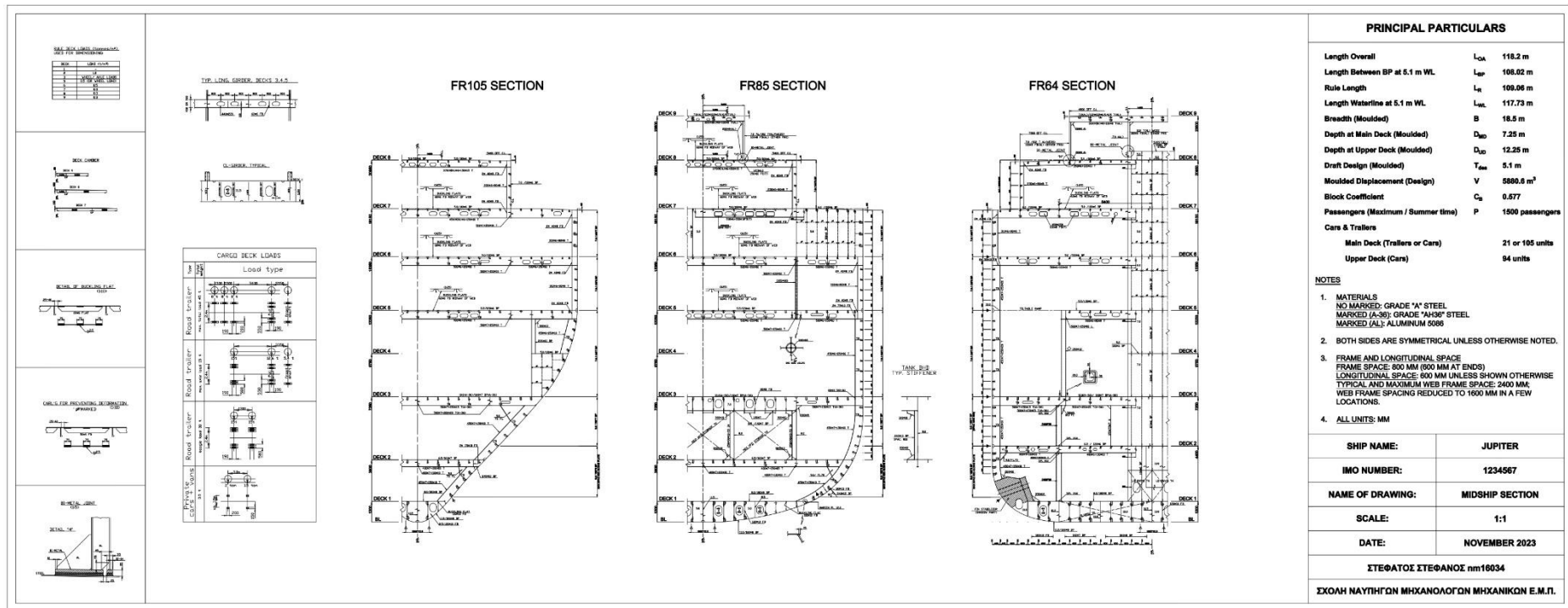
Κάτω από τα καταστρώματα, τα web frames χαρακτηρίζονται ως Deck Beams. Η βασική διαφορά των Side Web frames (στα πλαϊνά ελάσματα της γάστρας) από τα Deck Beams είναι στις διαφορετικές καταπονήσεις που δέχονται, άρα και στις διαφορετικές απαιτήσεις πάχους και διαστάσεων (εμβαδού διατομής A).

Αντίστοιχα, τα web frames που είναι τοποθετημένα εντός του χώρου του διπυθμένου, χαρακτηρίζονται ως floors. Τα floors διαφοροποιούνται από τα Side Web frames και τα Deck Beams κυρίως επειδή δεν έχουν διατομή ενισχυτικού, αλλά αποτελούν εγκάρσια ελάσματα – έδρες. Τα floors μπορεί να είναι συμπαγείς ή ανοιχτές έδρες, ανάλογα τις απαιτήσεις του χώρου στον οποίο θα τοποθετηθούν. Για παράδειγμα, εάν είναι απαραίτητη η διέλευση κάποιου υγρού, φερριπείν σε μια δεξαμενή έρματος ή καυσίμου, τότε πρέπει το floor να είναι ανοιχτό προκειμένου να επιτραπεί η ελεύθερη ροή του υγρού εντός της δεξαμενής. Άλλες περιπτώσεις που προτιμώνται ανοιχτές έδρες είναι όταν επιθυμείται μείωση του βάρους της κατασκευής. Αυτό διότι οι ανοιχτές έδρες αποτελούνται από λιγότερο υλικό συγκριτικά με μία κλειστή ίδιου πάχους και διαστάσεων. Συνήθως κλειστές έδρες τοποθετούνται για την οριοθέτηση κάποιας δεξαμενής ή στεγανού διαμερίσματος.

Όσον αφορά τα υποστυλώματα, αυτά χρησιμοποιούνται για να στηρίξουν τα καταστρώματα, αυξάνοντας τη στιβαρότητα της κατασκευής και κατά επέκταση της αντοχής της. Παραλαμβάνουν αξονικά, κυρίως θλιπτικά, φορτία, ενώ η κύρια καταπόνησή τους είναι ο λυγισμός. Λυγισμός εμφανίζεται στην ασθενέστερη κατεύθυνση του υποστυλώματος σε περίπτωση ανομοιογένειας της διατομής του, συνεπώς προτιμώνται διατομές που προσφέρουν ομοιογενή αντοχή σε όλες τις διευθύνσεις. Τέτοιες διατομές είναι οι τετραγωνικές και οι κυκλικές. Τα χαρακτηριστικά των υποστυλωμάτων αντλήθηκαν από τα σχέδια όμοιων πλοίων.

5.4 Σχέδιο σε AutoCAD

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το Σχέδιο Μέσης Τομής του υπό μελέτη πλοίου, όπως αυτό σχεδιάστηκε στο AutoCAD, και στο οποίο περιέχονται αναλυτικότερα οι δομικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες που απαρτίζουν τις εγκάρσιες τομές του.



Σχέδιο 5.4.1: Σχέδιο Μέσης Τομής υπό μελέτη πλοίου.

6. Aveva Marine

Στη συνέχεια της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία (3) προγράμματα της AVEVA MARINE. Αυτά είναι τα εξής:

1. AVEVA lines
2. AVEVA Surface & Compartment
3. AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics

Σε γενικές γραμμές, στο lines δημιουργείται η γάστρα και κατά συνέπεια το Σχέδιο Γραμμών της, στο surface & compartment γίνεται η διαμερισματοποίηση του εσωτερικού του πλοίου και στο Hydrostatics & Hydrodynamics πραγματοποιούνται υδροστατικοί και λοιποί υπολογισμοί, καταστάσεις φόρτωσης και άλλα που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

6.1 Lines – Σχέδιο Γραμμών

Στο 1^ο εκ των τριών (3) προγραμμάτων του πακέτου AVEVA, στο lines, θα αναπτυχθεί το Σχέδιο Γραμμών της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου.

Αρχικά, δίνονται στο πρόγραμμα οι βασικές διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου. Αυτές φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:

Units	Curve	Patch	
Data set	Axes	Sort	
General Particulars			
LBP	108.02	Beam Overhang	0
Beam	18.5	Stem Overhang	5.13
Depth	12.25	Stem Overhang	5.05
Draft	5.1	Minimum Z	0
Rok	0	Maximum Z	12.25
Project			
Ship Name	Jupiter		
Customer Name			
Project Title	AVEVA		
User Name	Stefatos		
<input checked="" type="checkbox"/> Visible Header			

Εικόνα 6.1.1: Βασικές παράμετροι υπό μελέτη πλοίου για το AVEVA LINES.

Τα overhangs εκφράζουν το πόσο εξέχει η γάστρα του πλοίου από τα όρια που θέτουν οι βασικές διαστάσεις του. Διακρίνεται το overhang του πλάτους (Beam overhang) και του μήκους (Stem & Stern overhangs).

Στο υπό μελέτη πλοίο δεν υπάρχει overhang όσον αφορά το πλάτος, για αυτό και η τιμή στο αντίστοιχο κελί είναι μηδέν (0). Όμως, υπάρχει κατά το διάμηκες στην πλώρη (stem overhang) ίσο με 5.13 μέτρα ενώ στην πρύμνη (stern overhang) ίσο με 5.05 μέτρα.

Πρόκειται για έναν πιο ακριβή τρόπο περιγραφής του ολικού μήκους L_{OA} της γάστρας του πλοίου. Προφανώς, $108.02 + 5.13 + 5.05 = 118.2$ m.

Η σχεδίαση ξεκίνησε από τις καμπύλες που οριοθετούν τη γεωμετρία της γάστρας ενός πλοίου. Αυτές το πρόγραμμα τις ονομάζει "Boundary" και είναι οι εξής:

- Προφίλ πρύμνης
- Προφίλ πλώρης
- Flat of Bottom (F.O.B.)
- Flat of Side (F.O.S.)
- Transom (Καθρέπτης πρύμνης)

Όλες οι καμπύλες εξομαλύνθηκαν επαρκώς πριν τη μετάβαση στο επόμενο στάδιο της σχεδίασης. Η εξομάλυνσή τους έγινε με προσθαφαίρεση και μετακίνηση των σημείων που ορίζουν την κάθε καμπύλη.

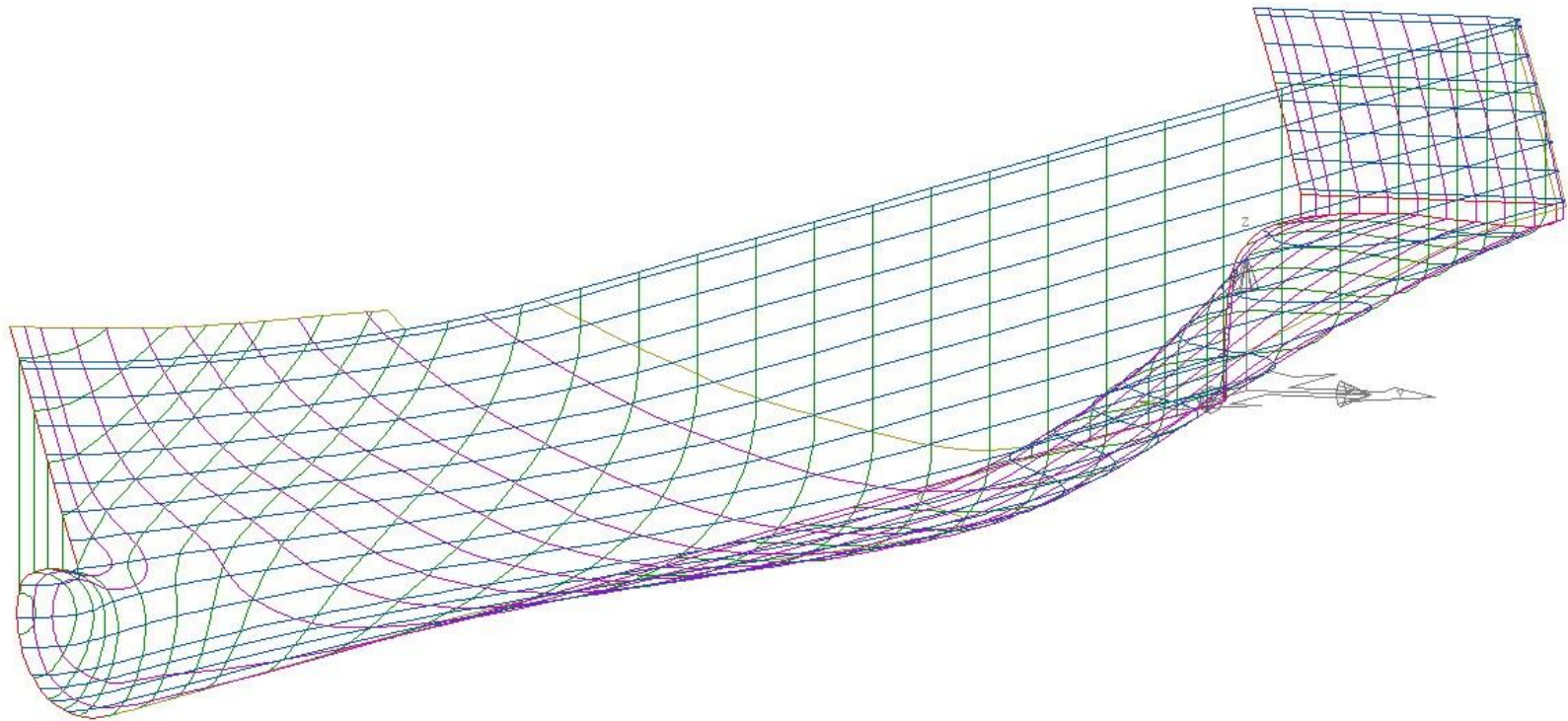
Στο επόμενο στάδιο της σχεδίασης δημιουργήθηκαν οι ομάδες καμπυλών που προσδιορίζουν πλήρως τη γεωμετρία της γάστρας όταν είναι εξομαλυμένες. Αυτές οι ομάδες καμπυλών είναι οι εξής:

- Εγκάρσιοι σχεδιαστικοί νομείς κατά το διάμηκες (Sections)
- Οριζόντιες τομές καθ' ύψος - Ίσαλοι (Waterlines)
- Διαμήκεις τομές (Buttocks)

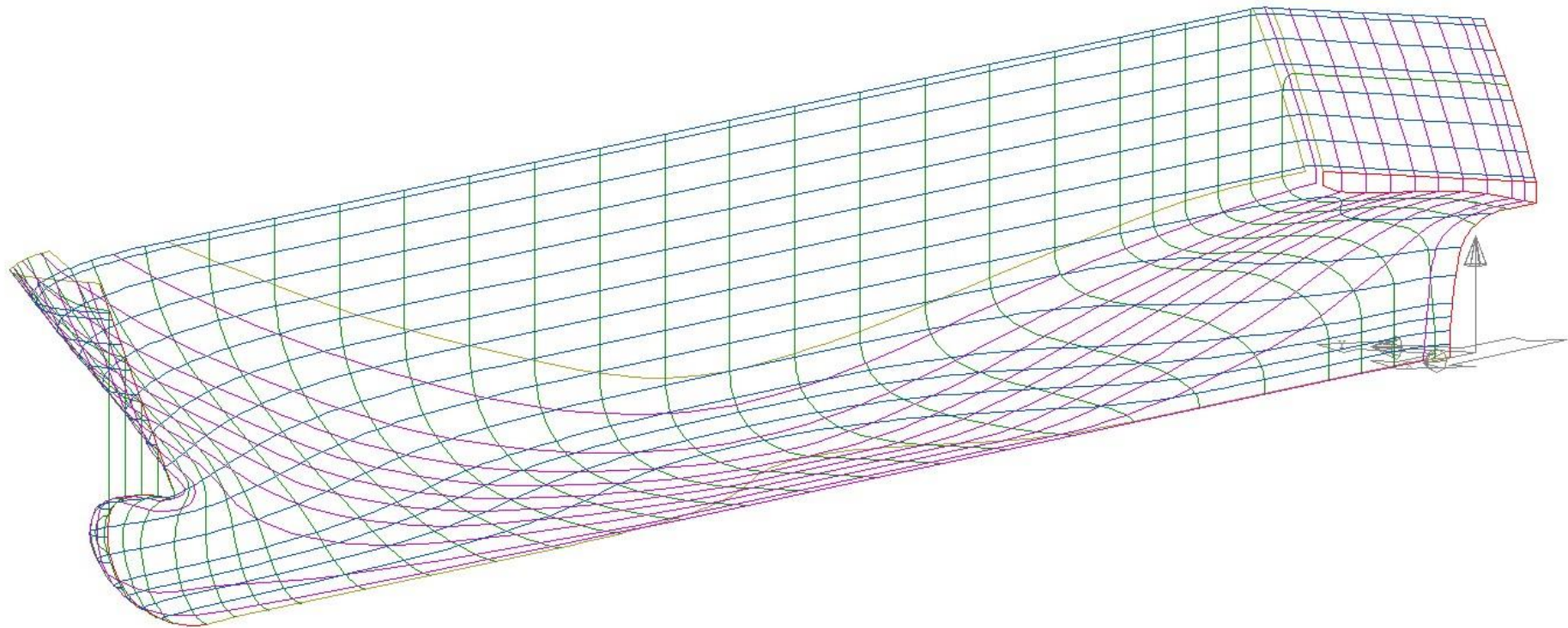
Προκειμένου να καταλήξουμε στην τελική γεωμετρία της γάστρας, πραγματοποιήθηκε μία κυκλική διαδικασία εξομαλύνσεων. Έπειτα από πλήρη εξομάλυνση όλων των καμπυλών μιας ομάδας (sections, waterlines, buttocks), ακολουθεί η εξομάλυνση της επόμενης κατά σειρά ομάδας, έως ότου να μη χρειάζεται καθόλου εξομάλυνση των νέων καμπυλών. Προφανώς, με κάθε εξομάλυνση και άρα αλλοίωση των καμπυλών, οι αλλαγές μεταφέρονται και στις υπόλοιπες ομάδες περνώντας τες εκ νέου με την εντολή fairing.

Τελικά, το αποτέλεσμα της ανωτέρω διαδικασίας φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες. Αυτή είναι η τελική γάστρα του υπό μελέτη πλοίου, από την οποία προέκυψαν οι συντελεστές που σχετίζονται με τη γεωμετρία της (γάστρας C_B , μέσης τομής C_M , ισάλου C_{WL} κ.ά.). Προφανώς, απαίτηση για το συντελεστή γάστρας ήταν αυτός να ισούται με 0.577, όσο δηλαδή έχει επιλεγεί από προηγούμενα στάδια της εργασίας.

Το Σχέδιο Γραμμών της γάστρας που ακολουθεί, έχει προκύψει και αυτό με τη σειρά του από τις καμπύλες που φαίνονται στις εικόνες 6.1.2 και 6.1.3. Σε αυτό περιέχεται ξεχωριστά κάθε ομάδα καμπυλών (Sections, Waterlines, Buttocks) και πίνακες στους οποίους αναγράφονται οι ακριβείς συντεταγμένες των σημείων από τα οποία προκύπτουν αυτές.



Εικόνα 6.1.2: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο lines 1.



Εικόνα 6.1.3: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο lines 2.

6.2 Surface & Compartment (Διαμερισματοποίηση)

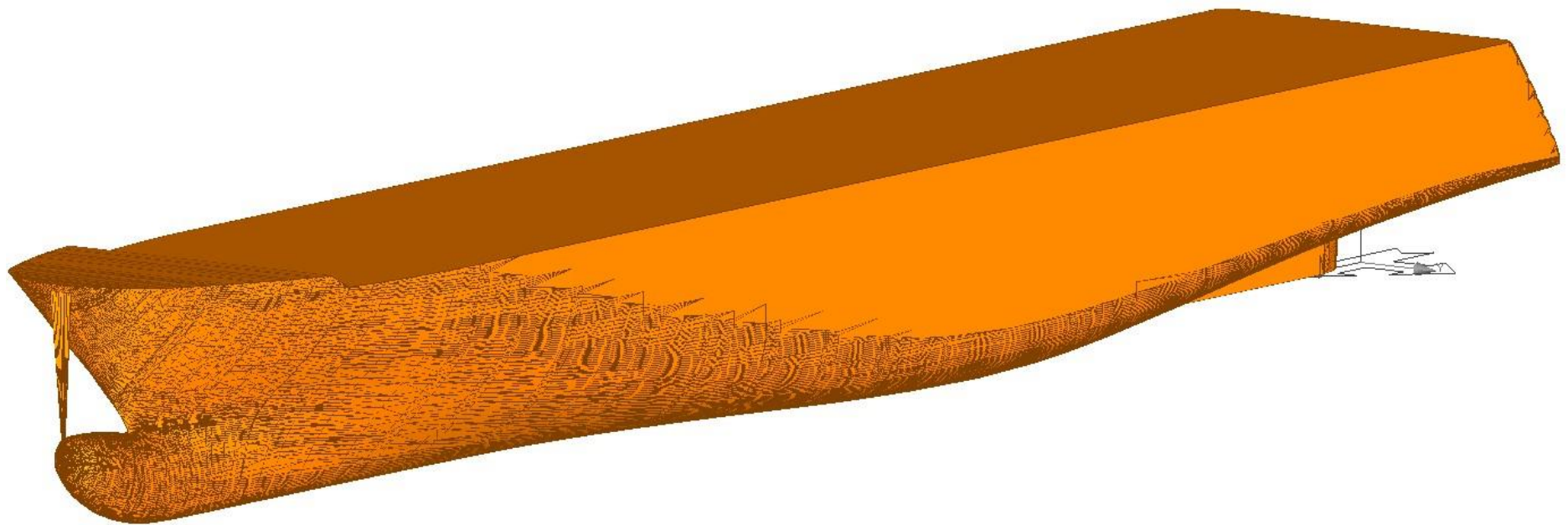
Στο 2^ο εκ των τριών (3) προγραμμάτων του πακέτου AVEVA, το Surface & Compartment, γίνεται η διαμερισματοποίηση του εσωτερικού της γάστρας που σχεδιάστηκε στο lines.

Αρχικά, πρέπει να εισαχθεί η γεωμετρία της γάστρας από το lines στο surface & compartment. Αυτό γίνεται δυνατό εξάγοντας ένα αρχείο britfair από το lines. Σε αυτό το αρχείο εμπεριέχεται, υπό τη μορφή συντεταγμένων, η γεωμετρία της γάστρας.

Το βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε είναι πως σε αυτό το αρχείο μπορεί να συμπεριληφθεί πληροφορία μονάχα από μία ομάδα καμπυλών (boundary, sections, waterlines, buttocks ή άλλη). Όμως, καμία εξ αυτών δεν επαρκεί για να περιγράψει ικανοποιητικά τη γεωμετρία της γάστρας του πλοίου από μόνη της. Επομένως, εφόσον επιλέχθηκε να εξαχθεί η γεωμετρική πληροφορία των νομέων του πλοίου στο αρχείο britfair, έπρεπε να δημιουργηθούν κι άλλοι σχεδιαστικοί νομείς μέχρις ότου να περιγραφεί ικανοποιητικά η γάστρα μόνο από αυτούς.

Οι σχεδιαστικοί νομείς που τοποθετήθηκαν είναι πιο πυκνοί στην πλώρη και την πρύμνη όπου απαιτείται μεγαλύτερη λεπτομέρεια για να περιληφθεί η απαραίτητη πληροφορία περιγραφής της γάστρας. Ο καθρέπτης του πλοίου περιγράφεται από έναν νομέα πανομοιότυπης γεωμετρίας, ενώ νομείς έχουν τοποθετηθεί και σε διαμήκεις θέσεις που βρίσκονται τα όρια καμπυλών, όπως για παράδειγμα στην αρχή και το πέρας του Flat of Bottom, το πέρας του προφίλ της πλώρης αλλά και σε σημεία όπου οι καμπύλες παρουσιάζουν γωνίες ή αλλαγή κατεύθυνσης (knuckle & tangent points). Προφανώς, όλοι οι νέοι νομείς εξομαλύνθηκαν.

Το αποτέλεσμα, δηλαδή η γεωμετρία της γάστρας του πλοίου στο Surface & Compartment, φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 6.2.1: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο Surface & Compartment 1.



Εικόνα 6.2.2: Μορφή της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου στο Surface & Compartment 2.

Πλέον και με διαθέσιμη τη γάστρα του πλοίου στο Surface & Compartment, το επόμενο βήμα είναι να οριστεί το frame table του πλοίου. Αυτό θα φανεί χρήσιμο καθώς αποτελεί το σημείο αναφοράς για την τοποθέτηση και οριοθέτηση φρακτών, καταστρωμάτων, δεξαμενών και υπερκατασκευών του πλοίου.

Στη συνέχεια και με υπάρχον το frame table, πρέπει να τοποθετηθούν οι υπερκατασκευές του υπό μελέτη πλοίου πάνω στη γάστρα του. Αυτό θα γίνει με χρήση της εντολής Block. Αυτή η εντολή επιτρέπει τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, το οποίο θα παριστάνει την εκάστοτε υπερκατασκευή. Αφού δημιουργηθεί κάθε υπερκατασκευή, πρέπει να την μετατοπιστεί στην κατάλληλη θέση με την εντολή Translate και να ενωθεί με την υπόλοιπη γάστρα του πλοίου.

Οι διαστάσεις των υπερκατασκευών και οι ακριβείς τους θέσεις μετρήθηκαν στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης (Κεφάλαιο 4).

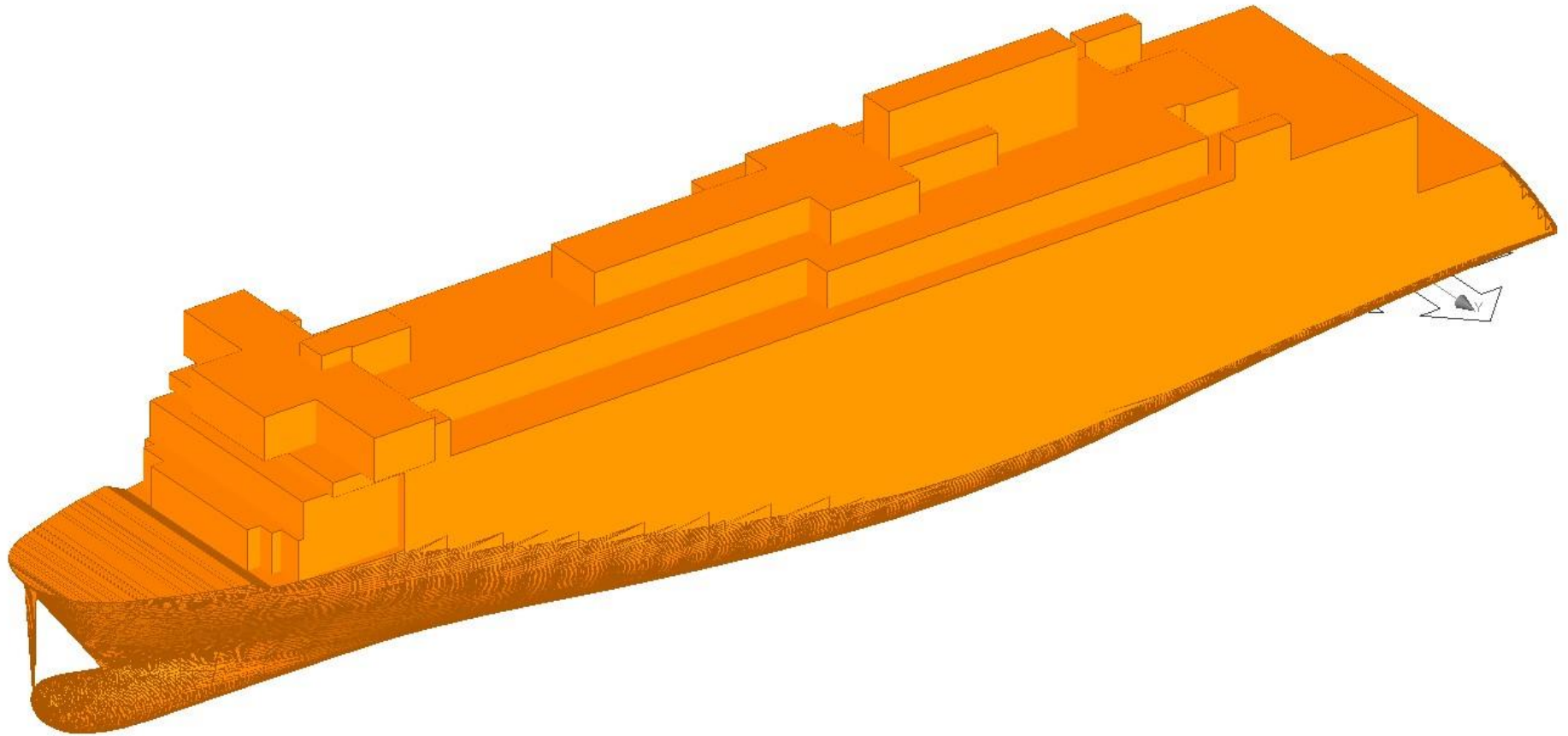
Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία τοποθέτησης των υπερκατασκευών, έχει πλέον καθοριστεί πλήρως το εξωτερικό-κέλυφος του πλοίου (εικόνα 6.2.3). Επομένως, απομένει να καθοριστεί και η εσωτερική διαμερισματοποίηση των χώρων του πλοίου.

Κάθε χώρος στο εσωτερικό του πλοίου οριοθετείται από φρακτές (εγκάρσιες και διαμήκεις), καταστρώματα (οριζόντιες επιφάνειες) και το κέλυφος του πλοίου (γάστρα). Επομένως, το πρώτο στάδιο της διαμερισματοποίησης του εσωτερικού απαιτεί την τοποθέτηση των φρακτών και των καταστρωμάτων. Οι θέσεις και η έκταση αυτών είναι γνωστές από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου και η τοποθέτησή τους γίνεται με την εντολή Internal Surface Editor.

Έπειτα, ορίζονται οι δεξαμενές και οι διάφοροι χώροι (rooms) του πλοίου. Πληροφορίες για αυτά λαμβάνονται και πάλι από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου, ενώ ορίζονται στο πρόγραμμα με κοινή εντολή, που είναι η Compartment Editor. Προκειμένου το πρόγραμμα να μην αντιμετωπίζει αυτούς τους χώρους ως όμοιους ως προς το περιεχόμενό τους, δίνεται η δυνατότητα να οριστούν διάφορα layers και κατηγορίες διαμερισμάτων (Compartment categories) τα οποία ονοματίζονται, καθορίζεται το είδος και η πυκνότητα του περιεχομένου τους, καθώς και η διαπερατότητα του τύπου χώρου-δεξαμενής. Οι κατηγορίες που συναντιόνται στο υπό μελέτη πλοίο είναι οι ακόλουθες:

Category	Density [t/m ³]	Structural Permeability [%]	Damage Permeability [%]
Heavy Fuel Oil (HFO)	0.98	98	95
Fresh Water (FW)	1	98	95
Water Ballast (WB)	1.025	98	95
Diesel Oil (DO)	0.85	98	95
Lubricant Oil (LO)	0.9	98	95
Gray Water (GW)	1	98	95
Miscellaneous (Misc)	1	98	95
Void Spaces (VOID)	-	98	95
Machinery Spaces (Mach)	-	98	85

Πίνακας 6.2.1: Κατηγορίες διαμερισμάτων-δεξαμενών υπό μελέτη πλοίου.



Εικόνα 6.2.3: Τελική μορφή του πλοίου (γάστρα & υπερκατασκευές).

Σε αυτό το σημείο σημαντικό είναι να σημειωθεί πως η διαμερισματοποίηση του πλοίου έλαβε χώρα μέχρι και το ύψος του Καταστρώματος Στεγανών Φρακτών (κατάστρωμα 3), όχι άνωθεν αυτού. Ούτως η άλλως το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (κατάστρωμα 3) αποτελεί ένα μεγάλο ενιαίο διαμέρισμα λόγω της ανάγκης για ελεύθερη μετακίνηση των οχημάτων σε αυτό. Το ίδιο ισχύει και για το άνω κατάστρωμα οχημάτων (κατάστρωμα 5).

6.3 Hydrostatics & Hydrodynamics

Στο τρίτο (3^ο) και τελευταίο πρόγραμμα του πακέτου AVEVA MARINE, το Hydrostatics & Hydrodynamics, θα πραγματοποιηθούν σημαντικοί υπολογισμοί, υδροστατικοί και άλλοι, για το υπό μελέτη πλοίο.

Πρώτα όμως, πρέπει να μεταφερθεί η πληροφορία από το Surface & Compartment στο συγκεκριμένο πρόγραμμα. Αυτό γίνεται μέσω της εντολής Release Calculation Geometry στο Surface & Compartment. Το αρχείο που δημιουργείται από αυτήν την εντολή, περιέχει όλη την απαραίτητη πληροφορία για το υπό μελέτη πλοίο και είναι συμβατό με το Hydrostatics & Hydrodynamics.

Συγκεκριμένα, εντός του αρχείου περιέχονται οι πληροφορίες για τη γεωμετρία της γάστρας (μαζί με τις υπερκατασκευές, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.3) και τη διαμερισματοποίησή της (άρα δεξαμενές και λοιπούς χώρους), για τις κύριες διαστάσεις του πλοίου και το frame table του, ακριβώς όπως είχαν οριστεί στα προηγούμενα προγράμματα.

6.3.1 Κατανομή βάρους άφορτου σκάφους (Lightship distribution)

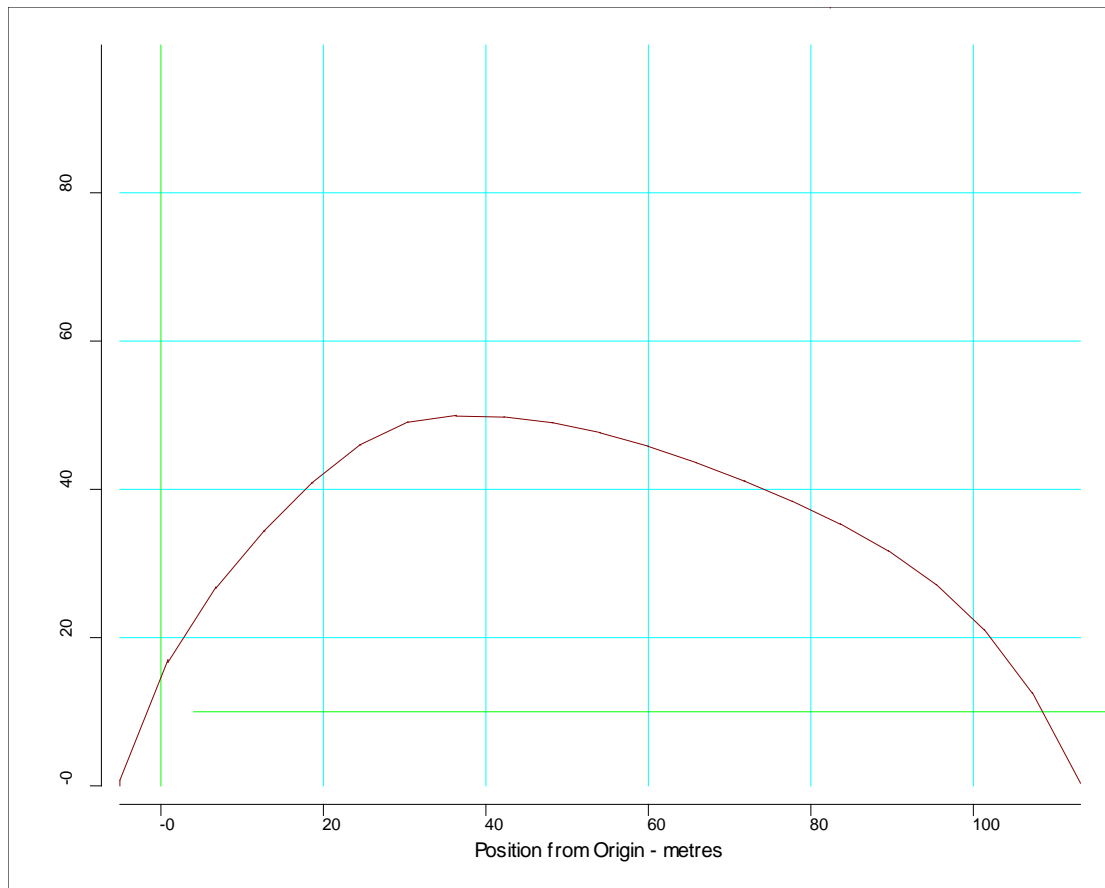
Αρχικά, πρέπει να καθοριστεί η κατανομή του βάρους του άφορτου σκάφους του υπό μελέτη πλοίου, διότι αυτή εμπεριέχεται στους υπολογισμούς των καταστάσεων φόρτισης. Η κατανομή θα γίνει με τη βοήθεια του εργαλείου του Νηογνώμονα Lloyd's Register που εμπεριέχεται στο πρόγραμμα. Το εργαλείο αυτό ζητάει τις ακόλουθες πληροφορίες για να λειτουργήσει:

LS	4144.07 tons
LCG forward of AP	51.478 m
VCG	9.136 m
Parallel midbody	0 m
C_B	0.577

Πίνακας 6.3.1.1: Δεδομένα κατανομής βάρους άφορτου σκάφους κατά Lloyd's Register.

Προφανώς, τα δεδομένα για το βάρος του άφορτου σκάφους και την κατανομή του είναι γνωστά από το [υποκεφάλαιο 3.5](#), ενώ το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει παράλληλο τμήμα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανομή του βάρους του άφορτου σκάφους του υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα με το Νηογνώμονα Lloyd's Register και τα δεδομένα του πίνακα 6.3.1.1:



Διάγραμμα 6.3.1.1: Κατανομή θάρους άφορτου σκάφους Lightship LS σύμφωνα με το Νηογνώμονα Lloyd's Register.

6.3.2 Υδροστατικό διάγραμμα

Το υδροστατικό διάγραμμα ενός πλοίου παρέχει στον μελετητή τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της ισορροπίας του σε διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, δηλαδή σε διάφορα βυθίσματα T. Συναρτήσει του βυθίσματος βρίσκονται όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην πλευση του πλοίου.

Το υδροστατικό διάγραμμα εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωμετρία της γάστρας του πλοίου και είναι ανεξάρτητο της κατανομής των βαρών του (άρα ανεξάρτητο και της κατανομής του ανωτέρω διαγράμματος), ενώ συνήθως αναφέρεται σε ισοβύθιστες καταστάσεις (μηδενική διαγωγή).

Τα υδροστατικά μεγέθη που υπολογίστηκαν για το υπό μελέτη πλοίο είναι τα ακόλουθα:

- Εκτόπισμα (Displacement)
- Διαμήκης θέση του κέντρου άνωσης LCB
- Κατακόρυφη θέση του κέντρου άνωσης VCB
- Εμβαδόν επιφάνειας ισάλου WPA (Water Plane Area)
- Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας της ισάλου LCF
- Διαμήκης μετακεντρική ακτίνα KML

- Εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα KMT
- Βρεχόμενη επιφάνεια WSA (Wetted Surface Area)
- Μεταβολή εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος TPC
- Ροπή διαγωγής ανά μονάδα μεταβολής βυθίσματος MTC
- Συντελεστής γάστρας C_B
- Συντελεστής μέσης τομής C_M
- Πρισματικός συντελεστής C_P
- Συντελεστής ισάλου επιφάνειας C_W

Ακολουθεί ο πίνακας με τα δεδομένα του υδροστατικού διαγράμματος του υπό μελέτη πλοίου. Αυτά υπολογίστηκαν για βυθίσματα από ένα (1) μέτρο έως 12.25 μέτρα, έως δηλαδή το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα της γάστρας του πλοίου, με βήμα ένα (1) μέτρο. Επιπρόσθετα βυθίσματα είναι το κοίλο του Καταστρώματος Στεγανών Φρακτών (7.25 μέτρα) και το βύθισμα σχεδίασης (5.1 μέτρα).

