

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**



Διπλωματική Εργασία

“Μελέτη και σχεδίαση Ε/Γ - Ο/Γ πλοίου κλειστού τύπου”

Νίκος Η. Παναγιωτακόπουλος

Μέλη τριμελούς επιτροπής:

- Απόστολος Δ. Παπανικολάου (Καθηγητής ΕΜΠ, Επιβλέπων)
- Γεώργιος Ζαραφονίτης (Αν. Καθηγητής ΕΜΠ)
- Αλέξανδρος - Αλβέρτος Γκίνης (Επικουρος Καθηγητής ΕΜΠ)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική, η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησής μου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών έχει ως αντικείμενο την προκαταρκτική μελέτη και σχεδίαση ενός επιβατηγού - οχηματαγωγού πλοίου κλειστού τύπου. Ο επιστημονικός υπεύθυνος για τη διπλωματική αυτή, ήταν ο κ. Απόστολος Δ. Παπανικολάου, Καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων. Η εργασία μου ανατέθηκε τον Δεκέμβριο του 2013 και ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2014.

Για το υπό μελέτη πλοίο δόθηκαν ορισμένες απαιτήσεις. Η πρώτη από αυτές αφορούσε το μήκος του, το οποίο θα κινούνταν γύρω στα 80 μέτρα. Ο κύριος λόγος που μου δόθηκε η απαίτηση αυτή, ήταν η σημαντική έλλειψη σε στοιχεία και στατιστικά δεδομένα επιβατηγών - οχηματαγωγών πλοίων αυτής της τάξης μηκών στην ναυτιλιακή αγορά, κάτι που παράλληλα αναδεικνύει και την ερευνητική αξία αυτής της εργασίας. Η δεύτερη απαίτηση καθόριζε την περιοχή πλεύσης του πλοίου και του δρομολογίου, που θα εκτελούσε, που είναι η άγωνα γραμμή: «Λέσβος → Χίος → Σάμος → Πυθαγόρειο → Αγαθονήσι → Λειψοί → Λέρος → Κάλυμνος → Κως → Ρόδος → Κως → Κάλυμνος → Λέρος → Λειψοί → Αγαθονήσι → Πυθαγόρειο → Σάμος → Χίος → Λέσβος». Η εν λόγω γραμμή δεν είναι αρκετά ανταγωνιστική στο χώρο της ναυτιλιακής αγοράς, έτσι όπως κινείται σήμερα τουλάχιστον και εξυπηρετείται κυρίως από πλοία παλαιότερης τεχνολογίας. Αυτό λοιπόν δικαιολογεί και την τρίτη απαίτηση που αφορά τις σχετικά χαμηλές απόλυτες ταχύτητες που πρέπει να πετυχαίνει το υπό μελέτη πλοίο; 17 κόμβοι που αντιστοιχούν σε σχετικά υψηλό αριθμό Froude, $F_n=0.312$. Με βάση λοιπόν τις παραπάνω απαιτήσεις και τη συλλογή διάφορων στοιχείων από το πατρικό πλοίο "ARTEMIS" της Hellenic Seaways και κάποια όμοια από τη βάση δεδομένων του Πολυτεχνείου, θα ξεκινήσουμε τη μελέτη μας.

Κατά την πορεία αυτής της διπλωματικής έγινε ενασχόληση με τα βασικότερα μέρη της προμελέτης πλοίου (1η έως 5η σπείρα μελέτης). Αρχικά έγινε μια πρώτη εκτίμηση των βασικών χαρακτηριστικών και της ισχύος πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα Σχέδια Γραμμών, Γενικής Διάταξης και Στοιβάσις οχημάτων και υπολογίσθηκαν αναλυτικά με τη βοήθεια της διδακτορικής διατριβής του Σωτήρη Σκούπα το βάρος του κενού σκάφους (Lightship) και το πρόσθετο βάρος (DWT). Ακολούθησε υπολογισμός χωρητικότητας, μελών πληρώματος, δείκτη εξαρτισμού, γραμμής φόρτωσης, υδροστατικών μεγεθών, ενώ μελετήθηκε η άθικτη ευστάθεια και η ευστάθεια μετά από βλάβη. Ύστερα πραγματοποιήθηκε αναλυτική μελέτη αντίστασης, πρόωσης και πηδαλίου και η εργασία ολοκληρώθηκε με την οικονομική αξιολόγηση του υπό μελέτη πλοίου. Μαζί με την εργασία επισυνάπτονται τα κατασκευαστικά σχέδια που εκπονήθηκαν στο πλαίσιο της όλης μελέτης, τα

οποία είναι : Σχέδιο Γραμμών (Lines Plan), Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement), Σχέδιο Χωρητικότητας (Capacity Plan), Σχέδιο Εγκαρσίων Τομών (Transversal Sections) στο Marspeed, συμπεριλαμβανομένου και αυτού της Μέσης Τομής (Midship Section), Σχέδιο Κατακλυσίμων Μηκών (Floodable Lengths), Σχέδιο Έλικας (Propeller Design) και τέλος, Σχέδιο Στοιβασίας Οχημάτων (Stowage of Vehicles). Επιπλέον συντάχθηκε Loading Manual για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης σε άθικτη κατάσταση για τις οποίες έγινε και έλεγχος διαμήκους αντοχής, αλλά και σε κατάσταση μετά από βλάβη. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι τα: AutoCAD, Tribon, Rhinoceros, Autoship, NavCad και PropCad.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παπανικολάου για τις χρήσιμες συμβουλές και τις κατευθυντήριες γραμμές, που μου έδινε καθόλη την περίοδο εκπόνησης της εργασίας μου, όπως επίσης και τους κ. Παπατζανάκη, κ. Ηλιοπούλου και κ. Αλησαφάκη, οι οποίοι ήταν άμεσοι και βοηθητικοί σε ό,τι κι αν τους χρειάστηκα. Δεν θα ξεχάσω προφανώς να ευχαριστήσω τους γονείς μου, που μου στάθηκαν δίπλα μου όλον αυτόν τον καιρό και των οποίων η παρουσία δίπλα μου ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής και γενικότερα για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
1. Εκτίμηση κύριων διαστάσεων, συντελεστών μορφής και ισχύος πρόωσης.....	6
1.1. Απαιτήσεις πλοιοκλήτη	6
1.2. Όμοια πλοία	6
1.3. Υπολογισμός βασικών διαστάσεων	7
1.4. Εφαρμογή του κανονισμού γραμμής φόρτωσης.....	9
1.5. Υπολογισμός τελικών διαστάσεων και εκτίμηση ισχύος πρόωσης.....	13
2. Ανάπτυξη Σχεδίου Ναυπηγικών Γραμμών	16
3. Ανάπτυξη Σχεδίου Γενικής Διάταξης.....	18
3.1. Tank Top	19
3.2. Car Deck.....	19
3.3. Intermediate Deck.....	20
3.4. Saloon Deck	20
3.5. Bridge Deck.....	21
3.6. Sun Deck	21
4. Ανάλυση βάρους κενού σκάφους (W_{LS})	22
4.1. Βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST}).....	22
4.2. Βάρος εξοπλισμού (W_{OT}).....	39
4.3. Βάρος ενδιαίτησης (W_{ACC}).....	47
4.4. Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M).....	50
4.5. Βάρος κενού σκάφους (W_{LS})	56
4.6. Κριτική των αποτελεσμάτων	57
5. Υπολογισμός μέγιστου αριθμού επιβατών	59
6. Ανάλυση πρόσθετου βάρους DWT	62
7. Μελέτη στοιβασίας οχημάτων.....	69
7.1. Full Load Departure - Arrival	70
7.2. 70% Passengers & 50% Vehicles Departure	71
7.3. Winter Departure - Arrival	72
8. Καταμέτρηση - Σύνθεση πληρώματος - Δείκτης εξαρτισμού - Γραμμή φόρτωσης.....	74
8.1. Καταμέτρηση	74
8.2. Σύνθεση πληρώματος	78
8.3. Δείκτης εξαρτισμού	80
8.4. Γραμμή φόρτωσης.....	82
9. Κατασκευή επιφάνειας και διαμερισματοποίηση μοντέλου.....	88
10. Υδροστατικοί υπολογισμοί και κατάστρωση καταστάσεων φόρτωσης	89

11. Μελέτη άθικτης ευστάθειας	91
12. Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη	95
12.1. Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS 1990.....	95
12.2. Stockholm Agreement.....	102
12.3. Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS 2009.....	104
13. Υπολογισμός αντίστασης	108
13.1. Ανάλυση μεθόδου Hollenbach.....	109
13.2. Αποτελέσματα αντίστασης για τις τρεις μεθόδους.....	112
13.3. Τελικά αποτελέσματα αντίστασης.....	114
14. Υπολογισμός πρόωσης	116
14.1. Επιλογή ελίκων.....	116
14.2. Συνεργασία έλικας - πλοίου	120
14.3. Επιλογή κύριων μηχανών.....	122
14.4. Γεωμετρία έλικας	124
15. Επιλογή και διαστασιολόγηση πηδαλίου	128
15.1. Επιλογή διαστάσεων πηδαλίου	128
15.2. Ζυγοστάθμιση πηδαλίου.....	129
15.3. Υπολογισμός δύναμης και ροπής στο πηδάλιο σύμφωνα με τον D.N.V.....	132
16. Προϋπολογισμός κόστους	135
16.1. Κόστος κτήσης του πλοίου	136
16.2. Κόστος εκμετάλλευσης	143
16.3. Ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος.....	146
17. Ανακεφαλαίωση/ Σχολιασμός	150
18. Προτάσεις για μελλοντική επέκταση της εργασίας	151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ	152
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α": Σχέδιο Γραμμών	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Β": Σχέδιο Γενικής Διάταξης/ Σχέδιο Χωρητικότητας	155
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Γ": Σχέδιο Κατακλισίμων Μηκών	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Δ": Σχέδιο Μέσης Τομής	157
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ε": Σχέδια Στοιβασίας Οχημάτων	158
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ζ": Σχέδιο Έλικας	159
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Η": Manual κύριων μηχανών	160
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Θ": Manual ηλεκτρογεννητριών	161
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ι": Manual μειωτήρων	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Κ": Υδροστατικά στοιχεία	163
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Λ": Αποτελέσματα άθικτης ευστάθειας	164
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Μ": Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη (SOLAS 90)	165
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ν": Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη (Stockholm Agreement) . 166	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ξ": Υπολογισμός αντίστασης με το πρόγραμμα NavCad	167
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Ο": Υπολογισμός πρόωσης για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας	168

1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ

1.1. Απαιτήσεις πλοιοκτ΄η

Οι κύριες απαιτήσεις σχεδίασης που δόθηκαν για την εκπόνηση του θέματος της διπλωματικής εργασίας φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.1.1):

Τύπος Πλοίου	Ε/Γ - Ο/Γ κλειστού τύπου
Μήκος μεταξύ καθέτων	$L_{BP} = 80 \text{ m}$
Ακτίνα ενέργειας	A.R. = 599.42 sm
Ταχύτητα υπηρεσίας	$V_s = 17.0 \text{ kn}$
Επιβάτες θέρους	1250 περίπου
Ι.Χ. αυτοκίνητα	100 περίπου
Νηογνώμονας	Οποιοσδήποτε αναγνωρισμένος

Πίνακας 1.1.1: Κύριες απαιτήσεις σχεδίασης

1.2. Όμοια πλοία

Για την αρχική εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου θα χρησιμοποιηθούν στοιχεία από κάποια όμοια κατασκευασμένα πλοία, μεταξύ αυτών και του πατρικού πλοίου ARTEMIS. Τα χαρακτηριστικά των ομοίων πλοίων ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Πολυτεχνείου, ενώ του πατρικού μαζί με τα απαραίτητα σχέδια από τα γραφεία της Hellenic Seaways. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.2.1):

Το υπό μελέτη πλοίο θα ονομαστεί "IRAKLIS".

	Artemis (πατρικό)	Aiakos	Alexandros M	Aqua Spirit	Dimitrios P
L_{OA} (m)	89.76	82.40	75.80	75.40	75.80
L_{BP} (m)	77.35	65.20	64.80	58.80	61.70
B_{MAX} (m)	14.00	17.12	16.40	15.00	16.40
B_{mid} (m)	-	-	-	-	-
D (m)	4.90	3.20	3.60	4.20	3.20
D_{car} (m)	4.90	3.20	3.60	4.20	3.20
T_d (m)	3.65	2.20	2.50	3.13	2.05
Δ (tn)	1881	1378	1499	1556	1217
DWT (tn)	446.49	717	889	353	569
LS (tn)	1424	661	610	1203	648
Επιβ Θ/Χ	1250/826	1073	-	1000	953
Αρ ΙΧ	58	124	83	96	114
V_s (kn)		12		17	12
BHP (hp)	5652	1844	1632	6526	1568
L_{BP}/B_{mid}	5.525	3.81	3.95	3.92	3.76
L_{BP}/D	15.79	20.37	21.06	17.95	23.69
B_{mid}/T	3.84	7.78	6.56	4.79	8.00
D/T	1.34	1.45	1.44	1.34	1.56
C_B	0.46	0.55	0.55	0.55	0.57
C_N (tn-kn-hp)		116.04		101.09	125.62
$LS/(L_{BP}B_{mid}D)$ (tn/m ³)	0.27	0.19	0.16	0.32	0.20

Πίνακας 1.2.1: Χαρακτηριστικά ομοίων πλοίων

1.3.Υπολογισμός βασικών διαστάσεων

Υπολογισμός μέγιστου πλάτους με βάση τη στοιβασία των οχημάτων

Θεωρούμε ότι κατά το μέγιστο πλάτος του πλοίου έχουμε μια σειρά από 6 οχήματα. Επιπλέον θεωρούμε απόσταση μεταξύ κάθε οχήματος 0.25m, πλάτος ενισχυτικού 0.10m, απόσταση των δύο πιο απομακρυσμένων οχημάτων από την Center Line του πλοίου 0.5m και πλάτος κάθε οχήματος (τα θεωρούμε όλα ίδιων διαστάσεων) 1.777m. Έτσι το πλάτος του πλοίου υπολογίζεται ως εξής:

$$B_{MAX} = 6 \cdot 1.777 + 5 \cdot 0.25 + 2 \cdot (0.5 + 0.10) = 13.112m$$

Επιλέγω μεγαλύτερο πλάτος: $B_{MAX} = 15m$

Απαιτήσεις

Από τα παραπάνω έχουμε τις παρακάτω έχουμε τις εξής απαιτήσεις:

1)Απαίτηση από εκφώνηση

Η βασική απαίτηση που μας δόθηκε για τη σχεδίαση του υπό μελέτη πλοίου είναι η απαίτηση για το μήκος του, 80 μέτρα. Συνεπώς παίρνουμε:

$$L_{BP}=80m$$

2)Απαίτηση στοιβασίας

Όπως προσδιορίσαμε προηγουμένως λόγω στοιβασίας θα έχουμε:

$$B=15m$$

3)Απαίτηση από λόγους και αδιάστατους συντελεστές πατρικού πλοίου

Για το πατρικό πλοίο Artemis παίρνουμε:

$$\frac{L_{BP}}{D_{CD}} = \frac{77.35}{4.90} \Leftrightarrow \frac{L_{BP}}{D_{CD}} = 15.79$$

Υποθέτοντας σταθερό τον παραπάνω λόγο και για το υπό μελέτη πλοίο έχουμε:

$$\frac{L_{BP}}{D_{CD}} = 15.79 \Leftrightarrow D_{CD} = \frac{L_{BP}}{15.79} \Leftrightarrow D_{CD} = \frac{80}{15.79} \Leftrightarrow D_{CD} = 5.10m$$

Έτσι θεωρούμε το κοίλο στο car deck:

$$D_{CD}=5.10m$$

Επίσης για το πατρικό πλοίο Artemis έχουμε:

$$\frac{D_{CD}}{T} = \frac{4.90}{3.65} \Leftrightarrow \frac{D_{CD}}{T} = 1.34$$

Διατηρώντας λοιπόν σταθερό τον παραπάνω λόγο για το υπό μελέτη πλοίο μας παίρνουμε:

$$\frac{D_{CD}}{T} = 1.34 \Leftrightarrow \frac{5.10}{T} = 1.34 \Leftrightarrow T = 3.81m$$

Έτσι το βύθισμά μας προκύπτει:

$$T=3.81m$$

Στην πραγματικότητα το βύθισμα που βρήκαμε, ενδέχεται να μη μπορεί να επιτευχθεί, καθώς εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την πλέον βεβαρημένη κατάσταση φόρτωσης του πλοίου (βλ. Κεφάλαιο 10), ενώ συναρτάται παράλληλα και με το βύθισμα αντοχής και το βύθισμα γραμμής φόρτωσης.

Επιπλέον θεωρούμε για το συντελεστή γάστρας του υπό μελέτη πλοίου, $c_b=0.55$. Η τιμή αυτή οριστικοποιήθηκε στην παρούσα φάση κατόπιν συνεννόησης με τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπανικολάου, καθώς ο συντελεστής γάστρας του πατρικού πλοίου Artemis $c_b=0.46$ απέκλινε σημαντικά από τα στατιστικά στοιχεία συντελεστών μορφής επιβατηγών πλοίων [Πίνακας 2.4(α): Συντελεστές Μορφής και Λόγοι Διαστάσεων για Εμπορικά Πλοία, από βιβλίο «Μελέτη Πλοίου Τόμος Α' Μεθοδολογία Προμελέτης»] και έτσι δεν μπορούσε να διατηρηθεί ίδιος και για το υπό μελέτη πλοίο. Φυσικά, στις επόμενες φάσεις της μελέτης, όπως στην ανάπτυξη Σχεδίου Γραμμών ή στην κατάστρωση καταστάσεων φόρτωσης, ενδέχεται να αλλάξει σε κάποιο βαθμό ο συντελεστής γάστρας. Για να υπολογίζουμε το γεωμετρικό εκτόπισμα του πλοίου, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το βύθισμα $T=3.81m$ ικανοποιεί τους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης. Έτσι θα γίνει εφαρμογή του IMO LOAD LINES 2005 για τον έλεγχο του βυθίσματος. Επισημαίνεται ότι υπολογισμός γραμμής φόρτωσης γίνεται και στο Κεφάλαιο 8, για τα τελικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, ύστερα από την ολοκλήρωση της μελέτης των καταστάσεων φόρτωσης και του ελέγχου ευστάθειας και διαγωγής τους.

1.4. Εφαρμογή του κανονισμού γραμμής φόρτωσης

Στο παρόν κεφάλαιο θα υπολογίσουμε το ελάχιστο ύψος εξάλων και θα ελέγξουμε το ελάχιστο ύψος πλώρας σύμφωνα με τους κανονισμούς του "IMO LOAD LINES".

REGULATION 3

Καταρχάς πρέπει να επιλέξουμε το μήκος πλοίου L που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς μας και το οποίο θα είναι το μεγαλύτερο από τα παρακάτω:

- 96% του ολικού μήκους μίας ισάλου σε ύψος 85% του D_{CD} :

$$0.96L_{WL} \text{ at } 85\%D_{CD}=80.32m$$

- Απόσταση μεταξύ πηδαλίου και ακροπρωραίου στο ύψος 85% του D_{CD} :

$$L_R=80.635m$$

Οι παραπάνω αποστάσεις μετρήθηκαν από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου.

Επομένως:

$$L_F = \max\{L_{WL} \text{ at } 85\%D_{CD}, L_R\} \Rightarrow L_F = L_R = 80.635\text{m}$$

Συνεπώς αυτό θα είναι το μήκος που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια για τον υπολογισμό της Γραμμής Φόρτωσης.

REGULATION 28

Για πλοίο κατηγορίας Β, το βασικό ύψος εξάλων θα είναι:

$$\boxed{BYE = 898 \text{ mm}}$$

REGULATION 29

Το πλοίο έχει μήκος κάτω από 100 m και $E > 35\%L$, οπότε δεν έχουμε διόρθωση, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$YE_2 = BYE \Leftrightarrow YE_2 = 898\text{mm}$$

Οπότε:

$$\boxed{YE_2 = 898\text{mm}}$$

REGULATION 30

Γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής γάστρας του πλοίου μας είναι $C_B = 0.55$ σε βύθισμα $T=3.81\text{m}$ και θέλουμε να υπολογίσουμε τον αντίστοιχο συντελεστή γάστρας σε βύθισμα ίσο με το 85% του κοίλου. Ο υπολογισμός του συντελεστή γάστρας θα γίνει ως εξής :

$$C_{B_{0.85D}} = C_B \cdot \left(\frac{0.85 \cdot D}{T}\right)^{C_{WL} - 1} = 0.55 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot 5.1}{3.81}\right)^{0.70 - 1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C_{B_{0.85D}} = 0.57 < 0.68$$

$$\text{όπου: } C_{WL} = \frac{1+2 \cdot C_B}{3} = \frac{1+2 \cdot 0.55}{3} \Leftrightarrow C_{WL} = 0.70$$

Εφόσον ο συντελεστής γάστρας σε βύθισμα $0.85 \cdot D$ είναι μικρότερος από 0.68 δε γίνεται καμία διόρθωση . Άρα:

$$\boxed{YE_3 = 898\text{mm}}$$

REGULATION 31

Το πάχος του ελάσματος του καταστρώματος θεωρείται ίσο με $t=12\text{mm}$. Επομένως είναι :

$$D_f = D + t \Rightarrow D_f = 5.1 + 0.012 = 5.112 < 5.376 = \frac{L}{15}$$

Όμως διόρθωση θα γίνει διότι έχουμε υπερκατασκευή που εκτείνεται καθ' όλο το μήκος του πλοίου. Έτσι υπολογίζουμε :

$$YE_4 = YE_3 + (D_f - \frac{L}{15}) \cdot R$$

$$\text{όπου: } R = \frac{L}{0.48} \Rightarrow R = \frac{80.635}{0.48} \Rightarrow R = 168$$

Έτσι προκύπτει:

$$YE_4 = YE_3 + (D_f - \frac{L}{15}) \cdot R \Rightarrow YE_4 = 898 + (5.112 - 5.376) \cdot 168 \Rightarrow YE_4 = 854 \text{ mm}$$

REGULATION 32

Δεν κάνουμε καμία διόρθωση διότι δεν έχουμε D_{CD} camper.

REGULATION 33

- Πραγματικό ύψος υπερκατασκευής: $h = 2.4 \text{ m}$
- Κανονικό ύψος υπερκατασκευής: $h_s = 1.86 \text{ m}$

Επειδή $\frac{h}{h_s} > 1$ λαμβάνουμε $\frac{h}{h_s} = 1$.

REGULATION 34

Το πραγματικό μήκος ισούται με το δρων μήκος δηλαδή $S = E = 1.0 \cdot L$, διότι η πρώτη υπερκατασκευή πάνω από το car deck εκτείνεται από το ακροπρυμναίο ως το ακροπρωραίο σημείο του πλοίου.

REGULATION 35

$$E = S \cdot \frac{h}{h_s} \cdot \frac{b}{B_s} \Rightarrow E = S = 1.0 \cdot L = 80.635 \text{ m},$$

αφού $\frac{h}{h_s} = 1$ όπως προαναφέραμε και $\frac{b}{B_s} = 1$ διότι έχουμε υπερκατασκευή που

εκτείνεται καθ' όλο το μήκος του πλοίου και οι πλευρές της συμπίπτουν με τις πλευρές του πλοίου.

REGULATION 36

Από το γεγονός ότι οι πλευρές της υπερκατασκευής συμπίπτουν με τις πλευρές του πλοίου καθ' όλο το μήκος του, μπορούμε να αποφανθούμε ότι πρόκειται για υπερκατασκευή και όχι για πυργωτό υπερστέγασμα.

REGULATION 37

Όπως προαναφέραμε, $E=S=1.0$ $L=80.635m$.

Μείωση ύψους εξάλων για $E = 1.0$ L και $L=80.635m$: 824mm

Έτσι η μείωση του ύψους εξάλων θα είναι:

$$YE_5 = YE_4 - 824 \Rightarrow YE_5 = 854 - 824 \Rightarrow YE_5 = 30mm$$

REGULATION 38

Το μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας για όλο το πλοίο υπολογίζεται ως:

$$M_N = \frac{M_{NF} + M_{NA}}{2} = \frac{16.6750 + 8.3375}{2} \cdot \left(\frac{L}{3} + 10 \right) = 12.50625 \cdot \left(\frac{80.635}{3} + 10 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_N = 461mm$$

Το πλοίο επιλέγεται να έχει μηδενική πραγματική σιμότητα, $M_5 = 0$ mm.

Συνεπώς, έχουμε διόρθωση:

$$YE_6 = YE_5 + (M_N - M_5) \cdot \left(0.75 - \frac{S}{2L} \right) = 30 + (461 - 0) \cdot (0.75 - 0.5) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{YE_6 = 145 \text{ mm}}$$

Συνεπώς το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα σύμφωνα με τους κανονισμούς της Γραμμής Φόρτωσης θα είναι:

$$T_{\Gamma\Phi} = D_F - FB = 5.112 - 0.145 \Rightarrow$$

$$\boxed{T_{\Gamma\Phi} = 4.967m} > 3.81m = T_d$$

Συνεπώς το πλοίο μας πληρεί τον κανονισμό περί ελάχιστου ύψους εξάλων. Το τελευταίο που θα πρέπει να ελέγξουμε είναι ο κανονισμός περί ελάχιστου ύψους πλώρας.

REGULATION 39

Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πλώρας ή ελάχιστο ύψος εξάλων στην πωραία κάθετο, το οποίο πρέπει να έχει το νέο πλοίο, δίνεται για πλοία με $L < 250$ m, από τη σχέση :

$$F_{F.P.} = 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500} \right) \cdot \frac{1.36}{C_{B \ 0.85D} + 0.68} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_{F.P.} = 56 \cdot 80.635 \cdot \left(1 - \frac{80.635}{500} \right) \cdot \frac{1.36}{0.57 + 0.68} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{F.P.} = 4.121m$$

Το υπάρχον βύθισμα είναι $T=3.81m$ και συνεπώς το υπάρχον ύψος εξάλων θα είναι: $YE=D_F-T+h_{sup}= 5112- 3810+2400 = 3702mm < 4121mm$. Προκύπτει, λοιπόν, ότι ενώ το πλοίο μας ικανοποιεί το ελάχιστο ύψος εξάλων, δε συμμορφώνεται με τον κανονισμό περί ελάχιστου ύψους πλώρας. Θα αναζητήσουμε λοιπόν ένα νέο βύθισμα που θα ικανοποιεί και τον περιορισμό για το ύψος εξάλων και αυτόν για το ελάχιστο ύψος πλώρας. Το βύθισμα που θα καλύπτει τη τελευταία απαίτηση, είναι αυτό που ικανοποιεί την παρακάτω εξίσωση:

$$EYP=D_F-T+h_{sup} \Leftrightarrow 4.121=5.112-T+2.400 \Leftrightarrow T=3.39m$$

Ταυτόχρονα το βύθισμα που υπολογίσαμε πρέπει να ικανοποιεί και το ελάχιστο ύψος εξάλων. Με το νέο βύθισμα που προέκυψε πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία της γραμμή φόρτωσης για τον υπολογισμό του ελάχιστου ύψους εξάλων. Εύκολα φαίνεται όμως ότι μόνο το REGULATION 30 επηρεάζεται άμεσα από το βύθισμα, οπότε:

REGULATION 30

Πλέον σε βύθισμα $T=3.39m$ θεωρούμε ότι διατηρείται ίδιος ο συντελεστής γάστρας, $C_B = 0.55$. Ο συντελεστής γάστρας σε βύθισμα ίσο με το 85% του κοίλου θα προκύψει ως:

$$C_{B_{0.85D}} = C_B \cdot \left(\frac{0.85 \cdot D}{T} \right)^{\frac{C_{WL}}{C_B} - 1} = 0.55 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot 5.1}{3.39} \right)^{\frac{0.70}{0.55} - 1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C_{B_{0.85D}} = 0.59 < 0.68$$

Οπότε δε γίνεται καμία διόρθωση . Άρα το απαιτούμενο ύψος εξάλων θα παραμείνει ίδιο με πριν, δηλαδή: $FB = 0.145 m$

Οπότε, το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα είναι :

$$T_{ΓΦ} = D_F - FB = 5.112 - 0.145 \Rightarrow T_{ΓΦ} = 4.967m > 3.39m = T_d$$

1.5. Υπολογισμός τελικών διαστάσεων και εκτίμηση ισχύος πρόωσης

Έτσι προσδιορίζουμε τη μεταφορική ικανότητα του υπό μελέτη πλοίου με το νέο μας πλέον βύθισμα. Έχουμε λοιπόν:

$$\Delta_r = c \cdot \gamma \cdot L \cdot B \cdot T \cdot c_B \Leftrightarrow \Delta_r = 1.029 \cdot 80 \cdot 15 \cdot 3.39 \cdot 0.55 \Leftrightarrow \Delta_r = 2302 \text{ tn}$$

Διατηρώντας ίδιο τον συντελεστή w_{LS} του πατρικού μας για το υπό μελέτη πλοίο μας έχουμε για το βάρους κενού σκάφους:

$$w_{LS} = \frac{LS}{L \cdot B \cdot D} \Leftrightarrow LS = w_{LS} \cdot L \cdot B \cdot D \Leftrightarrow LS = 0.27 \cdot 80 \cdot 15 \cdot 5.1 \Leftrightarrow LS = 1652 \text{ tn}$$

αφού για το πατρικό:

$$w_{LS} = \frac{LS}{L \cdot B \cdot D} \Leftrightarrow w_{LS} = \frac{1424}{77.35 \cdot 14 \cdot 4.90} \Leftrightarrow w_{LS} = 0.27 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}$$

Και επακόλουθα το νέο πρόσθετο βάρος DWT θα γίνει:

$$DWT = \Delta_r - LS \Leftrightarrow DWT = 2302 - 1652 \Leftrightarrow DWT = 650 \text{ tn}$$

Υπολογίζουμε με βάση εμπειρικούς τύπους από το βιβλίο "ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΟΙΟΥ Ι (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ) ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΜΑΤΩΝ" σελ.38 τους υπόλοιπους συντελεστές μορφής:

- $c_M = 0.9 + 0.1 \cdot c_B \Leftrightarrow c_M = 0.9 + 0.1 \cdot 0.55 \Leftrightarrow c_M = 0.955$
- $c_p = \frac{c_B}{c_M} \Leftrightarrow c_p = \frac{0.55}{0.955} \Leftrightarrow c_p = 0.576$

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος, σε πρώτη προσέγγιση, θα χρησιμοποιήσουμε το συντελεστή αγγλικού ναυαρχείου C_N του όμοιου πλοίου AQUA SPIRIT, λόγω έλλειψης στοιχείων του πατρικού πλοίου. Επιλέγουμε το συγκεκριμένο πλοίο μεταξύ όλων των ομοίων πρώτον διότι έχει όμοια μορφή γάστρας με το υπό μελέτη πλοίο.

Από το συντελεστή αγγλικού ναυαρχείου C_N του όμοιου πλοίου AQUA SPIRIT έχουμε:

$$C_{AD} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{P_B} = 101.09 \text{ [tn-kn-HP]}$$

Οπότε για το νέο πλοίο θα έχουμε:

$$P_B = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{C_{AD}} = \frac{2302^{2/3} \cdot 17^3}{101.09} = 8473 \text{ HP}$$

$$\Rightarrow P_B = 7932 \text{ HP} = 6323 \text{ kW}$$

Έτσι παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.2) για τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου που βρήκαμε μέχρι στιγμής.

Μήκος μεταξύ καθέτων:	$L_{BP} =$	80	m
Πλάτος:	$B =$	15	m
Κοίλο:	$D =$	5.1	m
Βύθισμα:	$T =$	3.39	m
Συντελεστής Γάστρας:	$C_B =$	0.55	-
Συντελεστής Μέσης Τομής:	$C_M =$	0.955	-
Πρισματικός Συντελεστής:	$C_P =$	0.576	-
Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας:	$C_{WL} =$	0.700	-
Γεωμετρικό Εκτόπισμα:	$\Delta_T =$	2302	tn
Μεταφορική ικανότητα:	$DWT =$	650	tn
Βάρος κενού σκάφους	$LS =$	1652	tn
Συντελεστής Βάρους:	$w_{LS} =$	0.27	tn / m ³
Απαιτούμενη ισχύς πρόωσης	$P_B =$	7932	HP

Πίνακας 1.5.1: Τελικές διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

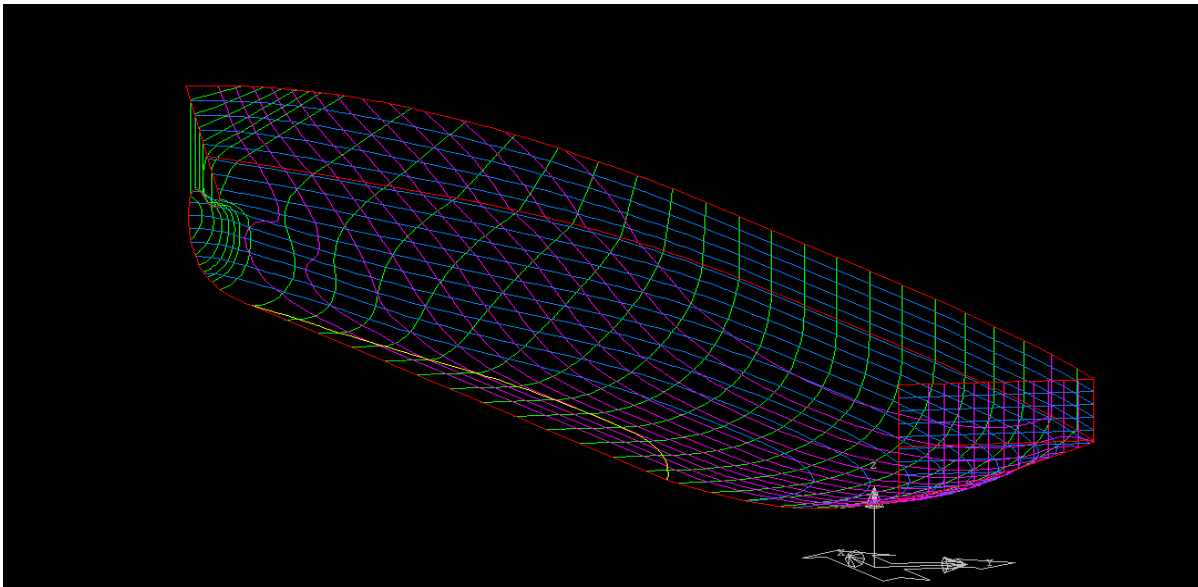
Σημειώνεται για μια ακόμη φορά ότι οι διαστάσεις που βρέθηκαν στην πρώτη σπείρα της μελέτης ενδέχεται να αλλάξουν κατά την πορεία. Αυτό είναι λογικό καθώς δεν έχουν ακόμη κατασκευαστεί γραμμές για το υπό μελέτη πλοίο, δεν έχει γίνει ανάλυση Lightship, ούτε είναι γνωστές οι αναλυτικές καταστάσεις φόρτωσης, από τις οποίες θα προκύψει το μέγιστο βύθισμα και όλα τα υπόλοιπα υδροστατικά χαρακτηριστικά, που επηρεάζονται άμεσα από αυτό, όπως το γεωμετρικό εκτόπισμα, το ωφέλιμο φορτίο, οι συντελεστές μορφής και άλλα.

2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

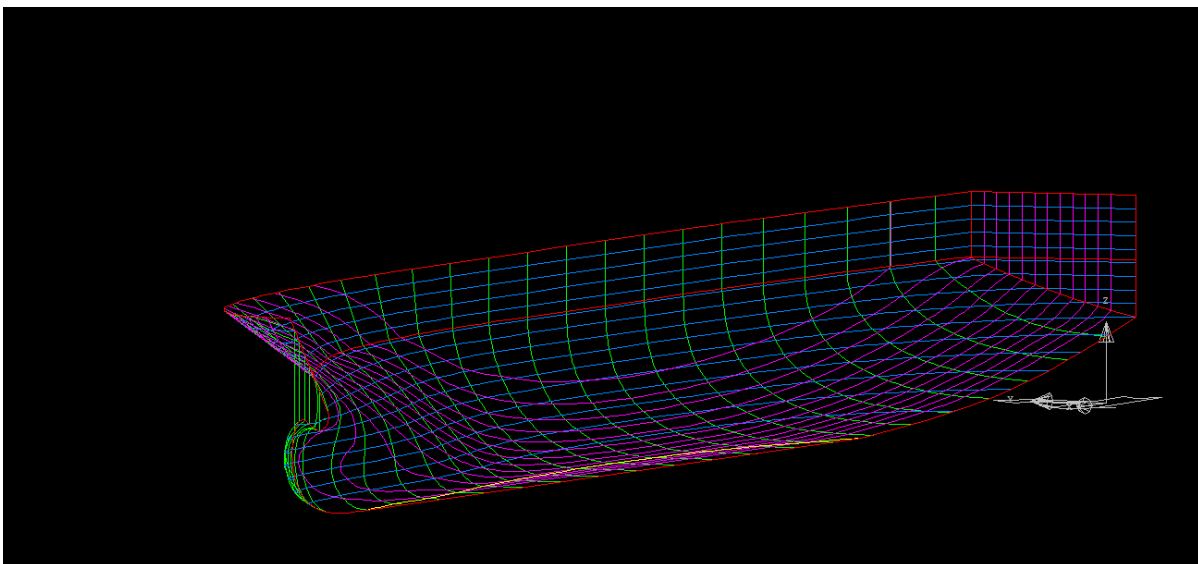
Για τη σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών του υπό μελέτη πλοίου μας έγινε χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Avena Lines. Παρακάτω παρουσιάζουμε με χρονική σειρά τα βήματα, τα οποία ακολουθήσαμε για την κατασκευή του Σχεδίου Γραμμών του πλοίου μας.

- Συγκέντρωση στοιχείων για τις γραμμές του πατρικού πλοίου ARTEMIS. Τα στοιχεία αυτά ήταν τα ημιπλάτη (Offsets) για κάθε νομέα (Section) και για κάθε ίσαλο γραμμή (Waterline), τα οποία στο σύνολό τους καθορίζουν τις ναυπηγικές του πατρικού μας πλοίου, οι οποίες δεν μου δόθηκαν σε μορφή σχεδίου από την Hellenic Seaways.
- Scale των γραμμών του πατρικού μας πλοίου με τη βοήθεια του Excel, με στόχο την παραγωγή σημείων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του υπό μελέτη πλοίου μας ($L=80m$, $B=15m$, $D_{CD}=5.1m$, $D_{ID}=7.5m$).
- Εισαγωγή των σημείων που υπολογίσαμε μέσα στο Avena Lines. Δημιουργήσαμε στη συνέχεια Stern Profile, Stem Profile, FOB (Flat of bottom), FOS (Flat of side), Sections, Waterlines και Buttocks. Παράλληλα προσθέσαμε βολβό στο πλοίο μας, κάτι που το πατρικό δε διέθετε, ενώ αυξήσαμε σημαντικά την πληρότητα της γάστρας του (άνοιγμα νομέων) σε σχέση με το πατρικό, που χαρακτηριζόταν από αρκετά μικρό c_B ίσο με 0.46.
- Λεπτομερείς και ακριβείς εξομαλύνσεις μεταξύ Sections και Waterlines αρχικά και στη συνέχεια μεταξύ Sections, Waterlines και Buttocks. Η κυκλική αυτή διαδικασία σταμάτησε όταν η εξομάλυνση των ανωτέρω καμπυλών ήταν ικανοποιητική και η απόδοση της γάστρας κατά το δυνατό πιστότερη. Οι κύριες όψεις του μοντέλου γραμμών, Profile view, Body view και Plan view εισάγονται στο AutoCAD για τη δημιουργία του Σχεδίου Γραμμών.

Σημειώνεται ότι η σχεδίαση των γραμμών του πλοίου έγινε μέχρι το Intermediate Deck ($D_{ID}=7.5m$), το κατάστρωμα δηλαδή που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το Car Deck. Παρακάτω φαίνεται χαρακτηριστικά το τρισδιάστατο μοντέλο γραμμών του πλοίου μας στα Σχήματα 2.1 και 2.2. Το Σχέδιο Γραμμών επισυνάπτεται στο Παράρτημα Α στο τέλος της εργασίας.



Σχήμα 2.1: Τρισδιάστατο μοντέλο γραμμών IRAKLIS στο Avena Lines (1)



Σχήμα 2.2: Τρισδιάστατο μοντέλο γραμμών IRAKLIS στο Avena Lines (2)

Σημειώνεται ότι στο Κεφάλαιο 9 με βάση το Lines Plan που κατασκευάσαμε, θα δημιουργήσουμε μια επιφάνεια (Surface) με στόχο την παραγωγή και τη διαμερισματοποίηση (Compartmentation) του μοντέλου του υπό μελέτη πλοίου, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως για τη μελέτη της ευστάθειάς του αλλά και για επιπλέον υδροστατικούς υπολογισμούς. Οι εν λόγω διαδικασίες, μαζί με τη λειτουργία των προγραμμάτων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη διεκπεραίωσή τους, αναλύονται στο ίδιο κεφάλαιο.

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή του Σχεδίου Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου. Για την κατασκευή του, βασιστήκαμε στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πατρικού μας πλοίου "ARTEMIS", στο Σχέδιο Γραμμών (Κεφάλαιο 2), στις βασικές διαστάσεις που προέκυψαν από το Κεφάλαιο 1 (μήκος, πλάτος, κοίλο). αλλά και στους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς ασφάλειας και ενδιαιτήσεως.

Το πατρικό πλοίο διαθέτει πέντε καταστρώματα: Car Deck, Intermediate Deck, Saloon Deck, Bridge Deck και Sun Deck. Πάνω στα Car Deck και Intermediate Deck τοποθετούνται οχήματα, ενώ τα Saloon Deck και Bridge Deck αποτελούν χώρους ενδιαίτησης επιβατών. Η διαρρύθμιση των καταστρωμάτων θα διατηρηθεί ίδια και για το υπό μελέτη πλοίο. Επιπλέον, του δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς οχημάτων και πάνω στο Διπύθμενο (Tank Top), κάτι που μας δίνει το περιθώριο να αυξήσουμε σε ένα βαθμό τη μεταφορική ικανότητα του υπό μελέτη πλοίου σε σχέση με το πατρικό του. Η ισαπόσταση καθ' ύψος μεταξύ των καταστρωμάτων είναι 2.4 μέτρα.

Ως κατάστρωμα στεγανών φρακτών ορίζουμε το Car Deck, σε ύψος 5.1 μέτρα από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Το ύψος του διπύθμενου λαμβάνεται ίδιο με αυτό του πατρικού $h_{DB}=1.4m$. Οι κανονισμοί της SOLAS ορίζουν ελάχιστο ύψος διπύθμενου ίσο με $B/20=15/20=0.75$, οπότε είμαστε μέσα στα όρια.

Η ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων (frame spacing) επιλέγεται 500mm καθ' όλο το μήκος του πλοίου. Οι ενισχυμένοι νομείς (web frames) τοποθετούνται ανά τρεις κατασκευαστικούς νομείς, συνεπώς η ισαπόστασή τους είναι 1500mm. Κατά τη διαμερισματοποίηση του πλοίου, εισάγονται 11 εγκάρσιες υδατοστεγείς φρακτές, που εκτείνονται καθ' ύψος μέχρι το Car Deck. Έτσι δημιουργούμε 12 διαμήκη διαμερίσματα. Η πρώτη φρακτή, που τοποθετήθηκε ήταν η φρακτή σύγκρουσης σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS (Chapter II-1, Regulation 10) σε απόσταση 5.5 μέτρων από την πρωραία κάθετο (frame 149). Η εφαρμογή του εν λόγω κανονισμού παρουσιάζεται στο Σχέδιο Κατακλυσίμων Μηκών. Επιπλέον, η πρωραία φρακτή σύγκρουσης προεκτείνεται από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (Car Deck), μέχρι το αμέσως επόμενο συνεχές κατάστρωμα (Intermediate Deck). Να σημειωθεί ότι η πρόσβαση στους χώρους πλώραθεν της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης επιτυγχάνεται μέσω υδατοστεγών θυρών (watertight doors).

Παρακάτω, αναλύονται οι χώροι των διάφορων καταστρωμάτων.

3.1. Tank Top

Το έλασμα του διπύθμενου εκτείνεται από το frame 20 μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης. Ο χώρος κάτω από το διπύθμενο χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση διάφορων δεξαμενών. Από frame 121 έως frame 149 τοποθετούνται δεξαμενές θαλάσσιου έρματος (water ballast tanks), από frame 97 έως frame 121, δεξαμενές γλυκού νερού (fresh water tanks), από frame 65 έως frame 85 dry tanks, και μεταξύ των frames 53-65 και 85-97 fuel oil tanks. Στους χώρους πρύμνηθεν της πρωραίας φρακτής μηχανοστασίου frames 20-53 τοποθετούνται διάφορες δεξαμενές (lub oil tanks, void tanks, diesel oil tanks, fuel oil tanks, water ballast tanks, sprinkler tank, bilge tank, sludge tank) που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους συνδέονται με την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου. Η πρόσβαση στους χώρους των δεξαμενών γίνεται μέσω δύο κλιμακοστάσιων στους νομείς 27 και 35 αντίστοιχα. Πρύμνηθεν της πρυμναίας φρακτής μηχανοστασίου έχει αφεθεί κενός χώρος για την τοποθέτηση των αξόνων των ελίκων. Επίσης, σημειώνεται ότι πλώραθεν της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης έχει τοποθετηθεί δεξαμενή ζυγοστάθμισης (Forepeak Water Ballast Tank), η οποία εκτείνεται από το βασικό επίπεδο αναφοράς του πλοίου μέχρι και το Car Deck.

3.2. Car Deck

Αρχικά θα αναλυθούν οι χώροι που βρίσκονται κάτω από το Car Deck και πάνω από το διπύθμενο. Όπως προαναφέραμε, πλώραθεν της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης (frame 149) βρίσκεται η Forepeak Water Ballast Tank, που εκτείνεται έως και το Car Deck. Πρύμνηθεν της δεξαμενής ζυγοστάθμισης, βρίσκεται ο χώρος του bow thruster (frames 133-149), απ' όπου περνάει το bow thruster tunnel. Επιπλέον, μεταξύ frame 53 και frame 133 τοποθετούνται δεξαμενές water ballast. Μεταξύ των frames 53-121 έχει αφεθεί κεντρικά κενός χώρος για στοιβάσια 3 lanes I.X. αυτοκινήτων, που αντιστοιχούν σε 66 lane meters. Μεταξύ των frames 99-116 υπάρχει ράμπα που κατεβαίνει από το Car Deck για την μετακίνηση οχημάτων και των οδηγών τους από το Car Deck στο διπύθμενο και αντίστροφα. Επιπλέον μεταξύ Car Deck και διπύθμενου βρίσκονται τα διαμερίσματα των generator room και engine room, τα οποία εκτείνονται στα frames 20-33 και frames 33-53 αντίστοιχα. Στο χώρο του engine room βρίσκονται οι κύριες μηχανές, ενώ στο generator room οι κύριες ηλεκτρογεννήτριες. Πρύμνηθεν του generator room βρίσκεται το A/C rump room (αντλιοστάσιο) (frames 8-17), και ακόμη πίσω βρίσκεται το τελευταίο διαμέρισμα που καταλαμβάνει ο μηχανισμός πηδαλιουχίας (steering gear) μεταξύ AE-frame 8.

Πάνω στο Car Deck προβλέπεται χώρος στοιβάσιας 60 I.X. αυτοκινήτων και 5 φορτηγών (287 lane meters). Το εν λόγω κατάστρωμα διατίθεται ολόκληρο για τη στοιβάσια οχημάτων, ενώ έχει αφεθεί ελεύθερος χώρος μεταξύ των πιο

απομακρυσμένων από την center line οχημάτων και των πλευρών του πλοίου (ελάχιστη απόσταση 0.6m) και μεταξύ των γειτονικών οχημάτων (ελάχιστη απόσταση 0.25m). Οι αποστάσεις αυτές τηρούνται και στα υπόλοιπα καταστρώματα που μεταφέρουν οχήματα. Συνεπώς προβλέπεται επαρκής χώρος για τη μετακίνηση των οδηγών προς τα κλιμακοστάσια. Υπάρχουν δύο κλιμακοστάσια, τα οποία οδηγούν στα ανώτερα καταστρώματα και βρίσκονται στους νομείς 0 και 27. Το κλιμακοστάσιο που βρίσκεται κοντά στον καταπέλτη εξυπηρετεί κυρίως τους επιβάτες που δεν έχουν οχήματα και οι οποίοι εισέρχονται κατευθείαν στα ανώτερα καταστρώματα. Επιπλέον, κοντά στις πλευρές του πλοίου έχουν τοποθετηθεί τα δύο Engine Casings, τα οποία εξυπηρετούν τους χώρους της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών. Τα Engine Casings περιλαμβάνουν καπνοδόχους (funnels) και τα καυσαέρια της κύριας μηχανής, των βοηθητικών μηχανημάτων και των ηλεκτρογεννητριών, καθώς και χώρους για τη δίοδο σωληνώσεων και καλωδιώσεων.

3.3. Intermediate Deck

Το κατάστρωμα του Intermediate Deck εκτείνεται από το νομέα 45 μέχρι το ακροπρωαίο σημείο του πλοίου στο επίπεδο αυτό. Έτσι αφήνεται χώρος πρύμνηθεν για τη μεταφορά φορτηγών στο Car Deck, το ύψος των οποίων ξεπερνάει τα 2.4 μέτρα. Ο χώρος μεταξύ των νομέων 45-90 διατίθεται εξ' ολοκλήρου για τη μεταφορά Ι.Χ αυτοκινήτων, συνολικά 26 που αντιστοιχούν σε 115 lanemeters. Μεταξύ των νομέων 90-143 βρίσκονται οι χώροι ενδιαίτησης του κατώτερου πληρώματος. Οι χώροι αυτοί είναι καμπίνες για το κατώτερο πλήρωμα, χώροι ξεκούρασης, χώροι αποθήκευσης εφοδίων, ψυγεία, πλυντήρια, κουζίνα και νοσοκομείο. Πρώραθεν του χώρου ενδιαίτησεων το κατάστρωμα είναι ανοικτό ενώ χρησιμοποιούνται υδατοστεγείς πόρτες. Στον ανοικτό χώρο βρίσκονται τα δύο εξαεριστικά του bow thruster και το σύστημα πρόσδεσης και αγκυροβολίας της πλώρης. Αντίστοιχος χώρος μικρότερου μεγέθους υπάρχει και στο Saloon Deck στην πρύμνη του πλοίου για τα αντίστοιχα συστήματα πρόσδεσης της πρύμνης. Επιπλέον, πίσω από το κλιμακοστάσιο που βρίσκεται κοντά στον καταπέλτη τοποθετούνται τα εξαρτήματα για την λειτουργία του τελευταίου (operating bottle of stern ramp). Μεταξύ των frames 45-62 υπάρχει ράμπα που κατεβαίνει από το Intermediate Deck στο Car Deck για την μετακίνηση των οχημάτων από το Car Deck στο Intermediate Deck και αντίστροφα.

3.4. Saloon Deck

Το Saloon Deck αποτελεί το πρώτο κατάστρωμα μεταφοράς επιβατών. Καθ' όλο το μήκος του, βρίσκονται κλιμακοστάσια, τα οποία οδηγούν σε ανώτερα ή κατώτερα καταστρώματα. Επιπλέον το εν λόγω κατάστρωμα περιλαμβάνει κοινόχρηστες τουαλέτες και λουτρά για άνδρες, γυναίκες και άτομα με ειδικές ανάγκες, bar self

service, καθίσματα και τραπέζια για το επιβατηγό κοινό και γραφείο διαχείρισης προμηθειών. Πρύμνηθεν του νομέα 28 βρίσκονται οι εξωτερικοί χώροι του Saloon Deck που περιλαμβάνουν καθίσματα, κλιμακοστάσια, αποθήκες πυροσβεστικών βοηθημάτων και το σύστημα πρόσδεσης και αγκυροβόλησης της πρύμνης.

3.5. Bridge Deck

Το Bridge Deck διαθέτει ανοικτούς χώρους για τη μεταφορά επιβατών και κλειστούς χώρους για την ενδιαίτηση του ανώτερου πληρώματος. Πιο συγκεκριμένα, στους κλειστούς χώρους μεταξύ των νομέων 114-129 βρίσκεται το wheel house ενώ μεταξύ των νομέων 60-114 βρίσκονται οι ενδιαιτήσεις του ανώτερου πληρώματος, κλιμακοστάσια, δημόσιες τουαλέτες και το air condition room για τους χώρους των επιβατών. Σε όλη την έκταση του καταστρώματος υπάρχουν καθίσματα για τους επιβάτες. Στην port πλευρά του καταστρώματος βρίσκεται η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης (emergency generator), ο χώρος για τις μπαταρίες (batteery room), ενώ στην starboard πλευρά ο θερμοσίφωνας (boiler) και το air condition για τους χώρους ενδιαιτήσεων του πληρώματος. Επιπλέον και στις δύο πλευρές του πλοίου βρίσκονται τα συστήματα M.E.S. (Marine Evacuation Systems) που εξυπηρετούν στην εκκένωση του σκάφους σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης. Ανάμεσα στους νομείς 32-40 τοποθετούνται τα δύο φουγάρα (funnels) στην port και στην starboard πλευρά του bridge deck, και αντίστοιχα στους νομείς 12-28 δύο σωστικές λέμβοι, χωρητικότητας 150 ατόμων έκαστη. Ακόμη πιο πρύμνηθεν, βρίσκουμε καθίσματα για τους επιβάτες και κλιμακοστάσια που οδηγούν στο κατώτερο κατάστρωμα.

3.6. Sun Deck

Το Sun Deck αποτελεί το ανώτερο ανοικτό κατάστρωμα που βρίσκεται πάνω από τους κλειστούς χώρους του Bridge Deck και περιλαμβάνει ελικοδρόμιο και χώρους στοιβασίας πνευστών σχεδιών (liferaft). Πρύμνηθεν του καταστρώματος υπάρχει κλιμακοστάσιο που οδηγεί στα κατώτερα καταστρώματα.

Μέχρι στιγμής έγινε μια σύντομη ανάλυση των διάφορων καταστρωμάτων του υπό μελέτη πλοίου. Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι, για τη σχεδίαση των καταστρωμάτων ενδιαίτησης βασιστήκαμε στους κανονισμούς, που ορίζει η Ελληνική Νομοθεσία σχετικά με τους χώρους των επιβατών (Π.Δ. 44/2011) και τους χώρους πληρώματος (ILO 1949), (N.1594/1986).

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (W_{LS})

4.1. Βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST})

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου (W_{ST}) αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους βάρη:

1. Βάρος ελασμάτων, διαμήκων φρακτών, σταθμίδων, διαμήκων και εγκαρσίων ενισχυτικών (W_{HULL})
2. Βάρος webs (W_{WEBS})
3. Βάρος floors (W_{FLOORS})
4. Βάρος εγκάρσιων φρακτών ($W_{BULKHEADS}$)
5. Βάρος brackets ($W_{BRACKETS}$)
6. Βάρος Bridge Deck (W_{BRIDGE})

Θα υπολογίσουμε δηλαδή τα ανωτέρω βάρη, τα οποία στο σύνολό τους θα μας δώσουν το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Σημειώνεται ότι το βάρος του Bridge Deck θα βρεθεί ξεχωριστά με τη μέθοδο Müller-Köster.

4.1.1. Βάρος ελασμάτων, διαμήκων φρακτών, σταθμίδων, διαμήκων και εγκαρσίων ενισχυτικών (W_{HULL})

Για τον υπολογισμό των βάρων αυτής της κατηγορίας θα γίνει χρήση της εφαρμογής Marspeed (VeriSTAR 2013), η οποία βασίζεται στους κανονισμούς του Bureau Veritas (BV 2002). Τα στοιχεία που θα υπολογισθούν είναι τα ελάσματα των καταστρωμάτων και της γάστρας του πλοίου, οι σταθμίδες (girders), οι διαμήκεις φρακτές, τα διαμήκη ενισχυτικά τους και τέλος, τα εγκάρσια ενισχυτικά. Τα βάρη των webs, των floors, των εγκάρσιων φρακτών και των μπρακέτων θα υπολογισθούν στις επόμενες κατηγορίες, και δεν θα μας απασχολήσουν προς το παρόν. Έτσι λοιπόν θα σχεδιαστούν στο Marspeed πέντε εγκάρσιες τομές (sections) που θα περιλαμβάνουν τα παραπάνω στοιχεία. Οι τομές αυτές σχεδιάστηκαν με βάση το Lines Plan του πλοίου. Θεωρούμε ότι η μορφή των διάφορων ελασμάτων και ενισχυτικών, τα οποία εισάγονται στο Marspeed, προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική μορφή τους.

Οι εγκάρσιες τομές που σχεδιάστηκαν στο Marspeed παρουσιάζονται παρακάτω συναρτήσει των αποστάσεων τους από την πρυμναία κάθετο (A.P.). Σημειώνεται ότι η πρώτη τομή βρίσκεται στην ακροπρυμναία κάθετο του πλοίου (A.E.). Επίσης θεωρούμε και την τομή στο ακροπρωαίο σημείο του πλοίου, η οποία

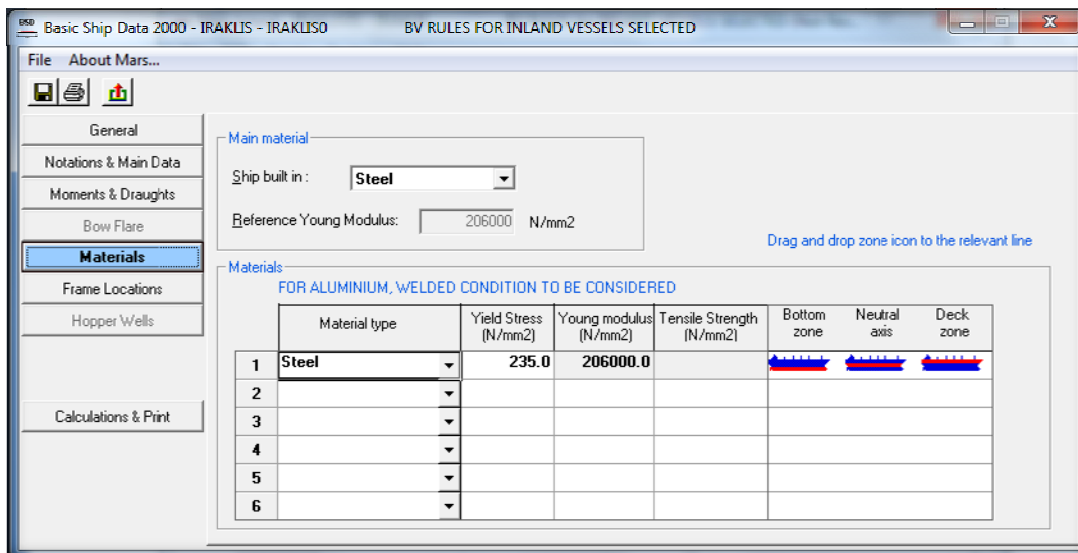
εφόσον είναι ένα σημείο καθώς το πλοίο κλείνει μπροστά, δεν υπάρχει λόγος να εισαχθεί στο Marspeed. Έτσι έχουμε τις παρακάτω συνολικά έξι τομές:

- I. Εγκάρσια τομή A.E. (-3.035 m from A.P.)
- II. Εγκάρσια τομή Section 20 (20 m from A.P.)
- III. Εγκάρσια τομή Section 40 (40 m from A.P.) (*Midship Section*)
- IV. Εγκάρσια τομή Section 60 (60 m from A.P.)
- V. Εγκάρσια τομή Section 80 (80 m from A.P.)
- VI. Εγκάρσια τομή Section F.E. (84 m from A.P.)

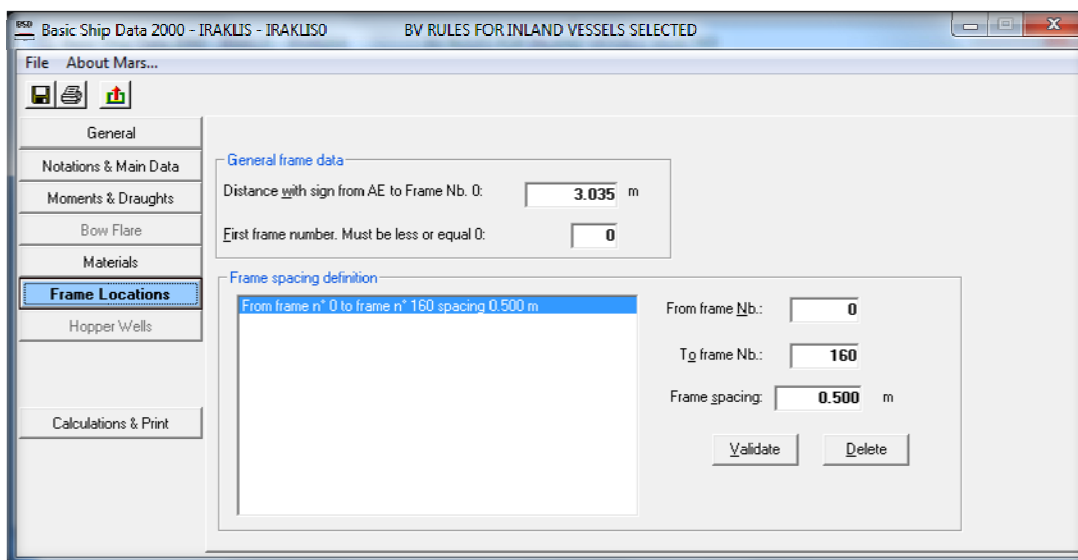
Κατά την έναρξη της χρήσης της εφαρμογής εισάγαμε κάποια δεδομένα τα οποία φαίνονται παρακάτω και επεξηγούνται στη συνέχεια. Έχουμε δηλαδή:

Σχήμα 4.1.1: Εισαγωγή δεδομένων στο Marspeed (1)

Σχήμα 4.1.2: Εισαγωγή δεδομένων στο Marspeed (2)



Σχήμα 4.1.3: Εισαγωγή δεδομένων στο Marspeed (3)



Σχήμα 4.1.4: Εισαγωγή δεδομένων στο Marspeed (4)

Τα δεδομένα που εισάγαμε αναλύονται παρακάτω:

Σχήμα 4.1.1: Στην επιλογή service διαλέγουμε από τη λίστα "Ro-ro passenger vessel", που είναι ο τύπος του υπό μελέτη πλοίου. Εισάγουμε το μήκος του πλοίου που είναι 80m, το πλάτος 15m, το συντελεστή γάστρας 0.548 και την υπηρεσιακή ταχύτητα 15kn. Επιπλέον δίνουμε κάποιες διαμήκεις αποστάσεις μετρούμενες από την ακροπρυμναία κάθετο του πλοίου (Α.Ε.). Έτσι η απόσταση μέχρι την πρυμναία φρακτή είναι 7.035m, μέχρι την πρωραία φρακτή μηχανοστασίου 29.535m και μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης 77.535m. Στη συνέχεια, σημειώνουμε το ύψος του καταστρώματος αντοχής, που συμπίπτει με το κατάστρωμα εξάλων και είναι 5.1m και τέλος το μέγιστο ύψος των τομών που θα σχεδιάσει το Marspeed. Το τελευταίο δεδομένο βοηθά ουσιαστικά το πρόγραμμα να "καταλάβει" μέχρι ποιο ύψος θα γίνει η σχεδίαση, αποτελεί δηλαδή το άνω όριο του σχεδίου.

Σχήμα 4.1.2: Στο παράθυρο αυτό το μόνο δεδομένο που εισάγουμε είναι το βύθισμα αντοχής, που επιλέγεται να είναι ίσο με το βύθισμα της πλέον βεβαρημένης κατάστασης φόρτωσης Full Load Departure (Βλ. Κεφάλαιο 11), $T_{SCANTLING}=3.187m$.

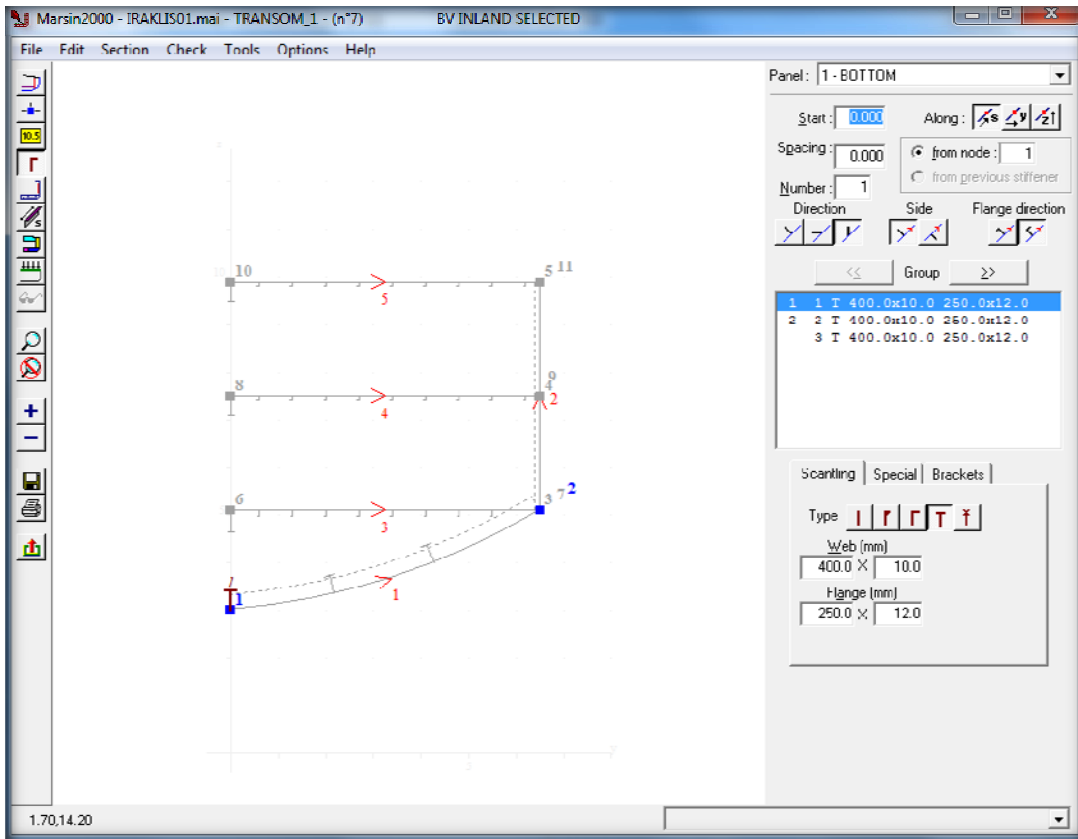
Σχήμα 4.1.3: Εδώ επιλέγουμε το υλικό από το οποίο αποτελούνται όλα τα μεταλλικά στοιχεία της τομής. Αυτό είναι κοινός ναυπηγικός χάλυβας Steel Grade A με όριο διαρροής $235 N/mm^2$ και μέτρο ελαστικότητας $206000 N/mm^2$.

Σχήμα 4.1.4: Αρχικά εισάγουμε την απόσταση μεταξύ ακροπρυμναίας και πρυμναίας καθέτου (A.E. - A.P.) που είναι $3.035m$. Στη συνέχεια δηλώνουμε την έκταση αλλά και την ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων που είναι από το νομέα 0 έως τον νομέα 160 με ισαπόσταση $0.5m$ αντίστοιχα (μετρούμενη πάνω στο χάρακα του πλοίου).

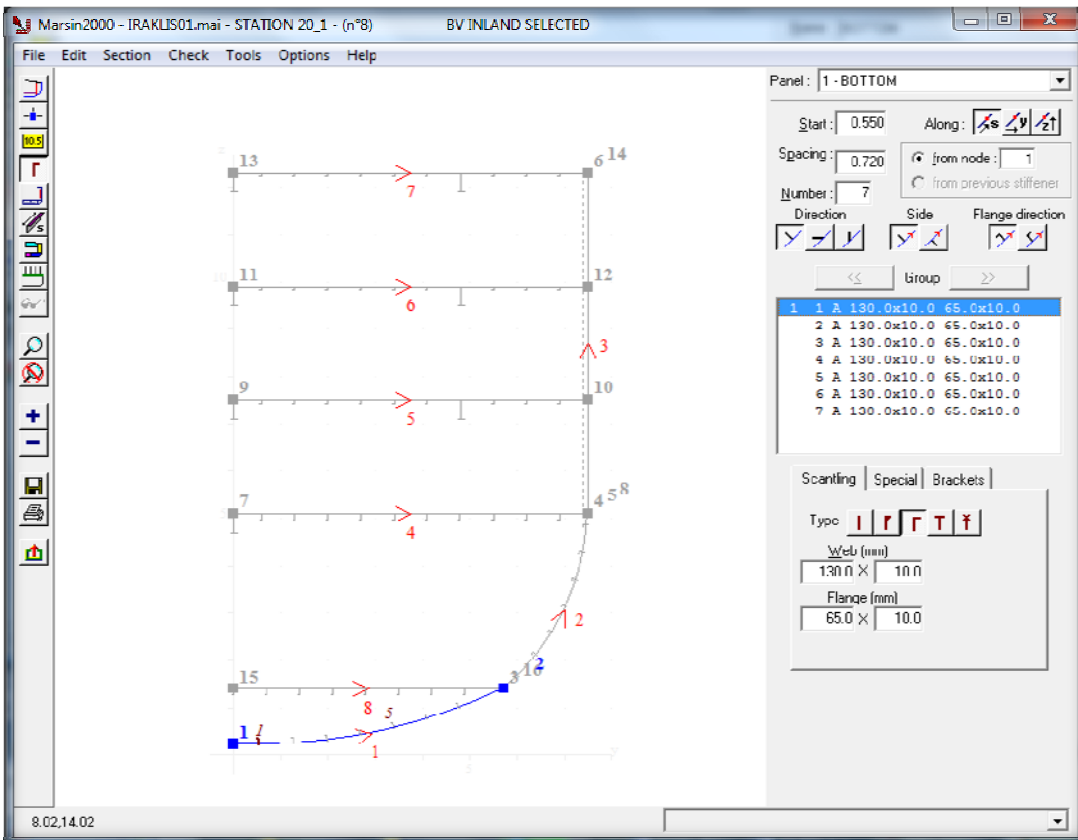
Κάποια δεδομένα δεν εισήχθησαν και αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει επαρκής γνώση τους στην παρούσα φάση της μελέτης.

Σε επόμενο στάδιο κατασκευάζουμε τις ζητούμενες εγκάρσιες τομές που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Έτσι λοιπόν για κάθε εγκάρσια τομή δηλώνουμε τη θέση, το πάχος και το μήκος των ελασμάτων (Panels) με βάση τα σημεία (Nodes) που έχουμε δημιουργήσει, την ισαπόσταση, τον τύπο και το μέγεθος των ενισχυτικών (Stiffeners & Transverse Stiffening). Τα ελάσματα (Panels) περιλαμβάνουν τα ελάσματα του καταστρώματος, του περιβλήματος γάστρας, των διαμήκων φρακτών και των σταθμίδων. Κάθε έλασμα (Panel) ενισχύεται είτε με διαμήκη ενισχυτικά (Stiffeners), είτε με εγκάρσια ενισχυτικά (Transverse Stiffening). Επιπλέον δηλώνουμε και την ισαπόσταση (spacing of primary transverse structure) των ενισχυμένων νομέων (web frames) ίση με $1.5m$ καθώς επιλέγουμε να έχουμε έναν ενισχυμένο νομέα (web frame) ανά τρεις κατασκευαστικούς νομείς (ordinary frames).

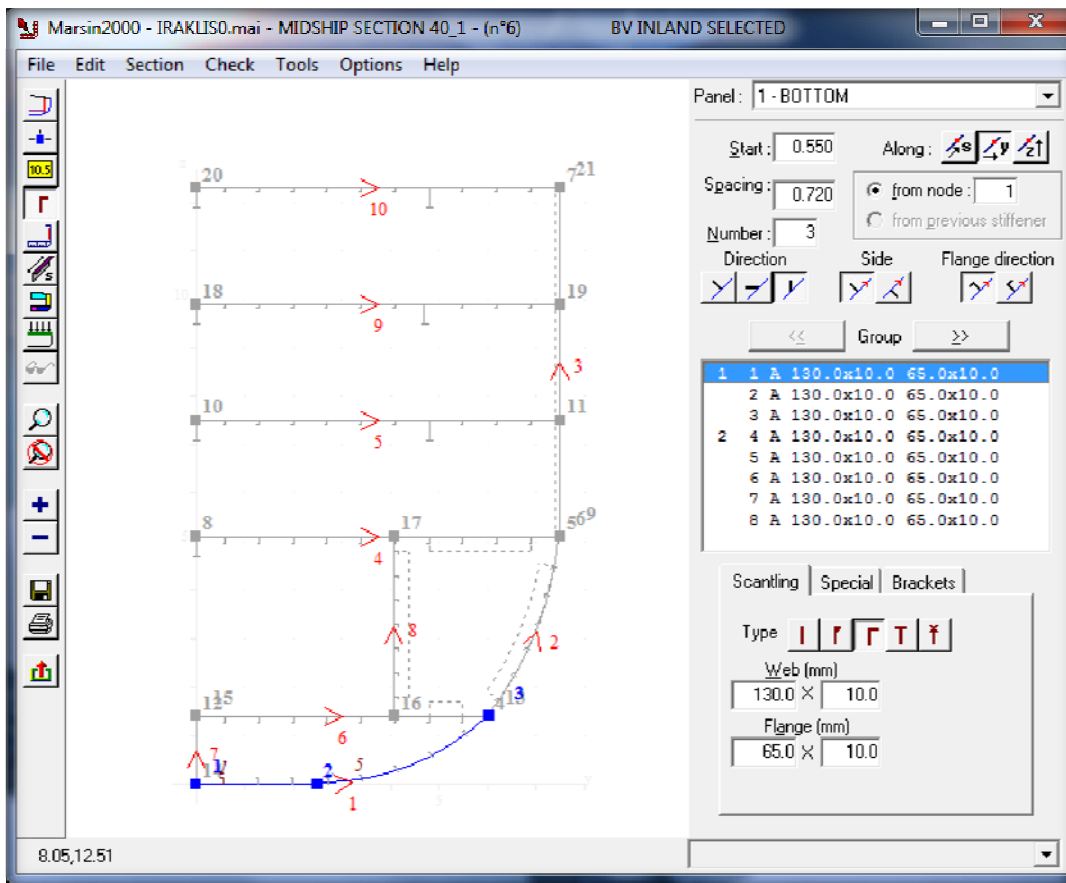
Επομένως οι εγκάρσιες τομές που σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Marspeed φαίνονται παρακάτω:



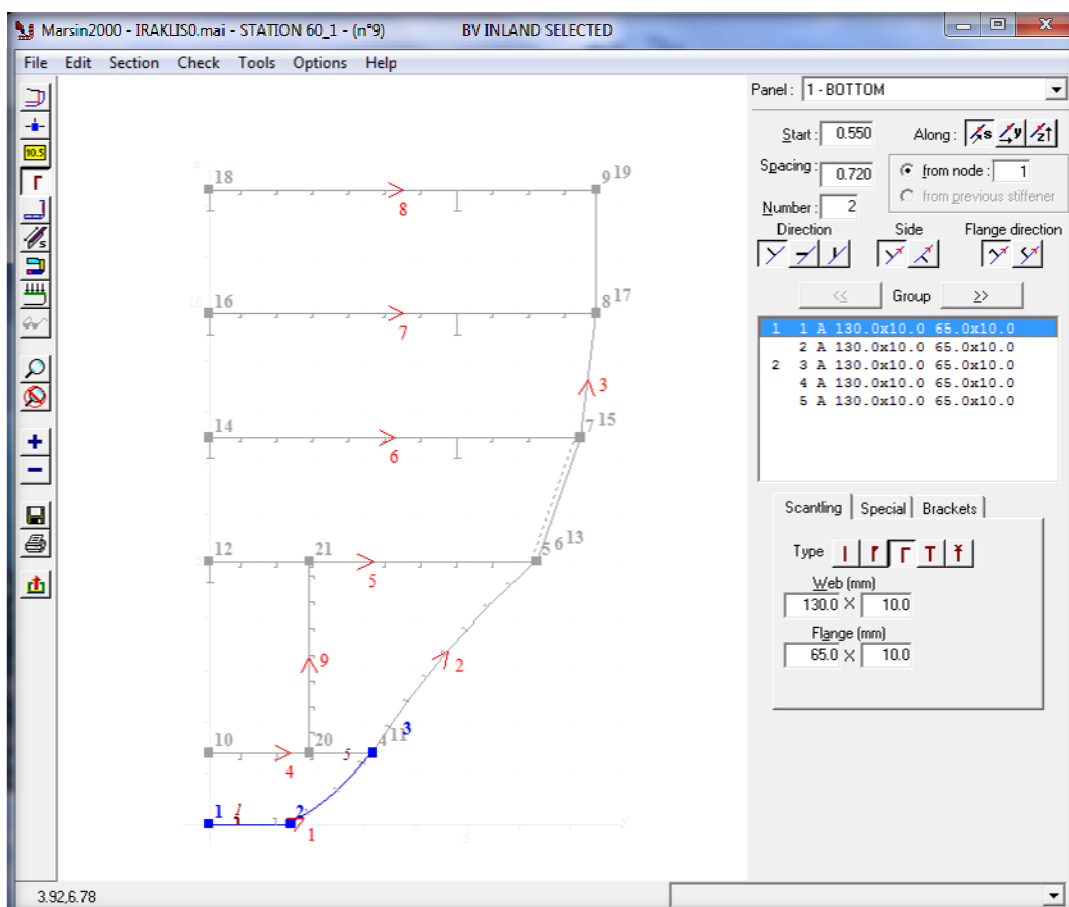
Σχήμα 4.1.5: Εγκάρσια τομή Α.Ε.



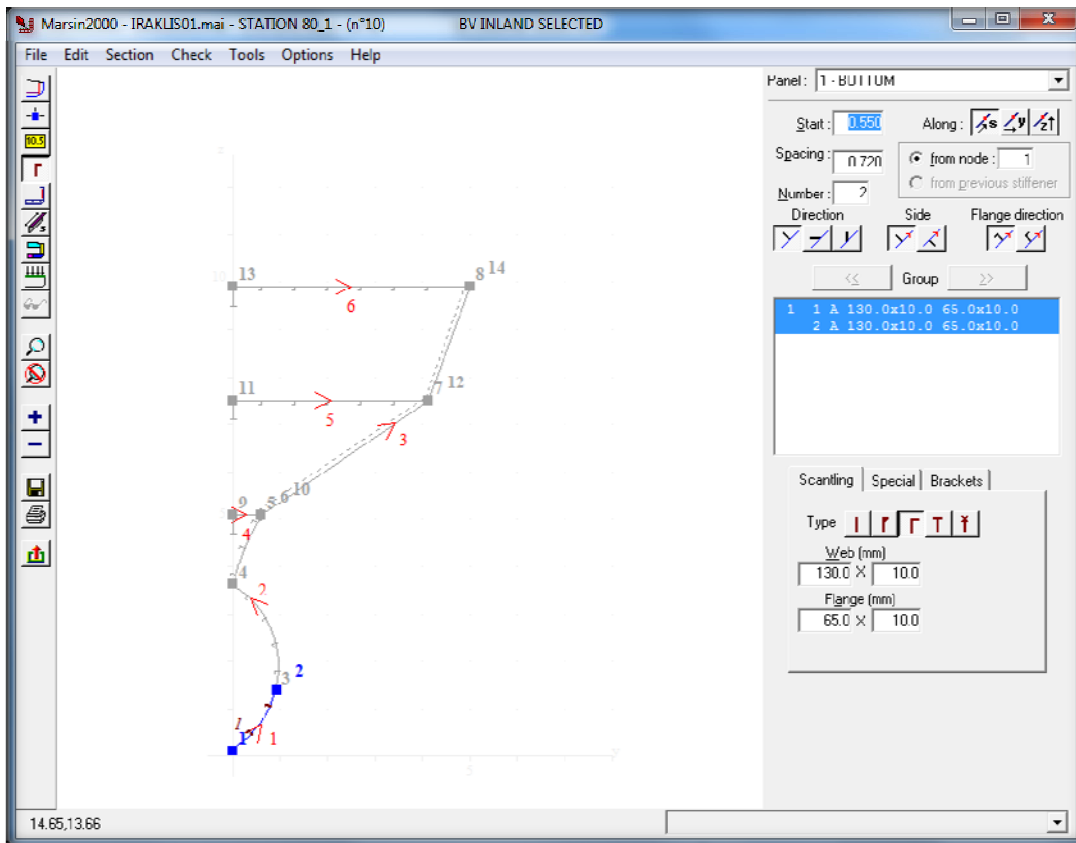
Σχήμα 4.1.6: Εγκάρσια τομή Section 20



Σχήμα 4.1.7: Εγκάρσια τομή Section 40 (midship section)



Σχήμα 4.1.8: Εγκάρσια τομή Section 60

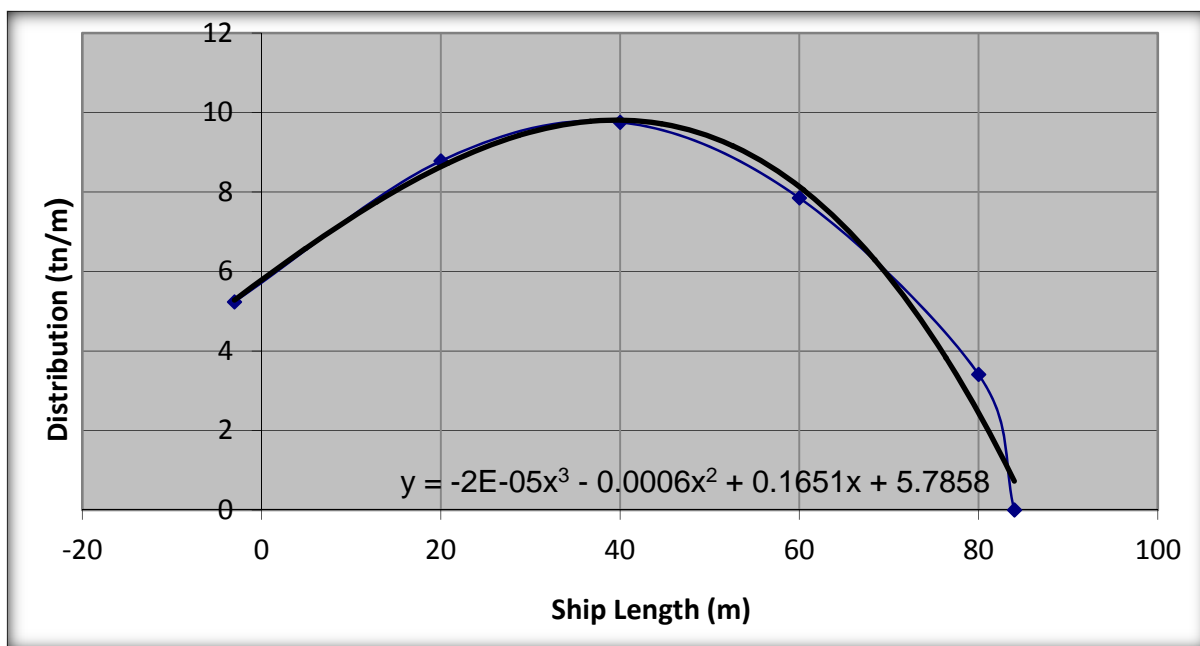


Σχήμα 4.1.9: Εγκάρσια τομή Section 80

Από τα αποτελέσματα του προγράμματος (Εντολή Rule) αφού ελέγξουμε την αντοχή σε όλες τις τομές που θεωρήσαμε, παίρνουμε για κάθε μία από αυτές το βάρος ανά τρέχον μέτρο και την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους και τα εισάγουμε παρακάτω στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1.1) μαζί με τα LCG τα οποία προκύπτουν από τις θέσεις των εγκαρσίων τομών. Με τη μέθοδο των ροπών υπολογίζουμε τα KG, LCG του τελικού βάρους. Στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 4.1.10) φαίνεται η κατανομή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής ανά μέτρο μήκους του πλοίου (σε tn/m). Παρεμβάλλοντας την καμπύλη που προκύπτει με μια καμπύλη 3^{ου} βαθμού (θεωρούμε ότι την περιγράφει ικανοποιητικά) και ολοκληρώνοντάς την από -3.035m έως 84m παίρνουμε το ζητούμενο ολικό βάρος σε tn. Σημειώνεται ότι στον πίνακα 4.1.1 εισάγεται και η πυκνότητα του χάλυβα που επιλέξαμε, η οποία είναι 7.8 kg/m^3 . Έτσι έχουμε:

DISTANCE (m)	AREA (m ²)	DENSITY (tn/m ³)	WEIGHT DISTRIB. (tn/m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
-3.035	0.67116	7.8	5.235	-15.889	6.259	32.767
20	1.12577	7.8	8.781	175.620	6.094	53.511
40	1.25053	7.8	9.754	390.165	5.694	55.540
60	1.00661	7.8	7.852	471.093	6.588	51.726
80	0.43736	7.8	3.411	272.913	6.156	21.001
84	0	7.8	0	0	0	0
SUM			35.033	1293.903		214.545
			LCG =	36.93m	KG=	6.12m

Πίνακας 4.1.1: Αποτελέσματα εφαρμογής Marspeed



Σχήμα 4.1.10: Κατανομή του βάρους ελασμάτων, διαμήκων και εγκάρσιων ενισχυτικών ανά μέτρο μήκους του πλοίου

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα είδη ελασμάτων, διαμήκων και εγκάρσιων ενισχυτικών που έχουν εισαχθεί στο Marspeed για τη μέση τομή.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΠΑΧΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ (mm)
BRIDGE DECK	7
SALOON DECK	7
INTERMEDIATE DECK	7
CAR DECK	12
TANK TOP	8
BOTTOM	10
UPPER SIDE	8
SIDE	10
CENTER GIRDER	16
SIDE GIRDER	9

Πίνακας 4.1.2: Πάχη ελασμάτων μέσης τομής

ΟΜΑΔΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
BRIDGE DECK	A 75.0x7.0 75.0x7.0	9
	T 400.0x10.0 150.0x12.0	2
SALOON DECK	A 75.0x7.0 75.0x7.0	9
	T 400.0x10.0 150.0x12.0	2
INTERMEDIATE DECK	A 75.0x7.0 75.0x7.0	9
	T 400.0x10.0 150.0x12.0	2
CAR DECK	A 130.0x10.0 65.0x10.0	10
	T 400.0x10.0 150.0x12.0	1
TANK TOP	A 130.0x10.0 65.0x10.0	8
BOTTOM	A 130.0x10.0 65.0x10.0	8
SIDE	A 100.0x8.0 75.0x8.0	7
SIDE BULKHEAD	A 100.0x8.0 75.0x8.0	7

Πίνακας 4.1.3: Είδη διαμήκων ενισχυτικών μέσης τομής

ΟΜΑΔΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ
UPPER SIDE	Web: 100.0x9.0 Flange: 75.0x9.0
SIDE BULKHEAD	Web: 300.0x0.0 Flange: 100.0x10.0
SIDE	Web: 300.0x8.0 Flange: 150.0x0.0
CAR DECK	Web: 300.0x8.0 Flange: 100.0x10.0
TANK TOP	Web: 300.0x8.0 Flange: 100.0x10.0

Πίνακας 4.1.4: Είδη εγκάρσιων ενισχυτικών μέσης τομής

Έτσι παίρνουμε τα τελικά αποτελέσματα που φαίνονται παρακάτω:

HULL		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
717.80	36.93	6.12

4.1.2. Βάρος webs (W_{WEBS})

Το βάρος και τα κέντρα βάρους LCG, KG των webs υπολογίστηκαν προσεγγιστικά με τη μεθοδολογία που αναλύεται στη συνέχεια. Αρχικά μετρήσαμε το βάρος των κορμών και των φλαντζών τους, στις τομές που θεωρήσαμε για τον υπολογισμό του W_{HULL} , από το Σχέδιο Γραμμών του πλοίου. Έτσι παρουσιάζουμε τον παρακάτω σχετικό πίνακα (Πίνακας 4.1.6):

FULL SECTION			
SECTIONS	WEB (tn)	FLANGE (tn)	WEIGHT (tn)
-3.035	0.642	0.259	0.901
20	1.514	0.589	2.103
40	1.641	0.676	2.317
60	1.580	0.665	2.245
80	0.282	0.101	0.383
84	0	0	0

Πίνακας 4.1.5: Βάρος webs σε έξι εγκάρσιες τομές

Με βάση τα βάρη αυτά και τη θέση τους κατά το διάμηκες του πλοίου φέραμε προσεγγιστικά μια γραμμή Spline στο Autocad, δημιουργώντας μια καμπύλη με άξονες τη θέση και το βάρος συναρτήσει της θέσης. Στη συνέχεια διαβάσαμε τα βάρη πάνω στην καμπύλη στις θέσεις που θα τοποθετηθούν τα webs, δηλαδή εκεί όπου έχουμε ενισχυμένο νομέα (ανά τρεις κατασκευαστικούς νομείς). Έτσι παρουσιάζουμε στη συνέχεια τον πίνακα με τις μετρήσεις μας (Πίνακας 4.1.6).