Draft	Displ	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
(m)	(t)	(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/cm)	(t-m/cm)
1.00	650.84	51.457	0.563	835.85	52.448	530.122	20.338	933.65	8.62	31.91
2.00	1653.29	52.051	1.144	1092.98	52.267	326.974	14.154	1301.44	11.27	49.87
3.00	2883.77	51.985	1.729	1287.50	51.469	257.408	11.696	1630.93	13.27	68.26
4.00	4299.09	51.589	2.315	1456.30	49.947	225.032	10.571	1961.81	15.01	88.64
5.00	5892.49	50.739	2.909	1649.73	46.350	221.260	10.328	2353.52	17.01	119.11
5.10	6064.18	50.605	2.969	1681.65	45.585	226.240	10.367	2408.28	17.34	125.34
6.00	7695.43	49.306	3.517	1789.31	44.908	209.343	9.748	2719.22	18.45	146.63
7.00	9563.09	48.616	4.100	1833.28	46.620	180.584	9.280	2989.48	18.90	156.24
7.25	10036.95	48.531	4.243	1843.84	47.042	174.927	9.217	3057.32	19.01	158.60
8.00	11474.31	48.422	4.667	1873.07	48.252	160.171	9.115	3260.37	19.31	165.18
9.00	13422.46	48.505	5.223	1904.75	49.706	144.013	9.121	3529.37	19.64	172.46
10.00	15399.94	48.746	5.773	1930.20	51.037	130.879	9.242	3797.49	19.90	178.36
11.00	17400.75	49.081	6.316	1950.37	52.269	119.964	9.441	4065.22	20.11	183.07
12.00	19420.28	49.474	6.855	1966.42	53.441	110.775	9.697	4333.21	20.27	186.83
12.25	19927.54	49.579	6.990	1969.56	53.721	108.663	9.767	4542.53	20.31	187.57

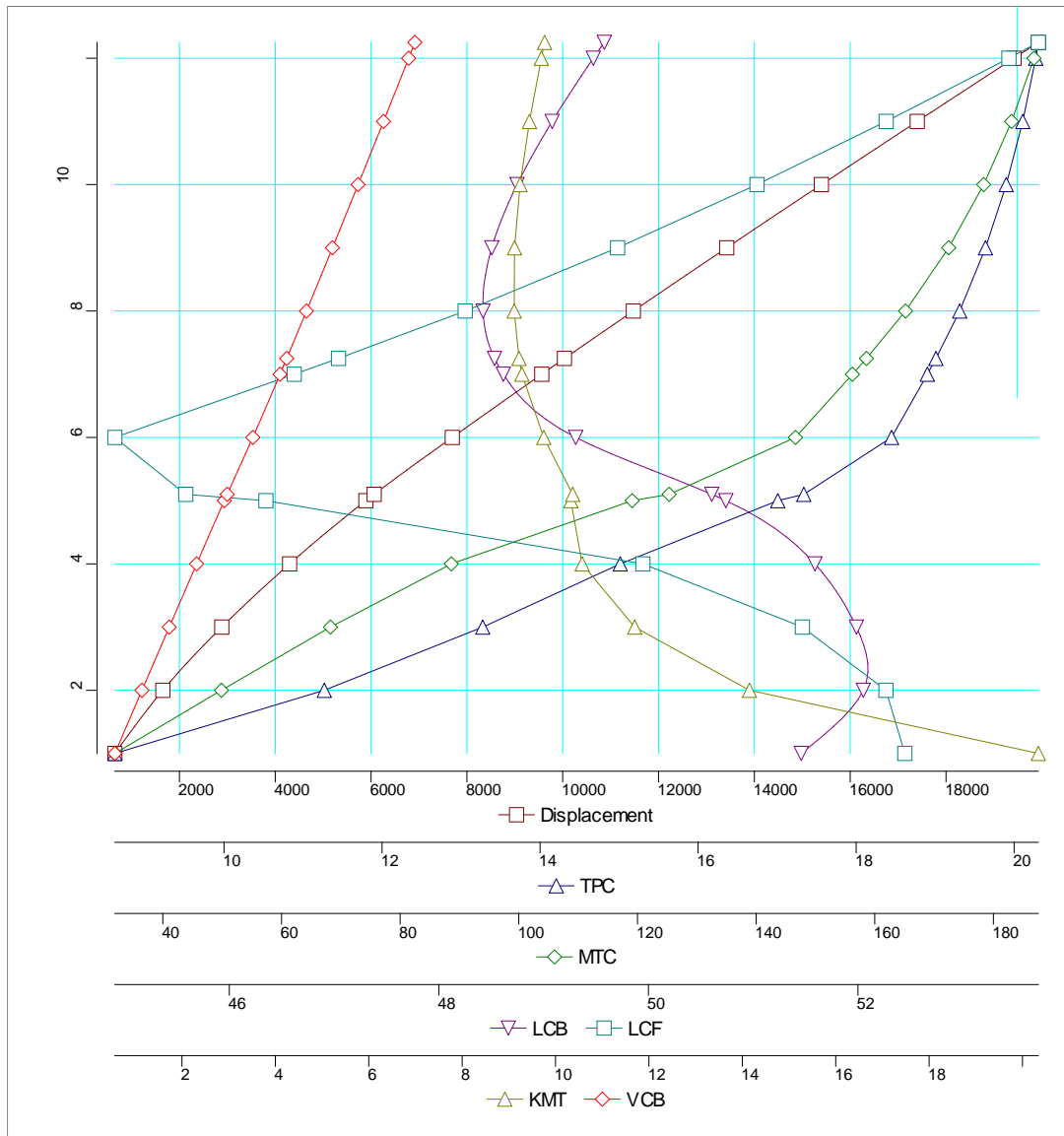
Πίνακας 6.3.2.1: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου 1.

Draft	CB	CM	CP	CW
(m)				
1.00	0.316	0.725	0.436	0.418
2.00	0.401	0.817	0.491	0.547
3.00	0.467	0.868	0.537	0.644
4.00	0.522	0.900	0.579	0.729
5.00	0.572	0.920	0.622	0.826
5.10	0.577	0.922	0.626	0.842
6.00	0.623	0.934	0.667	0.895

Draft (m)	CB	CM	CP	CW
7.00	0.663	0.943	0.703	0.917
7.25	0.672	0.945	0.711	0.923
8.00	0.696	0.950	0.733	0.937
9.00	0.724	0.956	0.757	0.953
10.00	0.747	0.960	0.778	0.966
11.00	0.768	0.964	0.797	0.976
12.00	0.785	0.967	0.812	0.984
12.25	0.790	0.967	0.816	0.986

Πίνακας 6.3.2.2: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου 2.

Οι καμπύλες του Υδροστατικού Διαγράμματος που προκύπτουν από τα δεδομένα των ανωτέρω πινάκων φαίνονται παρακάτω:



Διάγραμμα 6.3.2.1: Υδροστατικό Διάγραμμα υπό μελέτη πλοίου.

6.3.3 Deadweight Scale

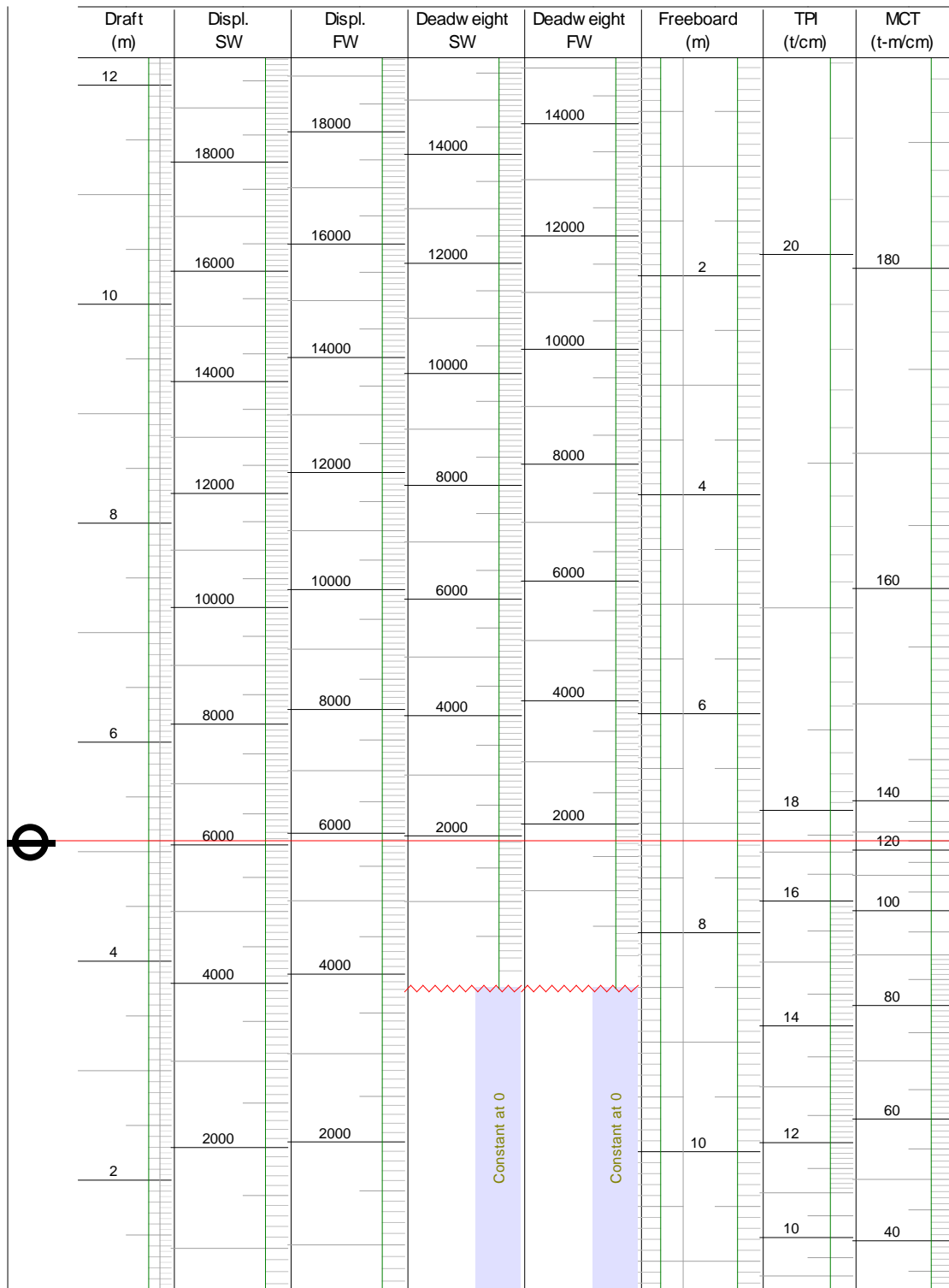
Η κλίμακα νεκρού βάρους (Deadweight scale) παρέχει στο μελετητή πληροφορίες για το εκτόπισμα ενός πλοίου ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του, όπου μπορεί να συναντάται διαφορετική πυκνότητα του νερού. Και πάλι το βασικό δεδομένο (σημείο αναφοράς της εκάστοτε κατάστασης φόρτωσης), όπως και στο Υδροστατικό Διάγραμμα, είναι το βύθισμα T του πλοίου. Ανάλογα την πυκνότητα του νερού στο οποίο επιπλέει το πλοίο, μεταβάλλεται το εκτόπισμά του, άρα και το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει στο συγκεκριμένο βύθισμα. Συνήθως, το Deadweight scale τοποθετείται στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης.

Για να πραγματοποιηθούν υπολογισμοί για την κλίμακα, απαιτείται να είναι γνωστά το βάρος του άφορτου σκάφους LS, το ύψος στο οποίο βρίσκεται το κατάστρωμα εξάλων (Freeboard Deck), το ύψος εξάλων, το πάχος των ελασμάτων στο κατάστρωμα εξάλων και οι πυκνότητες του νερού οι οποίες θα μελετηθούν.

Οι υπολογισμοί για την κλίμακα νεκρού βάρους (Deadweight scale) του υπό μελέτη πλοίου πραγματοποιήθηκαν για βυθίσματα από ένα (1) μέτρο μέχρι και το Ανώτατο Συνεχές Κατάστρωμα του πλοίου (Κατάστρωμα 5), δηλαδή μέχρι βύθισμα 12.25 μέτρα, με βήμα 0.25 μέτρα.

Freeboard Depth	=	12.26	metres
Summer Freeboard	=	7.16	metres
Lightship weight	=	4144.07	tonnes
Shell thickness	=	10	mm
Water density	=	1.031	tonnes/cu.m

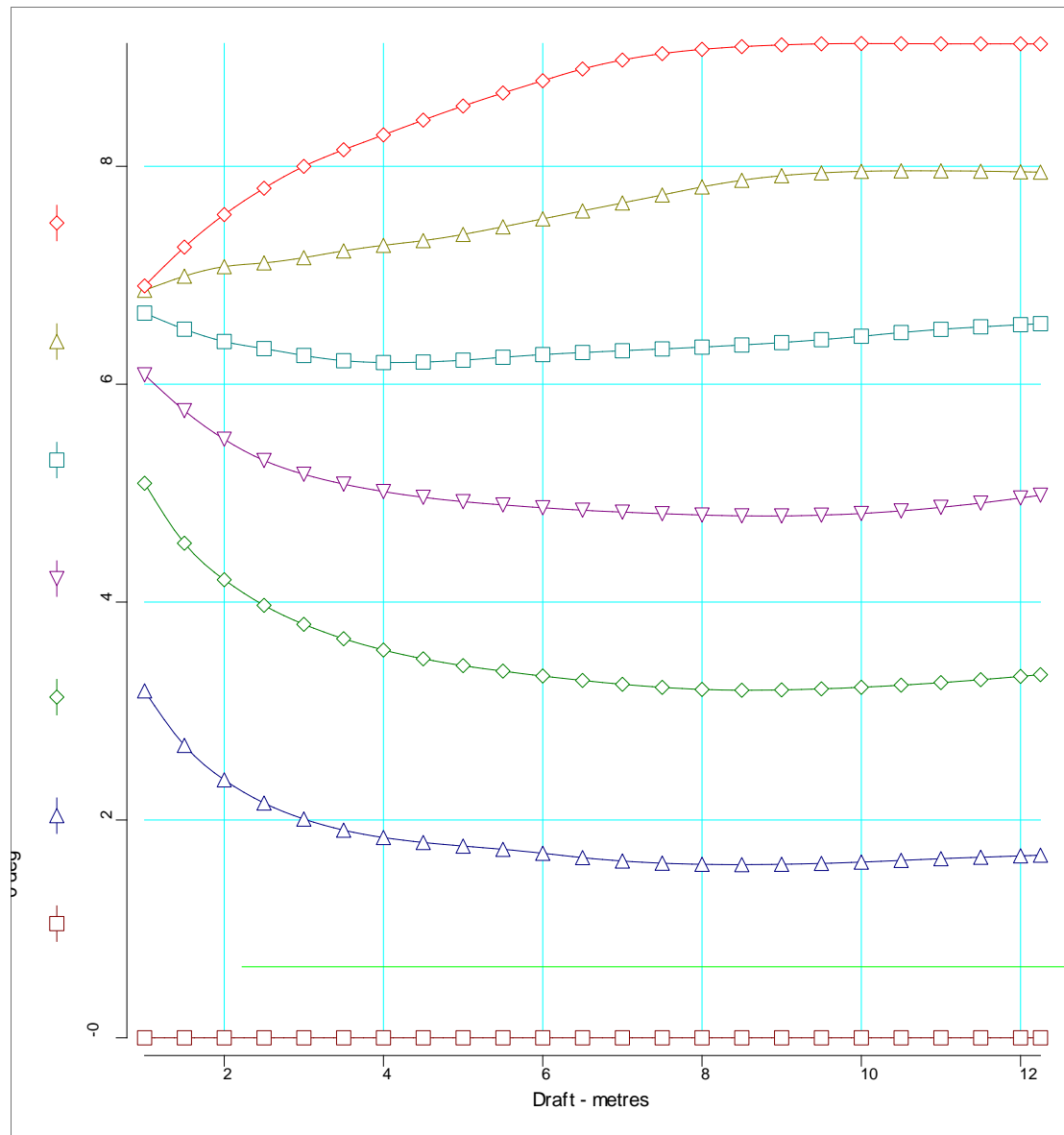
Πίνακας 6.3.3.1: Δεδομένα για τους υπολογισμούς του Deadweight Scale.



Διάγραμμα 6.3.3.1: Deadweight Scale.

6.3.4 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (Cross curves of stability)

Οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (Cross Curves of Stability) αποτελούν τη γεωμετρική ταυτότητα του πλοίου, όμοια με το Υδροστατικό Διάγραμμα. Χαρακτηρίζονται ως παραμετρικές εξαιτίας της άμεσης εξάρτησής τους από το εκτόπισμα του πλοίου Δ (ή αντίστοιχα το βύθισμα T του πλοίου) και της γωνίας εγκάρσιας κλίσης ϕ . Μέσω αυτών κατασκευάζεται η καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς $GZ-\phi$. [31]



Διάγραμμα 6.3.4.1: Διάγραμμα καμπυλών ευστάθειας (Cross curves of stability).

6.3.5 Κατακλύσιμα μήκη (Floodable lengths)

Κατακλύσιμο μήκος (floodable length) σε μια ορισμένη κατά το μήκος θέση ενός πλοίου είναι το μήκος του μεγαλύτερου τμήματός του, που μπορεί, με κέντρο το συγκεκριμένο σημείο, να κατακλυσθεί χωρίς η τελική ίσαλος να υπερβεί τη γραμμή του ορίου βύθισης. Για το υπό μελέτη πλοίο, η γραμμή του ορίου βύθισης ορίζεται από το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών.

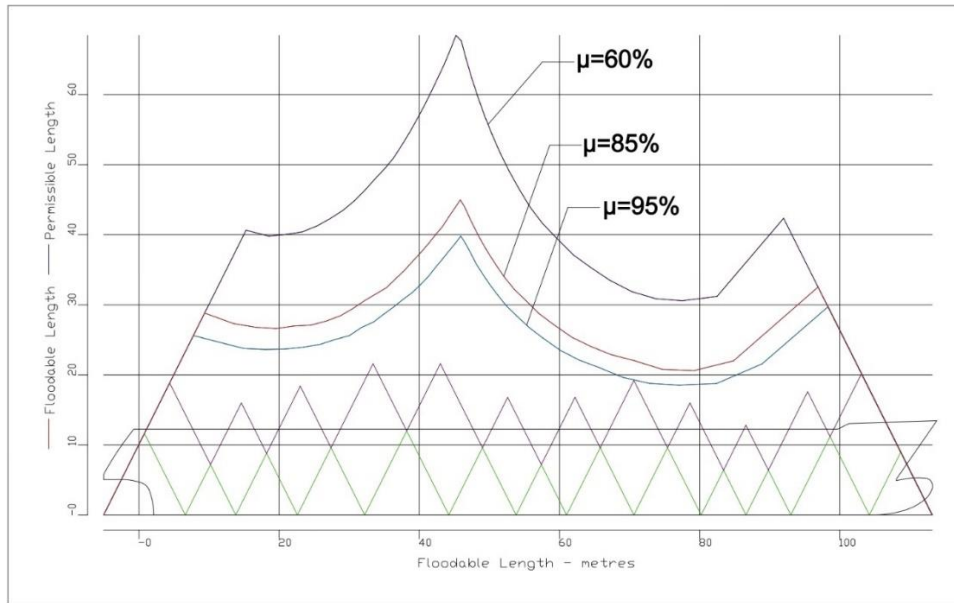
Ο έλεγχος των κατακλύσιμων μηκών έχει άμεση σχέση με την υποδιαίρεση του πλοίου, η οποία με τη σειρά της προκύπτει από τις υδατοστεγείς φρακτές. Οι θέσεις των εγκάρσιων υδατοστεγών φρακτών από τις οποίες προκύπτει η υποδιαίρεση του πλοίου είναι γνωστές από την [ενότητα 4.2.3](#). Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η θέση της κάθε φρακτής αναφορικά με τον νομέα στον οποίο είναι τοποθετημένη και την απόστασή της από την πρυμναία κάθετο AP.

Αριθμός φρακτής	Νομέας	Απόσταση από την πρυμναία κάθετο AP
1	11	6.6 m
2	20	13.8 m
3	31	22.6 m
4	43	32.2 m
5	58	44.2 m
6	70	53.8 m
7	79	61 m
8	91	70.6 m
9	103	80.2 m
10	111	86.6 m
11	119	93 m
12	133	104.2 m

Πίνακας 6.3.5.1: Διαμήκης θέση εγκάρσιων υδατοστεγών φρακτών.

Με βάση αυτή την υποδιαίρεση θα γίνει έλεγχος για τα κατακλύσιμα μήκη του υπό μελέτη πλοίου. Οι τιμές της διαχωρητότητας για τις οποίες ελέγχθηκαν τα κατακλύσιμα μήκη είναι 60, 85 και 95 τοις εκατό (%). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια υπό τη μορφή διαγράμματος, ενώ ελέγχθηκε η κατάκλυση έως και δύο (2) παρακείμενων διαμερισμάτων.

Από το ακόλουθο διάγραμμα γίνεται εμφανές πως το υπό μελέτη πλοίο πληροί τις απαιτήσεις εφόσον σε καμία εκ των τριών (3) περιπτώσεων δεν υπερβαίνονται τα επιτρεπτά κατακλύσιμα μήκη, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις είναι δυνατή και η κατάκλυση δύο (2) γειτονικών διαμερισμάτων δίχως υπέρβαση του ορίου βύθισης.



Διάγραμμα 6.3.5.1: Κατακλύσιμα μήκη με διαχωρητότητες 60%, 85% και 95%.

6.3.6 Καταστάσεις φόρτωσης (Loading conditions)

Σε αυτό το σημείο θα οριστούν οι καταστάσεις φόρτωσης που θα μελετηθούν για το υπό μελέτη πλοίο. Συνολικά δημιουργήθηκαν επτά (7) σενάρια για τη φόρτωση του πλοίου, κάθε ένα εκ των οποίων μελετάται στην κατάσταση αναχώρησης (Departure) και άφιξης (Arrival), άρα 14 ξεχωριστές καταστάσεις φόρτωσης. Προφανώς, κάθε κατάσταση φόρτωσης αναφέρεται σε ξεχωριστό εκτόπισμα – βύθισμα, άρα και διαφορετικό ωφέλιμο φορτίο (Payload).

Αρχικά, για κάθε σενάριο φόρτωσης ορίστηκαν τα σταθερά βάρη τα οποία παραμένουν αναλλοίωτα μεταξύ αναχώρησης και άφιξης του πλοίου. Αυτά είναι οι επιβάτες και το πλήρωμα μαζί με τις αποσκευές τους, τα οχήματα, τα ανταλλακτικά (spare) και το Lightship του πλοίου. Οι επιβάτες θεωρείται ότι ζυγίζουν έκαστος 75 κιλά, τα Ι.Χ. 1.4 τόνους και τα φορτηγά 37 τόνους. Για το lightship ισχύουν όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο αναλυτικού υπολογισμού του (υποκεφάλαια 3.4 και 3.5). Ακόμα, σε αυτή την κατηγορία βαρών (σταθερά) τοποθετούνται κατ' εξαίρεση και τα εφόδια τα οποία προφανώς μειώνονται κατά την πάροδο του ταξιδιού.

Έπειτα καθορίζεται η πληρότητα των δεξαμενών. Στις καταστάσεις αναχώρησης όλες οι δεξαμενές έχουν πληρότητα 95%, εκτός από τις δεξαμενές φρέσκου νερού που είναι πλήρως γεμάτες (100%). Κατά την αναχώρηση οι δεξαμενές miscellaneous (διαφόρων χρήσεων – κυρίως αποβλήτων), έχουν πληρότητα γύρω στο 20% (ανάλογα τη δεξαμενή που μελετάται), ενώ η δεξαμενή Gray Water Tank είναι τελείως άδεια (πληρότητα 0%).

Αντίστοιχα για τις καταστάσεις άφιξης, γίνεται η παραδοχή πως έχει καταναλωθεί περίπου το 80 με 90 τοις εκατό (%) του περιεχομένου τους, καταλήγοντας σε πληρότητα των δεξαμενών ίση με 10 έως 15 τοις εκατό (%) κατά την άφιξη του πλοίου στον προορισμό του. Εξαίρεση αποτελούν οι δεξαμενές λιπαντικών οι οποίες παρουσιάζουν πολύ μικρότερη κατανάλωση και η πληρότητά τους στις καταστάσεις άφιξης θα είναι της τάξης του 85%. Ακόμα, οι δεξαμενές αποβλήτων (miscellaneous) και η δεξαμενή Gray Water Tank θα είναι πλήρως γεμάτες κατά την άφιξη του πλοίου.

Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει επίσης δεξαμενές έρματος, αλλά και άδειους χώρους (Void spaces) οι οποίοι δυνητικά θα μπορούσαν να παραλάβουν έρμα. Ακόμα και δίχως την εκμετάλλευση των δεξαμενών έρματος, η μέγιστη διαγωγή που παρατηρείται στις 14 αυτές καταστάσεις φόρτωσης ισούται με 0.863 m. Η διαγωγή αυτή αντιστοιχεί στο 0.8% του L_{BP} .

Οι καταστάσεις φόρτωσης που μελετήθηκαν (σενάρια) είναι οι ακόλουθες:

1. Full Load Departure (Design): Σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων είναι φορτωμένο πλήρως με φορτηγά, 21 στον αριθμό. Το Άνω Κατάστρωμα Οχημάτων φορτώνεται με 94 Ι.Χ. Αντίστοιχα οι επιβάτες ανέρχονται στους 1500. Η ανωτέρω φόρτωση οδηγεί στο επιθυμητό βύθισμα σχεδίασης των 5.1 μέτρων.
2. Full Load Arrival (Design): Όμοια με την Full Load Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
3. Cars & Passengers Departure: Σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης έγινε η παραδοχή ότι το πλοίο είναι φορτωμένο μόνο με οχήματα Ι.Χ. και στα δύο (2) καταστρώματα οχημάτων που διαθέτει, ενώ μεταφέρει ταυτόχρονα 1500 επιβάτες.
4. Cars & Passengers Arrival: Όμοια με την Cars & Passengers Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
5. Cars on Upper Deck & Passengers Departure: Σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης έχουν τοποθετηθεί οχήματα μόνο στο Άνω Κατάστρωμα Οχημάτων. Αυτά είναι όλα Ι.Χ. καθώς μόνο τέτοια μπορεί να παραλάβει αυτό το κατάστρωμα. Το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων θα είναι τελείως άδειο και επιβιβασμένοι στο πλοίο είναι 1500 επιβάτες.
6. Cars on Upper Deck & Passengers Arrival: Όμοια με την Only Cars on Upper Deck & Passengers Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
7. Only Cars on Main Deck & Passengers Departure: Σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης μεταφέρονται μονάχα Ι.Χ. στο Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων. Το Άνω Κατάστρωμα Οχημάτων είναι άδειο. Ταυτόχρονα μεταφέρονται και 1500 επιβάτες.
8. Only Cars on Main Deck & Passengers Arrival: Όμοια με την Only Cars on Main Deck & Passengers Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
9. Only Trucks & Passengers Departure: Αντίστοιχα με την Only Cars on Main Deck & Passengers Departure, σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης είναι γεμάτο μόνο το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων με φορτηγά. Το Άνω Κατάστρωμα Οχημάτων είναι άδειο, ενώ επιβιβασμένοι είναι 1500 επιβάτες.
10. Only Trucks & Passengers Arrival: Όμοια με την Trucks & Passengers Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
11. Only Passengers Departure: Στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης είναι επιβιβασμένοι 1500 επιβάτες δίχως καθόλου οχήματα στα αντίστοιχα καταστρώματα.
12. Only Passengers Arrival: Όμοια με την Trucks & Passengers Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.
13. No Cargo Departure: Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο δε φέρει καθόλου ωφέλιμο φορτίο (Payload), δηλαδή δεν υπάρχουν ούτε επιβάτες ούτε οχήματα.
14. No Cargo Arrival: Όμοια με την No Cargo Departure, με τις δεξαμενές όμως να βρίσκονται σε κατάσταση άφιξης.

Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας με τα βασικά στοιχεία των καταστάσεων φόρτωσης. Στον πίνακα η συντόμευση UD σημαίνει Upper Deck, ενώ αντίστοιχα MD σημαίνει Main Deck. Ακόμα, το αρνητικό πρόσημο στη διαγωγή (trim) σημαίνει ότι αυτή είναι έμπρυμνη, δηλαδή το πρυμναίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο του πρωραίου, και το Payload αναφέρεται στο βάρος των επιβατών και των οχημάτων, δηλαδή του ωφέλιμου φορτίου.

No	Load Condition	Displacement [t]	DWT [t]	Payload [t]	T [m]	Trim [m]	LCB [m]	KG [m]	GM [m]
1	Full Load Departure (Design)	6056.5	1912.4	1021.1	5.1	0.09	50.8	8.77	1.45
2	Full Load Arrival (Design)	5596.5	1452.4	1021.1	4.8	-0.37	50.19	8.96	1.47
3	Cars & Passengers Departure	5426.5	1282.4	391.1	4.76	0.69	52.36	8.71	1.27
4	Cars & Passengers Arrival	4966.5	822.4	391.1	4.45	0.27	51.83	8.92	1.29
5	Only Cars on MD & Passengers Departure	5294.9	1150.8	259.5	4.67	0.68	52.42	8.6	1.4
6	Only Cars on MD & Passengers Arrival	4834.9	609.8	259.5	4.36	0.26	51.88	8.81	1.43
7	Only Cars on UD & Passengers Departure	5279.5	1135.4	244.1	4.67	0.76	52.53	8.73	1.26
8	Only Cars on UD & Passengers Arrival	4819.5	675.4	244.1	4.35	0.34	52.02	8.95	1.28
9	Only Trucks & Passengers Departure	5924.9	1780.8	889.5	5.02	0.05	50.81	8.68	1.54
10	Only Trucks & Passengers Arrival	5464.9	1320.8	889.5	4.72	-0.41	50.22	8.87	1.56
11	Only Passengers Departure	5147.9	1003.8	112.5	4.58	0.75	52.59	8.62	1.4
12	Only Passengers Arrival	4688	543.8	112.5	4.27	0.34	52.08	8.84	1.43
13	No Cargo Departure	5027.9	883.8	0	4.51	0.86	52.87	8.42	1.6
14	No Cargo Arrival	4568	423.8	0	4.2	0.46	52.37	8.62	1.66

Πίνακας 6.3.7.1: Συνοπτικός πίνακας στοιχείων καταστάσεων φόρτωσης.

Όλες οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας, μαζί με τα κριτήρια Άθικτης ευστάθειας που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

6.3.7 Έλεγχος Άθικτης ευστάθειας (Intact Stability)

Ο έλεγχος της άθικτης ευστάθειας (Intact stability) του υπό μελέτη πλοίου θα γίνει με βάση τα κριτήρια που υποδεικνύουν οι κανονισμοί που σχετίζονται με το ζήτημα. Στόχος είναι το υπό μελέτη πλοίο να πληροί τα εν λόγω κριτήρια σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσής του.

Οι κανονισμοί που αφορούν την ευστάθεια ισοδυναμούν με τη θέσπιση των απαιτήσεων για την ασφάλεια των πλοίων. Σε ό,τι αφορά την άθικτη ευστάθεια, τα κριτήρια βασίζονται στην υδροστατική συμπεριφορά των πλοίων, η οποία χαρακτηρίζεται από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ. Για συγκεκριμένο εκτόπισμα Δ και κέντρο βάρους ενός πλοίου, η καμπύλη αυτή εξαρτάται από τη γεωμετρία της γάστρας του, η οποία υπεισέρχεται στους υπολογισμούς μέσω των καμπυλών ευστάθειας. (βλ. [ενότητα 6.3.4](#)).

6.3.7.1 Κανονισμός A749 (18)

Με γνωστές λοιπόν τις καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου, είναι δυνατός ο έλεγχος της άθικτης ευστάθειας σε κάθε μία από αυτές. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για να πραγματοποιηθεί ο σχετικός έλεγχος καθορίζονται από τον κανονισμό-οδηγία A749 (18) του IMO. Ο κανονισμός αυτός έχει εφαρμογή σε πλοία μήκους μεγαλύτερου των 25 μέτρων, ενώ σύμφωνα με αυτόν ως επιβατηγό θεωρείται ένα πλοίο που μεταφέρει περισσότερους από 12 επιβάτες, όπως ορίζεται και από τη σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS 1974). [31]

Τα κριτήρια που επιβάλλει ο κανονισμός αφορούν την άθικτη ευστάθεια των επιβατηγών πλοίων και σχετίζονται με την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ-φ για κάθε κατάσταση φόρτωσης. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

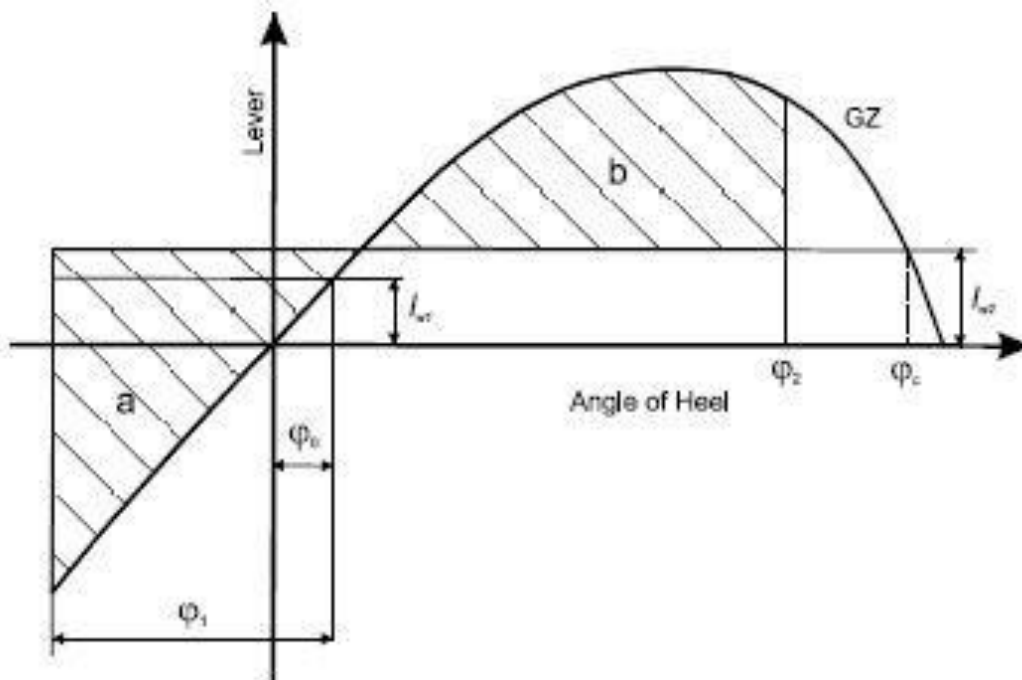
- Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη GZ-φ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0.055 \text{ m}^3/\text{rad}$ μέχρι τη γωνία των 30° .
- Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη GZ-φ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0.09 \text{ m}^3/\text{rad}$ μέχρι τη μικρότερη γωνία εκ των 40° και ϕ_f . Η γωνία ϕ_f είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσης, πάνω από την οποία μεγάλα στεγανά ανοίγματα της γάστρας ή των υπερκατασκευών του πλοίου εμβαπτίζονται στο νερό.
- Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη GZ-φ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0.03 \text{ m}^3/\text{rad}$ για το διάστημα που ορίζεται μεταξύ των 30° και της μικρότερης εκ των 40° και ϕ_f .
- Η τιμή του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας GZ πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.2 μέτρα σε μία γωνία εγκάρσιας κλίσης μεγαλύτερης ή ίσης με 30° .
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ θα εμφανίζεται σε μια γωνία εγκάρσιας κλίσης μεγαλύτερης κατά προτίμηση από 30° και όχι μικρότερης από 25° .
- Το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0.15 μέτρα.
- Η γωνία εγκάρσιας κλίσης κατά τη στροφή επιβατηγών πλοίων πρέπει να είναι μικρότερη από 10° .
- Η γωνία εγκάρσιας κλίσης που προκαλείται από τη συγκέντρωση όλων των επιβατών στη μία πλευρά του πλοίου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10° .

6.3.7.2 Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion)

Επιπλέον, ο IMO (International Maritime Organization) εισήγαγε το Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion) στα κριτήρια του κανονισμού, προκειμένου να συμπεριληφθεί η επίδραση των εγκάρσιων κυματισμών και ανέμων στην ευστάθεια των πλοίων. Τα φαινόμενα αυτά ενισχύουν την κίνηση του διατοιχισμού (Roll) των πλοίων.

Σύμφωνα με το κριτήριο καιρού, γίνεται η υπόθεση ότι το πλοίο, το οποίο υπόκειται σε σταθερό πλευρικό άνεμο στον οποίο αντιστοιχεί μοχλοβραχίονας εγκάρσιας κλίσης lw_1 , ισορροπεί αρχικά στη γωνία εγκάρσιας κλίσης ϕ_0 . Υποτίθεται, επίσης, ότι το πλοίο υφίσταται διατοιχισμό και, επομένως, η εγκάρσια κλίση του μεταβάλλεται μεταξύ αρνητικών και θετικών γωνιών. Η μέγιστη αρνητική γωνία συμβολίζεται με ϕ_1 . Επιπλέον, θεωρείται ότι επενεργεί στο πλοίο ριπή πλευρικού ανέμου, στην οποία αντιστοιχεί ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς εγκάρσιας κλίσης lw_2 . Επομένως, όταν αρχίσει να κινείται προς τις θετικές (από τις αρνητικές) γωνίες εγκάρσιας κλίσης, το πλοίο αποκτά κινητική ενέργεια, που δημιουργείται τόσο από τους «αρνητικούς» μοχλοβραχίονες επαναφοράς, όσο και από τη δράση της ριπής του ανέμου, και η περίσσεια της (κινητικής ενέργειας) αντιστοιχεί στην επιφάνεια a του σχήματος. Υπό την επίδραση αυτής της ενέργειας, το πλοίο κλίνει μέχρι τη γωνία εγκάρσιας κλίσης ϕ_2 , όπου το έργο επαναφοράς των «θετικών» μοχλοβραχιόνων επαναφοράς εξισώνεται με το έργο ανατροπής, δηλαδή η επιφάνεια a γίνεται ίση με την επιφάνεια b του σχήματος. [31]

Τα βασικά στοιχεία κριτηρίου που μόλις περιεγράφηκαν απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα για καλύτερη κατανόηση:



Διάγραμμα 6.3.8.2.1: Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion).

Με τις παραπάνω συνθήκες, θα πρέπει η επιφάνεια b να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την επιφάνεια a . Η γωνία ϕ_2 από την οποία ορίζεται η επιφάνεια b είναι ίση με τη μικρότερη από τις εξής τρεις (3) τιμές:

1. Τη γωνία εγκάρσιας κλίσης ϕ_f που περιεγράφηκε στις απαιτήσεις του κανονισμού A749 (18).
2. Τη γωνία εγκάρσιας κλίσης 50° .
3. Τη γωνία εγκάρσιας κλίσης ϕ_c , που αντιστοιχεί στο δεύτερο σημείο τομής του μοχλοβραχίονα εγκάρσιας κλίσης lw_2 με την καμπύλη του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας.

Ακόμα, απαιτείται η αρχική γωνία εγκάρσιας κλίσης ϕ_0 να είναι μικρότερη των 16° ή του 80% της εγκάρσιας κλίσης ϕ κατά την οποία εμβαπτίζεται το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα. Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου απαιτείται η γωνία αυτή να είναι μικρότερη των 16° . [31]

Οι παραπάνω κανονισμοί και κριτήρια ελέγχθηκαν για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 6.3.6. Αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας.

6.3.8 Ευστάθεια μετά από βλάβη (SOLAS 2009)

Το τελικό στάδιο της μελέτης που εκπονήθηκε με τη βοήθεια του Hydrostatics & Hydrodynamics και γενικότερα του AVEVA MARINE, είναι η μελέτη της ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου μετά από βλάβη.

Η ευστάθεια μετά από βλάβη μπορεί να μελετηθεί με ντετερμινιστικές ή πιθανοθεωρητικές μεθόδους. Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μελέτη με την πιθανοθεωρητική μέθοδο που επιβάλλει η SOLAS 2009. Πληροφορίες για τη μέθοδο αντλήθηκαν από τον Κινεζικό Νηογνώμονα China Classification Society – “Guidelines for the implementation of SOLAS 2009 requirements for subdivision and damage stability (2009)”. [24]

Σύμφωνα με τη SOLAS 2009, η έκταση και η θέση της βλάβης θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές και μία βλάβη περιγράφεται από τη θέση του κέντρου της κατά το διάμηκες του πλοίου, τη διαμήκη έκτασή της, την εισχώρηση της κατά το εγκάρσιο του πλοίου και την κατακόρυφη έκτασή της. Τα χαρακτηριστικά της βλάβης συσχετίζονται με τους συντελεστές ρ , r , v που εμφανίζονται κατά τον υπολογισμό του δείκτη υποδιαίρεσης A .

Η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, που εκφράζεται από το συντελεστή si είναι πιθανότητα το πλοίο να μην ανατραπεί και να μη βυθιστεί μετά από την αντίστοιχη κατάκλυση. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Το αρχικό βύθισμα T και το μετακεντρικό ύψος GM
- Τη διαχωρητικότητα των χώρων που κατακλύζονται
- Τις καιρικές συνθήκες τη στιγμή της βλάβης
- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πλοίου

Η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου μετά από βλάβη λόγω σύγκρουσης υποδηλώνεται με τον δείκτη A . Ο δείκτης A υπολογίζεται βάση διαφορετικών σεναρίων βλάβης, που καθορίζονται από την έκταση της βλάβης και τις καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου πριν την βλάβη. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο συντελεστής A είναι 1, ενώ δύο πλοία με τον ίδιο δείκτη A θεωρούνται το ίδιο ασφαλή. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο δείκτης A αναφέρεται μόνο σε βλάβες λόγω πλευρικής σύγκρουσης. Προστασία έναντι βλάβης στον

πτυθμένα του πλοίου, ή λόγω προσάραξης εξασφαλίζει το επαρκές ύψος διπτυθμένου. Επίσης, προστασία έναντι βλάβης στο πρωραίο άκρο του πλοίου εξασφαλίζει η πρωραία φρακτή συγκρούσεως (collision bulkhead). Η θέση του διπτυθμένου και της πρωραίας φρακτής καθορίζονται ντετερμινιστικά. [24]

Ο δείκτης A υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$A = 0.4 A_s + 0.4 A_p + 0.2 A_l$$

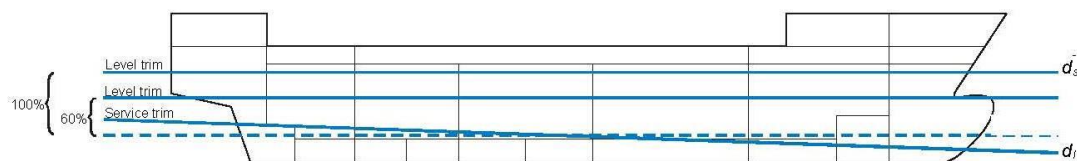
Οι δείκτες s , p , l αναφέρονται στις τρεις (3) καταστάσεις φόρτωσης Subdivision, Partial και Lightest αντίστοιχα, ενώ οι συντελεστές 0.4 και 0.2 είναι οι συντελεστές βαρύτητας κάθε κατάστασης.