DISTANCE (m)	FRAME	WEIGHT (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)
-2.00	-4	0.967	-2.00	-1.934
-0.50	-1	1.064	-0.50	-0.532
1.00	2	1.155	1.00	1.155
2.50	5	1.251	2.50	3.127
5.50	11	1.439	5.50	7.914
7.00	14	1.519	7.00	10.635
8.50	17	1.611	8.50	13.694
11.50	23	1.756	11.50	20.188
13.00	26	1.841	13.00	23.932
14.50	29	1.909	14.50	27.676
16.00	32	1.973	16.00	31.568
17.50	35	2.011	17.50	35.191
20.50	41	2.075	20.50	42.527
22.00	44	2.151	22.00	47.326
23.50	47	2.177	23.50	51.152
25.00	50	2.207	25.00	55.185
28.00	56	2.236	28.00	62.602
29.50	59	2.248	29.50	66.310
31.00	62	2.258	31.00	69.983
32.50	65	2.271	32.50	76.085
34.00	68	2.279	34.00	79.769
35.50	71	2.288	35.50	83.519
37.00	74	2.312	37.00	91.336
38.50	77	2.329	38.50	95.481
40.00	80	2.348	40.00	99.790
41.50	83	2.388	41.50	108.6586
43.00	86	2.405	43.00	113.035
44.50	89	2.420	44.50	117.3749
46.00	92	2.432	46.00	125.2326
47.50	95	2.426	47.50	128.578
49.00	98	2.411	49.00	131.3723
50.50	101	2.344	50.50	134.7858
52.00	104	2.290	52.00	135.1041
53.50	107	2.203	53.50	133.2694
55.00	110	2.032	55.00	129.0066
56.50	113	1.917	56.50	124.579
58.00	116	1.790	58.00	119.0217
59.50	119	1.355	59.50	94.152
61.00	122	1.355	61.00	96.184
62.50	125	1.197	62.50	86.761
67.00	134	1.101	67.00	65.776
68.50	137	1.087	68.50	54.424
70.00	140	1.037	70.00	42.665
71.50	143	0.969	71.50	40.075
73.00	146	0.871	73.00	38.023
76.00	152	0.707	76.00	35.793
77.50	155	0.544	77.50	33.081
79.00	158	0.352	79.00	27.808
SUM		78.784	38.11	3002.089

Πίνακας 4.1.6: Συνολικό βάρος webs

Το βάρος που βρέθηκε παραπάνω θα προσαυξηθεί κατά 2.5% λόγω της ενίσχυσης των webs. Έτσι βρήκαμε προσεγγιστικά τα βάρη και τα LCG των webs και των φλαντζών τους. Υποθέτουμε χάριν ευκολίας συνολικό KG ίσο με το KG του section 40 (μέση τομή). Αυτό μετράται από το Σχέδιο Γραμμών με τις εντολές Region και Mass Properties του Autocad ίσο με 6.87 m. Συγκεντρωτικά λοιπόν έχουμε:

WEBS		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
80.75	38.11	6.87

4.1.3. Βάρος floors (W_{FLOORS})

Για τον υπολογισμό των solid floors (εδρών) αρχικά θα μετρηθούν οι ζητούμενες επιφάνειες στις έξι τομές που θεωρήσαμε και πριν πάλι από το Σχέδιο Γραμμών. Με βάση τα βάρη των τομών αυτών υπολογίζουμε το συνολικό LCG των εδρών με τη μέθοδο των ροπών ενώ το τελικό KG θεωρούμε πως βρίσκεται καθ' ύψος λίγο πιο πάνω από το μισό του ύψους του διπύθμενου, συγκεκριμένα στο 60% του ύψους του ($0.6h_{db}$), δηλαδή στα 0.84 m. Έτσι έχουμε τον πίνακα 4.1.7 όπως φαίνεται παρακάτω:

DISTANCE (m)	AREA (m ²)	THICKNESS (mm)	DENSITY (tn/m ³)	WEIGHT (tn)	ML (tn*m)
-3.035	0	10	7.8	0.000	0
20	9.96	10	7.8	0.78	15.54
40	13.84	10	7.8	1.08	43.18
60	7.26	10	7.8	0.57	33.98
80	1.48	10	7.8	0.12	9.24
84	0	10	7.8	0	0
			WEIGHT=	2.54	101.93
				LCG =	40.16

Πίνακας 4.1.7: Βάρος floors σε έξι εγκάρσιες τομές

Για τον υπολογισμό του βάρους υποθέτουμε κάποιον αριθμό εδρών στα διαστήματα μεταξύ των τομών μας (με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια του πατρικού πλοίου) και ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφεται από τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.5).

Περιοχή	Ποσότητα	Βάρη (tn)
A.E.-20	42	32.63
20-40	17	18.35
40-60	14	7.93
60-80	20	2.31
80-F.E.	0	0.00
Σύνολο	Wwebs	61.22
	Wstiffeners	1.53
	Wtotal	62.75

Πίνακας 4.1.8: Συνολικό βάρος floors

Σε κάθε διάστημα μεταξύ των τομών θεωρούμε τις επιφάνειες των εδρών σταθερές και ίσες με τις αντίστοιχες που υπολογίσθηκαν στον πίνακα 4.1.8. Επίσης έγινε μια αύξηση 2.5% του βάρους των floors λόγω των ενισχύσεων που φέρουν. Τελικά τα αποτελέσματα είναι:

FLOORS		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
62.75	40.16	0.84

4.1.4. Βάρος εγκάρσιων φρακτών ($W_{BULKHEADS}$)

Το βάρος αυτό θα προκύψει υποθέτοντας εγκάρσιες του υπό μελέτη πλοίου. Στον πίνακα 4.1.9 φαίνεται η θέση της κάθε φρακτής (δηλ. LCG), η επιφάνειά της που υπολογίσθηκε από το Σχέδιο Γραμμών κάτω από το Car Deck, και το KG της υπολογισμένο στο 0.6 του ύψους της φρακτής. Επιπλέον προσαυξάνουμε το βάρος των floors κατά 5% για λόγους ενίσχυσης. Έτσι έχουμε:

DISTANCE (m)	AREA (m ²)	THICKNESS (mm)	DENSITY (tn/m ³)	WEIGHT (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
4	44.06	12	7.8	4.12	4.00	16.496	3.55	14.632
10	44.12	12	7.8	4.13	10.00	41.296	3.55	14.652
16.5	57.28	12	7.8	5.36	16.50	88.463	3.24	17.392
26.5	66.40	12	7.8	6.22	26.50	164.699	3.06	19.018
36.5	66.82	12	7.8	6.25	36.50	200.139	3.06	19.138
42.5	61.96	12	7.8	5.80	42.50	255.176	3.06	17.746
48.5	61.94	12	7.8	5.80	48.50	289.879	3.06	17.741
54.5	50.00	12	7.8	4.68	54.50	262.080	3.06	14.321
60.5	41.64	12	7.8	3.90	60.50	241.645	3.06	11.926
66.5	26.30	12	7.8	2.46	66.50	167.394	3.06	7.533
74.5	19.58	12	7.8	1.83	74.50	135.619	3.06	5.608
			WEIGHT=	56.80		2100.339		178.829
			ADD 5%	59.64	LCG =	36.98	KG=	3.15

Πίνακας 4.1.9: Βάρος εγκάρσιων φρακτών

Οπότε για τις εγκάρσιες φρακτές προκύπτει τελικά:

BULKHEADS		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
59.64	36.98	3.15

4.1.5. Βάρος brackets ($W_{BRACKETS}$)

Το βάρος των brackets θα ληφθεί προσεγγιστικά ίσο με το 10% του βάρους των webs, ενώ η διαμήκης και κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους τους θα ληφθούν ίσες με αυτές των webs. Έτσι θα έχουμε:

BRACKETS		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
8.08	38.11	6.87

4.1.6. Βάρος *Bridge Deck* (W_{BRIDGE})

Τα βάρη που προϋπολογίσθηκαν αναφέρονται καθ' ύψος μέχρι και το Saloon Deck. Μένει λοιπόν να υπολογίσουμε και το βάρος του πιο πάνω τμήματος, που είναι η μεταλλική κατασκευή του Bridge Deck. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της μεθόδου Müller-Köster. Το βάρος της υπερκατασκευής του Bridge Deck δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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

όπου :

- C_{DH} : Ογκομετρικός συντελεστής βάρους (tn/m^3) (Πίνακας 2.9 σελ. 101 του βιβλίου «Μελέτη Πλοίου Τόμος Α' Μεθοδολογία Προμελέτης»)
- A_m : Μέση επιφάνεια στεγάσματος $= 0.5 \cdot (A_O + A_U)$ (m^2)
- A_O : Επιφάνεια υπερκείμενου καταστρώματος, συμπεριλαμβανόμενης της επιφάνειας των εξωτερικών αστέγαστων διαδρομών (m^2).
- A_U : Επιφάνεια πραγματικά στεγασμένου καταστρώματος (m^2).
- K_1 : Διόρθωση για ύψος στεγάσματος διάφορο του 2.6 m.
 $k_1 = 1 + 0.02 \cdot (h - 2.6)$
- K_2 : Διόρθωση για μήκος εσωτερικών τοιχωμάτων διάφορο του κανονισμού ($4.5 \times \text{Μήκος στεγάσματος}$) $k_2 = 1 + 0.05 \cdot (4.5 - L_i/L_{DH})$
 L_i : ολικό μήκος εσωτερικών τοιχωμάτων.
 L_{DH} : μήκος στεγάσματος.
- K_3 : Διόρθωση για μήκος πλοίου διάφορο του κανονικού $L_{BP} = 150$ m.
 δηλ. $\delta L_{PP} > \pm 30$ m
 $K_3 = 0.95$, για $L_{BP} = 100$ m
 $K_3 = 1.10$, για $L_{BP} = 230$ m
 (γραμμική παρεμβολή για ενδιάμεσα μήκη).

Από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης παίρνουμε:

- $A_U = 303.96 \text{ m}^2$
- $A_O = 335.30 \text{ m}^2$

Οπότε υπολογίζουμε τους διάφορους συντελεστές:

- $A_U / A_O = 1.1$
- $A_m = 319.63 \text{ m}^2$
- $C_{DH} = 0.042 \text{ tn/m}^3$
- $h = 2.4 \text{ m}$
- $k_1 = 0.996$
- $k_2 = 1.000$

- $k_3=0.950$

Μετά από πράξεις καταλήγουμε στο βάρος του Bridge Deck που είναι: $W_{BD}=30.49$ tn. Τέλος, τα LCG, KG του Bridge Deck λαμβάνονται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης για τη ζητούμενη επιφάνεια. Έτσι, παίρνουμε:

BRIDGE DECK		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
30.49	47.50	13.74

4.1.7. Συνολικό βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST})

Τέλος, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1.10), τα βάρη που υπολογίστηκαν παραπάνω, τα οποία στο σύνολό τους μας δίνουν το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Τα LCG, KG του εξοπλισμού υπολογίζονται με τη μέθοδο των ροπών.

ITEMS	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
HULL	717.80	36.93	6.12	26510.87	4395.83
FLOORS	62.75	40.16	0.84	2519.95	52.71
BHD	59.64	36.98	3.15	2205.36	187.77
WEB	80.75	38.11	6.87	3077.14	554.78
BRACKETS	8.08	38.11	6.87	307.71	55.48
BRIDGE DECK	30.49	47.50	13.74	1448.28	418.93
TOTAL STEEL	959.51	37.59	5.90	36069.30	5665.50

Πίνακας 4.1.10: Συγκεντρωτικός πίνακας επιμέρους βαρών μεταλλικής κατασκευής

Λαμβάνοντας υπόψη αύξηση του τελικού βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά 5% για περιθώριο λάθους έχουμε:

STEEL		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
1007.49	37.59	5.90

4.2. Βάρος εξοπλισμού (W_{OT})

Το βάρος εξοπλισμού του πλοίου (W_{OT}) θεωρούμε ότι περιλαμβάνει τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία:

1. Βάρος εξαρτισμού (W_{EN})
2. Βάρος bow thrusters (W_{BTH})
3. Βάρος κύριας μονάδας κλιματισμού (W_{HVAC})
4. Βάρος ηλεκτρικού δικτύου (W_{EL})
5. Βάρος δικτύου σωληνώσεων (W_{PP})

Έτσι θα γίνει υπολογισμός των ανωτέρω βαρών με σκοπό την εύρεση του βάρους εξοπλισμού. Επιπλέον με βάση τα κέντρα βάρους των παραπάνω στοιχείων θα υπολογιστούν τα τελικά LCG, KG του βάρους εξοπλισμού με τη μέθοδο των ροπών. Στην παρακάτω ανάλυση χρησιμοποιούνται μαθηματικοί τύποι που προέρχονται από τη διδακτορική διατριβή του Σωτήριου Α. Σκούπα.

4.2.1. Βάρος εξαρτισμού (W_{EN})

Ο δείκτης εξαρτισμού (Equipment Number) εμπεριέχει τα συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης του πλοίου. Στο κεφάλαιο, όπου υπολογίζεται ο δείκτης εξαρτισμού (Κεφάλαιο 8) έχει υπολογιστεί $EN=600$. Επομένως από την παρακάτω σχέση προκύπτει το βάρος εξαρτισμού.

$$W_{EN} = 6.549 \cdot 10^{-2} \cdot EN + 4.101, \text{ και με γνωστό το EN προκύπτει:}$$

$$W_{EN} = 43.4 \text{ tn}$$

Όσον αφορά στα κέντρα βάρους του W_{EN} , θεωρούμε το LCG λίγο πρώραθεν από τη μέση τομή λόγω του αυξημένου βάρους των αγκυρών πρώραθεν, και το KG στο υψηλότερο κατάστρωμα οχημάτων (Intermediate Deck). Συνεπώς έχουμε:

EQUIPMENT NUMBER		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
43.40	45.00	7.50

4.2.2. Βάρος bow thruster (W_{BTH})

Στο υπό μελέτη πλοίο θα χρησιμοποιηθεί ένα bow thruster, με στόχο τη βελτίωση των ελκτικών ικανοτήτων του πλοίου. Η διαμήκης και κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους βρίσκεται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου, ενώ το βάρος τους υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_{BTH} = 2.200 \cdot 10^{-3} \cdot P_{BTH}^{1.131}$$

$$\text{όπου, } P_{BTH} = \max\{350, L_{BP}/0.2\} \Rightarrow P_{BTH} = \max\{350, 80/0.2\} \Rightarrow P_{BTH} = 400 \text{ kW}$$

Οπότε προκύπτει από τις πράξεις:

$$W_{BTH} = 2.200 \cdot 10^{-3} \cdot P_{BTH}^{1.131} \Rightarrow W_{BTH} = 2.200 \cdot 10^{-3} \cdot 400^{1.131} \Rightarrow W_{BTH} = 1.93 \text{ tn}$$

Συγκεντρωτικά έχουμε:

BOW THRUSTER		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
1.93	67.00	2.10

4.2.3. Βάρος κύριας μονάδας κλιματισμού (W_{HVAC})

Η κεντρική μονάδα κλιματισμού, τοποθετείται συνήθως στο ανώτερο κατάστρωμα και αποτελείται από τρεις ανεξάρτητες υπομονάδες. Αυτές είναι:

1. Η μονάδα κλιματισμού ιδιωτικών χώρων (καμπίνες).
2. Η μονάδα κλιματισμού κοινόχρηστων χώρων.
3. Χώροι εργασίας πληρώματος

Το βάρος κάθε μίας από τις παραπάνω υπομονάδες υπολογίζεται με βάση τις προδιαγραφές του Νορβηγικού Νηογνώμονα (DNV, Rules for Ships Pt.5 Ch.12 Sec.3, January 2000). Βάση αυτών ορίζονται οι εναλλαγές αέρα ανά άτομο σε (l/s) για κάθε μία περιοχή ενδιαίτησης και επίπεδο άνεσης. Ο κανονισμός προδιαγράφει τρεις μεγάλες κατηγορίες ενδιαίτησης και τρία επίπεδα άνεσης όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 4.2.1).

Περιοχή		Επίπεδο Άνεσης	Παροχή αέρα ανά άτομο (lt/s)
A	Χώροι καμπινών	1	10
		2	10
		3	7
B	Δημόσιοι χώροι	1	12
		2	10
		3	7
C	Χώροι εργασίας πληρώματος	1	12
		2	10
		3	7

Πίνακας 4.2.1: Εναλλαγές αέρα ανά επιβάτη και επίπεδο άνεσης

Η συνολική παροχή αέρα, που πρέπει να διατεθεί μέσω κάθε υπομονάδας υπολογίζεται ως εξής:

$$F_i = N_i \cdot f_{ij}$$

όπου F_i σε lt/s, N_i ο μέγιστος αριθμός ατόμων που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή $i=A,B,C$ και f_{ij} η παροχή αέρα που αντιστοιχεί στην περιοχή i και σε επίπεδο άνεσης $j=1,2,3$ (Πίνακας 4.2.1).

Έτσι με γνωστή την τιμή της παροχής αέρα, το βάρος κάθε υπομονάδας μπορεί να εκτιμηθεί από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$W_A = 0.000434F_A + 0.946$$

$$W_B = 0.000399F_B + 0.824$$

$$W_C = 0.000208F_C + 0.507$$

$$W_{HVAC} = W_A + W_B + W_C$$

όπου τα βάρη μετρώνται σε tn.

Καταρχάς θα υπολογίσουμε το μέγιστο αριθμό ατόμων N_i που μπορούν να υπάρχουν στις περιοχές $i=A,B,C$.

- *Περιοχή Α: Χώροι καμπινών*

Από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης παρατηρούμε ότι χώρους καμπινών έχουμε στα καταστρώματα Bridge Deck και Intermediate Deck. Συγκεκριμένα στο Bridge Deck μετράμε καμπίνες για 7 άτομα και αντίστοιχα στο Intermediate Deck 35 άτομα. Συνεπώς έχουμε:

$$N_A = 42$$

- *Περιοχή Β: Δημόσιοι χώροι*

Από το Φ.Ε.Κ. 110_2011 Άρθρο 3 συμπεραίνουμε ότι το πλοίο μας ανήκει στην κατηγορία Ι καθώς η ακτίνα ενεργείας R για το υπό μελέτη μας πλοίο ξεπερνά τα 180 ναυτικά μίλια, συγκεκριμένα η απαίτησή μας είναι $R=599.42 \text{ sm}$. Για την κατηγορία πλοίων Ι ισχύει από το Άρθρο 20 για επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου δημόσιου χώρου (χώρου επιβατών) αντιστοιχεί και ένας επιβάτης. Έτσι από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης μετράμε εμβαδό δημόσιων χώρων ίσο με 730.9 m^2 . Συνεπώς σύμφωνα με τους κανονισμούς του Φ.Ε.Κ. η επιφάνεια αυτή αντιστοιχεί σε 730 επιβάτες. Έτσι:

$$N_B = 730$$

- *Περιοχή C: Χώροι εργασίας πληρώματος*

Για τους χώρους εργασίας πληρώματος. Πρέπει να γνωρίζουμε τον επακριβή αριθμό ατόμων που συνθέτουν το πλήρωμα. Από το κεφάλαιο της καταμέτρησης προκύπτει ότι το πλήρωμα αποτελείται από 40 άτομα. Οπότε παίρνουμε:

$$N_B = 40$$

Εν συνεχεία επιλέγουμε επίπεδο άνεσης $j=2$ (μεσαίο επίπεδο άνεσης) με το $j=1$ να έχει καθοριστεί ως το μέγιστο επίπεδο άνεσης. Έτσι από τον πίνακα 2.1 προκύπτουν οι παροχές αέρα ανά άτομο (lt/s) συναρτήσει της περιοχής, στην οποία αναφερόμαστε πάντα και του επιπέδου άνεσης που έχουμε επιλέξει για κάθε περιοχή.

$$\begin{array}{l} f_{A2} = 10 \text{ lt/s} \\ f_{B2} = 10 \text{ lt/s} \\ f_{C2} = 10 \text{ lt/s} \end{array}$$

Γνωρίζοντας τώρα το μέγιστο αριθμό ατόμων που μπορεί να υπάρχουν σε κάθε περιοχή και το αντίστοιχο επίπεδο άνεσης υπολογίζουμε με βάση τον παραπάνω τύπο τη συνολική παροχή αέρα για κάθε υπομονάδα.

$$\begin{array}{l} F_A = N_A \cdot f_{A2} \Rightarrow F_A = 42 \cdot 10 \text{ lt/s} \\ F_B = N_B \cdot f_{B2} \Rightarrow F_B = 730 \cdot 10 \text{ lt/s} \\ F_C = N_C \cdot f_{C2} \Rightarrow F_C = 40 \cdot 10 \text{ lt/s} \end{array} \quad \boxed{\begin{array}{l} F_A = 420 \text{ lt/s} \\ F_B = 7300 \text{ lt/s} \\ F_C = 400 \text{ lt/s} \end{array}}$$

Με γνωστές πλέον τις συνολικές παροχές αέρα υπολογίζουμε το βάρος της κάθε υπομονάδας με βάση τους παραπάνω τύπους:

$$\begin{array}{l} W_A = 0.000434F_A + 0.946 \Rightarrow W_A = 0.000434 \cdot 420 + 0.946 \text{ tn} \\ W_B = 0.000399F_B + 0.824 \Rightarrow W_B = 0.000399 \cdot 7300 + 0.824 \text{ tn} \\ W_C = 0.000208F_C + 0.507 \Rightarrow W_C = 0.000208 \cdot 400 + 0.507 \text{ tn} \end{array} \quad \boxed{\begin{array}{l} W_A = 1.13 \text{ tn} \\ W_B = 3.69 \text{ tn} \\ W_C = 0.59 \text{ tn} \end{array}}$$

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2) φαίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν για την κάθε υπομονάδα.

Περιοχή	Μέγιστος αριθμός επιβαινόντων	Επίπεδο άνεσης	Παροχή αέρα ανά άτομο (lt/s)	Παροχή αέρα-Fi (lt/s)	Βάρος (tn)
Χώροι καμπινών	42	2	10	420	1.13
Δημόσιοι χώροι	730	2	10	7300	3.69
Χώροι εργασίας πληρώματος	40	2	10	400	0.59

Πίνακας 4.2.2: Βάρη υποομάδων κλιματισμού

Συνεπώς το συνολικό βάρος της κύριας μονάδας κλιματισμού προκύπτει με πρόσθεση των ανωτέρω βαρών, ενώ η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους διαβάζονται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του IRAKLIS. Τελικά έχουμε:

HVAC		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
5.41	34.00	13.80

4.2.4. Βάρος ηλεκτρικού δικτύου (W_{EL})

Το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου εκτιμάται προσεγγιστικά μέσω συντελεστών βάρους, επί τη συνολική επιφάνεια των χώρων ενδιαίτησης (A_{ACC}) και των χώρων μεταφοράς οχημάτων (A_{GAR}). Ο τύπος που μας δίνει λοιπόν το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου είναι:

$$W_{EL} = 0.02 \cdot A_{ACC} + 0.01 \cdot A_{GAR}$$

όπου W_{EL} σε tn και A_{ACC} , A_{GAR} σε m^2 .

Τα εμβαδά των επιφανειών που θέλουμε να υπολογίσουμε καθώς και τα κέντρα επιφανείας τους προκύπτουν από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης.

Συγκεντρωτικά έχουμε για τα κατάστρωμα επιβατών και οχημάτων τους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.2.3, Πίνακας 4.2.4):

Κατάστρωμα επιβατών					
Κατάστρωμα	Εμβαδόν (m^2)	LCG (m)	Διαμήκης ροπή επιφανείας (m^3)	KG (m)	Εγκάρσια ροπή επιφανείας (m^3)
INTERMEDIATE	369.32	60.00	22159.20	7.50	2769.90
SALOON	800.00	40.00	32000.00	9.90	7920.00
BRIDGE	118.00	46.50	5487.00	12.30	1451.40
Σύνολο	1287.32	46.33	59646.20	9.43	12141.30

Πίνακας 4.2.3: Εμβαδό καταστρωμάτων επιβατών

Κατάστρωμα οχημάτων					
Κατάστρωμα	Εμβαδόν (m^2)	LCG (m)	Διαμήκης ροπή επιφανείας (m^3)	KG (m)	Εγκάρσια ροπή επιφανείας (m^3)
CAR DECK	1047.00	30.00	31410.00	5.10	5339.70
INTERMEDIATE	404.70	60.00	24282.00	7.50	3035.25
TANK TOP	432.96	43.00	18617.28	1.50	649.44
Σύνολο	1884.66	39.43	74309.28	4.79	9024.39

Πίνακας 4.2.4: Εμβαδό καταστρωμάτων οχημάτων

Τα αποτελέσματα από τους παραπάνω δύο πίνακες συνοψίζονται στον παρακάτω (Πίνακας 2.5):

Κατηγορία καταστρώματος	Εμβαδόν (m ²)	LCG (m)	Διαμήκης ροπή επιφανείας (m ³)	KG (m)	Εγκάρσια ροπή επιφανείας (m ³)
Κατάστρωμα επιβατών	1287.32	46.33	59646.20	9.43	12141.30
Κατάστρωμα οχημάτων	1884.66	39.43	74309.28	4.79	9024.39
Σύνολο	3171.98	42.23	133955.48	6.67	21165.69

Πίνακας 4.2.5: Συγκεντρωτικός πίνακας εμβαδών καταστρωμάτων επιβατών και οχημάτων

Έτσι υπολογίζουμε το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου:

$$W_{EL} = 0.02 \cdot A_{ACC} + 0.01 \cdot A_{GAR} \Rightarrow W_{EL} = 0.02 \cdot 1287.32 + 0.01 \cdot 1884.66 \text{ tn} \Rightarrow W_{EL} = 44.59 \text{ tn}$$

Τα κέντρα βάρους LCG, KG προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.2.5) όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ροπών.

Συγκεντρωτικά για το ηλεκτρικό δίκτυο έχουμε:

EL		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
44.59	42.23	6.67

4.2.5. Βάρος δικτύου σωληνώσεων (W_{pp})

Το βάρος του δικτύου σωληνώσεων υπολογίζεται πάλι προσεγγιστικά με συντελεστές βάρους (όπως και το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου) με τις ίδιες επιφάνειες καταστρώματος επιβατών και οχημάτων αλλά με τους διαφορετικούς συντελεστές αυτή τη φορά. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω τύπος:

$$W_{PP} = 0.03 \cdot A_{ACC} + 0.02 \cdot A_{GAR} \Rightarrow W_{PP} = 0.03 \cdot 1287.32 + 0.02 \cdot 1884.66 \text{ tn} \Rightarrow W_{PP} = 76.31 \text{ tn}$$

Θεωρούμε τα LCG, KG ίσα με αυτά του βάρους ηλεκτρικού δικτύου καθώς χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος υπολογισμού (προσεγγιστική μέθοδος συντελεστών βαρών). Έτσι παίρνουμε:

PIPING		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
76.31	4.23	6.67

4.2.6. Συνολικό βάρος εξοπλισμού (W_{OT})

Τέλος, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2.6), τα βάρη που υπολογίστηκαν παραπάνω, τα οποία στο σύνολό τους μας δίνουν το βάρος εξοπλισμού του πλοίου. Τα LCG, KG του εξοπλισμού υπολογίζονται με τη μέθοδο των ροπών.

Κατηγορία	Βάρος (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
EN	43.10	45.00	1939.5	7.50	323.25
BTH	1.93	67.00	129.31	2.10	4.053
HVAC	5.41	34.00	184.05	13.80	74.70
EL	44.59	42.23	1883.20	6.67	297.56
PP	76.31	42.23	3222.76	6.67	509.21
OUTFIT	171.35	42.95	7358.82	7.05	1208.77

Πίνακας 4.2.6: Συγκεντρωτικός πίνακας επιμέρους βαρών εξοπλισμού

Λαμβάνοντας υπόψη αύξηση του τελικού βάρους εξοπλισμού κατά 5% για περιθώριο λάθους έχουμε:

OUTFIT		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
179.92	42.95	7.05

4.3. Βάρος ενδιαίτησης (W_{ACC})

Το βάρος ενδιαίτησης του πλοίου (W_{ACC}) θεωρούμε ότι αποτελείται από τα βάρη του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στους χώρους ενδιαίτησης πληρώματος και επιβατών, όπως καμπίνες, σαλόνια, χώροι υποδοχής και άλλες περιοχές συμπεριλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3.1) και προκύπτουν από την ανάλυση του Σκούπα για το βάρος ενδιαίτησης. Στον ίδιο πίνακα συμπεριλαμβάνονται για κάθε περιοχή κάποια εύρη συντελεστών βαρών σε κατάλληλες μονάδες.

Περιοχή που περιλαμβάνει*	Συντελεστής βάρους (tn/m ²)	
	Ελάχιστο	Μέγιστο
Καμπίνες επιβατών τετράκλινες	0.0653	0.0722
Καμπίνες επιβατών δίκλινες	0.0676	0.0747
Καθίσματα αεροπορικού τύπου	0.0686	0.0758
Καμπίνες αξιωματικών	0.0646	0.0714
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος	0.0449	0.0496
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εσωτερικοί	0.0466	0.0515
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εξωτερικοί	0.0315	0.0348
Χώροι αναμονής (σαλόνια)	0.0288	0.0318
Self service	0.0565	0.0624
Χώρος υποδοχής	0.0444	0.0501
Καταστήματα	0.0389	0.0430
Άλλα βάρη		
Κυλιόμενες σκάλες (escalator) (κλίση 35°, πλάτος 0.8m)	1.18 tn/m (κατακόρυφης απόστασης)	
Ασανσέρ επιβατών (elevator) (καμπίνα 1.8m*1.3m, βάρος ανύψωσης 680kg), ΠΔ 314/2001	910 kg	
*Νοείται ως ο συνολικός χώρος που φέρει τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Για παράδειγμα, η περιοχή καμπινών πληρώματος περιλαμβάνει, εκτός από τις καμπίνες, τους διαδρόμους και την αίθουσα αναψυχής.		

Πίνακας 4.3.1: Συντελεστές βάρους για τον προσδιορισμό του βάρους ενδιαίτησεων

Το συνολικό βάρος ενδιαίτησης W_{ACC} προσδιορίζεται από το εσωτερικό γινόμενο των επιμέρους συντελεστών βάρους επί την επιφάνεια της αντίστοιχης περιοχής. Έχουμε δηλαδή:

$$W_{ACC} = \sum_i w_i^w A_i + W_{escalator} + W_{elevator}$$

όπου w_i ο σταθμισμένος ως προς το επίπεδο εξοπλισμού συντελεστής βάρους της περιοχής i , ο οποίος ισούται με:

$$w_i^w = w_i^{\min} + k(w_i^{\max} - w_i^{\min}), \quad k \in [0,1]$$

και A_i το αντίστοιχο εμβαδό.

Υποθέτουμε $k=0.5$ δηλαδή μέσο επίπεδο ενδιαίτησης. Έτσι παρουσιάζουμε τους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.3.2, Πίνακας 4.3.3, Πίνακας 4.3.4), που περιλαμβάνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά για κάθε περιοχή στα καταστρώματα που μας ενδιαφέρουν (Intermediate Deck, Saloon Deck, Bridge Deck). Τα εμβαδά των διάφορων περιοχών, οι κατακόρυφες αποστάσεις όπως και τα LCG, KG μετρούνται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης.

INTERMEDIATE DECK									
Χώροι	Συντελεστής βάρους (tn/m ²)	Συντελεστής βάρους (tn/m)	Εμβαδόν περιοχής (m ²)	Κατακόρυφη απόσταση (m)	Βάρος (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος	0.04725	-	173.02	-	8.18	56.00	457.81	8.40	68.67
Χώροι αναμονής (σαλόνια)	0.0303	-	55.25	-	1.67	50.00	83.70	8.40	14.06
Κυλιόμενες σκάλες	-	1.18	-	4.80	5.66	12.50	70.80	8.40	47.58
Σύνολο	-	-	-	-	15.51	39.47	612.31	8.40	130.31

Πίνακας 4.3.2: Βάρη ενδιαίτησης του Intermediate Deck

SALOON DECK									
Χώροι	Συντελεστής βάρους (tn/m ²)	Συντελεστής βάρους (tn/m)	Εμβαδόν περιοχής (m ²)	Κατακόρυφη απόσταση (m)	Βάρος (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εσωτερικοί	0.04905	-	55.42	-	2.72	20.00	54.37	10.80	29.36
Χώροι αναμονής (σαλόνια)	0.0303	-	725.90	-	21.99	42.50	934.78	10.80	237.54
Self service	0.05945	-	35.00	-	2.08	27.50	57.22	10.80	22.47
Κυλιόμενες σκάλες	-	1.18	-	4.80	5.66	12.50	70.80	10.80	61.17
Σύνολο	-	-	-	-	32.46	34.42	1117.17	10.80	350.55

Πίνακας 4.3.3: Βάρη ενδιαίτησης του Saloon Deck

BRIDGE DECK									
Χώροι	Συντελεστής βάρους (tn/m ²)	Συντελεστής βάρους (tn/m)	Εμβαδόν περιοχής (m ²)	Κατακόρυφη απόσταση (m)	Βάρος (tn)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (tn*m)
Καμπίνες αξιωματικών	0.068	-	114.78	-	7.81	46.00	359.03	13.20	103.03
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εσωτερικοί	0.04905	-	36.12	-	1.77	38.50	68.21	13.20	23.39
Σύνολο	-	-	-	-	9.58	44.61	427.24	13.20	126.41

Πίνακας 4.3.4: Βάρη ενδιαίτησης του Bridge Deck

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα των ανωτέρω πινάκων προκύπτει ο πίνακας 4.3.5, όπως φαίνεται παρακάτω:

Κατάστρωμα	Βάρος (tn)	LCG (m)	MT (tn*m)	KG (m)	ML (tn*m)
Intermediate deck	15.51	39.47	612.31	8.40	130.31
Saloon deck	32.46	34.42	1117.17	10.80	350.55
Bridge deck	9.58	44.61	427.24	13.20	126.41
Σύνολο	57.55	37.48	2156.72	10.55	607.27

Πίνακας 4.3.5: Βάρη ενδιαίτησης όλων των καταστρωμάτων

Με την προσαύξηση του βάρους ενδιαίτησης κατά 5% για τυχόν αποκλίσεις παίρνουμε τελικά:

ACCOMMODATION		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
60.43	37.48	10.55

4.4. Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου (W_M) θεωρούμε ότι περιλαμβάνει τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία:

- 1.Βάρος κύριας προωστήριας εγκατάστασης ($W_{M.E.}$)
- 2.Βάρος έλικας (W_{PR})
- 3.Βάρος ελικοφόρου άξονα (W_{SH})
- 4.Βάρος κύριας ηλεκτρογεννήτριας (W_{EL})
- 5.Βάρος ηλεκτρογεννήτριας εκτάκτου ανάγκης (W_{EG})
- 6.Βάρος βοηθητικών μηχανημάτων (W_{AM})
- 7.Βάρος μειωτήρα ($W_{R.G.}$)

Έτσι θα γίνει υπολογισμός των ανωτέρω βαρών με σκοπό την εύρεση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης. Επιπλέον με βάση τα κέντρα βάρους των παραπάνω στοιχείων θα υπολογιστούν τα τελικά LCG, KG της μηχανολογικής εγκατάστασης με τη μέθοδο των ροπών. Στην παρακάτω ανάλυση χρησιμοποιούνται μαθηματικοί τύποι που προέρχονται από τη διδακτορική διατριβή του Σωτήριου Α. Σκούπα.

4.4.1. Βάρος κύριας προωστήριας εγκατάστασης ($W_{M.E.}^D$)

Από το κεφάλαιο της προώσης, έχουμε επιλέξει δύο κύριες μηχανές CAT 6M25C, συνολικής ισχύος 2000kW έκαστη. Έτσι υπολογίζουμε με βάση τους τύπους το βάρος των κύριων μηχανών Diesel:

$$W_{M.E.}^D = N_D \cdot (0.0718 \cdot P_{1D}^{0.673})$$

όπου $W_{M.E.}^D$ σε tn, N_D ο αριθμός των κινητήρων Diesel και P_{1D} η ισχύς του κάθε ενός από αυτούς σε kW. Οπότε υπολογίζουμε:

$$W_{M.E.}^D = 2 \cdot (0.0718 \cdot 2000^{0.673}) \Rightarrow W_{M.E.}^D = 23.92 \text{ tn}$$

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του $W_{M.E.}$ προκύπτουν από το General Arrangement του IRAKLIS και από το σχέδιο των μηχανών που επιλέξαμε.

Έτσι έχουμε:

MAIN ENGINE		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
23.92	21.50	4.04

4.4.2. Βάρος έλικας (W_{PR})

Από το General Arrangement του υπό μελέτη πλοίου μετράμε διάμετρο έλικας ίση με $D_{PR} = 2.2 \text{ m}$. Έτσι με βάση τους τύπους υπολογίζουμε το βάρος της κάθε έλικας:

$$W_{PR} = 0.127 \cdot D_{PR}^{2.852}$$

όπου W_{PR} σε tn και D_{PR} η διάμετρος της έλικας σε m. Οπότε υπολογίζουμε:

$$W_{PR} = 0.127 \cdot 2.2^{2.852} \Rightarrow W_{PR} = 1.2 \text{ tn}$$

Οπότε το βάρος και των δύο ελίκων θα είναι:

$$W_{PR} = 2 \cdot 1.2 \text{ tn} \Rightarrow W_{PR} = 2.4 \text{ tn}$$

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του W_{PR} προκύπτουν από το General Arrangement του IRAKLIS.

Έτσι έχουμε:

PROPELLER		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
2.40	1.00	1.14

4.4.3. Βάρος ελικοφόρου άξονα (W_{SH})

Από το General Arrangement του Iraklis μετράμε μήκος ελικοφόρου άξονα ίσο με $L_{SH}=16$ m, ενώ θεωρούμε $BHP=SHP$ δηλ: $P_{SH}=P_{1D}=2000$ kW. Έτσι με βάση τους τύπους υπολογίζουμε το βάρος του κάθε άξονα:

$$W_{SH}=L_{SH} \cdot (0.0962 \cdot P_{SH} - 33.793) \cdot 10^{-3}$$

όπου W_{SH} σε tn, L_{SH} το μήκος του άξονα σε m και P_{SH} το φορτίο σε kW. Οπότε υπολογίζουμε:

$$W_{SH}=16 \cdot (0.0962 \cdot 2000 - 33.793) \cdot 10^{-3} \Rightarrow W_{SH}=2.54 \text{ tn}$$

Οπότε το βάρος και των δύο αξόνων θα είναι:

$$W_{SH}=2 \cdot 2.54 \Rightarrow W_{SH}=5.08 \text{ tn}$$

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του W_{SH} προκύπτουν από το General Arrangement του Iraklis.

Έτσι έχουμε:

SHAFT PROPELLER		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
5.08	9.50	1.54

4.4.4. Βάρος κύριων ηλεκτρογεννητριών (W_{EL})

Για τον υπολογισμό του βάρους των κύριων ηλεκτρογεννητριών θα χρειαστεί να επιλέξουμε γεννήτριες με βάση την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ του πλοίου. Εντωμεταξύ από πριν έχουμε την ισχύ του κάθε κινητήρα Diesel $P_{1D}=2000kW$, οπότε συνολική εγκατεστημένη ισχύ $P_{ME}=4000kW$ (και για τους δύο κινητήρες). Έτσι οι τύποι μας δίνουν για την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ:

$$P_{EL}=0.175 \cdot (P_{ME})^{0.831}$$

όπου P_{EL} σε kW, P_{ME} η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε kW.

Οπότε υπολογίζουμε:

$$P_{EL}=0.175 \cdot (4000)^{0.831} \Rightarrow P_{EL}=172.33 \text{ kW}$$

Με βάση την ηλεκτρική ισχύ που βρήκαμε P_{EL} επιλέγουμε δύο ηλεκτρογεννήτριες Cummins Model DFEG ισχύος 350 kW και βάρους 4 tn έκαστη. Το Manual των ηλεκτρογεννητριών βρίσκεται στο τέλος της εργασίας στο Παράρτημα Θ.

Έτσι υπολογίζουμε το συνολικό βάρος και για τις δύο ηλεκτρογεννήτριες:

$$W_{EL}=2 \cdot 4 \text{ tn} \Rightarrow W_{EL}=8 \text{ tn}$$

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του W_{EL} προκύπτουν από το General Arrangement του IRAKLIS.

Έτσι έχουμε:

ELECTRIC GENERATOR		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
8.00	13.25	4.04

Θα προστεθεί και μια ηλεκτρογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης, κάτι που σημειώνεται ακριβώς παρακάτω.

4.4.5. Βάρος ηλεκτρογεννήτριας εκτάκτου ανάγκης (W_{EG})

Πέραν των δύο κύριων ηλεκτρογεννητριών που επιλέξαμε προηγουμένως θα επιλέξουμε μία ακόμη ηλεκτρογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης ίδιου τύπου (Cummins Model DFEG ισχύος 350 kW και βάρους 4 tn)

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του W_{EG} θεωρούνται ίδια με αυτά των κύριων ηλεκτρογεννητριών.

Έτσι έχουμε:

EMERGENCY GENERATOR		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
4.00	13.25	4.04

4.4.6. Βάρος βοηθητικών μηχανημάτων (W_{AM})

Οι τύποι του Σκούπα για τον υπολογισμό του βάρους των βοηθητικών μηχανημάτων προϋποθέτουν τη γνώση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος P_{ME} και της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος P_{EL} . Με βάση τους τύπους λοιπόν υπολογίζουμε το βάρος των βοηθητικών μηχανημάτων:

$$W_{AM} = 0.002 \cdot (P_{ME} + P_{EL})$$

όπου P_{EL} σε kW, P_{ME} η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε kW.

Οπότε υπολογίζουμε:

$$W_{AM} = 0.002 \cdot (4000 + 172.33) \Rightarrow W_{AM} = 8.34 \text{tn}$$

Το κέντρο βάρους LCG του W_{AM} θεωρείται ίδιο με αυτό της κύριας προωστήριας εγκατάστασης. Το κέντρο βάρους KG προκύπτει από το General Arrangement του IRAKLIS.

Έτσι έχουμε:

AUXILIARY MACHINERY		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
8.34	21.50	1.90

4.4.7. Βάρος μειωτήρων ($W_{R.G.}$)

Προκειμένου να υπολογίσουμε το βάρος του μειωτήρων, επιλέγουμε δύο μειωτήρες MAN B&W 31V020 βάρους των 8.5 tn, ο καθένας, συνολικά δηλαδή 17 tn. Το Manual των μειωτήρων βρίσκεται στο τέλος της εργασίας στο Παράρτημα Ι.

Τα κέντρα βάρους LCG, KG του $W_{M.E.}$ προκύπτουν από το General Arrangement του IRAKLIS και από το Manual της κύριας μηχανής.

Έτσι έχουμε:

REDUCTION GEAR		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
17.00	18.50	2.26

4.4.8 Συνολικό βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα παραπάνω στοιχεία (Βάρη, LCG, KG), προκειμένου να υπολογιστούν το τελικό βάρος, LCG και KG της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Έτσι έχουμε:

Επιμέρους στοιχεία	WEIGHT (tn)	MACHINERY TYPE	LCG (m)	KG (m)	ML (tn*m)	MT (tn*m)
MAIN ENGINE	23.92	CAT 6M25C	21.50	4.04	514.28	96.73
SHAFT	5.08		9.50	1.54	48.26	7.82
GENERATORS	8.00	2x CUMMINS DFEG 350KW	13.25	4.04	106.00	32.35
AUXILARY	8.34		21.50	1.90	179.31	15.85
PROPELLER	2.40		1.00	1.14	2.40	2.74
EMERG. GENERATOR	4.00	CUMMINS DFEG 350KW	13.25	4.04	53.00	16.18
REDUCTION GEAR	17.00	MAN B&W 31V020	18.50	2.26	314.50	38.44
TOTAL=	68.74		17.72	3.06	1217.75	210.10

Πίνακας 4.4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας επιμέρους βαρών μηχανολογικής εγκατάστασης

Τέλος, θα γίνει μια προσαύξηση 5% στο τελικό W_M για στοιχεία της μηχανολογικής εγκατάστασης που ενδέχεται να έχουμε παραλείψει. Προκύπτει έτσι:

MACHINERY		
Βάρος (tn)	LCG (m)	KG (m)
72.18	17.72	3.06

4.5. Βάρος κενού σκάφους (W_{LS})

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας με τα βάρη και τα κέντρα βάρους των επιμέρους ομάδων που αναλύθηκαν παραπάνω και αποτελούν στο σύνολό τους το βάρος του κενού σκάφους. Οι επιμέρους αυτές ομάδες βαρών είναι:

- Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST}
- Το βάρος του εξοπλισμού W_{OT}
- Το βάρος της ενδίαιτησης W_{ACC}
- Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης W_M

Ομάδα βάρους	Βάρος (tn)	Ποσοστό (%)	LCG (m)	ML (tn*m)	KG (m)	MT (m)
Steel	1007.49	76.32	37.59	37872.76	5.90	5948.78
Outfit	179.92	13.63	42.95	7726.76	7.05	1269.212
Accommodation	60.43	4.58	37.48	2264.56	10.55	637.633
Machinery	72.18	5.47	17.72	1278.64	3.06	220.61
Lightship	1320.00	100.00	37.23	49142.71	6.12	8076.23
LIGHTSHIP/LBD	0.216					
KG/D	0.618					
LCG/L	0.465					

Πίνακας 4.5.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ομάδων βαρών του Lightship

Έτσι τα τελικά αποτελέσματα για το Lightship φαίνονται παρακάτω:

LIGHTSHIP		
WEIGHT (tn)	LCG (m)	KG (m)
1320.00	37.23	6.12

4.6. Κριτική των αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω αποτελέσματα έχουμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

1) Σύμφωνα με τους πίνακες για επιβατηγά πλοία σελ. 85, 101, 102 του βιβλίου «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι (Μεθοδολογία Προμελέτης) Συλλογή βοηθημάτων», οι συντελεστές $W_{LS}/L \cdot B \cdot D$, KG/D και LCG/L_{BP} βρίσκονται μέσα σε αποδεκτά όρια. 0.3683

2) Σύμφωνα με τη μέθοδο του Watson σελ. 219 «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι Μεθοδολογίες Προμελέτης Τεύχος 1», το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου υπολογίζεται γύρω στους 1005 tn και είναι πολύ κοντά στο αποτέλεσμα των 1007.49 tn που μας έδωσε οι αναλυτικές μέθοδοι του κεφαλαίου 4.1.

3) Σύμφωνα με τους πίνακες για επιβατηγά πλοία σελ. 85 και σελ.86 («Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι (Μεθοδολογία Προμελέτης) Συλλογή βοηθημάτων»), υπολογίζουμε το βάρος εξοπλισμού και ενδιαίτησης του υπό μελέτη πλοίου μας ίσο με 335 tn και 350 tn αντίστοιχα, γύρω στους 100 tn πάνω από τιμή που προέκυψε από τη μεθοδολογία της διδακτορικής διατριβής του Σκούπα. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι έγινε υποεκτίμηση του βάρους εξοπλισμού και ενδιαίτησης, καθώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε μας οδήγησε σε πολύ μικρότερες τιμές από αυτές που αναμέναμε.

4) Επιπλέον οι 72.18 tn της μηχανολογικής εγκατάστασης, που υπολογίσθηκαν αναλυτικά από τους τύπους της διδακτορικής διατριβής του Σκούπα, δείχνουν λίγοι καθώς αποτελούν ποσοστό σχεδόν 6% του συνολικού Lightship. Από τους σημαντικούς λόγους, που ευθύνονται για το χαμηλό αυτό ποσοστό συμμετοχής είναι οι αρκετά χαμηλές απαιτήσεις ισχύος πρόωσης (SHP=1983 HP) σε συνδυασμό και με τη χαμηλή υπηρεσιακή ταχύτητα του πλοίου ($V_S=17$ kn).

Συμπεραίνουμε ότι πολύ πιθανό να έχει γίνει υποεκτίμηση των βαρών του Lightship και συγκεκριμένα, του εξοπλισμού, της ενδιαίτησης και της μηχανολογικής εγκατάστασης, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, κάτι που θέτει υπό σκέψη την εγκυρότητα της σχετικής μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για το συγκεκριμένο πλοίο. Το ίδιο επιβεβαιώνει και ο υψηλός λόγος DWT/Δ,

καθώς για την κατάσταση Full Load Departure μας δίνει τιμή 0.36, αρκετά υψηλός για επιβατηγά πλοία τέτοιου μεγέθους. Επιπλέον η τιμή του Lightship του πατρικού πλοίου (1424 tn), που είναι ομοίων διαστάσεων με το υπό μελέτη είναι περίπου 100 tn μεγαλύτερη από την τιμή που βρέθηκε για το υπό σχεδίαση πλοίο.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα υπολογίσουμε τον μέγιστο αριθμό επιβατών, που είναι σε θέση να μεταφέρει το υπό μελέτη πλοίο, με βάση τους κανονισμούς του Φ.Ε.Κ. 110Α/2011 και του IMO Res.749.

Αρχικά θα υπολογίσουμε τους καθαρούς χώρους ενδιαίτησης επιβατών όπως ορίζονται από τους κανονισμούς του Φ.Ε.Κ, από τους οποίους θα προκύψει ο μέγιστος αριθμός επιβατών. Επειδή το πλοίο μας ανήκει στην κατηγορία Ι (ακτίνα ενέργειας άνω των 180 ναυτικών μιλίων) πρέπει να διασφαλίζεται 1 τετραγωνικό μέτρο ανά επιβάτη. Έτσι παίρνουμε τους παρακάτω πίνακες:

SALOON DECK (ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	
Περιοχή	Εμβαδό (m ²)
TOTAL AREA	922.0
W.C.	72.1
STAIRS	49.2
BAR	22.0
PROVISION OFFICE	9.7
REF.	12.6
F.L.	6.4
VENT.&FUNNELS	9.8
DISABLES W.C.	9.31
NET AREA	730.9
PASSENGERS (1 person/m²)	730

Πίνακας 5.1: Επιφάνειες κλειστών χώρων ενδιαίτησης επιβατών Saloon Deck

SALOON DECK (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	
Περιοχή	Εμβαδό (m ²)
TOTAL AREA	111.8
STAIRS	10.8
FUNNELS	1.7
NET AREA	99.3
PASSENGERS (1 person/m²)	99.0

Πίνακας 5.2: Επιφάνειες ανοικτών χώρων ενδιαίτησης επιβατών Saloon Deck

BRIDGE DECK (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	
Περιοχή	Εμβαδό (m ²)
TOTAL AREA	990.0
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΧΩΡΟΙ	346.0
STAIRS	17.3
RESTRICTED AREAS	77.4
BOILER	7.6
AIR CONDITION	8.7
EMERG.GEN.	12.9
BATT.ROOM	3.5
M.E.S.	10.0
ΣΩΣΤΙΚΕΣ ΛΕΜΒΟΙ	55.8
VENT.&FUNNELS	14.9
NET AREA	435.9
PASSENGERS (1 person/m²)	435

Πίνακας 5.3: Επιφάνειες χώρων ενδιαίτησης επιβατών Bridge Deck

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με βάση τους κανονισμούς του Φ.Ε.Κ. 110Α/2011 ο μέγιστος αριθμός επιβατών που δύναται να φορτώσει το υπό μελέτη πλοίο είναι 1264 άτομα.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τη ροπή κλίσης του πλοίου λόγω της μετακίνησης του μέγιστου αριθμού επιβατών στη μισή πλευρά των αντίστοιχων χώρων ενδιαίτησης. Το βάρος ανά επιβάτη θεωρείται 75 kg, ενώ τα εγκάρσια κέντρα βάρους των επιφανειών υπολογίστηκαν από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης με τη βοήθεια του AutoCAD. Η ροπή αυτή πρέπει να προκαλεί στο πλοίο γωνία κλίσης μικρότερη από 10 μοίρες σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης (βλ. Κεφάλαιο 11, "Μελέτη άθικτης ευστάθειας"), σύμφωνα με τα κριτήρια του IMO Res.749. Έτσι έχουμε:

Περιοχή	Πραγματικοί Επιβάτες	Βάρος (tn)	TCG (m)	Ροπή (tn*m)
SALOON (ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	730	54.75	3.319	181.72
SALOON (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	99	7.425	4.601	34.16
BRIDGE DECK (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	435	32.625	4.115	134.25
ΣΥΝΟΛΟ	1264	94.8	3.693	350.13

Πίνακας 5.4: Κατανομή επιβατών στη μισή πλευρά του πλοίου

Τώρα σύμφωνα με τον IMO πρέπει να υπολογίζουμε την προκαλούμενη ροπή από τη μετακίνηση των επιβατών στη μισή πλευρά του πλοίου με συντελεστή 4 ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο. Η διαδικασία φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.5). Να σημειωθεί ότι τα TCG διατηρήθηκαν ίδια με αυτά του πίνακα 5.4.

Περιοχή	Εμβαδό (m ²)	Συντελεστής (άτομα/m ²)	Μέγιστος Αριθμός Επιβατών στην μια πλευρά	Μειωμένος Αριθμός Επιβατών στην μια πλευρά	Βάρος (tn)	TCG (m)	Ροπή (tn*m)
SALOON (ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	365.45	4	1462	700	52.50	3.319	174.2475
SALOON (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	49.65	4	199	199	14.93	4.601	68.66993
BRIDGE DECK (ΑΝΟΙΚΤΟΙ ΧΩΡΟΙ)	217.95	4	872	872	65.40	4.115	269.121
ΣΥΝΟΛΟ			2532.18	1771.00	132.83	3.855	512.04

Πίνακας 5.5: Κατανομή 4 επιβατών ανά m² στη μισή πλευρά του πλοίου

Προφανώς, ο αριθμός των επιβατών που θεωρήσαμε υπερβαίνει σημαντικά τον πραγματικό αριθμό των επιβατών (1264 άτομα). Επιπλέον, η ροπή που προκαλούνταν από τη μετακίνηση του φαινομενικού αυτού αριθμού επιβατών προκαλούσε γωνία κλίσης στο πλοίο άνω των 10 μοιρών. Για τους δύο αυτούς λόγους ο αριθμός των "φανταστικών" ατόμων μειώθηκε, συνεχίζει παρ' όλ' αυτά να υπερβαίνει τον μέγιστο αριθμό επιβατών, οπότε η θεώρηση αυτή είναι δεκτή και συνεπώς το πλοίο μπορεί να μεταφέρει 1264 άτομα. Όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 11 ("Μελέτη άθικτης ευστάθειας"), η μέγιστη γωνία κλίσης για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης λόγω μετακίνησης επιβατών δεν υπερβαίνει τις 10 μοίρες, που ορίζουν τα κριτήρια του IMO για το Passenger Crowding.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ DWT

Ανάλυση πρόσθετου βάρους (DWT)

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί το πρόσθετο βάρος του πλοίου σε κάποιες υποκατηγορίες με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό του ωφέλιμου φορτίου (Payload). Αυτές είναι:

- Το βάρος των καυσίμων των κυρίων μηχανών W_{FO}
- Το βάρος των καυσίμων των ηλεκτρογεννητριών W_{DO}
- Το βάρος των λιπαντικών W_{LO}
- Το βάρος του γλυκού νερού W_{FW}
- Το βάρος των εφοδίων W_{PR}
- Το βάρος των επιβατών W_{PASS}
- Το βάρος του πληρώματος W_{CR}
- Το βάρος των οχημάτων W_{VEH}

Οι περισσότεροι μαθηματικοί τύποι που θα χρησιμοποιηθούν κατά την ανάλυση του πρόσθετου βάρους του πλοίου προέρχονται από το βιβλίο "Μελέτη Πλοίου Τόμος Α: Μεθοδολογία Προμελέτης" του κ. Απόστολου Δ. Παπανικολάου, ενώ κάποιος άλλος από τη διαδακτορική διατριβή του Σωτηρίου Α. Σκούπα. Έτσι έχουμε για τις παραπάνω υποκατηγορίες βαρών:

Βάρος καυσίμων κυρίων μηχανών (Fuel Oil)

Για τον υπολογισμό του βάρους των καυσίμων, βασική προϋπόθεση είναι η γνώση του χρόνου ενός κυκλικού ταξιδιού που θα εκτελέσει το πλοίο, που προκύπτει ως συνάρτηση της ακτίνας ενέργειας και της ταχύτητας του πλοίου. Το δρομολόγιο του κυκλικού μας ταξιδιού που επιλέγεται να είναι:

Λέσβος → Χίος → Σάμος → Πυθαγόρειο → Αγαθονήσι → Λειψοί → Λέρος → Κάλυμνος → Κως → Ρόδος → Κως → Κάλυμνος → Λέρος → Λειψοί → Αγαθονήσι → Πυθαγόρειο → Σάμος → Χίος → Λέσβος

Στη συνέχεια υπολογίζουμε με τη βοήθεια της εφαρμογής Google Earth τις αποστάσεις μεταξύ των δρομολογίων για τα παραπάνω νησιά. Εφόσον η υπηρεσιακή ταχύτητα του πλοίου έχει καθοριστεί στους 17 kn, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τους χρόνους ταξιδιού για τα εν λόγω δρομολόγια και εν τέλει για το συνολικό. Έτσι παίρνουμε τον παρακάτω σχετικό πίνακα με τα στοιχεία του δρομολογίου (Πίνακας 6.1).

ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (sm)	ΧΡΟΝΟΣ ΤΑΞΙΔΙΟΥ (h)
Λέσβος - Χίος	58.520	3.44
Χίος - Σάμος	56.294	3.31
Σάμος - Πυθαγόρειο	20.283	1.19
Πυθαγόρειο - Αγαθονήσι	18.659	1.10
Αγαθονήσι - Λειψοί	17.671	1.04
Λειψοί- Λέρος	17.288	1.02
Λέρος - Κάλυμνος	22.312	1.31
Κάλυμνος - Κως	16.558	0.97
Κως - Ρόδος	72.125	4.24
Σύνολο (one way)	299.710	17.63
Σύνολο (round trip)	599.420	35.26

Πίνακας 6.1: Στοιχεία δρομολογίου

Προσθέτουμε επιπλέον το χρόνο παραμονής στα ενδιάμεσα λιμάνια του δρομολογίου, 20 λεπτά σε κάθε λιμάνι. Έτσι ο συνολικός χρόνος ταξιδιού προκύπτει 40.92 ώρες. Η ακτίνα ενέργειας υπολογίστηκε στον Πίνακα 6.1 ίση με 599.42 sm.

Παρακάτω υπολογίζουμε τα απαιτούμενα βάρη αναλωσίμων, προσωπικού και επιβατών για ένα κυκλικό ταξίδι, για να υπολογίσουμε μετέπειτα τη συχνότητα ανεφοδιασμού. Για τον υπολογισμό των βαρών θα γίνει χρήση των τύπων της διδακτορικής διατριβής του Σωτήρη Σκούπα.

Βάρος καυσίμων κύριων μηχανών (Fuel Oil)

Έτσι για το βάρος των κύριων μηχανών έχουμε:

$$W_{FO} = c \cdot P_D \cdot b_D \cdot t_s \cdot 10^{-6}$$

όπου:

- W_{FO} : Βάρος καυσίμων κύριων μηχανών (tn)
- P_D : Ισχύς λειτουργίας των κυρίων μηχανών diesel (kW)
 $P_D = 4000$ kW (Από κεφάλαιο πρόωσης έχουμε επιλέξει μηχανές CAT 6M25C)
- t_s : Χρόνος λειτουργίας των κύριων μηχανών που προκύπτει με βάση την υπηρεσιακή ταχύτητα και την ακτίνα ενέργειας (h)
 $t_s = 35.26$ h
- b_D : Ειδική κατανάλωση κύριας μηχανής (gr/kWh)
 $b_D = 184$ gr/kWh (από το εγχειρίδιο των μηχανών που επιλέξαμε)
- c : Συντελεστής εφεδρείας των δεξαμενών
 $c = 1.1$

Έτσι παίρνουμε:

$$W_{FO} = 1.1 \cdot 4000 \cdot 184 \cdot 35.26 \cdot 10^{-6} = 28.55 \text{ tn}$$

$$W_{FO} = 28.55 \text{ tn}$$

Βάρος καυσίμων ηλεκτρογεννητριών (Diesel Oil)

Ο αντίστοιχος τύπος που μας δίνει το βάρος των καυσίμων των ηλεκτρογεννητριών είναι ο παρακάτω:

$$W_{DO} = c \cdot b_{DO} \cdot (P_{EL} \cdot t_S + 0.5 \cdot P_{EL} \cdot t_P) \cdot 10^{-6}$$

όπου:

- W_{DO} : Βάρος καυσίμων ηλεκτρογεννητριών (tn)
- P_{EL} : Ισχύς των ηλεκτρογεννητριών (kW)
 $P_{EL} = 1050 \text{ kW}$ (Από κεφάλαιο της ανάλυσης Lightship έχουμε επιλέξει ηλεκτρογεννήτριες Cummins Model DFEG)
- t_S : Όπως ορίστηκε παραπάνω (h)
 $t_S = 35.26 \text{ h}$
- t_P : Συνολικός χρόνος παραμονής στα λιμάνια (h)
 $t_P = 5.66 \text{ h}$
- b_{DO} : Ειδική κατανάλωση καυσίμου (gr/kWh)
 $b_D = 190 \text{ gr/kWh}$ (από εγχειρίδιο ηλεκτρογεννητριών που επιλέξαμε)
- c : Συντελεστής εφεδρείας των δεξαμενών
 $c = 1.1$

Κάνοντας τις πράξεις έχουμε:

$$W_{DO} = 1.1 \cdot 190 \cdot (1050 \cdot 35.26 + 0.5 \cdot 1050 \cdot 5.66) \cdot 10^{-6} = 8.36 \text{ tn}$$

$$W_{DO} = 8.36 \text{ tn}$$

Βάρος λιπαντικών (Lub Oil)

Το βάρος των λιπαντικών υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$W_{LO} = c \cdot \left\{ [(P_D + P_{EL}) \cdot b_{LOD}] \cdot t_S + 0.5 \cdot P_{EL} \cdot b_{LOD} \cdot t_P \right\} \cdot 10^{-6}$$

- W_{LO} : Βάρος λιπαντικών (tn)
- P_D : Όπως ορίστηκε παραπάνω (kW)
 $P_D = 4000$ kW
- P_{EL} : Όπως ορίστηκε παραπάνω (kW)
 $P_{EL} = 1050$ kW
- t_s : Όπως ορίστηκε παραπάνω (h)
 $t_s = 35.26$ h
- t_p : Όπως ορίστηκε παραπάνω (h)
 $t_p = 5.66$ h
- b_{LOD} : Ειδική κατανάλωση λιπαντικού για τις μηχανές diesel και τους αντίστοιχους μειωτήρες (gr/kWh)
 $b_{LOD} = 1.15$ gr/kWh
- c : Συντελεστής εφεδρείας των δεξαμενών
 $c = 1.1$

Έτσι παίρνουμε:

$$W_{LO} = 1.1 \cdot \left\{ [(4000 + 1050) \cdot 1.15] \cdot 35.26 + 0.5 \cdot 1050 \cdot 1.15 \cdot 5.66 \right\} \cdot 10^{-6} = 0.23 \text{ tn}$$

$$W_{LO} = 0.23 \text{ tn}$$

Να σημειωθεί ότι δεξαμενές λιπαντικών δεν αδειάζουν στο τέλος του ταξιδιού, καθώς υπάρχει μια κυκλική ροή του υγρού στα διάφορα μηχανήματα. Συνεπώς οι δεξαμενές λιπαντικών θα έχουν πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από την απαιτούμενη ποσότητα που βρήκαμε (βλ. Σχέδιο Χωρητικότητας).

Βάρος γλυκού νερού (Fresh Water)

Καταρχάς από το κεφάλαιο υπολογισμού μέγιστου αριθμού επιβατών (Κεφάλαιο 5) έχει προκύψει μέγιστος αριθμός επιβατών ίσος με 1264 άτομα, ενώ από το κεφάλαιο της καταμέτρησης (Κεφάλαιο 8) αριθμός πληρώματος, 40 άτομα. Η ποσότητα του γλυκού νερού που καταναλώνεται καθημερινά από επιβάτες και πλήρωμα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, υπολογίζεται με βάση τους παρακάτω συντελεστές:

$c_1 = 0.65$ kg/ανθρωπόωρα, για πλήρωμα και επιβάτες με καμπίνες

$c_2 = 0.35$ kg/ανθρωπόωρα, για επιβάτες χωρίς καμπίνες

Το συνολικό βάρος ισούται με:

$$W_{FW} = c \cdot \left[c_1 \cdot (N_{P1} + N_{CR}) + c_2 \cdot N_{P2} \right] \cdot t \cdot 10^{-3}$$

όπου:

- W_{FW} : Βάρος γλυκού νερού (tn)
- N_{p1}, N_{p2} : Αριθμός επιβατών που διαθέτουν ή όχι καμπίνες αντίστοιχα
 $N_{p1} = 2$
 $N_{p2} = 1262$
- N_{CR} : Αριθμός πληρώματος
 $N_{CR} = 40$
- t : Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)
 $t = 40.92$ h
- c_1 : Συντελεστής για πλήρωμα και επιβάτες με καμπίνες
 $c_1 = 0.65$ kg/ανθρωποημέρα
- c_2 : Συντελεστής για επιβάτες χωρίς καμπίνες
 $c_2 = 0.35$ kg/ανθρωποημέρα
- c : Συντελεστής εφεδρείας των δεξαμενών
 $c = 1.1$

Με γνωστά τα παραπάνω δεδομένα λοιπόν υπολογίζουμε:

$$W_{FW} = 1.1 \cdot [0.65 \cdot (2+40) + 0.35 \cdot 1262] \cdot 40.92 \cdot 10^{-3} = 21.11 \text{ tn}$$

$$W_{FW} = 21.11 \text{ tn}$$

Βάρος εφοδίων (Provisions)

Το βάρος των εφοδίων υπολογίζεται με βάση την κατανάλωση 0.35 kg/ανθρωποημέρα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και ισούται με:

$$W_{PR} = 0.35 \cdot c \cdot N_p \cdot t \cdot 10^{-3}$$

όπου:

- W_{PR} : Βάρος εφοδίων σε tn
- N_p : Συνολικός αριθμός επιβατών
 $N_p = 1264$
- c : Συντελεστής εφεδρείας
 $c = 1.1$
- Όπως ορίστηκε παραπάνω (h)
 $t = 40.92$ h

Έτσι γνωρίζοντας τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζουμε:

$$W_{PR} = 0.35 \cdot 1.1 \cdot 1264 \cdot 40.92 \cdot 10^{-3} = 19.91 \text{ tn}$$

$$W_{PR} = 19.91 \text{ tn}$$

Βάρος πληρώματος (Crew)

Θεωρούμε το βάρος κάθε μέλους του πληρώματος συμπεριλαμβανομένου και των αποσκευών του ίσο με 120 kg. Γνωρίζοντας λοιπόν τον αριθμό του πληρώματος (40 άτομα) υπολογίζουμε το συνολικό βάρος τους:

$$W_{CR} = 120 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ tn} \Rightarrow W_{CR} = 4.80 \text{ tn}$$

Βάρος επιβατών (Passengers)

Θεωρούμε το βάρος ανά επιβάτη συμπεριλαμβανομένου και των αποσκευών του ίσο με 95 kg. Αφού λοιπόν αναφερόμαστε σε 1264 επιβάτες υπολογίζουμε εύκολα το συνολικό βάρος των επιβατών:

$$W_{PASS} = 95 \cdot 1264 \cdot 10^{-3} \text{ tn} \Rightarrow W_{PASS} = 120.08 \text{ tn}$$

Αφού υπολογίσαμε τις απαιτούμενες ποσότητες αναλωσίμων, τις συγκρίνουμε με τις αντίστοιχες ποσότητες που χωράνε οι δεξαμενές που έχουμε εισάγει στο μοντέλο μας στο Autoship (βλ. Κεφάλαιο "Κατασκευή επιφάνειας και διαμερισματοποίηση"). Αυτό το κάνουμε για να ελέγξουμε την επάρκεια χωρητικότητας των δεξαμενών μας ως προς τις απαιτούμενες ποσότητες αναλωσίμων που βρήκαμε στο κεφάλαιο αυτό και με βάση τη σύγκριση αυτή να αποφανθούμε για τη συχνότητα ανεφοδιασμού της κάθε ομάδας βάρους αναλωσίμων. Οι χωρητικότητες των δεξαμενών φαίνονται στο Σχέδιο Χωρητικότητας και εύκολα φαίνεται ότι καλύπτουν τις εν λόγω απαιτήσεις. Ο ανεφοδιασμός προφανώς διαφέρει για κάθε είδος αναλώσιμου. Ενδεικτικά, να πούμε ότι ο ανεφοδιασμός για τα καύσιμα των κύριων μηχανών θα γίνεται κάθε 5 ταξίδια (κυκλικά), για τα καύσιμα των ηλεκτρογεννητριών κάθε 6 ταξίδια και για το γλυκό νερό κάθε 5 ταξίδια. Να σημειώσουμε ότι για τα εφόδια εισάγουμε στο μοντέλο μας βάρος $W_{PR}=28 \text{ tn}$, που καλύπτει την απαίτηση ποσότητας που βρήκαμε προηγουμένως. Όμως ο ανεφοδιασμός των εφοδίων θα πρέπει να γίνεται σε κάθε κυκλικό ταξίδι, κάτι που δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα αφού αποτελεί την μικρότερη ομάδα βάρους και η φόρτωση θα γίνεται εύκολα και γρήγορα.

Βάρος οχημάτων (Vehicles)

Για τον υπολογισμό του μέγιστου ωφέλιμου φορτίου των οχημάτων είτε Ι.Χ. αυτοκινήτων (private cars), είτε φορτηγών οχημάτων (trucks) θα πρέπει να αφαιρέσουμε από το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα ($T_{MAX}=3.187m$) που έχουμε θεωρήσει, το βάρος του άφορτου σκάφους, το βάρος των αναλωσίμων και τέλος το βάρος των επιβατών και του πληρώματος. Το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο μέγιστο βύθισμα $T_{MAX}=3.187m$ υπολογίζεται από το Autohydro του Autoship για την κατάσταση Full Load Departure ίσο με $\Delta_{MAX}=2089.46tn$. Έτσι έχουμε:

$$W_{VEH} = \Delta_{MAX} - (W_{LS} + W_{FO} + W_{DO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR} + W_{PASS} + W_{CR}) \Rightarrow$$

$$W_{VEH} = 2089.46 - (1320 + 147.09 + 51.41 + 48.88 + 117.50 + 28.00 + 120.08 + 4.80) \Rightarrow$$

$$W_{VEH} = 251.64 \text{ tn}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.2) με τα βάρη που συνθέτουν το Deadweight.

Κατηγορίες βαρών	WEIGHT (tn)
W_{FO}	147.09
W_{DO}	51.41
W_{LO}	48.88
W_{FW}	117.50
W_{PR}	28.00
W_{PASS}	120.08
W_{CR}	4.80
W_{VEH}	251.64
DWT	769.46

Πίνακας 6.2: Ομάδες βαρών DWT

Σημειώνεται ότι τα κέντρα βαρών των παραπάνω ομάδων (LCG, KG) δεν υπολογίσθηκαν στο παρόν κεφάλαιο καθώς τα περισσότερα από αυτά δεν είναι γνωστά προς το παρόν. Συγκεκριμένα, για τις τέσσερις πρώτες κατηγορίες (W_{FO} , W_{DO} , W_{LO} , W_{FW}) τα κέντρα βάρους θα βρεθούν από το Autoship όταν οι αντίστοιχες δεξαμενές εισαχθούν στο μοντέλο του πλοίου (βλ. Κεφάλαιο 9: "Κατασκευή επιφάνειας και διαμερισματοποίηση"). Τα κέντρα βάρους των W_{PASS} , W_{CR} θα υπολογισθούν πάλι από το Autoship όταν τα εισάγουμε ως κατανομές στο μοντέλο. Επιπλέον από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης υπολογίζουμε για το W_{PR} , $LCG=69.00m$ και $KG=8.40m$. Τέλος για τα κέντρα βάρους των οχημάτων θα γίνει ξεχωριστή ανάλυση που παρουσιάζεται αργότερα (βλ. κεφάλαιο "Κατανομή οχημάτων").

7. ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την κατανομή και στοιβασία οχημάτων. Τα καταστρώματα πάνω στα οποία θα γίνει η φόρτωση των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των φορτηγών είναι τα Car Deck, Intermediate Deck και Tank Top. Επιπλέον η μελέτη στοιβασίας οχημάτων θα γίνει για τρεις καταστάσεις φόρτωσης: Full Load Departure - Arrival, 70% Passengers & 50% Vehicles Departure - Arrival, Winter Departure - Arrival, (βλ. κεφάλαιο 6: "Υδροστατικοί υπολογισμοί και κατάστρωση καταστάσεων φόρτωσης"). Στο τέλος της εργασίας επισυνάπτεται το σχέδιο στοιβασίας οχημάτων (Stowage of vehicles), που αντιστοιχεί στη πιο βαριά κατάσταση Full Load Departure - Arrival.

Με βάση τα σκαριφήματα, που έγιναν για τη χωροθέτηση των οχημάτων στα καταστρώματα, υπολογίζουμε τα βάρη των οχημάτων, τα διαμήκη και κατακόρυφα κέντρα βαρών στα διάφορα καταστρώματα και κατ' επέκταση την κατανομή των βαρών που θα εισάγουμε στις καταστάσεις φόρτωσης για την μελέτη ευστάθειας σε επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 10). Παρακάτω στους Πίνακες 7.1 και 7.2 σημειώνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των οχημάτων:

Ι.Χ. Αυτοκίνητα	
Βάρος (tn)	1.6
Μήκος (m)	4.237
Πλάτος (m)	1.777
Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους (m)	0.685

Πίνακας 7.1: Βασικά χαρακτηριστικά Ι.Χ. αυτοκινήτων

Φορτηγά οχήματα	
Βάρος (tn)	18
Μήκος (m)	12
Πλάτος (m)	2.55
Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους (m)	2.2

Πίνακας 7.2: Βασικά χαρακτηριστικά φορτηγών οχημάτων

Έτσι με βάση τα σχέδια που κατασκευάσαμε υπολογίζουμε τα τελικά βάρη, LCG, KG για τα διάφορα καταστρώματα και για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης.

7.1.Full Load Departure - Arrival

TANK TOP CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	3	4.8	29.119	2.085	139.769	10.008
2	3	4.8	33.606	2.085	161.306	10.008
3	3	4.8	38.093	2.085	182.844	10.008
4	3	4.8	42.580	2.085	204.382	10.008
5	3	4.8	47.067	2.085	225.919	10.008
SUM	15	24	38.093	2.085	914.22	50.04

Πίνακας 7.3: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Tank Top

CAR DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	6	9.6	24.637	5.785	236.516	55.536
2	6	9.6	29.124	5.785	279.591	55.536
3	6	9.6	33.611	5.785	322.667	55.536
4	6	9.6	38.098	5.785	365.742	55.536
5	6	9.6	42.585	5.785	408.817	55.536
6	6	9.6	47.072	5.785	451.892	55.536
7	6	9.6	51.559	5.785	494.967	55.536
8	6	9.6	56.046	5.785	538.043	55.536
9	5	8	60.533	5.785	484.265	46.280
10	4	6.4	65.020	5.785	416.129	37.024
11	3	4.8	69.507	5.785	333.634	27.768
SUM	60	96.0	45.128	5.785	4332.262	555.360

Πίνακας 7.4: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Car Deck

CAR DECK TRUCKS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	2	36.0	3.565	7.300	128.340	262.800
2	3	54.0	16.065	7.300	867.510	394.200
SUM	5	90.0	11.065	7.300	995.850	657.000

Πίνακας 7.5: Κατανομή φορτηγών οχημάτων στο Car Deck

INTERMEDIATE DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	4	6.4	24.893	8.185	159.312	52.384
2	4	6.4	29.380	8.185	188.029	52.384
3	6	9.6	33.867	8.185	325.118	78.576
4	6	9.6	38.354	8.185	368.194	78.576
5	6	9.6	42.841	8.185	411.269	78.576
SUM	26	41.6	34.902	8.185	1451.922	340.496

Πίνακας 7.6: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Intermediate Deck

7.2.70% Passengers & 50% Vehicles Departure - Arrival

TANK TOP CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	3	4.8	29.119	2.085	139.769	10.008
2	3	4.8	33.606	2.085	161.306	10.008
3	3	4.8	38.093	2.085	182.844	10.008
4	3	4.8	42.580	2.085	204.382	10.008
5	3	4.8	47.067	2.085	225.919	10.008
SUM	15	24	38.093	2.085	914.22	50.04

Πίνακας 7.7: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Tank Top

CAR DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	6	9.6	24.637	5.785	236.516	55.536
2	6	9.6	29.124	5.785	279.591	55.536
3	6	9.6	33.611	5.785	322.667	55.536
4	6	9.6	38.098	5.785	365.742	55.536
SUM	24	38.4	31.368	5.785	1204.516	222.144

Πίνακας 7.8: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Car Deck

CAR DECK TRUCKS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	2	36.0	3.565	7.300	128.340	262.800
2	3	54.0	16.065	7.300	867.510	394.200
SUM	5	90.0	11.065	7.300	995.850	657.000

Πίνακας 7.9: Κατανομή φορτηγών οχημάτων στο Car Deck

INTERMEDIATE DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
4	6	9.6	38.354	8.185	368.194	78.576
5	6	9.6	42.841	8.185	411.269	78.576
SUM	12	19.2	40.597	8.185	779.462	157.152

Πίνακας 7.10: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Intermediate Deck

Winter Departure - Arrival

TANK TOP CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	3	4.8	29.119	2.085	139.769	10.008
2	3	4.8	33.606	2.085	161.306	10.008
3	3	4.8	38.093	2.085	182.844	10.008
4	3	4.8	42.580	2.085	204.382	10.008
5	3	4.8	47.067	2.085	225.919	10.008
SUM	15	24	38.093	2.085	914.22	50.04

Πίνακας 7.11: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Tank Top

CAR DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	2	3.2	24.637	5.785	78.839	18.512
2	2	3.2	29.124	5.785	93.197	18.512
3	2	3.2	33.611	5.785	107.556	18.512
4	2	3.2	38.098	5.785	121.914	18.512
SUM	8	12.8	31.368	5.785	401.5053	74.048

Πίνακας 7.12: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Car Deck

CAR DECK TRUCKS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	2	36.0	3.565	7.300	128.340	262.800
2	3	54.0	16.065	7.300	867.510	394.200
SUM	5	90.0	11.065	7.300	995.850	657.000

Πίνακας 7.13: Κατανομή φορτηγών οχημάτων στο Car Deck

INTERMEDIATE DECK CARS						
ITEM	QUANTITY	WEIGHT	LCG	KG	ML	MT
1	3	4.8	38.354	8.185	184.097	39.288
2	4	6.4	42.841	8.185	274.179	52.384
SUM	7	11.2	40.918	8.185	458.276	91.672

Πίνακας 7.14: Κατανομή Ι.Χ. αυτοκινήτων στο Intermediate Deck

8. ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ - ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ - ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΞΑΡΤΙΣΜΟΥ - ΓΡΑΜΜΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

8.1. Καταμέτρηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ο υπολογισμός της ολικής και της καθαρής χωρητικότητας του υπό μελέτη πλοίου. Καταρχάς ως καταμέτρηση ορίζεται η διαδικασία εύρεσης του όγκου ή της χωρητικότητας των κλειστών χώρων ενός πλοίου. Έτσι μπορεί να εκφραστεί ένα επίσημο μέγεθος εκφρασμένο σε μονάδες όγκου που χρησιμεύει στην ρύθμιση όλων των οικονομικών σχέσεων του πλοίου.

Οι κανονισμοί προβλέπουν δύο χωρητικότητες:

- Η **ολική χωρητικότητα** (Gross Tonnage) περιλαμβάνει ολόκληρο το περιφραγμένο όγκο του πλοίου εξαιρουμένων ορισμένων “εξαιρετών χώρων” (exempted spaces)³⁴ και αποτελεί κριτήριο για τον καθορισμό του αριθμού και της σύνθεσης του πληρώματος.
- Η **καθαρή χωρητικότητα** (Net Tonnage) προκύπτει από την ολική μειωμένη κατά τον όγκο ορισμένων “εκπιπτόμενων χώρων” (deducted spaces) που δεν διατίθενται για την μεταφορά φορτίου και επιβατών, και έτσι αποτελεί το κύριο μέτρο της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου.

Σκοπός της καταμέτρησης είναι να δώσει ένα επίσημο μέτρο του μεγέθους ενός πλοίου που χρησιμεύει στην ρύθμιση όλων των οικονομικών του σχέσεων. Πιο συγκεκριμένα, η καταμέτρηση επιδρά στα λιμενικά και φαρικά τέλη, τέλη διωρύγων, δεξαμενιστικά έξοδα, σύνθεση πληρώματος, μισθολογική κλίμακα πληρώματος, έξοδα ρυμουλκήσεως, έξοδα επιθεώρησης κ.α.

Η καταμέτρηση θα γίνει με βάση τους διεθνείς κανονισμούς που περιέχονται στο κείμενο της Διεθνούς Συνδιάσκεψης για την Καταμέτρηση των Πλοίων (ICTM 1969). Βεβαίως υπάρχουν και οι κανονισμοί της ελληνικής νομοθεσίας (Ν.Δ.973/1971), εμείς όμως θα περιοριστούμε στους πρώτους.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς καταμέτρησης η ολική χωρητικότητα GT του πλοίου υπολογίζεται από την σχέση:

$$GT = K_1 \cdot V$$

όπου:

V : Ο συνολικός όγκος κάτωθεν του Car Deck σε m^3

V_1 : Ο συνολικός όγκος μεταξύ Car Deck και Intermediate Deck σε m^3

V_2 : Ο συνολικός όγκος μεταξύ Intermediate Deck και Saloon Deck σε m^3

V_3 : Ο όγκος των κλειστών χώρων μεταξύ Saloon Deck και Bridge Deck σε m^3

V_4 : Ο όγκος των κλειστών χώρων πάνω από το Bridge Deck σε m^3

και:

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V$$

- **ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΑΤΩΘΕΝ ΤΟΥ CAR DECK (έως $T=5.1m$)**

Με τη βοήθεια του Autohydro του Autoship υπολογίζουμε το ζητούμενο όγκο για $T=5.10m$ ίσο με $V=3933.77 m^3$, όπως φαίνεται παρακάτω:

Hydrostatic Properties

Draft is from Baseline.

No Trim, No heel, VCG = 6.533

LCF Draft (m)	Displ (MT)	LCB (m)	VCB (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m/cm)	KML (m)	KMT (m)
5.100	4032.114	35.439f	2.973	34.224f	10.968	62.057	129.657	7.375

Έτσι έχουμε: $V_0 = 3933.77 m^3$

- **ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ CAR DECK ΚΑΙ INTERMEDIATE DECK (από $T=5.1m$ έως $T=7.5m$)**

Με τη βοήθεια του Autohydro του Autoship υπολογίζουμε το ζητούμενο όγκο για $T=7.50m$ ίσο με $V=6645.68 m^3$, όπως φαίνεται παρακάτω:

Hydrostatic Properties

Draft is from Baseline.

No Trim, No heel, VCG = 6.533

LCF Draft (m)	Displ (MT)	LCB (m)	VCB (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m/cm)	KML (m)	KMT (m)
7.500	6811.823	35.756f	4.341	34.153f	11.085	59.805	76.769	7.213

Επομένως ο ζητούμενος όγκος είναι: $6645.68 - 3933.77 = 2711.91 m^3$.

Έτσι έχουμε: $V_1 = 2711.91 m^3$

- **ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ INTERMEDIATE DECK ΚΑΙ SALOON DECK (από T=7.5m έως T=9.9m)**

Με τη βοήθεια του Autohydro του Autoship υπολογίζουμε το ζητούμενο όγκο για T=9.90m ίσο με $V=9241.29 \text{ m}^3$, όπως φαίνεται παρακάτω:

Hydrostatic Properties

Draft is from Baseline.
No Trim, No heel, VCG = 6.533

LCF Draft (m)	Displ (MT)	LCB (m)	VCB (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m/cm)	KML (m)	KMT (m)
9.900	9472.320	35.305f	5.565	34.071f	11.059	60.133	57.319	7.619

Άρα ο ζητούμενος όγκος είναι: $9241.29 - 6645.68 = 2595.61 \text{ m}^3$

Έτσι έχουμε: $V_2 = 2595.61 \text{ m}^3$

- **ΟΓΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ SALOON DECK ΚΑΙ BRIDGE DECK (από T=9.9m έως T=12.3m)**

Από το σχέδιο Γενικής Διάταξης μετράμε επιφάνεια κλειστών χώρων πάνω στο Saloon Deck ίση με 922.0 m^2 . Άρα ο ζητούμενος όγκος είναι $922.0 \times 2.4 = 2212.8 \text{ m}^3$.

Συνεπώς: $V_3 = 2212.8 \text{ m}^3$

- **ΟΓΚΟΣ ΤΩΝ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ BRIDGE DECK (από T=12.3m έως T=14.7m)**

Από το σχέδιο Γενικής Διάταξης μετράμε επιφάνεια κλειστών χώρων πάνω στο Bridge Deck ίση με 326.0 m^2 .

Άρα ο ζητούμενος όγκος είναι $326.0 \times 2.4 = 782.4 \text{ m}^3$.

Συνεπώς: $V_4 = 782.4 \text{ m}^3$

Συγκεντρωτικά έχουμε:

V_0	3933.77 m ³
V_1	2711.91 m ³
V_2	2595.61 m ³
V_3	2212.80 m ³
V_4	782.40 m ³
Συνολικός όγκος κλειστών χώρων	12236.49 m³

Πίνακας 8.1.1: Συγκεντρωτικός πίνακας όγκων κλειστών χώρων

Ο συντελεστής K_1 είναι :

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(12236.49) = 0.281$$

Η ολική χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση:

$$GT = K_1 \cdot V = 0.281 \cdot 12236.49 = 3438 \text{ GT}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η καθαρή χωρητικότητα NT υπολογίζεται από τη σχέση :

$$NT = K_2 V_c \left(\frac{4T}{3D} \right)^2 + K_3 \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$$

όπου:

- V_c : Ο συνολικός όγκος των χώρων φορτίου. Ο όγκος αυτός αντιστοιχεί στο χώρο που προορίζεται για τη μεταφορά οχημάτων στο Car Deck, στο Intermediate Deck και στο Tank Top, και είναι ίσος με $V_1 + V_2 - 513.92 + 450.29 = 5243.89 \text{ m}^3$. Η ποσότητα που αφαιρέθηκε αντιστοιχεί σε χώρους πάνω στο Intermediate Deck, οι οποίοι δεν προορίζονται για τη μεταφορά οχημάτων, ενώ αυτή που προστέθηκε αντιστοιχεί στους χώρους του Tank Top, όπου στοιβάζονται οχήματα.
- $K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_c) = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(5243.89) = 0.274$
- $K_3 = 1.25 \frac{GT + 10000}{10000} = 1.25 \cdot \frac{3438 + 10000}{10000} = 1.680$

- D: Το πλευρικό ύψος του πλοίου μέχρι το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (Car Deck), το οποίο είναι ίσο με 5.10m
- T: Το μέγιστο έμφορτο βύθισμα, που είναι 3.187m
- N₁: Ο αριθμός επιβατών σε καμπίνες. Το υπό μελέτη πλοίο δεν προορίζεται να περιέχει καμπίνες για τους επιβάτες συνεπώς η ποσότητα αυτή λαμβάνεται ως μηδενική.
- N₂: Ο αριθμός των επιβατών, στον οποίο δεν παρέχονται καμπίνες, που στην περίπτωση μας είναι ο συνολικός αριθμός επιβατών, δηλαδή: N₂= 1264.

Ακόμη είναι:

$$\left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 3.187}{3 \cdot 5.1}\right)^2 = 0.6942 < 1.00$$

$$K_2 V_c \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 = 0.274 \cdot 5243.89 \cdot 0.6942 = 997RT > 0.25 \cdot GT = 859GT$$

Άρα η καθαρή χωρητικότητα είναι :

$$NT = K_2 V_c \left(\frac{4T}{3D}\right)^2 + K_3 \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 997 + 212 = 1209RT > 0.30GT = 1031GT$$

Συνοψίζοντας έχουμε:

GT = 3438 GT
NT = 1209 RT

8.2. Σύθεση πληρώματος

Η σύθεση του πληρώματος θα καθοριστεί με βάση την ολική χωρητικότητα GT, που βρήκαμε στο κεφάλαιο της καταμέτρησης, την εγκατεστημένη ιπποδύναμη, η οποία προέκυψε από το κεφάλαιο της προώσης, ο αριθμός επιβατών σε κλίνες που για το υπό μελέτη πλοίο δεν προβλέπονται και ο συνολικός αριθμός επιβατών. Τα στοιχεία δηλαδή που χρειαζόμαστε για την καταμέτρηση είναι:

- GT=3438 GT
- BHP=4000 kW
- $N_{PASS}=1264$

Για τον καθορισμό της σύνθεσης του πληρώματος θα γίνει χρήση της Ελληνικής Νομοθεσίας (Π.Δ.177/1994).