Κάθε κατάσταση φόρτωσης αντιπροσωπεύεται από το βύθισμά d_i της και το μετακεντρικό ύψος της GM . Συγκεκριμένα:

- d_s : το βύθισμα στην subdivision condition
- d_p : το βύθισμα στην partial condition
- d_l : το βύθισμα στη lightest service condition

Το βύθισμα d_s αντιστοιχεί στο βύθισμα σχεδίασης και το βύθισμα d_l στο ελάχιστο βύθισμα του πλοίου. Στα επιβατηγά πλοία, είναι το βύθισμα στην Arrival Condition με 10% αναλώσιμα, το σύνολο των επιβατών και του πληρώματος και το αναγκαίο έρμα για μείωση της διαγωγής και καλύτερης ευστάθειας. Το βύθισμα d_p ορίζεται ως το βύθισμα στην lightest service condition συν το 60% της διαφοράς του βυθίσματος της subdivision από την lightest service condition, δηλαδή:

$$d_p = d_l + 0.6 (d_s - d_l)$$



Σχήμα 6.3.8.1: Τα βυθίσματα d_s , d_p , d_l κατά SOLAS 2009.

Για κάθε κατάσταση φόρτωσης ισχύει:

$$A_C = \sum_{i=1}^{i=t} p_i v_i s_i$$

Όπου:

c: μία εκ των τριών προαναφερθέντων καταστάσεων φόρτωσης

i: η υπό εξέταση βλάβη ή ομάδες βλαβών

t: το σύνολο των σεναρίων βλάβης

r_i : η πιθανότητα ότι μόνο ο χώρος ή χώροι στη διαμήκη θέση θα κατακλυθούν. Ο συντελεστής r_i εμπεριέχει και το συντελεστή r_i , που σε περίπτωση ύπαρξης διαμήκους φρακτής εκφράζει την πιθανότητα μη κατάκλυσης των εσωτερικών διαμερισμάτων. Προφανώς, ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από τη κατά μήκος υποδιαίρεση του πλοίου, δηλαδή τις εγκάρσιες υδατοστεγείς φρακτές.

v_i : η πιθανότητα να μην κατακλυστεί ο χώρος πάνω από την οριζόντια υποδιαίρεση. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την οριζόντια υποδιαίρεση του πλοίου, δηλαδή από τα καταστρώματα και το αρχικό βύθισμα της άθικτης κατάστασης φόρτωσης.

s_i : η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου στην υπό εξέταση βλάβη. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την ευστάθεια του πλοίου μετά την υπό μελέτη βλάβη για τη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. Εκφράζει την πιθανότητα να επιβιώσει το πλοίο, δηλαδή να μην ανατραπεί και να μη βυθιστεί μετά τη βλάβη. Όταν $s=0$, σημαίνει ότι είναι βέβαιο πως το πλοίο βυθίζεται ενώ όταν $s=1$, το πλοίο επιβιώνει με 100% βεβαιότητα. Ο συντελεστής παίρνει και τιμές ενδιάμεσες της μονάδας (1) και του μηδενός. Οι τιμές αυτές εκφράζουν την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου. [24]

Ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A (Attained Index A) συγκρίνεται με τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης R (Required Index R) για τον οποίο ισχύει:

<u>Persons on board</u>	<u>R</u>
<u>$N < 400$</u>	<u>$R = 0.722$</u>
<u>$400 \leq N \leq 1,350$</u>	<u>$R = N / 7,580 + 0.66923$</u>
<u>$1,350 < N \leq 6,000$</u>	<u>$R = 0.0369 \times \ln (N + 89.048) + 0.579$</u>
<u>$N > 6,000$</u>	<u>$R = 1 - (852.5 + 0.03875 \times N) / (N + 5,000)$</u>

Πίνακας 6.3.8.1: Απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης R κατά SOLAS 2009 συναρτήσεως των επιβαίνοντων.

Με δεδομένο πως το υπό μελέτη πλοίο δύναται να μεταφέρει έως και 1560 επιβαίνοντες, ο δείκτης R ισούται με 0.8524.

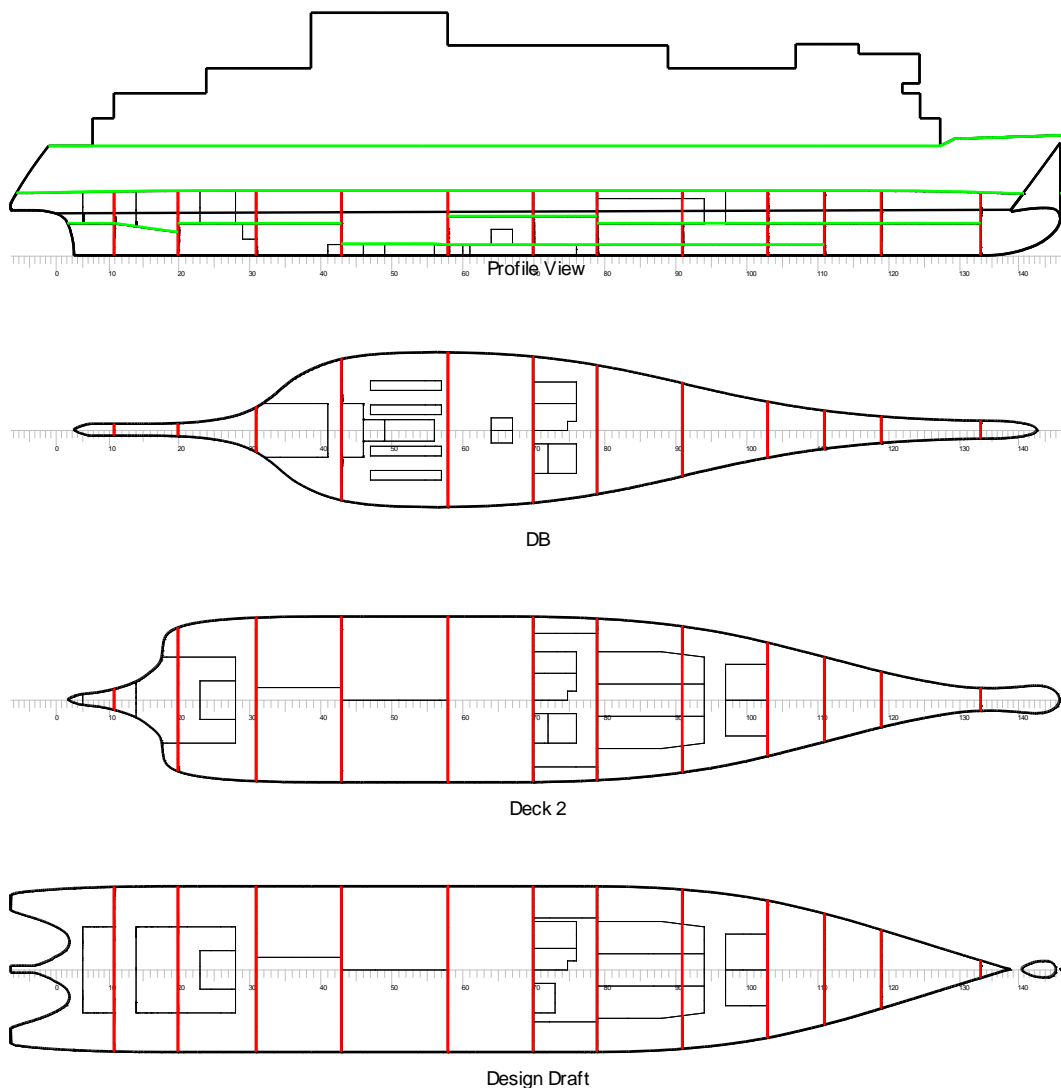
Για τους δύο (2) δείκτες A και R πρέπει να ισχύει η ακόλουθη ανισότητα:

$$A \geq R = 0.8524$$

Το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009 εκτελέστηκε για το υπό μελέτη πλοίο με τη βοήθεια του Hydrostatics & Hydrodynamics του AVEVA MARINE.

Ο καθορισμός της στεγανής υποδιαίρεσης του υπό μελέτη πλοίου έχει ουσιαστικά ολοκληρωθεί από το Surface & Compartment, όπου καθορίστηκαν όλοι οι εσωτερικοί χώροι του υπό μελέτη πλοίου μέχρι και το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών. Η υποδιαίρεση του υπό μελέτη πλοίου φαίνεται σχηματικά στα επόμενα σχέδια. Με πράσινα φαίνονται τα καταστρώματα, με κόκκινο οι εγκάρσιες φρακτές, ενώ φαίνονται και τα όρια των δεξαμενών και χώρων του υπό μελέτη πλοίου. Το πλοίο αποτελείται από 13 στεγανά διαμερίσματα τα οποία με τη σειρά τους υποδιαιρούνται από τα καταστρώματα (μη στεγανά) και τα κατασκευαστικά όρια των δεξαμενών και των χώρων που είναι τοποθετημένα σε αυτά.

Μαζί με τη σχηματική απεικόνιση της υποδιαίρεσης, ακολουθούν αναλυτικά υπό τη μορφή πίνακα και τα όρια των διαμερισμάτων του πλοίου.



Σχέδιο 6.3.8.2: Στεγανή υποδιαίρεση του υπό μελέτη πλοίου.

Name	Perm	Min X	Max X	Min Y	Max Y	Min Z	Max Z
	%	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
AC Plant Room	85	80.200	86.600	-8.817	8.817	3.600	7.250
Auxiliary Engine Room	85	22.600	32.200	-1.400	9.250	3.600	7.250
Bow Thruster Room	85	93.000	104.200	-6.446	6.446	3.600	7.241
Ballast Water Tank (Clean part)	95	51.400	53.800	-3.550	-1.400	0.000	1.200
Ballast Water Tank (Dirty part)	95	51.400	53.800	-5.400	-3.550	0.000	1.200
CPP & RG Lubricant Oil Storage Tank	95	53.800	55.400	1.500	4.800	1.200	4.400
Cold Water Drain Tank	95	45.800	46.600	-5.400	5.400	0.000	1.200
Dirty Oil Tank	95	37.000	42.600	-1.200	1.200	0.000	1.300
Diesel Oil Service Tank	95	53.800	56.200	1.500	4.800	4.400	6.450
Diesel Oil Storage Tank	95	46.600	53.800	0.000	5.400	0.000	1.200
Engine Control Room	85	22.600	32.200	-9.250	-1.400	3.600	7.250
No1 Engine Store & Workshop	60	44.200	53.800	-9.250	9.250	4.400	7.250
Engine Room	85	32.200	44.200	-9.250	9.250	1.200	7.250
DeckSpace1	95	1.361	6.600	-1.166	1.166	0.000	3.600
DeckSpace2	95	6.600	13.800	-2.159	2.159	0.000	3.600
Fuel Oil Drain Tank	95	34.600	37.000	-1.200	1.200	0.000	1.300
Fore Peak Tank	95	104.20	113.277	-2.556	2.556	0.000	7.065
FW TK1	95	75.400	80.200	0.000	4.000	3.600	7.250
FW TK2	95	75.400	80.200	-4.000	0.000	3.600	7.250
FW TK3	95	16.200	20.200	-2.150	2.150	3.600	7.250
Gray Water Tank	95	86.600	93.000	-4.737	4.737	0.000	3.600
HFO Overflow TK	95	49.000	51.400	-5.400	0.000	0.000	1.200
HFO Service TK	95	53.800	58.600	-3.000	0.000	1.200	6.450
HFO Settling TK	95	53.800	58.600	-5.400	-2.400	1.200	6.450
HFO 1 Storage TK (S)	95	61.000	73.000	1.800	5.400	3.600	6.450
HFO 2 Storage TK (C)	95	61.000	73.000	-1.800	1.800	3.600	6.450
HFO 3 Storage TK (P)	95	61.000	73.000	-5.400	-1.800	3.600	6.450
Heeling Tank (P)	95	53.800	61.000	-9.250	-5.800	2.050	7.250
Heeling Tank (S)	95	53.800	61.000	5.800	9.250	2.050	7.250
Lubricant Oil Renovated Tank	95	49.000	51.400	0.000	1.400	1.200	3.000
Lubricant Oil Renovating Tank	95	49.000	51.400	-1.400	0.000	1.200	3.000
Lubricant Oil Circ Tank 1	95	35.400	43.400	4.465	5.545	0.600	1.300
Lubricant Oil Circ Tank 2	95	35.400	43.400	1.765	2.845	0.600	1.300
Lubricant Oil Circ Tank 3	95	35.400	43.400	-2.845	-1.765	0.600	1.300
Lubricant Oil Circ Tank 4	95	35.400	43.400	-5.545	-4.465	0.600	1.300
ME & AE Lubricant Oil Storage Tank	95	55.400	58.600	1.500	4.800	1.200	4.400
Pump Room & Fuel Oil Treatment Room	85	44.200	53.800	-9.250	9.250	1.200	4.400
Pump Room 1	85	80.200	86.600	-6.339	6.339	1.200	3.600
No2 Pump Room	85	53.800	61.000	-8.822	8.822	1.200	4.400
Power Conversion Room	85	13.800	22.600	-9.250	9.250	3.600	7.250
Sludge Tank	95	46.600	49.000	-5.400	0.000	0.000	1.200
ST Lubricant Oil Drain Tank (S)	95	21.000	22.600	0.000	1.800	1.900	3.600
ST Lubricant Oil Storage Tank (P)	95	21.000	22.600	-1.800	0.000	1.900	3.600

Name	Perm	Min X	Max X	Min Y	Max Y	Min Z	Max Z
	%	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Sewage Treatment Room	85	86.600	93.000	-7.934	7.934	3.600	7.250
Steering Gear Room	85	-5.049	6.600	-9.250	9.250	3.600	7.166
Thermal Oil Tank	95	32.200	34.600	-3.000	3.000	0.000	1.300
Void Space 1	95	80.200	86.600	-3.126	3.126	0.000	1.200
VOID10	95	32.200	44.200	-8.722	8.722	0.000	1.300
VOID11	95	22.600	32.200	-9.250	9.250	0.000	3.600
VOID12	95	13.800	22.600	-9.117	9.117	0.000	3.600
Void 13	95	13.800	20.200	-4.800	4.800	3.600	7.250
Void 14	95	6.600	13.800	-9.250	9.250	3.258	7.231
Void Space 15	95	3.000	6.600	-4.800	4.800	3.600	7.166
Void 2	95	70.600	80.200	-9.246	9.246	1.200	7.250
Void Space 3	95	70.600	80.200	-5.190	5.190	0.000	1.200
Void 4 down	95	61.000	70.600	-9.012	9.012	1.200	3.600
Void 4 up	95	61.000	70.600	-9.250	9.250	3.600	7.250
Void 5	95	61.000	70.600	-7.194	7.194	0.000	1.200
Void 6	95	53.800	61.000	-5.800	5.800	4.400	7.250
VOID7	95	53.800	61.000	-8.165	8.165	0.000	1.200
Void Space 8	95	53.800	58.600	-5.400	5.400	0.000	1.200
VOID9	95	44.200	53.800	-8.626	8.626	0.000	1.200
Water Ballast Tank 1	95	93.000	104.200	-3.113	3.113	0.000	3.600
Water Ballast Tank 2	95	22.600	32.200	-3.000	3.000	0.000	3.600
Water Ballast Tank 3	95	9.000	13.800	-4.800	4.800	2.600	7.231

Πίνακας 6.3.8.2: Όρια διαμερισμάτων υπό μελέτη πλοίου.

Στη συνέχεια καθορίζονται οι ζώνες υποδιαίρεσης για τις οποίες θα γίνουν οι υπολογισμοί του κανονισμού. Επιλέχθηκαν πέντε (5) ζώνες υποδιαίρεσης, ενώ μελετήθηκαν βλάβες που προέρχονται και από τις δύο (2) πλευρές του υπό μελέτη, λόγω μη πλήρους συμμετρίας του κατά τη διαμερισματοποίηση. Με τα δεδομένα αυτά, το πρόγραμμα αυτόματα υπολογίζει όλα τα δυνατά σενάρια βλαβών, τα οποία ανέρχονται στα 577.

Οι τελικές πληροφορίες που απαιτούνται είναι αυτές που σχετίζονται με τις καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου. Αυτές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Load Condition	Draft	Wt	Trim	VCG
Subdivision Loadline	5.102 m	0.4	0 m	8.769 m
Partial Loadline	4.769 m	0.4	0 m	8.706 m
Lightest Service Loadline	4.269 m	0.2	0.336 m	8.836 m

Πίνακας 6.3.8.3: Δεδομένα καταστάσεων φόρτωσης για SOLAS 2009.

Εκτελώντας πλέον το πρόγραμμα, εμφανίζονται τα ακόλουθα αποτελέσματα ανά ζώνη:

Damage scenarios	W * P * V * S	Combined zones
1 zone port side damages	0.2953	0.5519
1 zone starboard side damages	0.2566	
2 zones port side damages	0.1776	0.2883
2 zones starboard side damages	0.1107	
3 zones port side damages	0.0198	0.0361
3 zones starboard side damages	0.0163	
4 zones port side damages	0.000	0.000
4 zones starboard side damages	0.000	
5 zones port side damages	0.000	0.000
5 zones starboard side damages	0.000	
Total Attained Index A	0.8763	0.8763

Πίνακας 6.3.8.4: Αποτελέσματα SOLAS 2009 ανά ζώνη.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα, η σχεδίαση-διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου θεωρείται ασφαλής σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS 2009, εφόσον πληρείται η απαίτηση:

$$A = 0.8763 > R = 0.8524$$

Παρατηρείται πως σύμφωνα με τους υπολογισμούς των κανονισμών, σε περίπτωση κατάκλυσης τεσσάρων (4) και πέντε (5) ζωνών ταυτόχρονα, το πλοίο δεν επιβιώνει σε κανένα σενάριο.

7. Διάφοροι Υπολογισμοί

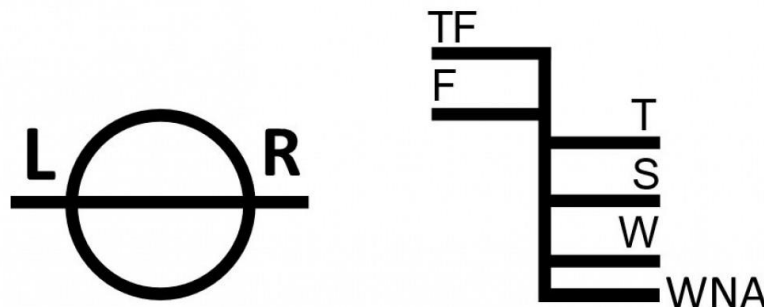
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορα θέματα που σχετίζονται με το υπό μελέτη πλοίο. Αυτά είναι:

1. Ο κανονισμός της Γραμμής Φόρτωσης (Load Line)
2. ο Αριθμός εξοπλισμού EN
3. η καταμέτρηση για την ολική GT (Gross tonnage) και καθαρή NT (Net tonnage) χωρητικότητα
4. η σύνθεση του πληρώματος

7.1 Γραμμή Φόρτωσης (Load Line)

Ο κανονισμός της Γραμμής Φόρτωσης (Load Line) αφορά στην ασφάλεια του πλοίου και συγκεκριμένα στις ασφαλείς συνθήκες πλεύσης του. Σκοπός του κανονισμού είναι να εξασφαλιστεί επαρκής εφεδρική άνωση, δηλαδή μη βυθισμένου όγκου της γάστρας του πλοίου (πάνω από την ίσαλο πλεύσης). Με άλλα λόγια, καθορίζει το μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα ενός πλοίου, και κατά συνέπεια πόσο φορτίο επιτρέπεται να μεταφέρει αυτό, ρυθμίζοντας τα έξαλα.

Τα επιτρεπτά βυθίσματα ενός πλοίου είναι σημειωμένα πάνω στη γάστρα του με τη βοήθεια των συμβόλων του Plimsoll (Plimsoll marks). Ένα παράδειγμα αυτών φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



<u>Key</u>	LR = Indicates the classification society Lloyd's Register	TF = Tropical Freshwater F = Freshwater T = Tropical Seawater	S = Summer Temperate Seawater W = Winter Temperate Seawater WNA = Winter North Atlantic
------------	---	---	---

Σχήμα 7.1.1: Σύμβολα του Plimsoll (Plimsoll marks) για τη Γραμμή Φόρτωσης.

Ο λόγος που αναγράφονται διάφορα βυθίσματα είναι πως ανάλογα την εποχή και την περιοχή πλεύσης αλλάζει η θερμοκρασία και η πυκνότητα του νερού της θάλασσας, και κατά συνέπεια μεταβάλλεται και το επιτρεπόμενο βύθισμα του πλοίου ανάλογα τις εξεταζόμενες συνθήκες. Χαμηλής θερμοκρασίας νερό είναι πιο πυκνό συγκριτικά με υψηλής θερμοκρασίας, όπως αντίστοιχα νερό υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι έχει πιο μεγάλη πυκνότητα από φρέσκο νερό.

Ο υπολογισμός της Γραμμής Φόρτωσης για το υπό μελέτη πλοίου θα γίνει σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης του 1966 (International Load Line Convention 1966 – ILLC 1966).

Αρχικά, ορίζονται από τον κανονισμό τα ακόλουθα μεγέθη:

- Έξαλα ή Ύψος Εξάλων (Freeboard): Ως έξαλα ή Ύψος εξάλων ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο πλεύσης μέχρι το Κατάστρωμα εξάλων.
- Κατάστρωμα Εξάλων (Freeboard Deck): Ως κατάστρωμα εξάλων ορίζεται το Κύριο Κατάστρωμα Οχημάτων (Κατάστρωμα 3), εφόσον αποτελεί και το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών.
- Κοίλο D_f : Η απόσταση από την τρόπιδα (πυθμένας) μέχρι το Κατάστρωμα Εξάλων, συμπεριλαμβανομένου του πάχους του ελάσματος του καταστρώματος. Για το υπό μελέτη πλοίο, η απόσταση αυτή είναι ίση με $D_{MD}=7.25m$ ενώ το πάχος του ελάσματος του πυθμένα είναι γνωστό από το Σχέδιο Μέσης Τομής του υπό μελέτη πλοίου και ίσο με 10mm. Άρα, $D_f=7.26m$.
- Μήκος πλοίου L_{ILLC} (μήκος κανονισμών): το 96% του ολικού μήκους της ισάλου L_{WL} στο 85% του κοίλου D_f ή το μήκος από την πρυμναία κάθετο AP έως το πρωραίο σημείο της ισάλου αυτής, όποιο μήκος είναι μεγαλύτερο. Για το υπό μελέτη πλοίο η τελική τιμή του μήκους L_{ILLC} ισούται με 109.06 μέτρα. Όλα τα μεγέθη μετρήθηκαν στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου.

$L_{WL} @ 0.85D$	113.604 m
$0.96 L_{WL} @ 0.85D$ [m]	109.06 m
L [m] (from AP to fore end)	108.755 m
L_{ILLC} [m]	109.06 m

Πίνακας 7.1.1: Υπολογισμός μήκους κανονισμού Γραμμής Φόρτωσης L_{ILLC} .

- Συντελεστής γάστρας C_B : Για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν, θα χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής γάστρας C_B που αντιστοιχεί σε βύθισμα ίσο με το 85% του κοίλου D_f . Για το υπό μελέτη πλοίο, ο συντελεστής γάστρας σε αυτό το βύθισμα ισούται με $C_B=0.63$. Ο συντελεστής υπολογίστηκε με τη βοήθεια του AVEVA MARINE.

Ακόμα, όλα τα πλοία κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες. Τα επιβατηγά πλοία, όπως είναι το υπό μελέτη, τοποθετούνται στην κατηγορία πλοίων Β. Με βάση την κατηγορία του πλοίου, κατάλληλοι πίνακες προσδιορίζουν το Βασικό Ύψος Εξάλων BYE συναρτήσεως του μήκους του πλοίου L_{ILLC} . Με γραμμική παρεμβολή λαμβάνεται το BYE του υπό μελέτη πλοίου από τα δεδομένα που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα τα οποία λήφθηκαν από τον κανονισμό. Το BYE τελικά ισούται με 1461.11 mm.

L_{ILLC} [m]	BYE [mm]
109	1459
109.06	1460.2
110	1479

Πίνακας 7.1.2: Βασικό Ύψος Εξάλων BYE υπό μελέτη πλοίου.

Έπειτα θα γίνουν βασικές διορθώσεις στο Βασικό Ύψος Εξάλων, οι οποίες φαίνονται στη συνέχεια:

1. Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B-60 ή B-100

Για να ενταχθεί ένα πλοίο στην κατηγορία B-60 πρέπει το πλοίο σε έμφορτη κατάσταση να είναι ικανό να αντέξει την κατάκλυση οποιουδήποτε διαμερισμάτος του (με διαχωρητικότητα 95%) και να παραμείνει εν επιπλεύση σε ικανοποιητική κατάσταση ισορροπίας (κριτήρια ευστάθειας A749 (18)). Σε αυτήν την περίπτωση δύναται μείωση του BYE έως 60% μεταξύ των Βασικών Υψών Εξάλων κατηγορίας A και B.

Αντίστοιχα, για την κατηγορία B-100, πρέπει το πλοίο να είναι ικανό να αντέξει την κατάκλυση δύο παρακείμενων (γειτονικών) διαμερισμάτων του. Η αντίστοιχη μείωση αγγίζει το 100% σε αυτήν την περίπτωση, δηλαδή το Βασικό Ύψος Εξάλων για ένα πλοίο κατηγορίας B-100 εξισώνεται με αυτό ενός πλοίου τύπου A ίδιου μήκους L_{ILLC} .

Από τη μελέτη των κατακλύσιμων μηκών, το υπό μελέτη πλοίο θα μπορούσε να ενταχθεί στην κατηγορία πλοίων B-100, εφόσον για διαχωρητικότητα 95% αντέχει την κατάκλυση οποιονδήποτε δύο γειτονικών διαμερισμάτων του (βλ. ενότητα 6.3.5). Παρόλα αυτά, δεν έχουν ελεγχθεί τα κριτήρια ευστάθειας στην περίπτωση κατάκλυσης των διαμερισμάτων αυτών. Ελλείψει αυτών των πληροφοριών, δε θα μειωθεί το Βασικό Ύψος Εξάλων, οπότε:

$$YE1 = 0$$

2. Διόρθωση για καλύμματα στομίων κυτών

Το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει καλύμματα στομίων κυτών. Τέτοιες κατασκευές συναντώνται συνήθως σε πλοία τύπου Bulk Carrier. Ως εκ τούτου:

$$YE2 = 0$$

3. Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B κάτω των 100 μέτρων

Εφόσον το μήκος του κανονισμού Γραμμής Φόρτωσης L_{ILLC} ισούται με 109.06 μέτρα και αυτή η ποσότητα είναι μεγαλύτερη των 100 μέτρων, δεν απαιτείται διόρθωση λόγω του μήκους του πλοίου. Οπότε:

$$YE3 = 0$$

4. Διόρθωση για το συντελεστή γάστρας C_B

Η διόρθωση για το συντελεστή γάστρας C_B απαιτείται μονάχα για πλοία στα οποία ισχύει $C_B > 0.68$ στο 85% του κοίλου D_f . Για το υπό μελέτη πλοίο ο συντελεστής αυτός στο 85% του κοίλου ισούται με 0.63, οπότε δεν απαιτείται διόρθωση και ισχύει:

$$YE4 = 1$$

5. Διόρθωση για το πλευρικό ύψος

Όταν το κοίλο D_f είναι μεγαλύτερο της ποσότητας $L_{ILLC}/15$, απαιτείται αύξηση του BYE κατά την ποσότητα $(D - \frac{L_{ILLC}}{15})R$ [mm]. Η μεταβλητή R ισούται με $L_{ILLC}/0.48$ για μήκη μικρότερα των 120 μέτρων και με 250 για μήκη μεγαλύτερα των 120 μέτρων.

Για το υπό μελέτη πλοίο ισχύει ότι:

$$D_f = 7.26 \text{ m} < 7.271 \text{ m} = L_{ILLC} / 15 \text{ και } R = 227.21$$

Παρόλα αυτά, ο κανονισμός προβλέπει πως σε περίπτωση που υπάρχει τοποθετημένη κλειστή υπερκατασκευή πάνω στο Κατάστρωμα Εξάλων μήκους μεγαλύτερου του $0.6L_{ILLC}$, η διόρθωση θα πάρει τη μορφή μείωσης του BYE. Στο υπό μελέτη πλοίο, επάνω στο Κατάστρωμα Εξάλων (Κατάστρωμα 3) είναι τοποθετημένη κλειστή υπερκατασκευή σε όλο το μήκος του πλοίου. Τελικά:

$$YE5 = - 2.421 \text{ mm}$$

6. Διόρθωση για υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα

Ο κανονισμός αναφέρει πως για πλοία κατηγορίας B με δρών μήκος προστέγου μικρότερου του $0.07L_{ILLC}$, δεν εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μείωση στο BYE. Το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει καθόλου πρόσθετο, συνεπώς:

$$YE6 = 0$$

7. Διόρθωση για τη σιμότητα

Το κανονικό μέτρο της σιμότητας υπολογίζεται ως εξής, σύμφωνα με τους κανονισμούς:

- Πρωραία Κανονική Σιμότητα: $M_{NF} = 16.675 (L_{ILLC}/3 + 10) = 772.942 \text{ mm}$
- Πρυμναία Κανονική Σιμότητα: $M_{NA} = 8.3375 (L_{ILLC}/3 + 10) = 386.471 \text{ mm}$
- Για όλο το πλοίο (μέσος όρος): $M_N = (M_{NF} + M_{NA}) / 2 = 579.7 \text{ mm}$

Το υπό μελέτη πλοίο δε διαθέτει πραγματική σιμότητα. Δηλαδή:

- Πρωραία Κανονική Σιμότητα: $M_{SF} = 0 \text{ mm}$
- Πρυμναία Κανονική Σιμότητα: $M_{SA} = 0 \text{ mm}$
- Για όλο το πλοίο (μέσος όρος): $M_S = 0 \text{ mm}$

Η διόρθωση για το Βασικό Ύψος Εξάλων υπακούει στην ακόλουθη σχέση:

$$YE7 = (M_N - M_S) (0.75 - \frac{l_E}{2L_{ILLC}})$$

Όπως προκύπτει από τη σχέση, σιμότητα μικρότερη της κανονικής προκαλεί αύξηση του ύψους εξάλων. Για το υπό μελέτη πλοίο, ισχύει:

$$YE7 = 144.927 \text{ mm}$$

8. Έλεγχος Γραμμής Φόρτωσης

Στο σημείο αυτό, είναι γνωστά πλέον όλα τα απαραίτητα δεδομένα για να υλοποιηθεί ο έλεγχος της Γραμμής Φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου.

Αρχικά, υπολογίζεται το ύψος εξάλων θέρους FBsummer ως εξής:

$$FBsummer = (BYE + YE1 + YE2 + YE3) YE4 + YE5 + YE6 + YE7 = 1602.703 \text{ mm}$$

Το μέγιστο επιτρεπόμενο έμφορτο βύθισμα δίνεται ως εξής:

$$T_{ILLC} = D_f - FBsummer = (7260 - 1602.703) \text{ mm} \Rightarrow T_{ILLC} = 5657.297 \text{ mm} = 5.657 \text{ m}$$

Το μέγιστο βύθισμα που συναντάται στις καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου αντιστοιχεί στη Full Load Departure (Design) και ισούται με 5.102 μέτρα. Προφανώς, το βύθισμα αυτό είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο που καθορίζουν οι κανονισμοί (T_{ILLC}) και ο κανονισμός της Γραμμής Φόρτωσης τηρείται για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου.

9. Ελάχιστο Ύψος Πρώρας

Ο τελευταίος έλεγχος που απαιτείται προκειμένου να ικανοποιείται πλήρως ο κανονισμός της Γραμμής Φόρτωσης σχετίζεται με το ελάχιστον Ύψος Πρώρας του πλοίου. Αυτό το ύψος πρέπει να είναι μεγαλύτερο από μία τιμή F_b η οποία υπολογίζεται με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου:

$$F_b = \left[6075 \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right] * \left[2.08 + 0.609 C_B - 0.85 D - 1.603 C_{WF} - 0.0129 \left(\frac{L}{0.85 D} \right) \right]$$

Ο συντελεστής C_{WF} είναι ο συντελεστής ισάλου πρώρα του $L/2$ και υπολογίστηκε να είναι ίσος με 0.7286 με τη βοήθεια του AVEVA MARINE.

Τελικά για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει ελάχιστο απαιτούμενο Ύψος Πρώρας ίσο με:

$$F_b = 4970.018 \text{ mm} = 4.97 \text{ m}$$

Στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης μετρήθηκε το πραγματικό ύψος πρώρας του υπό μελέτη πλοίου ξεκινώντας από την ίσαλο πλευσης (5.1 μέτρα από τον πυθμένα) και καταλήγοντας στο εκτεθειμένο στον καιρό ανώτατο συνεχές κατάστρωμα (κατάστρωμα 5). Η μέτρηση αυτή έγινε στη διαμήκη θέση της πρωραίας καθέτου FP.

Τελικά, το πραγματικό ύψος πρώρας του υπό μελέτη πλοίου ισούται με 7.16 μέτρα, ύψος που καλύπτει την απαίτηση της γραμμής φόρτωσης για το ελάχιστο Ύψος Πρώρας (4.97 m).

7.2 Αριθμός Εξοπλισμού EN

Μέσω του Αριθμού Εξοπλισμού EN (Equipment Number) καθορίζονται τα χαρακτηριστικά των αγκυρών και των καδενών (αλυσίδων) τους. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η ποσότητα, η μάζα (βάρος) και το μέγεθός τους.

Ο Αριθμός Εξοπλισμού είναι αδιάστατος και υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh_{dk} + 0.1A$$

όπου

Δ : το εκτόπισμα του πλοίου

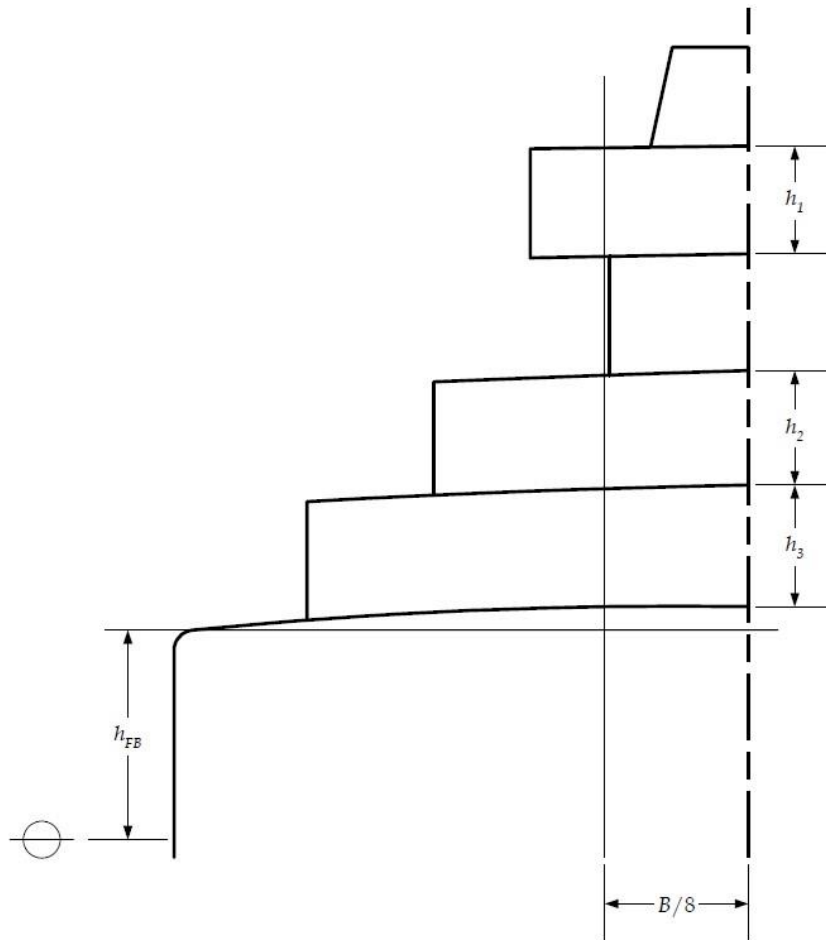
B : το πλάτος του πλοίου

$h_{dk} = h_{FB} + h_1 + h_2 + h_3 + \dots$ (βλ. παρακάτω σχήμα)

h_{FB} : το ύψος εξάλων

h_1, h_2, \dots : το ύψος, κατά το διαμήκη άξονα συμμετρίας του πλοίου, κάθε υπερκατασκευής με πλάτος μεγαλύτερο του $B/4$

A : το πλευρικό προφίλ όλου του πλοίου το οποίο βρίσκεται πάνω από την ίσαλο πλεύσης, εξαιρώντας κατασκευές πλάτους μικρότερου του $B/4$



Σχήμα 7.2.1: Ενεργό ύψος υπερκατασκευών (για πλάτος μεγαλύτερο του $B/4$).

Από τις καταστάσεις φόρτωσης λαμβάνεται το εκτόπισμα για την Full Load Departure (Design), το οποίο είναι ίσο με 6056.5 τόνους. Το πλάτος του πλοίου υπενθυμίζεται ότι ισούται με 18.5 μέτρα.

Έπειτα, από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης είναι γνωστά τα ύψη των υπερκατασκευών, ενώ στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψιν όλες οι υπερκατασκευές εκτός του φουγάρου το οποίο έχει πλάτος μικρότερο του $B/4$. Το πλάτος του φουγάρου ισούται με αυτό του Engine Casing (όντας η κατασκευαστική του απόληξη) και είναι 2.8 μέτρα, ενώ θα έπρεπε να έχει πλάτος μεγαλύτερο των 4.625 μέτρων ($B/4$) για να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς. Συνεπώς, δε θα συνυπολογιστεί ούτε στο προφίλ A. Το προφίλ A υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εντολής Area στο AutoCAD.

Ακόμα, υπόψιν λαμβάνονται μονάχα τα κατασκευαστικά στοιχεία που βρίσκονται εντός του μήκους που ορίζει ο κανονισμός για τον Αριθμό Εξοπλισμού. Αυτό ισούται με το μήκος από την πρυμναία κάθετο AP μέχρι και το πρωραίο πέρας της ισάλου, ενώ δεν πρέπει να είναι μικρότερο του $0.96L_{WL}$ και μεγαλύτερο του $0.97L_{WL}$. Για το υπό μελέτη πλοίο, το μήκος ισούται με 113.02 μέτρα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που εμπλέκονται στον υπολογισμό του αριθμού εξοπλισμού:

Δ	6056.5 tons
B	18.5 m
h_{FB}	7.16 m
h1	3.1 m
h2	2.8 m
h3	2.8 m
h4	2.55 m
h_{dk}	18.41 m
A	1752 m ²
EN	1188.63

Πίνακας 7.2.1: Υπολογισμός Αριθμού Εξοπλισμού EN.

Τελικά, ο Αριθμός Εξοπλισμού του υπό μελέτη πλοίου ισούται με 1188.63. Με γνωστό τον αριθμό αυτό και ανατρέχοντας σε κατάλληλους πίνακες, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των αγκυρών και των καδενών τους. Όσον αφορά τη διάμετρο της καδένας (άρα και την αντοχή της), αυτή είναι ανάλογη με το υλικό που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί. Στους πίνακες προτείνονται τρία υλικά διαφορετικής ποιότητας. Ακόμα, οι κανονισμοί προτείνουν την τοποθέτηση τριών (3) αγκυρών στο υπό μελέτη πλοίο, μία σε κάθε πλευρά του πλοίου και μία εφεδρική (spare).

Τα χαρακτηριστικά τους συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Equipment Number EN	1188.63
Equipment Number Range	1140 – 1220
Άγκυρες	
Ποσότητα	Τρεις (3)
Βάρος ανά άγκυρα	3.54 tons
Καδένα (Αλυσίδα)	
Συνολικό Μήκος	522.5 m
Διάμετρος (Grade 1)	60 mm
Διάμετρος (Grade 2)	52 mm
Διάμετρος (Grade 3)	46 mm
Σχοινί ρυμουλκήσεως	
Ελάχιστο Μήκος	200 m
Αντοχή	691 kN
Λωρίδες πρόσδεσης (καραβόσκονια – κάβοι)	
Ποσότητα	4
Ελάχιστο Μήκος εκάστου	180 m
Αντοχή	293 kN

Πίνακας 7.2.2: Χαρακτηριστικά αγκύρων, καδενών και σχοινιού ρυμουλκήσεως βάση του Αριθμού Εξοπλισμού EN.

7.3 Καταμέτρηση

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η καταμέτρηση του υπό μελέτη πλοίου με βάση τη «Διεθνή Σύμβαση για την Καταμέτρηση της Χωρητικότητας των πλοίων» (International Convention for tonnage measurement of ships) του 1969.

Η καταμέτρηση ενός πλοίου αποτελείται από δύο βασικά μεγέθη. Αυτά είναι:

- Ολική Χωρητικότητα GT (Gross Tonnage)
- Καθαρή Χωρητικότητα NT (Net Tonnage)

7.3.1 Ολική Χωρητικότητα GT (Gross Tonnage)

Η Ολική Χωρητικότητα ενός πλοίου αποτελεί πληροφοριακό στοιχείο ως προς το μέγεθος (συνολικό όγκο) ενός πλοίου. Το μέτρο αυτό αντιστοιχεί στον περικλειόμενο όγκο όλων των κλειστών χώρων του (από την τρόπιδα μέχρι και το φουγάρο).

Η Ολική Χωρητικότητα αποτελεί τη βάση αναφοράς για τον καθορισμό του αριθμού και της σύνθεσης του πληρώματος (βλ. [κεφάλαιο 7.4](#)), την εφαρμογή κανονισμών ασφαλείας, των τελών ταξινόμησης του πλοίου, καθώς και άλλων δαπανών (φόροι, ασφάλιστρα, τέλη διέλευσης από διώρυγες κλπ.).

Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$GT = (0.2 + 0.02 \log_{10} V) V$$

όπου

V ο περικλειόμενος όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου σε m^3

GT η ολική χωρητικότητα του πλοίου σε κόρους RT (Register tons)

Σημειώνεται ότι: $1 \text{ κόρος} = 2.832 \text{ m}^3$

Για το υπό μελέτη πλοίο, ο συνολικός όγκος όλων των κλειστών χώρων V υπολογίστηκε με τη βοήθεια του AVEVA MARINE. Αυτός ανέρχεται στα 33595.375 m^3 .

Με γνωστό τον όγκο αυτό, η Ολική Χωρητικότητα GT του υπό μελέτη πλοίου ισούται με:

$$GT = 9760.32 \text{ tons}$$

7.3.2 Καθαρή Χωρητικότητα NT (Net Tonnage)

Ο υπολογισμός της Καθαρής Χωρητικότητας ενός πλοίου βασίζεται στους χώρους του πλοίου που δύναται να μεταφέρουν φορτίο (cargo spaces). Ως εκ τούτου αποτελεί αντιπροσωπευτικό μέγεθος της «οικονομικής αξίας» του πλοίου.

Για τα πλοία τύπου ROPAX, όπως το υπό μελέτη, οι χώροι που λαμβάνονται υπόψιν στους υπολογισμούς της Καθαρής Χωρητικότητας αντιστοιχούν στους χώρους αποθήκευσης οχημάτων (Καταστρώματα Οχημάτων) και στους χώρους των επιβατών (κοινόχρηστους και καμπίνες).

Η Καθαρή Χωρητικότητα υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση, ενώ δεν μπορεί να είναι μικρότερη της Ολικής πέραν του 30%. Δηλαδή πρέπει $NT \geq 0.3GT$.

$$NT = K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D} \right)^2 + K_3 \left(N1 + \frac{N2}{10} \right)$$

όπου

V_c ο συνολικός όγκος του χώρων που φέρουν φορτίο σε m^3

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V_c$$

$$K_3 = 1.25 \frac{GT+1000}{1000}$$

d το βύθισμα του πλοίου, για το υπό μελέτη πλοίο ισούται με 5.1 μέτρα

D το πλευρικό ύψος μέχρι το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών

$N1$ ο αριθμός των επιβατών σε καμπίνες με λιγότερες από 8 κλίνες

$N2$ ο αριθμός των υπόλοιπων επιβατών

Ο όγκος V_c υπολογίστηκε με τη βοήθεια του AVEVA MARINE και είναι ίσος με 17182.969 m^3 . Όλα τα μεγέθη που εμπλέκονται στους υπολογισμούς της Καθαρής Χωρητικότητας, αλλά και η ίδια, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

V _c	17182.969 m ³
K ₂	0.285
K ₃	2.47
d	5.1 m
D	7.25 m
N1	32
N2	1528
NT	4760.05 κόροι

Πίνακας 7.3.2.1: Υπολογισμός Καθαρής Χωρητικότητας NT του υπό μελέτη πλοίου.

Παρατηρείται ότι: $NT = 4760.05 > 2928.09 = 0.3GT$

Συνεπώς, ικανοποιείται η συγκεκριμένη απαίτηση του κανονισμού.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ακόμα δύο απαιτήσεις. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 < 1$. Για το υπό μελέτη πλοίο ο συντελεστής ισούται με 0.88.
- $K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 > 0.25GT$ Για το υπό μελέτη πλοίο ο συντελεστής ισούται με 4303.59 και είναι μεγαλύτερος του $0.25GT=2440.08$.

Προφανώς λοιπόν, ικανοποιείται πλήρως ο κανονισμός της Καταμέτρησης με αυτές τις τιμές χωρητικότητας GT και NT.

7.4 Σύνθεση πληρώματος

Ο καθορισμός της σύνθεσης του πληρώματος του υπό μελέτη πλοίου θα γίνει σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμόν 177 του 1974. Το Προεδρικό Διάταγμα επιβάλλει με τη νομοθεσία του έναν ελάχιστο αριθμό έμψυχου δυναμικού για το πλήρωμα των πλοίων, ενώ είναι επιλογή της πλοιοκτήτριας εταιρίας, εάν το επιθυμεί η ίδια, να το εμπλουτίσει. Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, θα τοποθετηθεί επιπλέον προσωπικό πληρώματος, από αυτό που προβλέπει το Διάταγμα, προκειμένου ο συνολικός αριθμός πληρώματος να φτάσει τους προβλεπόμενους 60.

Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε ένας επιπλέον ναύτης και ένας επιπλέον δόκιμος μαθητευόμενος μηχανοδηγός.

Για τον καθορισμό του πληρώματος είναι απαραίτητες οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Ολική Χωρητικότητα GT = 9760.32 tons
- Συνολική εγκατεστημένη ιπποδύναμη των Κύριων Μηχανών BHP = 5280 kW
- Αριθμός επιβατών θέρους που ισούται με 1500
- Αριθμός κλινών επιβατών στις καμπίνες που ισούται με 32
- Συνολικός αριθμός κλινών του πλοίου που ισούται με 74

Με γνωστά τα ανωτέρω, η σύνθεση του πληρώματος παίρνει την ακόλουθη μορφή με την οποία επιτυγχάνεται ακριβές πλήρωμα 60 ατόμων:

ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	
Πλοίαρχος Α΄	1
Ύπαρχος	1
Πλοίαρχος Β΄	1
Πλοίαρχος Γ΄	1
Δόκιμος Πλοίαρχος	1
Ναύκληρος	1
Υποναύκληροι	2
Ναύτες	13
Ναυτοπαίδες	2
Σύνολο	23
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΣ	
Μηχανικός Α΄	1
Μηχανικοί Β΄	2
Μηχανικοί Γ΄	2
Δόκιμοι Μηχανικοί	3
Μηχανοδηγός Α΄	1
Μηχανοδηγοί Β΄	5
Μαθητευόμενος Μηχανοδηγός	2
Σύνολο	16
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΓΡΑΦΙΑΣ	
Ραδιοτηλεγραφετής Α΄	1
Ραδιοτηλεγραφετής Β΄	1
Σύνολο	2
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	
Οικονομικός Αξιωματικός Α΄	1
Οικονομικός Αξιωματικός Β΄	1
Σύνολο	2
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	
Βοηθός Φροντιστή	1
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ	
Θαλαμηπόλοι	3
Επίκουροι	2
Τραπεζοκόμος	1
Σύνολο	6
ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΜΑΓΕΙΡΙΟΥ	
Αρχιμάγειρας	1
Μάγειρας Α΄	1
Μάγειρες Β΄	2
Μάγειρες Γ΄	2
Χυτροκαθαριστές	3
Ζαχαροπλάστης	1
Σύνολο	10

Πίνακας 7.4.1: Σύνθεση πληρώματος υπό μελέτη πλοίου.

8. Safety Plan

Όπως έχει ήδη τονιστεί, τα ζητήματα ασφαλείας είναι υψίστης σημασίας για ένα πλοίο τύπου ROPAX. Μάλιστα, στα Επιβατηγά-Οχηματαγωγά πλοία επιβάλλονται επιπλέον απαιτήσεις ασφαλείας.

Μέχρι στιγμής έχουν εφαρμοστεί αρκετοί κανονισμοί-υπολογισμοί πάνω στο υπό μελέτη πλοίο προκειμένου να ληφθεί μία εικόνα για το επίπεδο ασφαλείας του και να γνωστοποιηθεί το κατά πόσο εναρμονίζεται με τους διεθνείς κανονισμούς. Τέτοιοι είναι:

- Υπολογισμός κατακλύσιμων μηκών (ενότητα 6.3.5)
- Έλεγχος άθικτης ευστάθειας και ευστάθειας μετά από βλάβη (ενότητες 6.3.7 και 6.3.8)
- Εφαρμογή κανονισμού Γραμμής Φόρτωσης (υποκεφάλαιο 7.1)

Αν και το υπό μελέτη πλοίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών αυτών, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα καθαρό πλάνο δράσης σε περίπτωση κάποιας βλάβης, όπως πυρκαγιάς ή κατάκλυσης κάποιου διαμερίσματος, η οποία θα αναγκάσει σε εγκατάλειψη του πλοίου. Αυτός είναι ο ρόλος του Safety Plan (Σχέδιο Ασφάλειας), ενός εκ των βασικότερων και σημαντικότερων σχεδίων ενός πλοίου τύπου ROPAX.

Το Safety Plan απαρτίζεται από τρία (3) διαφορετικά σετ πληροφοριών επί της ουσίας, τα οποία είναι τα εξής:

1. Σχέδιο Πυρασφάλειας (Fire Plan)
2. Σωστικά μέσα (Lifesaving appliances)
3. Σχέδιο οδών διαφυγής (Evacuation plan)

8.1 Σχέδιο Πυρασφάλειας (Fire Plan)

Πληροφορίες σχετικές με την πυρασφάλεια αντλήθηκαν από τη SOLAS / Chapter II-2 / Part C / Regulation 10 - "Firefighting". Σκοπός της πυρασφάλειας είναι η καταστολή και η άμεση κατάσβεση μιας πυρκαγιάς στο χώρο εστίας-προέλευσής της. Για το σκοπό αυτό, τα πλοία πρέπει να είναι εξοπλισμένα με συστήματα παροχής νερού (σταθερά συστήματα πυρόσβεσης) και με φορητές πυροσβεστικές συσκευές. [17]

Πριν την περιγραφή των συστημάτων πυρόσβεσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως όλα τα πλοία διαχωρίζονται σε ζώνες πυρασφάλειας (Main Vertical Zones). Για τις φρακτές που αποτελούν τα φυσικά όρια των ζωνών αυτών απαιτείται να είναι κατασκευασμένες από μη εύφλεκτο μεταλλικό ή ισοδύναμο υλικό κλάσης A-60.

Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει τρεις (3) τέτοιες φρακτές τοποθετημένες στους νομείς 11, 70 και 119, οι οποίες διαμορφώνουν τέσσερις (4) ζώνες πυρασφάλειας στο υπό μελέτη πλοίο. Απαιτηση των κανονισμών είναι αυτές να συμπίπτουν με τις υδατοστεγείς φρακτές που διαμορφώνουν τη στεγανή υποδιαίρεση του πλοίου, και καμία ζώνη πυρασφάλειας που διαμορφώνεται από τις Fire Bulkheads να μην έχει μήκος μεγαλύτερο των 48 μέτρων. [17]

8.1.1 Συστήματα Παροχής Νερού (Water Supply Systems & Fixed fire-extinguishing Systems)

Τα Συστήματα Παροχής Νερού (Water Supply Systems) αποτελούνται από αντλίες πυρόσβεσης (fire pumps), βαλβίδες απομόνωσης (fire mains), συστήματα κατάσβεσης Sprinkler και πυροσβεστικούς κρουνοί (hydrants) με πυροσβεστικούς σωλήνες που προσκολλούνται σε αυτούς (fire hoses).

Η ροή του νερού ξεκινάει από τις αντλίες πυρόσβεσης οι οποίες είναι τοποθετημένες στα αντλιοστάσια (Pump rooms) του πλοίου. Η τοποθεσία των χώρων αυτών είναι γνωστή από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης ([ενότητα 4.3.1](#)), στα κατώτερα καταστρώματα.

Για επιβατηγά πλοία Ολικής Χωρητικότητας άνωθεν των 4000 GT (Gross Tonnage), οι κανονισμοί απαιτούν την τοποθέτηση τουλάχιστον τριών (3) αντλιών πυρόσβεσης. Στο υπό μελέτη πλοίο, τοποθετήθηκαν τρεις (3) τέτοιες αντλίες, εκ των οποίων η μία χρησιμεύει και ως Έκτακτης Ανάγκης (Emergency). [\[17\]](#)

Η τοποθέτηση των αντλιών έγινε με γνώμονα σε περίπτωση βλάβης να μην τεθούν εκτός λειτουργίας και οι τρεις (3) αντλίες. Δηλαδή, οι δύο (2) αντλίες (εκτός της emergency) τοποθετήθηκαν μαζί στο αντλιοστάσιο 2 (Pump room 2) και η emergency στο αντλιοστάσιο 1 (Pump room 1). Ακόμα, για την αντλία έκτακτης ανάγκης απαιτείται αυτή να μην είναι τοποθετημένη κοντά στο μηχανοστάσιο (Engine room).

Οι αντλίες αυτές τροφοδοτούν με νερό τους πυροσβεστικούς κρουνοί (hydrants) και τις δεξαμενές των συστημάτων Sprinkler μέσω των σωληνώσεων του δικτύου πυρασφάλειας του πλοίου. Ο ακριβής αριθμός των κρουνών είναι άμεσα συνυφασμένος με το μέγεθος του πλοίου. Συγκεκριμένα, οι κανονισμοί απαιτούν όλα τα μέρη του πλοίου να μπορούν να καταβρεχθούν από τουλάχιστον δύο πίδακες νερού προερχόμενους από κρουνοί. Τουλάχιστον ένας εκ των δύο (2) πιδάκων νερού πρέπει να προκύπτει από ένα μήκος σωληνώσεων πυρόσβεσης (fire hose), δηλαδή χωρίς προέκταση. [\[17\]](#)

Το μήκος των σωλήνων αυτών δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 15 μέτρα στους μηχανολογικούς χώρους, δηλαδή στα κατώτερα καταστρώματα, και τα 20 μέτρα στους υπόλοιπους χώρους του πλοίου. Ακόμα, η προβολή του πίδακα του νερού που δημιουργείται από αυτό το σύστημα θεωρείται ίση με 5 μέτρα. Με άλλα λόγια, κάθε πυροσβεστικός κρουνός καλύπτει μία ακτίνα εμβέλειας 20 μέτρων (15+5) στα κατώτερα καταστρώματα και 25 μέτρων (20+5) στα υπόλοιπα. Με γνωστά τα ανωτέρω δεδομένα, πρέπει να τοποθετηθούν αρκετοί πυροσβεστικοί κρουνοί σε όλους τους χώρους του πλοίου, ώστε να καλύπτεται η απαίτηση κατάβρεξής τους από δύο πίδακες νερού. Προφανώς, απαιτείται κάθε πυροσβεστικός κρουνός να συνοδεύεται από τουλάχιστον μία σωλήνα πυρόσβεσης. Στο υπό μελέτη πλοίο τοποθετήθηκαν συνολικά 67 πυροσβεστικοί κρουνοί. [\[17\]](#)

Τα συστήματα Sprinkler αποτελούν ένα ακόμα μέσω προστασίας έναντι πυρκαγιάς με το οποίο εξοπλίζονται τα πλοία. Πρόκειται για ένα αυτόματο σύστημα κατάσβεσης το οποίο μόλις ανιχνεύσει καπνό εκκινεί την κατάβρεξη-κατάσβεση. Τοποθετείται στο «ταβάνι» του χώρου που θα καταβραχεί. Το νερό το οποίο χρησιμοποιεί το σύστημα αυτό βρίσκεται σε δεξαμενές αποκλειστικά αφιερωμένες για την αποθήκευση του νερού του συστήματος αυτού. Το νερό φτάνει στις δεξαμενές αυτές με τη βοήθεια των αντλιών του δικτύου του πλοίου, όπως είναι και οι αντλίες πυρασφάλειας.

Στο υπό μελέτη πλοίο τοποθετήθηκαν συστήματα Sprinkler υψηλής πίεσης, τα οποία χαρακτηρίζονται ως hi-fog, και τα οποία εξυπηρετούν 5 ξεχωριστές ζώνες των χώρων του πλοίου. Αντίστοιχα, τοποθετήθηκαν Drenchers στους χώρους των οχημάτων, διαμοιρασμένα σε 10 ζώνες. Η βασική διαφορά των Drenchers από τα Sprinklers είναι πως η χρήση τους είναι χειροκίνητη και δε χρειάζονται αντικατάσταση μετά τη λειτουργία τους.

Τέλος, οι βαλβίδες απομόνωσης απαιτείται να είναι τοποθετημένες εκτός των μηχανολογικών χώρων και η χρήση τους αποσκοπεί στην απομόνωση του δικτύου πυρασφάλειας για λόγους ασφαλείας ή στον έλεγχο της ροής του νερού εντός του δικτύου. Στο υπό μελέτη πλοίο τοποθετήθηκαν τρεις (3) βαλβίδες απομόνωσης στο κατάστρωμα 4.

8.1.2 Φορητές πυροσβεστικές συσκευές (Portable fire extinguishers)

Εκτός των ανωτέρω σταθερών συστημάτων πυρόσβεσης, τα πλοία είναι εξοπλισμένα και με φορητές πυροσβεστικές συσκευές. Τέτοιες είναι κατά βάση οι κοινοί πυροσβεστήρες.

Το υπό μελέτη πλοίο είναι εξοπλισμένο με τους ακόλουθους:

- 82 πυροσβεστήρες αφρού 9L (foam extinguisher)
- 17 πυροσβεστήρες διοξειδίου του άνθρακα CO₂ 6.8kg
- 3 πυροσβεστήρες διοξειδίου του άνθρακα CO₂ 45kg με τροχούς σε μηχανολογικούς χώρους

Για τους πυροσβεστήρες απαιτούνται και εφεδρικές φιάλες, ο ακριβής αριθμός των οποίων προβλέπεται από τους κανονισμούς ως εξής:

- Για τις πρώτες 10 φιάλες απαιτούνται 100% εφεδρικές
- Για τις υπόλοιπες φιάλες απαιτούνται 50% εφεδρικές
- Οι εφεδρικές φιάλες δεν απαιτείται να ξεπερνούν τις 60 συνολικά

Οι εφεδρικές φιάλες αναφέρονται στους πυροσβεστήρες που μπορούν να αλλαχθούν πάνω στο πλοίο. Για το υπό μελέτη πλοίο, αυτοί είναι οι πυροσβεστήρες αφρού για τους οποίους απαιτούνται 46 εφεδρικές φιάλες και οι πυροσβεστήρες διοξειδίου του άνθρακα χωρίς τροχούς για τους οποίους απαιτούνται 14 εφεδρικές φιάλες. Συνολικά, το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει 60 εφεδρικές φιάλες (46+14). [17]

8.2 Σωστικά μέσα (Lifesaving appliances)

Στο σχέδιο σωστικών μεσών περιλαμβάνονται οι πληροφορίες που σχετίζονται με την ασφαλή εγκατάλειψη ενός πλοίου. Τέτοιες είναι μεταξύ άλλων:

- Η τοποθεσία και η ποσότητα των ατομικών σωσιβίων (ενηλίκων και παιδιών)
- Οι σταθμοί συγκέντρωσης και η τοποθεσία τους (Muster stations)
- Η τοποθεσία και η χωρητικότητα των σωσίβιων λέμβων και σκαφών διάσωσης (life rafts & rescue boats)
- Η τοποθεσία των Marine Evacuation Systems (M.E.S. rooms)

Πληροφορίες για τα σωστικά μέσα αντλήθηκαν από τη SOLAS / Chapter III - “Lifesaving appliances & arrangements”. Στο υπό μελέτη πλοίο τοποθετήθηκαν τρεις (3) σταθμοί συγκέντρωσης (Muster stations). Οι δύο (2) εξ αυτών βρίσκονται στο Κατάστρωμα 6, ανάμεσα από τα MES rooms. Ο 3^{ος} σταθμός βρίσκεται στο Κατάστρωμα 7 στο πρυμναίο ανοιχτό μέρος. Η τοποθέτησή τους έγινε με γνώμονα οι σταθμοί να είναι ευρύχωροι και να βρίσκονται όσο πιο κοντά γίνεται στα MES rooms, από τα οποία γίνεται η εγκατάλειψη του πλοίου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Επίσης, κρίθηκε σημαντικό οι επιβάτες να διανύσουν την ελάχιστη δυνατή απόσταση προκειμένου να βρεθούν στους σταθμούς αυτούς. [18]

Το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει συνολικά τέσσερα (4) MES rooms, τοποθετημένα στο Κατάστρωμα 6. Από κάθε MES room μπορούν να αποβιβαστούν μέχρι και 400 επιβάτες μέσα σε 30 λεπτά. Για να επιτευχθεί ο αριθμός αυτός, σε κάθε ένα από αυτά στοιβάζονται, μαζί με το μηχανισμό αποβίβασης, και δύο (2) σωσίβιες λέμβοι χωρητικότητας 140 ατόμων.

Ακόμα, στα MES rooms τοποθετούνται και στολές επιβίωσης (Immersion suits – Survival suits) οι οποίες βοηθούν το άτομο που τις φοράει να επιβιώσει για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα σε συνθήκες ψύχους, ιδανικές δεδομένου πως οι ανοιχτές θάλασσες είναι συνήθως πολύ ψυχρές και αφιλόξενες για τους ανθρώπους. Σε κάθε MES room τοποθετούνται έξι (6) τέτοιες στολές.

Σε περίπτωση αστοχίας κάποιου συστήματος αποβίβασης, υπάρχουν οχτώ (8) εφεδρικές σωσίβιες λέμβοι χωρητικότητας 100 ατόμων, τοποθετημένες στο Κατάστρωμα 7. Επιβίβαση σε αυτές πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμόσκαλας (Embarkation rope ladder). Στο ίδιο κατάστρωμα είναι τοποθετημένα και τα, προβλεπόμενα από τους κανονισμούς, σκάφη διάσωσης (rescue boats), μαζί με στολές επιβίωσης (Immersion suits). Για την ακρίβεια, απαιτείται τουλάχιστον ένα σκάφος διάσωσης σε κάθε πλευρά του πλοίου. Κάθε σκάφος έχει χωρητικότητα έξι (6) ατόμων, πέντε (5) καθήμενων και ενός (1) ξαπλωμένου. [18]

Τέλος, το πλοίο είναι εξοπλισμένο με συνολικά 1638 σωσίβια ενηλίκων. Αυτά προορίζονται για όλους τους επιβάτες του πλοίου, δηλαδή και για το πλήρωμα. Αντίστοιχα, υπάρχουν και 156 σωσίβια ειδικά διαμορφωμένα για παιδιά. Τα σωσίβια αυτά είναι όλα τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένους αποθηκευτικούς χώρους στα Καταστρώματα 6 και 7, εκτός από έξι (6) σωσίβια ανηλίκων που είναι τοποθετημένα τα τρία (3) στο Engine Control Room (ECR) και τα άλλα (3) στη γέφυρα (Wheel house). [18]

Η σύνθεση των ανωτέρω σωστικών μέσων κρίνεται επαρκής με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS. Για την ακρίβεια, η SOLAS απαιτεί τα σωστικά μέσα, δηλαδή οι σωσίβιες λέμβοι και σκάφη, να είναι ικανά να εξυπηρετήσουν κατά 25% περισσότερους επιβάτες από τους μέγιστους προβλεπόμενους του πλοίου. Το υπό μελέτη πλοίο έχει μέγιστο αριθμό επιβαινόντων τα 1560 άτομα. Συνεπώς, από τους κανονισμούς απαιτείται τα σωστικά μέσα να μπορούν να εξυπηρετήσουν τουλάχιστον 1950 άτομα. Με βάση τα ανωτέρω σωστικά μέσα, το υπό μελέτη πλοίο μπορεί να εξυπηρετήσει 2412 επιβάτες. [18]

Ακόμα, όσον αφορά τα ατομικά σωσίβια, για τους ενήλικες πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον τόσα ατομικά σωσίβια ώστε αυτά να ξεπερνούν κατά 5% το μέγιστο αριθμό επιβατών. Για το υπό μελέτη πλοίο, η απαίτηση αυτή μεταφράζεται στα 1638 σωσίβια ενηλίκων. Αντίστοιχα, για τα σωσίβια των παιδιών, αυτά πρέπει ανέρχονται τουλάχιστον στο 10% του συνολικού αριθμού επιβατών, δηλαδή στα 156 σωσίβια παιδιών. Όπως φαίνεται, οι απαιτήσεις ικανοποιούνται για τα σωστικά μέσα αλλά και για τα σωσίβια. [18]

8.3 Σχέδιο Οδών διαφυγής (Evacuation Plan)

Σκοπός του Σχεδίου Οδών Διαφυγής (Evacuation Plan) είναι να παρέχει στους επιβάτες γρήγορες και ασφαλείς οδούς διαφυγής προς τους σταθμούς συγκέντρωσης. Σχετικές πληροφορίες αντλήθηκαν από τη SOLAS / Chapter II-2 / Part D / Regulation 13 - "Means of escape". [16]

Η βασική αρχή που διέπει το σχέδιο αυτό είναι πως όλοι οι χώροι του πλοίου πρέπει να διαθέτουν τουλάχιστον δύο (2) ξεχωριστές οδούς διαφυγής. Ακόμα, οι ανελκυστήρες (lifts) δε λαμβάνονται υπόψιν στη μελέτη των οδών διαφυγής. [16]

Για τα επιβατηγά πλοία όπως είναι το υπό μελέτη, γίνεται διαχωρισμός της μελέτης για τους χώρους του πλοίου ανάλογα με τη θέση τους αναφορικά με το Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών.

Για τους χώρους κάτωθεν του Καταστρώματος Στεγανών Φρακτών (Κατάστρωμα 3), απαιτείται προφανώς και πάλι να υπάρχουν τουλάχιστον δύο (2) ξεχωριστές οδοί διαφυγής, όμως τουλάχιστον μία εκ των δύο απαιτείται να βρίσκεται εντός του στεγανού διαμερίσματος στο οποίο βρίσκεται ο εξεταζόμενος χώρος. Η άλλη οδός δύναται να βρίσκεται σε κάποιο γειτονικό στεγανό διαμέρισμα. [16]

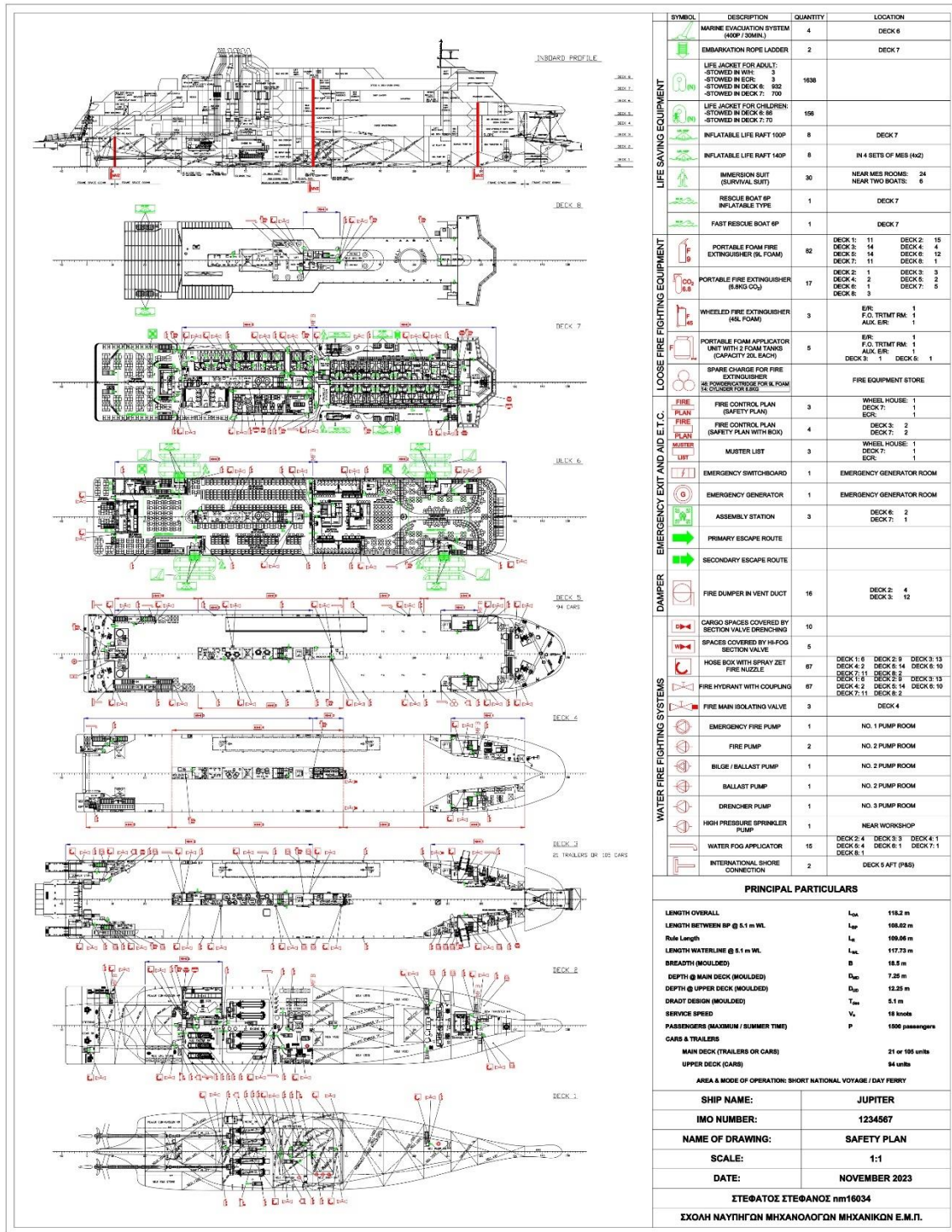
Παρόλα αυτά, σε χώρους κάτωθεν του Καταστρώματος Στεγανών Φρακτών δύναται να υπάρχει και μία μόνο οδός διαφυγής υπό συνθήκες. Καταρχάς, αυτή πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο στεγανό διαμέρισμα με τον εξεταζόμενο χώρο και δεύτερον ο χώρος αυτός να είναι μην είναι τακτικά επισκέψιμος από το πλήρωμα. Στο υπό μελέτη πλοίο τέτοιος χώρος είναι το Αντλιοστάσιο 1 που φιλοξενεί την αντλία πυρασφάλειας έκτακτης ανάγκης (emergency fire pump). [16]

Αντίστοιχα, για τους χώρους άνωθεν του Καταστρώματος Στεγανών Φρακτών (Κατάστρωμα 3) απαιτούνται τουλάχιστον δύο (2) οδοί διαφυγής από την ίδια ζώνη πυρασφάλειας στην οποία εντάσσεται ο χώρος. Μία εκ των δύο αυτών οδών πρέπει να αποτελεί κατακόρυφη διαφυγή από κλίμακες μέχρι και το κατάστρωμα 6 στο οποίο βρίσκονται τα MES rooms. [16]

Γενικότερες απαιτήσεις των οδών διαφυγής σχετίζονται με το πλάτος των κλιμάκων και των πορτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα εξόδου. Συγκεκριμένα, όλες οι κλίμακες (σκάλες) πρέπει να έχουν καθαρό πλάτος τουλάχιστον 0.8 μέτρων και οι πόρτες 0.9 μέτρα πλάτος. Ακόμα, οι πόρτες συνιστάται να ανοίγουν προς την κατεύθυνση της προτεινόμενης εξόδου, όπου είναι δυνατό. [16]

8.4 Σχέδιο σε AutoCAD

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχέδιο Safety Plan, το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 8, όπως αυτό σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα AutoCAD. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι πληροφορίες που σχετίζονται με την πυρασφάλεια και τον περιορισμό της πυρκαγιάς, ενώ με πράσινο αναγράφονται οι πληροφορίες που σχετίζονται με τα σωστικά μέσα που διαθέτει το πλοίο. Οι οδοί διαφυγής συμβολίζονται με πράσινα βέλη, ενώ υπάρχει αναλυτικό υπόμνημα στο οποίο περιγράφονται τα σύμβολα του σχεδίου, η ποσότητα των διαφόρων στοιχείων που το διέπουν και η θέση τους ανά τα καταστρώματα.



Σχέδιο 8.4.1: Safety Plan υπό μελέτης πλοίου.

9. Προωστήρια Εγκατάσταση

Η προωστήρια εγκατάσταση του υπό μελέτη πλοίου αποτελείται από δύο αυτόνομα συστήματα πρόωσης. Στο πλοίο, συγκεκριμένα στο 9^ο στεγανό διαμέρισμα, στεγάζεται το Μηχανοστάσιο στο οποίο είναι τοποθετημένες τέσσερις (4) Κύριες Μηχανές. Αυτές συνδέονται ανά δύο με έναν μειωτήρα στροφών, ο οποίος με τη σειρά του κινεί τον ελικοφόρο άξονα, δηλαδή την έλικα. Ο λόγος που παρεμβάλλεται ο μειωτήρας είναι για να μεταδοθούν στην έλικα οι βέλτιστες στροφές για τη λειτουργία της.

Στο παρόν και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας θα υπολογιστούν αρκετά από τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την προωστήρια εγκατάσταση ενός πλοίου. Το πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση είναι ο υπολογισμός της αντίστασης του πλοίου σε ήρεμο νερό την οποία καλείται να υπερνικήσει η προωστήρια εγκατάσταση προκειμένου να επιτευχθεί η, απαιτούμενη από τον πλοιοκτήτη, ταχύτητα υπηρεσίας V_s . Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής CFD, Shipflow.

9.1 Αντίσταση

Η αντίσταση ενός πλοίου, το οποίο κινείται με μία δεδομένη ταχύτητα, ισούται με τη δύναμη που απαιτείται να ασκηθεί στο πλοίο, για να ρυμουλκηθεί η γάστρα στη συγκεκριμένη ταχύτητα σε ήρεμο νερό. Η γάστρα του πλοίου κατά την πλευση της δέχεται δυνάμεις από το περιρρέον ρευστό, οι οποίες οφείλονται στην ανάπτυξη κατανομής πιέσεων κάθετα και παράλληλα με την επιφάνεια της γάστρας, οι οποίες επηρεάζονται από τη συνεκτικότητα. Προκύπτει λοιπόν πως η συνολική αντίσταση του πλοίου R_T , οφείλεται στην αντίσταση που δέχεται λόγω πιέσεων και στην αντίσταση λόγω τριβής. [32]

Η συνολική αντίσταση R_T της γάστρας που πλέει σε ήρεμο νερό, για τον υπολογισμό της, χωρίζεται στις παρακάτω βασικές συνιστώσες:

- Αντίσταση συνεκτικότητας, R_v , (Viscous) η οποία χωρίζεται στην αντίσταση τριβής R_f (frictional) και στην αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας R_{pv} (Pressure Viscous)
- Αντίσταση λόγω δημιουργίας κυματισμών R_w (Wave making)

Δηλαδή ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$R_T = R_v + R_w = (R_f + R_{pv}) + R_w$$

Πιο αναλυτικά, η αντίσταση τριβής αφορά την δύναμη που ασκείται στη γάστρα, λόγω του ολοκληρώματος των εφαπτομενικών τάσεων στην επιφάνειά της και των προβολών αυτών κατά τη διεύθυνση της ροής του πλοίου. Η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας, η οποία αναπτύσσεται λόγω της παρουσίας του οριακού στρώματος, αφορά την αντίσταση που προκύπτει, με την ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας, των κάθετων δυνάμεων πίεσης και των προβολών τους στη διεύθυνση της ροής. Οι παραπάνω συνιστώσες έχουν βαρύτητα στην περίπτωση που θεωρηθεί το ρευστό πραγματικό και όχι ιδανικό, δηλαδή ροή με ύπαρξη τριβής. [32]

Όσον αφορά την αντίσταση λόγω δημιουργίας κυματισμών, αυτή είναι κατά βάση αντίσταση που οφείλεται στην πίεση και είναι αποτέλεσμα της κίνησης του πλοίου σε ελεύθερη επιφάνεια του περιρρέοντος ρευστού. Πιο αναλυτικά, κατά την πλευση του

πλοίου, η γάστρα προκαλεί διαταραχή στην ελεύθερη επιφάνεια του ήρεμου ρευστού και έτσι μετατοπίζει κατακόρυφα τα σημεία του, από την αρχική τους θέση. Η ελεύθερη επιφάνεια στη συνέχεια τείνει να επανέλθει στην αρχική της θέση λόγω βαρύτητας. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η δημιουργία κυματισμών. Η αντίσταση κυματισμού, ουσιαστικά είναι η απώλεια κινητικής ενέργειας του πλοίου, λόγω της δημιουργίας των κυμάτων αυτών. Το πλοίο λοιπόν αποτελεί ένα σύστημα παραγωγής κυματισμών, δεδομένου ότι από κάθε σημείο της επιφάνειας της γάστρας διεγείρεται και ένας κυματισμός. Στο φαινόμενο αυτό, σημαντική είναι η παρουσία και η μορφή του βολβού, ως σημείο που επίσης μπορεί να παράγει κύμα, το οποίο με τις κατάλληλες γεωμετρικές προϋποθέσεις μπορεί να εξουδετερώσει μερικώς το παραγόμενο κύμα από την πλώρη, μειώνοντας σημαντικά την αντίσταση αυτής της φύσεως. [32]

9.1.1 Computational Fluid Dynamics – CFD

Η υπολογιστική ρευστομηχανική (Computational Fluid Dynamics – CFD) είναι ένας κλάδος της μηχανικής των ρευστών που χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους και αλγορίθμους, προκειμένου να αναλύσει και να επιλύσει προβλήματα που αφορούν στη ροή των ρευστών. Κατά κύριο λόγο, η θεμελιώδης βάση των προγραμμάτων CFD είναι οι εξισώσεις Navier-Stokes, οι οποίες περιγράφουν τη ροή των ρευστών.

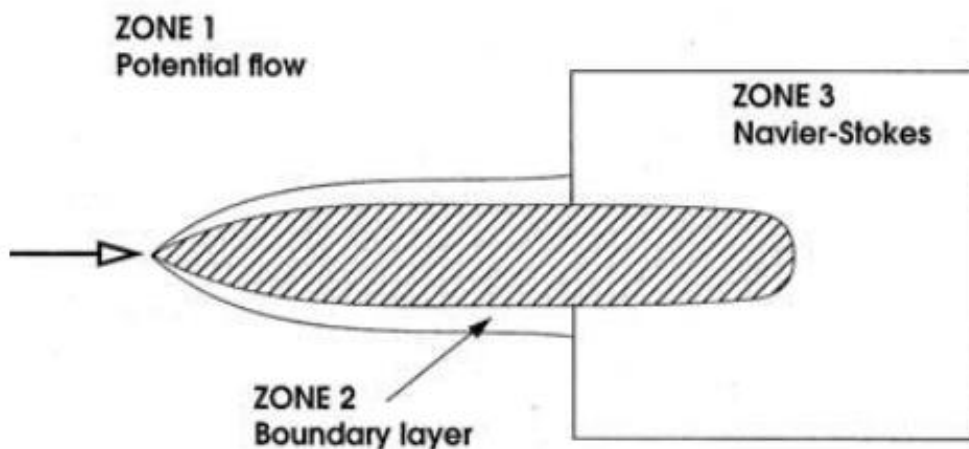
Γενικά, η ροή γύρω από ένα σώμα μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως συνάρτηση της πίεσης του ρευστού και των τριών (3) συνιστωσών της ταχύτητάς του. Έτσι, δημιουργείται μια σειρά από εξισώσεις κίνησης, όπως οι Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), για τυρβώδη ροή και επιλύονται με συγκεκριμένες οριακές συνθήκες. Οι εξισώσεις αυτές είναι πολύπλοκες ως προς την επίλυσή τους και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής CFD.

Το Shipflow είναι ένα τέτοιο πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD), ειδικά σχεδιασμένο για την υδροδυναμική του πλοίου και ναυπηγικές μελέτες. Ο λόγος για τον οποίο η υδροδυναμική του πλοίου διαφοροποιείται από άλλους τομείς της μηχανικής των ρευστών είναι η ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας, εξαιτίας της οποίας δημιουργούνται κυματισμοί οι οποίοι αυξάνουν την αντίσταση της κίνησης του πλοίου, όπως έχει αναλυθεί και προηγουμένως ([υποκεφάλαιο 9.1](#)).

Όταν χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις RANS από προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής CFD, συναντώνται δύο (2) διαφορετικού τύπου προσεγγίσεις. Αυτές είναι:

- Global approach: Σε αυτήν την προσέγγιση οι εξισώσεις RANS εφαρμόζονται σε ολόκληρη την υπολογιστική περιοχή, όμως είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτητική σε υπολογιστική ισχύ.
- Zonal approach: Σε αυτήν την προσέγγιση γίνεται διαχωρισμός της υπολογιστικής περιοχής σε τρεις (3) ξεχωριστές ζώνες. Σε κάθε ζώνη εφαρμόζεται ξεχωριστή υπολογιστική μέθοδος με κριτήριο τη βέλτιστη απόδοση σε ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Το Shipflow ακολουθεί τη 2^η προσέγγιση, δηλαδή σε ζώνες. Αυτές παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 9.1.1.1: Απεικόνιση των τριών (3) ζωνών που απαρτίζουν την υπολογιστική περιοχή στην προσέγγιση με ζώνες (Zonal approach).