Από τα Άρθρα 1 έως 7 του παίρνουμε της παρακάτω ομάδες πληρώματος:

Προσωπικό Καταστρώματος (15) Άρθρο 1.
1 Πλοίαρχος Α'
1 Ύπαρχος
1 Πλοίαρχος Β'
1 Πλοίαρχος Γ'
1 Δόκιμος Πλοίαρχος
1 Ναύκληρος
1 Υποναύκληρος
8 Ναύτες

Προσωπικό Μηχανής (10) Άρθρο 2.
1 Μηχανικός Α'
1 Μηχανικός Β'
2 Μηχανικός Γ'
1 Δόκιμος Μηχανικός
1 Μηχανοδηγός Α'
1 Μηχανοδηγοί Β'
1 Μαθητευόμενος Μηχανοδηγός
2 Ηλεκτρολόγοι

Προσωπικό Ραδιοτηλεγραφίας (1) Άρθρο 3.
1 Ραδιοτηλεγραφετής Α'

Προσωπικό Οικονομικών Υπηρεσιών (2) Άρθρο 4.
1 Οικονομικός Αξιωματικός Α'
1 Οικονομικός Αξιωματικός Β'

Προσωπικό Τροφοδοσίας (0) Άρθρο 5.
(Δεν προβλέπεται)

Προσωπικό Ενδιαιτημάτων (7) Άρθρο 6.
4 Θαλαμηπόλοι
2 Επίκουροι
1 Αρχιθαλαμηπόλος

Προσωπικό Μαγειρείου (4) Άρθρο 7.
1 Μάγειρας Α'
1 Μάγειρας Β'
2 Χυτροκαθαριστές

Επιπλέον στο πλήρωμα θα προσληφθεί και ένας γιατρός. Συμπερασματικά παίρνουμε:

Είδος Προσωπικού	Αριθμός
Προσωπικό Καταστώματος	15
Προσωπικό Μηχανής	10
Προσωπικό Παδιοτηλεγραφίας	1
Προσωπικό Οικονομικών Υπηρεσιών	2
Προσωπικό Τροφοδοσίας	0
Προσωπικό Ενδιαιτημάτων	7
Προσωπικό Μαγειρίου	4
Γιατρός	1
Σύνολο	40

Πίνακας 8.2.1: Σύνολο μελών πληρώματος

Στον Πίνακα 8.2.2 που ακολουθεί, φαίνεται το σύνολο του ανώτερου πληρώματος:

Ανώτερο Πλήρωμα (9)
Πλοίαρχος Α'
Υπαρχος
Πλοίαρχος Β'
Πλοίαρχος Γ'
Μηχανικός Α'
Μηχανικός Β'
Ηλεκτρολόγος (1ος)
Ηλεκτρολόγος (2ος)
Οικονομικός Αξιωματικός Α'

Πίνακας 8.2.2: Σύνολο ανώτερου πληρώματος

8.3. Δείκτης Εξαρτισμού

Τα συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης του πλοίου καθορίζονται με βάση το δείκτη εξαρτισμού (Equipment Number). Με τον τυποποιημένο δείκτη εξαρτισμού (Equipment Letter) σύμφωνα με το Παράρτημα Ε του βιβλίου "Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι" θα καθοριστούν το μέγεθος και το μήκος των αγκυρών του πλοίου, η διάμετρος των καδένων, τα χαρακτηριστικά του σχοινιού ρυμούλκησης, καθώς και ο αριθμός και το μέγεθος των κάβων πρόσδεσης.

Ο δείκτης εξαρτισμού θα βρεθεί από την παρακάτω σχέση:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A \quad (1)$$

με:

$$h = \alpha + \sum_i h_i \quad (2)$$

όπου:

- Δ: το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο βύθισμα Γραμμής Φόρτωσης $T=4.967\text{m}$
 $\Delta=3891.194\text{m}$
- B: το μέγιστο πλάτος του πλοίου
 $B=15\text{m}$
- α: ύψος εξάλων
 $\alpha=0.145\text{m}$
- $\sum_i h_i$: άθροισμα των υψών των υπερκατασκευών με πλάτος μεγαλύτερο του $0.25B$ στον κεντρικό διαμήκη άξονα
 $\sum_i h_i = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 2.4 + 2.4 + 2.4 + 2.4 = 9.6\text{m}$ (ύψη car deck, intermediate deck, saloon deck και bridge deck αντίστοιχα)
- A: Ολική πλευρική επιφάνεια εξάλων του πλοίου στο summer draft
 $A = 845.4\text{m}^2$

Έτσι σύμφωνα με τις σχέσεις (1) και (2) παίρνουμε:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A = 3891.194^{2/3} + 2 \cdot 15 \cdot 9.745 + 0.1 \cdot 845.4 \Rightarrow EN = 624$$

Η παραπάνω ποσότητα που βρέθηκε θα τυποποιηθεί από τον πίνακα 28.1 του παραρτήματος του βιβλίου "Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι" σε $EN=600$ (U17). Έτσι παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8.3.1):

EQUIPMENT NUMBER	
Equipment Number	624
Equipment Letter	600 (U17)
STOCKLESS BOWER ANCHORS	
Bower Anchors Number	3
Weight per Anchor (kg)	1,920
CHAIN CABLE	
Stud Link Bower Chain Length (m)	440
Diameter GRADE 1 (mm)	44
Diameter GRADE 2 (mm)	38
Diameter GRADE 3 (mm)	34
TOW LINE	
Minimum Length (m)	190
Breaking Strength (kg)	378,000
MOORING LINES	
Number	4
Minimum Length of each (m)	160
Minimum Breaking Strength (kg)	150,000

Πίνακας 8.3.1: Δείκτης εξαρτισμού και βασικά στοιχεία

8.4. Γραμμή Φόρτωσης

Στο παρόν κεφάλαιο θα υπολογίσουμε το ελάχιστο ύψος εξάλων και θα ελέγξουμε το ελάχιστο ύψος πλώρας σύμφωνα με τους κανονισμούς του "IMO LOAD LINES".

REGULATION 3

Καταρχάς πρέπει να επιλέξουμε το μήκος πλοίου L που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς μας και το οποίο θα είναι το μεγαλύτερο από τα παρακάτω:

- 96% του ολικού μήκους μίας ισάλου σε ύψος 85% του D_{CD} :
 $0.96L_{WL}$ at $85\%D_{CD}=80.32m$

- Μήκος μετρούμενο από το πρωραίο άκρο της πλήρης έως τον άξονα του πηδαλίου σε 85% του D_{CD} :

$$L_R = 80.635 \text{ m}$$

Οι παραπάνω αποστάσεις μετρήθηκαν από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου.

Επομένως:

$$L_F = \max\{L_{WL} \text{ at } 85\%D_{CD}, L_R\} \Rightarrow L_F = L_R = 80.635 \text{ m}$$

Συνεπώς αυτό θα είναι το μήκος που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια για τον υπολογισμό της Γραμμής Φόρτωσης.

REGULATION 28

Για πλοίο κατηγορίας Β, το βασικό ύψος εξάλων θα είναι:

$$\boxed{BYE = 898 \text{ mm}}$$

REGULATION 29

Το πλοίο έχει μήκος κάτω από 100 m και $E > 35\%L$, οπότε δεν έχουμε διόρθωση, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$YE_2 = BYE \Leftrightarrow YE_2 = 898 \text{ mm}$$

Οπότε:

$$\boxed{YE_2 = 898 \text{ mm}}$$

REGULATION 30

Γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής γάστρας του πλοίου μας είναι $C_B = 0.548$ και $C_{WL} = 0.775$ σε βύθισμα $T = 3.187 \text{ m}$ από τα υδροστατικά στοιχεία του μοντέλου μας στο Autoship και θέλουμε να υπολογίσουμε τον αντίστοιχο συντελεστή γάστρας σε βύθισμα ίσο με το 85% του κοίλου. Ο υπολογισμός του ζητούμενου συντελεστή γάστρας θα γίνει ως εξής:

$$C_{B_{0.85-D}} = C_B \cdot \left(\frac{0.85 \cdot D}{T}\right)^{C_{WL} - 1} = 0.548 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot 5.1}{3.187}\right)^{0.775 - 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{B_{0.85-D}} = 0.622 < 0.68$$

Εφόσον ο συντελεστής γάστρας είναι μικρότερος από 0.68 δε γίνεται καμία διόρθωση. Άρα :

$$\boxed{YE_3 = 898 \text{ mm}}$$

REGULATION 31

Το πάχος του ελάσματος του καταστρώματος θεωρείται ίσο με $t=12\text{mm}$. Επομένως είναι :

$$D_f = D + t \Rightarrow D_f = 5.1 + 0.012 = 5.112 < 5.376 = \frac{L}{15}$$

Όμως διόρθωση θα γίνει διότι έχουμε υπερκατασκευή που εκτείνεται καθ' όλο το μήκος του πλοίου. Έτσι υπολογίζουμε :

$$YE_4 = YE_3 + (D_f - \frac{L}{15}) \cdot R$$

$$\text{όπου: } R = \frac{L}{0.48} \Rightarrow R = \frac{80.635}{0.48} \Rightarrow R = 168$$

Έτσι προκύπτει:

$$YE_4 = YE_3 + (D_f - \frac{L}{15}) \cdot R \Rightarrow YE_4 = 898 + (5.112 - 5.376) \cdot 168 \Rightarrow YE_4 = 854\text{mm}$$

REGULATION 32

Δεν κάνουμε καμία διόρθωση διότι δεν έχουμε D_{CD} camper.

REGULATION 33

- Πραγματικό ύψος υπερκατασκευής: $h=2.4\text{m}$
- Κανονικό ύψος υπερκατασκευής: $h_s=1.86\text{m}$

Επειδή $\frac{h}{h_s} > 1$ λαμβάνουμε $\frac{h}{h_s} = 1$.

REGULATION 34

Το πραγματικό μήκος ισούται με το δρων μήκος δηλαδή $S=E=1.0 \cdot L$, διότι η πρώτη υπερκατασκευή πάνω από το car deck εκτείνεται από το ακροπρυμναίο ως το ακροπρωαίο σημείο του πλοίου.

REGULATION 35

$$E = S \cdot \frac{h}{h_s} \cdot \frac{b}{B_s} \Rightarrow E = S = 1.0 \cdot L = 80.635\text{m},$$

αφού $\frac{h}{h_s} = 1$ όπως προαναφέραμε και $\frac{b}{B_s} = 1$ διότι έχουμε υπερκατασκευή που εκτείνεται καθ' όλο το μήκος του πλοίου και οι πλευρές της συμπίπτουν με τις πλευρές του πλοίου.

REGULATION 36

Από το γεγονός ότι οι πλευρές της υπερκατασκευής συμπίπτουν με τις πλευρές του πλοίου καθ' όλο το μήκος του, μπορούμε να αποφανθούμε ότι πρόκειται για υπερκατασκευή και όχι για πυργωτό υπερστέγασμα.

REGULATION 37

Όπως προαναφέραμε, $E=S=1.0$ $L=80.635m$.

Μείωση ύψους εξάλων για $E = 1.0$ L και $L=80.635m$: 824mm

Έτσι η μείωση του ύψους εξάλων θα είναι:

$$YE_5 = YE_4 - 824 \Rightarrow YE_5 = 854 - 824 \Rightarrow YE_5 = 30mm$$

REGULATION 38

Το μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας για όλο το πλοίο υπολογίζεται ως:

$$M_N = \frac{M_{NF} + M_{NA}}{2} = \frac{16.6750 + 8.3375}{2} \cdot \left(\frac{L}{3} + 10 \right) = 12.50625 \cdot \left(\frac{80.635}{3} + 10 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_N = 461mm$$

Το πλοίο επιλέγεται να έχει μηδενική πραγματική σιμότητα, $M_S = 0$ mm.

Συνεπώς, έχουμε διόρθωση:

$$YE_6 = YE_5 + (M_N - M_S) \cdot \left(0.75 - \frac{S}{2L} \right) = 30 + (461 - 0) \cdot (0.75 - 0.5) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{YE_6 = 145 \text{ mm}}$$

Άρα τελικά, το ύψος εξάλων FB (freeboard) προκύπτει: **FB = 0.145 m**

Συνεπώς το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα σύμφωνα με τους κανονισμούς της Γραμμής Φόρτωσης θα είναι:

$$T_{\Gamma\Phi} = D_F - FB = 5.112 - 0.145 \Rightarrow$$

$$\boxed{T_{\Gamma\Phi} = 4.967m}$$

Από το κεφάλαιο της ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση προκύπτει ότι το μέγιστο βύθισμα, στο οποίο έγινε και η μελέτη αντοχής, εμφανίζεται στην κατάσταση φόρτωσης Full Load Departure με βύθισμα $T_{FLD} = T_{SCANTLING} = 3.187m$, το οποίο είναι σαφώς μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα της γραμμής φόρτωσης $T_{\Gamma\Phi} = 4.967m$. Συνεπώς ως μέγιστο έμφορτο βύθισμα T_{MAX} θα λάβουμε το $T_{FLD} = T_{SCANTLING} = 3.187m$. Σε αυτό το βύθισμα θα τοποθετηθεί η

μπάλα του Plimsoll, η οποία σχεδιάζεται πάνω στο General Arrangement. Συμπερασματικά, παίρνουμε τα παρακάτω στοιχεία:

- Μέγιστο βύθισμα : $T_{MAX} = T_{FLD} = T_{SCANTLING} = 3.187m$
- Ύψος εξάλων : $D_f - T_{MAX} = 5.112 - 3.187 = 1.925m$

Συνεπώς το πλοίο μας πληρεί τον κανονισμό περί ελάχιστου ύψους εξάλων. Το τελευταίο που θα πρέπει να ελέγξουμε είναι ο κανονισμός περί ελάχιστου ύψους πλώρας.

REGULATION 39

Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πλώρας ή ελάχιστο ύψος εξάλων στην πρωραία κάθετο, το οποίο πρέπει να έχει το υπό μελέτη πλοίο, δίνεται για πλοία με $L < 250 m$, από τη σχέση:

$$F_{F.P.} = 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500}\right) \cdot \frac{1.36}{C_B^{0.85 \cdot D} + 0.68} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{F.P.} = 56 \cdot 80.635 \cdot \left(1 - \frac{80.635}{500}\right) \cdot \frac{1.36}{0.622 + 0.68} = 3956mm$$

Έτσι για το ελάχιστο ύψος πλώρας προκύπτει:

$$\boxed{E.Y.P. = 3.956m}$$

Όμως το υπάρχον μέγιστο βύθισμα όπως θεωρήσαμε προηγουμένως είναι $T_{FLD} = 3.187m$ και συνεπώς το υπάρχον ύψος πλώρας θα είναι:

$$\boxed{Y.Y.P. = D_f - T_{FLD} + h_{sup} = 5.112 - 3.187 + 2.400 = 4.325m > 3.956m}$$

Όπως λοιπόν φαίνεται παραπάνω, ικανοποιείται και ο κανονισμός περί ελάχιστου ύψους πλώρας.

Τέλος με βάση το μέγιστο έμφορτο βύθισμα $T_{MAX} = T_{FLD} = T_{SUMMER} = 3.187m$ θα υπολογίσουμε τα T_{WINTER} , $T_{TROPICAL}$, $T_{FRESH WATER}$ και $T_{TROPICAL FRESH WATER}$, τα οποία θα τοποθετήσουμε πάνω στη μπάλα του Plimsoll.

Καταρχάς υπολογίζουμε με το Autohydro για $T_{Γ.Φ.} = 3.187m$, $\Delta_{Γ.Φ.} = 2089.46tn$, $TPC_{Γ.Φ.} = 9.264 tn/cm$, ενώ για $T_{TROPICAL} = 3.253m$ (το οποίο βρίσκεται στη συνέχεια), $\Delta_{TROPICAL} = 2151.83tn$, $TPC_{TROPICAL} = 9.326 tn/cm$. Με τα στοιχεία αυτά

και με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων βρίσκονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την κατασκευή της μπάλας του Plimsoll.

$$T_{\text{WINTER}} = T_{\Gamma\Phi} - \frac{T_{\Gamma\Phi}}{48} = 3.187 - \frac{3.187}{48} = 3.121\text{m}$$

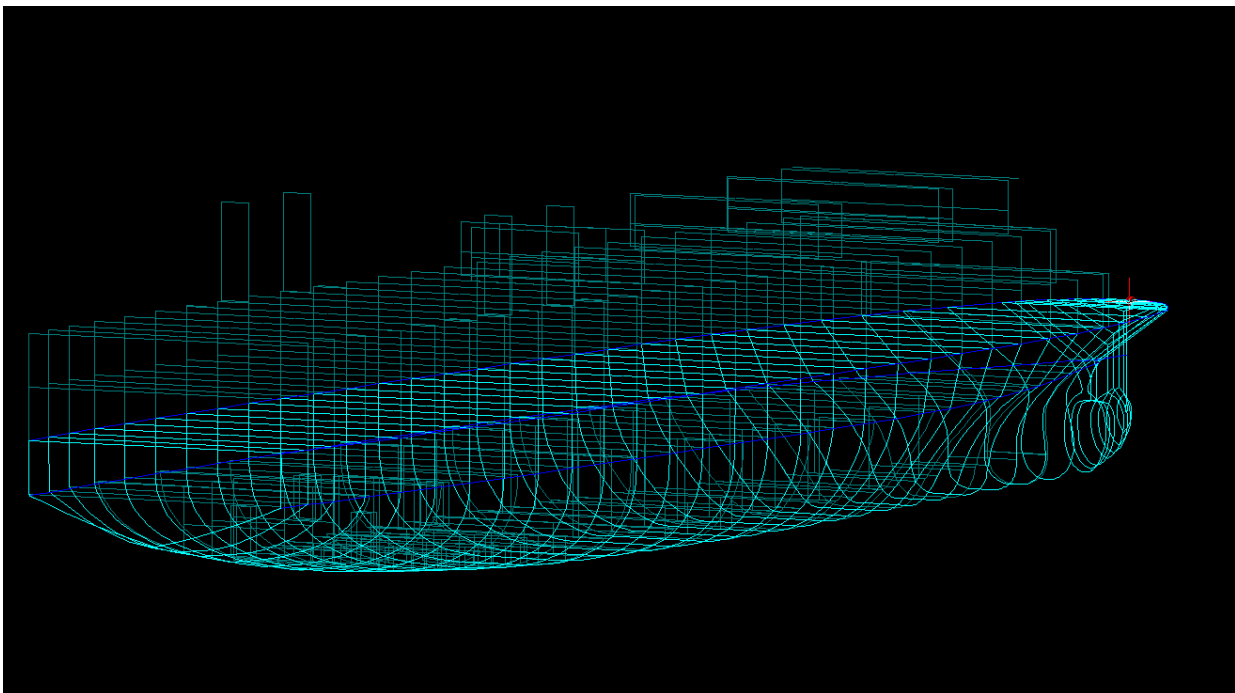
$$T_{\text{TROPICAL}} = T_{\Gamma\Phi} + \frac{T_{\Gamma\Phi}}{48} = 3.187 + \frac{3.187}{48} = 3.253\text{m}$$

$$T_{\text{FRESH WATER}} = T_{\Gamma\Phi} + \frac{\Delta_{\Gamma\Phi}}{40 \cdot \text{TPC}_{\Gamma\Phi}} = 3.187 + \frac{2089.46}{40 \cdot 9.264 \cdot 100} = 3.243\text{m}$$

$$T_{\text{TROPICAL FRESH WATER}} = T_{\text{TROPICAL}} + \frac{\Delta_{\text{TROPICAL}}}{40 \cdot \text{TPC}_{\text{TROPICAL}}} = 3.253 + \frac{2151.83}{40 \cdot 9.326 \cdot 100} = 3.311\text{m}$$

9. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

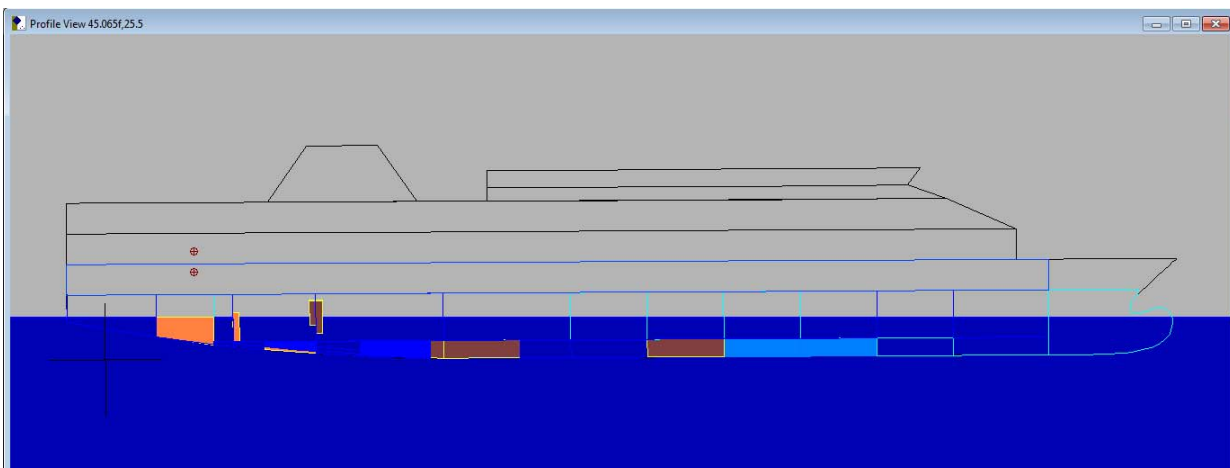
Ο καθορισμός των διάφορων χώρων του πλοίου θα γίνει στο Autoship - ModelMaker. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο, πρέπει να κατασκευάσουμε καταρχάς την επιφάνεια του μοντέλου του πλοίου, που θα προκύψει από το Lines Plan που έχουμε κατασκευάσει (βλ. κεφάλαιο 2). Έτσι εισάγουμε το μοντέλο γραμμών μας στο πρόγραμμα Rhinoceros το οποίο με τις εντολές Loft, Merge και Match δημιουργεί μια συνεχή επιφάνεια γύρω από το πρώτο. Στη συνέχεια μεταφέρουμε την επιφάνεια που φτιάξαμε στο ModelMaker του Autoship, όπου και θα ξεκινήσει η τοποθέτηση των διάφορων χώρων και δεξαμενών εντός της γάστρας του πλοίου, με βάση τους αντίστοιχους χώρους και δεξαμενές του πατρικού πλοίου αλλά και τις ανάγκες του υπό μελέτη (βλ. κεφάλαιο 6: "Ανάλυση πρόσθετου βάρους DWT"). Επιπλέον προσθέτουμε στο ModelMaker τα καταστρώματα πάνω από το Intermediate Deck, για τα οποία δεν έχουν κατασκευαστεί γραμμές στο Lines Plan. (βλ. Εικόνα 2). Στο Σχέδιο Χωρητικότητας του IRAKLIS παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα όλες οι δεξαμενές του πλοίου μαζί με τις συντεταγμένες τους πάνω στο πλοίο (LCG, TCG, VCG).



Σχήμα 9.1: Τρισδιάστατο μοντέλο πλοίου IRAKLIS στο Autoship - ModelMaker

10. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Αφού ολοκληρωθεί η διαμερισματοποίηση του πλοίου, είμαστε σε θέση να καταστρώσουμε τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης (loading cases) στο πρόγραμμα Autoship - Autohydro, για την μετέπειτα μελέτη της άθικτης ευστάθειας (intact stability), αλλά και της ευστάθειας μετά από βλάβη (damage stability). Επιπλέον με το Autohydro είμαστε σε θέση να παράγουμε υδροστατικά στοιχεία, καμπύλες στατικής ευστάθειας, καμπύλες bonjean, καμπύλες κατακλισίμων μηκών, σε μορφή διαγραμμάτων αλλά και σε πινακοποιημένη μορφή και γενικά να εκτελέσουμε διάφορους υδροστατικούς υπολογισμούς. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 10.1) φαίνεται σε Profile View το μοντέλο του πλοίου στο Autohydro. Στο Παράρτημα Κ επισυνάπτονται σχετικοί πίνακες και διαγράμματα για τα παραπάνω. Επιπλέον έχει κατασκευαστεί ξεχωριστά σχέδιο κατακλισίμων μηκών (Παράρτημα Γ).



Σχήμα 10.1: Profile View του μοντέλου του πλοίου στο Autohydro

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 11 καταστάσεις φόρτωσης που θα θεωρήσουμε για την μελέτη άθικτης ευστάθειας στο επόμενο κεφάλαιο.

- Lightship Condition: Στην κατάσταση αυτή το πλοίο είναι εντελώς άφορτο. Δεν περιλαμβάνει δηλαδή επιβάτες, οχήματα, προσωπικό και προμήθειες, ενώ οι δεξαμενές του είναι τελείως άδειες.
- Full Load Departure: Στην κατάσταση αυτή οι δεξαμενές καυσίμων και λιπαντικών είναι κατά 98% γεμάτες, ενώ οι δεξαμενές γλυκού νερού 100%. Περιλαμβάνονται 40 μέλη πληρώματος και μέγιστη ποσότητα προμηθειών (βλ. κεφάλαιο "Ανάλυση DWT"). Το πλοίο φορτώνεται με τον μέγιστο αριθμό επιβατών, 1264 άτομα, και το μέγιστο αριθμό

οχημάτων δηλαδή, 101 Ι.Χ. αυτοκίνητα και 5 φορτηγά (συνολικά 468 lane meters). Το βάρος κάθε επιβάτη μαζί με τις αποσκευές του θεωρείται 95kg, του αυτοκινήτου 1.6tn και του φορτηγού 18 tn.

- Full Load Arrival: Αντιστοιχεί στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι εδώ οι ποσότητες καυσίμων, λιπαντικών, φρέσκου νερού και προμηθειών έχουν μειωθεί στο 10%.
- Only Passengers Departure: Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στην κατάσταση Full Load Departure με τη μόνη διαφορά ότι εδώ δεν φορτώνονται οχήματα.
- Only Passengers Arrival: Αντιστοιχεί στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι εδώ οι ποσότητες των αναλωσίμων φτάνουν το 10%.
- 70% Passengers & 50% Cars Departure: Στην κατάσταση αυτή φορτώνονται το 70% του μέγιστου αριθμού επιβατών, 885 άτομα, το 50% του μέγιστου αριθμού Ι.Χ. αυτοκινήτων, 51 και ο μέγιστος αριθμός φορτηγών, 5 (συνολικά 264 lane meters). Τα υπόλοιπα παραμένουν ίδια με την Full Load Departure.
- 70% Passengers & 50% Cars Arrival: Αντιστοιχεί στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι εδώ οι ποσότητες των αναλωσίμων φτάνουν το 10%.
- Winter Departure: Στην κατάσταση αυτή φορτώνονται το 65% του μέγιστου αριθμού επιβατών, 822 άτομα, το 30% του μέγιστου αριθμού Ι.Χ. αυτοκινήτων, 30 και ο μέγιστος αριθμός φορτηγών, 5 (συνολικά 182 lane meters). Τα υπόλοιπα παραμένουν ίδια με την Full Load Departure.
- Winter Arrival: Αντιστοιχεί στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι εδώ οι ποσότητες των αναλωσίμων φτάνουν το 10%.
- Normal Ballast Departure: Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στην Full Load Departure με τη διαφορά ότι εδώ το πλοίο αντί για επιβάτες και οχήματα μεταφέρει θαλάσσιο έρμα.
- Normal Ballast Arrival: Αντιστοιχεί στην προηγούμενη περίπτωση με τη διαφορά ότι εδώ οι ποσότητες των αναλωσίμων φτάνουν το 10%.

Να σημειωθεί ότι στις καταστάσεις Full Load Arrival, Only Passengers Arrival, 70% Passengers & 50% Cars Departure, 70% Passengers & 50% Cars Arrival, Winter Departure και Winter Arrival, πέραν του ωφέλιμου φορτίου (επιβάτες, οχήματα) έχει προστεθεί θαλάσσιο έρμα, προς βελτίωση της ευστάθειας και της διαγωγής. Υπογραμμίζεται ακόμα ότι με βάση του κανονισμού του IMO για επιβατηγά πλοία (Res.749, 3.5.1) από τις παραπάνω καταστάσεις φόρτωσης που θεωρήθηκαν, αυτές που οφείλουν τουλάχιστον να εξεταστούν είναι οι Full Load Departure, Full Load Arrival, Only Passengers Departure και Only Passengers Arrival. Προφανώς θα μελετηθούν και οι υπόλοιπες καταστάσεις φόρτωσης πέραν των πλέον απαραίτητων, για λόγους πληρότητας του Loading Manual του υπό μελέτη πλοίου.

11. ΜΕΛΕΤΗ ΑΘΙΚΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί έλεγχος των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας, που ορίζουν οι σχετικοί κανονισμοί του IMO (Res. A.749(18), Chapter 3) για τις καταστάσεις φόρτωσης που ορίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες 11.1 και 11.2, που περιλαμβάνουν τα βασικά υδροστατικά μεγέθη για κάθε κατάσταση φόρτωσης. Στους πίνακες 11.3 και 11.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων της ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση. Επισημαίνεται ότι για λόγους βελτίωσης της διαγωγής και της ευστάθειας σε κάποιες καταστάσεις φόρτωσης προστέθηκε θαλάσσιο έρμα. Παράλληλα έγινε υπολογισμός των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών προκειμένου να ελεγχθεί η διαμήκης αντοχή του πλοίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Bureau Veritas. Τα βάρη του Lightship (Steel, Outfit, Accommodation, Machinery) εισήχθησαν στο πρόγραμμα Autoship - Autohydro ως κατανομές βαρών, το ίδιο και τα βάρη των επιβατών και του πληρώματος, τα οποία θεωρήσαμε ομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω στα διαθέσιμα καταστρώματα ενδιαίτησης.

INTACT STABILITY - LOADING CONDITIONS & FLOATING STATUS					
Loading Conditions	Lightship	Normal Ballast Departure	Normal Ballast Arrival	Full Load Departure	Full Load Arrival
Floating Status					
Deadweight (tn)	0	540.88	187.78	769.46	544.12
Displacement (tn)	1320	1860.88	1507.78	2089.46	1864.12
TM (m)	2.274	2.934	2.510	3.154	2.929
TA (m)	2.597	2.958	2.716	3.409	3.021
TF (m)	1.952	2.909	2.304	2.900	2.836
Trim (m)	0.645a	0.048a	0.412a	0.510a	0.185a
VCG (m)	6.114	4.933	5.714	5.611	6.231
LCG (m)	37.232	37.607	37.463	36.222	37.299
LCB (m)	37.195	37.605	37.442	36.199	37.288
BMT (m)	7.354	6.353	6.95	6.118	6.37
GMT (m)	2.583	2.875	2.451	2.142	1.645

Πίνακας 11.1: Βασικά υδροστατικά μεγέθη από την ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης

INTACT STABILITY - LOADING CONDITIONS & FLOATING STATUS (συνέχεια)						
Loading Conditions	Only Passengers Departure	Only Passengers Arrival	Winter Departure	Winter Arrival	70% Passengers & 50% Vehicles Departure	70% Passengers & 50% Vehicles Arrival
Floating Status						
Deadweight (tn)	517.88	430.58	741.66	388.55	689.64	428.14
Displacement (tn)	1837.88	1750.58	2061.66	1708.55	2009.64	1748.14
TM (m)	2.890	2.824	3.154	2.742	3.070	2.786
TA (m)	3.061	2.699	3.167	2.944	3.314	2.993
TF (m)	2.720	2.949	3.142	2.540	2.825	2.579
Trim (m)	0.341a	0.250f	0.025a	0.404a	0.489a	0.413a
VCG (m)	5.507	5.984	5.315	6.083	5.381	6.108
LCG (m)	36.994	38.503	37.283	37.088	36.381	36.992
LCB (m)	36.978	38.515	37.282	37.067	36.360	36.970
BMT (m)	6.431	6.443	6.094	6.631	6.22	6.575
GMT (m)	2.362	1.877	2.389	1.932	2.413	1.884

Πίνακας 11.2: Βασικά υδροστατικά μεγέθη από την ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης (συνέχεια του πίνακα 11.1)

IMO 749 INTACT STABILITY CRITERIA PASSENGER				
Criteria	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	Initial GM to be at least 0.15 metres
Loading Conditions				
Lightship	0.281	0.151	0.432	2.576
Normal Ballast Departure	0.350	0.229	0.579	2.875
Normal Ballast Arrival	0.277	0.159	0.435	2.450
Full Load Departure	0.259	0.111	0.371	2.142
Full Load Arrival	0.185	0.106	0.291	1.644
Only Passengers Departure	0.280	0.175	0.455	2.361
Only Passengers Arrival	0.214	0.125	0.339	1.877
Winter Departure	0.292	0.169	0.462	2.389
Winter Arrival	0.217	0.123	0.339	1.932
70% Passengers & 50% Vehicles Departure	0.293	0.151	0.443	2.413
70% Passengers & 50% Vehicles Arrival	0.212	0.120	0.332	1.883

Πίνακας 11.3: Αποτελέσματα κριτηρίων ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση

IMO 749 INTACT STABILITY CRITERIA PASSENGER (συνέχεια)					
Criteria	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	Angle of heel for passenger crowding < 10 degrees	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel <16 degrees)	IMO Weather Criterion (Ratio of Areas)
Loading Conditions					
Lightship	1.891	90.00		8.25	1.021
Normal Ballast Departure	2.685	85.00		4.44	1.940
Normal Ballast Arrival	1.980	88.62		7.18	1.451
Full Load Departure	2.003	82.54	6.11	5.12	1.321
Full Load Arrival	1.439	85.00	9.67	8.31	1.084
Only Passengers Departure	2.111	85.00	6.30	5.42	1.542
Only Passengers Arrival	1.698	85.70	8.99	7.81	1.393
Winter Departure	2.298	83.37	5.57	4.68	1.618
Winter Arrival	1.591	85.00	9.00	7.87	1.162
70% Passengers & 50% Vehicles Departure	2.232	83.23	5.66	4.79	1.462
70% Passengers & 50% Vehicles Arrival	1.566	85.00	9.03	7.86	1.140

Πίνακας 11.4: Αποτελέσματα κριτηρίων ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση (συνέχεια του πίνακα 11.3)

Παρατηρούμε λοιπόν ότι όλα τα απαιτούμενα κριτήρια για την άθικτη ευστάθεια ικανοποιούνται. Η πλήρης αναφορά των καταστάσεων φόρτωσης γίνεται στο τέλος της εργασίας στο Παράρτημα Λ .

12. ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

Η μελέτη της ευστάθειας μετά από βλάβη (Damage Stability) θα γίνει με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS '90 (SOLAS Chapter II-1 Part B: Subdivision and Stability, Regulation 8). Σε επόμενη φάση θα μελετηθεί η Συνθήκη της Στοκχόλμης (Stockholm Agreement), η οποία προδιαγράφει την ικανοποίηση των προηγούμενων απαιτήσεων, θεωρώντας παράλληλα μια ποσότητα νερού σταθερού ύψους στο κατάστρωμα οχημάτων. Τέλος, θα γίνει μια αναφορά στους κανονισμούς της SOLAS 2009, οι οποίοι αποτελούν την πιθανοθεωρητική μέθοδο υπολογισμού της ευστάθειας μετά από βλάβη.

12.1. Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS 1990

Από τον Πίνακα 11.3 της άθικτης ευστάθειας συμπεραίνουμε ότι η δυσμενέστερη κατάσταση με κριτήριο το GM είναι η Full Load Arrival. Έτσι λοιπόν στην κατάσταση αυτή θα γίνει μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη. Οι κανονισμοί που θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό είναι οι κανονισμοί συμβατικών πλοίων για κατάκλυση ενός διαμερίσματος (SOLAS 1990). Θα αποδείξουμε στη συνέχεια με βάση τους κανονισμούς της SOLAS (Chapter II-1, Regulation 6) ότι το πλοίο μας προορίζεται για κατάκλυση ενός διαμερίσματος, (one compartment flooding), δηλαδή έχει παράγοντα υποδιαίρεσης (factor of subdivision) μονάδα. Έχουμε λοιπόν:

Αρχικά καθορίζουμε τους παράγοντες A, B όπως καθορίζονται από την SOLAS (Chapter II-1, Regulation 6, 2.2,2.3)

- $A=0$
- $B = \frac{30.3}{L-42} + 0.18 = \frac{30.3}{80-42} + 0.18 \Rightarrow B = 0.977$

Ο παράγοντας A είναι μηδενικός καθώς αναφέρεται σε πλοία μεταφοράς φορτίου κυρίως και ισχύει για $L > 131m$. Το πλοίο μας πρόκειται να μεταφέρει κυρίως επιβάτες, και ακόμη το μήκος του είναι μικρότερο των 131m. Έτσι μας ενδιαφέρει μόνο ο παράγοντας B, ο οποίος αναφέρεται σε πλοία μεταφοράς επιβατών κυρίως και έχει ισχύ για $L > 79m$.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις παρακάτω ποσότητες (Chapter II-1, Regulation 6, 3.1):

- $L=80m$ (μήκος πλοίου)
- $M=1025.8m^3$ (όγκος μηχανοστασίου, μετράται από G.A.)

- $P=0$ (όγκος χώρων επιβατών κάτω από τη margin line, που εμείς δεν έχουμε)
- $V=3852.60\text{m}^3$ (ολικός όγκος πλοίου κάτω από τη margin line, μετράται από το Autohydro)
- $N=1264$ (μέγιστος αριθμός επιβατών που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο, προκύπτει από κατανομή επιβατών)
- $K = 0.056 \cdot L = 0.056 \cdot 80 \Rightarrow K = 4.48$ (τύπος συναρτήσει του μήκους L)

Συνεπώς για την ποσότητα P_1 που ορίζεται ως το γινόμενο των δύο τελευταίων έχουμε:

$$P_1 = K \cdot N = 4.48 \cdot 1264 \Rightarrow P_1 = 5662.72$$

Στη συνέχεια αναφέρεται (Chapter II-1, Regulation 6, 3.2) ότι σε περίπτωση, όπου το KN είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα του P και των χώρων των επιβατών πάνω από τη margin line, τότε ως P_1 θα οριστεί το άθροισμα αυτό ή τα δύο-τρίτα του KN , όποιο είναι μεγαλύτερο. Έτσι έχουμε:

- Χώροι επιβατών πάνω από τη margin line: $730.9\text{m}^2 \cdot 2.4\text{m} = 1754\text{m}^3$
- Άθροισμα του P και του χώρου επιβατών: $1754\text{m}^3 + 0 = 1754\text{m}^3$

Έτσι παρατηρούμε ότι το KN είναι όντως μεγαλύτερο από το τελευταίο άθροισμα. Συνεπώς για το P_1 θα έχουμε:

$$P_1 = \max \left\{ P + 1754, \frac{2}{3} \cdot K \cdot N \right\} = \max \{ 1754, 3775.15 \} \Rightarrow \boxed{P_1 = 3775.15}$$

Και επειδή $P_1 > P$ έχουμε:

$$C_s = 72 \cdot \frac{M + 2 \cdot P_1}{V + P_1 - P} = 72 \cdot \frac{1025.8 + 2 \cdot 3775.15}{3852.60 + 3775.15 - 0} = 80.95$$

Σύμφωνα με το Chapter II-1, Regulation 6, 4.3 υπολογίζουμε τον παρακάτω συντελεστή S ως εξής:

$$S = \frac{3574 - 25 \cdot L}{13} = \frac{3574 - 25 \cdot 80}{13} = 121.08$$

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.4 για πλοία μεταξύ 79 και 131 μέτρων, για τα οποία ισχύει $C_S < S$, λαμβάνεται ως συντελεστής υποδιαίρεσης η μονάδα. Συνεπώς το πλοίο μας προορίζεται για κατάκλυση ενός διαμερίσματος.

Ο κανονισμός της SOLAS (Chapter II-1, Part B, Regulation 8, Paragraph 4) προδιαγράφει για την έκταση της βλάβης τα παρακάτω:

- Διαμήκης έκταση βλάβης: Ίση με $0.03L+3m$ ή $11m$, όποιο είναι μεγαλύτερο.
- Εγκάρσια έκταση: Ίση με $B/5$, όπου B το πλάτος της ισάλου στο μέγιστο βύθισμα ($T=3.187m$)
- Κατακόρυφη έκταση: Απεριόριστη έκταση καθ' ύψος

Επιπλέον, η μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη θα γίνει για συμμετρική και για μη συμμετρική κατάκλυση. Στην πρώτη περίπτωση δηλαδή η κατάκλυση θα περιλαμβάνει δεξαμενές και χώρους που βρίσκονται port, starboard και center του πλοίου. Στη δεύτερη περίπτωση, θα κατακλύζονται μόνο δεξαμενές και χώροι port και center του πλοίου, καθώς έχουμε μη συμμετρική κατάκλυση. Σε κάθε περίπτωση όμως η επιλογή των τμημάτων του πλοίου που θα κατακλυστούν θα γίνει με βάση τη διαμήκη, την εγκάρσια και την κατακόρυφη έκταση της βλάβης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαχωρητικότητες των διάφορων χώρων και δεξαμενών (πίνακας 12.1.1), όπως ορίζεται από τους κανονισμούς της SOLAS (Chapter II-1, Part B, Regulation 8, Paragraph 3).

Περιοχές	Διαχωρητικότητα (100%)
Χώροι φορτίου ή αποθήκες	60
Χώροι ενδιατήσεων	95
Χώροι μηχανών ή μηχανημάτων	85
Χώροι υγρών φορτίων	0 ή 95*
Κενοί χώροι	95
*όποια τιμή είναι δυσμενέστερη για το πλοίο	

Πίνακας 12.1.1: Διαχωρητικότητες για τους διάφορους χώρους

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σενάρια βλάβης για συμμετρική κατάκλυση (πίνακας 12.1.2) και για μη συμμετρική (πίνακας 12.1.3).

SYMMETRICAL FLOODING - DAMAGE SCENARIOS	
D.S. NO.1	FOREPEAK W.B.T. (C)
D.S. NO.2	BOWTHRUSTER SPACE, NO.1 W.B.T. (D.B.) (C)
D.S. NO.3	NO.2 W.B.T. (C), NO.2 W.B.T. (D.B.) (C)
D.S. NO.4	NO.3 W.B.T. (P), NO.3 W.B.T. (S), NO.3 F.W. TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.5	NO.4 W.B.T. (P), NO.4 W.B.T. (S), NO.4 F.W. TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.6	NO.5 W.B.T. (P) NO.5 W.B.T. (S), NO.5 F.O. TANK (D.B.) (P), NO.5 F.O. TANK (D.B.) (S)
D.S. NO.7	NO. 6 W.B.T. (P), NO. 6 W.B.T. (S), NO.6 DRY TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.8	NO.7 W.B.T. (P), NO.7 W.B.T. (S), NO.7 DRY TANK (D.B.) (C), NO.8 F.O. TANK (D.B.) (P), NO.8 F.O. TANK (D.B.) (S)
D.S. NO.9	ENGINE ROOM, VOID TANK1 (D.B.) (P), VOID TANK1 (D.B.) (S), NO.9 W.B.T. (D.B.) (P), NO.9 W.B.T. (D.B.) (S)
D.S. NO.10	GEN. ROOM, VOID TANK (D.B.) (P), VOID TANK (D.B.) (S), L.O. D/G STORAGE TANK (D.B.) (P), L.O. D/G STORAGE TANK (D.B.) (S)
D.S. NO.11	A/C PUMP ROOM
D.S. NO.12	STEERING GEAR

Πίνακας 12.1.2: Σενάρια βλάβης για συμμετρική κατάκλυση

UNSYMMETRICAL FLOODING - DAMAGE SCENARIOS	
D.S. NO.1	FOREPEAK W.B.T. (C)
D.S. NO.2	BOWTHRUSTER SPACE, NO.1 W.B.T. (D.B.) (C)
D.S. NO.3	NO.2 W.B.T. (C), NO.2 W.B.T. (D.B.) (C)
D.S. NO.4	NO.3 W.B.T. (P), NO.3 F.W. TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.5	NO.4 W.B.T. (P), NO.4 F.W. TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.6	NO.5 W.B.T. (P), NO.5 F.O. TANK (D.B.) (P)
D.S. NO.7	NO. 6 W.B.T. (P), NO.6 DRY TANK (D.B.) (C)
D.S. NO.8	NO.7 W.B.T. (P), NO.7 DRY TANK (D.B.) (C), NO.8 F.O. TANK (D.B.) (P)
D.S. NO.9	ENGINE ROOM, VOID TANK1 (D.B.) (P), NO.9 W.B.T. (D.B.) (P)
D.S. NO.10	GEN. ROOM, VOID TANK (D.B.) (P), L.O. D/G STORAGE TANK (D.B.) (P)
D.S. NO.11	A/C PUMP ROOM
D.S. NO.12	STEERING GEAR

Πίνακας 12.1.3: Σενάρια βλάβης για μη συμμετρική κατάκλυση

Αφού δημιουργήσαμε τα σενάρια βλάβης στο Autohydro, κατακλύσαμε τις αντίστοιχες περιοχές, προκειμένου να ελέγξουμε αν ικανοποιούνται τα κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη που ορίζει η SOLAS (Chapter II-1, Part B, Regulation 8). Η πλήρης αναφορά για κάθε κατάσταση βλάβης βρίσκεται στο Παράρτημα Μ στο τέλος της εργασίας. Στους πίνακες 12.1.4 και 12.1.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων της ευστάθειας μετά από βλάβη για συμμετρική και μη συμμετρική κατάκλυση αντίστοιχα.