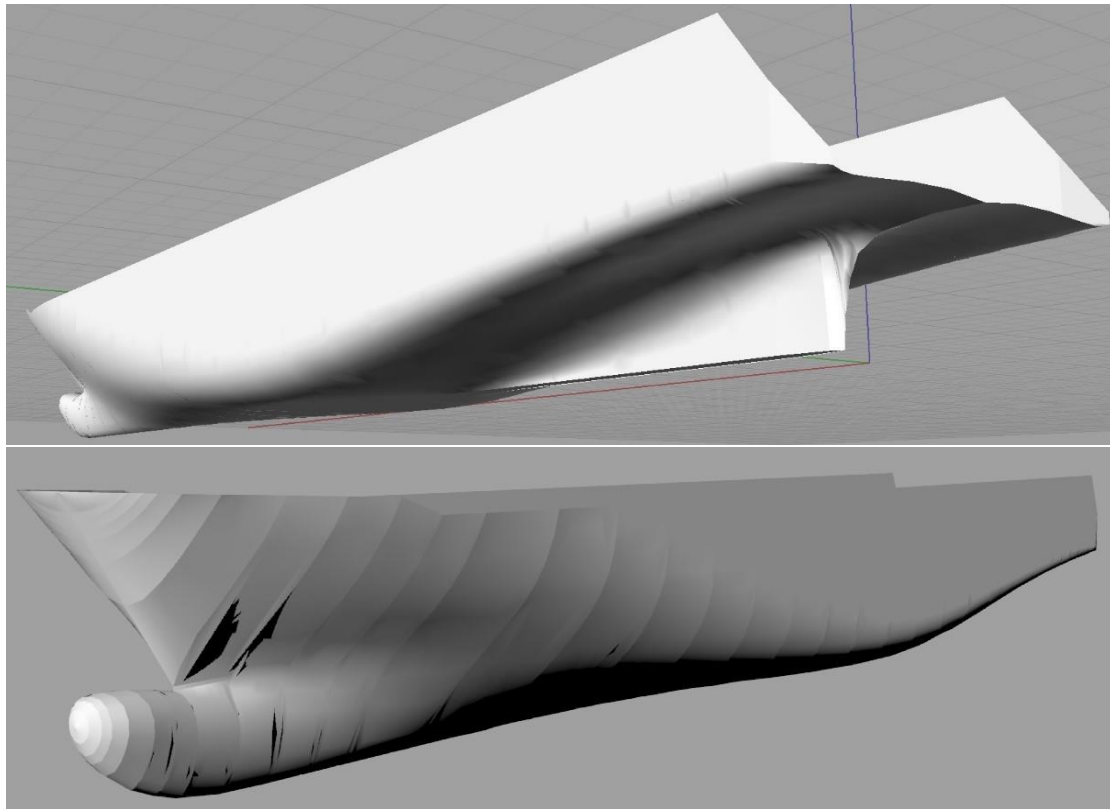
Η 1^η ζώνη υπολογίζεται με επίλυση των εξισώσεων για ιδανική ροή (potential flow equations) και αφορά το πρωραίο τμήμα του πλοίου έξω από το οριακό στρώμα που δημιουργείται. Στη 2^η ζώνη χρησιμοποιείται η θεωρία λεπτού οριακού στρώματος (Boundary layer) και η πίεση στο οριακό στρώμα λαμβάνεται ως σταθερή. Η 3^η περιοχή αφορά το πυρναίο τμήμα στο οποίο γίνεται επίλυση της τυρβώδους ροής με τη βοήθεια των εξισώσεων Navier-Stokes.

9.1.2 Δημιουργία επιφάνειας γάστρας

Η αντίσταση ενός πλοίου είναι άμεσα συνυφασμένη με τη γεωμετρία της γάστρας του, τη βρεχόμενη επιφάνειά του (άρα το βύθισμά του) και την ταχύτητα πλεύσης του (αριθμοί Froude, Reynolds). Αναφορικά στο συσχετισμό ταχύτητας-αντίστασης, η αντίσταση είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας πλεύσης.

Προκειμένου λοιπόν να γίνει ικανοποιητικός (και όχι εμπειρικός που συνήθως υπερεκτιμά την αντίσταση) υπολογισμός της αντίστασης του πλοίου, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η γεωμετρία της επιφάνειας γάστρας, καθώς μέσα από αυτήν υπολογίζεται και η βρεχόμενη επιφάνεια. Για τη δημιουργία της, χρησιμοποιήθηκε το Σχέδιο Γραμμών της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου (βλ. [εικόνες 6.1.2](#) και [6.1.3](#)).

Η επιφάνεια της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Rhinoceros και παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες:



Εικόνα 9.1.2.1: Τελική επιφάνεια γάστρας στο Rhinoceros.

9.1.3 Αποτελέσματα Shipflow

Αφού το Shipflow «διαβάσει» τη γεωμετρία της επιφάνειας της γάστρας, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί αντίστασης ρυμούλκησης για ταχύτητες πλεύσης από 16 έως 26 κόμβους και για βύθισμα ίσο με το βύθισμα σχεδίασης των 5.1 μέτρων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

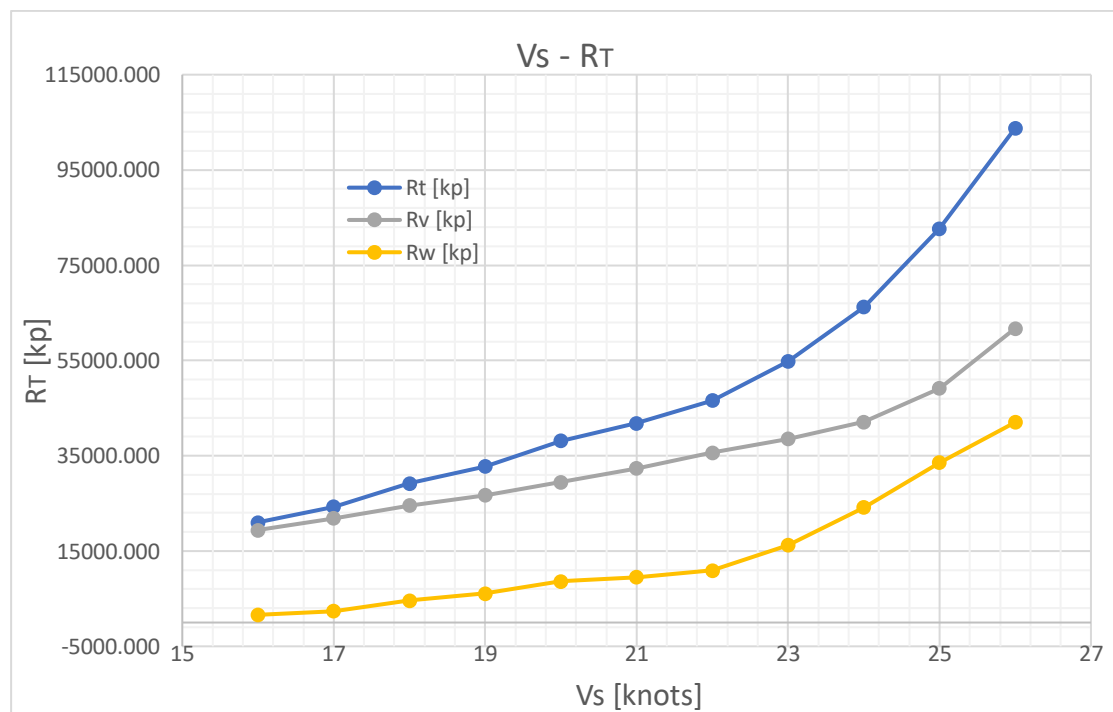
Vs [knots]	Vs [m/s]	Fn	Re	10 ³ C _F	10 ³ C _{PV}	10 ³ C _V	10 ³ C _W	10 ³ C _T
16	8.231	0.2476	7.800E+08	1.725	0.3778	2.1028	0.1749	2.2777
17	8.745	0.2631	8.288E+08	1.715	0.3854	2.1004	0.2297	2.3301
18	9.260	0.2786	8.776E+08	1.708	0.3935	2.1015	0.3941	2.4956
19	9.774	0.2940	9.263E+08	1.708	0.342	2.05	0.4661	2.5161
20	10.289	0.3095	9.751E+08	1.704	0.3394	2.0434	0.5995	2.6429
21	10.803	0.3250	1.024E+09	1.701	0.3324	2.0334	0.5973	2.6307
22	11.318	0.3405	1.073E+09	1.705	0.336	2.041	0.6276	2.6686
23	11.832	0.3559	1.121E+09	1.702	0.3157	2.0177	0.8519	2.8696
24	12.347	0.3714	1.170E+09	1.712	0.3131	2.0251	1.162	3.1871
25	12.861	0.3869	1.219E+09	1.721	0.4591	2.1801	1.488	3.6681
26	13.375	0.4024	1.268E+09	1.731	0.8009	2.5319	1.723	4.2549

Vs [knots]	Vs [m/s]	Fn	Re	R _F [kp]	R _v [kp]	R _w [kp]	R _T [kp]
16	8.231	0.2476	7.800E+08	15932.454	19422.535	1616.046	21038.581
17	8.745	0.2631	8.288E+08	17888.372	21907.991	2395.211	24303.202
18	9.260	0.2786	8.776E+08	19971.856	24572.000	4607.588	29179.587
19	9.774	0.2940	9.263E+08	22254.491	26709.631	6071.696	32781.327
20	10.289	0.3095	9.751E+08	24588.723	29487.848	8653.312	38141.159
21	10.803	0.3250	1.024E+09	27069.489	32359.062	9505.081	41864.143
22	11.318	0.3405	1.073E+09	29779.078	35648.055	10960.726	46608.781
23	11.832	0.3559	1.121E+09	32493.053	38519.270	16261.312	54780.583
24	12.347	0.3714	1.170E+09	35590.135	42097.148	24151.571	66248.719
25	12.861	0.3869	1.219E+09	38806.116	49161.130	33559.268	82720.399
26	13.375	0.4024	1.268E+09	42221.860	61759.826	42031.887	103791.713

Πίνακας 9.1.3.1: Αποτελέσματα αντίστασης ρυμούλκησης Shipflow.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Shipflow λοιπόν, η αντίσταση ρυμούλκησης του υπό μελέτη πλοίου για την ταχύτητα υπηρεσίας των 18 κόμβων ισούται με 29179.6 kp.

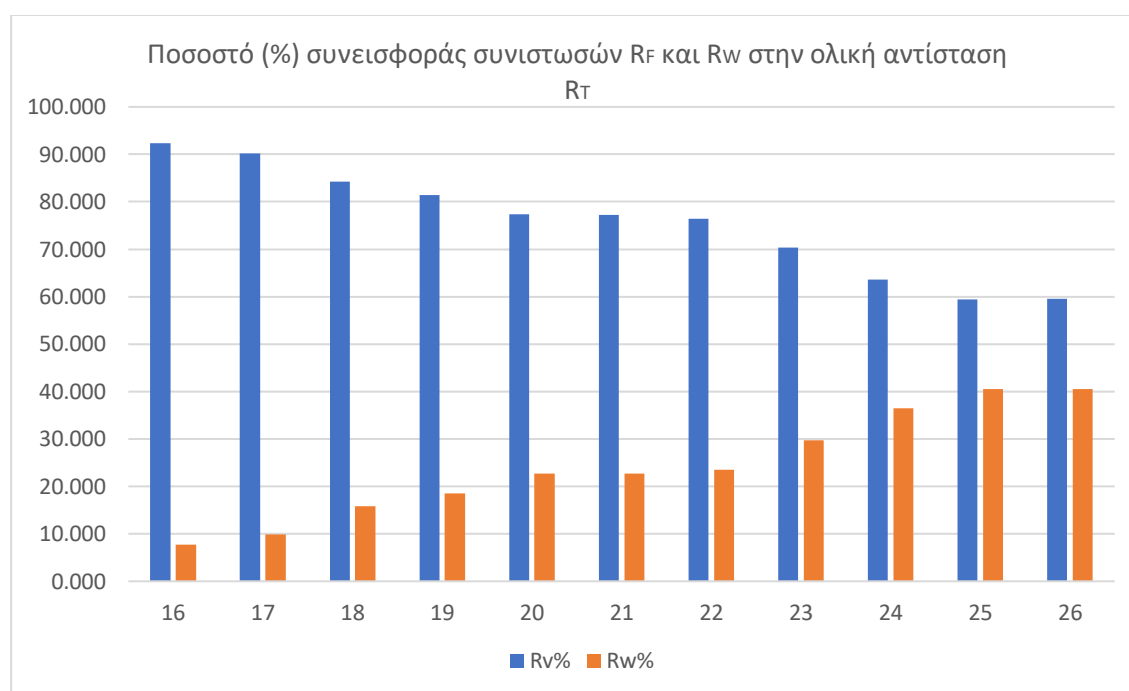
Τα δεδομένα του πίνακα γίνονται πιο εμφανή με τη βοήθεια των ακόλουθων διαγραμμάτων.



Διάγραμμα 9.1.3.1: Διάγραμμα Αντίστασης R – Ταχύτητας πλεύσης V_s.

Στο ανωτέρω διάγραμμα παρουσιάζεται η Ολική Αντίσταση R_T , μαζί με τις κύριες συνιστώσες της (αντίσταση λόγω συνεκτικότητας του ρευστού R_V (Viscous) και αντίσταση λόγω δημιουργίας κυματισμών R_W (Wave making)), συναρτήσει της ταχύτητας πλεύσης του πλοίου. Από το διάγραμμα φαίνεται όλες οι αντιστάσεις (συνιστώσες και ολική) να είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας πλεύσης, κάτι το οποίο αναμενόταν και είχε σχολιαστεί προηγουμένως (βλ. ενότητα 9.1.2).

Είναι εμφανές πως σε χαμηλές ταχύτητες η αντίσταση R_W παίρνει πολύ μικρές τιμές και η αντίσταση ρυμούλκησης οφείλεται κυρίως στην αντίσταση λόγω συνεκτικότητας του περιρρέοντος ρευστού, ενώ αντίθετα σε μεγάλες ταχύτητες η αντίσταση δημιουργίας κυματισμών αποκτά πιο κυρίαρχο χαρακτήρα. Αυτό φαίνεται και από το ακόλουθο ραβδόγραμμα, στο οποίο παρουσιάζεται το ποσοστό συνεισφοράς, της κάθε συνιστώσας, στην ολική αντίσταση συναρτήσει της ταχύτητας πλεύσης. Τέλος, άνωθεν των 22 κόμβων παρατηρείται ραγδαία αύξηση της αντίστασης ρυμούλκησης της γάστρας, η οποία οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση της αντίστασης δημιουργίας κυματισμών R_W .



Ραβδόγραμμα 9.1.3.1: Ποσοστό συνεισφοράς συνιστωσών αντίστασης στην ολική συναρτήσει της ταχύτητας πλεύσης.

9.2 Αλληλεπίδραση γάστρας – έλικας

Με τη βοήθεια του Shipflow υπολογίστηκε η αντίσταση ρυμούλκησης της γάστρας. Παρόλα αυτά, πραγματικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντίσταση του αυτοπροωθούμενου πλοίου με τις έλικες σε λειτουργία. Η λειτουργία της έλικας μειώνει τις πιέσεις (Pressure Viscous resistance) που δέχεται η γάστρα στην περιοχή της πρύμνης και διαφοροποιεί και τις επαπτομενικές τάσεις, δηλαδή το οριακό στρώμα. Οι αλλαγές αυτές οδηγούν σε μεγαλύτερη αντίσταση του αυτοπροωθούμενου πλοίου συγκριτικά με το ρυμουλκούμενο χωρίς τα παρελκόμενα.

Η μαθηματική περιγραφή της αλληλεπίδρασης γάστρας-ελίκων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ακόλουθων συντελεστών αλληλεπίδρασης:

- Ποσοστό ομόρου w
- Ποσοστό μείωσης ώσης t
- Βαθμός απόδοσης σχετική περιστροφής n_R

Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων. Στους υπολογισμούς εμπεριέχεται η γεωμετρία της γάστρας μέσω συντελεστών που την περιγράφουν (C_B , C_P , C_W).

9.2.1 Ποσοστό ομόρου w

Για τον υπολογισμό του ποσοστού ομόρου θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι δύο (2) εμπειρικοί τύπου οι οποίοι αναφέρονται σε διπλέλικα φορτηγά πλοία.

$$w = 0.81C_B - 0.34 \text{ (Kruger 1976)}$$

$$w = 0.7C_P - 0.3 \text{ (Heckscher)}$$

Τα αποτελέσματα των σχέσεων αυτών φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ποσοστό ομόρου w	
Kruger 1976	0.1274
Heckscher	0.1382
Μέσος όρος	0.1328

Πίνακας 9.2.1: Υπολογισμός ποσοστού ομόρου w για το υπό μελέτη πλοίο.

Τελικά, το ποσοστό ομόρου λήφθηκε ίσο με το μέσο όρο των δύο εμπειρικών σχέσεων, ίσο με 0.1328. Η τιμή αυτή κρίνεται ικανοποιητική δεδομένου ότι το ποσοστό ομόρου w λαμβάνει συνήθως τιμές εντός του εύρους από 0.05 έως 0.4, με τις χαμηλότερες τιμές του εύρους αυτού να αντιστοιχούν σε διπλέλικα πλοία.

Με γνωστό το ποσοστό ομόρου w είναι δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας προχώρησης V_0 , δηλαδή την ταχύτητα της επερχόμενης ροής που αντιλαμβάνεται η έλικα. Αυτό οφείλεται στο ότι η ίδια η γάστρα εμποδίζει τη ροή του ρευστού προς την έλικα. Η ταχύτητα προχώρησης είναι τελικά:

$$V_0 = (1 - w) V_S = 15.61 \text{ knots} = 8.03 \text{ m/s}$$

9.2.2 Ποσοστό μείωσης ώσης t

Αντίστοιχα, για το ποσοστό μείωσης ώσης t χρησιμοποιήθηκαν τρεις (3) εμπειρικοί τύποι. Και οι τρεις τύποι αναφέρονται σε διπλέλικα φορτηγά πλοία, ενώ ο τύπος της SSPA χρησιμοποιεί και τον υπολογισμένο συντελεστή ομόρου w για τον υπολογισμό της μείωσης ώσης.

$$t = 0.5C_p - 0.18 \text{ (Heckscher)}$$

$$t = 0.52C_B - 0.18 \text{ (Danckwardt)}$$

$$t = w \left(1.67 - 2.3 \frac{C_B}{C_w} + 1.5C_B \right) \text{ (SSPA)}$$

Τα αποτελέσματα των σχέσεων αυτών φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ποσοστό μείωσης ώσης t	
Heckscher	0.133
Danckwardt	0.12
SSPA	0.1274
Μέσος όρος	0.1268

Πίνακας 9.2.2: Υπολογισμός ποσοστού μείωσης ώσης t για το υπό μελέτη πλοίο.

Η τελική τιμή για το ποσοστό μείωσης ώσης t λαμβάνεται ως ο μέσος όρος των τριών εμπειρικών σχέσεων, δηλαδή ίση με 0.1268. Και πάλι η τιμή αυτή κρίνεται ικανοποιητική δεδομένου ότι ο συντελεστής αυτός λαμβάνει συνήθως τιμές από 0.1 έως 0.3.

9.2.3 Βαθμός απόδοσης γάστρας n_H

Με γνωστούς τους συντελεστές ομόρου w και μείωσης ώσης t, μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης της γάστρας n_H . Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται για λόγους πληρότητας καθώς δεν εμπλέκεται σε μελλοντικούς υπολογισμούς.

$$n_H = \frac{1-t}{1-w} = 1.0069$$

9.2.4 Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής n_R

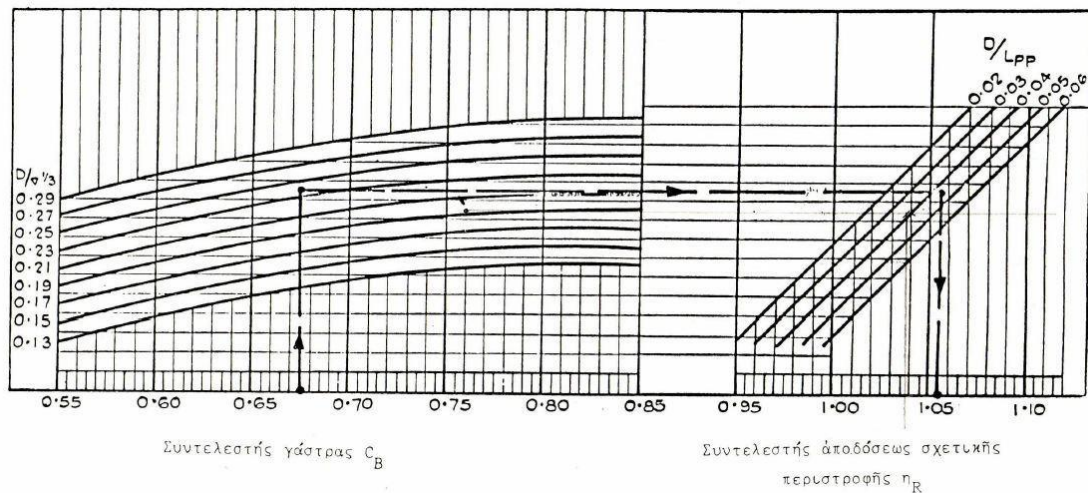
Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής n_R θα χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα που παρέχεται από τη μέθοδο υπολογισμού αντίστασης BSRA. Στο διάγραμμα αυτό, το ζητούμενο μέγεθος παρέχεται συναρτήσει του συντελεστή γάστρας C_B και των λόγων $D/\nabla^{1/3}$ και D/L_{BP} , όπου D η διάμετρος των ελίκων του πλοίου.

Η διάμετρος D είναι γνωστή από μετέπειτα στάδιο της μελέτης (υποενότητα 9.3.4.1) και ισούται με 3.5 μέτρα. Ακόμα, από τις καταστάσεις φόρτωσης είναι γνωστό το εκτόπισμα του πλοίου στην κατάσταση σχεδίασης, από το οποίο είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου εκτοπίσματος ∇ . Τα εμπλεκόμενα μεγέθη παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

C_B	0.577
Δ	6056.5 tons
$\nabla^{1/3}$	18.0435 m
$D/\nabla^{1/3}$	0.194
D/L_{BP}	0.0324

Πίνακας 9.2.4.1: Εμπλεκόμενα μεγέθη στον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής n_R μέσω του διαγράμματος της μεθόδου BSRA.

Με γνωστά τα μεγέθη του πίνακα, υπολογίζεται ο ζητούμενος βαθμός απόδοσης με τη βοήθεια του ακόλουθου διαγράμματος, το οποίο παρέχεται από τη μέθοδο BSRA.



Διάγραμμα 9.2.4.1: Διάγραμμα υπολογισμού βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R της μεθόδου BSRA.

Τελικά, λαμβάνεται:

$$\eta_R = 1.002$$

9.3 Έλικες

9.3.1 Αριθμός ελίκων

Το υπό μελέτη πλοίο είναι εξοπλισμένο με δύο (2) έλικες. Αυτό συμβαίνει αφενός για λόγους ασφαλείας, δηλαδή το πλοίο να έχει εφεδρεία ισχύος σε περίπτωση βλάβης που θα θέσει εκτός λειτουργίας κάποιο προωστήριο σύστημα (έλικα). Αφετέρου διότι τα πλοία τύπου ROPAX, λόγω του ελαφριού φορτίου που μεταφέρουν, έχουν μικρά βυθίσματα. Αυτό περιορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρο της έλικας καθώς αυτή πρέπει να είναι συνεχώς πλήρως βυθισμένη. Η μικρή διάμετρος της έλικας οδηγεί σε χαμηλό υδροδυναμικό βαθμό απόδοσής της. Το ζήτημα αυτό επιλύεται με την τοποθέτηση δύο ή και παραπάνω ελίκων. Τέλος, η Ελληνική νομοθεσία απαιτεί την τοποθέτηση δύο (2) ελίκων συνδεδεμένων σε ανεξάρτητες Κύριες Μηχανές.

9.3.2 Τύπος έλικας

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται οι έλικες. Αυτές είναι οι έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propellers – FPP) και οι έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers – CPP).

Πλεονέκτημα των CPP συνιστά το γεγονός ότι με ρύθμιση των πτερυγίων σε κατάλληλη γωνία πρόσπτωσης, το πλοίο μπορεί να μπει σε τροχιά αναπόδοσης (όπισθεν) δίχως την αναστροφή του ελικοφόρου άξονα. Αυτό συνιστά πιο γρήγορη ανταπόκριση ελιγμών και επιτρέπει τη συνεργασία με Κύριες Μηχανές που είναι μη αντιστρέψιμες, άρα και πιο

φθηνές, μικρότερες σε μέγεθος και πιο ελαφριές. Πέραν της αναπόδοσης, η αλλαγή του βήματος της έλικας, υπό σταθερές στροφές λειτουργίας, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στην παραγόμενη ώση, ανάλογα τις απαιτήσεις πλεύσης, και κατά συνέπεια να ρυθμιστεί η ταχύτητα πλεύσης του πλοίου στην επιθυμητή. Η ανταπόκριση στην ταχύτητα του πλοίου υπό αυτή τη μέθοδο είναι πιο γρήγορη συγκριτικά με το να ρυθμιστούν οι στροφές των Κυρίων Μηχανών για αλλαγή της ώσης και κατά συνέπεια της ταχύτητας. [32]

Από την άλλη, η κατανομή του βήματος των πτερυγίων της έλικας είναι βέλτιστη για μία μόνο θέση αυτών. Στις υπόλοιπες θέσεις ο βαθμός απόδοσής της έλικας μειώνεται, ενώ είναι ήδη μειωμένος συγκριτικά με αυτόν που παρέχουν οι έλικες σταθερού βήματος. Σε αυτό επιδρά αρνητικά και η μεγάλη πλήμνη των ελίκων μεταβλητού βήματος, στην οποία τοποθετείται ο μηχανισμός χειρισμού των πτερυγίων της. Ακόμα, λόγω του μηχανισμού αυτού έχουν και μεγάλο κόστος αρχικής κτίσης και μεγάλο κόστος συντήρησης. [32]

Στα πλοία τύπου ROPAX, όπως είναι το υπό μελέτη, συνηθίζεται να τοποθετούνται έλικες μεταβλητού βήματος CPP, κυρίως λόγω της αυξημένης ικανότητας ελιγμών που προσφέρουν, όπως περιεγράφηκε και προηγουμένως. Ακόμα, η παρεμβολή μειωτήρα στροφών οδηγεί στην επιλογή μεσόστροφων ή ταχύστροφων κινητήρων, οι οποίοι συνηθίζεται να κατασκευάζονται ως μη αντιστρέψιμοι, χαρακτηριστικό επιθυμητό για την υπό σχεδίαση προωστήρια εγκατάσταση.

9.3.3 Απαιτούμενη αναπτυσσόμενη ώση ελίκων T

Η απαιτούμενη ώση που καλούνται να αναπτύξουν οι δύο (2) έλικες του υπό μελέτη πλοίου, με βάση την υπολογισμένη αντίσταση ρυμούλκησης R_T και το ποσοστό μείωσης ώσης t , υπολογίζεται ως εξής:

$$T = \frac{R_T}{1-t} = 33417.2 \text{ kp}$$

9.3.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ελίκων

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά-μεταβλητές που περιγράφουν μία έλικα είναι τα ακόλουθα:

- Διάμετρος D
- Αριθμός πτερυγίων z
- Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0
- Βήμα P

9.3.4.1 Διάμετρος D

Η διάμετρος της έλικας επιδιώκεται να επιλέγεται ως η μέγιστη δυνατή επιτρεπόμενη. Αυτό διότι η αύξηση της διαμέτρου οδηγεί σε αυξημένο υδροδυναμικό βαθμό απόδοσής της, κάτι το οποίο είναι επιβεβαιωμένο και από πειραματικά δεδομένα. Περιορισμούς στο μέγεθος της έλικας συνιστούν οι απαιτήσεις για τις ανοχές (clearances) της, δηλαδή η γεωμετρία της πρύμνης, και η απαίτηση της MARPOL για την απόσταση του άνω ακροπτερυγίου από την ελεύθερη επιφάνεια για την κατάσταση ελάχιστου πρυμναίου βυθίσματος (κατάσταση ερματισμού). [32]

Η διάμετρος της έλικας επιλέχθηκε τελικά ίση με 3.5 μέτρα.

9.3.4.2 Αριθμός πτερυγίων z

Ο αριθμός των πτερυγίων z κάθε έλικας επιλέγεται με σκοπό την αποφυγή φαινομένων συντονισμού μεταξύ της συχνότητας των πτερυγίων και διαφόρων κατασκευαστικών στοιχείων. Επίσης, επιλέγεται έτσι, ώστε να ελαχιστοποιηθούν φαινόμενα δυναμικής καταπόνησης του αξονικού συστήματος (στρεπτικές ταλαντώσεις). [32]

Για το σκοπό αυτό, συνήθως προτιμάται όταν ο αριθμός των πτερυγίων z της έλικας είναι ζυγός, να μην είναι ζυγός και ο αριθμός των κυλίνδρων σε κάθε Κύρια Μηχανή.

Τελικά, ελλείψει επαρκών δεδομένων στην παρούσα φάση της μελέτης, επιλέγονται έλικες με τέσσερα πτερύγια ($z=4$).

9.3.4.3 Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0

Ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 επιλέγεται με γνώμονα να μην εμφανίζεται σπηλαιώση και να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης PC (Propulsive Coefficient). Τα δύο αυτά κριτήρια είναι αντικρουόμενα μεταξύ τους καθώς μείωση του λόγου εκτεταμένης επιφάνειας οδηγεί σε αύξηση του βαθμού απόδοσης (λόγω μικρότερης επιφάνειας άρα και απωλειών λόγω συνεκτικότητας-τριβής) αλλά αντίστοιχα ενισχύει το φαινόμενο της σπηλαιώσης στην επιφάνεια της έλικας. Αντίστροφα, αύξηση της επιφάνειας της έλικας οδηγεί σε μειωμένο βαθμό απόδοσης και ελάττωση του φαινομένου της σπηλαιώσης. Οπότε, πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή για το βέλτιστο λόγο εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 .

Ένας χρήσιμος τύπος για μία αρχική εκτίμηση του λόγου εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 είναι εκείνος του Keller. Ο τύπος αυτός δίνει ένα κατώτατο όριο έναντι σπηλαιώσης και είναι ο εξής:

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3z) \cdot T}{(P_0 - P_v)D^2} + k$$

όπου

P_0 η ολική πίεση (ατμοσφαιρική και υδροστατική) στον άξονα της έλικας στο βύθισμα σχεδίασης, δηλαδή:

$$P_0 = P_{atm} + \rho gh$$

h η κατακόρυφη απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι τον άξονα της έλικας

$$h = T_{des} - 1.75$$

P_v η πίεση ατμοποίησης του νερού

k σταθερά όπου για πλοία με δύο (2) έλικες παίρνει τιμή ίση με 0.1

Για τον υπολογισμό έγινε η παραδοχή πως κάθε έλικα πρέπει να αναπτύξει ακριβώς τη μισή ώση από την ολική απαιτούμενη δηλαδή 16708.6 kp. Τελικά, ο τύπος του Keller δίνει την εκτίμηση ότι ο βέλτιστος λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 πρέπει να ισούται με 0.35. Η τιμή αυτή δύναται να αλλάξει σε περίπτωση που η έλικα εμφανίζει σπηλαιώση, πάντα με γνώμονα και την επίτευξη του βέλτιστου δυνατού βαθμού απόδοσης PC.

9.3.4.4 Βήμα της έλικας P

Για την επιλογή του βέλτιστου βήματος της έλικας P θα εκμεταλλευτούμε τον κώδικα Grid_d. Στον κώδικα αυτό εισάγεται η αντίσταση του πλοίου σε συγκεκριμένες ταχύτητες, οι συντελεστές ομόρου, μείωσης ώσης και βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής, η διάμετρος της έλικας, ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας, ο αριθμός των πτερυγίων, ο βαθμός απόδοσης του αξονικού συστήματος, ο αριθμός των αξονικών συστημάτων και η πυκνότητα του νερού.

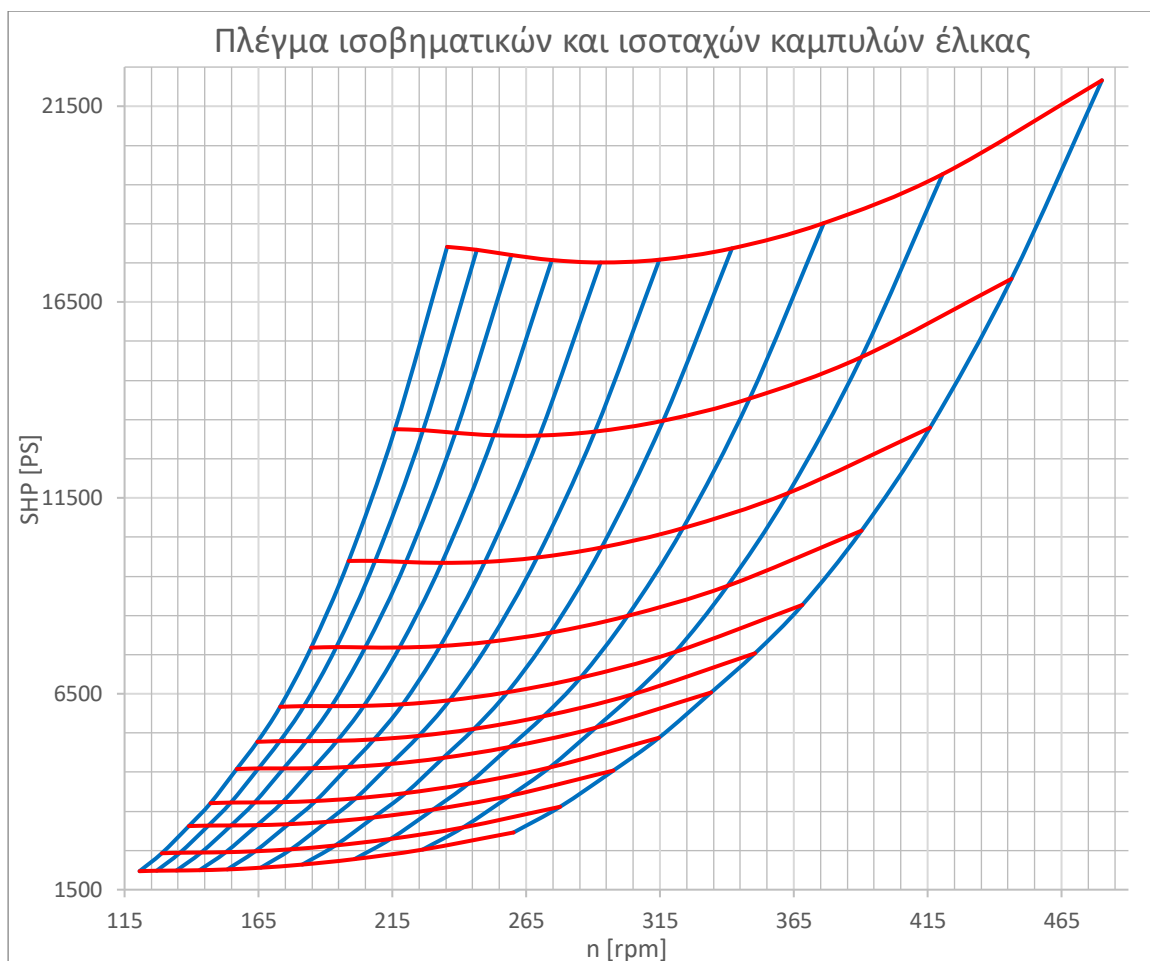
Τα δεδομένα αυτά είναι όλα γνωστά εκτός από το βαθμό απόδοσης του αξονικού συστήματος και την πυκνότητα του θαλασσινού νερού. Ο βαθμός απόδοσης του αξονικού συστήματος λαμβάνεται ίσος με 0.98 (συνήθως θεωρείται πως ισούται με 0.98 ή 0.99) και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ισούται με $104.61 \frac{kp \cdot s^2}{m^4}$.

Τα ακριβή δεδομένα που εισήχθησαν στον κώδικα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

GRID INPUT					
D _{prop}	3.5 m	A _E /A _O	0.44	z	4
η _s			0.98		
Number of Shafts			2		
ρ _{sw}			$104.61 \frac{kp \cdot s^2}{m^4}$		
Number of P/D points			10 (from 0.5 to 1.4)		
Number of resistance points			11		
Vs [m/s]	R [kp]	w	t	η _R	F [kp]
8.231	21038.6	0.1328	0.1268	1.002	0
8.745	24303.2	0.1328	0.1268	1.002	0
9.260	29179.6	0.1328	0.1268	1.002	0
9.774	32781.3	0.1328	0.1268	1.002	0
10.289	38141.2	0.1328	0.1268	1.002	0
10.803	41864.1	0.1328	0.1268	1.002	0
11.318	46608.8	0.1328	0.1268	1.002	0
11.832	54780.6	0.1328	0.1268	1.002	0
12.347	66248.7	0.1328	0.1268	1.002	0
12.861	82720.4	0.1328	0.1268	1.002	0
13.375	103791.7	0.1328	0.1268	1.002	0

Πίνακας 9.3.4.4.1: Δεδομένα εισόδου (input) στον κώδικα Grid_d.

Ο κώδικας αναλύει τα αποτελέσματα και εξάγει ισοβηματικές (σταθερό βήμα P) και ισοταχείς (σταθερή ταχύτητα πλευσης Vs) καμπύλες από τις οποίες δημιουργείται ένα πλέγμα υπό σταθερή διάμετρο έλικας, συναρτήσει των στροφών λειτουργίας της έλικας n και της ισχύος του αξονικού συστήματος SHP. Το πλέγμα που αντιστοιχεί στα δεδομένα εισόδου του προηγούμενου πίνακα φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 9.3.4.4.1: Πλέγμα ισοβηματικών και ισοταχών καμπυλών της έλικας υπό σταθερή διάμετρο.

Στην πραγματικότητα, ο κώδικας Grid_d εμπεριέχει την πληροφορία της ελεύθερης ροής της συστηματικής σειράς Wagenigen B-series. Η πληροφορία αυτή εντάσσεται στον κώδικα μέσω των συντελεστών των πολυωνυμικών συναρτήσεων για την ώση K_T και τη ροπή K_Q (Χαρακτηριστικές της έλικας).

Με λίγα λόγια, το πλέγμα αυτό είναι χαρακτηριστικό των ελίκων που εντάσσονται στη συστηματική σειρά Wagenigen B-series, η οποία απευθύνεται αποκλειστικά σε έλικες σταθερού βήματος FPP. Οπότε, η εκμετάλλευση του κώδικα, υπό κανονικές συνθήκες, είναι άτοπη εφόσον στο υπό μελέτη πλοίο θα τοποθετηθούν έλικες μεταβλητού βήματος CPP. Παρόλα αυτά, ελλείψει λοιπών εργαλείων για την εξαγωγή βέλτιστου βήματος P για τις έλικες, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί αυτούσιος ο κώδικας.

Από το πλέγμα του διαγράμματος, πραγματικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ισοταχής καμπύλη που αντιστοιχεί στην ταχύτητα υπηρεσίας $V_S=18$ knots. Τα δεδομένα της παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, όπως αυτά εξάχθηκαν από τον κώδικα Grid_d. [32]

Vs [knots]			18			
rpm	P/D	T(kp)	Q(kp*m)	DHP(PS)	SHP(PS)	P.C.
288.5	0.5	16708.3	9548.1	3846	3924.5	0.459
250.5	0.6	16708.3	9300.1	3252.5	3318.9	0.543
222.2	0.7	16708.3	9420.7	2922.8	2982.4	0.604
200.4	0.8	16708.3	9758	2730.6	2786.3	0.646
183.2	0.9	16708.2	10239.2	2618.5	2671.9	0.674
169.2	1	16708.3	10821.1	2556	2608.1	0.691
157.6	1.1	16708.3	11469.7	2524.1	2575.6	0.699
147.9	1.2	16708.3	12148.8	2509	2560.2	0.704
139.7	1.3	16708.2	12814.6	2498.8	2549.8	0.706
132.5	1.4	16708.2	13410.3	2481.7	2532.3	0.711

Πίνακας 9.3.4.4.2: Αποτελέσματα (δεδομένα εξόδου – output) του κώδικα Grid_d για την ισοταχή καμπύλη των 18 κόμβων στην κατάσταση πλεύσης Α.

Τα ανωτέρω δεδομένα (πίνακες και διάγραμμα) αναφέρονται στην κατάσταση πλεύσης του υπό μελέτη πλοίου σε ήρεμο νερό με καθαρή γάστρα. Η κατάσταση αυτή θα χαρακτηρίζεται ως κατάσταση πλεύσης Α. Όμως, πραγματικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η πλεύση του πλοίου υπό συνθήκες ρυπασμένης γάστρας. Η κατάσταση πλεύσης υπό ρυπασμένη γάστρα θα χαρακτηρίζεται ως κατάσταση πλεύσης Β. Σε αυτήν, θεωρείται προσαύξηση της αντίστασης ρυμούλκησης της γάστρας κατά 20%, ενώ με κριτήριο αυτή την κατάσταση επιλέγεται και η απαιτούμενη ονομαστική ισχύς της προωστήριας εγκατάστασης (MCR). Αυτό διότι, η γάστρα του πλοίου σπανίως βρίσκεται στην ιδανική κατάσταση που περιγράφεται από την κατάσταση πλεύσης Α, και συνηθίζεται να παρουσιάζεται σε αυτήν μερική ρύπανση από θαλάσσιους μικροοργανισμούς.

Άρα, επαναχρησιμοποιείται ο κώδικας Grid_d με τα ίδια δεδομένα όπως φαίνεται στον πίνακα 9.3.4.4.1, όμως όλες οι αντιστάσεις είναι πολλαπλασιασμένες με 1.2 (20% προσαύξηση). Από τα αποτελέσματα που παράγει ο κώδικας, πραγματικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και πάλι αυτά της ισοταχούς καμπύλης των 18 κόμβων.