DAMAGE STABILITY / SOLAS 90 (Symmetrical Flooding)				
Criteria	Range of positive GZ to be > 15 degrees	Area under GZ curve up to 22 degrees or down-flood > 0.015	Maximum GZ to be at least 0.10 metres within positive range	GM at least 0.05m in equilibrium position after flooding
Flooding Compartments				
1	100	0.113	1.441	1.697
2	100	0.116	1.444	1.735
3	100	0.113	1.460	1.697
4	100	0.106	1.305	1.642
5	100	0.101	1.602	1.523
6	100	0.095	1.585	1.409
7	100	0.087	1.579	1.294
8	100	0.080	1.682	1.155
9	100	0.076	1.607	1.120
10	100	0.094	1.497	1.393
11	100	0.100	1.466	1.475
12	100	0.104	1.446	1.589

Πίνακας 12.1.4: Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη για συμμετρική κατάκλυση (SOLAS 1990)

DAMAGE STABILITY / SOLAS 90 (Unsymmetrical Flooding)						
Criteria	Range of positive GZ to be > 15 degrees	Area under GZ curve up to 22 degrees or down-flood > 0.015	Maximum GZ to be at least 0.10 metres within positive range	GM at least 0.05m in equilibrium position after flooding	Angle in equilibrium position after flooding < 7 degrees	Minimum distance between margin line and waterplane > 0m
Flooding Compartments						
4	96.15	0.075	1.375	1.705	3.85	1.583
5	98.03	0.092	1.615	1.701	1.97	1.707
6	95.58	0.064	1.620	1.532	4.42	1.488
7	97.08	0.077	1.599	1.556	2.92	1.646
8	92.50	0.045	1.771	1.508	6.92	0.981
9	99.00	0.068	1.615	1.105	1.00	1.387
10	99.71	0.091	1.500	1.382	0.29	1.565

Πίνακας 12.1.5: Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη για μη συμμετρική κατάκλυση (SOLAS 1990)

Υπογραμμίζεται ότι τα σενάρια βλάβης 1, 2, 3, 11 και 12 είναι κοινά για τις περιπτώσεις συμμετρικής και μη συμμετρικής κατάκλυσης. Συνεπώς δίνουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα, γι'αυτό και σημειώνονται μόνο στον πίνακα 12.1.4. Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του σεναρίου βλάβης NO.9 για τη μη συμμετρική κατάκλυση, εμφανίζεται το μικρότερο GM. Αξίζει ακόμα να παρατηρήσουμε ότι η μέγιστη εγκάρσια κλίση εμφανίζεται στο σενάριο βλάβης

NO.8 για μη συμμετρική κατάκλυση. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το δυσμενέστερο σενάριο βλάβης από πλευράς GM είναι το NO.9 για unsymmetrical flooding, στο οποίο θα εφαρμοστούν τα κριτήρια του Stockholm Agreement.

Το τελευταίο κριτήριο που πρέπει να ελέγξουμε είναι αυτό προδιαγράφεται από το Chapter II-1, Part B, Regulation 8, Paragraph 2.3.3 της SOLAS. Ειδικότερα αναφέρεται ότι:

1. Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, εντός της περιοχής θετικής ευστάθειας, λαμβάνοντας υπ' όψη τη ροπή που προκαλείται λόγω της μετακίνησης των επιβατών στη μία πλευρά του πλοίου, να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$GZ = \frac{\text{heeling moment}}{\text{displacement}} + 0.04 \text{ (m)} \quad (1)$$

2. Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, εντός της περιοχής θετικής ευστάθειας, λαμβάνοντας υπ' όψη τη ροπή που προκαλείται λόγω της επίδρασης πλευρικού ανέμου, να είναι τουλάχιστον ίση με αυτής της εξίσωσης 1. Η πίεση P (N/m^2) που ασκείται από τον άνεμο κάθετα στην πλευρά του πλοίου πρέπει να λαμβάνεται ίση με $P=120(V_w/26)^2$, όπου V_w (m/s) η ταχύτητα του ανέμου που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη κατάσταση που μπορεί να βρεθεί το πλοίο. Ο μοχλοβραχίονας της ροπής ισούται με την κατακόρυφη απόσταση από το ένα δεύτερο του βυθίσματος, που αντιστοιχεί στην εκάστοτε αρχική άθικτη κατάσταση (κατάσταση φόρτωσης) έως το κέντρο προβεβλημένης στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας πλευρικής επιφάνειας πάνω στην ίσαλο.

3. Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, εντός της περιοχής θετικής ευστάθειας, λαμβάνοντας υπ' όψη τη ροπή που προκαλείται κατά τη διάρκεια της ταυτόχρονης καθέλκυσης όλων των σωστικών λεμβών, που βρίσκονται στη μία πλευρά του πλοίου, πλήρως επανδρωμένων, να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή της εξίσωσης (1).

Για την πρώτη περίπτωση έχουμε υπολογίσει την προκαλούμενη ροπή από το κεφάλαιο 5 ("Υπολογισμός μέγιστου αριθμού επιβατών") ίση με 512.04 tn·m. Για τη δεύτερη περίπτωση, υπολογίζουμε με τη βοήθεια του Autohydro ροπή ίση με 71.208 tn·m. Τέλος, για την τρίτη περίπτωση, θεωρώντας το σύνολο των επιβατών στις σωστικές λέμβους, που βρίσκονται στις άκρες του πλοίου υπολογίζουμε ροπή ίση με 711 tn·m. Η τελευταία ροπή είναι η δυσμενέστερη μεταξύ των τριών και αυτή θα εισάγουμε στη σχέση (1) για τον υπολογισμό του GZ. Έτσι παίρνουμε:

$$GZ = \frac{\text{heeling moment}}{\text{displacement}} + 0.04 \Rightarrow GZ = \frac{711}{1864.12} + 0.04 \Rightarrow GZ = 0.4214$$

Έυκολα φαίνεται από τους πίνακες 12.1.4, 12.1.5 ότι το εν λόγω κριτήριο ικανοποιείται καθώς σε κάθε σενάριο βλάβης το GZ παίρνει τιμές μεγαλύτερες της τιμής που υπολογίσαμε παραπάνω.

12.2. Stockholm Agreement

Η Συνθήκη της Στοκχόλμης (Resolution 14 (resolution of the 1995 SOLAS Conference)) προδιαγράφει ως απαίτηση την ικανοποίηση των κριτηρίων της SOLAS' 90 (Chapter II-1, Part B, Regulation 8, Paragraph 2.3-2.3.4) για την ευστάθεια μετά από βλάβη ενός πλοίου, με την επίδραση επιπλέον όγκου νερού σταθερού ύψους πάνω στο κατάστρωμα οχημάτων (Car Deck). Σημειώνεται ότι δεν απαιτείται η ικανοποίηση των υπόλοιπων κριτηρίων του Regulation 8, όπως για παράδειγμα η απαίτηση για τη γωνία ισορροπίας ή τη μη βύθιση της γραμμής ορίου βυθίσεως.

Το σημαντικό ύψος κύματος καθορίζεται από την περιοχή λειτουργίας του πλοίου. Ο όρος H_s , που χαρακτηρίζει την κατάσταση της θάλασσας, αναφέρεται στο μέσο όρο του ενός τρίτου των υψηλότερων κυμάτων, ένας στατιστικός μέσος όρος που συσχετίζει πολύ καλά το μέσο όρο των παρατηρηθέντων υψών κυμάτων για μια δεδομένη κατάσταση θάλασσας.

Έτσι σύμφωνα με τη Συνθήκη της Στοκχόλμης το ύψος νερού στο κατάστρωμα οχημάτων (h) υπολογίζεται ως εξής:

- Εάν $fr \geq 2.0 \text{ m}$, τότε $h=0.0 \text{ m}$
 - Εάν $fr \leq 0.3 \text{ m}$, τότε $h=0.5 \text{ m}$
- Ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή

Επιπλέον επισημαίνεται ότι για πλοία που εκτελούν δρομολόγια με σε γεωγραφικά περιορισμένες περιοχές πλεύσης, το ύψος του νερού μπορεί να μειωθεί ως εξής:

- Εάν $H_s \geq 4.0 \text{ m}$, τότε το h υπολογίζεται με βάση τα παραπάνω
 - Εάν $H_s \leq 1.5 \text{ m}$, τότε $h=0.0 \text{ m}$
- Ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή

όπου:

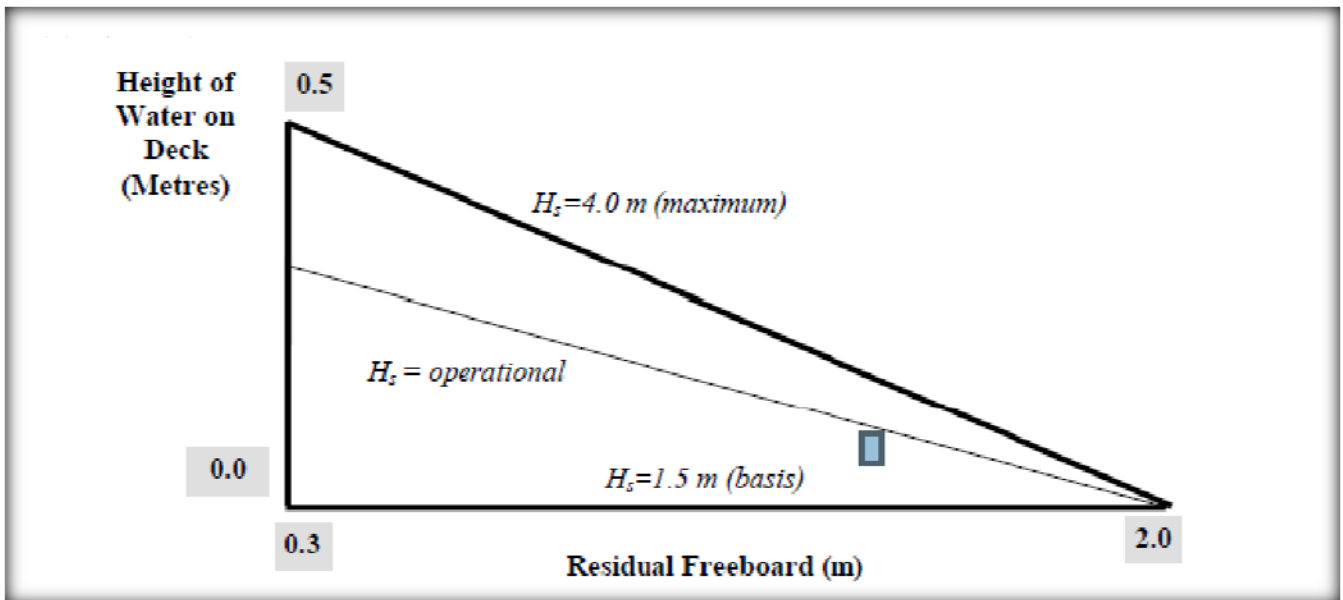
h : ύψος νερού στο κατάστρωμα

H_s : σημαντικό ύψος κύματος

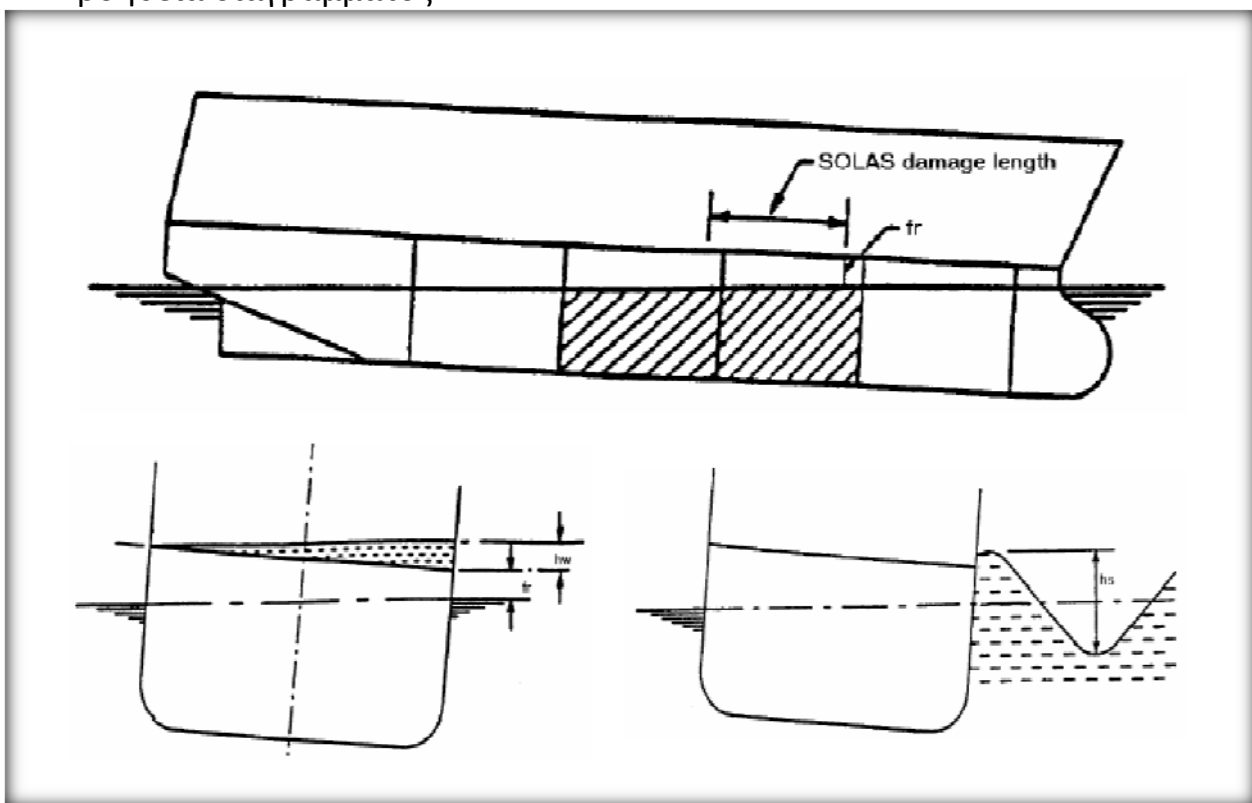
fr : υπολειπόμενο ύψος εξάλων (residual freeboard)

Να σημειωθεί ότι το υπολειπόμενο ύψος εξάλων είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του καταστρώματος οχημάτων και της ισάλου επιφάνειας στην περιοχή του εκάστοτε κατακλυζόμενου διαμερίσματος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του νερού στο κατάστρωμα.

Τα προαναφερθέντα παρουσιάζονται και με τη βοήθεια σχημάτων, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 12.2.1: Υπολογισμός ύψους νερού πάνω στο κατάστρωμα, με τη βοήθεια διαγράμματος



Σχήμα 12.2.2: Απεικόνιση των μεγεθών: fr , h_w , h_s

Η εφαρμογή της Συνθήκης της Στοκχόλμης θα γίνει για τη δυσμενέστερη περίπτωση, που εντοπίστηκε κατά τη μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη στο κεφάλαιο 12.1, γι'αυτή δηλαδή που εμφανίζει το χαμηλότερο GM. Η περίπτωση αυτή είναι το damage scenario NO.9 για unsymmetrical flooding, που εμφανίζει GM=1.105m. Οι χώροι και οι δεξαμενές, που αφορούν στην κατάκλυση του εν λόγω διαμερίσματος φαίνονται παρακάτω:

D.S. NO.9	ENGINE ROOM, VOID TANK1 (D.B.) (P), NO.9 W.B.T. (D.B.) (P)
------------------	--

Με βάση το Loading Manual του υπό μελέτη πλοίου για το παραπάνω διαμέρισμα, το ελάχιστο ύψος εξάλων εμφανίζεται σε απόσταση 16.5 m από την Α.Ρ. και έχει τιμή 1.639 m. Η περιοχή πλεύσης του πλοίου χαρακτηρίζεται από σημαντικό ύψος κύματος 2m, εμείς όμως θα λάβουμε $H_s=2.5m$, προκειμένου να έχουμε ένα περιθώριο ασφάλειας. Να σημειωθεί ότι με βάση την Εφαρμογή ΠΔ 52/2005-Συνθήκη Στοκχόλμης, φαίνεται ότι για όλες τις θαλάσσιες περιοχές εντός συνόρων της χώρας, η τιμή του σημαντικού ύψους κύματος κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 2.5m. Συνεπώς, με διπλή γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ότι το ύψος νερού που θα τοποθετηθεί στο κατάστρωμα οχημάτων είναι $h=0.05m$. Η ποσότητα αυτή είναι πολύ μικρή, κάτι που μας προϊδεάζει ότι τα αντίστοιχα κριτήρια της SOLAS θα ικανοποιούνται. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του Stockholm Agreement στο υπό μελέτη πλοίο, όπου φαίνεται να πληρούνται οι σχετικές απαιτήσεις των κριτηρίων (Πίνακας 12.2.1).

DAMAGE STABILITY / STOCKHOLM AGREEMENT				
Criteria	Range of positive GZ to be > 15 degrees	Area under GZ curve up to 22 degrees or down-flood > 0.015	Maximum GZ to be at least 0.10 metres within positive range	GM at least 0.05m in equilibrium position after flooding
Flooding Compartment				
9	88.89	0.017	1.545	0.971

Πίνακας 12.2.1: Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη για το δυσμενέστερο σενάριο βλάβης (Stockholm Agreement)

12.3. Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη με βάση τις απαιτήσεις της SOLAS 2009

Στα προηγούμενα υποκεφάλαια πραγματοποιήθηκε μελέτη ευστάθειας για το υπό μελέτη πλοίο σύμφωνα με την ντετερμινιστική μέθοδο, που περιλαμβάνει τους κανονισμούς της SOLAS 90 και του Stockholm Agreement. Στο παρόν υποκεφάλαιο, θα αναφερθούμε στους πιο πλέον πρόσφατους κανονισμούς της SOLAS, γνωστούς

ως SOLAS 2009, που αποτελούν την πιθανοθεωρητική μέθοδο υπολογισμού της ευστάθειας μετά από βλάβη.

Σύμφωνα με την πιθανοθεωρητική προσέγγιση, ο έλεγχος της ικανοποίησης των κριτηρίων ευστάθειας ακολουθεί μια διαφορετική διαδικασία από αυτή που ακολουθήσαμε έως τώρα. Σύμφωνα με τον κανονισμό, ορίζονται συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας όσον αφορά τη θέση και έκταση μιας βλάβης κατά μήκος του πλοίου, την εγκάρσια εισχώρηση και την καθ' ύψος έκταση της βλάβης, οι οποίες έχουν προέλθει από τη στατιστική ανάλυση δεδομένων από συγκρούσεις πλοίων. Με βάση τις δεδομένες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς στεγανών διαμερισμάτων, υπολογίζεται η πιθανότητα p_i που αντιστοιχεί στην εμφάνιση κάθε συνδυασμού. Στη συνέχεια, για δεδομένη αρχική κατάσταση φόρτωσης του άθικτου πλοίου, εφαρμόζοντας τα κριτήρια του κανονισμού υπολογίζεται η πιθανότητα επιβίωσης s_i για τη δεδομένη βλάβη i . Αθροίζοντας τα γινόμενα της πιθανότητας βλάβης επί την πιθανότητα επιβίωσης προκύπτει ο <<Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης>>:

$$A = \sum_i p_i s_i$$

Εν συνεχεία υπολογίζεται ο Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R , ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου. Το πλοίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις ευστάθειας μετά από βλάβη αν:

$$A \geq R$$

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, δεν θα εφαρμόσουμε τους κανονισμούς της SOLAS 2009 στο υπό μελέτη πλοίο, διότι δεν υπήρχε διαθέσιμο software για τη λειτουργία αυτή. Θα υπολογίσουμε όμως τον Απαιτούμενο Δείκτη Υποδιαίρεσης R όπως ορίζεται παρακάτω:

Στην περίπτωση των επιβατηγών πλοίων ο Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$R = 1 - \frac{5,000}{L_s + 2.5N + 15,225} \quad (1)$$

όπου: $N = N_1 + 2N_2$

N_1 : ο αριθμός επιβαινόντων για τους οποίους διατίθενται σωσίβιες λέμβοι και

N_2 : ο αριθμός επιβαινόντων επιπλέον του N_1

Ο Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A προκύπτει από σχετικούς υπολογισμούς σε τρία διαφορετικά βυθίσματα πλεύσης (για το πλοίο σε άθικτη κατάσταση πριν το ατύχημα). Τα δύο ακραία από αυτά αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο (d_s) και μικρότερο (d_l) προβλεπόμενο βύθισμα πλεύσης, ενώ το ενδιάμεσο βύθισμα υπολογίζεται ως εξής:

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

Ο επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Σε κάθε ένα από τα βυθίσματα αυτά, ο αντίστοιχος Δείκτης A υπολογίζεται εφαρμόζοντας την σχέση:

$$A = \sum_i p_i s_i$$

Στα δύο μεγαλύτερα βυθίσματα το πλοίο θεωρείται ισοβύθιστο (εκτός εάν το πραγματικό trim ξεπερνά το $0.5 L_s$), όπου L_s το μήκος υποδιαίρεσης του πλοίου), ενώ για το d_l το πλοίο εξετάζεται στο πραγματικό του trim. Η περιγραφή και ο τρόπος υπολογισμού των p_i , s_i και των υπόλοιπων μεγεθών υπεισέρχονται στην ανάλυση του πιθανοθεωρητικού μοντέλου, γίνεται στη SOLAS (Chapter II-1 Part B-1).

Τώρα θα κάνουμε μια εκτίμηση του Απαιτούμενου Δείκτη Υποδιαίρεσης R . Ο μέγιστος αριθμός επιβατών που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο είναι 1264. Θεωρούμε ότι ο αριθμός επιβαινόντων για τους οποίους διατίθενται σωσίβιες λέμβοι είναι 300 άτομα (150 άτομα σε κάθε λέμβο). Συνεπώς οι ποσότητες N_1 , N_2 λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές:

- $N_1 = 300$
- $N_2 = 964$
- $N = 2228$
- $L_s = 86.8\text{m}$

Αντικαθιστώντας συνεπώς στη σχέση 1 παίρνουμε:

$$R = 1 - \frac{5,000}{L_s + 2.5N + 15,225} \Rightarrow R = 1 - \frac{5,000}{86.8 + 2.5 \cdot 2,228 + 15,225} \Rightarrow R = 0.7606$$

Αυτός είναι ο Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης, ο οποίος πρέπει να αποτελεί κάτω όριο των τιμών που μπορεί να πάρει ο Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A, σύμφωνα με τα κριτήρια της SOLAS 2009. Το γεγονός ότι πληρούνται τα κριτήρια της SOLAS 90 και του Stockholm Agreement, τα οποία αντιστοιχούν γενικά σε μεγαλύτερο επίπεδο επιβιωσιμότητας από αυτά της SOLAS 2009 για το μέγεθος του υπό μελέτη πλοίου, μας προϊδεάζει ότι θα ισχύει $A \geq R$, σύμφωνα και με τις εκτιμήσεις του επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπανικολάου.

13. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί ο υπολογισμός της αντίστασης του υπό μελέτη πλοίου. Η τιμή της αντίστασης που θα προκύψει, θα καθορίσει στο κεφάλαιο της πρόωσης την επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης του υπό μελέτη πλοίου, δηλαδή των κύριων μηχανών του και των ελίκων του.

Ο υπολογισμός της αντίστασης θα γίνει με τρεις μεθόδους, οι οποίες κρίνονται συμβατές με το είδος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Αυτές είναι οι:

- Hollenbach
- Formdata
- Holtrop

Κανονικά θα έπρεπε να εφαρμόσουμε τις παραπάνω μεθόδους για το πατρικό πλοίο, και ανάλογα με το ποια μέθοδος προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική τιμή της αντίστασής του, να επιλεγεί ως αυτή που θα εφαρμοστεί και για το υπό μελέτη πλοίο. Εφόσον όμως δεν μας δόθηκαν στοιχεία για το τελευταίο από την Hellenic Seaways, θα εφαρμόσουμε τις παραπάνω μεθόδους κατευθείαν για το υπό μελέτη πλοίο και συγκρίνοντας τις τιμές της αντίστασης, που θα προκύψουν από κάθε μέθοδο, θα αποφανθούμε για το ποια δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, τα οποία και θα χρησιμοποιήσουμε και για τη μελέτη της πρόωσης στο επόμενο κεφάλαιο.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι θα εφαρμοστούν για ένα εύρος ταχυτήτων, από 10 έως 19 κόμβους με βήμα 1. Οι μέθοδοι Formdata και Holtrop αναλύονται από το πρόγραμμα NavCad. Αφού εισάγουμε στο πρόγραμμα τα απαραίτητα στοιχεία και επιλέξουμε τις μεθόδους που θέλουμε να μελετήσουμε, στη συνέχεια παίρνουμε τα αποτελέσματα για την τιμή της αντίστασης, που δίνει η κάθε μέθοδος. Τα αποτελέσματα των μεθόδων Formdata και Holtrop, που τυπώνει το NavCad περιέχονται στο Παράρτημα N στο τέλος της εργασίας. Η μέθοδος του Hollenbach δεν υπήρχε στη βιβλιοθήκη του NavCad, και έτσι παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω για την υπηρεσιακή ταχύτητα των 17 κόμβων.

13.1. Ανάλυση μεθόδου Hollenbach

Καταρχάς σημειώνουμε στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13.1) τα απαραίτητα στοιχεία για την εφαρμογή της μεθόδου Hollenbach. Στον αμέσως επόμενο πίνακα (Πίνακας 13.2) βρίσκονται οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο Hollenbach για πλοία twin-screw.

Πίνακας 13.1: Στοιχεία για υπολογισμούς της μεθόδου Hollenbach

Μέγεθος	Συμβολισμός / Μονάδες	Τιμή
Μήκος μεταξύ καθέτων	L (m)	80
Μήκος ισάλου επιφανείας	Lwl (m)	83.035
Μήκος μεταξύ Α.Ε. στην ίσαλο και ακροπρωραίου σημείου του πλοίου κάτω από την ίσαλο	Los (m)	86.8
Ταχύτητα σε [kn]	V _s (kn)	17
Ταχύτητα σε [m/s]	V _s (m/s)	8.7448
Πλάτος	B (m)	15
Βύθισμα	T (m)	3.187
Πρυμναίο βύθισμα	TA (m)	3.409
Πρωραίο βύθισμα	TF (m)	2.9
Διάμετρος έλικας	D (m)	2.2
Συντελεστής γάστρας	CB (-)	0.548
Βρεχόμενη επιφάνεια	S (m ²)	1140.68
Πυκνότητα θαλασσινού νερού	ρ (kn.s ² /m ⁴)	104.6127
Κινηματική συνεκτικότητα θαλασσινού νερού	ν (m ² /s)	1.18831E-06

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ HOLLENBACH			
a₁	-0.2748	b₃₁	-14.3571
a₂	0.5747	b₃₂	142.738
a₃	-6.761	b₃₃	-254.762
a₄	-4.3834	c₁	Fn/Fn,krit
a₅	8.8158	d₁	0.897
a₆	-0.1418	d₂	-1.457
a₇	-0.1258	d₃	0.767
a₈	0.0481	e₁	1.8319
a₉	0.1699	e₂	-0.1237
a₁₀	0.0728	f₁	0.16
b₁₁	-5.3475	f₂	0.24
b₁₂	55.6532	f₃	0.6
b₁₃	-114.905	g₁	0.5
b₂₁	19.2714	g₂	0.66
b₂₂	-192.388	g₃	0.5
b₂₃	388.333	h₁	1.206

Πίνακας 13.2: Συντελεστές μεθόδου Hollenbach

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον αριθμό Froude, ο οποίος υπολογίζεται για μήκος L_{fn} , που ορίζεται ως εξής:

$$L_{fn} = \begin{cases} L_{os} & , L_{os}/L < 1 \\ L + 2/3 \cdot (L_{os} - L) & , 1 \leq L_{os}/L \leq 1.1 \\ 1.0667 \cdot L & , 1.1 \leq L_{os}/L \end{cases}$$

$$\Rightarrow L_{fn} = 84.533 \text{ m}$$

Έτσι υπολογίζουμε τον αριθμό Froude ίσο με:

$$F_n = 0.3037$$

Στη συνέχεια ελέγχουμε ότι ο παραπάνω αριθμός βρίσκεται ανάμεσα στα παρακάτω όρια:

$$F_{n,min} = \min(f_1, f_1 + f_2 \cdot (f_3 - C_B)) \Rightarrow F_{n,min} = 0.16$$

$$F_{n,max} = g_1 + g_2 \cdot C_B + g_3 \cdot C_B^2 \Rightarrow F_{n,max} = 1.0118$$

Υπολογίζουμε τώρα τους συντελεστές, k_L , $F_{n,krit}$, $C_{R,FnKrit}$, $C_{R,Standard}$ όπως φαίνεται παρακάτω:

- $k_L = e_1 \cdot L^{e_2} \Rightarrow k_L = 1.0653$
- $F_{n,krit} = d_1 + d_2 \cdot C_B + d_3 \cdot C_B^2 \Rightarrow F_{n,krit} = 0.3289$
- $C_{R,Fnkrit} = \max \left[1.0, (F_n / F_{n,krit})^{c_1} \right] \Rightarrow C_{R,Fnkrit} = 1.0$
- $C_{R,Standard} = b_{11} + b_{12} \cdot F_n + b_{13} \cdot F_n^2 + C_B \cdot (b_{21} + b_{22} \cdot F_n + b_{23} \cdot F_n^2) + C_B^2 \cdot (b_{31} + b_{32} \cdot F_n + b_{33} \cdot F_n^2) \Rightarrow$
 $\Rightarrow C_{R,Standard} = 0.7762$

Στη συνέχεια θεωρούμε για τους αριθμούς των rudders, των brackets, των bossings και των side thrusters αντίστοιχα:

- $N_{Rud} = 2$
- $N_{Brac} = 2$
- $N_{Boss} = 2$
- $N_{Thr} = 1$

Έτσι υπολογίζουμε το συντελεστή C_R με τον παρακάτω τύπο:

$$C_R = C_{R,Standard} \cdot C_{R,Fnkrit} \cdot k_L \cdot (T/B)^{a_1} \cdot (B/L)^{a_2} \cdot (L_{os}/L_{wl})^{a_3} \cdot (L_{wl}/L)^{a_4} \cdot (D_p/T_A)^{a_6} \cdot$$

$$\cdot (1 + (T_A - T_F)/L)^{a_5} \cdot (1 + N_{Rud})^{a_7} \cdot (1 + N_{Brac})^{a_8} \cdot (1 + N_{Boss})^{a_9} \cdot (1 + N_{Thr})^{a_{10}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_R = 0.44065$$

Έτσι έχουμε για την υπόλοιπη αντίσταση R_R :

$$R_R = C_R \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_s^2 \cdot \left(\frac{B \cdot T}{10} \right) \Rightarrow R_R = 8426 \text{ kp}$$

Ο συντελεστής αντίστασης τριβής υπολογίζεται κατά ITTC:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}, \quad \text{όπου: } Re = \frac{V_s \cdot L}{\nu}$$

Προκύπτει λοιπόν από τις πράξεις, $C_f = 0.001636$.

Έτσι υπολογίζουμε την αντίσταση τριβής:

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot C_F \cdot \rho \cdot V_S^2 \cdot S \Rightarrow R_F = 7466 \text{ kp}$$

Επομένως υπολογίζουμε τη συνολική αντίσταση ως:

$$R_T = h_1 \cdot (R_R + R_F) \Rightarrow R_T = 19166 \text{ kp}$$

Έτσι η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης για το πλοίο προκύπτει:

$$EHP = \frac{R_T \cdot V_S}{75} \Rightarrow EHP = 2235 \text{ PS} = 1644 \text{ kW} = 2204 \text{ HP}$$

Η παραπάνω διαδικασία έγινε για όλο το εύρος των ταχυτήτων (10-19kn) με τη βοήθεια του Excel. Για τις άλλες δύο μεθόδους παίρνουμε τα αποτελέσματα από το NavCad. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε μέθοδο φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

13.2. Αποτελέσματα αντίστασης για τις τρεις μεθόδους

HOLLENBACH		
V_S (kn)	R_T (kp)	EHP (PS)
10	4924.7	337.8
11	6017.4	454.0
12	7326.2	603.0
13	8902.3	793.8
14	10804.4	1037.5
15	13098.8	1347.6
16	15859.0	1740.3
17	19166.3	2234.7
18	23109.1	2853.0
19	28333.6	3692.3

Πίνακας 13.3: Τιμές R_T , EHP συναρτήσκει των V_S από τη μέθοδο Hollenbach

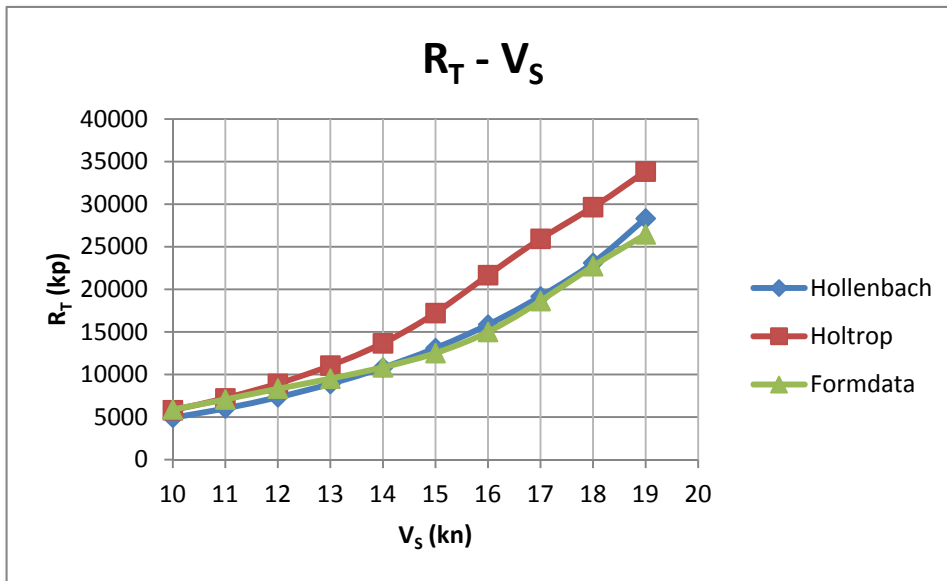
HOLTROP		
V_S (kn)	R_T (kp)	EHP (PS)
10	5812.0	398.7
11	7192.4	542.7
12	8916.1	733.9
13	11049.8	985.3
14	13657.0	1311.4
15	17210.3	1770.7
16	21671.0	2378.3
17	25939.6	3024.8
18	29659.5	3662.0
19	33845.6	4410.9

Πίνακας 13.4: Τιμές R_T, EHP συναρτήσει των V_S από τη μέθοδο Holtrop

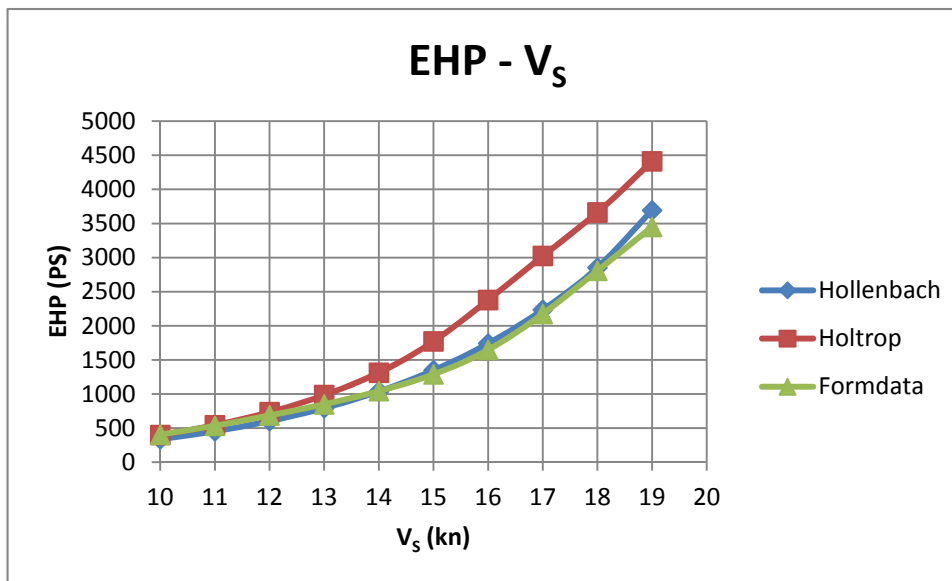
FORMDATA		
V_S (kn)	R_T (kp)	EHP (PS)
10	5899.4	404.6
11	7065.6	533.1
12	8337.2	686.3
13	9513.1	848.3
14	10849.7	1041.9
15	12516.0	1287.7
16	15006.2	1646.9
17	18638.1	2173.3
18	22734.6	2807.0
19	26463.1	3448.8

Πίνακας 13.5: Τιμές R_T, EHP συναρτήσει των V_S από τη μέθοδο Formdata

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται και διαγραμματικά στα παρακάτω σχήματα για λόγους ευκολίας σύγκρισης.



Σχήμα 13.1: Διάγραμμα $R_T - V_S$ για τις τρεις μεθόδους



Σχήμα 13.2: Διάγραμμα $EHP - V_S$ για τις τρεις μεθόδους

13.3. Τελικά αποτελέσματα αντίστασης

Από τα παραπάνω δύο διαγράμματα παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των μεθόδων που εφαρμόστηκαν αποκλίνουν σημαντικά σε ορισμένα σημεία. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η μέθοδος Holtrop υπερεκτιμά σημαντικά την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου συγκριτικά με τις άλλες δύο μεθόδους, σε

όλο το εύρος τιμών των ταχυτήτων. Ειδικότερα, ενώ οι μέθοδοι Hollenbach και Formdata δίνουν $R_T=19166.3\text{kp}$ και $R_T=18638.1\text{kp}$ για $V_S=17\text{kn}$, η μέθοδος Holtrop δίνει $R_T=25939.6\text{kp}$ για την ίδια ταχύτητα. Η απόκλιση αυτή, της τάξης 26 - 28% θέτει υπό αμφισβήτηση τα αποτελέσματα της Holtrop και έτσι συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να κινηθούμε ανάμεσα στην Hollenbach και στην Formdata. Στο διάστημα $V_S=10 - 14 \text{ kn}$, η Formdata δίνει μεγαλύτερες τιμές αντίστασης σε σχέση Hollenbach. Για το υπόλοιπο εύρος ταχυτήτων, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Επειδή εμείς ενδιαφερόμαστε κυρίως για το δεύτερο εύρος ταχυτήτων, όπου συμπεριλαμβάνεται και η ταχύτητα υπηρεσίας $V_S=17 \text{ kn}$, δεχόμαστε ως τελική τιμές αυτές, που μας δίνει η μέθοδος Hollenbach. Έτσι παίρνουμε την τελική προκύπτουσα αντίσταση και απαιτούμενη ισχύ ρυμούλκησης καθαρής γάστρας (clean hull).

V_S (kn)	R_T (kp)	EHP (PS)
10	4924.7	337.8
11	6017.4	454.0
12	7326.2	603.0
13	8902.3	793.8
14	10804.4	1037.5
15	13098.8	1347.6
16	15859.0	1740.3
17	19166.3	2234.7
18	23109.1	2853.0
19	28333.6	3692.3

Πίνακας 13.6: Τελική αντίσταση και απαιτούμενη ισχύς ρυμούλκησης καθαρής γάστρας

14. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΩΩΣΗΣ

14.1. Επιλογή ελίκων

Για την επιλογή του τύπου των δύο ελίκων που θα χρησιμοποιηθούν, θα βασιστούμε στα αποτελέσματα του κεφαλαίου "Υπολογισμός αντίστασης"

Από τα αποτελέσματα της μεθόδου Hollenbach έχουμε τα εξής:

- Ταχύτητα πλοίου: 17.0 kn
- Αντίσταση πρόωσης: 19166.3 kp
- Απαιτούμενη ισχύς ρυμούλκησης: 2234.7 PS

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα θα υπολογίσουμε την μέγιστη διάμετρο της έλικας, το βέλτιστο βήμα της έλικας, τις αντίστοιχες στροφές και την απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ μηχανής, ώστε να ξεπεράσουμε την ταχύτητα των 17 κόμβων που έχουμε ως απαίτηση. Να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου έγινε χρήση των προγραμμάτων NavCad και PropCad.

Συντελεστής ποσοστού ομόρρου (w)

Kruger:

$$w=0.75 \cdot C_B - 0.24 = 0.75 \cdot 0.548 - 0.24 = 0.171$$

Heckscher:

$$w=0.7 \cdot C_p - 0.18 = 0.7 \cdot 0.663 - 0.18 = 0.284$$

Troost:

$$w=0.25 + 2.5 \cdot (C_B - 0.6)^2 = 0.25 + 2.5 \cdot (0.548 - 0.6)^2 = 0.257$$

Επιλέγω τον μέσο όρο των παραπάνω τιμών $w = \frac{0.171 + 0.284 + 0.257}{3} = 0.237$

Συντελεστής ποσοστού μείωσης ώσης (t)

Heckscher:

$$t = 0.5 \cdot C_p - 0.18 = 0.5 \cdot 0.633 - 0.18 = 0.152$$

Danckwardt:

$$t = 0.52 \cdot C_B - 0.18 = 0.52 \cdot 0.548 - 0.18 = 0.105$$

Holtrop-Mennen:

$$t = 0.325 \cdot C_B - 0.1885 \cdot \frac{D_{\text{ελικας}}}{\sqrt{B \cdot T}} = 0.325 \cdot 0.548 - 0.1885 \cdot \frac{2.2}{\sqrt{15 \cdot 3.187}} = 0.118$$

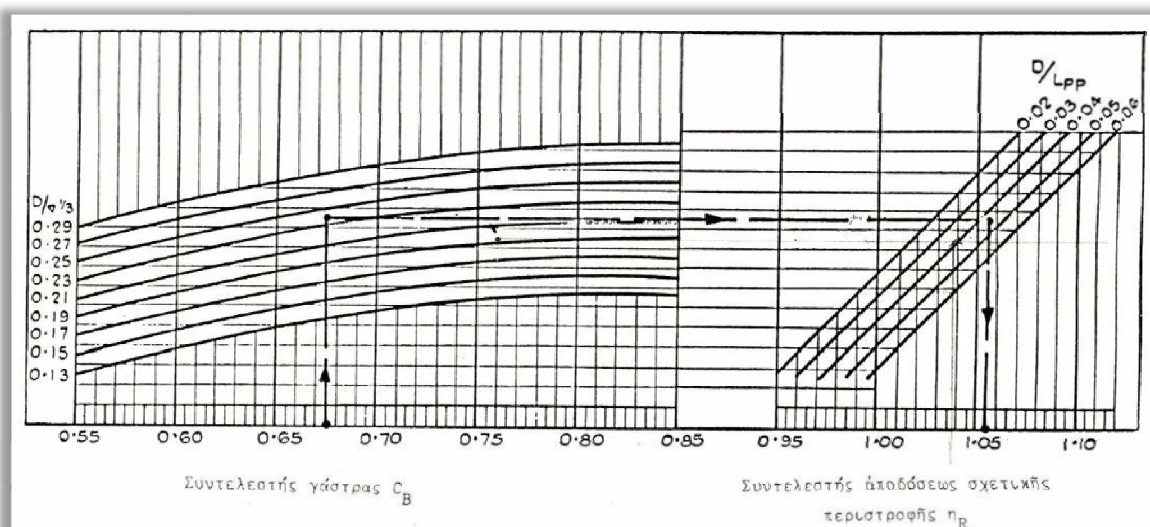
Επιλέγω τον μέσο όρο των παραπάνω τιμών $t = \frac{0.152 + 0.105 + 0.118}{3} = 0.125$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Συντελεστής σχετικής περιστροφής

Με τα στοιχεία: $\frac{D_{pr}}{L_{pp}} = \frac{2.2}{80} = 0.028$, $C_B = 0.548$, $\frac{D_{pr}}{V^{1/3}} = \frac{2.2}{(1.025 \cdot 2089.46)^{1/3}} = 0.171$

από το διάγραμμα της μεθόδου BSRA (σχήμα 10.1), έχουμε τελικά ότι ο συντελεστής σχετικής περιστροφής είναι: $\eta_R = 0.975$



Σχήμα 14.1: Διάγραμμα μεθόδου BSRA για τον υπολογισμό του η_R

Συντελεστής απόδοσης άξονα

Ο συντελεστής απόδοσης άξονα περιλαμβάνει τις απώλειες στα έδρανα και την χοάνη και για πλοία με μηχανοστάσιο πρύμνηθεν παίρνει την τιμή:

$$\eta_s = 0.98$$

Συντελεστής απόδοσης γάστρας

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w} = \frac{1-0.125}{1-0.237} \Rightarrow \eta_H = 1.147$$

Το ύψος άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας είναι 2.075m. Άρα η στατική πίεση στο κέντρο της πρύμνης είναι:

$$p_o = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h = 10200 + 104.61 \cdot 9.81 \cdot 2.075 = 12329 \text{ kp/m}^2$$

Στοιχεία έλικας

Ταχύτητα προχώρησης $V_A = V_s \cdot (1-w) = 17 \cdot (1-0.237) = 12.913 \text{ kn}$

Ώση της μίας έλικας: $T = \frac{R_T}{2 \cdot (1-t)} = 10952 \text{ kp}$

Λόγος Εκτεταμένης Επιφανείας (Τύπος Keller) : $\frac{A_e}{A_p} = \frac{(1.3+0.3 \cdot Z) \cdot T}{(\rho_o - \rho_v) \cdot D^2} + k$

όπου:

Z = αριθμός πτερυγίων = 4

T = Ώση Έλικας = 93530.75 kp

ρ_o = Η στατική πίεση στο κέντρο της πρύμνης = 12329 kp/m²

ρ_v = Η πίεση ατμοποίησης του νερού = 175.7 kp/m²

Με τα παραπάνω δεδομένα η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$\frac{A_e}{A_o} = \frac{(1.3+0.3 \cdot Z) \cdot T}{(\rho_o - \rho_v) \cdot D^2} + k = \frac{(1.3+0.3 \cdot 4) \cdot 10952}{(12329-175.7) \cdot 2.2^2} + 0.2 = 0.665$$

Επιλέγω λόγο εκτεταμένης επιφάνειας ίσο με $\frac{A_e}{A_o} = 0.85$

Έτσι εισάγουμε τα αποτελέσματα που έχουμε βρει ως τώρα στο NavCad και παίρνουμε τα στοιχεία που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

P (m)	P/D	J	KT	Kq	No	OPC	N (rps)	N (rpm)	T (N)	Qo (N.m)	Qb (N.m)	SHP (HP)	SHP/PROP (HP)
1.1	0.5	0.3692	0.0662	0.0082	0.472	0.517	8.224	493.5	107514	29298.39	29298.39	4261.43	2130.72
1.32	0.6	0.4319	0.0906	0.0111	0.5587	0.612	7.030	421.8	107520.8	28980.77	28980.77	3600.13	1800.07
1.54	0.7	0.4906	0.1169	0.0151	0.6044	0.662	6.189	371.3	107520.2	30554.5	30554.5	3327.92	1663.96
1.76	0.8	0.5458	0.1447	0.0201	0.6252	0.685	5.563	333.8	107530.6	32861.11	32861.11	3217.20	1608.60
1.98	0.9	0.5978	0.1735	0.0261	0.6318	0.692	5.079	304.8	107477.7	35569.84	35569.84	3183.59	1591.80
2.2	1	0.6468	0.2032	0.0332	0.6302	0.691	4.694	281.7	107526.2	38650.16	38650.16	3191.68	1595.84
2.42	1.1	0.6933	0.2335	0.0413	0.6241	0.684	4.380	262.8	107541.3	41846.67	41846.67	3222.87	1611.44
2.64	1.2	0.7376	0.2644	0.0504	0.616	0.675	4.117	247.0	107584.6	45117.19	45117.19	3265.25	1632.63
2.86	1.3	0.7803	0.2958	0.0605	0.6075	0.666	3.891	233.5	107548.8	48393.32	48393.32	3310.94	1655.47

Πίνακας 14.1: Χαρακτηριστικά πρόωσης για υπηρεσιακή ταχύτητα

Παρατηρούμε ότι το βέλτιστο σημείο εμφανίζεται για P/D=0.9 , όπου το SHP είναι το ελάχιστο. Τα χαρακτηριστικά στο σημείο αυτό φαίνονται παρακάτω:

$A_e/A_o = 0.85$

P/D: 0.9
J: 0.5978
No: 0.6318

Γνωρίζουμε ότι η διάμετρος της έλικας είναι D = 2.2m, έτσι έχουμε P = 1.98.

Όμως ο συντελεστής προχώρησης δίνεται από την παρακάτω σχέση, από την οποία μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τις στροφές της έλικας:

$$J = \frac{V_a}{N \cdot D} \Rightarrow N = 5.079 \text{ rps} = 304 \text{ RPM}$$

Επίσης γνωρίζουμε την απαιτούμενη ισχύ ρυμούλκησης οπότε μπορούμε με την βοήθεια των συντελεστών να υπολογίσουμε τη συνολική ισχύ και στους δύο άξονες (καθαρή γάστρα):

$$SHP = \frac{EHP}{n_0 \cdot n_s \cdot n_H \cdot n_R} = \frac{2204}{0.6318 \cdot 0.98 \cdot 1.147 \cdot 0.975} = 3186 \text{ HP}$$

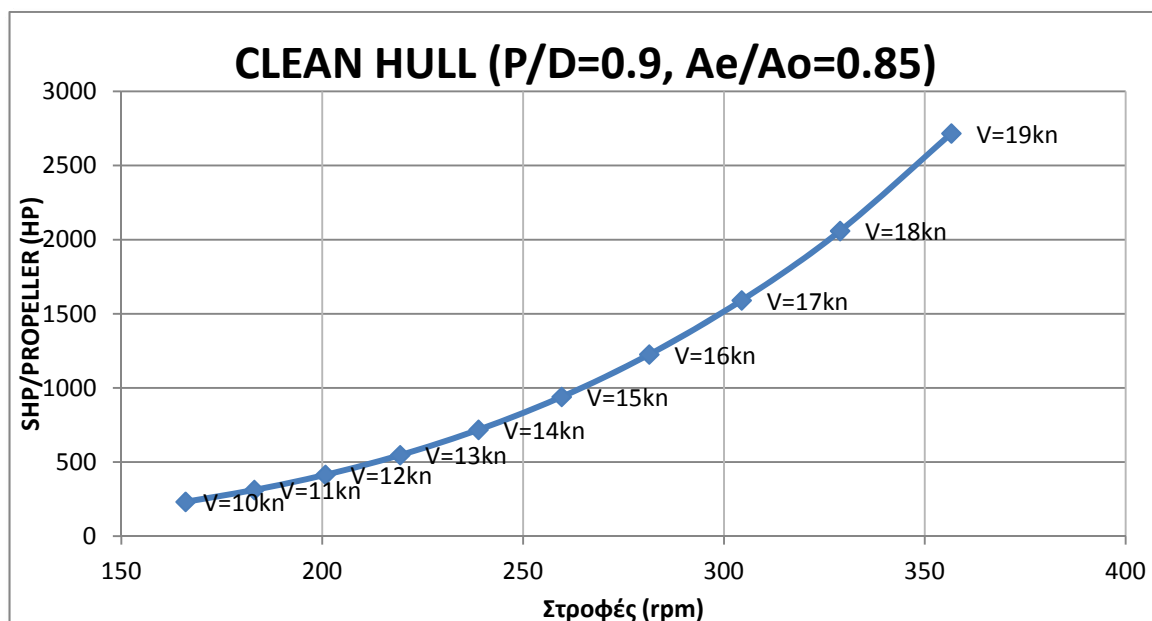
Σημειώνεται ότι ο έλεγχος ποσοστού σπηλαίωσης έγινε από το NavCad για την κατάσταση ρυπασμένης γάστρας +20% SHP και παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ξ στο τέλος της εργασίας.

14.2. Συνεργασία έλικας - πλοίου

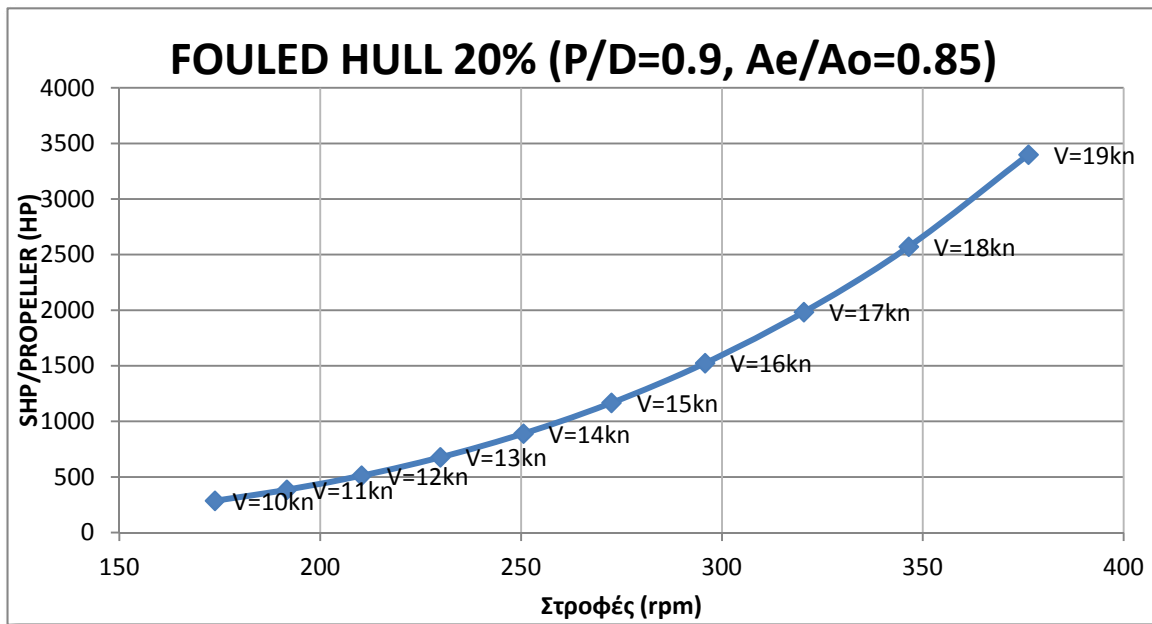
Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες SHP/propeller – N και $V_s - N$ του συστήματος έλικας – πλοίου με την χρήση του προγράμματος NavCad. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του προγράμματος και όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου βρίσκονται στο Παράρτημα Ζ στο τέλος της εργασίας.

Οι χαρακτηριστικές αυτές θα βρεθούν για τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

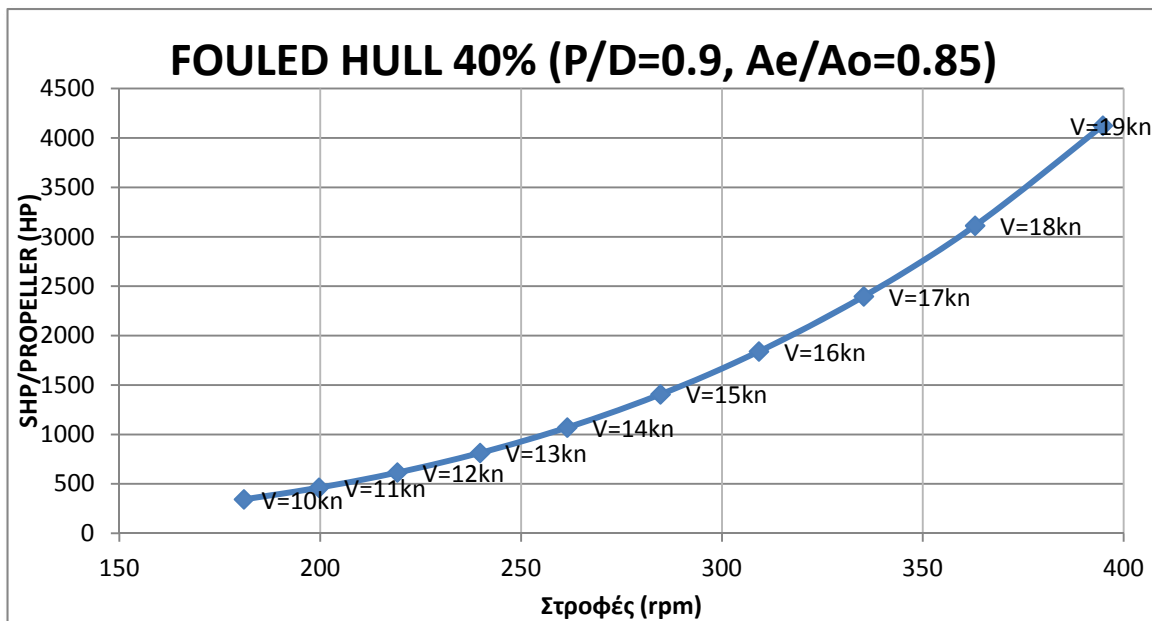
1. EHP – V_s , χωρίς ρύπανση γάστρας σε ήρεμο νερό
2. EHP – V_s , προσαυξημένη κατά 20%
3. EHP – V_s , προσαυξημένη κατά 40%



Σχήμα 14.2: Διάγραμμα SHP – N χωρίς ρύπανση γάστρας σε ήρεμο νερό



Σχήμα 14.3: Διάγραμμα SHP – N με 20% ρύπανση γάστρας



Σχήμα 14.4: Διάγραμμα SHP – N με 40% ρύπανση γάστρας

14.3. Επιλογή κύριων μηχανών

Η επιλογή των κύριων μηχανών που θα χρησιμοποιήσουμε θα γίνει με κριτήριο την ταχύτητα σχεδίασης 17 κόμβων και με ισχύ SHP προσαυξημένη κατά 20%.

Έτσι για ταχύτητα 17 κόμβων έχουμε:

Ισχύς = 1912 HP

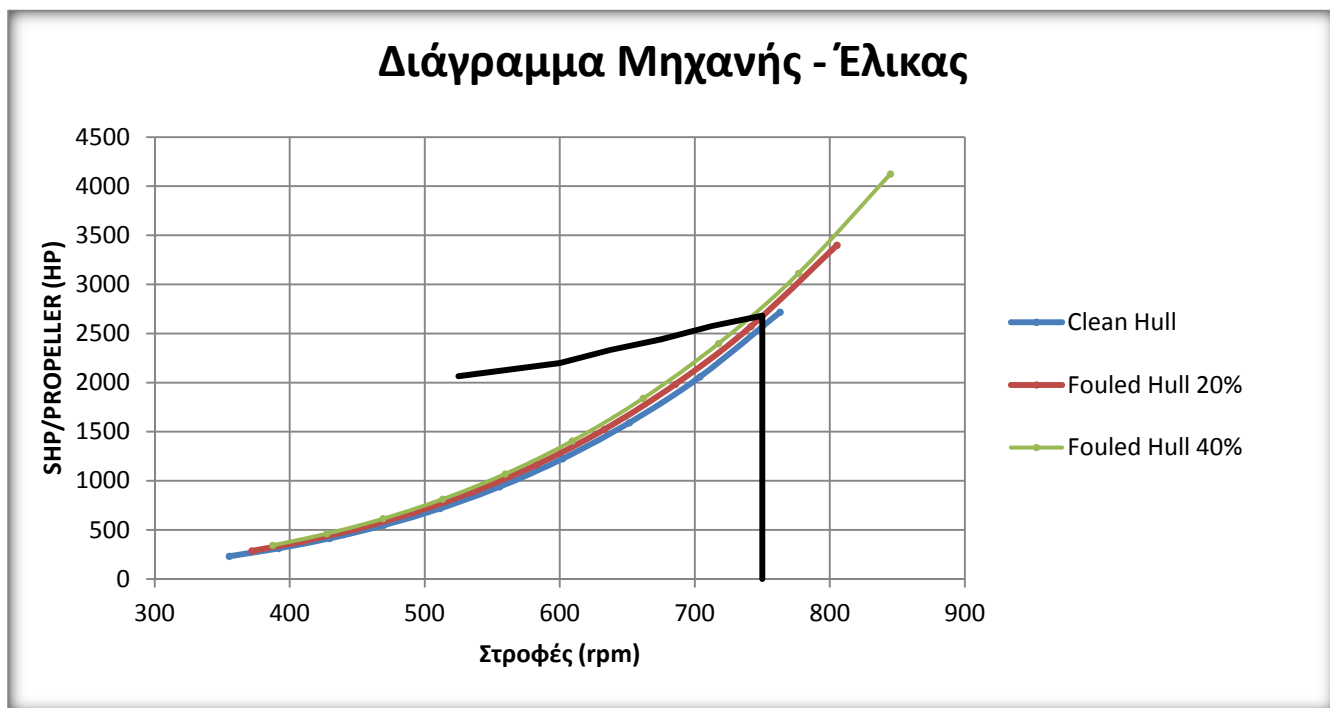
Στροφές = 304 rpm

Για τις παραπάνω απαιτήσεις επιλέγουμε δύο μηχανές **CATERPILLAR 6M25C**, η κάθε μία από τις οποίες έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

CATERPILLAR 6M25C	
Cylinder Bore	255 mm
Piston Stroke	400 mm
Cylinder output	317-333 KW/cyl
Speed	750 rpm
Mean effective pressure	25.8 bar
Piston speed	10.0 m/sec

Πίνακας 14.2: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένης μηχανής

Στην συνέχεια κατασκευάζουμε το διάγραμμα φόρτισης της μίας μηχανής, που πήραμε από τον κατασκευαστή και τοποθετούμε τις τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της έλικας που υπολογίσαμε νωρίτερα. Να σημειωθεί πως στο παρακάτω διάγραμμα, οι στροφές της έλικας έχουν πολλαπλασιαστεί με τον λόγο μείωσης στροφών, για να συγκριθούν με τις πραγματικές στροφές του κινητήρα. Στην πραγματικότητα φυσικά συμβαίνει το ανάποδο, δηλαδή κατά τη συνεργασία έλικας - μηχανής συμβαίνει οι στροφές του κινητήρα μειώνονται. Στην περίπτωση μας ο λόγος μείωσης είναι 2.14 και οι μειωτήρες που επιλέγουμε είναι δύο MAN B&W 31V020.



Σχήμα 14.5: Διάγραμμα φόρτισης κινητήρα

Από το παραπάνω διάγραμμα δημιουργούμε τον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα, που μας δείχνει τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα στις μέγιστες στροφές.

Κατάσταση λειτουργίας	Μέγιστη Ταχύτητα (kn)	Ισχύς άξονα (HP)	Στροφές (rpm)
Clean Hull	18.8	2572	750
+20%	18.1	2676	750
+40%	17.5	2785	750

Πίνακας 14.3: Σημεία λειτουργίας μηχανής στις μέγιστες στροφές

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι στις μέγιστες στροφές, επιτυγχάνεται ταχύτητα μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ταχύτητα υπηρεσίας ($V_S=17kn$). Το γεγονός αυτό ισχύει για σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης και είναι προφανώς εντονότερο στην περίπτωση της καθαρής γάστρας, όπου είμαστε σε θέση να επιτύχουμε ταχύτητα σχεδόν 2 κόμβων πάνω από την ταχύτητα υπηρεσίας.

14.4. Γεωμετρία έλικας

Η έλικα που επιλέξαμε είναι η **Wageningen B4-85** και οι βασικές διαστάσεις της δίνονται παρακάτω:

r/R	$[cr/D]*[z/(Ae/Ao)]$	ar/cr	br/cr	Ar	Br	cr	ar	br	t_{max}
0.2	1.6620	0.6170	0.3500	0.0526	0.0040	0.7770	0.4794	0.2719	0.0805
0.3	1.8820	0.6130	0.3500	0.0461	0.0035	0.8798	0.5393	0.3079	0.0706
0.4	2.0500	0.6010	0.3510	0.0402	0.0030	0.9584	0.5760	0.3364	0.0620
0.5	2.1520	0.5860	0.3550	0.0340	0.0025	1.0061	0.5896	0.3572	0.0528
0.6	2.1870	0.5610	0.3890	0.0278	0.0020	1.0224	0.5736	0.3977	0.0436
0.7	2.1440	0.5240	0.4430	0.0216	0.0015	1.0023	0.5252	0.4440	0.0343
0.8	1.9700	0.4630	0.4790	0.0154	0.0010	0.9210	0.4264	0.4411	0.0251
0.9	1.5820	0.3510	0.5000	0.0092	0.0005	0.7396	0.2596	0.3698	0.0158

Πίνακας 14.4: Βασικές διαστάσεις έλικας

Εκτεταμένες τομές και περίγραμμα εκτεταμένου πτερυγίου

Το εκτεταμένο μήκος της υδροτομής σε ακτίνα r συμβολίζεται με c_r οι τιμές του οποίου δίνονται¹ υπό την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{C_r}{D} \cdot \frac{z}{A_E/A_O}$$

Το χείλος πρόσπτωσης απέχει από την γενέτειρα γραμμή απόσταση ίση με a_r . Η θέση του μέγιστου πάχους καθορίζεται από την τιμή του b_r . Τέλος το μέγιστο πάχος δίνεται υπό την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{S_r}{D} = A_r - B_r \cdot z$$

Τώρα μπορούμε να καθορίσουμε και το περίγραμμα της υδροτομής, ορίζοντας μία νέα μεταβλητή p που λαμβάνει την τιμή +1 στο χείλος πρόσπτωσης και την τιμή -1 στο χείλος εκφυγής. Το περίγραμμα της υδροτομής ορίζεται από τις τεταγμένες y_{face} και y_{back} της πρόσοψης και της πίσω όψης, αντίστοιχα:

Για $p > 0$:

$$y_{face} = V \cdot (t_{max} - t_{ie})$$

$$y_{\text{back}} = (V_1 + V_2) \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{l.e.}}) + t_{\text{l.e.}}$$

Για $p \leq 0$:

$$y_{\text{face}} = V_1 \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{t.e.}})$$

$$y_{\text{back}} = (V_1 + V_2) \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{l.e.}}) + t_{\text{t.e.}}$$

όπου:

- $t_{\text{t.e.}}$, $t_{\text{l.e.}}$: πάχος υδροτομών στο χείλος εκφυγής και προσπτώσεως αντίστοιχα
- V_1 , V_2 : πινακοποιημένες τιμές που εξαρτώνται από το r/R και το p .

Περίγραμμα αναπτυγμένου πτερυγίου

Αρχικά βρίσκεται το σημείο F πάνω στον άξονα Z για το οποίο ισχύει:

$$OF = \frac{P}{2 \cdot \pi}$$

Όπου P το βήμα της έλικας στην αντίστοιχη απόσταση r/R . Στη συνέχεια βρίσκουμε το σημείο πάνω στον άξονα Y για το οποίο ισχύει $OB = r$ και φέρνουμε κάθετη στην ευθεία FB. Το σημείο που η κάθετη τέμνει τον άξονα Y είναι το σημείο C. Με κέντρο το C και ακτίνα $r_c = CB$. Το τόξο που προκύπτει αναπαριστά την αναπτυγμένη ελικοειδή γραμμή, επάνω στην οποία βρίσκονται τα σημεία D και d. Ο προσδιορισμός των σημείων αυτών γίνεται με τη σχέση:

$$\frac{l}{h} = \frac{1}{h/r} \cdot \sqrt{2 \cdot \left[1 - \cos \left(57.3 \cdot \frac{h}{r} \cdot \cos \phi \right) \right] + \left(\frac{h}{r} \right)^2 \cdot \sin^2 \phi}$$

όπου:

- h : το μήκος της ελικοειδούς γραμμής που ορίζεται από τα σημεία της εκτεταμένης επιφάνειας
- ϕ : η γωνία για την οποία ισχύει $\tan \phi = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r}$

Περιγραφή προβεβλημένου πτερυγίου

Έχοντας κατασκευάσει το ανεπτυγμένο πτερύγιο με την παραπάνω διαδικασία μπορούμε τώρα να κατασκευάσουμε και το προβεβλημένο πτερύγιο. Από το κέντρο Ο φέρνουμε κύκλο με ακτίνα ίση με r και παράλληλες προς την OF , οι οποίες περνούν από τα σημεία d και D . Τα σημεία τομής των ευθειών αυτών με το τόξο ακτίνας r είναι τα σημεία d' και D' του περιγράμματος του προβεβλημένου πτερυγίου.

Προβολή πτερυγίου στο επίπεδο XOY

Η χάραξη της προβολής αυτής του πτερυγίου γίνεται με τη χρήση των εκτεταμένων τομών του. Η προβολή αυτή ορίζεται με δύο συγκεκριμένες αποστάσεις X_F και X_A , οι οποίες ορίζουν το εμπρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα του πτερυγίου αντίστοιχα. Αρχικά φέρεται η απόσταση $OS = P/(2 \cdot \pi)$ σε μία ευθεία παράλληλη προς την ελικοειδή γραμμή βήματος και σε απόσταση r από αυτή. Η ευθεία SO' βρίσκεται στο ακτινικό επίπεδο XOY που περνάει από τον άξονα περιστροφής και η διακεκομμένη ευθεία που περνάει από το σημείο O' και είναι κάθετη στην SO' που βρίσκεται στο επίπεδο YOZ που είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής. Κατόπιν χαράσσονται δύο ευθείες κάθετες προς την SO' , μία εφαπτόμενη στο κοντά χείλος πρόσπτωσης και η άλλη εφαπτόμενη στο χείλος εκφυγής. Οι αποστάσεις από το σημείο O' προς κάθε μια από τις ευθείες αυτές είναι ίσες προς τις αποστάσεις X_F και X_A .

Λεπτομέρειες πλήμνης

Η πλήμνη των ελίκων Wagenigen έχει διάμετρο D_B που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$D_B = 0.167 \cdot D_p \rightarrow D_B = 0.3674 \text{ m}$$

Η διάμετρος του ελικοφόρου άξονα D_s με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης που προτείνεται από το νηογνώμονα.

$$D_s = 100 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{R} \cdot \frac{560}{U+160}}$$

όπου:

- $K = 1.20$ (έλικα με σφήνα, λιπαινόμενη με λάδι)
- $H = MCR = 2000 \text{ kW}$
- $R = 750 \text{ RPM}$
- $U = 650 \text{ N/mm}^2$, η αντοχή θραύσης του υλικού του άξονα (ανθρακούχος κραματωμένος χάλυβας)

Επομένως, προκύπτει: $D_s = 147 \text{ mm} = 0.147 \text{ m}$

Τέλος με τα δεδομένα που έχουμε και με τη βοήθεια του προγράμματος PropCad κατασκευάζουμε το Σχέδιο Έλικας, το οποίο επισυνάπτεται μαζί με την εργασία.

15. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως αντικείμενο τη διαστασιολόγηση και τη ζυγοστάθμιση του πηδαλίου, τον υπολογισμό της δύναμης και ροπής που ασκούνται σε αυτό και τέλος την επιλογή του μηχανισμού πηδαλίου.

Παρακάτω φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου, που είναι χρήσιμα για τους υπολογισμούς μας στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΟΙΟΥ		
L _{BP}	80.0	m
B	15.0	m
D	5.10	m
T	3.187	m
Δ	2089.46	t
▽	2141.7	m ³
C _B	0.548	-
V _S	17.0	kn

15.1. Επιλογή διαστάσεων πηδαλίου

Από τον κανονισμό του Νορβηγικού Νοηγνώμονα (Det Norske Veritas) έχουμε μια πρώτη τιμή για την ελάχιστη επιφάνεια του πηδαλίου :

$$A_T = \frac{T \cdot L}{100} \cdot \left(1 + 25 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2\right)$$

όπου:

A _T =	Επιφάνεια πηδαλίου	m ²	
L=	Μήκος μεταξύ καθέτων	m	80.0
B=	Πλάτος Πλοίου	m	15.00
T=	Βύθισμα Σχεδίασης	m	3.187

$$A_T = \frac{T \cdot L}{100} \cdot \left(1 + 25 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2\right) = \frac{3.187 \cdot 80}{100} \cdot \left(1 + 25 \cdot \left(\frac{15}{80}\right)^2\right) \Rightarrow A_T = 4.79 \text{ m}^2$$

$$A_{T(\text{MIN})} = 4.79 \text{ m}^2$$

Από τον πίνακα 15.1.1 για τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου, επιλέγω μια μέγιστη τιμή επιφάνειας πηδαλίου.

$$\frac{A_T}{L \cdot T} \cdot 100 = 2.10 \Rightarrow A_T \cdot 100 = 2.1 \cdot 80 \cdot 3.187 \Rightarrow A_T = 5.35 \text{ m}^2$$

$$A_{T(\text{MAX})} = 5.35 \text{ m}^2$$

Τύπος σκάφους	Ποσοστό [%] του $L \cdot T$
Μονέλικά σκάφη	1.6 με 1.9
Διτλέλικα σκάφη	1.5 με 2.1
Διτλέλικα σκάφη δύο πηδαλίων (συνολικό εμβαδόν)	2.1
Δεξαμενόπλοια	1.3 με 1.9
Μεγάλα επιβατηγά σκάφη	1.2 με 1.7
Ταχύπλοα επιβατηγά πλοία που πλέουν σε κανάλια	1.8 με 2.0
Αλιευτικά και σκάφη περιορισμένων πλόων	2.5 με 5.5
Ρυμουλκά	3.0 με 6.0
Ιστιοπλοϊκά σκάφη	2.0 με 3.0
Πλοηγικά σκάφη και ferries	2.5 με 4.0
Μηχανοκίνητα σκάφη	4.0 με 5.0
Λάντζες και θαλαμηγοί με καρίνα	5.0 με 12.0
Βάρκες με αφαιρούμενη καρίνα	30 ή περισσότερο

Πίνακας 15.1.1: $A_T / (L \cdot T)$ συναρτήσει τύπου σκάφους

Άρα τελικά έχουμε τα όρια επιλογής της επιφάνειας του πηδαλίου, τα οποία είναι :

$$4.79 \text{ m}^2 < A_T < 5.35 \text{ m}^2$$

Τελικά επιλέγουμε τιμή επιφάνειας πηδαλίου:

$$A_T = 4.94 \text{ m}^2$$

Εκλέγονται δυο πηδάλια κρεμαστά με μια κινητή επιφάνεια. Το προφίλ του πηδαλίου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην ξεπερνά τις διαστάσεις που υπαγορεύει η μορφή της γάστρας του πλοίου. Εκλέγεται άνοιγμα πηδαλίου ίσο με:

$$b = 2.080 \text{ m}$$

Από τη σχέση $A_T/2 = b \cdot c$, υπολογίζουμε τη χορδή στο μέσο του ανοίγματος του πηδαλίου:

$$c = 1.190 \text{ m}$$

Προκύπτει ο λόγος επιμήκους (aspect ratio) $AR = \frac{b}{c}$:

$$AR = 1.748$$

15.2. Ζυγοστάθμιση πηδαλίου

Επιλέγουμε υδροτομή τύπου NACA 0015 και υποθέτουμε ότι έχουμε ορθογωνικό προφίλ. Για το πηδάλιο που έχουμε εκλέξει $\Lambda = 0^\circ$ και συνεπώς $\cos\Lambda = 1$. Για να πετύχουμε τη ζυγοστάθμιση του πηδαλίου πρέπει να ευρεθεί η θέση του άξονά του, τέτοια ώστε η ροπή που αναπτύσσεται σε αυτόν να είναι μηδενική. Για τη μείωση της στρεπτικής ροπής στον άξονα του πηδαλίου, αυτός θα πρέπει να τοποθετείται κοντά στη διαμήκη θέση του κέντρου πίεσης του πηδαλίου (ζυγοσταθμισμένο πηδάλιο).

Το κέντρο πίεσης όμως αλλάζει διαμήκη θέση για τις διάφορες εκτροπές του πηδαλίου. Έτσι, στα ζυγостаθμισμένα πηδάλια, η θέση του άξονα περιστροφής του πηδαλίου λαμβάνεται έτσι ώστε να μηδενίζεται η στρεπτική ροπή για γωνία εκτροπής μεταξύ 10 και 15 μοιρών.

Η στρεπτική ροπή για το πηδάλιο είναι:

$$Q_H = F \cdot (d - CP_C)$$

όπου:

F: η δύναμη που δρα στο πηδάλιο

d: η απόσταση του άξονα από το κέντρο πίεσης

CP_C: το κέντρο πίεσης του πηδαλίου

Για να μηδενιστεί η στρεπτική ροπή πρέπει να ισχύει η ισότητα: $d = CP_C$.

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την τιμή του CP_C για τις δύο γωνίες εκτροπής των 10° και 15° και με βάση τα αποτελέσματα που θα βρούμε θα εκλέξουμε τη θέση του άξονα του πηδαλίου, d.

Λόγω της παρουσίας της γάστρας του πλοίου, η γωνία πρόσπτωσης της ροής, α, που πραγματικά "βλέπει" το πηδάλιο όταν εκτρέπεται κατά γωνία δ, είναι μικρότερη από τη δ. Για συνηθισμένες μορφές πλοίων ισχύει η σχέση:

$$\alpha = \frac{5}{7} \cdot \delta$$

Η παρουσία της γάστρας του πλοίου επηρεάζει και την τιμή του λόγου επιμήκους. Για να λάβουμε υπ' όψη την επίδραση αυτή, θεωρούμε ότι ο λόγος επιμήκους μεταβάλλεται γραμμικά, από την τιμή 2·AR για μηδενική εκτροπή, μέχρι την τιμή AR για γωνία εκτροπής 35°. Επομένως για γωνία εκτροπής δ μεταξύ 0° και 35° ο φαινόμενος λόγος επιμήκους, AR', δίνεται από τη σχέση:

$$AR' = 2 \cdot AR - \frac{\delta}{35} \cdot AR.$$

Η απόσταση του κέντρου πίεσης από την ακμή πρόσπτωσης είναι:

$$CP_C = \left(0.25 - \frac{C_{MC/4}}{C_N} \right) \cdot c$$

όπου:

C_{MC/4}: ο συντελεστής ροπής γύρω από το τέταρτο της χορδής

c: η χορδή του πηδαλίου

C_N: ο συντελεστής κάθετης δύναμης

Ο συντελεστής ροπής γύρω από το τέταρτο της χορδής είναι:

$$C_{MC/4} = \left[0.25 - \left(\frac{\partial C_M}{\partial C_L} \right)_{C_L=0} \right] \cdot \left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=0} \cdot \alpha - \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{C_{DC}}{AR} \cdot \left(\frac{\alpha}{57.3} \right)^2 \right]$$

όπου:

C_L : ο συντελεστής άνωσης

AR: ο λόγος επιμήκους

C_{DC} : ο συντελεστής μερικής αντίστασης

Η κλίση του συντελεστή άνωσης για γωνία πρόσπτωσης $\alpha=0^\circ$ και $\cos\Lambda=1$ είναι:

$$\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_{\alpha=0} = \frac{0.9 \cdot 2\pi \cdot AR}{57.3 \cdot \left[\left(\cos \Lambda \cdot \sqrt{\frac{AR^2}{\cos^2 \Lambda} + 4} \right) + 1.8 \right]}$$

Η κλίση του συντελεστή ροπής συναρτήσει του συντελεστή άνωσης, για μηδενική τιμή του τελευταίου είναι:

$$\left(\frac{\partial C_M}{\partial C_L}\right)_{C_L=0} = \frac{1.11 \cdot \sqrt{AR^2 + 4} + 2}{2 \cdot 4 \cdot (AR + 2)} \Rightarrow \left(\frac{\partial C_M}{\partial C_L}\right)_{C_L=0}$$

Ο συντελεστής C_{DC} αφορά την αντίσταση λόγω επαγόμενης ροής και εξαρτάται από τη μορφή και τον τύπο της. Για NACA 0015 είναι $C_{DC}=1.72$.

Οι συντελεστές C_D και C_L δίδονται από τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους:

$$C_L = \left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_{\alpha=0} \cdot \alpha + \frac{C_{DC}}{AR} \cdot \left(\frac{\alpha}{57.3}\right)^2$$

$$C_D = C_{d0} + \frac{C_L^2}{e \cdot \pi \cdot AR}$$

όπου $C_{d0} = 0.0065$ ο συντελεστής αντίστασης της διατομής NACA 0015 και «e» είναι ο συντελεστής απόδοσης Oswald και ισούται με 0.90

Ο συντελεστής κάθετης δύναμης στο πηδάλιο είναι:

$$C_N = C_L \cdot \cos \alpha + C_D \cdot \sin \alpha$$

Η τιμή του συντελεστή C_N που υπολογίζεται με την παραπάνω σχέση ισχύει όταν το πηδάλιο είναι εντελώς βυθισμένο, μακριά από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Στο σχήμα 7.9, σελ. 71 δίνεται η διόρθωση που πρέπει να γίνεται στο συντελεστή C_N για να λαμβάνεται υπόψη η γειτνίαση με την ελεύθερη επιφάνεια. Η διόρθωση αυτή εξαρτάται από το λόγο επιμήκους AR, τη γωνία πρόσπτωσης α , το λόγο ολίσθησης SA και τη μέση βύθιση του πηδαλίου I.

Με βάση τα παραπάνω, δημιουργούμε τον επόμενο πίνακα.

δ	10	15
α	7.143	10.714
AR	2.996	2.747
$\partial C_L / \partial \alpha _{\alpha=0}$	0.055	0.052
$\partial C_m / \partial C_L _{C_L=0}$	0.200	0.196
C_L	0.395	0.570
C_D	0.025	0.048
C_N	0.395	0.569
$C_{mc/4}$	0.015	0.019
CP_C	0.252	0.257

Πίνακας 11.2.1: Βασικά στοιχεία ζυγοστάθμισης

Η θέση του άξονα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των τιμών:

$$0.252 \leq d \leq 0.257$$

Επιλέγουμε θέση του άξονα ώστε να είναι ζυγοσταθμισμένο το πηδάλιο:

$$d=0.255 \text{ m}$$

15.3. Υπολογισμός δύναμης και ροπής που ασκούνται στο πηδάλιο σύμφωνα με τον Νορβηγικό Νηογνώμονα D.N.V.

*Rules for High Speed Light Craft and Naval Surface Craft, January 2008
Part 3 / Chapter 03 / Section 1*

- **A203 : TYPE OF RUDDER : SPADE RUDDER**
- **B101 : MATERIALS**
For $t < 20 \text{ mm}$ then Normal Strength Structural Steel are Grade "A"
- **B102 : MATERIALFACTOR f_1**
 $f_1 = 1.00$ for NV - NS
- **D100 : RUDDER FORCE**

The design rudder force given by:

$$Fr = 0.043 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot A \cdot V^2 \quad (\text{kN})$$

K1 =	1.1/0.8	Coefficient for Spade rudders
K2 =	1.00	Coefficient depending on rudder arrangement
H =	2.080	Height of the Rudder
K3 =	3.75	$\frac{H^2}{A} + 2 < 4.00$
A =	2.47	
V =	17	Ship service Speed in kn
Vstr =	12.3	$\frac{V+20}{3}$
Va =	6.15	=Vstr/2

Ahead: $Fr = 0.043 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.75 \cdot 2.47 \cdot 17^2 = 126.6 \text{ kN}$

Fr=126.6 kN

Astern: $Fr = 0.043 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 3.75 \cdot 2.47 \cdot 6.15^2 = 12.05 \text{ kN}$

Fr=6.15 kN

• **d 102 : RUDDER TORQUE**

$$M_{TR} = F_R \cdot x_e \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

όπου:

Fr =	126.6 kN for ahead condition 6.15 kN for astern condition
xe =	$B \cdot (a-k) = 0.1547 / 0.5474$
B =	1.190m
a =	0.330m / 0.66m
Af =	0.493m^2
At =	2.47m^2
K =	$0.200 = \frac{A_f}{A}$

Ahead: $M_{TR} = F_R \cdot x_e \text{ (kN} \cdot \text{m)} = 126.6 \cdot 0.1547 = 19.58 \text{ kN} \cdot \text{m}$

M_{TR}=19.58 (kN · m)

Astern: $M_{TR} = F_R \cdot x_e \text{ (kN} \cdot \text{m)} = 6.15 \cdot 0.5474 = 0.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$

M_{TR}=0.95 (kN · m)

• **F500 : PLATE THICKNESS**

$t = 1.5 \cdot s \cdot V + 2.5 = 1.5 \cdot 0.5 \cdot 17 + 2.5 = 15.25 \text{ mm}$

Επιλέγουμε πάχος πηδαλίων $t = 16 \text{ mm}$.

- **G200 : DIAMETER OF THE RUDDER STOCK**

At the quadrant or tiller the diameter of the rudder stock d_v shall not be less than:

$$d_v = 43 \cdot kb \cdot \left(\frac{M_{TR}}{f_1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

For Ahead: $d_v = 43 \cdot kb \cdot \left(\frac{M_{TR}}{f_1} \right)^{\frac{1}{3}} = 43 \cdot 1 \cdot \left(\frac{19.58}{1} \right)^{\frac{1}{3}} = 116\text{mm}$

For Astern: $d_v = 43 \cdot kb \cdot \left(\frac{M_{TR}}{f_1} \right)^{\frac{1}{3}} = 43 \cdot 1 \cdot \left(\frac{0.95}{1} \right)^{\frac{1}{3}} = 42\text{mm}$

Ahead: $d_v=116\text{mm}$

Astern: $d_v=42\text{mm}$

- **G300 : DIAMETER OF RUDDER SHAFT AT LOWER BEARING**

$$d_l = 39 \cdot \left(\frac{F_R \cdot c \cdot (l-c)}{l \cdot f_1} \right)^{\frac{1}{3}} = 39 \cdot \left(\frac{126.6 \cdot 1.190 \cdot (2.190 - 1.190)}{2.190 \cdot 1.0} \right)^{\frac{1}{3}} = 159.00\text{mm}$$

$d_l=159.00\text{mm}$

Οπότε επιλέγεται μηχανισμός πηδαλίου HATLAPA NEPTUNE Type 25 με μέγιστη ροπή μηχανισμού 1280 kN.m. Η διάμετρος του άξονα κατασκευάζεται καταλλήλως, έτσι ώστε να καλύπτει τις παραπάνω απαιτήσεις.

16. ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στην παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται προμελέτη οικονομικής σκοπιμότητας του υπό μελετη πλοίου. Το υπό σχεδίαση πλοίο υποτίθεται ότι έχει εξασφαλισμένη ναύλωση στην εξυπηρέτηση της γραμμής: «Λέσβος → Χίος → Σάμος → Πυθαγόρειο → Αγαθονήσι → Λειψοί → Λέρος → Κάλυμνος → Κως → Ρόδος → Κως → Κάλυμνος → Λέρος → Λειψοί → Αγαθονήσι → Πυθαγόρειο → Σάμος → Χίος → Λέσβος», για τα επόμενα 20 χρόνια. Η υπόθεση αυτή είναι καθαρά απλουστευτική καθώς στην πραγματικότητα ισχύει ότι οι άδειες για τις άγονες γραμμές δίνονται κατόπιν δημοσίου διαγωνισμού για συγκεκριμένες περιόδους. Η υπηρεσιακή ταχύτητα του είναι 17 kn, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι: 101 ΙΧ οχήματα αυτοκίνητα, 5 φορτηγά οχήματα και 1264 επιβάτες σε κατάσταση πλήρους φορτίου.

Η διαδρομή του παραπάνω κυκλικού ταξιδιού είναι συνολικά 599.42 ναυτικά μίλια και θα καλύπτεται εν πλω, από το υπό σχεδίαση πλοίο, μαζί με τις καθυστερήσεις εξόδου-εισόδου από τα λιμάνια κατά μέσο όρο, σε 40.92 ώρες.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Ε/Γ-Ο/Γ "IRAKLIS"

Μήκος Ολικό	L_{OA}	=	87.035	m
Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{BP}	=	80.00	m
Μέγιστο πλάτος	B	=	15.00	m
Κοίλο	D	=	5.10	m
Βύθισμα σχεδίασης	T	=	3.187	m
Μέγιστος Αριθμός Επιβατών	PAX	=	1264	Prs
Μέγιστος Αριθμός ΙΧ	Cars	=	101	
Μέγιστος Αριθμός Φορτηγών	Trucks	=	5	
Συντελεστής γάστρας	C_B	=	0.548	
Εκτόπισμα	Δ	=	2089.46	MT
Deadweight	DWT	=	769.46	MT
Lightship	LS	=	1320.00	MT
Ταχύτητα υπηρεσίας	V_S	=	17.00	kn
Break Horsepower	BHP		5364	hp

Το συνολικό κόστος κτήσεως - κατασκευής του υπό σχεδίαση πλοίου, θα αναλυθεί στις επιμέρους τρεις παρακάτω κατηγορίες :

C_{ST} : Μικτό κόστος μεταλλικής κατασκευής.

C_{OT} : Μικτό κόστος ενδιαίτησεως και εξοπλισμού

C_M : Μικτό κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης.

Ως λογιστική μονάδα υπολογισμού κόστους λαμβάνεται το αμερικανικό δολάριο (\$) U.S.D.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	
Κόστος χάλυβα	$C_{st} = 1000 \text{ \$/t}$
Κόστος εργατοώρας (Steel, Outfit, Machinery)	$C_{mhr} = 30\text{\$/t} - 30 \text{ \$/t} - 30\text{\$/BHP}$
Κόστος καυσίμου Diesel Oil	$C_{d.o.} = 900 \text{ \$/t}$
Κόστος ποσίμου νερού	$C_{f.w.} = 1 \text{ \$/t}$
Κόστος μισθοδοσίας	$C_{sal} = 1000 \text{ \$/άτομο, μήνα}$
Κόστος τροφοδοσίας	$C_{sup} = 10 \text{ \$/άτομο, μέρα}$

Πίνακας 16.1: Πίνακας κοστολόγησης υλικών και εργασιών

16.1. Κόστος κτήσης του πλοίου

Το κόστος κτήσης αποτελείται από το κόστος μεταλλικής κατασκευής K_{ST} , το κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού K_{OT} και το κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης K_M :

$$\text{Κόστος Κτήσης} = K_{κτ} = K_{ST} + K_{OT} + K_M$$

Κόστος μεταλλικής κατασκευής

Οι υπολογισμοί θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάσει στατιστικής ανάλυσης.