Vs [knots]			18			
rpm	P/D	T(kp)	Q(kp*m)	DHP(PS)	SHP(PS)	P.C.
297.6	0.5	20050	10709.9	4450.1	4541	0.476
259	0.6	20050	10565.8	3820.4	3898.3	0.554
230.2	0.7	20050	10809.9	3474.5	3545.4	0.61
208	0.8	20050	11282.4	3277.2	3344	0.646
190.5	0.9	20050	11905.7	3166.3	3230.9	0.669
176.2	1	20050	12633.3	3108.7	3172.2	0.681
164.5	1.1	20050	13427.8	3084	3146.9	0.687
154.6	1.2	20050	14249.6	3076.7	3139.5	0.689
146.3	1.3	20050	15050.5	3073.4	3136.1	0.689
139	1.4	20049.9	15768.9	3061	3123.5	0.692

Πίνακας 9.3.4.4.3: Αποτελέσματα (δεδομένα εξόδου – output) του κώδικα Grid_d για την ισοταχή καμπύλη των 18 κόμβων στην κατάσταση πλεύσης Β.

Από τα δεδομένα εξόδου των πινάκων, κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου βήματος P αποτελεί η μεγιστοποίηση του συντελεστή προωστήριας εγκατάστασης PC, ή αντίστοιχα η ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ισχύος SHP. Παρόλα αυτά, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το φαινόμενο της σπηλαίωσης πίσω όψης της έλικας. Από μετέπειτα στάδιο της μελέτης, παρατηρείται πως μειώνοντας το λόγο P/D περιορίζεται το φαινόμενο της σπηλαίωσης πίσω όψης σύμφωνα με το κριτήριο του Burrill (βλ. [ενότητα 9.3.5](#)). Ακόμα, όπως προαναφέρθηκε, αύξηση του λόγου εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 μειώνει την έκταση του φαινομένου αυτού αλλά μειώνει ταυτόχρονα και το βαθμό απόδοσης PC. Αντίστροφες είναι οι συνέπειες για μείωση του λόγου αυτού. Επομένως, πρέπει να βρεθεί ο βέλτιστος λόγος που μεγιστοποιεί το βαθμό απόδοσης PC δίχως να εμφανίζεται το φαινόμενο της σπηλαίωσης στην έλικα.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ζήτημα αυτό, διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα που δίνει ο κώδικας αυξάνοντας το λόγο εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 με βήμα +0.01. Εν τέλη, ο βέλτιστος λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0 ισούται με 0.44 και ο ονομαστικός λόγος P/D θα είναι ίσος με 1.2, δηλαδή βήμα P ίσο με 4.2 μέτρα. Για αυτά τα στοιχεία, οι ονομαστικές στροφές λειτουργίας της έλικας είναι ίσες με 154.6 rpm και η ισχύς που πρέπει να αποδίδεται στον άξονά της SHP (Shaft Horsepower) πρέπει να είναι ίση με 3139.5 PS ή 2301.5 kW. Ο βαθμός απόδοσης PC θα ισούται με 0.689, δίχως τις απώλειες του μειωτήρα.

Προφανώς, το βήμα αυτό αποτελεί το ονομαστικό βέλτιστο για τις έλικες του υπό μελέτη πλοίου. Παρόλα αυτά, οι έλικες αυτές δύναται να ρυθμίζουν το βήμα τους ανάλογα τις απαιτήσεις πλεύσης και ώσης. Σε διαφορετικά βήματα παρατηρείται διαφοροποίηση του βαθμού απόδοσης PC καθώς και άλλη συμπεριφορά του φαινομένου της σπηλαίωσης που βλάπτει την ίδια την έλικα. Όλα αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν από τον πλοίαρχο για τη βέλτιστη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των ελίκων μεταβλητού βήματος CPP.

9.3.4.5 Συνοπτικός πίνακας

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις έλικες του υπό μελέτη πλοίου.

Έλικες υπό μελέτης πλοίου	
Ποσότητα	2
Τύπος	Controllable Pitch Propellers C.P.P. (Έλικες μεταβλητού βήματος)
Ονομαστικές στροφές λειτουργίας n	154.6 rpm
Διάμετρος D	3.5 m
Αριθμός πτερυγίων z	4
Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E/A_0	0.44
Βέλτιστος λόγος P/D	1.2
Ονομαστικό Βήμα P	4.2 m

Πίνακας 9.3.4.5.1: Χαρακτηριστικά ελίκων υπό μελέτης πλοίου.

9.3.5 Σπηλαίωση (Cavitation) της έλικας – Κριτήριο του Burrill

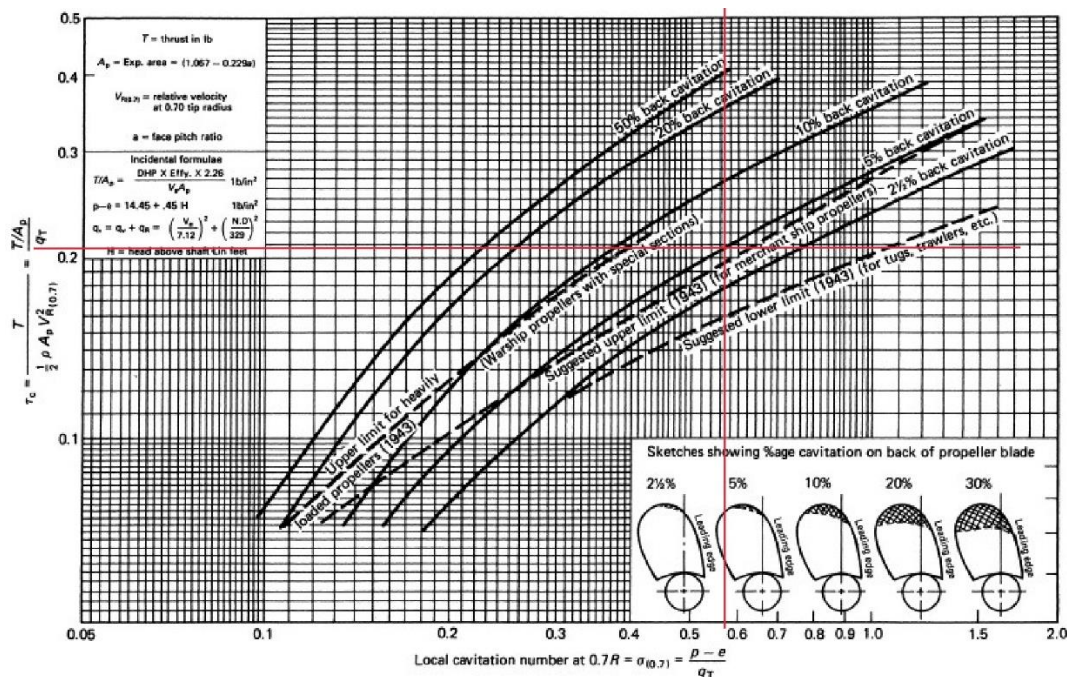
Υπάρχουν διάφορα κριτήρια για τον έλεγχο της έκτασης της σπηλαίωσης. Ένα αρκετά διαδεδομένο είναι το κριτήριο του Burrill. Οι άξονες του διαγράμματος του Burrill περιέχουν τα αδιάστατα μεγέθη $\sigma_{0.7R}$ (άξονας x) και τ_c (άξονας y) ενώ παραμετρικά δίνονται οι καμπύλες σταθερού ποσοστού σπηλαίωσης πίσω όψης. Γενικά, απαιτείται το ποσοστό αυτό να είναι μικρότερο του 5% προκειμένου να θεωρείται αποδεκτή η σχεδίαση της έλικας έναντι σπηλαίωσης. [32]

Τα αδιάστατα μεγέθη των αξόνων δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις και για την επιλεγμένη έλικα του υπό μελέτη πλοίου παίρνουν τις ακόλουθες τιμές:

$$\sigma_{0.7R} = \frac{p_0 - p_v}{q_{0.7R}} = 0.208$$

$$\tau_c = \frac{T/A_P}{q_{0.7R}} = 0.5675$$

Με γνωστά τα αδιάστατα μεγέθη του κριτηρίου και ανατρέχοντας στο διάγραμμα του Burrill, παρατηρείται πως για την παρούσα σχεδίαση εμφανίζεται σπηλαίωση πίσω όψης λίγο μικρότερο του 5%, οπότε η σχεδίαση κρίνεται ικανοποιητική. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα του Burrill με σημειωμένο το σημείο λειτουργίας κάθε έλικας.



Διάγραμμα 9.3.5.1: Διάγραμμα του Burrill με σημειωμένο το σημείο λειτουργίας κάθε έλικας. [32]

Αναφορικά στη σπηλαίωση, θεωρείται πως χαμηλό ποσοστό σπηλαίωσης οδηγεί σε χαμηλό βαθμό απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης, ενώ αντίστροφα υψηλό ποσοστό σπηλαίωσης οδηγεί σε έντονες καταπονήσεις για την έλικα και το πρυμναίο τμήμα της γάστρας (λόγω κραδασμών). Συνεπώς, για άλλη μια φορά επιβάλλεται να βρεθεί η χρυσή τομή για τη λύση του προβλήματος, όπου στην προκειμένη αποτελούσε την πλήρη εκμετάλλευση του περιθωρίου που θεωρείται ως αποδεκτή σπηλαίωση, δηλαδή 5% σπηλαίωση πίσω όψης.

9.4 Επιλογή Κύριων Μηχανών

Οι ναυτικοί κινητήρες διακρίνονται σε δίχρονους (2-Χ) και τετράχρονους (4-Χ) ανάλογα τους χρόνους που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος εργασίας τους, δηλαδή παραγωγής ωφέλιμου έργου. Στα πλοία τύπου ROPAX, όπως είναι το υπό μελέτη τοποθετούνται συνήθως 4-Χ κινητήρες διότι είναι μικρότεροι και πιο ελαφριοί συγκριτικά με τους 2-Χ, οπότε είναι πιο εύκολη η τοποθέτησή του εντός του μηχανοστασίου.

Τα κριτήρια επιλογής των Κύριων Μηχανών, τώρα που είναι γνωστό το εύρος στροφών τους και ο κύκλος λειτουργίας τους, είναι τα εξής:

- Προσφορά απαραίτητης εγκατεστημένης ισχύος MCR
- Μέγεθος, να είναι δηλαδή δυνατή η τοποθέτησή τους στα μηχανοστάσια
- Ύψος υποδοχής άξονα
- Συμβατότητα με κατάλληλο μειωτήρα στροφών
- Μονός αριθμός κυλίνδρων (εφόσον επιλέχθηκε ζυγός αριθμός πτερυγίων έλικας)

Αναφορικά στην απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ, αυτή ισούται με την απαιτούμενη ισχύ στην κατάσταση πλεύσης Β, με την οποία επιτυγχάνεται η ζητούμενη ταχύτητα υπηρεσίας των 18 κόμβων. Σύμφωνα με τα δεδομένα του κώδικα Grid και για το ονομαστικό βήμα της έλικας (λόγος P/D ίσος με 1.2, βλ. [πίνακα 9.3.4.4.3](#)), η ισχύς κάθε προωστήριας εγκατάστασης πρέπει να ισούται 3139.5 PS, δηλαδή 2301.5 kW.

Όμως, οι υπολογισμοί του κώδικα Grid_d δε λαμβάνουν υπόψιν τους την ύπαρξη μειωτήρα στροφών, για τον οποίο θα γίνει η υπόθεση ότι ο βαθμός απόδοσής του ισούται με $\eta_G=0.97$. Άρα, η απαιτούμενη ισχύς κάθε προωστήριας εγκατάστασης θα ισούται με 2372.68 kW, ενώ κάθε προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από δύο (2) Κύριες Μηχανές. Συνεπώς, κάθε Κύρια Μηχανή πρέπει να είναι ικανή να αποδώσει 1186.34 kW (90% MCR).

Κατά την επιλογή των Κύριων Μηχανών πρέπει να προσμετρηθεί και το περιθώριο ισχύος (Engine margin). Ως περιθώριο ισχύος ορίζεται η ποσοστιαία διαφορά της ισχύος που απαιτεί η έλικα συγκριτικά με αυτήν που θα επιλεγεί ως ονομαστική για τον κινητήρα. Συνήθεις τιμές κυμαίνονται στο εύρος 10-20%, ενώ στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε περιθώριο ισχύος ίσο με 10%. Οπότε, η τελική απαίτηση ισχύος ισούται με:

$$\text{MCR} = 1320 \text{ kW/engine}$$

Ανατρέχοντας στους καταλόγους των κατασκευαστών, ως βέλτιστη λύση επιλέχθηκε μία πρόταση της Wartsila. Πρόκειται για τον τετράχρονο 4-Χ και μη αναστρέψιμο (δίχως ικανότητα αναπόδισης – όπισθεν) κινητήρα 9L20DF. Η κωδική ονομασία του κινητήρα υποδεικνύει ότι αυτός αποτελείται εννέα (9) κυλίνδρους τοποθετημένους σε σειρά (in-line), ενώ είναι ικανός να προσφέρει μέχρι και 1440 kW ισχύος στις 1000 στροφές το λεπτό, ισχύς η οποία καλύπτει τις ανάγκες της υπό σχεδίασης προωστήριας εγκατάστασης. Ακόμα, ο κινητήρας αυτός είναι ικανός να εργαστεί με ποικιλία καυσίμων όπως LNG (Liquified Natural Gas), βιοκαύσιμα (biofuel) αλλά και συμβατικά-κοινά καύσιμα πλοίων, για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται και ως DF (Dual Fuel).

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα:

Κατασκευάστρια εταιρία	Wartsila
Ονομασία μοντέλου	9L20DF
Αριθμός/διάταξη κυλίνδρων	9 / σε σειρά (in-line)
Διάμετρος εμβόλου	200 mm
Διαδρομή εμβόλου	280 mm
Ονομαστικές στροφές	1000 rpm
Ονομαστική ισχύς	1440 kW (160 kW / per cylinder)
Mean Effective Pressure (MEP)	22 bar
Μήκος	4.261 m
Πλάτος	1.825 m
Ύψος	2.424 m
Ύψος υποδοχής άξονα	0.624 m
Βάρος	11.7 tons

Πίνακας 9.4.1: Χαρακτηριστικά των Κύριων Μηχανών.

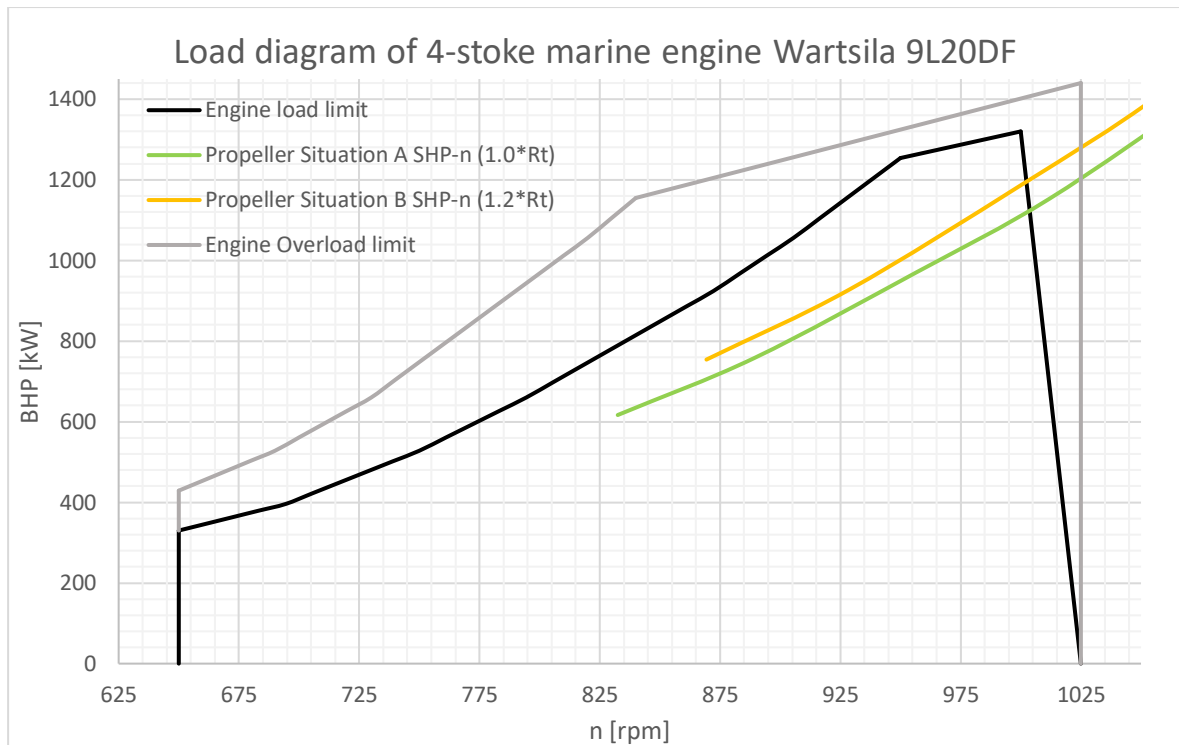
Από την κατασκευάστρια εταιρία απαιτείται οι άξονες που συνδέονται στους κινητήρες να απέχουν μεταξύ τους 1.9 μέτρα, και οι ίδιοι οι κινητήρες να απέχουν από τα πλαϊνά τοιχώματα του μηχανοστασίου 1 μέτρο. Δεδομένου του πλάτους των κινητήρων και θεωρώντας ότι ο άξονας διέρχεται από το διαμήκη άξονα συμμετρίας του κάθε κινητήρα, απαιτούνται 5.725 μέτρα ($1 \times 2 + 1.9 + 1.825$) κατά το εγκάρσιο για να είναι δυνατή η εγκατάσταση κάθε ζευγαριού κινητήρων. Ο χώρος αυτός είναι διαθέσιμος δεδομένου ότι το πλάτος του κάθε μηχανοστασίου είναι 18.5 μέτρα, δηλαδή πολύ μεγαλύτερο των 11.45 μέτρων που απαιτούνται από τις τέσσερις (4) Κύριες Μηχανές (5.725×2).

Ακόμα, απαιτείται οι κινητήρες να απέχουν τουλάχιστον ένα (1) μέτρο από τις φρακτές που οριοθετούν το μηχανοστάσιο. Άρα, απαιτείται το μήκος του μηχανοστασίου να είναι τουλάχιστον 6.261 μέτρα ($4.261 + 1 + 1$) ενώ σύμφωνα με το Σχέδιο Γενικής Διάταξης, το μήκος του μηχανοστασίου ανέρχεται στα 12 μέτρα. Οι ανωτέρω ανοχές προτείνονται από τους κατασκευαστές για να είναι δυνατή η σωστή συντήρηση και λειτουργία των κινητήρων. Τέλος, το ύψος των μηχανών αυτών είναι 2.424 μέτρα ενώ του μηχανοστασίου 5.95 μέτρα.

Όσον αφορά το ύψος υποδοχής του άξονα, αυτό ισούται, σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα, στα 0.624 μέτρα ενώ σύμφωνα με το Σχέδιο Γενικής Διάταξης η υποδοχή του άξονα τοποθετείται στα 1.225 μέτρα (από το κατάστρωμα του μηχανοστασίου – διπύθμενο). Άρα, δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα καθώς οι Κύριες Μηχανές μπορούν να ανυψωθούν με κατάλληλα διαμορφωμένες βάσεις ώστε η υποδοχή του άξονα να βρίσκεται εν τέλη στο ζητούμενο ύψος.

9.4.1 Διάγραμμα φόρτισης (Load Diagram) Κύριων Μηχανών

Για λόγους πληρότητας της εργασίας, παρουσιάζεται το διάγραμμα φόρτισης των Κυρίων Μηχανών μαζί με τις χαρακτηριστικές καμπύλες της έλικας BHP-η, όπως αυτές προκύπτουν με βάση τα αποτελέσματα του κώδικα Grid_d για τις καταστάσεις πλεύσης A και B. Το διάγραμμα φόρτισης σχεδιάστηκε σε υπολογιστικό φύλλο Excel, με βάση τις υποδείξεις της κατασκευάστριας εταιρίας για τους συγκεκριμένους κινητήρες, οι οποίες αναγράφονται στο Loading Manual τους.



Διάγραμμα 9.4.1.1: Διάγραμμα φόρτισης (Load Diagram) των κινητήρων και χαρακτηριστικές καμπύλες της έλικας BHP-n.

9.5 Επιλογή μειωτήρων στροφών

Με τη χρήση μειωτήρα στροφών επιτρέπεται στην έλικα αλλά και στις Κύριες Μηχανές να λειτουργούν στις βέλτιστες δυνατές στροφές, μεγιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο το βαθμό απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής μειωτήρων στροφών είναι αυτοί να χωράνε μαζί με τους κινητήρες εντός του μηχανοστασίου, οι υποδοχές τους να βρίσκονται στην κατάλληλη απόσταση προκειμένου να μπορούν να παραλάβουν τους άξονες που κινούν οι Κύριες Μηχανές και να μπορούν να μεταδώσουν τις ζητούμενες στροφές λειτουργίας στην έλικα.

Στο υπό μελέτη πλοίο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ένας συγκεκριμένος τύπος μειωτήρα στροφών. Αυτός χαρακτηρίζεται ως Double Input / Single Output, γιατί διαθέτει δύο υποδοχές (τους άξονες που κινούν οι Κύριες Μηχανές) και μία έξοδο (τον ελικοφόρο άξονα). Ο ζητούμενος λόγος μετάδοσης ορίζεται ως ο λόγος των ονομαστικών στροφών λειτουργίας των Κύριων Μηχανών προς τις απαιτούμενες στροφές λειτουργίας της έλικας. Στην προκειμένη περίπτωση ισούται με $\lambda_G = 6.47$.

Η Wartsila προτείνει για τους επιλεγμένους κινητήρες τη σύζευξη με το μειωτήρα στροφών TCH190. Ο συγκεκριμένος μειωτήρας είναι ειδικά σχεδιασμένος για τις προδιαγραφές των κινητήρων αυτών, δηλαδή είναι ικανός να παραλάβει την παραγόμενη ισχύ τους, οι υποδοχές του απέχουν μεταξύ τους 1.9 μέτρα (όσο και οι άξονες των Κύριων Μηχανών) και έχουν ρυθμιζόμενο λόγο μετάδοσης ανάλογα τις απαιτήσεις, στην προκειμένη 6.47:1.

9.6 Δείκτης EEDI (Energy Efficiency Desing Index)

Πριν την ολοκλήρωση του κεφαλαίου, κρίθηκε χρήσιμο να γίνει έλεγχος της απόδοσης της εγκατάστασης που σχεδιάστηκε, από ενεργειακή σκοπιά. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ο δείκτης EEDI.

Ο δείκτης EEDI (Energy Efficiency Desing Index) αποτελεί μέτρο του πόσο ενεργειακά αποδοτικό είναι ένα πλοίο. Αφορά το σχεδιασμό, τον εξοπλισμό, τις μηχανές του πλοίου και το μεταφορικό του έργο, ενώ αποσκοπεί στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα CO₂) που παράγονται από τη ναυτιλία. Ο δείκτης εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά μονάδα μεταφορικής ικανότητας και απόστασης (g_{CO2}/(t*miles)). [28]

Η αρχική ιδέα του δείκτη επιχειρούσε να συγκρίνει το περιβαλλοντικό κόστος του πλοίου με το όφελός του προς την κοινωνία, δηλαδή πόσο σημαντικό είναι το παραγόμενο έργο του συγκριτικά με το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Μαθηματικά, αυτό εκφράζεται ως εξής:

$$EEDI = \text{Impact to Environment} / \text{Benefit for society}$$

Στη γλώσσα των μηχανικών η ιδέα μεταφράζεται ως το λόγο της εκπομπής βλαβερών αερίων του θερμοκηπίου (CO₂) προς το μεταφορικό έργο. Δηλαδή:

$$EEDI = \text{CO}_2 \text{ emissions} / \text{Transport Work}$$

Οι εκπομπές καθορίζονται από τη λειτουργία των Κύριων Μηχανών, δηλαδή την κατανάλωση του καυσίμου και την ονομαστική ισχύ τους, ενώ το μεταφορικό έργο από το πόσο ωφέλιμο φορτίο (Deadweight) μεταφέρει το πλοίο και σε πόσο χρόνο (Vs).

Όσον αφορά την ισχύ της προωστήριας εγκατάστασης και τις αντίστοιχες καταναλώσεις, ο υπολογισμός του δείκτη EEDI αναφέρεται στο 75% του MCR, συνεπώς και στην αντίστοιχη ταχύτητα πλεύσης του πλοίου για την αντίστοιχη ισχύ. [28]

Τελικά, η μαθηματική φόρμουλα η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του συντελεστή είναι η εξής:

$$EEDI = \frac{75\% \cdot MCR \cdot SFC \cdot FC}{DWT \cdot V_s}$$

Η κατανάλωση των καυσίμων SFC θεωρήθηκε ίση με 170 g/kWh, ενώ ο συντελεστής FC ουσιαστικά μετατρέπει την κατανάλωση καυσίμου (μετρούμενη σε γραμμάρια g) σε εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα CO₂ (μετρούμενη σε γραμμάρια g). Ο συντελεστής FC εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και το περιεχόμενό του σε άνθρακα. Για τις Κύριες Μηχανές του υπό μελέτη πλοίου παίρνει τιμή ίση με 3.1144.

Ακόμα, το ωφέλιμο μεταφερόμενο φορτίο DWT αντιστοιχεί στο μέγιστο που έχει σχεδιαστεί να μεταφέρει το υπό μελέτη πλοίο, δηλαδή στην κατάσταση Full Load Departure (Design), και από τις χαρακτηριστικές της έλικας, με τη βοήθεια γραμμικής παρεμβολής, διαπιστώθηκε πως στο 75% του MCR το υπό μελέτη πλοίο αναπτύσσει ταχύτητα πλεύσης ίση με 17.24 κόμβους.

Με δεδομένα όλα τα ανωτέρω, ο επιτευχθείς δείκτης EEDI (Attained EEDI) ισούται με:

$$A_{EEDI} = 50.26 \text{ gCO}_2/(\text{tons} \cdot \text{miles})$$

Η επιτευχθείσα τιμή του δείκτη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την παρούσα σχεδίαση και δεν μπορεί να τροποποιηθεί, παρά μόνο αλλοιώνοντας τις μεταβλητές σχεδίασης. Η τιμή αυτή πρέπει να συγκριθεί με τις κανονιστικές που προτείνονται από τις αρμόδιες αρχές. Τα ανώτατα όρια που προτείνονται διαφέρουν ανάλογα τον τύπο του πλοίου και τη χρονική περίοδο της μελέτης, με το άνω όριο συνεχώς να ελαττώνεται προκειμένου οι σχεδιάσεις των πλοίων να γίνονται ολοένα και πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Γενικά ισχύει:

$$A_{EEDI} \leq R_{EEDI} = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \cdot \text{reference}$$

όπου

x είναι ο παράγοντας μείωσης ανάλογα την υπό μελέτη χρονική περίοδο (φάση)

reference = a * b^c, πρόκειται για τιμή αναφοράς του δείκτη ανάλογα τον τύπο του πλοίου. [28]

Για πλοίο τύπου ROPAX, όπως το υπό μελέτη, οι μεταβλητές αυτές παίρνουν τις εξής τιμές:

a	b	c
752.16	1912.4	0.381

Πίνακας 9.6.1: Μεταβλητές τιμής αναφοράς (reference) δείκτη EEDI.

Να σχολιαστεί πως η τιμή της μεταβλητής b ισούται με το DWT του υπό μελέτη πλοίου.

Όσον αφορά την τιμή του παράγοντα μείωσης X, αυτή καθορίζεται ανάλογα την αναφερόμενη χρονική περίοδο. Αυτές περιγράφονται στη συνέχεια:

- Φάση 0: 1 Ιανουαρίου 2013 – 31 Δεκεμβρίου 2014
- Φάση 1: 1 Ιανουαρίου 2015 – 31 Δεκεμβρίου 2019
- Φάση 2: 1 Ιανουαρίου 2020 – 31 Δεκεμβρίου 2024
- Φάση 3: 1 Ιανουαρίου 2025 και έπειτα

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι παράγοντες μείωσης του υπό μελέτη πλοίο ανάλογα τη φάση που μελετάται, καθώς και οι απαιτούμενες τιμές του δείκτη για κάθε περίοδο:

	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
X	n/a	5	20	30
R _{EEDI}	n/a	40.156	33.816	29.589
A _{EEDI}	50.26	50.26	50.26	50.26
Status	-	NOT OK	NOT OK	NOT OK

Πίνακας 9.6.2: Σύγκριση επιτευχθείσας τιμής του δείκτη A_{EEDI} με τις κανονιστικές επιτρεπόμενες R_{EEDI}.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, σε καμία φάση το υπό μελέτη πλοίο δε βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων του δείκτη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η σχεδίαση του πλοίου βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό σε πλοία που, όταν έγινε η μελέτη τους, δεν υφίσταται ακόμα ο δείκτης EEDI.

Ακόμα, στους υπολογισμούς εντάσσεται το ωφέλιμο βάρος DWT το οποίο σε αυτού του τύπου τα πλοία είναι πολύ μικρό λόγω του ελαφριού φορτίου που μεταφέρουν, με αποτέλεσμα να μην αντικατοπτρίζει το πραγματικό μεταφορικό έργο.

Προκειμένου να βελτιωθεί η τιμή του δείκτη, η λογική λύση θα ήταν να μειωθεί η ταχύτητα υπηρεσίας στην περιοχή των 15 με 16 κόμβων (αριθμός Froude περίπου 0.25) και κατά συνέπεια η απαιτούμενη ισχύς της προωστήριας εγκατάστασης και η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου. Η υδροδυναμική βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας δύναται να μειώσει εν μέρη την απαίτηση της εγκατεστημένης ισχύος και έτσι να περιορίσει την απαιτούμενη μείωση της ταχύτητας. Επίσης η περεταίρω βελτιστοποίηση της έλικας και η χρήση ελίκων εκτός της σειράς Wageningen B-series αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του δείκτη EEDI του πλοίου. Ακόμα, ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορεί να αποφέρουν πιο αποδοτικά καύσιμα.

10. Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες

Πριν το κλείσιμο της εργασίας, παρατίθενται μερικές ενδιαφέρουσες προτάσεις είτε για ένταξη σε νέες μελέτες σχεδίασης, είτε για περαιτέρω διερεύνηση αυτών πάνω στην παρούσα εργασία:

- Βελτιστοποίηση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς της γάστρας του πλοίου, αποσκοπώντας στη μείωση της αντίστασης και κατά συνέπεια της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης. Η διαδικασία αυτή οδηγεί σε πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλοία. Επιπλέον, μελέτη της συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς.
- Αναλυτικότεροι υπολογισμοί κατά το στάδιο μελέτης της αντοχής του πλοίου. Συστήνεται η χρήση πεπερασμένων στοιχείων που αποτελούν μία σύγχρονη μέθοδο με ζήτηση στην αγορά εργασίας.
- Ακριβής υπολογισμός των βαρών του πλοίου και διερεύνηση νέων υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες που μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση του βάρους της κατασκευής.
- Χρήση και άλλων λογισμικών προγραμμάτων, πέραν του AVEVA MARINE, όπως είναι το NAPA. Πιο σύγχρονα προγράμματα μπορεί να προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες οδηγώντας σε βελτιωμένες σχεδιάσεις πλοίων.
- Διερεύνηση της επίδρασης των κύριων διαστάσεων του πλοίου και της διαμερισματοποίησής του στα επίπεδα ασφάλειας, κατά τη SOLAS 2009.
- Πραγματοποίηση προσομοιώσεων εκκένωσης του πλοίου, προκειμένου να κριθεί κατά πόσο η εκάστοτε σχεδίαση εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις των κανονισμών της SOLAS.
- Ενδελεχή μελέτη της προωστήριας εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της πηδαλιουχίας. Διερεύνηση εναλλακτικών καυσίμων για τις Κύριες Μηχανές. Ακόμα, εμβάθυνση στις έλικες μεταβλητού βήματος CPP, σχεδίαση αυτών, έλεγχος αντοχής των πτερυγίων τους και μελέτη περί της πλήμνης που φέρει το μηχανισμό περιστροφής των πτερυγίων.
- Εκπόνηση τεχνοοικονομικής μελέτης για το πλοίο, με προτεινόμενα πιθανά σενάρια για τις περιοχές λειτουργίας του. Εκλογή της βέλτιστης από οικονομική σκοπιά.

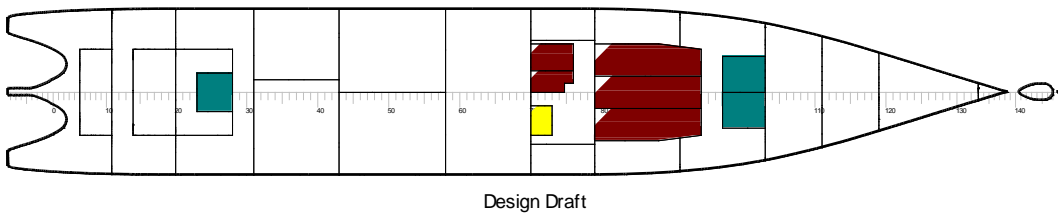
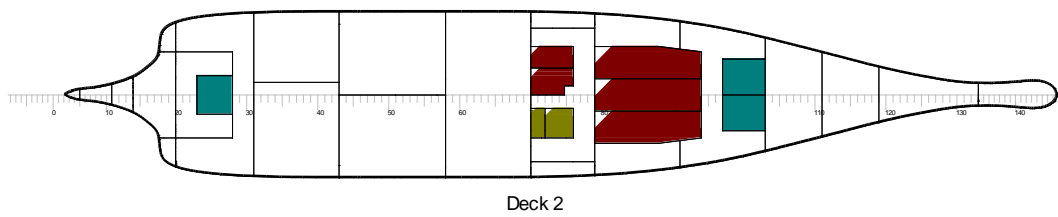
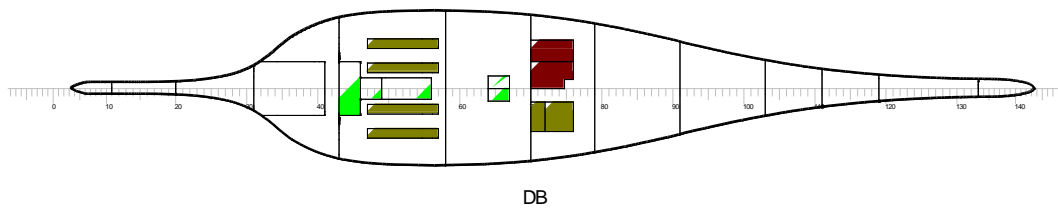
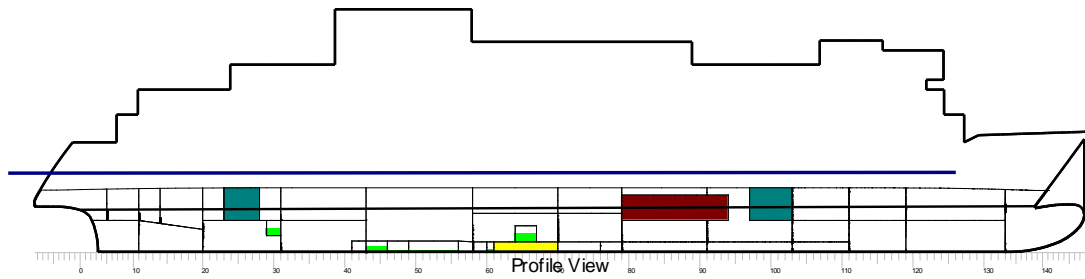
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ζαραφωνίτης Γ. Εισαγωγή στη Ναυπηγική και τη Θαλάσσια Τεχνολογία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
- [2] Διπλωματική εργασία. Τσόπελα Αναστασία-Αθηνά. Μελέτη & Σχεδίαση δίγαστρου επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016.
- [3] Cascino, Carmelo and Francesca Arini. "RoPax, the layout history and analysis." (2019).
- [4] Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών ερευνών. Η επιβατηγός ναυτιλία στην Ελλάδα την περίοδο 2016-2020; Επιδόσεις, συμβολή στην οικονομία και προοπτικές. Αθήνα: Ιανουάριος 2021.
- [5] Τσαρακλής Ζ. Ασφάλεια & Υγεία στις Ναυπηγικές και Ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2019.
- [6] Boer, Louis & Skjong, Rolf & Skjong@dnv, Rolf & Com.,. (2001). Emergency Evacuation: How Better Interior Design Can Improve Passenger Flow.
- [7] Papanikolaou, Apostolos & Zaraphonitis, George & Skoupas, Sotiris & Boulougouris, Evangelos. (2017). An integrated methodology for the design of RoRo passenger ships. HANSA International Maritime Journal. 147.
- [8] Papanikolaou, Apostolos & Harries, Stefan & Wilken, Mark & Zaraphonitis, George. (2011). Integrated Design and Multiobjective Optimization Approach to Ship Design. 10.3940/rina.iccas.2011.50.
- [9] Robert Taggart, SNAME. Ship design and construction, 1980.
- [10] Αποστόλου Δ. Παπανικολάου. Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, Τεύχος 1. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009.
- [11] Evans, J. H. (1959). Basic Design Concepts. American Society of Naval Engineers Journal. 671-678.
- [12] Αποστόλου Δ. Παπανικολάου. Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, Τεύχος 2. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009.
- [13] Αποστόλου Δ. Παπανικολάου, Αναστασόπουλος Κ. Μελέτη και εξοπλισμός πλοίου Ι (Μεθοδολογίες Προμελέτης) – Συλλογή Βοηθημάτων. ΕΜΠ, Αθήνα 2007.
- [14] SOLAS / Chapter II-1 / Part B-2 / Regulation 9 "Double Bottoms in Passenger Ships and Cargo Ships other than Tankers"
- [15] SOLAS / Chapter II-1 / Part B-2 / Regulation 12
- [16] SOLAS / Chapter II-2 / Part D / Regulation 13 "Means of escape".
- [17] SOLAS / Chapter II-2 / Part C / Regulation 10 "Firefighting".
- [18] SOLAS / Chapter III "Lifesaving appliances & arrangements".
- [19] John S. Carlton. Elsevier. Marine Propellers and Propulsion, Second edition. 2007.
- [20] <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro>

- [21] <https://www.wartsila.com/marine/products#power>
- [22] International Maritime Organization (IMO). Resolution A265 (VIII). December 1973.
- [23] International Maritime Organization (IMO). Resolution MEPC.245(66). April 2014.
- [24] China Classification Society. Guidelines for implementation of SOLAS 2009 requirements for subdivision and damage stability. Beijing, January 2009.
- [25] International Load Line Convention (ILLC), 1966.
- [26] International Convention on Tonnage Measurement of ships, 1969.
- [27] International Association of Classification Societies (IACS). Common Structural Rules (CSR). 2005.
- [28] Indian Register of Shipping (IRCLASS). Implementing Energy Efficiency Desing Index (EEDI).
- [29] Ρακόπουλος Δ. Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι – Εμβολοφόρες και Αεριοστροβίλοι – Θεωρία και Εφαρμογές. Εκδόσεις Φούντας.
- [30] Κωνσταντίνος Ν. Αφυναντής. Στατική Ναυπηγικών Κατασκευών. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2019.
- [31] Τζαμπίρας Γεώργιος. Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
- [32] Γεράσιμος Κ. Πολίτης. Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
- [33] Bachelor Thesis. Panagiotis Antoniadis. Preliminary Design of RO-PAX ferry. National Technical University of Athens, October 2021.
- [34] Διπλωματική εργασία. Αφροδίτη Κανελλοπούλου. Έρευνα για ευστάθεια μετά από βλάβη σε Επιβατηγό – Οχηματαγωγό πλοίο με χρήση του ναυπηγικού προγράμματος NAPA. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.
- [35] Διπλωματική εργασία. Τζαβάρα Αιμιλία – Ευαγγελία. Σχεδίαση Μορφής γάστρας πλοίου εμπορευματοκιβωτίων με κριτήριο την αντίσταση σε ήρεμο νερό και κυματισμούς. Αθήνα, Ιούλιος 2022.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Καταστάσεις φόρτωσης)

1. Full Load Departure (Design)

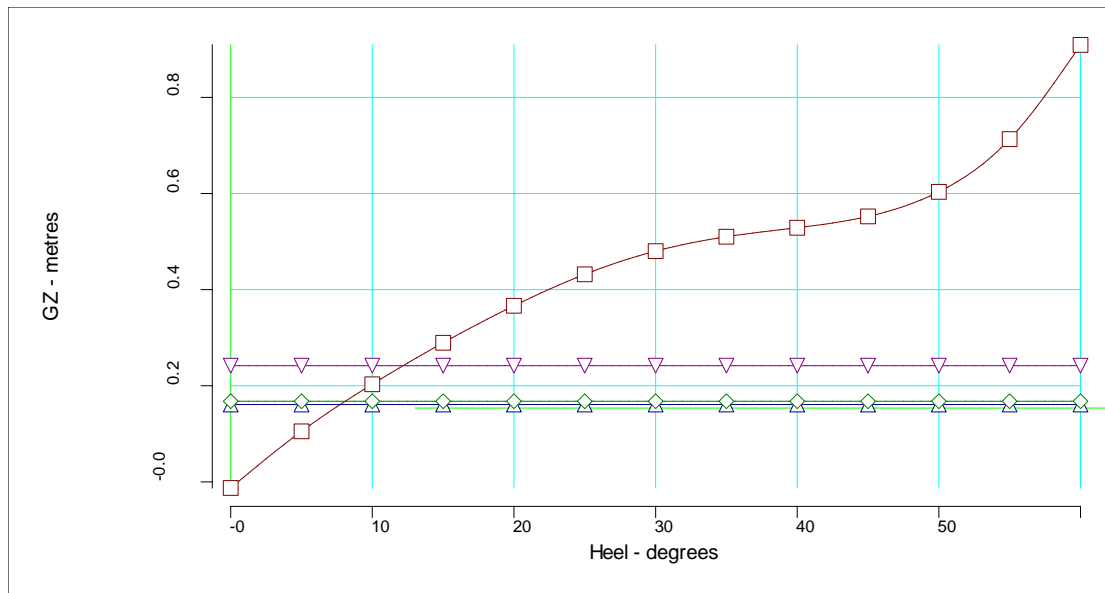


Key	Name	Density (t/m ³)
■	HFO	0.9800
■	FW	1.0000
■	DO	0.8500
■	LO	0.9000
■	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1912.4	49.307	-0.040	7.974	440.3
Total Displacement	6056.5	50.792	-0.013	8.769	440.3
Buoyancy	6056.5	50.798	-0.064	2.967	44442.6
Total Buoyancy	6056.5	50.798	-0.064	2.967	44442.6

Draft at LCF	5.096	metres
Draft at AP	5.056	metres
Draft at FP	5.149	metres
Mean draft at midships	5.102	metres

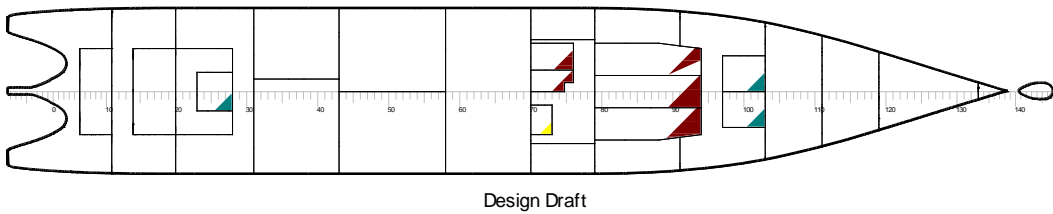
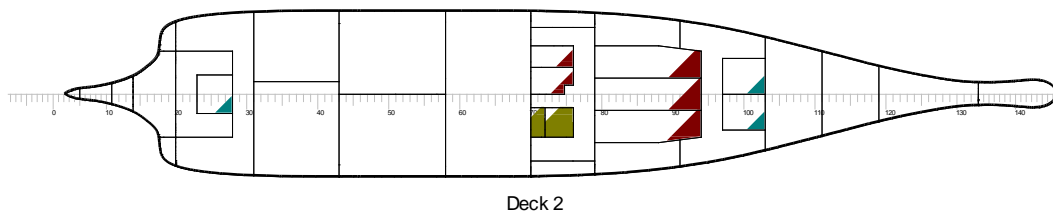
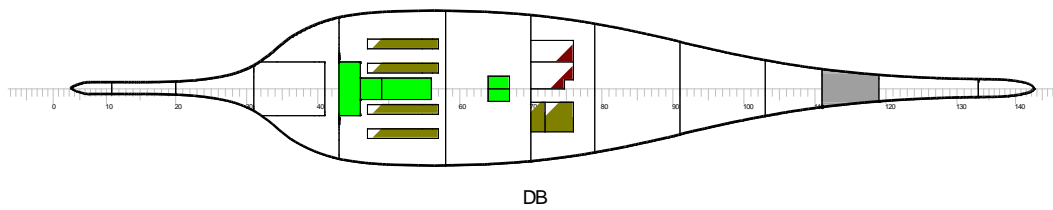
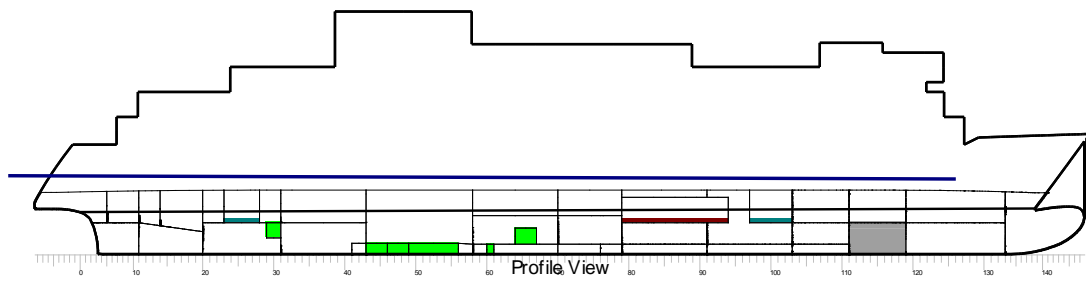
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.50	degrees
Trim by the bow	0.093	metres
KG	8.769	metres
FSC	0.073	metres
KGf	8.842	metres
GMt	1.450	metres
BMt	7.338	metres
BMI	217.663	metres
Waterplane area	1667.41	sq.metres
LCG	50.792	metres
LCB	50.798	metres
TCB	-0.064	metres
LCF	46.009	metres
TCF	-0.100	metres
TPC	17.191	tonnes/cm
MTC	122.041	tonnes-m/cm









#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.143	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.089	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.232	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.450	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.480	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.762	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	8.116	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.773	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	5.676	1.000

Condition complies with the regulations

2. Full Load Arrival (Design)

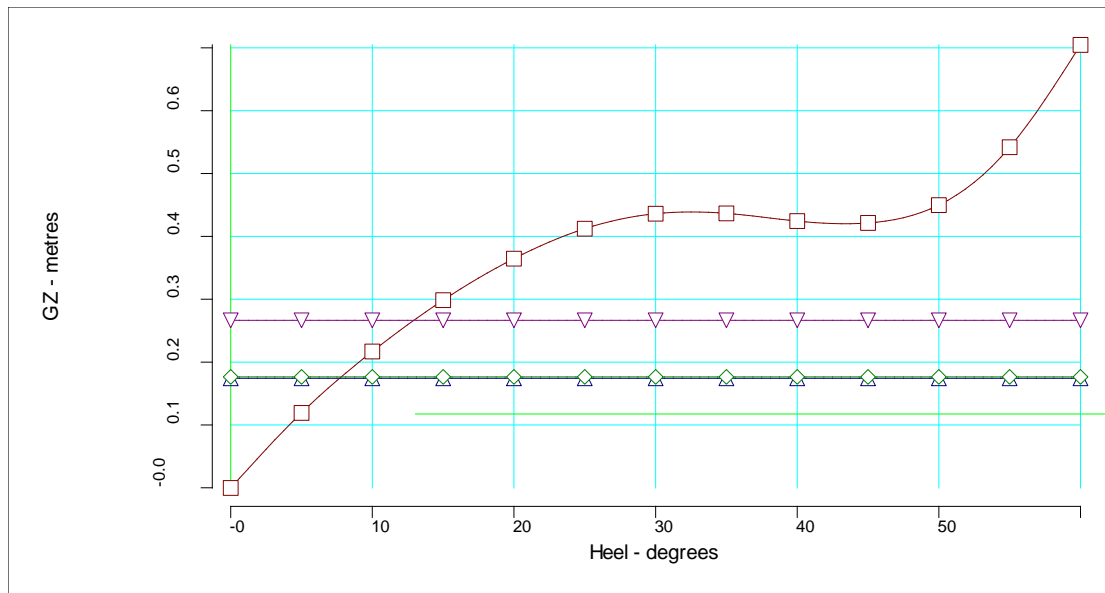


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1452.4	46.603	-0.001	8.470	318.8
Total Displacement	5596.5	50.213	-0.000	8.963	318.8
Buoyancy	5596.5	50.192	0.000	2.804	43005.2
Total Buoyancy	5596.5	50.192	0.000	2.804	43005.2

Draft at LCF	4.825	metres
Draft at AP	4.983	metres
Draft at FP	4.616	metres
Mean draft at midships	4.799	metres

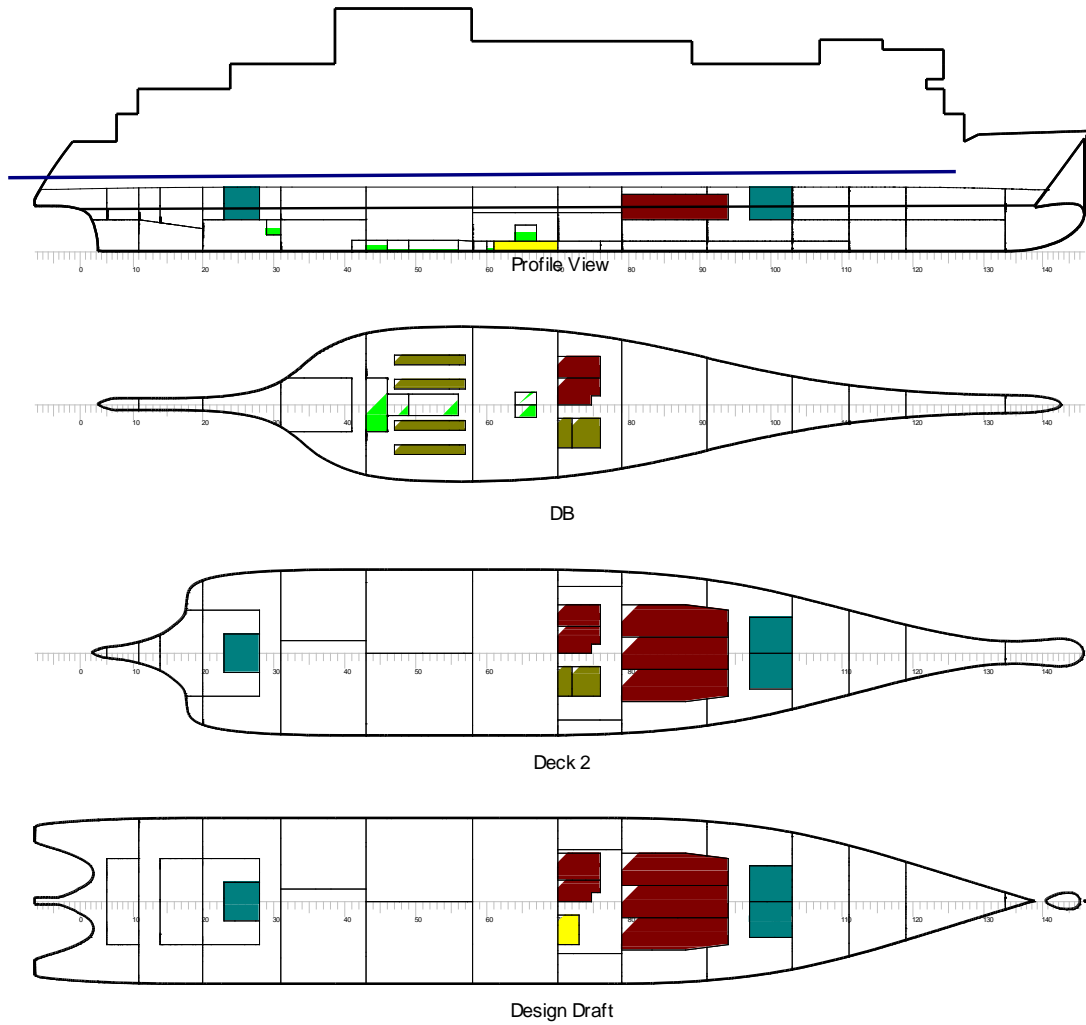
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.367	metres
KG	8.963	metres
FSC	0.057	metres
KGf	9.020	metres
GMt	1.469	metres
BMt	7.684	metres
BMI	228.580	metres
Waterplane area	1637.32	sq.metres
LCG	50.213	metres
LCB	50.192	metres
TCB	0.000	metres
LCF	46.337	metres
TCF	0.000	metres
TPC	16.881	tonnes/cm
MTC	118.426	tonnes-m/cm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.143	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.076	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.219	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.469	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.436	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.716	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.837	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.899	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	3.194	1.000

Condition complies with the regulations

3. Cars & Passengers Departure

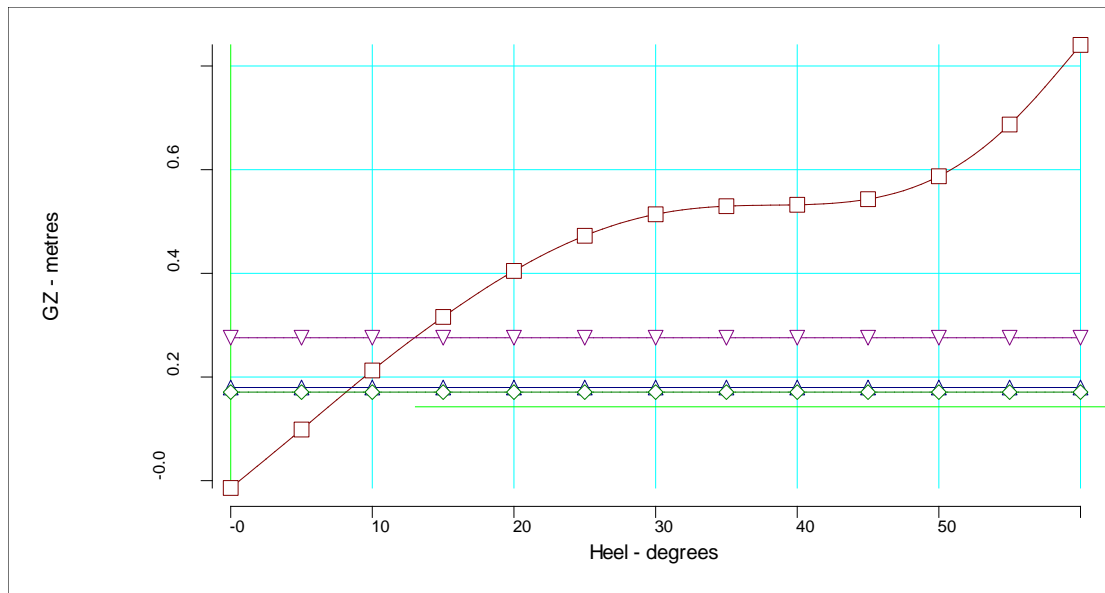


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1282.4	55.058	-0.060	7.319	440.3
Total Displacement	5426.5	52.324	-0.014	8.706	440.3
Buoyancy	5426.5	52.363	-0.081	2.746	39723.7
Total Buoyancy	5426.5	52.363	-0.081	2.746	39723.7

Draft at LCF	4.723	metres
Draft at AP	4.409	metres
Draft at FP	5.102	metres
Mean draft at midships	4.756	metres

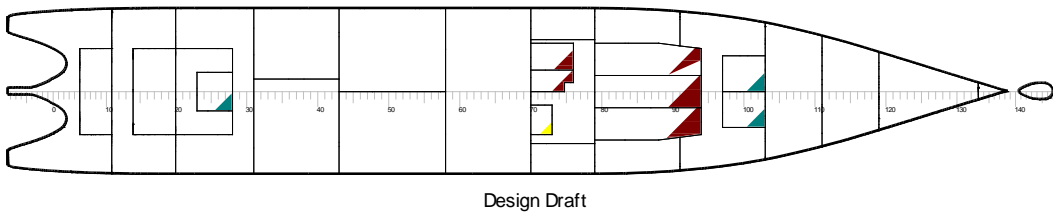
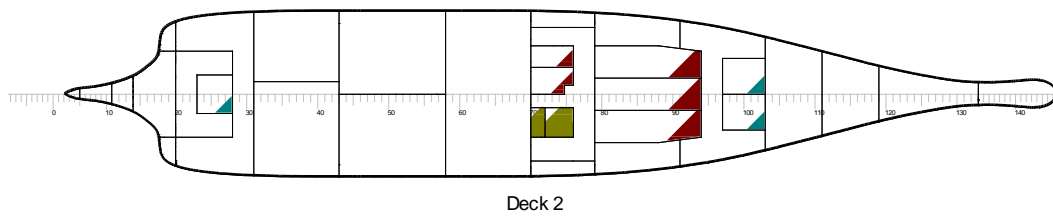
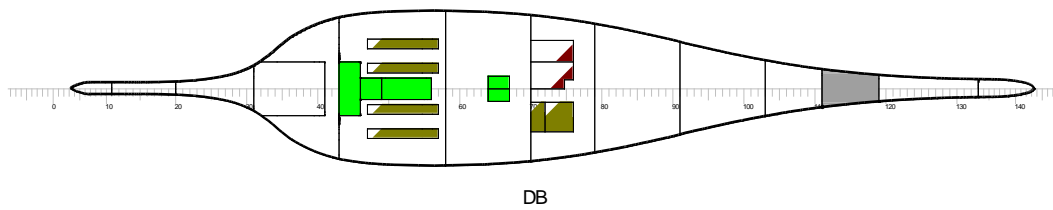
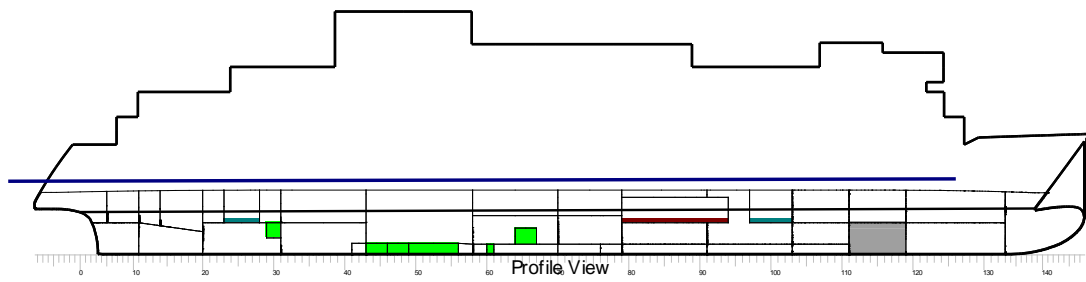
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.64	degrees
Trim by the bow	0.692	metres
KG	8.706	metres
FSC	0.081	metres
KGf	8.787	metres
GMt	1.270	metres
BMt	7.320	metres
BMI	197.926	metres
Waterplane area	1548.31	sq.metres
LCG	52.324	metres
LCB	52.363	metres
TCB	-0.081	metres
LCF	48.996	metres
TCF	-0.102	metres
TPC	15.963	tonnes/cm
MTC	99.431	tonnes-m/cm









#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.154	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.092	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.246	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.270	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.514	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.555	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	8.164	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	8.740	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	4.102	1.000

Condition complies with the regulations

4. Cars & Passengers Arrival

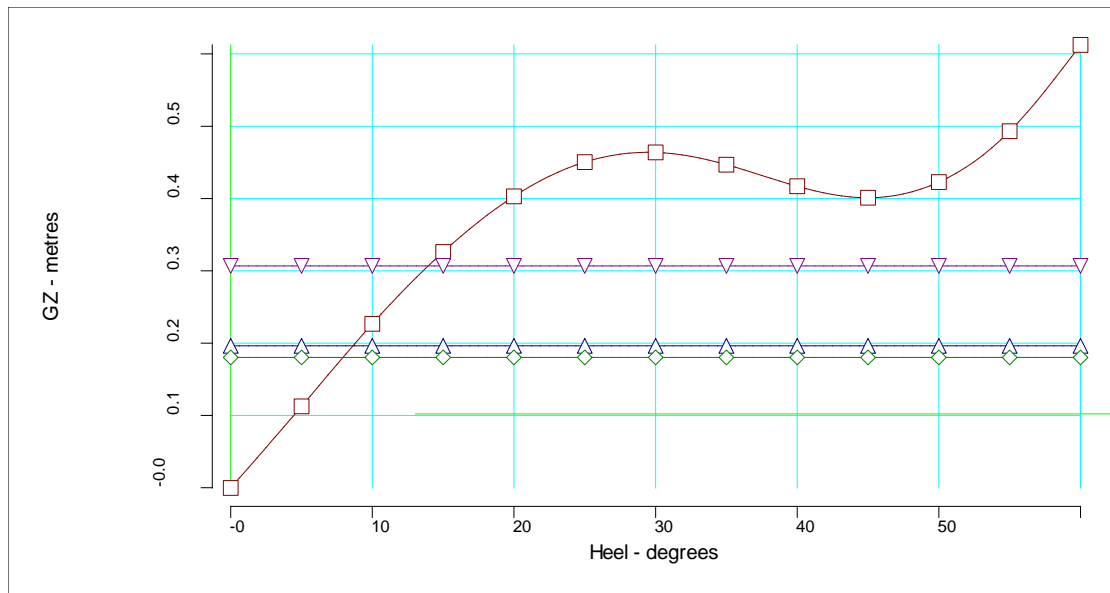


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	822.4	53.500	-0.002	7.828	318.8
Total Displacement	4966.5	51.813	-0.000	8.919	318.8
Buoyancy	4966.5	51.829	0.000	2.572	38228.2
Total Buoyancy	4966.5	51.829	0.000	2.572	38228.2

Draft at LCF	4.434	metres
Draft at AP	4.311	metres
Draft at FP	4.581	metres
Mean draft at midships	4.446	metres

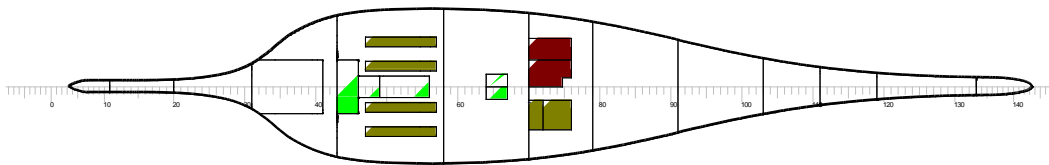
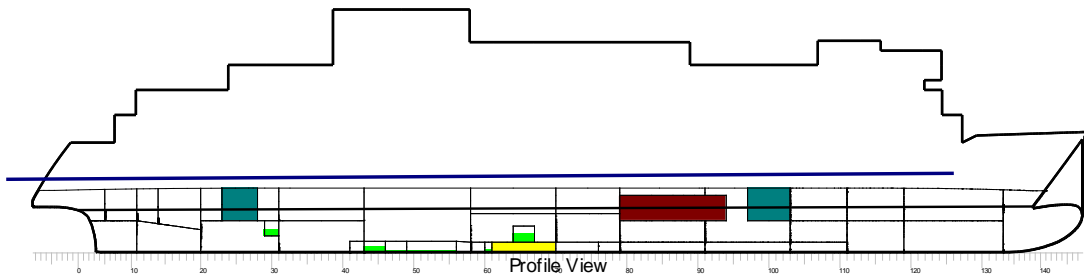
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.270	metres
KG	8.919	metres
FSC	0.064	metres
KGf	8.983	metres
GMt	1.286	metres
BMt	7.697	metres
BMI	210.789	metres
Waterplane area	1519.70	sq.metres
LCG	51.813	metres
LCB	51.829	metres
TCB	0.000	metres
LCF	49.267	metres
TCF	0.000	metres
TPC	15.668	tonnes/cm
MTC	96.916	tonnes-m/cm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.154	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.078	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.231	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.286	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.464	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.675	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.963	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	9.036	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	1.945	1.000

Condition complies with the regulations

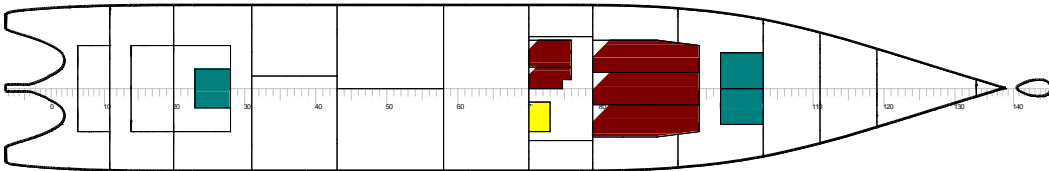
5. Only Cars on Upper Deck & Passengers Departure








DB



Deck 2



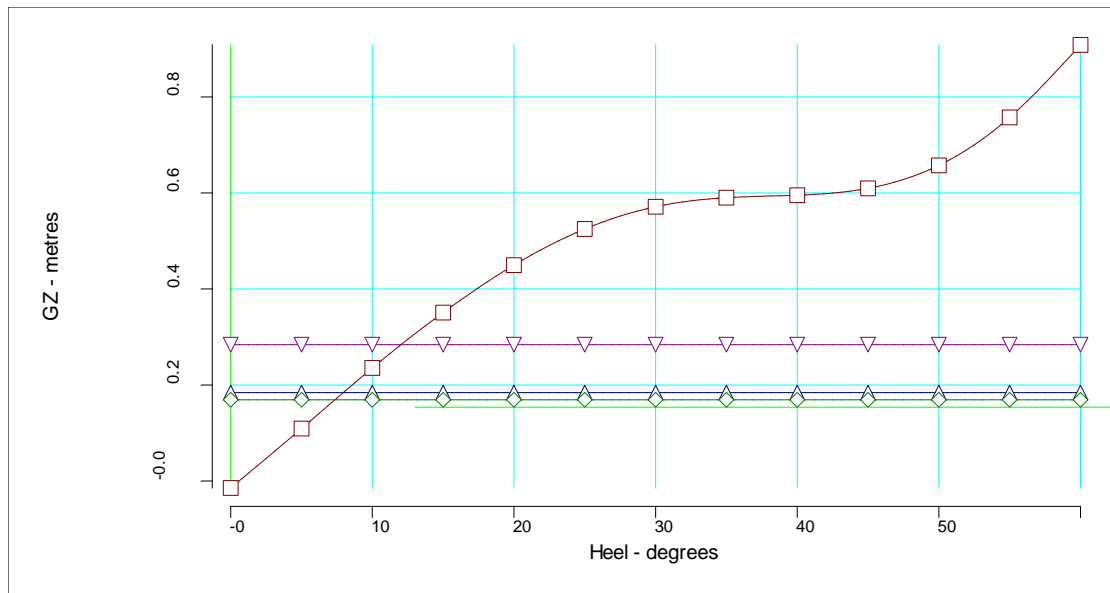
Design Draft

Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1150.8	55.636	-0.067	6.675	440.3
Total Displacement	5294.9	52.382	-0.015	8.601	440.3
Buoyancy	5294.9	52.420	-0.076	2.697	39158.2
Total Buoyancy	5294.9	52.420	-0.076	2.697	39158.2

Draft at LCF	4.642	metres
Draft at AP	4.333	metres
Draft at FP	5.012	metres
Mean draft at midships	4.672	metres

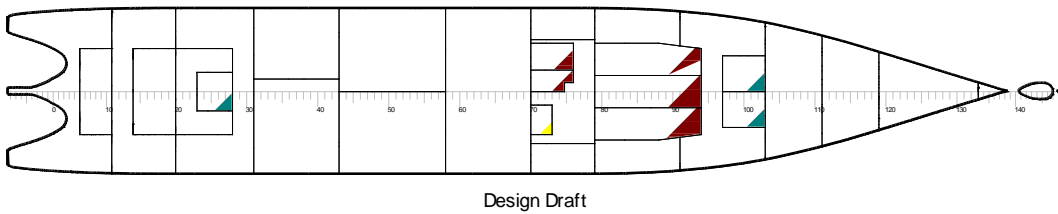
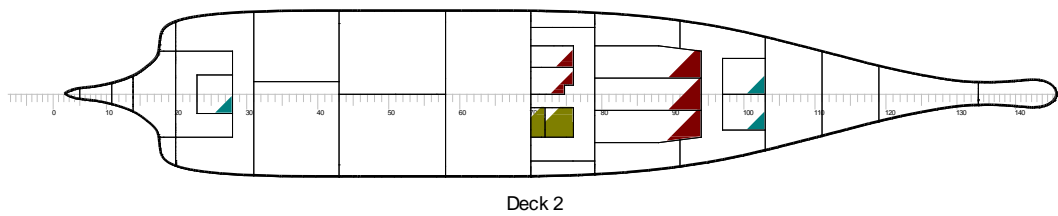
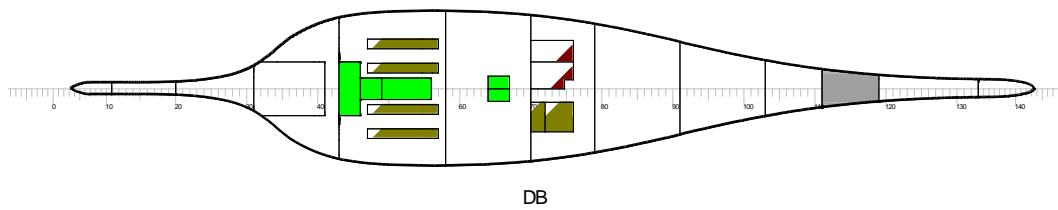
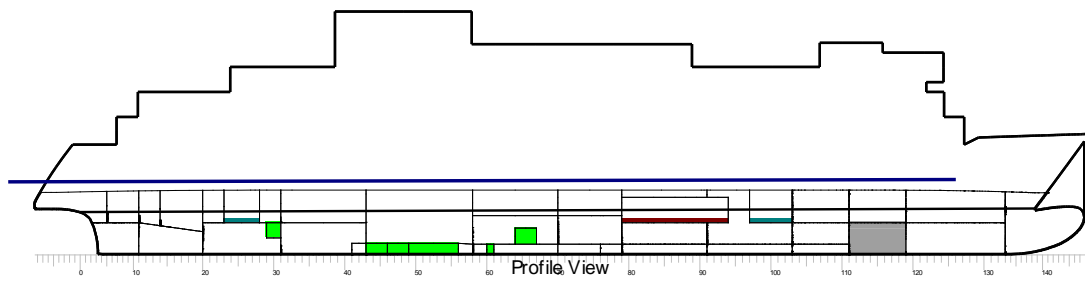
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.59	degrees
Trim by the bow	0.679	metres
KG	8.601	metres
FSC	0.083	metres
KGf	8.684	metres
GMt	1.401	metres
BMt	7.395	metres
BMI	199.369	metres
Waterplane area	1535.75	sq.metres
LCG	52.382	metres
LCB	52.420	metres
TCB	-0.076	metres
LCF	49.231	metres
TCF	-0.094	metres
TPC	15.834	tonnes/cm
MTC	97.726	tonnes-m/cm









#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.171	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.103	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.273	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.401	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.571	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.970	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.373	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	8.178	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	5.246	1.000

Condition complies with the regulations

6. Only Cars on Upper Deck & Passengers Arrival

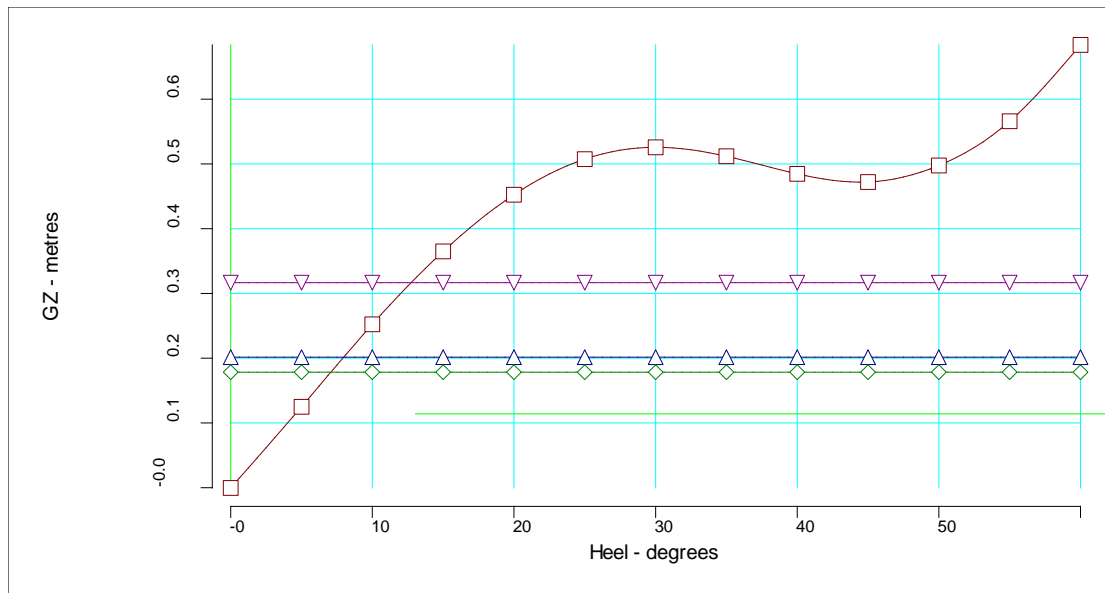


Key	Name	Density
		(t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	690.8	54.167	-0.003	6.853	318.8
Total Displacement	4834.9	51.862	-0.000	8.809	318.8
Buoyancy	4834.9	51.877	0.000	2.522	37641.8
Total Buoyancy	4834.9	51.877	0.000	2.522	37641.8

Draft at LCF	4.350	metres
Draft at AP	4.231	metres
Draft at FP	4.491	metres
Mean draft at midships	4.361	metres

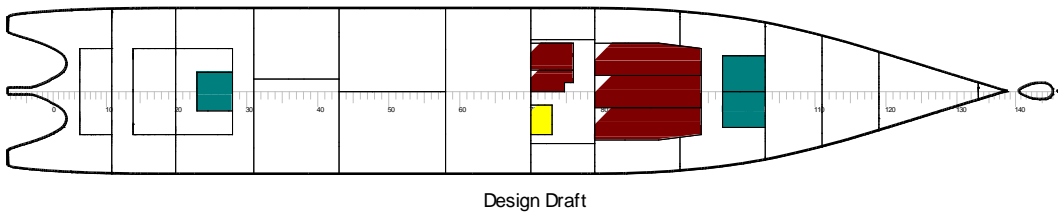
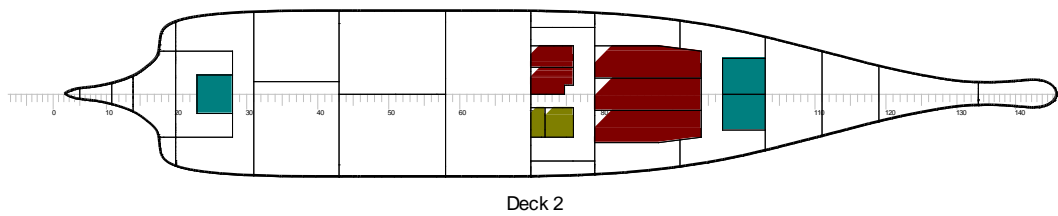
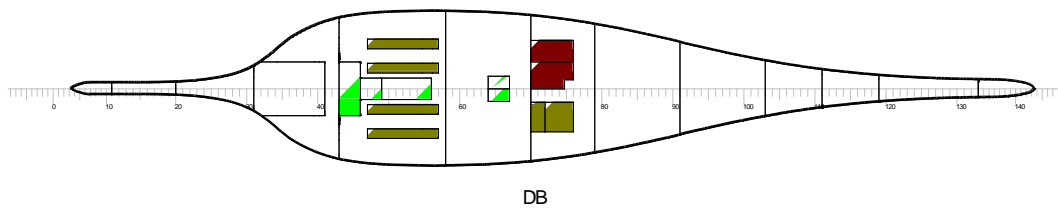
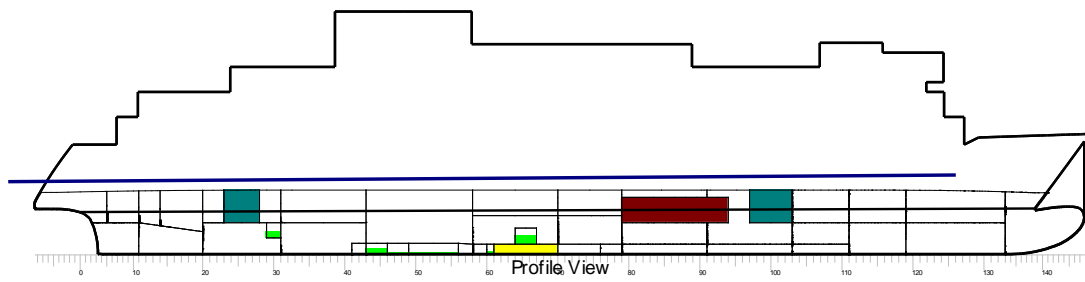
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.260	metres
KG	8.809	metres
FSC	0.066	metres
KGf	8.875	metres
GMt	1.432	metres
BMt	7.785	metres
BMI	212.240	metres
Waterplane area	1506.07	sq.metres
LCG	51.862	metres
LCB	51.877	metres
TCB	0.000	metres
LCF	49.485	metres
TCF	0.000	metres
TPC	15.528	tonnes/cm
MTC	94.998	tonnes-m/cm








#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.172	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.089	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.261	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.432	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.526	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.020	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.100	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	8.395	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	2.961	1.000

Condition complies with the regulations

7. Only Cars on Main Deck & Passengers Departure

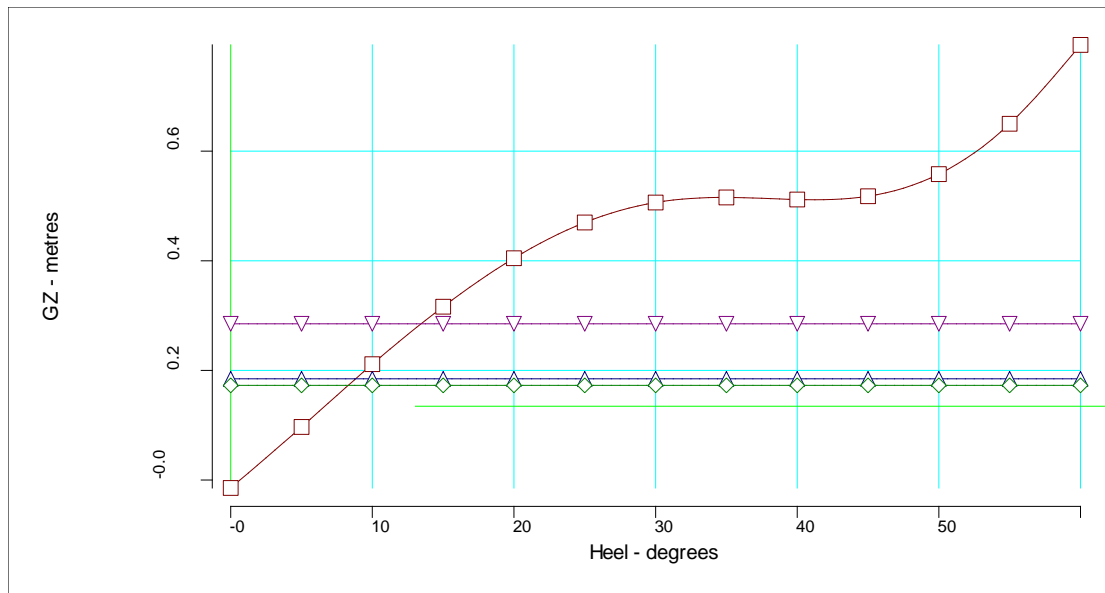


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1135.4	56.360	-0.068	7.238	440.3
Total Displacement	5279.5	52.528	-0.015	8.727	440.3
Buoyancy	5279.5	52.571	-0.085	2.693	38990.1
Total Buoyancy	5279.5	52.571	-0.085	2.693	38990.1

Draft at LCF	4.633	metres
Draft at AP	4.288	metres
Draft at FP	5.044	metres
Mean draft at midships	4.666	metres

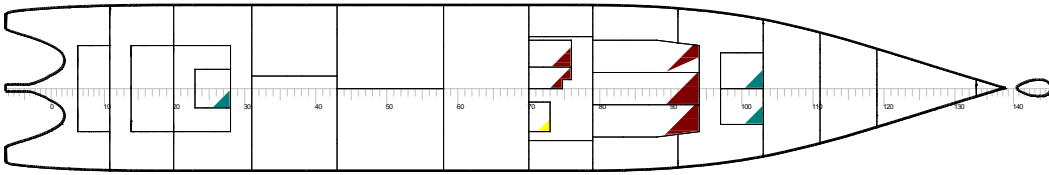
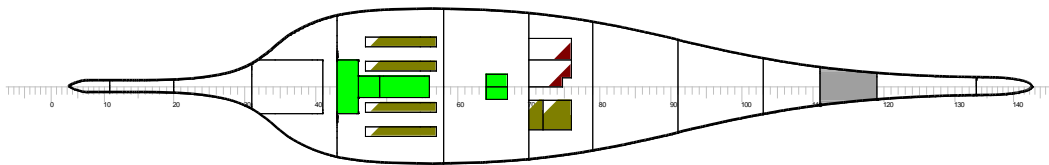
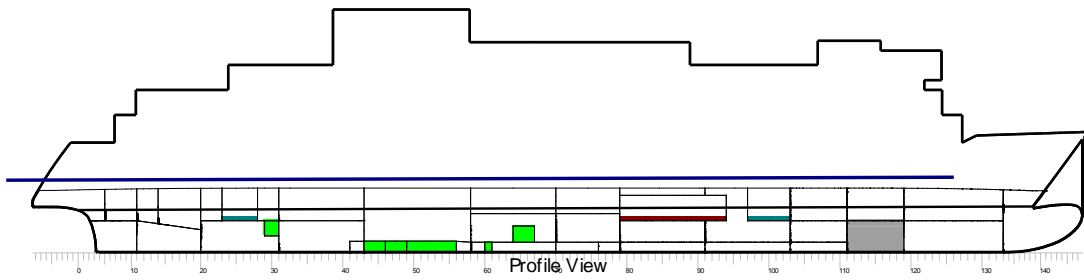
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.66	degrees
Trim by the bow	0.756	metres
KG	8.727	metres
FSC	0.083	metres
KGf	8.811	metres
GMt	1.259	metres
BMt	7.385	metres
BMI	198.000	metres
Waterplane area	1530.95	sq.metres
LCG	52.528	metres
LCB	52.571	metres
TCB	-0.085	metres
LCF	49.368	metres
TCF	-0.104	metres
TPC	15.784	tonnes/cm
MTC	96.773	tonnes-m/cm









#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.153	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.090	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.243	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.259	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.506	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.854	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	8.332	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	9.085	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	3.437	1.000

Condition complies with the regulations

8. Only Cars on Main Deck & Passengers Arrival

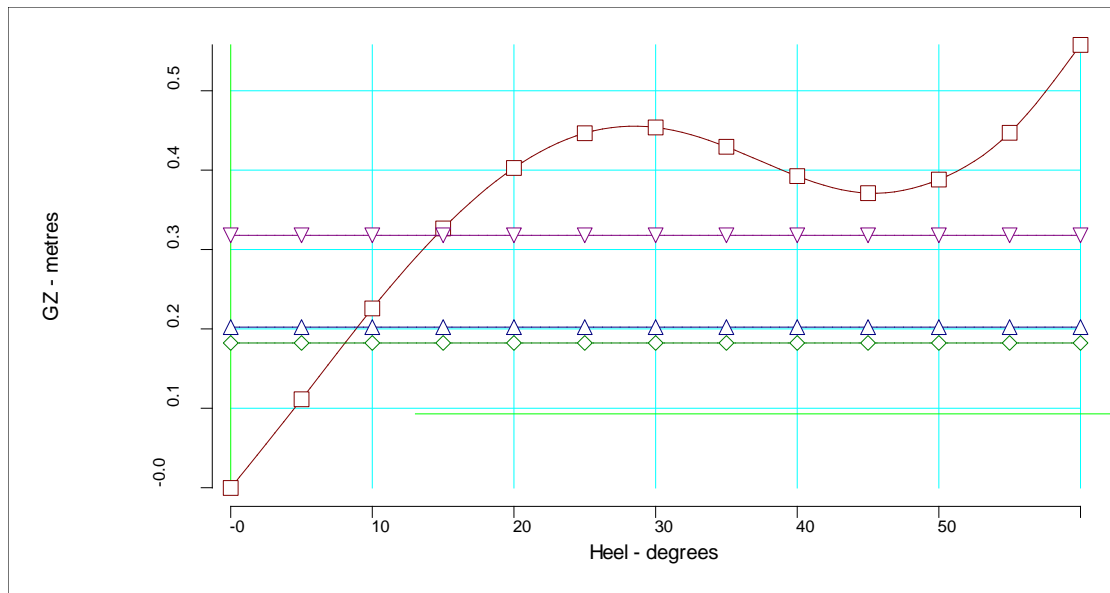


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	675.4	55.350	-0.003	7.802	318.8
Total Displacement	4819.5	52.020	-0.000	8.949	318.8
Buoyancy	4819.6	52.041	0.000	2.517	37468.5
Total Buoyancy	4819.6	52.041	0.000	2.517	37468.5

Draft at LCF	4.341	metres
Draft at AP	4.185	metres
Draft at FP	4.524	metres
Mean draft at midships	4.355	metres

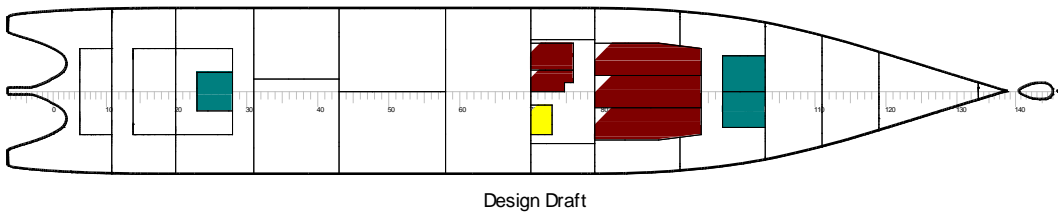
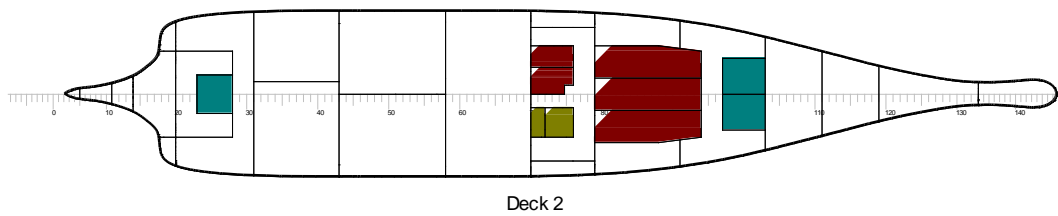
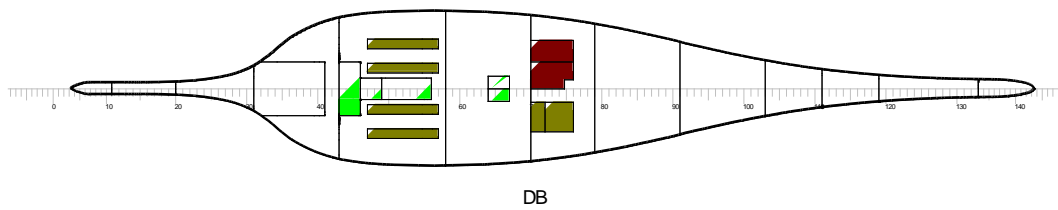
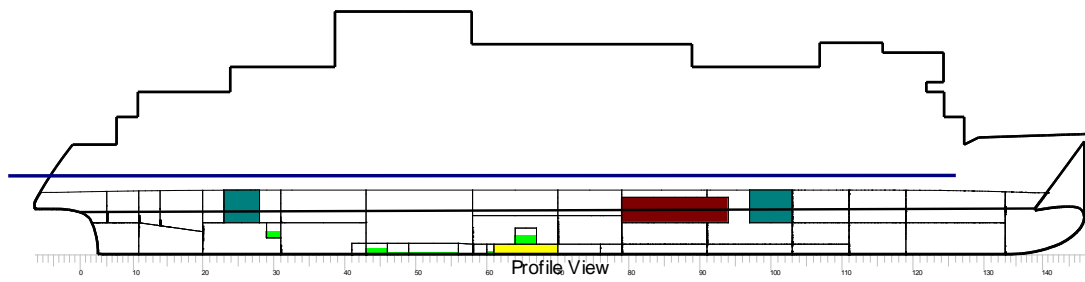
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.340	metres
KG	8.949	metres
FSC	0.066	metres
KGf	9.015	metres
GMt	1.276	metres
BMt	7.774	metres
BMI	211.022	metres
Waterplane area	1501.44	sq.metres
LCG	52.020	metres
LCB	52.041	metres
TCB	0.000	metres
LCF	49.633	metres
TCF	0.000	metres
TPC	15.480	tonnes/cm
MTC	94.152	tonnes-m/cm








#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.153	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.075	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.227	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.276	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.454	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.998	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	8.124	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	9.411	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	1.399	1.000

Condition complies with the regulations

9. Only Trucks & Passengers Departure

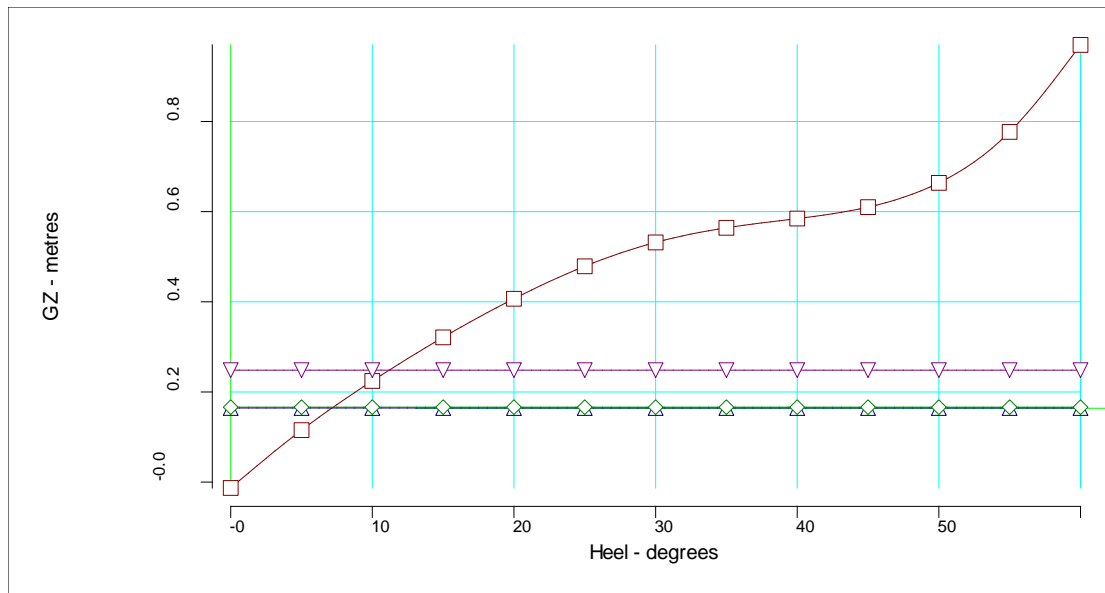


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1780.8	49.256	-0.043	7.606	440.3
Total Displacement	5924.9	50.810	-0.013	8.676	440.3
Buoyancy	5924.9	50.813	-0.062	2.920	43778.3
Total Buoyancy	5924.9	50.813	-0.062	2.920	43778.3

Draft at LCF	5.019	metres
Draft at AP	4.997	metres
Draft at FP	5.047	metres
Mean draft at midships	5.022	metres

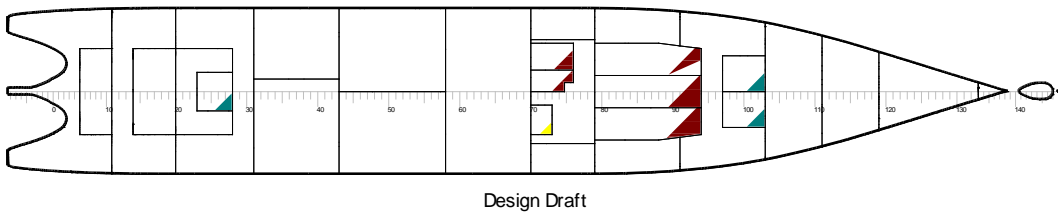
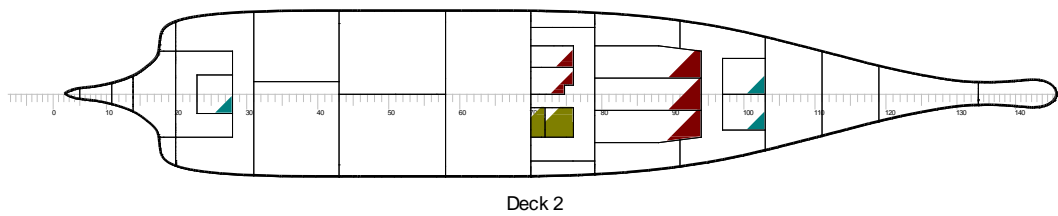
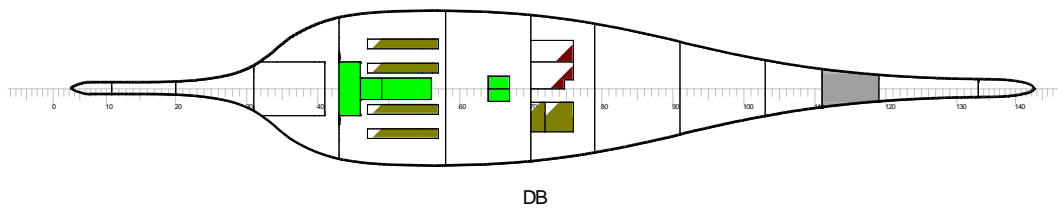
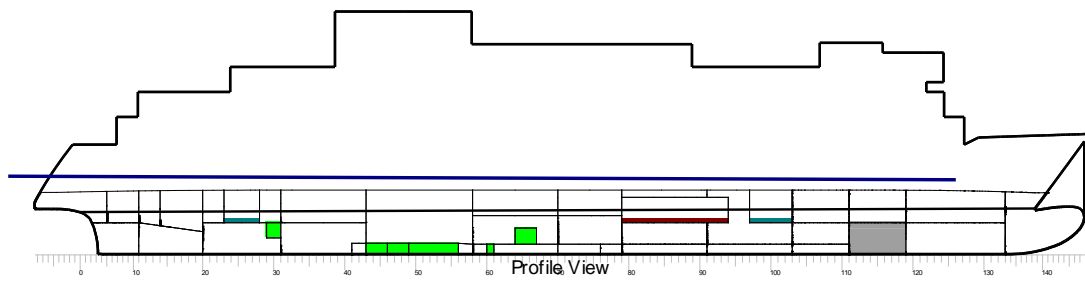
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.48	degrees
Trim by the bow	0.050	metres
KG	8.676	metres
FSC	0.074	metres
KGf	8.750	metres
GMt	1.540	metres
BMt	7.389	metres
BMI	217.151	metres
Waterplane area	1650.61	sq.metres
LCG	50.810	metres
LCB	50.813	metres
TCB	-0.062	metres
LCF	46.365	metres
TCF	-0.100	metres
TPC	17.018	tonnes/cm
MTC	119.108	tonnes-m/cm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.158	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.098	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.256	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.540	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.532	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.167	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.249	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.214	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	7.098	1.000

Condition complies with the regulations

10. Only Trucks & Passengers Arrival

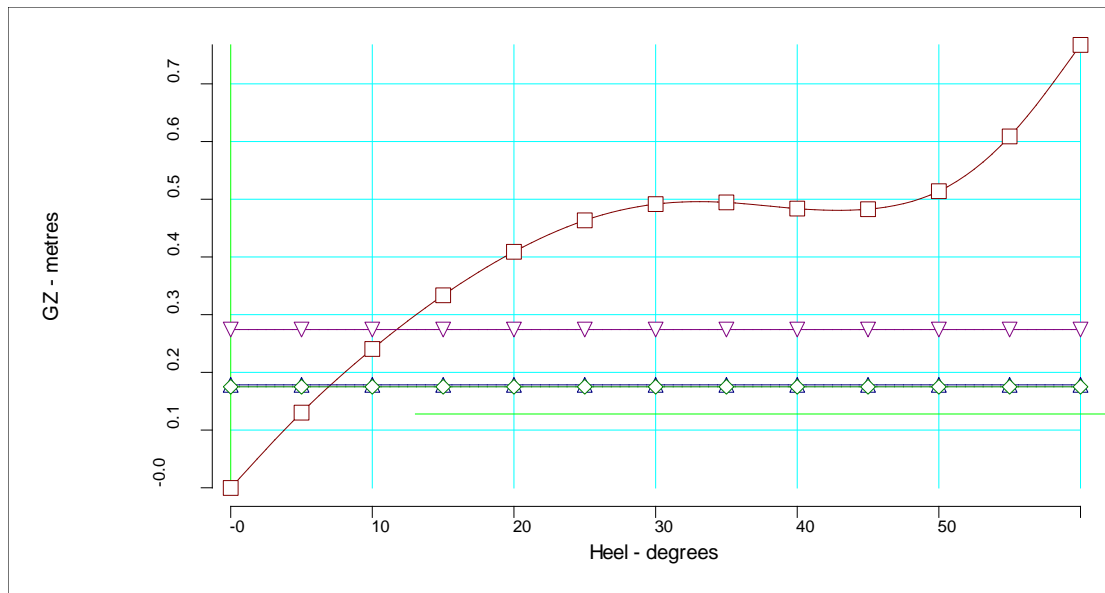


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1320.8	46.265	-0.001	8.023	318.8
Total Displacement	5464.9	50.218	-0.000	8.867	318.8
Buoyancy	5464.9	50.195	0.000	2.757	42222.0
Total Buoyancy	5464.9	50.195	0.000	2.757	42222.0

Draft at LCF	4.746	metres
Draft at AP	4.922	metres
Draft at FP	4.515	metres
Mean draft at midships	4.718	metres

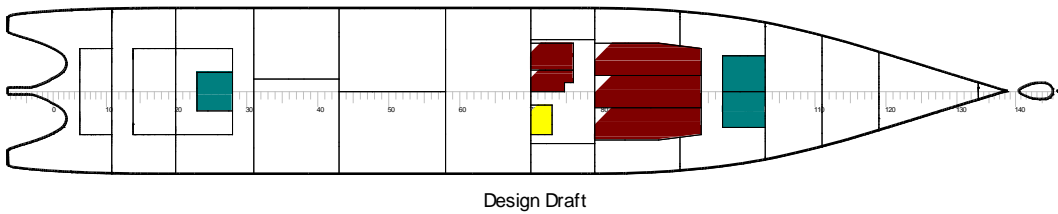
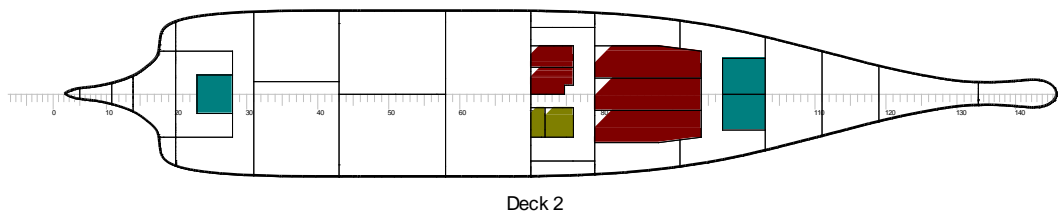
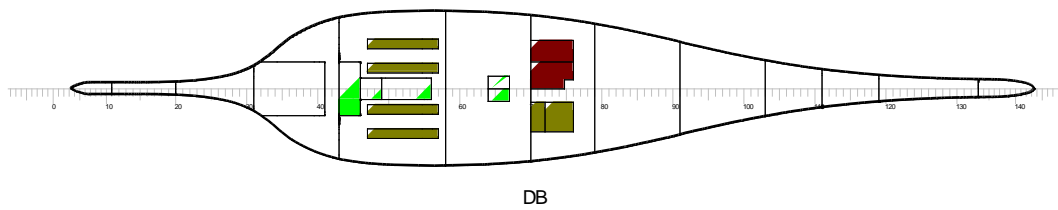
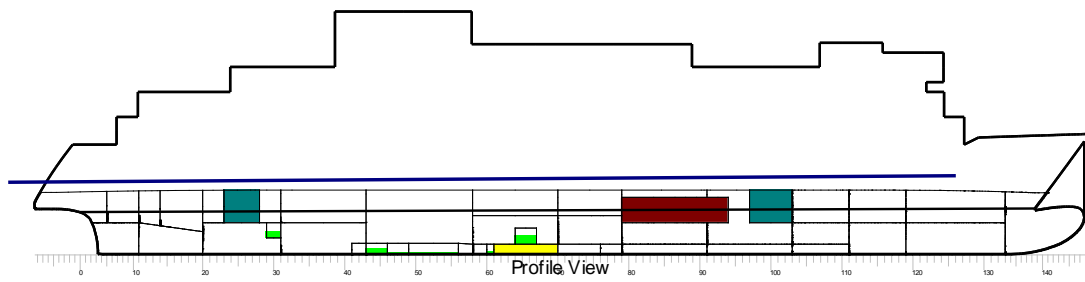
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.407	metres
KG	8.867	metres
FSC	0.058	metres
KGf	8.925	metres
GMt	1.558	metres
BMt	7.726	metres
BMI	227.497	metres
Waterplane area	1618.95	sq.metres
LCG	50.218	metres
LCB	50.195	metres
TCB	0.000	metres
LCF	46.700	metres
TCF	0.000	metres
TPC	16.691	tonnes/cm
MTC	115.094	tonnes-m/cm








#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.160	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.086	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.246	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.558	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.492	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.076	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	6.923	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.279	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	4.485	1.000

Condition complies with the regulations

11. Only Passengers Departure

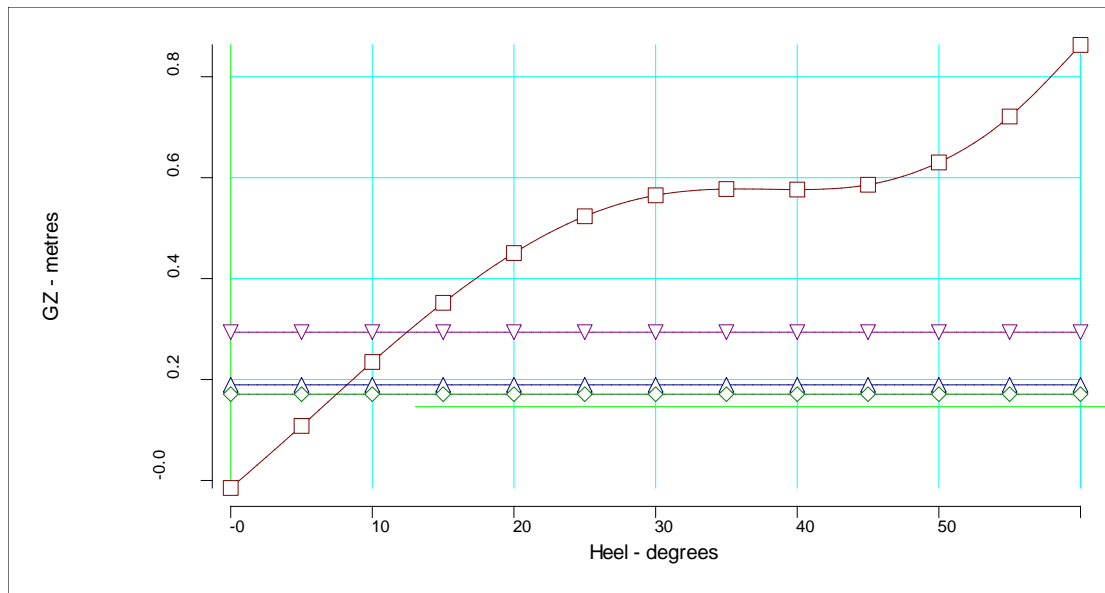


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	1003.8	57.194	-0.076	6.489	440.3
Total Displacement	5147.9	52.592	-0.015	8.619	440.3
Buoyancy	5147.9	52.635	-0.080	2.644	38422.4
Total Buoyancy	5147.9	52.635	-0.080	2.644	38422.4

Draft at LCF	4.551	metres
Draft at AP	4.208	metres
Draft at FP	4.955	metres
Mean draft at midships	4.582	metres

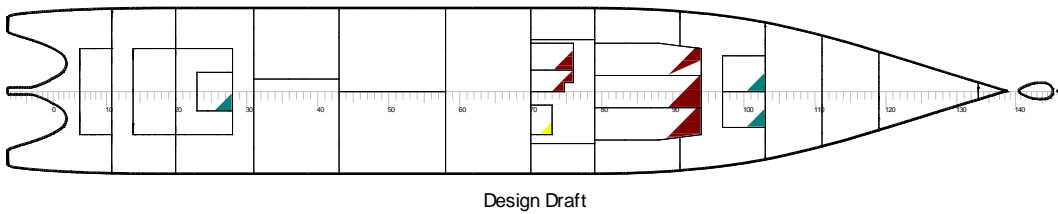
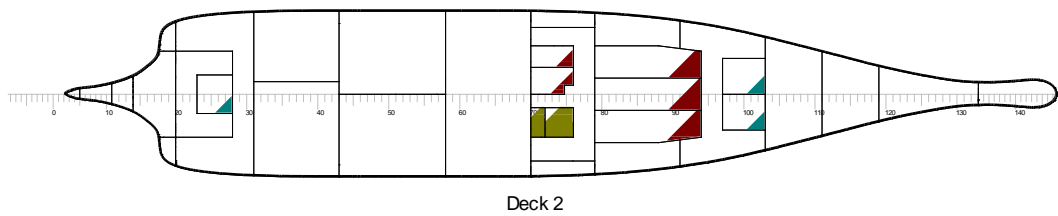
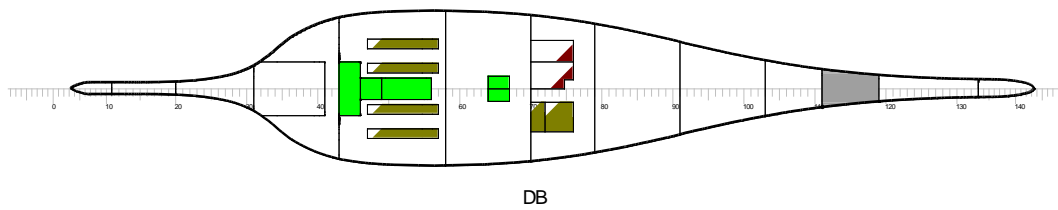
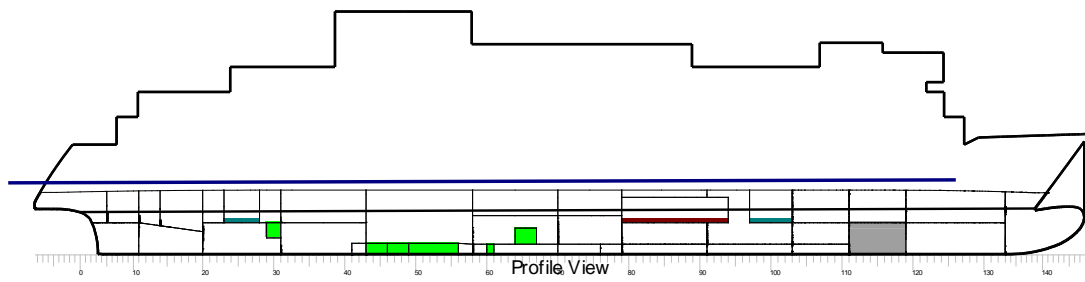
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.61	degrees
Trim by the bow	0.747	metres
KG	8.619	metres
FSC	0.086	metres
KGf	8.705	metres
GMt	1.396	metres
BMt	7.464	metres
BMI	199.620	metres
Waterplane area	1518.44	sq.metres
LCG	52.592	metres
LCB	52.635	metres
TCB	-0.080	metres
LCF	49.603	metres
TCF	-0.095	metres
TPC	15.655	tonnes/cm
MTC	95.133	tonnes-m/cm









#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.170	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.100	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.271	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.396	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.565	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.235	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.505	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	8.488	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	4.510	1.000

Condition complies with the regulations

12. Only Passengers Arrival

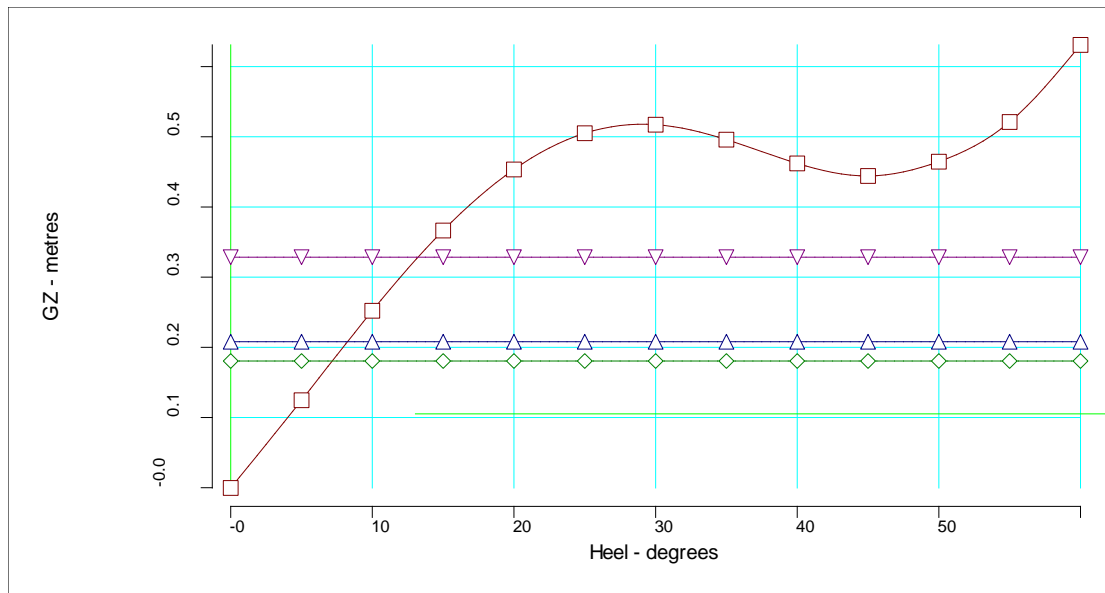


Key	Name	Density (t/m ³)
	HFO	0.9800
	FW	1.0000
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	GW	1.0000
	MISC	1.0000

Title	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
	(t)	(m)	(m)	(m)	(t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	543.8	56.645	-0.003	6.556	318.8
Total Displacement	4687.9	52.077	-0.000	8.836	318.8
Buoyancy	4688.0	52.097	0.000	2.467	36880.8
Total Buoyancy	4688.0	52.097	0.000	2.467	36880.8

Draft at LCF	4.256	metres
Draft at AP	4.101	metres
Draft at FP	4.437	metres
Mean draft at midships	4.269	metres

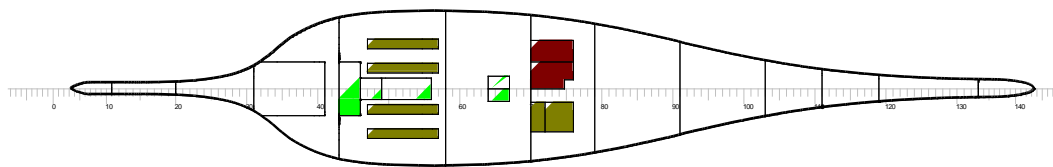
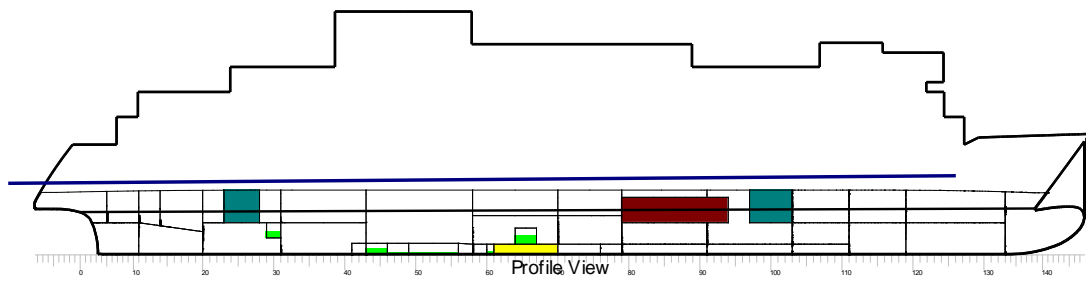
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.336	metres
KG	8.836	metres
FSC	0.068	metres
KGf	8.904	metres
GMt	1.430	metres
BMt	7.867	metres
BMI	212.619	metres
Waterplane area	1487.75	sq.metres
LCG	52.077	metres
LCB	52.097	metres
TCB	0.000	metres
LCF	49.848	metres
TCF	0.000	metres
TPC	15.339	tonnes/cm
MTC	92.275	tonnes-m/cm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.172	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.086	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.258	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.430	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.517	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	8.299	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	7.210	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	8.728	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	2.336	1.000

Condition complies with the regulations

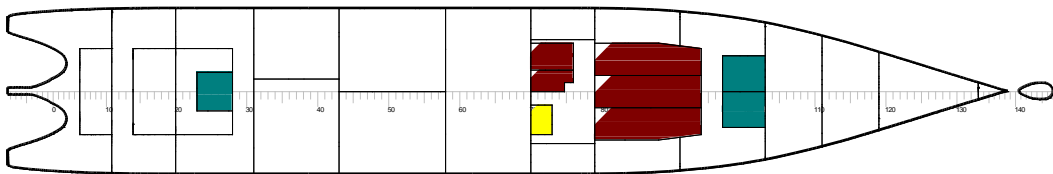
13. No Cargo Departure



DB



Deck 2



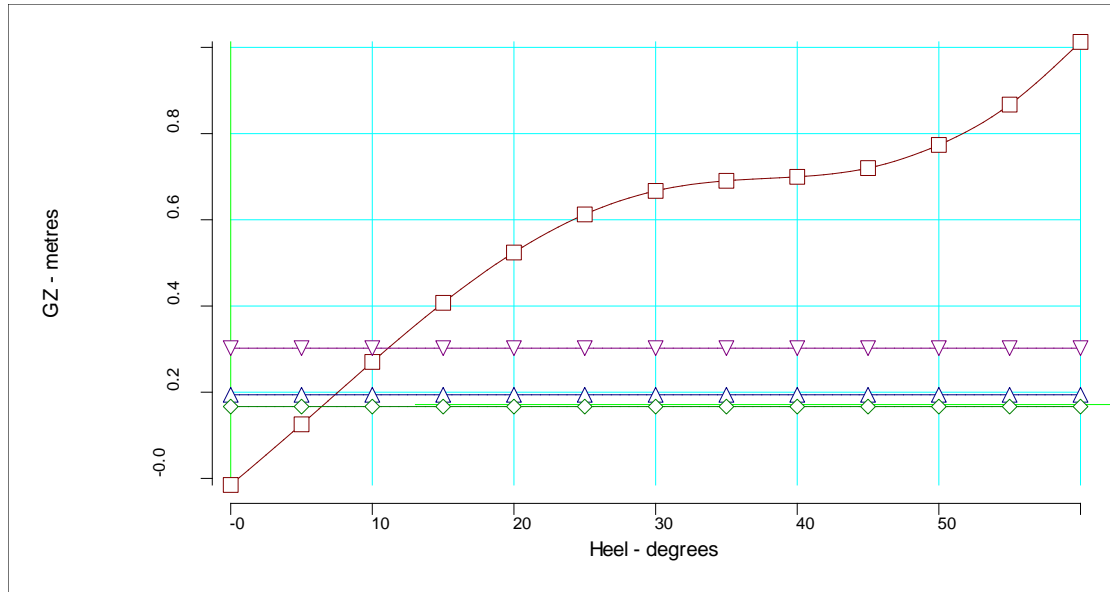
Design Draft

Key	Name	Density
		(t/m ³)
■	HFO	0.9800
■	FW	1.0000
■	DO	0.8500
■	LO	0.9000
■	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	883.8	59.409	-0.087	5.047	440.3
Total Displacement	5027.9	52.872	-0.015	8.417	440.3
Buoyancy	5027.9	52.919	-0.072	2.601	37762.8
Total Buoyancy	5027.9	52.919	-0.072	2.601	37762.8

Draft at LCF	4.477	metres
Draft at AP	4.078	metres
Draft at FP	4.941	metres
Mean draft at midships	4.509	metres

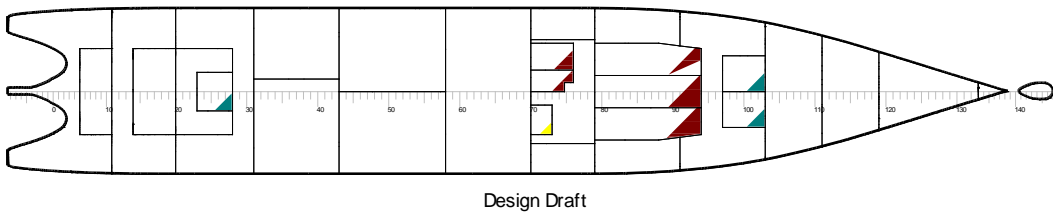
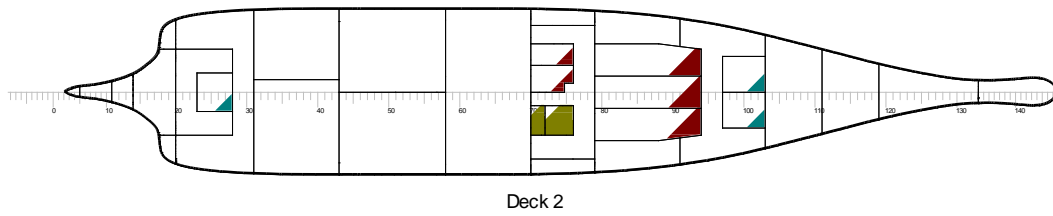
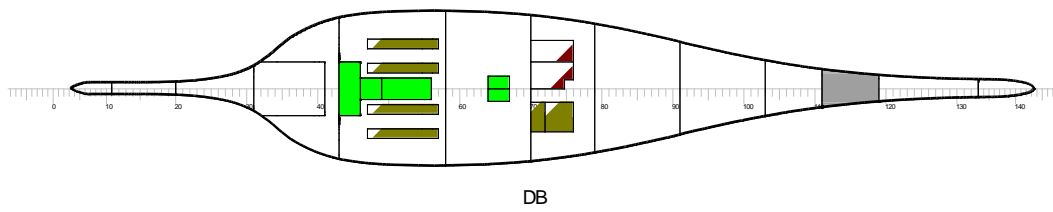
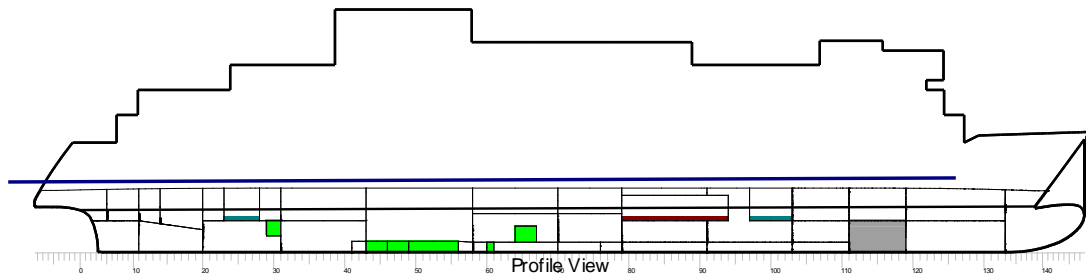
Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel to port	0.55	degrees
Trim by the bow	0.863	metres
KG	8.417	metres
FSC	0.088	metres
KGf	8.504	metres
GMt	1.602	metres
BMt	7.511	metres
BMI	198.966	metres
Waterplane area	1502.32	sq.metres
LCG	52.872	metres
LCB	52.919	metres
TCB	-0.072	metres
LCF	49.973	metres
TCF	-0.084	metres
TPC	15.489	tonnes/cm
MTC	92.611	tonnes-m/cm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.198	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.120	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.319	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.602	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.667	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.395	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	6.439	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.654	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	6.853	1.000

Condition complies with the regulations

14. No Cargo Arrival

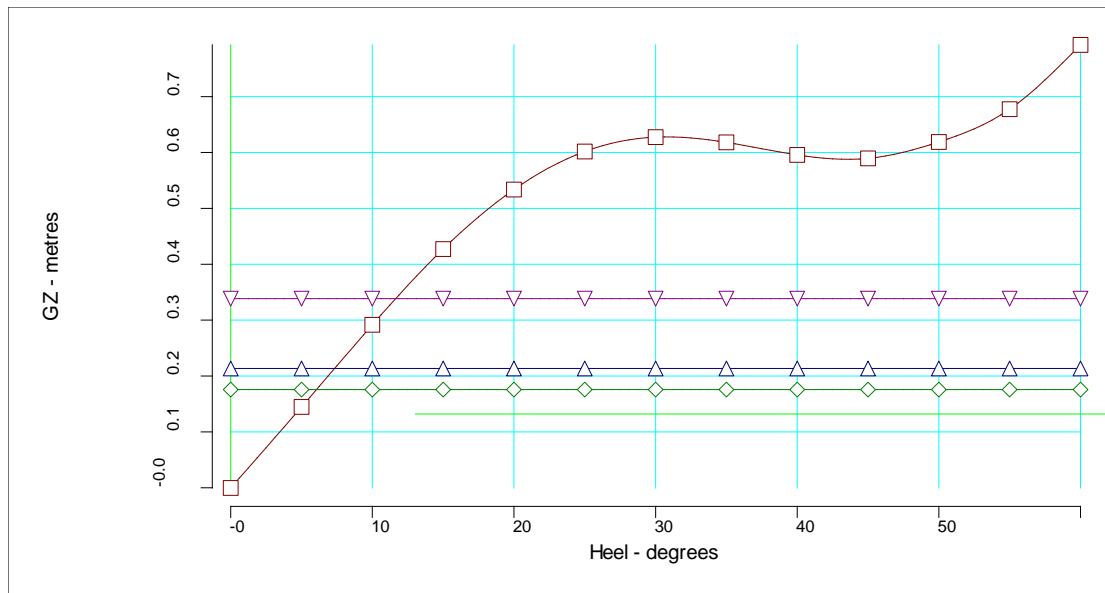


Key	Name	Density
		(t/m ³)
■	HFO	0.9800
■	FW	1.0000
■	DO	0.8500
■	LO	0.9000
■	GW	1.0000
■	MISC	1.0000

Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Lightweight	4144.1	51.478	0.000	9.136	0.0
Deadweight	423.8	61.111	-0.004	3.567	318.8
Total Displacement	4567.9	52.371	-0.000	8.619	318.8
Buoyancy	4568.0	52.398	0.000	2.422	36201.5
Total Buoyancy	4568.0	52.398	0.000	2.422	36201.5

Draft at LCF	4.179	metres
Draft at AP	3.965	metres
Draft at FP	4.425	metres
Mean draft at midships	4.195	metres

Density of water	1.0310	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.459	metres
KG	8.619	metres
FSC	0.070	metres
KGf	8.689	metres
GMt	1.658	metres
BMt	7.925	metres
BMI	212.273	metres
Waterplane area	1471.10	sq.metres
LCG	52.371	metres
LCB	52.398	metres
TCB	0.000	metres
LCF	50.217	metres
TCF	0.000	metres
TPC	15.167	tonnes/cm
MTC	89.767	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm



#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.203	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.108	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.310	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.658	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	0.628	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	60.000	30.000
7	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	7.371	10.000
8	Angle of heel for turning < 10 degrees	6.066	10.000
9	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	7.793	16.000
10	IMO Weather Criterion (Areas)	4.446	1.000

Condition complies with the regulations