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου είναι $W_{ST}=1007.49\text{tons}$, για το οποίο προκύπτει :

- Εργατικό Κόστος

Απαιτούμενες εργατοώρες (mhs) :

$$MHS_{ST} = 243 \cdot W_{ST}^{0.86} = 243 \cdot 1007.49^{0.86} \Rightarrow MHS_{ST} = 92981\text{mhs}$$

Το κόστος της εργατοώρας λαμβάνεται 30\$. Έτσι τελικά προκύπτει εργατικό κόστος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου :

$$CMH_{ST} = 30\$ \cdot MHS_{ST} = 30 \cdot 92981 \Rightarrow CMH_{ST} = 2,789,430\$$$

- Κόστος πρώτων υλών

Το κόστος των πρώτων υλών της μεταλλικής κατασκευής, για μικτή τιμή χάλυβα 1000\$/τον και αναπόφευκτη φύρα κατά την διαμόρφωση-κατεργασία 15%, προκύπτει :

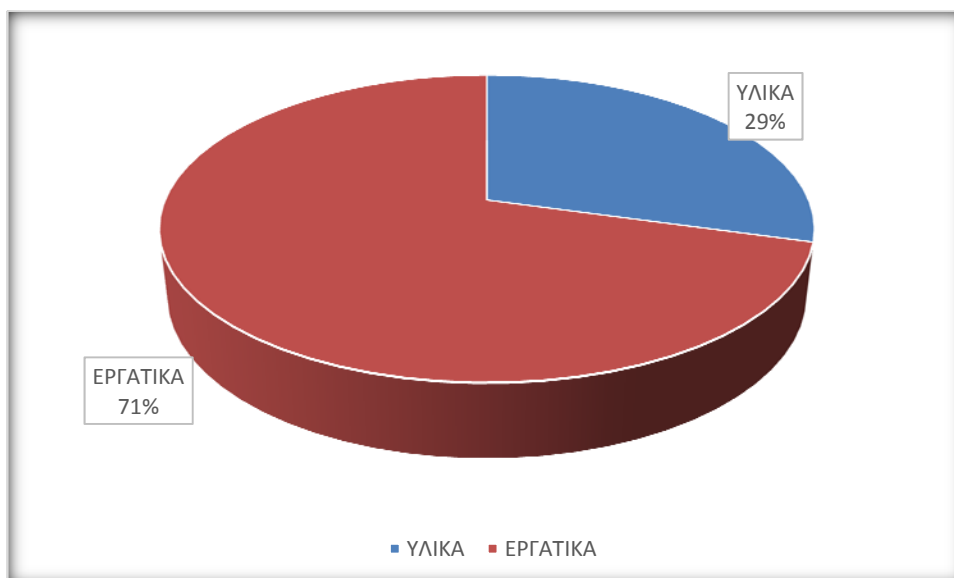
$$CS_{ST} = 1.15 \cdot 1000\$/\text{ton} \cdot W_{ST} = 1.15 \cdot 1000 \cdot 1007.49 \Rightarrow CS_{ST} = 1,158,614\$$$

Το συνολικό κόστος ανέγερσης της μεταλλικής κατασκευής τελικά προκύπτει :

$$C_{ST} = CMH_{ST} + CS_{ST} = 2,789,430 + 1,158,614 = 3,948,044\$$$

W_{ST}	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΥΛΙΚΑ	1,158,614	29.35
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	2,789,430	70.65
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ W_{ST}	3,948,044	100.00

Πίνακας 16.1.1: Κόστη μεταλλικής κατασκευής



Σχήμα 16.1.1: Ποσοστά συμμετοχής κόστων εργατικών και υλικών στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου

Κόστος ενδιαιτήσεως & εξοπλισμού

Και εδώ, οι υπολογισμοί θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάσει στατιστικής ανάλυσης.

• **Εργατικό Κόστος**

Οι απαιτούμενες εργατοώρες για την κατασκευή-εγκατάσταση του εξοπλισμού του πλοίου, λαμβάνονται από την εμπειρική σχέση :

$$MHS_{OT} = 8160 \cdot \left(\frac{L_{BP} \cdot B_{mld} \cdot D}{1000} \right)^{0.75} = 8160 \cdot \left(\frac{80 \cdot 15 \cdot 5.1}{1000} \right)^{0.75} \Rightarrow$$

$$MHS_{OT} = 31,751 \text{ mhs}$$

Λαμβάνοντας το κόστος της εργατοώρας 30\$, προκύπτει συνολικό εργατικό κόστος κατασκευής-εγκατάστασης του εξοπλισμού του πλοίου:

$$CMH_{OT} = 30\$ \cdot MHS_{OT} = 30 \cdot 31751 \Rightarrow CMH_{OT} = 952,530\$$$

• **Κόστος υλικών**

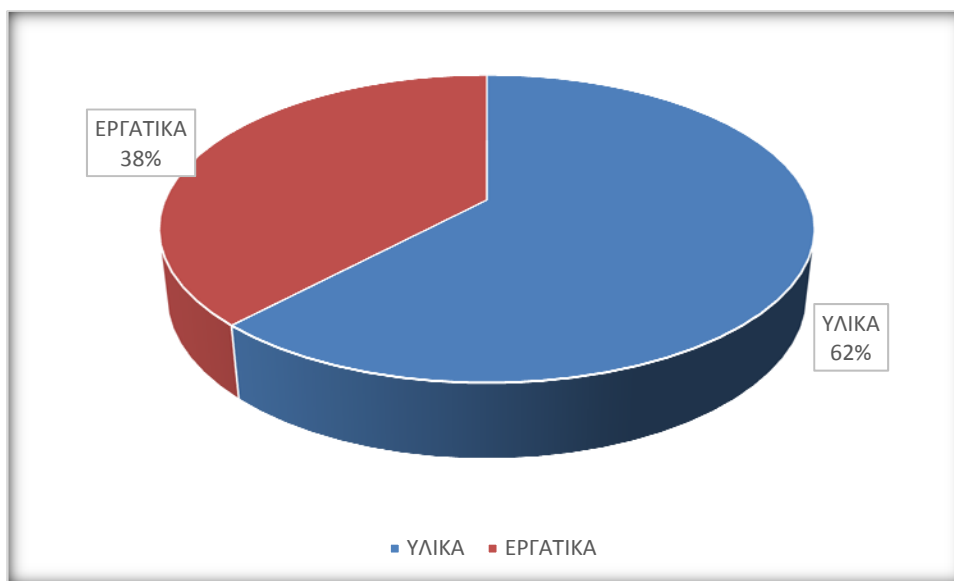
Το κόστος των υλικών του εξοπλισμού, λαμβάνεται από την εμπειρική σχέση :

$$CS_{OT} = 8500 \cdot W_{OT}^{0.95} (\$) = 8500 \cdot 240.35^{0.95} \Rightarrow CS_{OT} = 1,553,177\$$$

Το συνολικό κόστος του εξοπλισμού και της ενδειαίτησεως του πλοίου, τελικά προκύπτει :

W_{OT}	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΥΛΙΚΑ	1553177	61.99
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	952530	38.01
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ W_{OT}	2505707	100.00

Πίνακας 16.1.2: Κόστη ενδειαίτησης και εξοπλισμού



Σχήμα 16.1.2: Ποσοστά συμμετοχής κόστων εργατικών και υλικών στον εξοπλισμό και ενδειαίτηση του πλοίου

Κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης

Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης δεν εξαρτάται από το βάρος αλλά από την ιπποδύναμη της κύριας μηχανής.

Οι κύριες μηχανές θα είναι δύο **CATERPILLAR 6M25C** με συνολική ισχύ πέδης 5364 HP στις 350 στροφές.

Έτσι η ιπποδύναμη είναι:

$$\text{BHP} = 5364 \text{ HP}$$

Οι εργατοώρες για την μηχανολογική εγκατάσταση δίνονται από τον τύπο:

$$\text{MHS}_M = 12000 \cdot \left(\frac{\text{BHP}}{1000} \right)^{0.3} = 12000 \cdot \left(\frac{5364}{1000} \right)^{0.3} = 19,862 \text{ hours}$$

Το κόστος της μιας εργατοώρας είναι όπως και πριν στα 30\$.

Άρα το κόστος των εργατικών για αυτήν την ομάδα είναι:

$$\text{CM εργ.} = 595,860 \$$$

Το κόστος των υλικών θα βρεθεί προσεγγιστικά. Θεωρούμε για τις μηχανές κόστος 500\$/BHP.

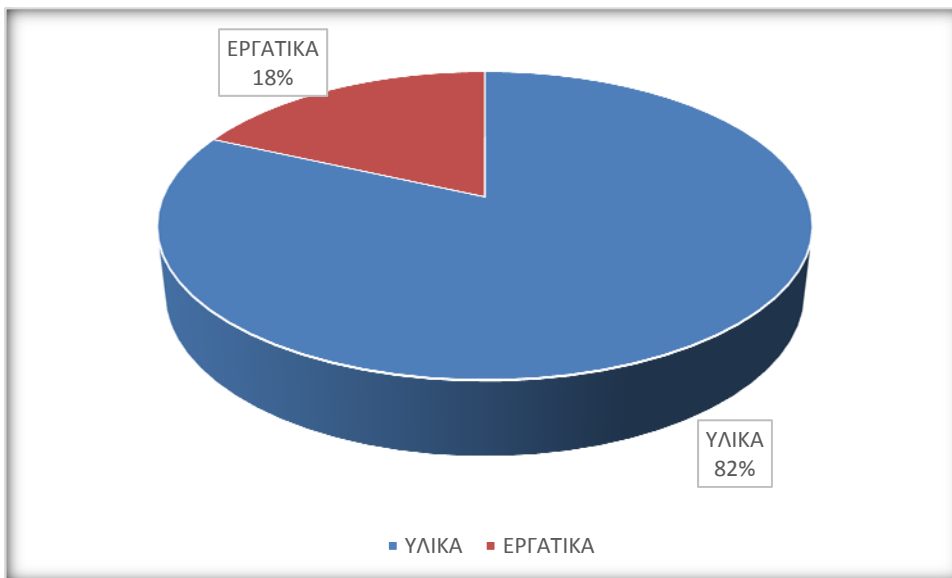
$$\text{Οπότε CM υλι.} = 500 \cdot 5364 = 2,682,000 \$$$

Ολικό κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης:

$$\text{CM.} = \text{CM εργ.} + \text{CM υλι.} = 3,277,860 \$$$

W_M	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΥΛΙΚΑ	2,682,000	81.82
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	595,860	18.18
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ W_M	3,277,860	100.00

Πίνακας 16.1.3: Κόστη μηχανολογικής εγκατάστασης

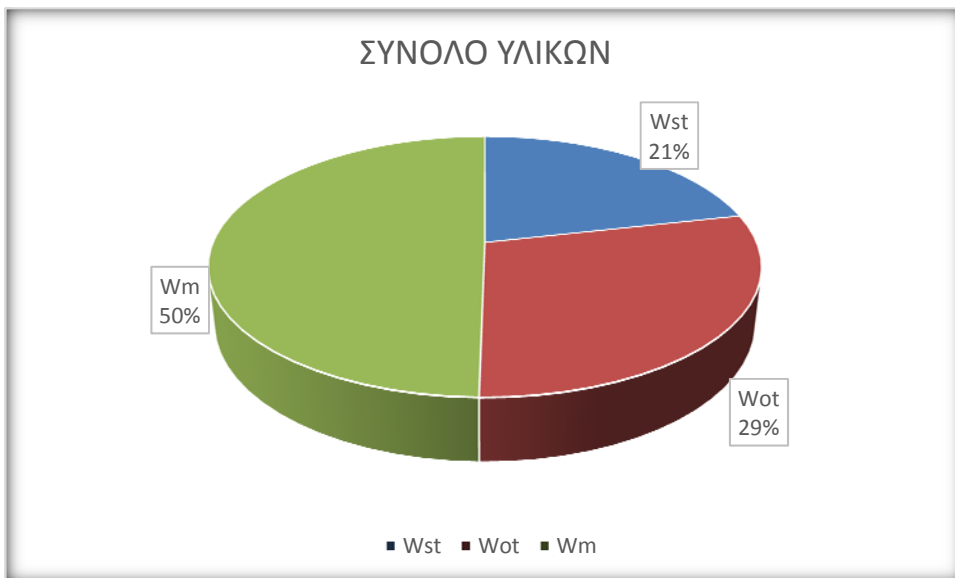


Σχήμα 16.1.3: Ποσοστά συμμετοχής κόστων εργατικών και υλικών στη μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου

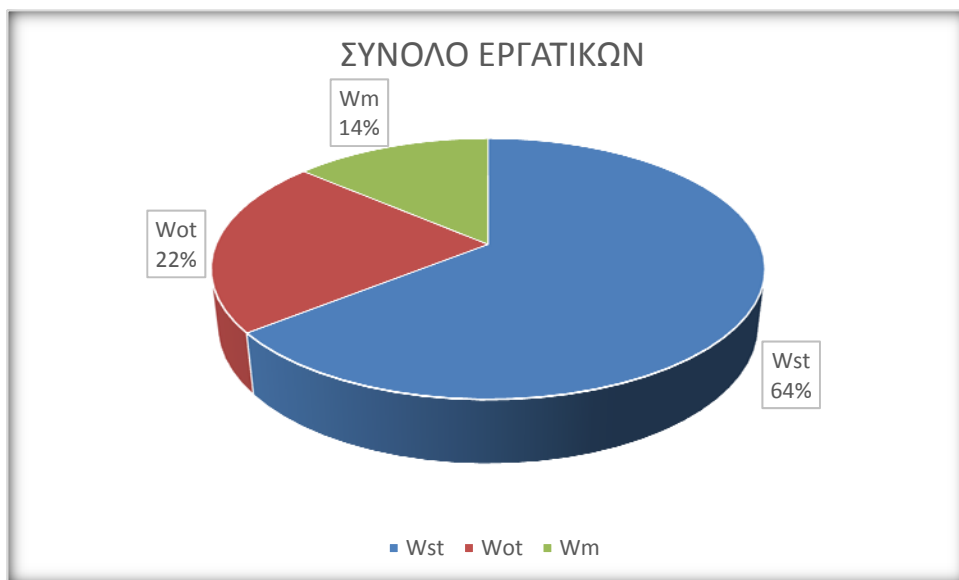
Το συνολικό κόστος κτήσης του υπό σχεδίαση πλοίου Ε/Γ - Ο/Γ "ΙΡΑΚΛΙΣ" στην παρούσα προμελέτη τελικά προκύπτει :

	ΕΡΓΑΤΙΚΑ	%	ΥΛΙΚΑ	%
Wst	2789430	64.30	1158614	21.48
Wot	952530	21.96	1553177	28.80
Wm	595860	13.74	2682000	49.72
ΣΥΝΟΛΟ	4337820	100.00	5393791	100.00
ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ	9731611			

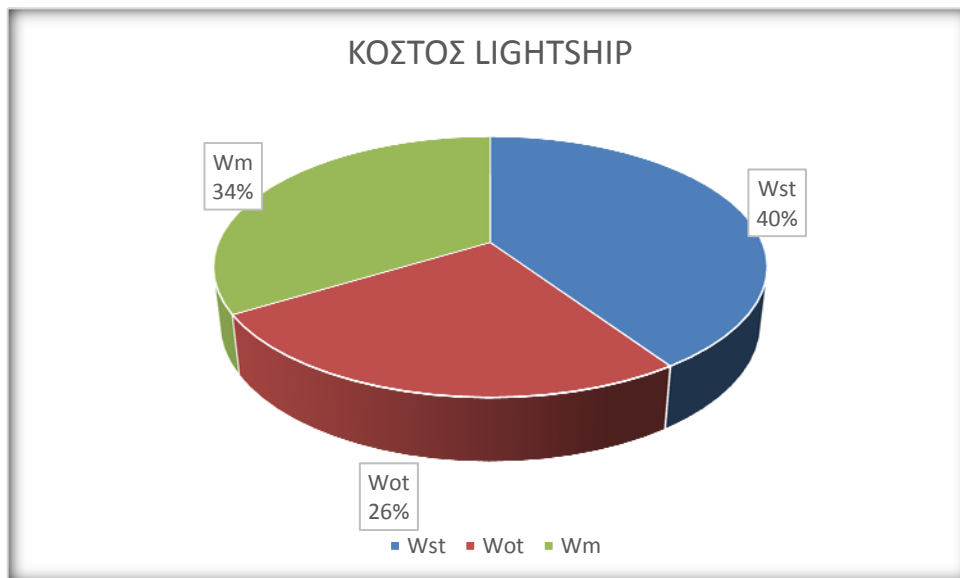
Πίνακας 16.1.1: Συνολικό κόστος κτήσης



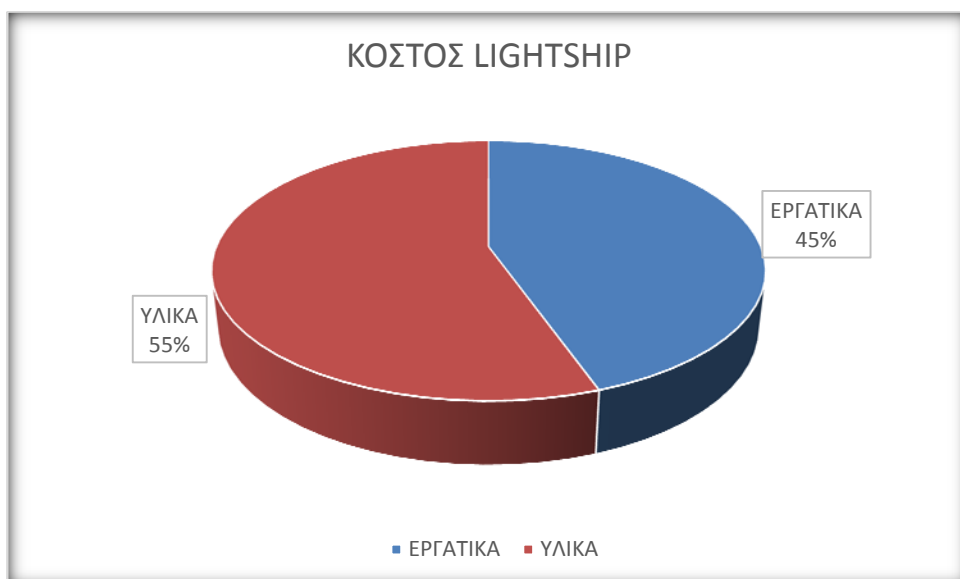
Σχήμα 16.1.4: Ποσοστά συμμετοχής ομάδων lightship στο συνολικό κόστος υλικών



Σχήμα 16.1.5: Ποσοστά συμμετοχής ομάδων lightship στο συνολικό κόστος εργατικών



Σχήμα 16.1.6: Ποσοστά συμμετοχής ομάδων lightship στο συνολικό κόστος κτήσης



Σχήμα 16.1.7: Ποσοστά συμμετοχής κόστων εργατικών και υλικών στο συνολικό κόστος κτήσης

16.2. Κόστος εκμετάλλευσης πλοίου

Η συνολική διάρκεια λειτουργίας του πλοίου, δεδομένης της ανάγκης δεξαμενισμού επιθεώρησης και συντήρησης, είναι 11 μήνες ανά έτος. Η διάρκεια του κυκλικού ταξιδιού από το κεφάλαιο 5 ("Ανάλυση DWT") είναι 40.92 ώρες. Συνεπώς το πλοίο είναι σε θέση να εκτελεί 2 ταξίδια την ημέρα, με κάποιες ώρες ελεύθερες για ανεφοδιασμούς και τυχόν έκτακτες επισκευές. Μέσα λοιπόν στους 11 μήνες, δηλαδή 335 ημέρες το πλοίο δύναται να εκτελέσει 167 κυκλικά ταξίδια.

Κόστος αναλωσίμων πλοίου

- *Κόστος Fuel Oil C_{FO} ανά ταξίδι :*

$$C_{FO} = F.O. \cdot 600\$/\text{ton} = 28.55\text{tons} \cdot 600\$/\text{ton} \Rightarrow C_{FO} = 17,130\$$$

- *Κόστος Diesel Oil C_{DO} ανά ταξίδι :*

$$C_{DO} = D.O. \cdot 1000\$/\text{ton} = 8.36\text{tons} \cdot 1000\$/\text{ton} \Rightarrow C_{DO} = 8,360\$$$

- *Κόστος Fresh Water C_{FW} ανά ταξίδι :*

$$C_{FW} = F.W. \cdot 1.0\$/\text{ton} = 21.11\text{tons} \cdot 1.0\$/\text{ton} \Rightarrow C_{FW} = 21.11\$$$

- *Συνολικό κόστος αναλωσίμων C_{CMSM} ανά ταξίδι :*

$$C_{CM} = C_{DO} + C_{FO} + C_{FW} = 17,130 + 8,360 + 21.11 \Rightarrow C_{CM} = 25,511\$$$

Δηλαδή τελικά προκύπτει συνολικό κόστος αναλωσίμων ανά έτος :

$$CY_{CM} = C_{CM} \cdot \text{αριθμός ταξιδιών} = 25,511 \cdot 167 \Rightarrow$$

$$\boxed{CY_{CM} = 4,260,337\$/\text{year}}$$

Κόστος τροφοδοσίας πλοίου

Οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του πλοίου όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι, $WD=335\text{days}$. Λαμβάνοντας ως κόστος τροφοδοσίας $10\$/\text{άτομο/ημέρα}$, για το πλήρωμα του πλοίου $40p.$ (*crew*), το ετήσιο κόστος τροφοδοσίας προκύπτει :

$$CY_F = WD \cdot N_{CREW} = 335 \cdot 40 \Rightarrow$$

$$\boxed{CY_F = 13,400\$/\text{year}}$$

Κόστος μισθοδοσίας πληρώματος πλοίου

Το κόστος της μισθοδοσίας, για μικτά έξοδα ανά μέλος του πληρώματος 1000\$/άτομο/μήνα, προκύπτει :

$$CY_{PM} = 12m/year \cdot N_{CREW} \cdot 1000 = 12 \cdot 40 \cdot 1000 \Rightarrow$$

$$\boxed{CY_{PM} = 480,000\$/year}$$

Κόστος συντήρησης πλοίου

Το ετήσιο κόστος συντήρησης του σκάφους CMY_H , δίνεται κατά προσέγγιση από την εμπειρική σχέση :

$$CMY_H = 22000 \cdot \left(\frac{(L_{BP} \cdot B_{mld} \cdot D)/(0.3048m/ft)^3}{10^5} \right)^{2/3} (\$/year) \Rightarrow$$

$$CMY_H = 22000 \cdot \left(\frac{80 \cdot 15 \cdot 5.1}{0.3048^3 \times 10^5} \right)^{2/3} \Rightarrow$$

$$CMY_H = 36,775\$/year$$

Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης πρόωσης του πλοίου CMY_{ME} , δίνεται κατά προσέγγιση από την εμπειρική σχέση :

$$CMY_{ME} = 13.60 \cdot BHP (\$/year) = 13.60 \cdot 5364HP \Rightarrow$$

$$CMY_{ME} = 72,950\$/year$$

Το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης του πλοίου CMY_{TOT} , τελικά προκύπτει :

$$CMY_{TOT} = CMY_H + CMY_{ME} = 36,775 + 72,950 \Rightarrow$$

$$\boxed{CMY_{TOT} = 109,725\$/year}$$

Κόστος ασφάλισης πλοίου

Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του πλοίου, δίνεται από την εμπειρική σχέση :

$$CIY_{TOT} = 1925 \cdot \left(N_{CREW} + \frac{GT}{1000} \right) (\$/year) = 1925 \cdot \left(40 + \frac{3438}{1000} \right) \Rightarrow$$

$$CIY_{TOT} = 83,618\$/\text{year}$$

GT=3438 κόροι, η Καθαρή Χωρητικότητα του πλοίου.

Κόστος λιμένων

Το ετήσιο κόστος λιμενισμού του πλοίου, για την εκμετάλλευση και παραμονή στα δύο λιμάνια της διαδρομής Α, Β, βρίσκεται κατά προσέγγιση από την σχέση:

$$\begin{aligned} CPY_1 &= 600 + 50 \cdot \left(\frac{(L_{BP} \cdot B_{mid} \cdot D) / (0.3048 \text{m/ft})^3}{10^5} \right) = \\ &= 600 + 50 \cdot \left(\frac{80 \cdot 15 \cdot 5.1}{0.3048^3 \cdot 10^5} \right) \Rightarrow \\ CPY_1 &= 708\$ \end{aligned}$$

Δηλαδή συνολικό κόστος και σε όλα τα λιμάνια (συνολικά 10 λιμάνια):

$$CPY_{TOT} = 7,080\$/\text{year}$$

Γενικά έξοδα

Λαμβάνουμε εμπειρικά: $GKY = 10,000\$/\text{year}$.

Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης πλοίου

$$COY_{TOT} = CY_{CM} + CY_F + CY_{PM} + CMY_{TOT} + CIY_{TOT} + CPY_{TOT} + GKY \Rightarrow$$

$$COY_{TOT} = 4,260,337 + 13,400 + 480,000 + 109,725 + 83,618 + 7,080 + 10,000 \Rightarrow$$

$$COY_{TOT} = 4,964,160\$/\text{year}$$

16.3. Ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος

Υποθέτουμε ότι για να αγοραστεί το πλοίο θα παρθεί δάνειο ίσο με το 70% ίσο με αυτό της αξίας του πλοίου. Ο χρόνος αποπληρωμής του δανείου είναι 20 χρόνια. Οπότε:

Ύψος δανείου: **70% = 6,812,128 \$**

Ιδία κεφάλαια: **30% = 2,919,483\$**

Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου ορίζεται στα 20 χρόνια, η προσδοκώμενη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου είναι 12%, ο δανειακός τόκος θα είναι $r=8\%$ ενώ η τελική αξία του πλοίου θα είναι το 2.5% της αρχικής του αξίας.

Τελικά Αξία: 243,290 \$

Η δόση του δανείου ανά έτος θα είναι:

$$\Delta = K_{\Delta} \cdot \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} = 6,812,128 \cdot \frac{0.08 \cdot 1.08^{20}}{1.08^{20} - 1} = 693,830 \text{ $ / έτος}$$

Ο υπολογισμός του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου γίνεται με τον μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.)

Η εξίσωση της Κ.Π.Α. είναι
$$\text{Κ.Π.Α.} = \sum \frac{E\Sigma_T - E\Xi_T}{(1+i)^t}$$

Τα έσοδα είναι ο ναύλος σε μονάδες \$/τόνο μεταφερόμενου φορτίου πολλαπλασιασμένο με τα ταξίδια που κάνει κάθε χρόνο το πλοίο, δηλαδή 167, καθώς και η τελική αξία πώλησης του πλοίου που υπολογίστηκε προηγουμένως.

Τα έξοδα μας είναι τα έξοδα λειτουργίας όπως υπολογίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, η δόση του δανείου, καθώς και το αρχικό κεφάλαιο του πλοιοκτήτη.

Το κάθε ποσό από τα παραπάνω πρέπει να εκφράζεται στις χρηματικές μονάδες της χρονιάς στην οποία αναφέρεται αλλά για να γίνει η πρόσθεση όλων των ποσών πρέπει να εκφραστούν σε σημερινές τιμές. Αυτός σημαίνει για παράδειγμα ότι το αρχικό κεφάλαιο του πλοιοκτήτη θα θεωρηθεί ίσο με :

$$\frac{2,919,483}{(1+0.12)^0} = 2,919,483\$, \text{ επειδή βρισκόμαστε στο μηδενικό έτος λειτουργίας.}$$

Αντίστοιχα η τελική αξία του πλοίου σε 20 χρόνια εκφρασμένη σε σημερινές χρηματικές μονάδες θα είναι:

$$\frac{243,290}{(1+0.12)^{20}} = 25,221\$$$

Κάθε χρόνο τα έξοδα που πλοίου θα είναι:

Έξοδα λειτουργίας + έξοδα δανείου = 4,964,160 \$ + 693,830 \$ = 5,657,990\$

Ετήσια έξοδα πλοίου: 5,906,837 \$

Τα ολικά έξοδα του πλοίου κατά την διάρκεια των 20 χρόνων ζωής του εκφρασμένα σε σημερινές τιμές θα είναι:

$$\sum_{t=1}^{20} \frac{5,657,990}{(1+i)^t} = 5,657,990 \cdot \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = 42,265,185\$$$

Τα ετήσια έσοδα του πλοίου την ίδια περίοδο πρέπει να είναι:

$$\sum_{t=1}^{20} \frac{\text{ΕΣΟΔΑ}}{(1+i)^t} = \text{ΕΣΟΔΑ} \cdot \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t}$$

Το άθροισμα ισούται με $\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = 7.47$

Οπότε τα ετήσια έσοδα του πλοίου εκφρασμένα σε σημερινές τιμές θα είναι: $7.47 \cdot \text{ΕΣΟΔΑ}$.

Για να μηδενίζεται η Κ.Π.Α. δηλαδή η επένδυση να θεωρείται αδιάφορη (Υπενθυμίζεται ότι για θετική Κ.Π.Α. η επένδυση είναι συμφέρουσα ενώ για αρνητική Κ.Π.Α. η επένδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί) η εξίσωση που έχει ως μόνο άγνωστο τα **ετήσια έσοδα** θα είναι:

$$\text{Κ.Π.Α.} = 0 \Rightarrow -\frac{2,919,483}{(1+0.12)^0} + 25,221 - 5,657,990 \cdot 7.47 + \text{ΕΣΟΔΑ} \cdot 7.47 = 0 \Rightarrow$$

$$K.P.A.=0 \Rightarrow -2,919,483 + 25,221 - 42,265,185 + \text{ΕΣΟΔΑ} \cdot 7.47 = 0 \Rightarrow$$

ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ=6,045,441 \$

Για να συμβεί αυτό από το κάθε ταξίδι πρέπει να κερδίζει η εταιρία

$$\text{Κταξιδιού} = \frac{6,045,441}{167} = 36,200 \$$$

Για να υπολογίσουμε τους ελάχιστους απαιτούμενους ναύλους για τους επιβάτες και τα οχήματα, θα πρέπει να ορίσουμε καταρχάς μια ισοτιμία μεταξύ των αξιών τους. Αν θεωρήσουμε ισοτιμία 1 προς 2.5 (επιβάτης προς όχημα). Θεωρούμε την τιμή του ναύλου Ι.Χ. αυτοκινήτου προσεγγιστικά ίση με αυτή του φορτηγού οχήματος, διότι αφ' ενός οι τιμές των ναύλων των φορτηγών καθορίζονται βάσει συμβολαίων και συνεπώς είναι αρκετά χαμηλές και αφ' ετέρου ο αριθμός των φορτηγών είναι πολύ μικρός. Έτσι έχουμε:

$$F_{VEH} = 2.5 \cdot F_{PASS} \quad (1)$$

$$N_{PASS} \cdot F_{PASS} + N_{VEH} \cdot F_{VEH} = K_{\text{ΤΑΞΙΔΙΟΥ}} \quad (2)$$

όπου:

F_{PASS} : Ο ναύλος κάθε επιβάτη (\$)

F_{VEH} : Ο ναύλος κάθε οχήματος (\$)

N_{PASS} : Ο αριθμός μέγιστου αριθμού επιβατών

$N_{PASS}=1264$

N_{VEH} : Ο αριθμός μέγιστου αριθμού οχημάτων

$N_{VEH}=106$

$K_{\text{ΤΑΞΙΔΙΟΥ}}$: Κέρδος πλοιοκτήτριας εταιρίας ανά ταξίδι (\$)

$K_{\text{ΤΑΞΙΔΙΟΥ}}=36,200\$$

Συνεπώς με βάση τις σχέσεις (1), (2) ο απαιτούμενος ναύλος για κάθε επιβάτη είναι $F_{PASS}=23.7 \$$ ενώ για κάθε όχημα $F_{VEH}=59.3 \$$.

Σημειώνουμε ότι για τον υπολογισμό του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου στην πραγματικότητα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η εποχιακή πληρότητα που παρατηρείται στα επιβατηγά πλοία (μεγαλύτερα έσοδα μέσα στο καλοκαίρι), όπως επίσης και το γεγονός ότι ενδέχεται ένα ποσοστό των εσόδων του πλοίου να προέρχεται από κρατικές επιδοτήσεις, μέσω προκυρήξεων διαγωνισμών που

γίνονται κατά καιρούς για την κάλυψη ορισμένων δρομολογιακών γραμμών (άγονες γραμμές).

17. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Κάνοντας μια γενική ανασκόπηση της όλης πορείας της παρούσας διπλωματικής εργασίας και βάσει της οικονομικής μελέτης που έγινε, συμπεραίνουμε ότι η ιδέα της μελέτης, σχεδίασης και κατασκευής ενός ογδοντάμετρου επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου κλειστού τύπου, που πρόκειται να ναυλωθεί για την εξυπηρέτηση της άγονης γραμμής του ανατολικού Αιγαίου: «Λέσβος-> Χίος-> Σάμος-> Πυθαγόρειο-> Αγαθονήσι-> Λειψοί-> Λέρος-> Κάλυμνος -> Κως -> Ρόδος», θα ενδιέφερε τον εκάστοτε πλοιοκτήτη, ο οποίος σκοπεύει να επενδύσει στην εγχώρια ναυτιλιακή αγορά.

Η παραπάνω άποψη ενισχύεται από το γεγονός ότι η γραμμή αυτή εξυπηρετείται κυρίως από πλοία, τα οποία είναι σχετικά παλιά (10ετίας και άνω) και επομένως επικρατεί χαμηλό επίπεδο ανταγωνισμού. Στο χώρο λοιπόν αυτό, το υπό μελέτη πλοίο είναι σε θέση να σταθεί αρκετά ανταγωνιστικό στο χώρο της ναυτιλιακής αγοράς και παράλληλα ελκυστικό απέναντι στους επιβάτες και κατά συνέπεια να αποφέρει σημαντικά κέρδη στην πλοιοκτήτρια εταιρία του. Στο σημείο αυτό να συμπληρώσουμε ότι για τα πλοία που εξυπηρετούν την εν λόγω γραμμή προβλέπονται συχνά κρατικές επιδοτήσεις μέσω διαγωνισμών, οι οποίες καθιστούν την τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου ακόμη χαμηλότερη, που μεταφράζεται σε επιπλέον κέρδη για το πλοίο.

Από τους μεγαλύτερους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου, είναι η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και κατ' επέκταση οι εγκατεστημένες κύριες μηχανές. Για την επιλεγθείσα ταχύτητα υπηρεσίας των 17 κόμβων, η απαίτηση σε ισχύ πρόωσης είναι αρκετά χαμηλή. Η ταχύτητα που επιλέχθηκε για το πλοίο θεωρείται ικανοποιητική βάσει της δρομολογιακής του γραμμής, δύναται βέβαια να επιτύχει τους 18.8 κόμβους, το οποίο όμως δεν κρίνεται αναγκαίο. Οι χαμηλές απαιτήσεις ισχύος προσφέρουν στον πλοιοκτήτη χαμηλότερα κόστη, σε μια περίοδο όπου η τιμή του πετρελαίου είναι αρκετά υψηλή.

Από τη εξαγωγή των αποτελεσμάτων της μελέτης άθικτης ευστάθειας και ευστάθειας μετά από βλάβη σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς της SOLAS αλλά και από τη συμμόρφωση με τους υπόλοιπους κανονισμούς που ορίζουν τα διάφορα θέματα που μελετήθηκαν, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε ότι το πλοίο είναι αξιόπλοο και λειτουργικό. Η ικανοποίηση των κριτηρίων της SOLAS και του Stockholm Agreement, μας προϊδεάζει ότι το πλοίο μας πρόκειται να πληρεί τις απαιτήσεις των πιο πρόσφατων κανονισμών της SOLAS 2009, το οποίο αποτελεί προτεινόμενο θέμα για την επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

18. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώσαμε το μεγαλύτερο κομμάτι της προκαταρκτικής μελέτης και σχεδίασης του υπό μελέτη πλοίου. Φυσικά το θέμα αυτής της εργασίας είναι ανοιχτό σε βελτιώσεις αλλά και σε περαιτέρω μελέτη και επέκταση. Κάποια από τα θέματα που θα προτείναμε προς αυτήν την κατεύθυνση αυτή παρουσιάζονται παρακάτω:

- Πλήρης τεχνοοικονομική μελέτη με στόχο τον προσδιορισμό των διάφορων κόστων (κτίσης, λειτουργίας) του υπό μελέτη πλοίου και συνεπαγόμενα τον υπολογισμό του των απαιτούμενων ναύλων, τα οποία θα καθορίσουν τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητά του στην ελληνική ναυλαγορά.
- Εφαρμογή των κανονισμών της SOLAS 2009 στο υπό μελέτη πλοίο και έλεγχος των σχετικών κριτηρίων με κατάλληλο software.
- Άυξηση του ωφέλιμου φορτίου (επιβάτες και φορτίο) μέσω της βελτιστοποίησης των χώρων του Σχεδίου Γενικής Διάταξης και Σχεδίου Χωρητικότητας.
- Αναλυτικότερος υπολογισμός των διάφορων ομάδων βαρών του Lightship (Steel, Outfit, Accommodation, Machinery).
- Αναλυτική σχεδίαση των χώρων του μηχανοστασίου καθώς και επιλογή των απαραίτητων για τη λειτουργία του μηχανημάτων και εξαρτημάτων.
- Μελέτη για την βέλτιστη επιλογή υλικών για την κατασκευή των διάφορων τμημάτων του πλοίου, με γνώμονα πάντα το ελάχιστο κόστος.
- Μελέτη επιβίβασης και αποβίβασης των επιβατών και των οχημάτων με κατάλληλα προγράμματα Η/Υ.
- Μελέτη σχεδίου πυρασφάλειας (fire plan)
- Μελέτη σχεδίου εκκένωσης (evacuation plan)
- Μελέτη συμπεριφοράς σε κυματισμούς (seakeeping)
- Μελέτη ελικτικών ικανοτήτων (maneuvering)
- Χρήση πεπερασμένων στοιχείων με κατάλληλα προγράμματα Η/Υ για τη μελέτη της αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου σε δυναμικές φορτίσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Α.Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Α' τόμος, Εκδόσεις Συμεών
- Α.Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Β' τόμος, Εκδόσεις Συμεών
- Μ.Σαμουηλίδης, Αντοχή Πλοίου, Σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- Σ.Σκούπας, Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Μελέτη και Σχεδίαση - Βελτιστοποίηση Επιβατηγών - Οχηματαγωγών Πλοίων Νέας Τεχνολογίας, διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ
- ILLC 1966, International Convention on Tonnage Measurement of Ships, IMO
- IMO Load Lines, Edition 2005
- ILO 1949, International Labour Conference, IMO
- BV 2011, Rules for the Classification of Steel Ships, Bureau Veritas.
- Res.A.749 (18) 1993, CODE ON INTACT STABILITY FOR ALL TYPES OF SHIPS COVERED BY IMO INSTRUMENTS, IMO
- SOLAS 1990, International Convention of the Safety Of Life At Sea, IMO
- Ν.1594/1986, Κύρωση της 133 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας για την ενδιαίτηση των πληρωμάτων των πλοίων (συμπληρωματικές διατάξεις), ΦΕΚ Α'65
- Ν.1637/1986, Κύρωση της 92 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας για την ενδιαίτηση των πληρωμάτων των πλοίων (αναθεωρητική 1949), ΦΕΚ Α'107
- Ν.Δ.973.1971, Περί καταμετρήσεως της χωρητικότητας των εμπορικών πλοίων, ΦΕΚ Α'194
- Π.Δ.177/1974, Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών πλοίων, ΦΕΚ Α'64
- Π.Δ.20/2012, Τροποποίηση διατάξεων του Π.Δ.103/1999 "Κανόνες και πρότυπα ασφάλειας για τα επιβατηγά πλοία σύμφωνα με την Οδηγία 98/18/ΕΚ του Συμβουλίου της 17ης Μαρτίου 1988"(Α'110), ΦΕΚ Α'46
- Π.Δ.230/ 1984, Συμπλήρωση του άρθρου 2 του Π.Δ.177/74 "Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών πλοίων", ΦΕΚ Α'85
- Π.Δ.319/ 1996, Τροποποίηση του Π.Δ.177/74 "Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών πλοίων", ΦΕΚ Α'216
- Π.Δ.44/ 2011, Κανονισμός Ενδιαιτήσεως και καθορισμός αριθμού επιβατών των επιβατηγών πλοίων, ΦΕΚ Α'110

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- <https://www.google.com/earth>
- <https://marine.cat.com/cda/alias/mak-M25C>
- <http://power.cummins.com/onanpowerWeb/navigation.do?pagelId=916&parentId=533&linkName=Engine%20Series>
- https://www.mandieselturbo.com/files/news/filesof2604/a_guide-00.pdf
- http://www.veristar.com/wps/portal/!ut/p/_s.7_0_A/7_0_186N?content=veristarinfo,rulesoftware

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ

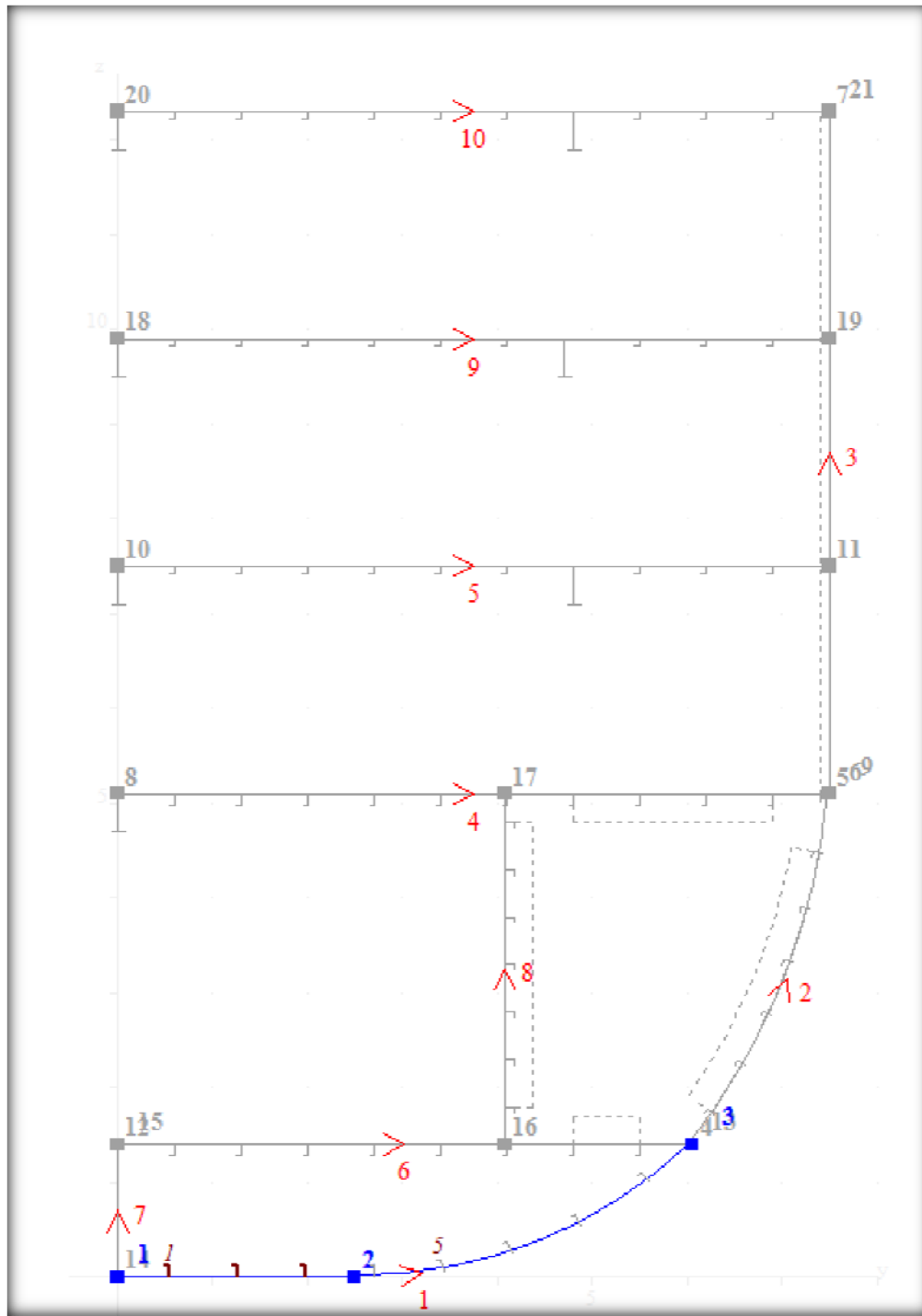
- AutoCAD 2012
- Lines - Tribon
- Autohydro - Autoship
- ModelMaker - Autohip
- PropCad
- NavCad

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Σχέδιο Γραμμών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Σχέδιο Γενικής Διάταξης/ Σχέδιο Χωρητικότητας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Σχέδιο Κατακλυσίμων Μηκών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Σχέδιο Μέσης Τομής



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Σχέδιο Στοιβασίας Οχημάτων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: Σχέδιο Έλικας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η: Manual κύριων μηχανών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ: Manual ηλεκτρογεννητριών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Manual μειωτήρων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κ: Υδροστατικά στοιχεία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Λ: Αποτελέσματα Άθικτης Ευστάθειας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Μ: Αποτελέσματα Ευστάθειας μετά από Βλάβη (SOLAS '90)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ν: Αποτελέσματα Ευστάθειας μετά από Βλάβη (Stockholm Agreement)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ξ: Υπολογισμός αντίστασης μεθόδων Holtrop και Formdata με το πρόγραμμα NavCad

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ο: Υπολογισμός πρόωσης για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας