

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου"

Χρήστος Γεωργίου

Επιβλέπων:

*Απόστολος Δ. Παπανικολάου*

*Αθήνα, Ιούλιος 2015*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
ABSTRACT .....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	9
1 Γενικά Εισαγωγικά Στοιχεία .....	10
1.1 Υγροποιημένο Φυσικό αέριο (ΥΦΑ) .....	10
1.2 Περιγραφή αλυσίδας ΥΦΑ (LNG Process Chain).....	11
1.2.1 Φάση Αναζήτησης / Εξόρυξης / παραγωγής .....	11
1.2.2 Φάση Υγροποίησης .....	11
1.2.3 Μεταφορά LNG .....	12
1.2.4 Αποθήκευση .....	13
1.3 Ιστορική αναδρομή .....	14
1.4 Κανονισμοί σχετικά με τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ .....	18
1.5 Συστήματα Δεξαμενών.....	20
1.5.1 Δεξαμενές Τύπου "Α" .....	20
1.5.2 Δεξαμενές Τύπου "Β" .....	21
1.5.3 Δεξαμενές Τύπου "C" .....	24
1.5.4 Δεξαμενές μεμβρανικού τύπου (GTT technology).....	25
1.5.5 Άλλες σχεδιάσεις.....	28
1.6 Αγορά LNG.....	30
1.6.1 Πλεονεκτήματα μεταφοράς ΥΦΑ με πλοίο συγκριτικά με μεταφορά ΦΑ με αγωγούς.....	31
1.6.2 Κόστη.....	32
1.6.3 Χώρες Εισαγωγής και Εξαγωγής .....	34
2 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ LNG CARRIER 170.000 m <sup>3</sup> .....	39
2.1 Επιλογή όμοιων πλοίων.....	39
2.2 Επιλογή κύριων διαστάσεων.....	41
2.2.1 Συντελεστής μέσης τομής (C <sub>M</sub> ).....	44
2.2.2 Πρισματικός συντελεστής (C <sub>P</sub> ) .....	44
2.2.3 Συντελεστής ισάλου επιφάνειας (C <sub>WP</sub> ).....	45
2.2.4 Αποτελέσματα.....	45
2.3 Πρώτη προσέγγιση ισχύος προωστήριας εγκατάστασης.....	46
2.3.1 Ισχύς πρόωσης .....	46
2.3.2 Επιλογή κύριας μηχανής.....	46

2.4	Υπολογισμός βάρους Lightship .....	48
2.4.1	Ανάλυση Βαρών Πατρικού Πλοίου .....	48
2.4.2	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα, βάρος LS, συντελεστής διόρθωσης.....	69
2.4.3	Υπολογισμός βαρών για το υπό μελέτη πλοίο .....	70
2.4.4	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα, βάρος LS, συντελεστής διόρθωσης.....	80
2.4.5	Έλεγχος βαρών $\Delta_B$ με $\Delta_T$ για το υπό μελέτη πλοίο .....	80
2.5	Ανάλυση DWT για το υπό μελέτη πλοίο .....	81
2.5.1	Βάρος Καυσίμων .....	81
2.5.2	Βάρος ελαφρού καυσίμου ( $W_{DO}$ ).....	82
2.5.3	Βάρος λιπαντικών ( $W_{LO}$ ).....	83
2.5.4	Βάρος νερού ( $W_{FW}$ ).....	83
2.5.5	Βάρος Εφοδίων-τροφίμων ( $W_{PR}$ ) .....	84
2.5.6	Βάρος Επιβατών και αποσκευών ( $W_p$ και $W_{CR}$ ).....	84
2.5.7	Σταθερά βάρη (Const.).....	84
2.5.8	Βάρος ωφέλιμου φορτίου ( $W_{PL}$ ) .....	86
2.6	Καθορισμός κατασκευαστικών νομέων, κύριων φρακτών και διπτυθμένου.....	87
2.6.1	Ανάλυση Επιμέρους Μηκών $L_i$ .....	87
2.6.2	Έλεγχος απόστασης φρακτής σύγκρουσης.....	87
2.6.3	Υπολογισμός ύψους διπτυθμένου .....	88
2.6.4	Υπολογισμός απόστασης διπλών τοιχωμάτων .....	88
2.6.5	Υπολογισμός όγκου κυτών ( $V_{cargo}$ ).....	89
2.6.6	Υπολογισμός ελάχιστου έρματος.....	89
2.7	Έλεγχος Ευστάθειας .....	91
2.7.1	Πατρικό - Αναχώρηση .....	91
2.7.2	Υπό μελέτη πλοίο – Αναχώρηση .....	95
2.7.3	Πατρικό - Άφιξη.....	99
2.7.4	Υπό μελέτη πλοίο – Άφιξη.....	103
2.8	Γραμμή Φόρτωσης.....	106
3	ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ .....	109
3.1	Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών .....	109
3.2	Διαμερισματοποίηση .....	110
3.3	Υδροστατικά και Υδροδυναμικά Χαρακτηριστικά .....	110

3.3.1	Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (FLD).....	111
3.3.2	Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (FLA).....	116
3.3.3	Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αναχώρηση (BD).....	121
3.3.4	Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Άφιξη (BA).....	126
3.4	Κλίμακα DWT .....	131
3.5	Υδροστατικά (Hydrostatics) .....	132
3.6	Καμπύλες Ευστάθιας (Cross Curves).....	134
3.7	Κατακλύσιμα Μήκη (Floodable Length) .....	135
4	ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ.....	138
4.1	Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage – GT).....	138
4.2	Καθαρή Χωρητικότητα.....	139
5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ ΒΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ.....	142
5.1	Γενικά Χαρακτηριστικά .....	142
5.2	Ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης.....	143
5.3	Ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας .....	144
5.4	Διαστασιολόγηση στοιχείων διαμήκους αντοχής Μέσης Τομής .....	144
5.4.1	Ελάσματα .....	146
5.4.2	Ενισχυτικά .....	157
5.5	Υπολογισμός ροπής αντίστασης και αδράνειας Μέσης Τομής .....	165
6	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΤΗΣΗΣ, ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΝΑΥΛΟΥ .....	167
6.1	Κόστος Κτήσεως Πλοίου .....	167
6.1.1	Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής.....	168
6.1.2	Κόστος Ενδιαιτήσεως & Εξοπλισμού .....	169
6.1.3	Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης .....	170
6.2	ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ:.....	174
6.2.1	Κόστος Heavy Fuel Oil .....	175
6.2.2	Κόστος Diesel Oil .....	176
6.2.3	Κόστος Lub Oil .....	176
6.2.4	Κόστος Fresh Water .....	176
6.2.5	Κόστος Τροφοδοσίας .....	176
6.2.6	Κόστος Μισθοδοσίας .....	176
6.2.7	Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών .....	177

---

6.2.8	Κόστος Ασφάλισης.....	177
6.2.9	Έξοδα Λιμένων .....	177
6.2.10	Γενικά Έξοδα.....	178
6.3	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ .....	180
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	181
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	184
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	200

*Στην Οικογένεια μου*

### **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον κ. Απόστολο Παπανικολάου, στην κ. Ελευθερία Ηλιοπούλου και στον κ. Γεώργιο Παπατζανάκη, για την πολύτιμη καθοδήγηση τους και τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Ευχαριστώ, την "Maran Gas" για την προμήθεια των απαραίτητων σχεδίων και ευχαριστώ επίσης, τον κ. Σταύρο Νιώτη και τον κ. Περικλή Σκαβάρα που ήταν πάντα πρόθυμοι να βοηθήσουν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.), στο τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και συγκεκριμένα στον Τομέα Μελέτης Πλοίου & Θαλάσσιων Μεταφορών, κατά το έτος 2014-2015. Αντικείμενο αυτής της εργασίας, είναι η προμελέτη ενός πλοίου μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου μέσω κατάλληλης μεθοδολογίας. Η προμελέτη βασίζεται σε πατρικό πλοίο<sup>1</sup> και ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και τους σχετικούς κανονισμούς. Στα πλαίσια της μελέτης, χρησιμοποιείται το σχεδιαστικό και υπολογιστικό πρόγραμμα AVEVA, από όπου εξάγονται οι διάφορες καταστάσεις φόρτωσης και τα τελικά χαρακτηριστικά του πλοίου.

## ABSTRACT

The present Diploma Thesis takes place at Naval Architecture and Marine Engineering Department (Ship Design Laboratory) of National Technical University of Athens (N.T.U.A.). The objective of this Thesis is the Preliminary Design of a Liquefied Natural Gas Carrier throughout a specific methodology. The Design is based on a reference Ship and takes into account the Ship Owner's demands and the satisfaction of certain Rules and Regulations. The relevant Loading Conditions and the characteristics of the ship are extracted by the designing Program AVEVA.

---

<sup>1</sup> Πατρικό πλοίο: "Woodside Rogers" της "MARAN GAS"



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η κλιματική αλλαγή, στις μέρες μας, αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας. Τα αέρια του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, CO<sub>2</sub>, που εκπέμπονται από τις διάφορες βιομηχανίες επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου, SO<sub>2</sub>, τα οξείδια του αζώτου, NO<sub>x</sub>, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), επηρεάζουν αρνητικά τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου.

Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με πιο οικολογικά καύσιμα αποτελεί πλέον, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα. Το ενδιαφέρον για το Φυσικό Αέριο (ΦΑ) αναζωπυρώθηκε τα τελευταία χρόνια καθώς πρόκειται για πιο οικολογικό καύσιμο και με μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη σε σχέση με άλλα συμβατικά καύσιμα (γαιάνθρακας, πετρέλαιο). Έτσι, αποτελεί σήμερα, μια βιώσιμη λύση για τη μείωση των εκπομπών ρύπων.

Συγκεκριμένα, στη ναυτιλία, έχουν θεσπιστεί κανονισμοί από τον IMO<sup>i</sup> στο Πλαίσιο της Δ.Σ MARPOL VI<sup>ii</sup> για να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG<sup>iii</sup>) που προέρχονται από τον τομέα αυτό, ενώ ήδη εφαρμόζονται σταδιακά οι απαιτήσεις για τον περιορισμό εκπομπών από τα πλοία ως προς SO<sub>x</sub> (low sulphur fuel) και NO<sub>x</sub><sup>iv</sup> (Tier II & III standards).<sup>1</sup>

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, με βάση τα προηγούμενα, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί και να σχεδιαστεί ένα πλοίο μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG Carrier<sup>v</sup>). Η μελέτη και η σχεδίαση θα γίνει μέσω κατάλληλων σχεδιαστικών πακέτων<sup>vi</sup> και σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών.

Αναλυτικότερα:

- ◆ Στο Κεφάλαιο 1, παρουσιάζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με το Φυσικό Αέριο και τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου που πρόκειται να μελετηθεί.
- ◆ Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται η προκαταρκτική μελέτη του υπό σχεδίαση πλοίου, απ' όπου προκύπτουν οι κύριες διαστάσεις με βάση τις προδιαγραφές του πλοιοκτήτη.
- ◆ Στο Κεφάλαιο 3, πραγματοποιείται μοντελοποίηση του πλοίου μέσω του AVEVA και από εκεί εξάγονται οι καταστάσεις φόρτωσης, η κλίμακα DWT, τα υδροστατικά, οι καμπύλες ευστάθειας και τα κατακλύσιμα μήκη.
- ◆ Στο κεφάλαιο 4, γίνεται η καταμέτρηση του πλοίου με βάση τη Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης.
- ◆ Στο κεφάλαιο 5, αναλύεται ο υπολογισμός αντοχής μέσης τομής του υπό μελέτη πλοίου, βάση κανονισμών και σχεδιάζεται στο AUTOCAD η μέση τομή.
- ◆ Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται μια εκτίμηση του κόστους κτήσης και λειτουργίας καθώς και ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος.

Τέλος, με βάση όσα αναλύθηκαν, εξάγονται κάποια σημαντικά συμπεράσματα.

<sup>i</sup> IMO: International Maritime Organization

<sup>ii</sup> Σχετικό άρθρο παρατίθεται στο Παράρτημα 8.1

<sup>iii</sup> GHG: Greenhouse Gas

<sup>iv</sup> NO<sub>x</sub> - SO<sub>x</sub>: Nitrogen Oxides – Sulphur Oxides

<sup>v</sup> Liquefied Natural Gas Carrier

<sup>vi</sup> AVEVA, AUTOCAD

## 1 Γενικά Εισαγωγικά Στοιχεία

### 1.1 Υγροποιημένο Φυσικό αέριο (ΥΦΑ)

Το φυσικό αέριο (ΦΑ) είναι ένα καύσιμο που δημιουργείται στο υπέδαφος, σε υπόγειες κοιλότητες. Σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον σχηματισμό του πετρελαίου, δηλαδή από την βραδεία αποσύνθεση φυτικής και ζωικής ύλης που υπήρχε παγιδευμένη κάτω από στερεά πετρώματα (υπό μεγάλη πίεση) για πολλά εκατομμύρια έτη. Συνήθως συνυπάρχει με νερό (δύο φάσεις) ή είναι συνδεδεμένο με αργό πετρέλαιο και νερό (τρεις φάσεις).

Η σύσταση του περιλαμβάνει κυρίως μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), έναν άχρωμο και άοσμο υδρογονάνθρακα. Εκτός από το μεθάνιο περιέχει επίσης και άλλους υδρογονάνθρακες σε μικρότερες ποσότητες (προπάνιο ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), βουτάνιο ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), αιθάνιο ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )), καθώς και ορισμένες ουσίες σε πολύ μικρά ποσοστά όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το άζωτο ( $\text{N}_2$ ), το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), το νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ), τα στερεά σωματίδια κ.α. Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, απουσιάζει τελείως από τη σύσταση του το μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι τοξικό.<sup>2</sup>

Το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση υγροποιείται σε μια θερμοκρασία κοντά στους  $-162^\circ\text{C}$ . Ο κύριος λόγος για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η κατά 600 φορές μείωση του όγκου του, λόγω της αλλαγής φάσης (αέριο σε υγρό). Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η αποθήκευση του και η μεταφορά του, σε ειδικές κρυογενικές δεξαμενές. Το βάρος του υγροποιημένου φυσικού αερίου προσδιορίζεται στο μισό του βάρους του νερού.

Σε τυχόν περίπτωση αστοχίας ή ατυχήματος και διαρροής του προϊόντος δεν υπάρχει κίνδυνος από απότομη εκτόνωση, καθόσον τουλάχιστον το προϊόν βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στο προϊόν δίδεται συνήθως χαρακτηριστική οσμή για σκοπούς ασφαλείας, ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περιπτώσεις διαρροής. Υπάρχουν βέβαια άλλοι κίνδυνοι όπως η ανάφλεξη και πρόκληση πυρκαγιάς με ύπαρξη ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Τα όρια αναφλεξιμότητας για το φυσικό αέριο είναι 5-15 % αέριο/αέρα.

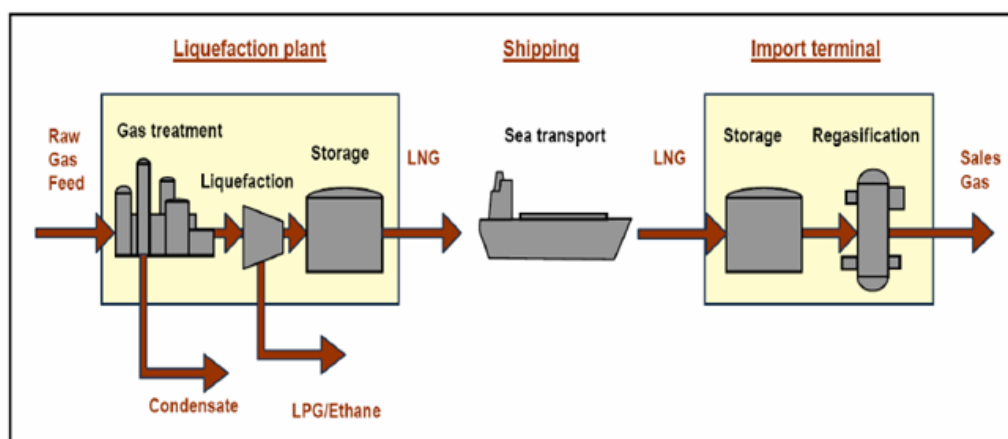
Σημαντικές θεωρούνται οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ΥΦΑ. Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, έχει δύο ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πετρέλαιο ντίζελ και το μαζούτ. Παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του, συνεπώς επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας. Επίσης, οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου και του μαζούτ. Συγκεκριμένα, μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) περίπου 25-30%, τις εκπομπές οξειδίων του θείου ( $\text{SO}_x$ ) σχεδόν στο μηδέν και τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) περισσότερο από 80%.<sup>2</sup>

Οι πιο διαδεδομένες χρήσεις του είναι:

- Στη Ναυτιλία: Με αφορμή τους κανονισμούς της MARPOL VI. Χρήση κινητήρων καυσίμου LNG και κινητήρων διπλής καύσης για LNG Carriers. Οι τελευταίοι, χρησιμοποιούν τα εξατμιζόμενα αέρια (boil-off) από τις δεξαμενές φορτίου σαν καύσιμο σε συνδυασμό με το ντίζελ. (Το φαινόμενο boil-off θα περιγραφεί στην Παρ. 1.2.31.2.3)
- Στη Βιομηχανία: Καύσιμο που ενισχύει σημαντικά την ανταγωνιστικότητα.
- Οικιακή χρήση: Θέρμανση, ζεστό νερό, κλιματισμός.
- Επιχειρήσεις: Πηγή ενέργειας για εστιατόρια, φούρνους, εργαστήρια, βιοτεχνίες.
- Στην ηλεκτροδότηση: Για καθαρή και αποδοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στην αυτοκίνηση: Για κίνηση οχημάτων δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης.
- Στη Γεωργία: Σε θερμοκήπια ως πηγή θέρμανσης.
- Εναλλακτική, καθαρότερη από τα άλλα συμβατικά καύσιμα, υποστηρικτική πηγή ενέργειας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## 1.2 Περιγραφή αλυσίδας ΥΦΑ (LNG Process Chain)

Η έννοια της Υγροποίησης περιγράφει τη διαδικασία της ψύξης του Φυσικού Αερίου σε  $-162^{\circ}\text{C}$  και της μετατροπής του σε υγρή μορφή για να μπορεί να μεταφερθεί οικονομικά δια θαλάσσης. Από το 1964, η εξαγωγή, παραγωγή, μεταφορά, εισαγωγή και διανομή του ΥΦΑ ακολουθεί μια σειρά διαδικασιών που απεικονίζονται στην Εικόνα 1.2:1.



Εικόνα 1.2:1 Η αλυσίδα ΥΦΑ (Πηγή: The International Group of LNG Importers, 2009)

### 1.2.1 Φάση Αναζήτησης / Εξόρυξης / παραγωγής

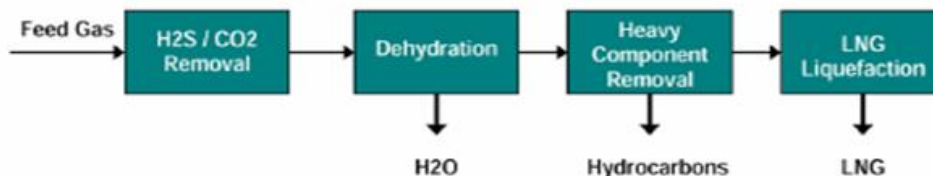
Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας, όπως είναι προφανές, γίνεται αναζήτηση των φυσικών πόρων από όπου προέρχεται το φυσικό αέριο, από ειδικούς, οι οποίοι αναλύουν τη γεωλογική δομή του εδάφους (π.χ. με σεισμική ανάλυση). Πολλές φορές η ανακάλυψη των πηγών φυσικού αερίου γίνεται κατά την αναζήτηση νέων πηγών πετρελαίου. Γεώτρηση αναλαμβάνεται όταν υπάρχει μια υψηλή πιθανότητα ανακάλυψης αερίου (ή πετρελαίου). Αν η πηγή είναι βιώσιμη (μετά από μια σειρά δοκιμών, μετρήσεων και πρόσθετες γεωτρήσεις), μπορεί να γίνει Εξόρυξη και Παραγωγή.<sup>3</sup>

Το φυσικό αέριο που εξάγεται από το έδαφος ονομάζεται “FEED”. Αυτό περιέχει και πετρέλαιο το οποίο είναι άχρηστο και στέλνεται για καύση. Η τελική ποσότητα είναι ικανή για χρησιμοποίηση του ως ΥΦΑ.

Πριν καταναλωθεί το ακατέργαστο φυσικό αέριο πρέπει να καθαριστεί. Όπως ειπώθηκε και στην παράγραφο 1.1, συνυπάρχει με μια ποικιλία από άλλες ενώσεις και αέρια όπως αιθάνιο ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), προπάνιο ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), βουτάνιο ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), ήλιο (He) και άζωτο ( $\text{N}_2$ ), καθώς και πετρέλαιο και νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ), τα οποία πρέπει να διαχωριστούν κατά τη διάρκεια της παραγωγής πριν από την υγροποίηση.<sup>4</sup>

### 1.2.2 Φάση Υγροποίησης

Το Επόμενο στάδιο μετά την εξόρυξη, είναι αυτό της επεξεργασίας για υγροποίηση. Συγκεκριμένα το φυσικό αέριο που εξάγεται φιλτράρεται και καθαρίζεται σε ειδικές μονάδες προκειμένου να πληροί τις προδιαγραφές των περιοχών εισαγωγής. Οι μονάδες υγροποίησης συχνά αποτελούνται από αρκετές εγκαταστάσεις σε παράλληλη διάταξη με σκοπό το διαχωρισμό και την αφαίρεση των διαφόρων ξένων ουσιών του φυσικού αερίου πριν την υγροποίηση.



Εικόνα 1.2:2 Διαδικασία αφαίρεσης ενώσεων που βρίσκονται στο αέριο καθώς βγαίνει από το έδαφος, πριν την υγροποίηση (Πηγή: The international group of lng importers, 2009)

Πιο συγκεκριμένα, το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό εξαγονται στο προηγούμενο στάδιο της υγροποίησης, γιατί προκαλούν βλάβη στις εγκαταστάσεις υγροποίησης με κατάψυξη. Οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες από το μεθάνιο διαχωρίζονται και πωλούνται ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία πετροχημικών ή σαν καύσιμο.

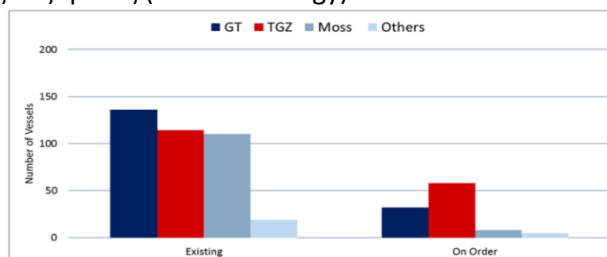
Μετά την επεξεργασία το φυσικό αέριο υποβάλλεται σε υγροποίηση στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Έτσι, στο παρόν στάδιο, μετατρέπεται σε υγρή μορφή και αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από μεθάνιο. Για να αποκτήσει τη μέγιστη μείωση όγκου, το αέριο υγροποιείται μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας ψύξης που καθιστά δυνατή την ψύξη του αερίου σε θερμοκρασία περίπου  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.2.3 Μεταφορά LNG

Αν και η απαιτούμενη ενέργεια για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι ουσιαστική, το πλεονέκτημα του όγκου καθιστά οικονομικά βιώσιμη την υγροποίηση. Για τη μεταφορά του ΥΦΑ σε μεγάλες αποστάσεις, προτιμάται διά θαλάσσης, με εξειδικευμένα LNG Carriers, όπου έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να περιέχουν το φορτίο κοντά σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασία περίπου  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Πλοία μεταφοράς LNG είναι ένα συνδυασμός συμβατικού τύπου πλοίου με εξειδικευμένα υλικά και προηγμένα συστήματα για κρυογονική διαχείριση φορτίων. Οι δεξαμενές αποτελούνται από στρώματα ειδικής μόνωσης που απομονώνουν το φορτίο του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τη γάστρα του πλοίου και είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με τους Διεθνείς Κώδικες Αερίου. Επιπλέον, αυτό το σύστημα μόνωσης περιορίζει το ποσό του ΥΦΑ, το οποίο μπορεί να εξατμίζεται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών (boil-off).

Στις μέρες μας, για μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ΥΦΑ, έχουν επικρατήσει τρεις τύποι πλοίων με βάση το σύστημα δεξαμενών τους:

- Πλοία με Σφαιρικές δεξαμενές (Kvaerner-Moss System)
- Πλοία με πρισματικές δεξαμενές (IHI SPB)
- Πλοία με μεμβρανικές δεξαμενές (GTT technology)



Εικόνα 1.2:3 Συστήματα δεξαμενών (Πηγή:Clarksons 2013)

Σε επόμενη παράγραφο θα περιγραφούν αναλυτικά όλοι οι τύποι των δεξαμενών για πλοία μεταφοράς ΥΦΑ σύμφωνα με την κατάταξη του IMO<sup>i</sup>.

<sup>i</sup> IMO: International Maritime Organization

## Εξατμιζόμενα Αέρια / Boil-Off Gas (BOG) <sup>5</sup>

Το φαινόμενο αυτό συναντάται κατά την αποθήκευση του ΥΦΑ σε δεξαμενές. Το ΥΦΑ όπως αναφέρθηκε ψύχεται στους  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε ατμοσφαιρική πίεση για να υγροποιηθεί. Οι δεξαμενές έχουν ως στόχο να διατηρήσουν την χαμηλή θερμοκρασία του LNG με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Όμως η μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον είναι σχεδόν αναπόφευκτη.

Γνωρίζοντας τα πιο κάτω:

- Αν ο όγκος είναι σταθερός  $\rightarrow$  αύξηση της πίεσης στη δεξαμενή αποθήκευσης.
- Αν η πίεση είναι σταθερή  $\rightarrow$  το υγρό ανεβάζει θερμοκρασία και μετατρέπεται σε αέριο. Οπότε για να διατηρηθεί η πίεση μέσα στη δεξαμενή το αέριο απελευθερώνεται εκτός δεξαμενής, αφού υπό αέρια μορφή το ΦΑ καταλαμβάνει περισσότερο χώρο.

Στην περίπτωση των δεξαμενών ΥΦΑ, μας ενδιαφέρει να έχουμε σταθερή πίεση, οπότε το εξατμιζόμενο αέριο διοχετεύεται με κατάλληλες διατάξεις, είτε προς επανυγροποίηση για επαναποθήκευση στις δεξαμενές, είτε για τη χρήση του ως καυσίμου. Για να χρησιμοποιηθεί όμως ως καύσιμο θα πρέπει να θερμανθεί στους  $20^{\circ}\text{C}$ . Σε ένα τυπικό ταξίδι, εκτιμάται ότι περίπου το 0,1% - 0,25% του φορτίου ΥΦΑ εξατμίζεται κάθε μέρα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της μόνωσης και την τραχύτητα του ταξιδιού. Έτσι, σε ένα ταξίδι, 20 ημερών μπορεί να εξατμιστεί από το 2% - 6% του συνολικού όγκου του ΥΦΑ.

### 1.2.4 Αποθήκευση

Όταν το LNG φτάσει στους τερματικούς σταθμούς, μεταφέρεται σε ειδικές μονωμένες δεξαμενές αποθήκευσης. Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να είναι πάνω ή κάτω από το έδαφος και διατηρούν το υγρό σε χαμηλή θερμοκρασία για να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό της εξάτμισης.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο χαρακτηρίζεται ως κρυογονικό και διατηρείται στην υγρή του κατάσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό της δεξαμενής θα παραμείνει σταθερή, αν η πίεση παραμείνει σταθερή, επιτρέποντας το εξατμισμένο φυσικό αέριο να απελευθερώνεται από τη δεξαμενή.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο θερμαίνεται στο σημείο που μπορεί να μετατραπεί στην αέρια κατάσταση για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία απενεργοποίησης με εναλλάκτες θερμότητας.

Τέλος, συστήματα διανομής παραλαμβάνουν το αέριο από περιφερειακά κέντρα ανεφοδιασμού και το μεταφέρουν στους χρήστες. Οι τελικοί χρήστες, μπορεί να είναι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (30% της παγκόσμιας χρήσης για το 2009), βιομηχανίες πλαστικών και λιπασμάτων (27%) και των κατοίκων για εμπορική χρήση (21%) (EIA, 2010). Τα συστήματα αποτελούνται από δίκτυα υψηλής πίεσης, μέσης πίεσης και χαμηλής πίεσης.<sup>6</sup>

### 1.3 Ιστορική αναδρομή<sup>7</sup>

Τον Ιανουάριο του 1959 το "Methane Pioneer", ένα ανακατασκευασμένο φορτηγό του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (Liberty freighter), που είχε πέντε πρισματικές δεξαμενές, μετέφερε υγροποιημένο φορτίο φυσικού αερίου από το Lake Charles, USA, στο Canvey Island, UK. Το συγκεκριμένο γεγονός έδειξε ότι η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ΥΦΑ με ασφάλεια σε ολόκληρο τον ωκεανό ήταν δυνατή.



Εικόνα 1.3:1 "Methane Pioneer" 1959 (Πηγή: Marineinsight)

Η βιομηχανία LNG ξεκίνησε το 1964 με τις πρώτες αποστολές από την Αλγερία στο Ηνωμένο Βασίλειο. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, τα χρόνια που μεσολάβησαν, το διεθνές εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 50 φορές, η παραγωγική ικανότητα αυξήθηκε κατά 10 φορές και η μεταφορική ικανότητα των πλοίων έχει αυξηθεί 5 φορές. Οι πρώτες δεξαμενές μεταφοράς φυσικού αερίου που χρησιμοποιούνται σε μια συνεχή τακτική για το εμπόριο στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ο σχεδιασμός μεμβρανικού τύπου δεξαμενών. Το 1965 η "Phillips Petroleum" επικοινωνήσε με το Λιμενικό Σώμα σχετικά με μια πρόταση που είχε από την "Tokyo Gas" για την μεταφορά ΥΦΑ από την Αλάσκα. Οι αποστολές θα γινότουσαν σε δεξαμενές που είχαν σχεδιαστεί από την "Worms and Co., Paris, France". Αυτός ο σχεδιασμός έγινε αργότερα γνωστός ως "Gaz Transport design". Αρχικά, τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ είχαν οραματιστεί να έχουν χωρητικότητα 34.000 κυβικών μέτρων, αλλά τελικά κατασκευάζονται πλοία 71.500 κυβικών μέτρων, το "Artic Tokyo" και το "Polar Alaska".

Η Høegh κατασκεύασε το πρώτο πλοίο μεταφοράς LNG στον κόσμο, με σφαιρικές δεξαμενές (Moss spherical cargo containment system), το 1973. Το "Norman Lady" παραδόθηκε το Νοέμβριο του 1973, από το ναυπηγείο Rosenberg στη Νορβηγία. Η Νορβηγικός όμιλος Leif Høegh & Co διαδραμάτισε ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη αυτού του συστήματος.<sup>8</sup>



Εικόνα 1.3:2 "Norman Lady" (Πηγή: Shipspotting.com)

Η πρώτη παράδοση πλοίου μεταφοράς LNG από την μεγάλη κατασκευαστική εταιρία Hyundai, έγινε στις αρχές του 1990, η οποία είχε αποκτήσει διαδοχικά και σχετικά γρήγορα κατασκευαστική ικανότητα για σκάφη μέχρι 138,000 κυβικά μέτρα, καθιστώντας το ναυπηγείο της, το πρώτο στον κόσμο που διατίθεται για την κατασκευή τόσο Moss-type όσο και Membrane-type LNG carriers, λαμβάνοντας συνεχώς αυξανόμενες παραγγελίες για πλοία μεγάλης χωρητικότητας. Οι παραγγελίες αυτές περιλαμβάνουν τα νέα Membrane-type LNG carriers τα οποία έχουν 280m μήκος, 43m πλάτος και 26m κοίλο. Αποτελούνται από τέσσερις ανεξάρτητες δεξαμενές φορτίου, με μόνωση από πάνελ πολυουρεθάνης, και αποτελούσαν τα μεγαλύτερα του είδους για την εποχή εκείνη. Από την πρώτη παράδοση των πλοίων μεταφοράς LNG πίσω στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ανταποκρινόμενη στην αυξανόμενη ζήτηση, η οποία απαιτεί καθαρές πηγές ενέργειας, η Hyundai έχει διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην κατασκευή των LNG carriers.

Το 1999, η κατασκευαστική εταιρία Samsung Heavy Ind. (SHI) κατασκευάζει με επιτυχία το μεγαλύτερο Membrane-type LNG carrier στον κόσμο. Ελαφρύτερο και πιο γρήγορο από τα υπάρχοντα πλοία LNG, είχε μια τιμή που ισοδυναμούσε με 10 φορτηγά πλοία (\$ 220 εκ.). Οι κύριες διαστάσεις του συγκεκριμένου πλοίου ήταν 278.8m μήκος, 42.6m πλάτος και 26m κοίλο. Μπορούσε να μεταφέρει 138,378 κυβικά μέτρα ΥΦΑ. Ζύγιζε 13% λιγότερο από το πρότυπο μεμβρανικού τύπου. Έχουν καταφέρει να μειώσουν το πάχος της μόνωσης της δεξαμενής του φορτίου στα 250 mm από τα 530 mm, με εξελιγμένες τεχνολογικές μεθόδους. Η SHI χρησιμοποιεί Κορεάτικα ανοξείδωτα υλικά που είναι πιο ανθεκτικά από το κράμα νικελίου-χάλυβα και ελαχιστοποιεί τις περιοχές συγκόλλησης προκειμένου να μειωθεί το κόστος λειτουργίας και κατασκευής.

Στις 2 Οκτώβρη 2003, το "Energy Frontier", ένα πλοίο μεταφοράς LNG το οποίο ανήκει στην "Tokyo Gas" μετέφερε περίπου 67,000 τόνους LNG στο Τόκιο από τη Μαλαισία. Το πλοίο αυτό είναι Moss-type carrier, με τέσσερις σφαιρικές δεξαμενές. Σχεδιάστηκε με τις ίδιες κύριες διαστάσεις ενός συμβατικού πλοίου μεταφοράς LNG, αλλά με 10,000 κυβικά μέτρα μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου, η οποία συνολικά έφτανε τα 145,000 m<sup>3</sup>, ήταν το μεγαλύτερο τότε LNG carrier στον κόσμο. Η χωρητικότητα του σε LNG, ισοδυναμεί με βάρος περίπου 67,000 τόνων, και όταν αυτή η ποσότητα αεριοποιηθεί εκ νέου παράγει περίπου 87 εκ. m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Αυτό είναι ισοδύναμο με την ποσότητα του αερίου που χρησιμοποιείται από 200,000 νοικοκυριά κάθε χρόνο.

Αρχικά, κυριάρχησαν οι ατμοστρόβιλοι ως μέσο πρόωσης για τα πλοία μεταφοράς LNG, με εμφανή την αξιοπιστία τους και την ευκολία με την οποία μπορούν να κάψουν το εξαμιζόμενο αέριο (boil-off gas) από τις δεξαμενές φορτίου ενώ το πλοίο είναι εν πλω. Ωστόσο, η χαμηλή αποδοτικότητα των καυσίμων των ατμοστρόβιλων ενθάρρυνε την στροφή σε κινητήρες ντίζελ. Ως αποτέλεσμα τόσο της αύξησης της αποδοτικότητας των καυσίμων όσο και της αύξησης της χωρητικότητας σε φορτίο, τα

πλοία μεταφοράς LNG με κινητήρες διπλής καύσης (dual-fuel engines) θα παραδίδουν τελικά περισσότερο φυσικό αέριο στον τερματικό σταθμό, ακόμη και όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε όλο το ταξίδι. Αυτός ο τύπος του κινητήρα υπόσχεται μεγάλα οφέλη για τις επιχειρήσεις ΥΦΑ, συμπεριλαμβανομένων και της μεγαλύτερης χωρητικότητας φορτίου, χαμηλότερης κατανάλωσης καυσίμου, μεγαλύτερης ευελιξίας στη λειτουργία και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων.

Η παραγγελία, το φθινόπωρο του 2003, για ένα LNG carrier 153,000 m<sup>3</sup> από την Gaz de France στο Chantiers de l'Atlantique έκανε πραγματικότητα το προαναφερθέν. Το πλοίο, που ήταν για παράδοση το 2005, θα ήταν εφοδιασμένο με κινητήρα διπλής καύσης και ηλεκτρική πρόωση. Το σύστημα θα αποτελείτο από τέσσερις κινητήρες διπλής καύσης (τρεις 12-κύλινδροι και ένας 6-κύλινδρος Wärtsilä 50DF), δίνοντας μια συνδυασμένη απόδοση 39,9 MW. Το πλοίο αυτό ήταν το μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς LNG εν υπηρεσία.

Η "Mitsubishi Heavy Industries" στο Ναγκασάκι στην Ιαπωνία, καθώς και στην Κορέα η "Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering", η "Samsung Shipbuilding" και η "Hyundai Heavy Industries" έχουν επικεντρωθεί στην κατασκευή των πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ με μεμβρανικού τύπου δεξαμενές φορτίου. Άλλοι κατασκευαστές στην Ασία με κατασκευαστική ικανότητα τέτοιων πλοίων είναι η "Kawasaki Heavy Industries" και η "Mitsui Shipbuilding".

Τα νέα δεδομένα και οι ανάγκες της αγοράς οδήγησαν σε ναυπηγήσεις μεγαλύτερων πλοίων. Η Qatargas υπήρξε πρωτοπόρος στην ανάπτυξη δύο νέων κατηγοριών LNG Carriers. Το Q-Flex και το Q-Max με χωρητικότητα φορτίου 210,000 και 266,000 κυβικά μέτρα αντίστοιχα.

Αυτά τα νέα πλοία έχουν πολλά καινοτόμα χαρακτηριστικά για να μεγιστοποιήσουν τις παραδόσεις εμπορευμάτων και να διασφαλιστούν τα υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας, μερικά από τα οποία περιλαμβάνουν:

- Διπλούς Κινητήρες και άξονες για να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια της πρόωσης και της αξιοπιστίας, και διπλά πηδάλια για να εξασφαλιστεί ευελιξία και η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας.
- Κινητήρες ντίζελ με 30% χαμηλότερες συνολικές εκπομπές σε σύγκριση με παραδοσιακά υπάρχοντα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ.
- Μονάδες υγροποίησης θα επιστρέφουν τα εξατμιζόμενα αέρια στις δεξαμενές φορτίου και, ως εκ τούτου μεγιστοποιείται η παράδοση του φορτίου στο λιμένα εκφόρτωσης.

Τα πλοία αυτά κατασκευάζονται σε ναυπηγεία της Νότιας Κορέας. Στην "Hyundai Heavy Industries" (HHI), στην "Samsung Heavy Industries" (SHI) και στην "Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering" (DSME).<sup>9</sup>

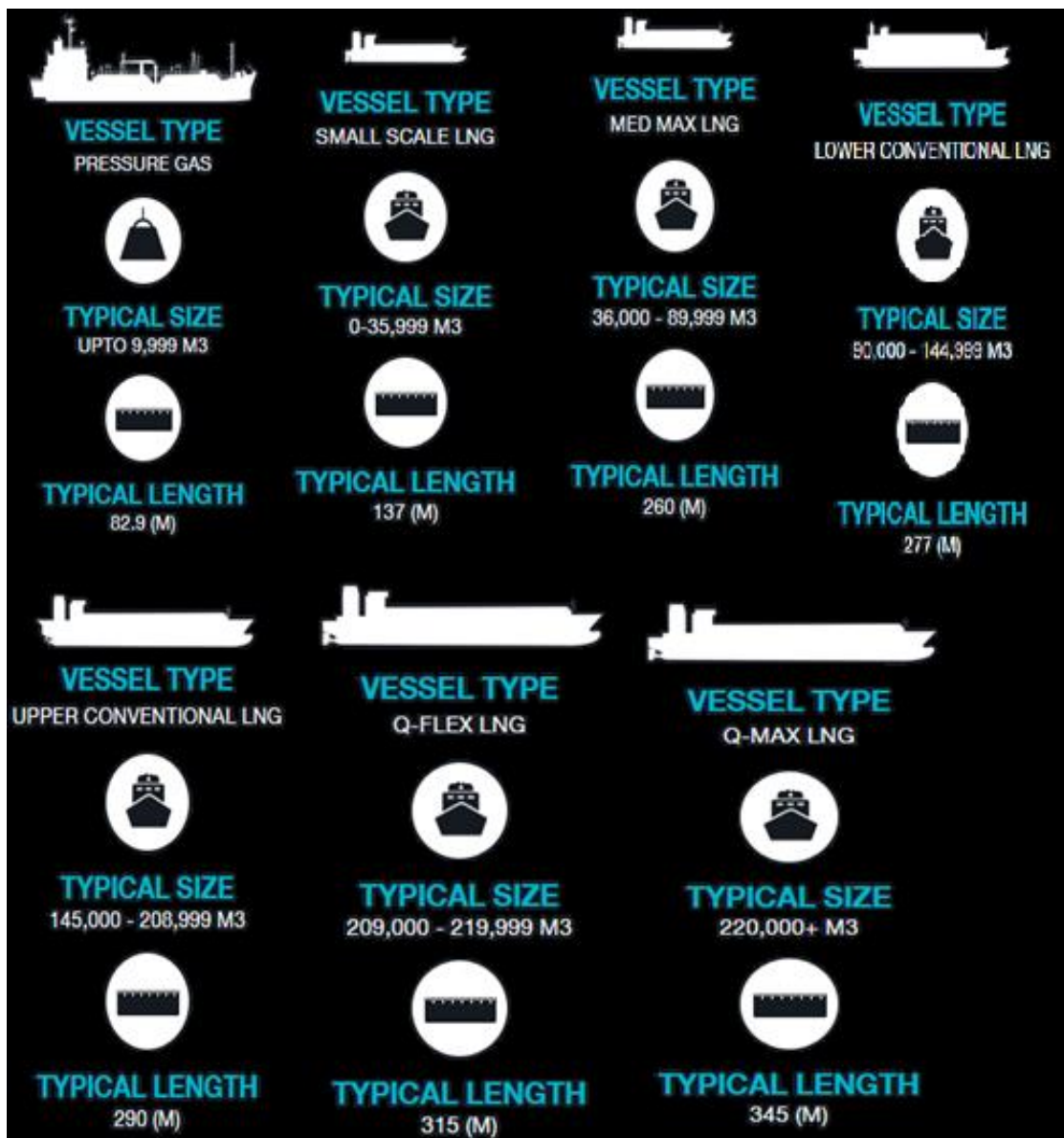




Εικόνα 1.3:3 A Q-Flex and three Q-Max LNG Carriers at SHI shipyard on Geoje (Πηγή: Qatargas)



Εικόνα 1.3:4 Σύγκριση Conventional με Q-Flex LNG Carrier (Πηγή: Qatargas)



Εικόνα 1.3:5 Τύποι πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ (LNG Carriers) (Πηγή: Clarksons)

#### 1.4 Κανονισμοί σχετικά με τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ<sup>10</sup>

Ο κώδικας IGC<sup>1</sup> προβλέπει ένα σύνολο απαιτήσεων ασφαλείας που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια. Ορισμένα από τα περιεχόμενα αυτού του κώδικα θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Ο κώδικας IGC καθορίζει την ικανότητα επιβίωσης του πλοίου και τη θέση των δεξαμενών φορτίου. Ανάλογα με τον τύπο του φορτίου, ορίζεται η ελάχιστη απόσταση των δεξαμενών του φορτίου από το εξωτερικό περίβλημα του πλοίου, για την αποφυγή διαρροής του φορτίου σε περίπτωση επαφής, σύγκρουσης ή προσάραξης. Έτσι, καθορίζονται 4 διαφορετικές προδιαγραφές πλοίων σύμφωνα με τον Πίνακα 1.4:1. Τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ, απαιτείται να είναι τύπου 2G και να έχουν διπλά τοιχώματα και πυθμένα.

<sup>1</sup>IGC: International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk

Categories of ship standards according to the IGC Code			
Ship Type	Intended cargo	Location of cargo tanks – minimal distance inboard	
		From the side shell plating	From the bottom shell plating
3G	A type 3G ship is a gas carrier intended to carry products which require moderate preventive measures to preclude the escape of such cargo.	Nowhere less than 0.76 meters.	B/15 or 2 meters from the moulded line at centreline and nowhere less than 0.76 meters
2PG	A type 2PG ship is a gas carrier $\leq 150$ meters in length intended to transport products which require significant preventive measures to preclude the escape of such cargo, and where the products are carried in independent type C tanks.	Nowhere less than 0.76 meters.	B/15 or 2 meters from the moulded line at centreline and nowhere less than 0.76 meters
2G	A type 2G ship is a gas carrier intended to transport products which require significant preventive measures to preclude escape of such cargo.	Nowhere less than 0.76 meters.	B/15 or 2 meters from the moulded line at centreline and nowhere less than 0.76 meters
1G	A type 1G ship is a gas carrier intended to transport products which require maximum preventive measures to preclude escape of such cargo.	B/5 or 11.5 meters, and nowhere less than 0.76 meters.	B/15 or 2 meters from the moulded line at centerline and nowhere less than 0.76 meters

Πίνακας 1.4:1 Κατηγορίες σύμφωνα με τον IGC

Ο Κώδικας IGC, απαιτεί απομόνωση των δεξαμενών φορτίου και των συστημάτων σωληνώσεων από άλλους χώρους του πλοίου, όπως τους χώρους μηχανοστασίου, τους χώρους ενδιαίτησεως και τους σταθμούς ελέγχου (control stations), και καθορίζει τα πρότυπα για τον εν λόγω διαχωρισμό. Επιπλέον, καθορίζει τα πρότυπα για τα δωμάτια ελέγχου φορτίου και για τα δωμάτια αντλιοστασίων, καθώς και κανόνες για την πρόσβαση στους χώρους φορτίου. Υπάρχουν επίσης απαιτήσεις για τα συστήματα ανίχνευσης διαρροών και για τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Υπάρχουν σύμφωνα με τον κώδικα διάφοροι τύποι δεξαμενών φορτίου για τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ. (Παράγραφος. 1.5)

Ειδικός εξοπλισμός ασφαλείας απαιτείται από τον εν λόγω κώδικα, για τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ. Στον εξοπλισμό περιλαμβάνονται συστήματα εντοπισμού θέσης, ανίχνευσης ταχύτητας προσέγγισης από άλλα πλοία, σύστημα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης (ESD<sup>i</sup>), σύστημα απασφάλισης έκτακτης ανάγκης (ERS<sup>ii</sup>). Επιπλέον, υπάρχουν συστήματα ανίχνευσης ατμού και φωτιάς, συστήματα πυρόσβεσης (ξηρή χημική σκόνη) και συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας. Τέλος, ο κώδικας περιέχει απαιτήσεις που σχετίζονται με την λειτουργία του πλοίου, π.χ. καθορίζει τα όρια φόρτωσης των δεξαμενών, τη χρήση του εξατμιζόμενου φορτίου ως καύσιμο, καθώς και απαιτήσεις για την επιθεώρηση και την πιστοποίηση.

Εκτός από τους κανονισμούς, κώδικες, συστάσεις σχετικά με τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ που εκδόθηκαν από τον IMO, υπάρχει μια σειρά από άλλες διεθνείς συστάσεις και κατευθυντήριες γραμμές για τα εν λόγω πλοία, π.χ. πρότυπα που εκδίδονται από τον SIGTTO<sup>iii</sup>. Αναμφίβολα, αυτό το εκτεταμένο

<sup>i</sup> ESD: Emergency Shutdown Systems

<sup>ii</sup> ERS: Emergency Release System

<sup>iii</sup> SIGTTO: The Society of International Gas Tanker & Terminal Operators

σύνολο κανόνων και κατευθυντήριων γραμμών συμβάλλει στο υψηλό επίπεδο ασφάλειας των πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ.

## 1.5 Συστήματα Δεξαμενών

Σύμφωνα με τον IMO<sup>i</sup> τα συστήματα των δεξαμενών για τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Τις αυτόνομες δεξαμενές (Independent Tanks) και τις δεξαμενές μεμβρανικού τύπου (Integrated Tanks). Τις αυτόνομες δεξαμενές, αποτελούν 3 υποκατηγορίες, οι οποίες είναι, οι δεξαμενές τύπου Α, τύπου Β και τύπου C. Στις επόμενες παραγράφους, θα γίνει ανάλυση για την κάθε κατηγορία και τις υποκατηγορίες της.

Κατά τη διάρκεια της ιστορίας των LNG Carriers, υπήρξαν πολλές προσπάθειες, νέα σχέδια και ιδέες για τον τρόπο και το σχεδιασμό της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αλλά κατά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, έχουν επικρατήσει δύο κύριοι τύποι πλοίων μεταφοράς LNG. Αυτά που έχουν μεμβρανικού τύπου δεξαμενές και αυτά που έχουν σφαιρικές (Moss-type) δεξαμενές. Από τα δυο τελευταία υπάρχει μια τάση προτίμησης για τα συστήματα μεμβρανικού τύπου λόγω της καλύτερης εκμετάλλευσης του χώρου της γάστρας και λόγω του χώρου που προσφέρουν στο κατάστρωμα. Επίσης τα συστήματα αυτά είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή τους και πιο οικονομικά σχετικά με τα δόδια διέλευσης από το κανάλι του Σουέζ σε σύγκριση με τα Moss-type.

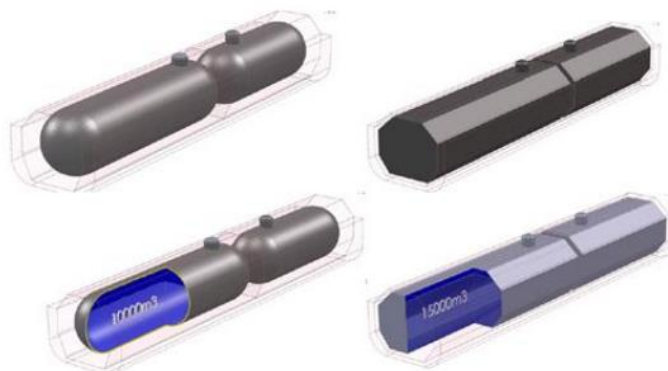
### 1.5.1 Δεξαμενές Τύπου "Α"<sup>11</sup>

Οι δεξαμενές αυτού του τύπου είναι πρισματικές και υποστηρίζονται σε μπλοκ μόνωσης που φέρουν συνήθως ξύλινες βάσεις-σφήνες. Λόγω του ότι η δεξαμενή είναι αυτό-στηριζόμενη απαιτεί εσωτερική ενίσχυση. Φέρει επίσης, anti-roll τάκους (chocks) που βρίσκονται στην κορυφή, στον κενό χώρο της δεξαμενής και anti-floating chocks που βρίσκονται μέσα στον κενό χώρο συνήθως λίγο πάνω από το διπύθμενο. Οι δεξαμενές χωρίζονται συνήθως από μια κεντρική διαμήκη φρακτή. Λόγω της φρακτής αυτής και σε συνδυασμό με τη διαμόρφωση του ανωτέρου τμήματος της δεξαμενής, οι ελεύθερες επιφάνειες στις δεξαμενές μειώνονται και επομένως δεν έχουμε μεγάλες φορτίσεις λόγω του φαινομένου "sloshing". Σε αυτό το σύστημα ο κενός χώρος που υπάρχει ανάμεσα στην δεξαμενή και στο εσωτερικό της γάστρας του πλοίου είναι συνήθως γεμάτο με αδρανές αέριο ή άζωτο. Το υλικό για αυτές τις δεξαμενές φορτίου πρέπει να είναι είτε 9% νικέλιο – χάλυβας, είτε αλουμίνιο. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια, σε πιθανή περίπτωση διαρροής της δεξαμενής φορτίου, απαιτείται ένα δευτερεύον φράγμα. Αυτό το δευτερεύον φράγμα είναι γνωστό ως "secondary barrier" και είναι χαρακτηριστικό όλων των πλοίων τύπου "Α". Ο κώδικας IGC προβλέπει ότι ένα δευτερεύον φράγμα πρέπει να είναι σε θέση να συγκρατήσει την διαρροή της δεξαμενής για μια περίοδο 15 ημερών. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση για το σύστημα αυτό είναι 0.7 bar. Αυτό σημαίνει ότι το φορτίο πρέπει να είναι σε πλήρη ψύξη, σε ατμοσφαιρική πίεση (συνήθως κάτω 0.25 bar).

Δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή κάποιο LNG Carrier με αυτό τον τύπο συστήματος. Όμως, υπάρχουν κάποια έργα από εταιρίες, όπως η Torgy, που είναι υπό ανάπτυξη.<sup>12</sup>

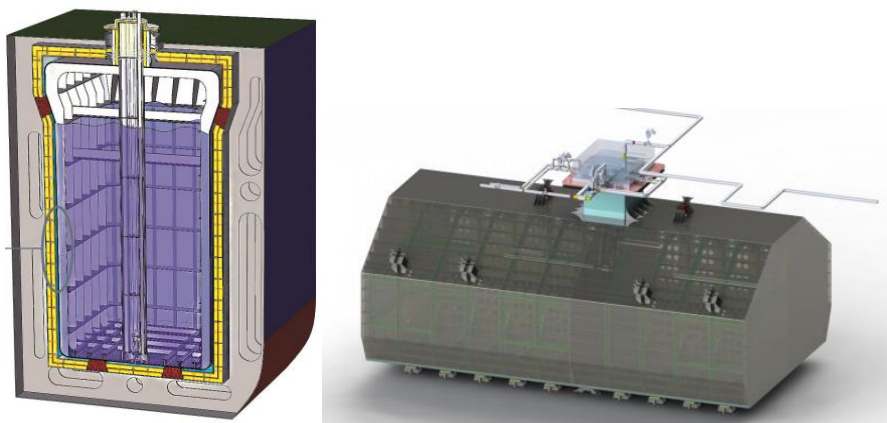
Η "Torgy" υποστηρίζει ότι με το συγκεκριμένο σύστημα μπορείς να κερδίσεις έως και 30% περισσότερο χώρο σε σχέση με ένα Type C. (Εικόνα 1.5:1)

<sup>i</sup> IMO: International Maritime Organization



Εικόνα 1.5:1 Σύγκριση Type A - Type C (Πηγή: Torgy)

Η δεξαμενή αποτελείται από ένα περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα, που υποστηρίζεται εντός της γάστρας του πλοίου από στηρίγματα ανοξείδωτου χάλυβα. Τα εσωτερικά τοιχώματα του χώρου μονώνονται με πάνελ μόνωσης υψηλής θερμικής απόδοσης. Επίσης το "secondary barrier" σχηματίζει πλήρη επιφάνεια γύρω από την δεξαμενή, έτσι ώστε να εμποδίσει τυχόν διαρροή προς τη μεταλλική κατασκευή του πλοίου. (Εικόνα 1.5:2)



Εικόνα 1.5:2 Type "A" Projects from "Torgy" (Πηγή: Torgy)

## 1.5.2 Δεξαμενές Τύπου "B"

### 1.5.2.1 Σφαιρικές δεξαμενές (Kvaerner-Moss System)

Το πρώτο LNG carrier με σφαιρικές δεξαμενές, ήταν το "Norman Lady" (87,600m<sup>3</sup>). Προτού κατασκευαστεί το συγκεκριμένο πλοίο, πέρασε μια σειρά δοκιμών, αναλύσεων και μελετών. Οι μελέτες περιλάμβαναν:<sup>13</sup>

- Δυναμικές φορτίσεις του πλοίου κατά τη διάρκεια της πλεύσης του με ειδική αναφορά σε καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις
- Ειδική αναφορά έγινε επίσης και στο "equatorial ring", το οποίο παραλαμβάνει τα μεγαλύτερα φορτία αφού η σφαιρική δεξαμενή στηρίζεται σε αυτόν το δακτύλιο
- Θερμικές καταπονήσεις της κατασκευής με ειδική ανάλυση του "equatorial ring"
- Ανάλυση της δεξαμενής αποθήκευσης και της μόνωσης της.
- "Κόπωση" των δεξαμενών φορτίου / υλικά τα οποία έχουν σχεδιαστεί για 9% νικέλιο-χάλυβα.

Αν και τα πρώτα LNG carriers είχαν δεξαμενές αποθήκευσης από 9% νικέλιο-χάλυβα, η τεχνολογία αντικαταστάθηκε γρήγορα από τις δεξαμενές αλουμινίου. Οι δεξαμενές αποθήκευσης Αλουμινίου αποδείχθηκαν να είναι περισσότερο ανθεκτικές σε μηχανική καταπόνηση και ήταν πιο εύκολο να επεξεργαστούν για να αποκτήσουν την συγκεκριμένη μορφή.

Το κύριο χαρακτηριστικό των σφαιρικών δεξαμενών είναι το "equatorial ring", στο οποίο στηρίζεται η δεξαμενή μέσω μιας μεγάλης κυκλικής διάταξης που μεταβιβάζει το βάρος της δεξαμενής στην κατασκευή του πλοίου. Οι μεγαλύτερες μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις είναι ακριβώς στο σημείο αυτό. Αυτό το τμήμα της δομής του πλοίου πρέπει να είναι σε θέση να απορροφήσει, αφενός, τις παραμορφώσεις της γάστρας του πλοίου, και αφετέρου τις θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις της δεξαμενής. Έτσι, αυτή η διάταξη επιτρέπει στην δεξαμενή να διαστέλλεται ή να συστέλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά την διάρκεια τέτοιας διεργασίας, η δεξαμενή μπορεί να διασταλεί ή να συσταλεί κατά περίπου 60cm. Γι' αυτό το λόγο, όλες οι σωληνώσεις που καταλήγουν στην δεξαμενή προέρχονται από την πάνω πλευρά της και συνδέονται στην κεντρική γραμμή μέσω ελαστικών διατάξεων

Στο εσωτερικό κάθε δεξαμενής, υπάρχουν μια σειρά από κεφαλές ψεκασμού. Αυτές οι κεφαλές εφαρμόζονται γύρω από τον δακτύλιο και χρησιμοποιούνται για τον ψεκασμό του LNG στα τοιχώματα της δεξαμενής, ώστε να "πέσει" η θερμοκρασία. Η διάρκεια της ψύξης είναι περίπου 36 ώρες, οπότε η ψύξη των δεξαμενών γίνεται πριν την άφιξη στο λιμάνι και κατά αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος.

Αυτές οι δεξαμενές έχουν μόνωση, η οποία περιορίζει το φαινόμενο της εξάτμισης του φορτίου ("boil-off") στο 0,10% V/day.. Η μόνωση αποτελείται από πολλά διαφορετικά στρώματα, με υλικά να είναι συνήθως υαλοβάμβακας, αλουμίνιο και διάφορα αφρώδη υλικά. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται η δεξαμενή είναι συνήθως αδρανής. Όπως και για τον τύπο "A", η μέγιστη κατασκευαστική πίεση είναι 0.7 bar. Οι δεξαμενές όμως έχουν συνήθως πίεση γύρω στα 0.22 bar.<sup>14</sup>

Λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού των δεξαμενών δεν απαιτείται πλήρες "secondary barrier". Αντί αυτού, εκμεταλλευόμενοι την σφαιρική μορφή της δεξαμενής, χρησιμοποιείται μια διάταξη στο κάτω μέρος της δεξαμενής που συλλέγει τυχόν διαρροή υγρού φορτίου (Drip tray). (Εικόνα 1.5:3)<sup>15</sup>



Εικόνα 1.5:3 Moss-type tank / drip tray

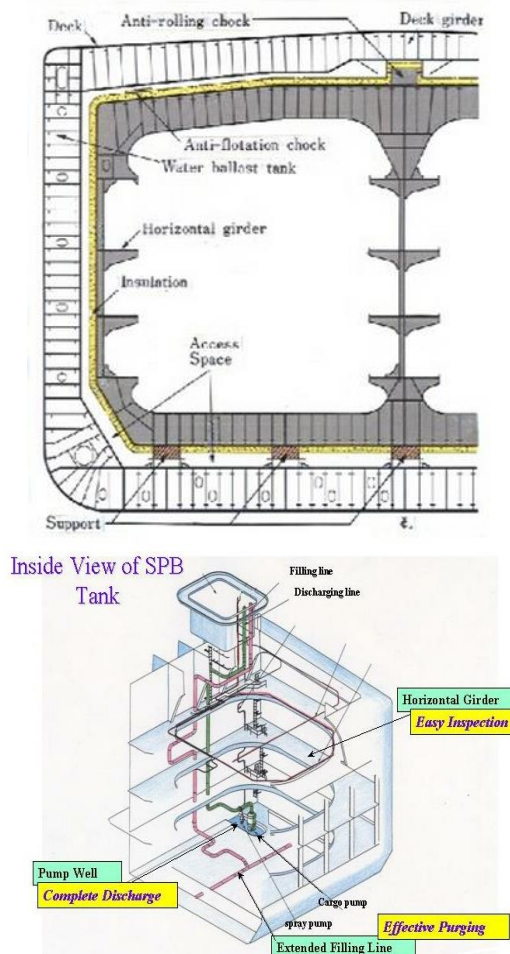
Μέχρι το 2000, το 54% του συνόλου των πλοίων μεταφοράς LNG ήταν Moss-type, κυρίως επειδή ιαπωνικά ναυπηγεία είχαν άδεια για την κατασκευή μόνο αυτού του τύπου πλοίων.

### 1.5.2.2 Πρισματικές δεξαμενές (IHI SPB)<sup>16</sup>

Η "Ishikawajima-Harima Heavy Industries", IHI, έχει αναπτύξει το σύστημα "SPB". Μόνο δύο σκάφη έχουν επί του παρόντος το σύστημα αυτό. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν αναφέρθηκαν προβλήματα μέχρι στιγμής.

Αποτελείται από ενισχυμένα ελάσματα κράματος αλουμινίου ή 9% Νικέλιο - χάλυβα και καλύπτονται από μονωτικό αφρό πολουρεθάνης (PUF). Η όλη κατασκευή υποστηρίζεται σε τάκους από ειδικά ενισχυμένο κόντρα πλακέ (plywood). Η δεξαμενή υποδιαιρείται από μια κεντρική διαμήκη φρακτή και 4 οριζόντια διαχωριστικά τοιχώματα παφλασμού (swash bulkheads - horizontal girders). Έτσι, στο εσωτερικό της δεξαμενής το υγρό φορτίο ακολουθεί τις κινήσεις του πλοίου, εξαλείφοντας κάθε πιθανότητα συντονισμού. Ως εκ τούτου, δεν αναπτύσσονται φορτία λόγω φαινομένου "sloshing" και επομένως κάθε κατάσταση φόρτωσης είναι δυνατή. Αυτό κάνει την SPB κατάλληλη για FPSO, FSRU κ.λπ. όπου οι δεξαμενές είναι σχεδόν πάντα μισογεμάτες.

Τα διάφορα στοιχεία στο εσωτερικό της δεξαμενής είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να είναι εργονομικά. Η αντλία που χρησιμοποιείται για την εκφόρτωση του υγρού φορτίου λόγω της θέσης της εξασφαλίζει την πλήρη εκκένωση του φορτίου αν αυτό είναι απαραίτητο. Από την άλλη, η γραμμή πλήρωσης είναι διατεταγμένη έτσι ώστε η φόρτωση να είναι αποτελεσματική. Τα οριζόντια "girders" χρησιμοποιούνται ως πλατφόρμα για την επιθεώρηση. (Εικόνα 1.5:4) Η συγκεκριμένη εταιρία υποστηρίζει ότι στον δεξαμενισμό, η επιθεώρηση των δεξαμενών πραγματοποιείται σε μισή μέρα.

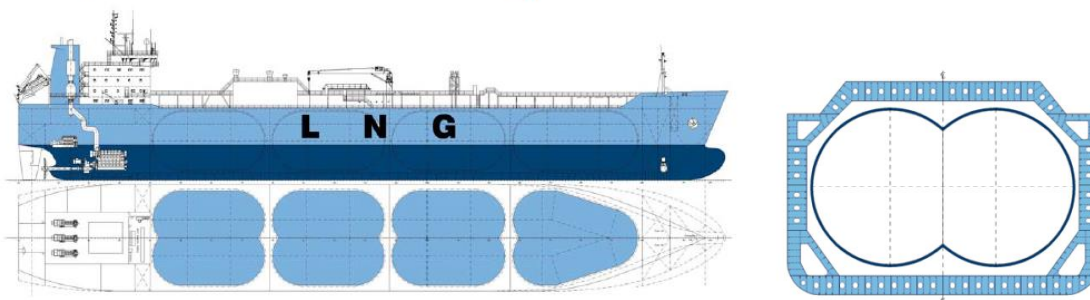


Εικόνα 1.5:4 Εσωτερικό της δεξαμενής SPB (Πηγή: IHI)

### 1.5.3 Δεξαμενές Τύπου "C"<sup>17</sup>

Ο τύπος αυτής της δεξαμενής συναντάται συνήθως σε μικρό-μεσαίου μεγέθους πλοία. Οι δεξαμενές βρίσκονται υπό συνδυασμένη πίεση και ψύξη και μπορούν να τοποθετηθούν επάνω, κάτω ή εν μέρει κάτω από το κατάστρωμα. Δεξαμενές τύπου "λοβού" (Εικόνα 1.5:5) χρησιμοποιούνται συνήθως στο πρωραίο τμήμα του πλοίου, για να γίνει καλή εκμετάλλευση του χώρου, λόγω της μορφής της γάστρας στο μέρος αυτό.

#### 30,000 m<sup>3</sup> LNG Carrier with IMO Type C Tanks



Εικόνα 1.5:5 LNG Carrier with IMO Bilobe Type C Tanks (Πηγή: TGE)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα LNG carriers με κυλινδρικές δεξαμενές, τύπου C, είναι το "Coral Energy" και "Coral Methane" (semi-pressurized ships) (Εικόνα 1.5:6), τα οποία είναι μικρής χωρητικότητας. Τα πλοία αυτά έχουν ευέλικτα και βελτιωμένα λειτουργικά συστήματα διαχείρισης του φορτίου. Συνήθως, για πλοία μεταφοράς LNG από 30.000 m<sup>3</sup> και πάνω χρησιμοποιούνται "bilobe" δεξαμενές φορτίου.

Αυτή τη στιγμή, δύο LNG carriers των 30.000 m<sup>3</sup> και 28.000 m<sup>3</sup> αντίστοιχα, είναι υπό κατασκευή σε ναυπηγεία της Κίνας με βάση αυτή την τεχνολογία.

Επίσης, μικρό-μεσαίες πλωτές μονάδες αποθήκευσης ΥΦΑ (FSRU/FPSO)<sup>1</sup> φέρουν σύστημα δεξαμενής τύπου C. Τυπικές μονάδες με αυτό το σύστημα είναι της εταιρίας "TGE Marine Gas Engineering" όπως φαίνονται στην Εικόνα 1.5:7. Τα πλεονεκτήματα αυτών των μονάδων ποικίλουν και μερικά από αυτά είναι:

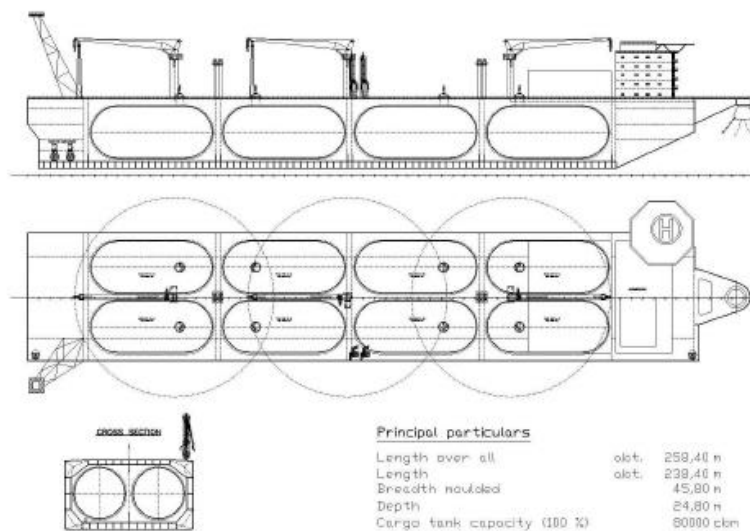
- Προσιτές για μεσαίου μεγέθους Ενεργειακά κέντρα
- Κατασκευαστική πίεση περίπου 4 bar
- Δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα σχετικά με φορτία λόγω sloshing
- Δεν απαιτούν "secondary barrier"
- Μπορούν να κατασκευαστούν σε εργαστήρια έξω από το ναυπηγείο, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς και τον χρόνο κατασκευής



Εικόνα 1.5:6 "CORAL METHANE" & "CORAL ENERGY" with Type C Tanks

<sup>1</sup>FPSO: Floating Production Storage and Offloading, FSRU: Floating Storage and Regasification Unit





Εικόνα 1.5:7 Floating Unit with Type C Tanks (Πηγή:TGE)

#### 1.5.4 Δεξαμενές μεμβρανικού τύπου (GTT technology)<sup>18</sup>

Τα Membrane-type LNG Carriers αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960. Οι δεξαμενές αυτού του τύπου είναι ενσωματωμένες στη γάστρα του πλοίου και δεν είναι ανεξάρτητες όπως οι προηγούμενες που έχουν περιγραφεί. Τα συστήματα της τεχνολογίας αυτής έχουν τα χαρακτηριστικά ενός "σάντουιτς" υλικού. Η μέγιστη κατασκευαστική τους πίεση είναι περίπου 0.7 bar.

Η Τεχνολογία GTT αντιπροσωπεύει δύο συστήματα Membrane-type για τα LNG Carriers και πρόσφατα, μετά την ένωση της Gaz Transport και της Tehnigaz το 1994, προέκυψε ένα τρίτο σύστημα.

Τα δυο βασικά συστήματα της τεχνολογίας GTT είναι το Mark III και το No. 96. Το τρίτο είναι ένας συνδυασμός των δυο προηγούμενων, και ονομάζεται CSI (Combine System One).

##### 1.5.4.1 No. 96 System - (Gaz Transport System)

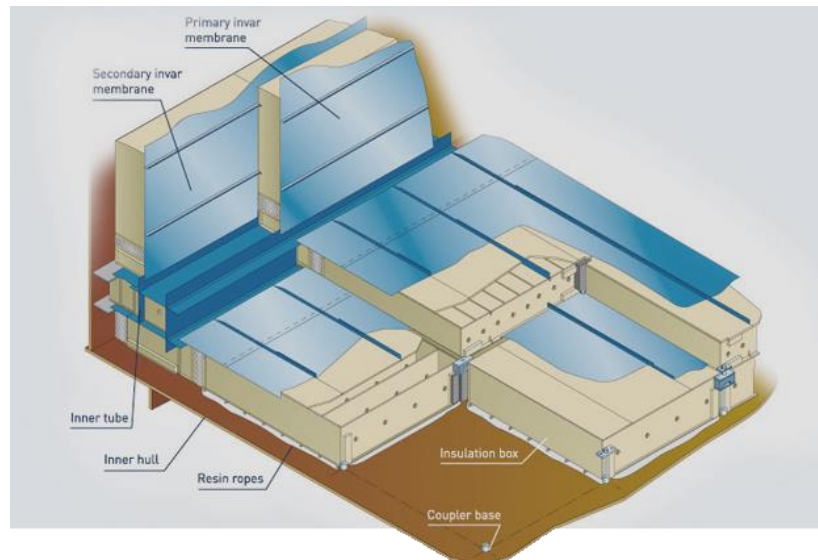
###### **Primary & Secondary Invar Membranes**

Η κύρια (primary) και η δευτερεύουσα (secondary) μεμβράνη είναι ίσου πάχους σε αυτό το σύστημα και είναι κατασκευασμένες από υλικό INVAR. Κάθε μεμβράνη είναι μόνο 0,7 χιλιοστά πάχος. Το Invar είναι ένα κράμα που περιέχει 36% νικέλιο και χάλυβα. Η κύρια μεμβράνη είναι σε επαφή με το φορτίο ενώ η δευτερεύουσα εξασφαλίζει 100% στεγανότητα σε περίπτωση διαρροής της πρώτης. Το Invar κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος των τοιχωμάτων της δεξαμενής και υποστηρίζεται από τα κύρια και δευτερογενή στρώματα μόνωσης (Primary & Secondary Thermal Insulation). Το τυπικό μέγεθος των φύλλων είναι 3m x 1m.

###### **Primary & Secondary Thermal Insulation**

Τα στρώματα της μόνωσης αποτελούνται από προκατασκευασμένα πάνελ (plywood), σε διαστασιοποιημένα κουτιά τα οποία γεμίζονται με διογκωμένο περλίτη. Ο περλίτης προέρχεται από επεξεργασία ηφαιστειακών πετρωμάτων και έχει καλά χαρακτηριστικά μόνωσης που δεν αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Το τυπικό μέγεθος των κουτιών είναι 1m x 1.2m. Το πάχος του κύριου στρώματος είναι από 170 χιλιοστά έως 250 χιλιοστά, ανάλογα με τον βαθμό του boil-off που

απαιτείται. Το τυπικό πάχος του δευτερεύοντος στρώματος είναι 300 mm. Το κύριο και το δευτερεύον στρώμα στερεώνονται με τη βοήθεια ζευκτών (Couplers). Η σύζευξη του δευτερεύοντος στρώματος μόνωσης με την εσωτερική πλευρά της γάστρας επιτυγχάνεται με την έγχυση ρητίνης ανάμεσα στα δυο. Ο σκοπός της ρητίνης είναι διπλός αφού εξασφαλίζει και ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων στη γάστρα του πλοίου.



Εικόνα 1.5:8 GTT No. 96 System(Πηγή:GTT)



Εικόνα 1.5:9 Εσωτερικό δεξαμενής GTT No. 96 (Πηγή:GTT)

#### 1.5.4.2 Mark III System - (Technigaz System)

##### **Primary Stainless Steel**

Η κύρια μεμβράνη είναι κατασκευασμένη από κυματοειδές ανοξείδωτο χάλυβα 304 L, πάχους 1,2 mm. Είναι σε επαφή με το φορτίο και υποστηρίζεται από το σύστημα μόνωσης. Το τυπικό μέγεθος των φύλλων αυτής της μεμβράνης είναι 3m x 1m.

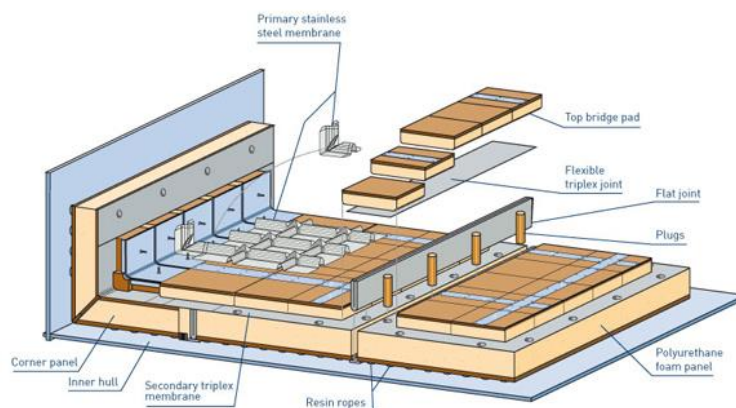
##### **Secondary Triplex**

Η δευτερεύουσα μεμβράνη είναι ένα σύνθετο υλικό το οποίο αποτελείται από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου μεταξύ δύο στρώσεων υαλοβάμβακα και ρητίνης. Είναι τοποθετημένο ενδιάμεσα στα δυο στρώματα μόνωσης.

### Insulation

Ως μονωτικό υλικό για τα πλοία αυτά είναι ο αφρός πολυουρεθάνης, ο οποίος είναι ενισχυμένος με ίνες γυαλιού. Το τυπικό μέγεθος των προκατασκευασμένων πάνελ είναι 3 m x 1 m. Το πάχος της μόνωσης είναι από 250 χιλιοστά έως 350 χιλιοστά, ανάλογα με τον βαθμό του boil-off που απαιτείται. Όπως και στο σύστημα No. 96, η σύζευξη του στρώματος της μόνωσης με την εσωτερική πλευρά του κύτους επιτυγχάνεται με την έγχυση ρητίνης ανάμεσα στα δυο.

Και στα δυο πιο πάνω συστήματα μεμβράνης το Boil-off Rate (B.O.R.) στο 0,15% V/day είναι εγγυημένο, αν και στην πραγματικότητα η ποσότητα του είναι πολύ μικρότερη.

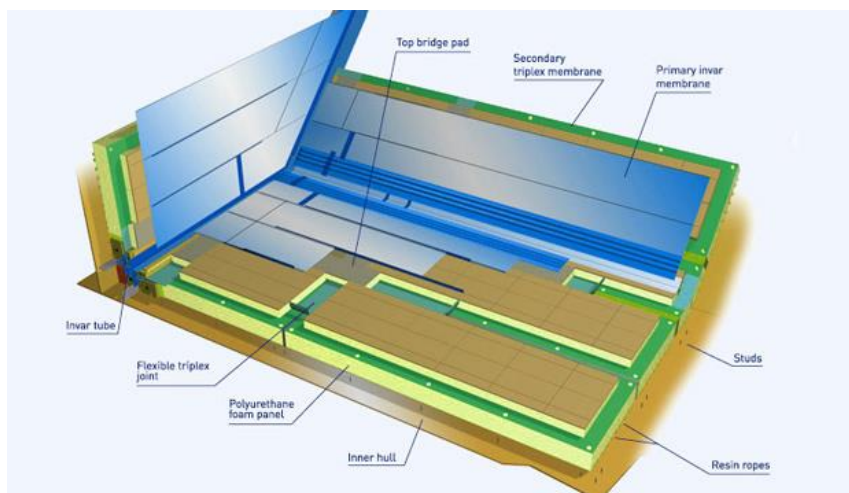


Εικόνα 1.5:10 GTT Mark III System (Πηγή: GTT)

#### 1.5.4.3 CS1 System (Combined System One)

Το σύστημα αυτό έχει συγχωνώσει τα καλύτερα υλικά από τα συστήματα Mark III και No. 96. Η κύρια μεμβράνη, η οποία είναι σε επαφή με το φορτίο, είναι κατασκευασμένη από Invar, με πάχος 0,7 χιλιοστά, ενώ η δευτερεύουσα αποτελείται από Triplex. Από την άλλη, η κύρια και δευτερεύουσα μόνωση αποτελούνται από πάνελ αφρού πολυουρεθάνης.

Τρία πλοία, από ένα ναυπηγείο, έχουν κατασκευαστεί με την τεχνολογία CS1. Τα υπόλοιπα ναυπηγεία έχουν αποφασίσει να διατηρήσουν την παραγωγή του Mark III και No. 96.



Εικόνα 1.5:11 GTT CS1 System (Πηγή: GTT)

#### 1.5.4.4 Παραλλαγές συστημάτων No. 96 και Mark III

Για βελτίωση του boil-off rate (BOR) η GTT έχει δημιουργήσει κάποιες παραλλαγές των συστημάτων No. 96 και Mark III. Τα συστήματα αυτά είναι:

- Το No. 96 GW, το οποίο είναι παραλλαγή του No. 96, και στη θέση του περλίτη τοποθετείται υαλοβάμβακας (Glass-wool). Το σύστημα αυτό υπόσχεται B.O.R. 0.125%-0.13% V/day.
- Το No. 96 L03, το οποίο είναι επίσης παραλλαγή του No. 96. Χρησιμοποιείται επίσης υαλοβάμβακας αλλά και πολυουρεθάνη (PUF), με υποσχόμενο B.O.R. μεταξύ 0.105% και 0.11% V/day.
- Το Mark III Flex, το οποίο αποτελεί παραλλαγή του Mark III. Στο σύστημα αυτό η πυκνότητα του PUF είναι αυξημένη με στόχο να φτάσει ένα B.O.R. 0.1% V/day.

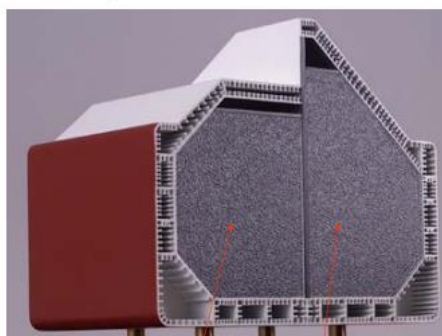
Στα πιο πάνω συστήματα μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις, σχετικά με υλικά και τις διαστάσεις, από τον πλοιοκτήτη και το ναυπηγείο με στόχο καλύτερο B.O.R.

#### 1.5.5 Άλλες σχεδιάσεις

##### 1.5.5.1 Prism/Pyramid Tanks<sup>19</sup>

Η "ConocoPhillips Marine" πήρε έγκριση από τον ABS<sup>i</sup> για τον σχεδιασμό των συγκεκριμένων δεξαμενών. Το βασικό χαρακτηριστικό της δεξαμενής πυραμίδας είναι το γεγονός ότι μειώνει τις ελεύθερες επιφάνειες. Η μείωση των ελεύθερων επιφανειών που προκύπτει είναι σημαντική, διότι, η πίεση λόγω της κίνησης του κρουγονικού υγρού φορτίου στο εσωτερικό των δεξαμενών είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες κατά το σχεδιασμό των συστημάτων δεξαμενών για πλοία μεταφοράς LNG (sloshing loads). Ακόμα, η μείωση των ελεύθερων επιφανειών μειώνει και το boil-off.

Επίσης, χάρη στη μορφή των δεξαμενών αυτών αυξάνεται η χωρητικότητα του φορτίου κατά περίπου 12% σε σχέση με ένα συμβατικό μεμβρανικού τύπου LNG Carrier.

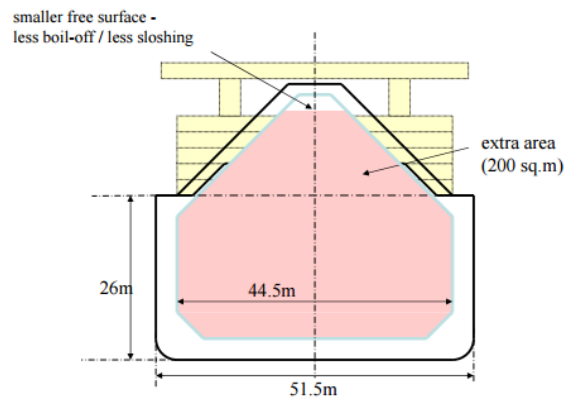


Existing Membrane Tank Design

Pyramid Tank Design

Εικόνα 1.5:12 Σύγκριση "Συμβατικής Μεμβρανικής δεξαμενής" με "Pyramid" Δεξαμενή

<sup>i</sup> ABS: American Bureau of Shipping



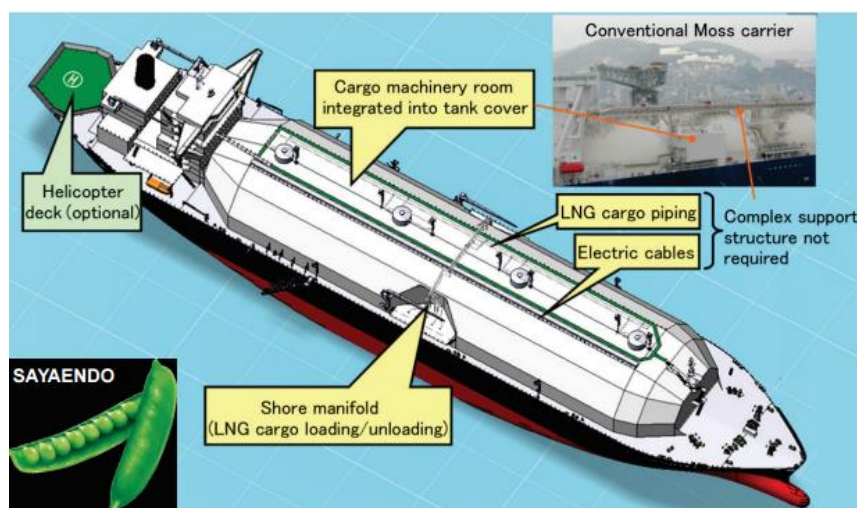
Εικόνα 1.5:13 Pyramid Tank

### 1.5.5.2 Spherical Tank with a Continuous Integrated Tank Cover - "SAYAENDO"<sup>20</sup>

Η ΜΗΙ παρέδωσε ένα LNGC 155,000m<sup>3</sup> και το ονόμασε "SAYAENDO", που στα ιαπωνικά σημαίνει μπιζέλι, και προέρχεται από την χαρακτηριστική εμφάνιση του σκάφους, ένα ενιαίο κέλυφος που περιβάλλει τις σφαιρικές δεξαμενές που εξέχουν από το κύριο κατάστρωμα.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της σχεδίασης είναι:

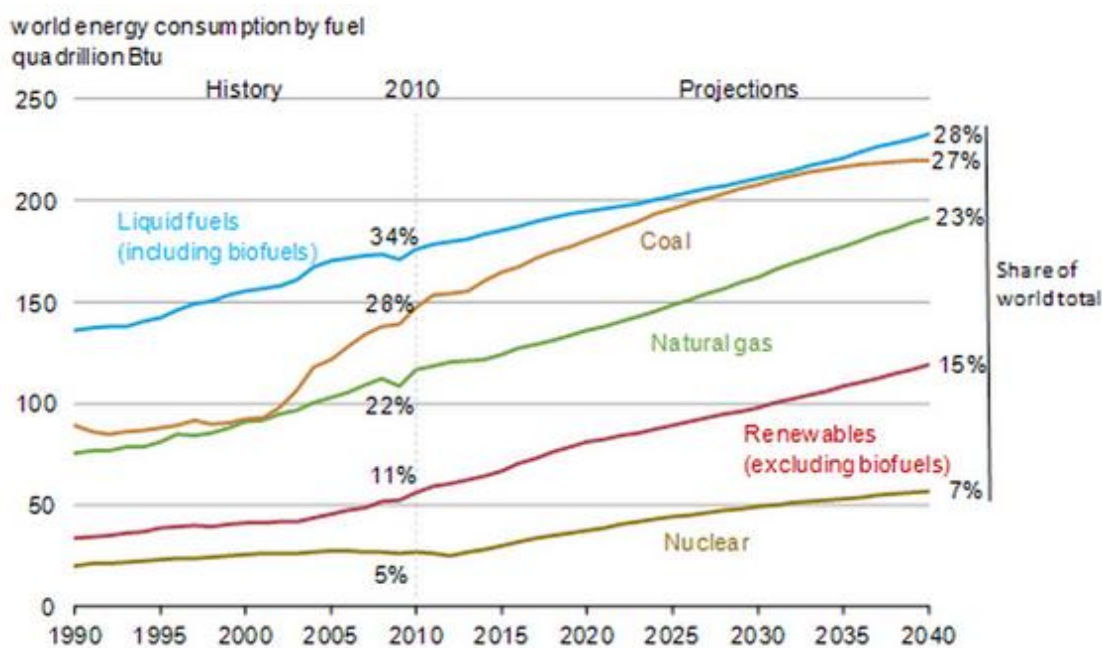
- Καλύτερη αεροδυναμική → Μικρότερη αντίσταση ανέμου → Χαμηλότερη κατανάλωση
- Αύξηση της χωρητικότητας κατά 8000m<sup>3</sup> για το ίδιο πλάτος αφού στις δεξαμενές φορτίου προστέθηκε κατακόρυφα κυλινδρικός τομέας στο κέντρο τους
- Μείωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής, αφού το κέλυφος συνεισφέρει στην αντοχή του πλοίου
- Μείωση της συντήρησης στους χώρους κάτω από το κέλυφος
- Καλύτερη συντήρηση και διαρρύθμιση των διατάξεων που στηρίζουν τις σωληνώσεις, τους διαδρόμους, τα ηλεκτρικά καλώδια κ.λπ. στο πάνω μέρος των δεξαμενών φορτίων.



Εικόνα 1.5:14 "SAYAENDO" (Πηγή: Ship-Technology)

## 1.6 Αγορά LNG

Λαμβάνοντας υπόψη την ευκολία χρήσης και τη φιλικότητα του προς το περιβάλλον, το Φυσικό Αέριο γίνεται γρήγορα μία από τις πιο ελκυστικές πηγές ενέργειας στον κόσμο. Σύμφωνα με την έκθεση από την EIA<sup>i</sup> (The International Energy Outlook 2013), η συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο αναμένεται να αυξηθεί κατά 67%, από περίπου 115 tcf<sup>ii</sup> το 2010 σε 193 tcf το 2040. Παρόλο που η παγκόσμια οικονομική ύφεση επιβράδυνε τη ζήτηση κατά το 2009, η οικονομία φαίνεται να ανάκαμψε γρήγορα. Η κατανάλωση φυσικού αερίου, που παρουσιάζεται από την EIA, αναμένεται να έχει 1% αύξηση στο παγκόσμιο μερίδιο το 2040. Το Διάγραμμα 1:1, δείχνει τις προοπτικές για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας για κάθε καύσιμο. Μείωση παρατηρείται στα άλλα ορυκτά καύσιμα και αύξηση σε ανανεώσιμες και πυρηνικές πηγές ενέργειας.<sup>21 22</sup>



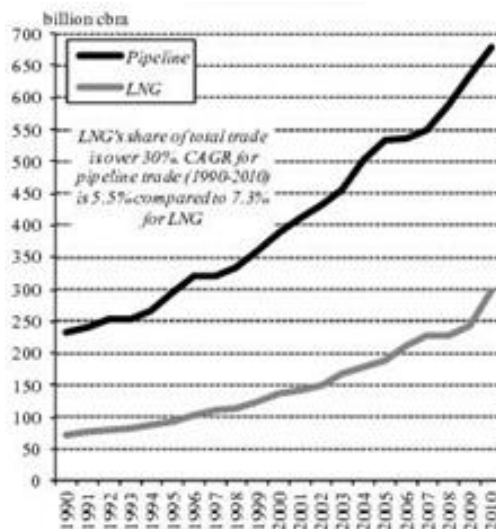
Διάγραμμα 1:1 Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά τύπο καυσίμου, 1990-2040, Quadrillion BTU<sup>iii</sup> (Πηγή: EIA, International Outlook 2013)

Τα πιο κάτω διαγράμματα δείχνουν τον ρυθμό ανάπτυξης του εμπορίου και της ζήτησης του ΥΦΑ. Είναι προφανές ότι το εμπόριο και η ζήτηση ΥΦΑ αναπτύσσεται με πιο γρήγορους ρυθμούς έναντι των άλλων και κερδίζει συνεχώς έδαφος στην παγκόσμια αγορά.

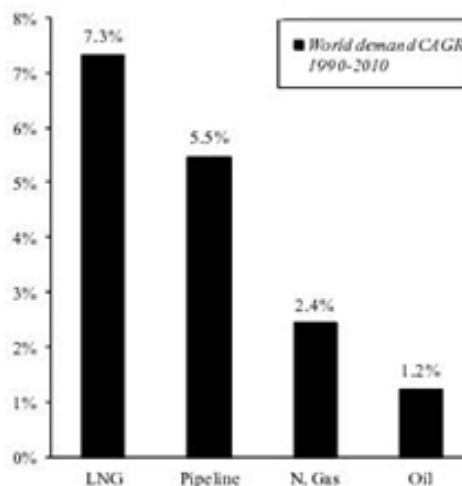
<sup>i</sup> EIA: Energy Information Administration

<sup>ii</sup> tcf: Trillion cubic feet

<sup>iii</sup> Quadrillion BTU (British Thermal Unit): energy measure for entire economies



Διάγραμμα 1:2 Εμπόριο Φ.Α (Πηγή: Clarksons 2012)



Διάγραμμα 1:3 Ρυθμός ανάπτυξης Ενεργειακής ζήτησης ανά πηγή καυσίμου (Πηγή: Clarksons 2012)

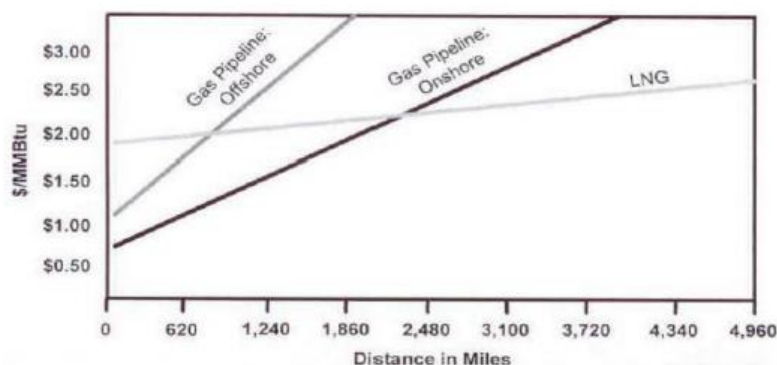
Σήμερα, η μεταφορά του φυσικού αερίου γίνεται κυρίως μέσω αγωγών και πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ. Οι περισσότεροι ειδικοί δείχνουν ότι η ναυτιλία είναι πιο ανταγωνιστική σε περιπτώσεις όπου η μεταφορά με αγωγούς, δεν είναι εφικτή, λόγω γεωγραφικών περιορισμών ή λόγω μεγάλων αποστάσεων μεταξύ των σχετιζόμενων σταθμών.

### 1.6.1 Πλεονεκτήματα μεταφοράς ΥΦΑ με πλοίο συγκριτικά με την μεταφορά ΦΑ με αγωγούς<sup>22</sup>

Οι παραγωγοί φυσικού αερίου πρέπει να εξετάσουν ποια μέθοδο μεταφοράς θα χρησιμοποιήσουν για την παράδοση του προϊόντος στις αγορές. Με την Ναυτιλία ή με αγωγούς (LNG shipping or through pipelines). Για αυτή την επιλογή υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά στο κόστος ανάλογα με την απόσταση, από την παραγωγή στην αγορά. Έρευνα από την ENI<sup>i</sup> δείχνει ότι ένα "LNG project", κατά μήκος της αλυσίδας, από την παραγωγή στην αγορά, έχει μεν υψηλό όριο κόστους, αλλά η απόσταση του από την αγορά δεν είναι τόσο κρίσιμη παράμετρος όσο είναι στην περίπτωση της μεταφοράς του προϊόντος με αγωγό. Το κόστος ενός αγωγού φυσικού αερίου είναι ισχυρά εξαρτημένο

<sup>i</sup> ENI: "Ente Nazionale Idrocarburi" An Italian multinational oil and gas company

με την απόσταση. Το Διάγραμμα 1:4 αποδεικνύει ότι η ναυτιλία (LNG) είναι πιο ανταγωνιστική από τους αγωγούς σε μεγάλες αποστάσεις.



Διάγραμμα 1:4 Σύγκριση κόστους μεταφοράς με αγωγούς και μεταφοράς με πλοία ΥΦΑ (Πηγή: ENI)

Ωστόσο, το κόστος δεν είναι ο μόνος καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή μεταξύ των αγωγών και της ναυτιλίας. Οι αγωγοί μπορεί να χρειαστεί να διασχίσουν πολλές χώρες, ενώ το εμπόριο δια θαλάσσης περιλαμβάνει συνήθως μια διαδρομή από το λιμάνι φόρτωσης στο λιμάνι εκφόρτωσης (end-to-end route). Στην περίπτωση της ναυτιλίας η απουσία διαπραγματεύσεων διέλευσης και συνθηκών (και ενδεχομένως υψηλό κόστος διέλευσης) απλοποιεί τα διαδικαστικά και η ανάπτυξη του έργου είναι ταχύτερη. Σημαντικό παράγοντα, αποτελούν και τα θέματα "Ασφάλειας", τα οποία έχουν πολλές πτυχές. Για ένα εκτεταμένο σύστημα αγωγών που διέρχεται από πολλές χώρες το θέμα της ασφάλειας είναι προφανές, αφού οι αγωγοί είναι "εκτεθειμένοι". Από την άλλη, το "LNG shipping" δεν διατρέχει τόσο μεγάλο κίνδυνο, όσο αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα. Ακόμα, σχετικά με την ασφάλεια, το "LNG shipping" έχει πολύ καλό ιστορικό και ακόμα η επίδραση ενός θαλάσσιου ατυχήματος στη θάλασσα δεν θα ήταν καταστροφική και θα είχε μόνο περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Μία άλλη πτυχή της "ασφάλειας", είναι η ευελιξία που προσφέρει το "LNG shipping" σε προμηθευτές και εισαγωγείς. Συγκεκριμένα, εάν μια αγορά δεν μπορεί να παραλάβει ένα φορτίο, το πλοίο μπορεί να απευθυνθεί σε άλλη αγορά. Ακόμη, εάν ένας προμηθευτής αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα, το φορτίο μπορεί να διοχετευθεί στην αγορά από έναν άλλο προμηθευτή. Επιπλέον, η ευελιξία αυτή ενθαρρύνει επίσης τους πωλητές φυσικού αερίου να κάνουν "αρμπιτράζ" εμπορίου εκμεταλλευόμενοι μια διαφορά τιμών μεταξύ των αγορών για να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους. Ως εκ τούτου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η ευελιξία που προσφέρει το εμπόριο ΥΦΑ και οι ευκαιρίες "αρμπιτράζ" είναι μεταξύ των μεγαλύτερων πλεονεκτημάτων του "LNG shipping" έναντι των αγωγών.

## 1.6.2 Κόστη

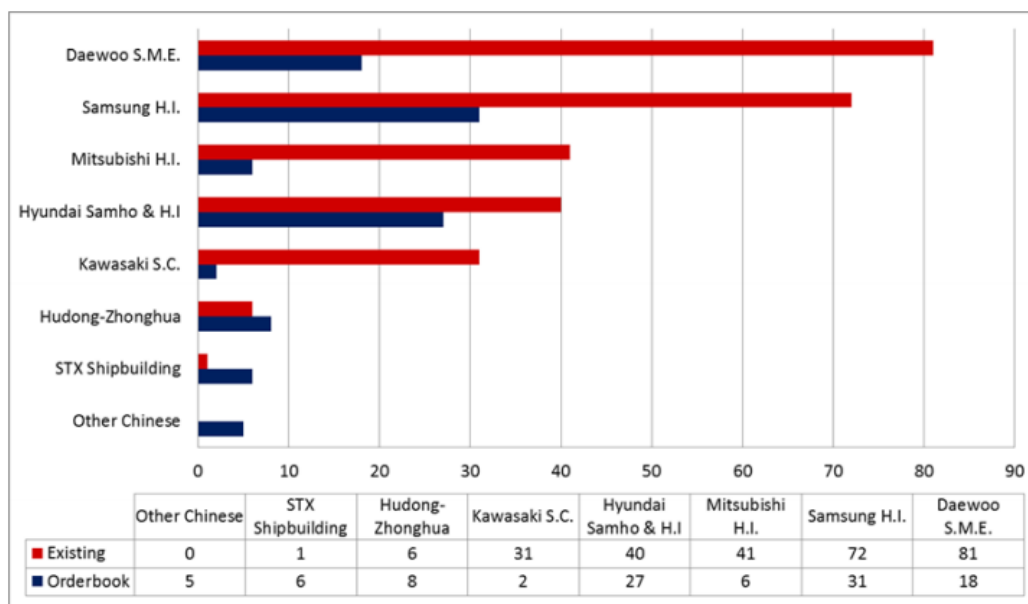
Η βιομηχανία ΥΦΑ αναπτυσσόταν με αργούς ρυθμούς κατά το δεύτερο ήμισυ του περασμένου αιώνα. Αυτό οφειλόταν κυρίως στο ότι οι περισσότεροι σταθμοί επεξεργασίας ΦΑ βρίσκονταν σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν εξυπηρετούνταν από τους αγωγούς, και το γεγονός ότι το κόστος της επεξεργασίας και της μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου ήταν μεγάλο, δεν ευνόησε τις τότε συνθήκες.



Η κατασκευή ενός σταθμού επεξεργασίας ΦΑ κοστίζει 1,5 δις. δολάρια τουλάχιστον ανά 1 mmptr<sup>i</sup>, ενός τερματικού σταθμού 1 δις. δολάρια ανά 1 bcf/d<sup>ii</sup> και ενός πλοίου μεταφοράς LNG περίπου 200 εκ. δολάρια.

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι τιμές για την κατασκευή σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου, τερματικών σταθμών και πλοίων μειώθηκαν, αφού εμφανίστηκαν νέες τεχνολογίες και περισσότεροι επένδυσαν στο LNG.<sup>23</sup>

Η βασική τιμή για ένα 125,000 m<sup>3</sup> LNG carrier, κατασκευασμένο σε ευρωπαϊκά και ιαπωνικά ναυπηγεία ήταν 250 εκ. δολάρια. Όταν τα κορεατικά και τα κινεζικά ναυπηγεία εισήλθαν στην αγορά, ο αυξημένος ανταγωνισμός μείωσε τα περιθώρια κέρδους και το κόστος για το συγκεκριμένο πλοίο μειώθηκε στο 60%. Περεταίρω μείωση σημειώθηκε λόγω της υποτίμησης των νομισμάτων των μεγαλύτερων ναυπηγείων του κόσμου: το Ιαπωνικό "γιεν" και το "γουνόν" της Κορέας. Στο Διάγραμμα 1:5.**Error! Reference source not found.** φαίνονται τα διάφορα ναυπηγεία που κατασκευάζουν LNG Carriers.<sup>22 23</sup>



Διάγραμμα 1:5 LNG Carriers delivered and orderbook by yard (Πηγή: Clarksons 2013)

Επιπλέον, με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου (από 138,000 m<sup>3</sup> σε 260,000 m<sup>3</sup>) και τις τεχνολογικές εξελίξεις στα συστήματα πρόωσης, το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς έχει μειωθεί σημαντικά. Από την άλλη, τα τελευταία χρόνια, η μείωση αυτή έρχεται αντιμέτωπη με το αυξημένο κόστος των υλικών.

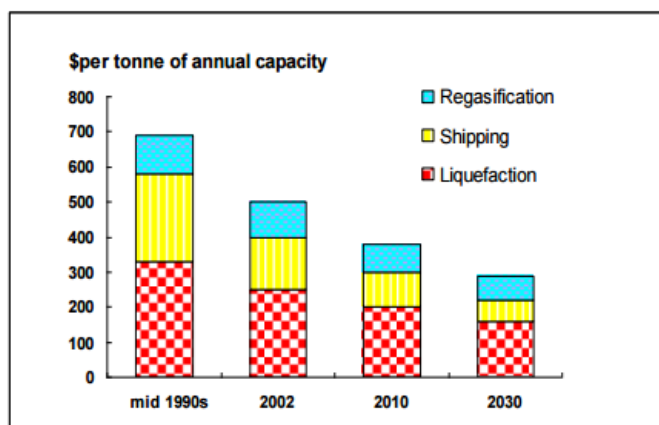
Η παραγωγή φυσικού αερίου, όπως διαπιστώνεται, είναι μια δραστηριότητα έντασης κεφαλαίου που απαιτεί μεγάλες επενδύσεις. Ωστόσο, το ποσό της επένδυσης ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν την αλυσίδα ΥΦΑ. Συνήθως η παραγωγή φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας του φυσικού αερίου και των συνεργαζόμενων αγωγών αποτελεί το 15 - 20% του συνολικού κόστους της αλυσίδας LNG. Η μονάδα υγροποίησης αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα του κόστους στην αλυσίδα (30 - 45%). Η μεταφορά του ΥΦΑ αποτελεί το 10 - 30% του συνολικού κόστους και τελευταίο μέρος της αλυσίδας, που είναι ο τερματικός σταθμός (αποθήκευση, αεριοποίηση και διανομή) αποτελεί το 15 - 25% του συνολικού κόστους.<sup>22</sup>

<sup>i</sup> mmptra: Million metric tonne per annum

<sup>ii</sup> Bcf/d: Billion cubic feet per day

### 1.6.2.1 Επιπτώσεις της τεχνολογίας για μείωση του κόστους

Τα έργα (projects) που αφορούν το υγροποιημένο φυσικό αέριο, όπως ειπώθηκε, είναι υψηλής εντάσεως κεφαλαίου, αφού τα περισσότερα από αυτά κοστίζουν πολλά δισεκατομμύρια δολάρια. Ωστόσο, οι οικονομίες κλίμακας είναι σημαντικές. Η μείωση του κόστους ανά μονάδα υγροποίησης δεν επιτυγχάνεται μόνο με την αύξηση του μεγέθους του τρένου παραγωγής που την αποτελεί (από 3,5 mmtpa στο 2005 σε 7,8 mmtpa Έργα στο Κατάρ- στο 2010), αλλά και με τη δημιουργία νέων τρένων παραγωγής. Προσθέτοντας ένα δεύτερο τρένο η μονάδα μπορεί να μειώσει το μοναδιαίο της κόστος μέχρι και 20-30%. Ωστόσο, η τεχνολογική πρόοδος κατά τη διάρκεια των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών οδήγησε σε απότομη μείωση του κόστους των επενδύσεων και του κόστους λειτουργίας των εγκαταστάσεων υγροποίησης. Το μέσο κόστος ανά μονάδα για ένα εργοστάσιο υγροποίησης μειώθηκε από \$350 ptoac<sup>i</sup> στα μέσα της δεκαετίας του 1990 σε περίπου \$200 το 2010 (Διάγραμμα 1:6).



Διάγραμμα 1:6 Μείωση κόστους σε νέα έργα ΥΦΑ (LNG projects) (Πηγή: IEA<sup>ii</sup>)

Το κόστος μεταφοράς είναι σε μεγάλο βαθμό συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των σταθμών υγροποίησης και των τερματικών σταθμών. Χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων LNG Carriers προσφέρεται προφανώς μεγαλύτερη ευελιξία και μειώνονται οι απαιτήσεις αποθήκευσης, αλλά αυξάνεται το μοναδιαίο κόστος αποστολής. Τα μεγαλύτερα LNG Carriers σήμερα, έχουν μέγιστη χωρητικότητα 220,000 - 266,000 m<sup>3</sup>.

Το κόστος των τερματικών σταθμών εξαρτάται από την τοποθεσία (κόστος εργατικών, κόστος γης, κτλ), και την χωρητικότητα αποθήκευσης. Δεξαμενές με χωρητικότητα περίπου 480,000 m<sup>3</sup> είναι σήμερα το βέλτιστο μέγεθος.<sup>22 24</sup>

### 1.6.3 Χώρες Εισαγωγής και Εξαγωγής<sup>25 26</sup>

Οι χώρες που εισάγουν LNG μπορούν να χωριστούν σε δύο αγορές: τη λεκάνη του Ατλαντικού και τη λεκάνη του Ειρηνικού. Η λεκάνη του Ειρηνικού περιλαμβάνει τις χώρες κατά μήκος του Ειρηνικού και τη Νότια Ασία (συμπεριλαμβανομένης της Ινδίας). Η λεκάνη του Ατλαντικού καλύπτει την Ευρώπη, τη Βόρεια και τη Δυτική Αφρική και τις ακτές του Ατλαντικού της Αμερικανικής ηπείρου.

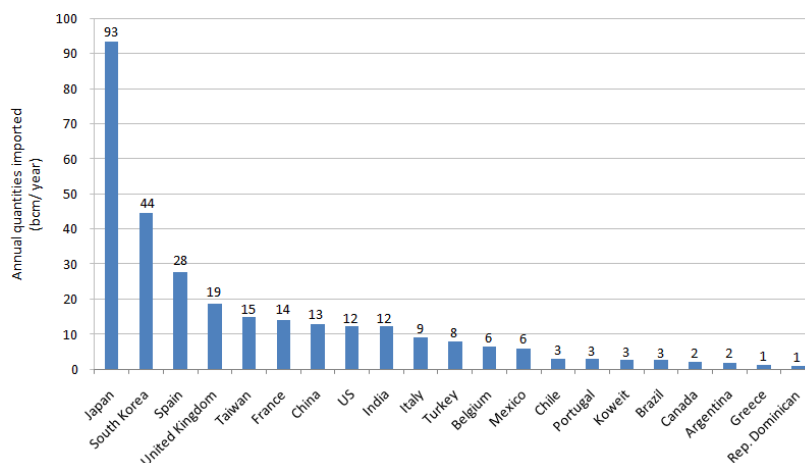
Η Ιαπωνία, με 26 τερματικούς σταθμούς, παραμένει ο μεγαλύτερος εισαγωγέας υγροποιημένου φυσικού αερίου στον κόσμο. Η Ιαπωνία (93 bcm) μαζί με τη Νότια Κορέα (44 bcm<sup>iii</sup>) και

<sup>i</sup> Ptoac: Per tonne of annual capacity

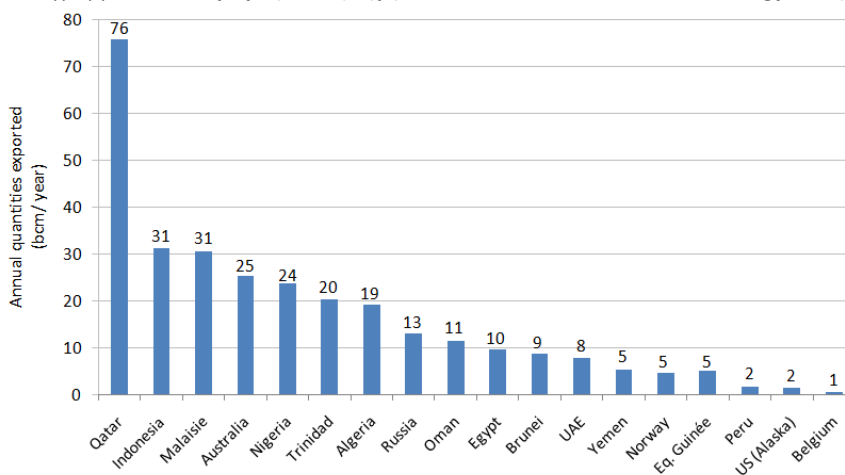
<sup>ii</sup> IEA: International Energy Agency

<sup>iii</sup> Billion cubic meters

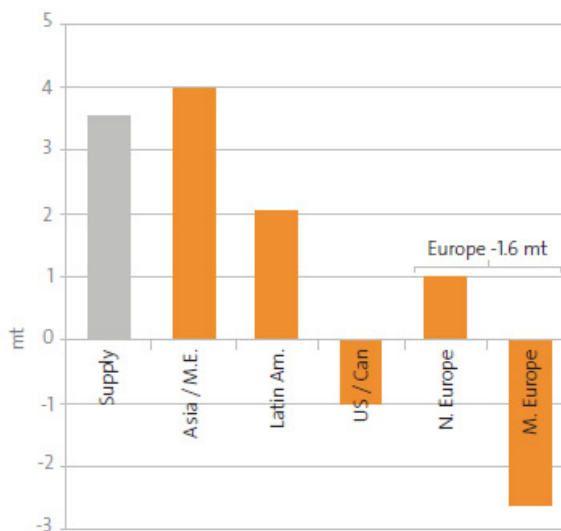
τη Ταϊβάν (15 bcm), αντιπροσώπευαν το 51% των παγκόσμιων εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου για το 2010. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια στη Κίνα και στην Ινδία αναπτύσσονται υποδομές για εισαγωγή ΥΦΑ. Στην Ευρώπη ο όγκος των εισαγωγών ΥΦΑ αυξάνεται με αργούς ρυθμούς διότι το σύστημα χερσαίων αγωγών ΦΑ είναι υπό ανάπτυξη και ολοένα μεγαλώνει η τροφοδότηση της Ευρώπης μέσω αγωγών. Από την άλλη, η Βόρεια Αμερική βιώνει μια μείωση των εισαγωγών της από το 2007 καθώς οι ΗΠΑ έχουν αυξήσει σημαντικά τη δική της παραγωγή κατά τα τελευταία χρόνια, μέσα από την εξερεύνηση του μη συμβατικού φυσικού αερίου (σχιστολιθικού φυσικού αερίου). (βλ. Διάγραμμα 1:9) Οι κύριοι παραγωγοί και εξαγωγείς ΥΦΑ βρίσκονται επίσης στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού, συμπεριλαμβανομένης της Ινδονησίας, της Μαλαισίας, της Αυστραλίας και το Μπρουνέι. Ωστόσο, τα τελευταία δέκα χρόνια ο συνολικός όγκος των εξαγωγών από την περιοχή αυτή παρέμεινε σχετικά σταθερός. Η Ινδονησία και η Μαλαισία χάνουν σταδιακά τη θέση τους, λόγω της μείωσης των κοιτασμάτων τους, και δίνουν χώρο σε νέους ανταγωνιστές. Εν τω μεταξύ, οι χώρες της Μέσης Ανατολής, όπως το Κατάρ, το Ομάν και τα ΗΑΕ γίνονται όλο και πιο ανταγωνιστικές. Η Αφρική (Νιγηρία, Αλγερία και Αίγυπτος) και η Αμερική (Τρινιντάντ και Τομπάγκο) έχουν επίσης επεκτείνει τις ικανότητες των εξαγωγών τους κατά τα τελευταία χρόνια.



Διάγραμμα 1:7 Εισαγωγείς ΥΦΑ (Πηγή: BP Statistical Review of World Energy 2010)



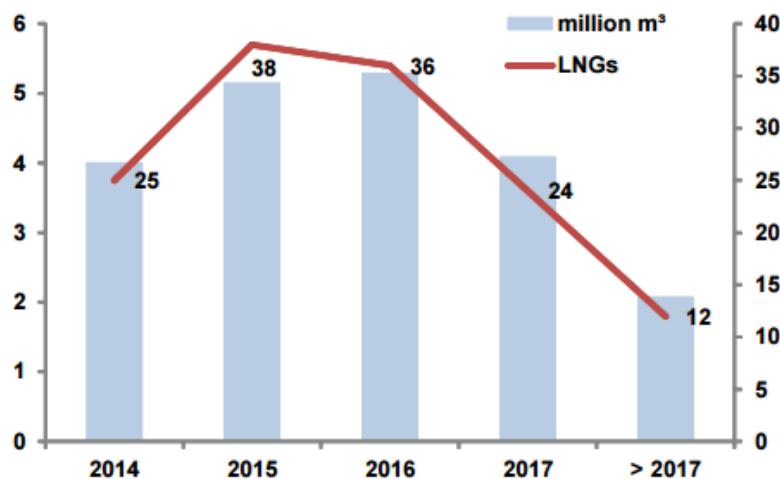
Διάγραμμα 1:8 Εξαγωγείς ΥΦΑ (Πηγή: BP Statistical Review of World Energy 2010)



Διάγραμμα 1:9 Εμπόριο LNG 2014 vs 2013 (Πηγή: BG Group)

Τα πρώτα "σήματα" για τις προοπτικές της αγοράς φάνηκαν το 2011 μετά από τον καταστροφικό σεισμό στην Ιαπωνία καθώς η χώρα έκλεισε τα πυρηνικά εργοστάσια που παρήγαγαν το 30% των ενεργειακών αναγκών της και προχώρησε σε μεγάλες εισαγωγές φυσικού αερίου για την κάλυψη αυτών των αναγκών.<sup>27</sup>

Τότε ήταν που οι Spot ναύλοι αυξήθηκαν στα υψηλότερα ιστορικά ρεκόρ τους, περίπου 150,000 δολάρια την ημέρα. (Διάγραμμα 1:11) Αυτό προσέλκυσε νέες επενδύσεις σ' αυτή την αγορά. Στο Διάγραμμα 1:10, φαίνονται τα πλοία που είναι για παράδοση σε κάθε έτος. Οι νέες παραγγελίες αριθμούν αυτή την στιγμή τις 144 (Εικόνα 1.6:1).



Διάγραμμα 1:10 LNG Carriers για παράδοση μέχρι το 2020 (Πηγή: Clarksons Aug. 2014)

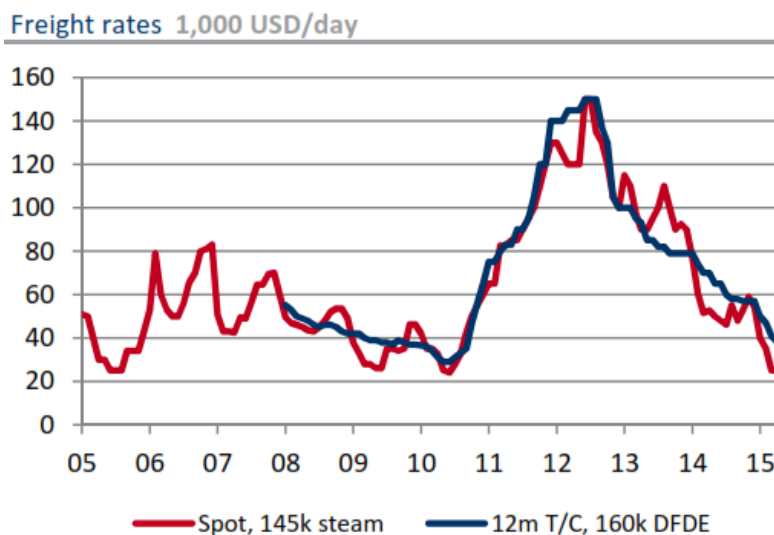
Fleet Summary		
June 2015	No.	Gas Capacity
Live Fleet	405	59,819k
Order Book	144	3,655k
Lay Up	6	766k

Εικόνα 1.6:1 Παγκόσμιος στόλος LNG Carriers June 2015 (Πηγή: Iloydslistintelligence)

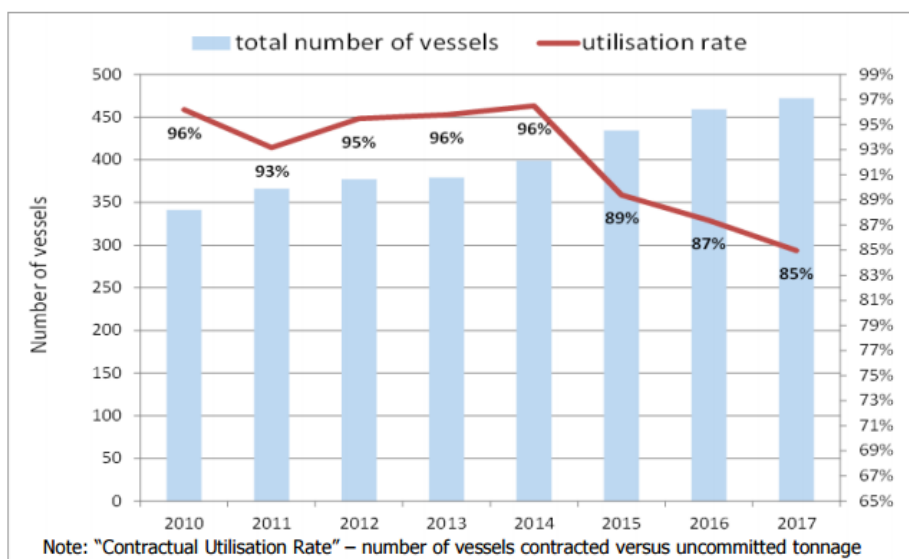
Πρόσφατα η Ιαπωνία ανακοίνωσε επίσημα ότι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες θα ξεκινήσουν να λειτουργούν ξανά, άμεσα. Το γεγονός αυτό θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εισαγωγών της Ιαπωνίας.<sup>28</sup>

Επίσης, ορισμένες χώρες (π.χ. Ινδία, Κίνα) πιθανότατα να κάνουν εισαγωγές όσο οι τιμές είναι ανταγωνιστικές σε σχέση με άλλα ενεργειακά προϊόντα και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ΗΠΑ, έχουν ήδη καταφέρει να καλύψουν μεγάλο μέρος των αναγκών τους μέσω της παραγωγής σχιστολιθικού φυσικού αερίου, ενώ από την άλλη η Ευρώπη εξετάζει πιθανή εξόρυξη φυσικού αερίου από συμβατικές και μη συμβατικές πηγές στα εδάφη της σε συνδυασμό με την επέκταση των χερσαίων αγωγών Φ.Α.<sup>29</sup>

Τα προηγούμενα σε συνδυασμό με τις νέες παραδόσεις πλοίων οδήγησαν σε “υπερπροσφορά” της αγοράς των LNG Carriers με αποτέλεσμα τα ναύλα να πέσουν ακόμη περισσότερο αυτή την περίοδο (term charter rates 12 mths+ below 40,000 USD/day, Διάγραμμα 1:11). (Σημείωση: οι παραγγελίες νέων πλοίων είχαν προγραμματιστεί για 60,000-70,000 USD/day). Ο αντίκτυπος, με βάση τις προβλέψεις από τον ναυλομεσιτικό οίκο “Clarksons”, που θα έχει η υπερπροσφορά των πλοίων αποτυπώνεται και στο Διάγραμμα 1:12.<sup>30</sup>



Διάγραμμα 1:11 Ναύλοι πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ (Πηγή: RS Platou Monthly (April2015))



Διάγραμμα 1:12 Στόλος LNG Carrier & Utilisation Rate (Πηγή: Clarksons 2013)

Πολλές νέες παραγγελίες βέβαια βασίζονται στην εξαγωγή μεγάλων ποσοτήτων ΥΦΑ από την Αμερική, ιδίως από το 2018, και στη ζήτηση ΥΦΑ από αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα, η Νότια Κορέα, η Βραζιλία και το Μεξικό.

Για τα επόμενα 2-3 χρόνια τα ναύλα πιθανόν να παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα για τα εν λόγω πλοία αφού θα υπάρξουν παραδόσεις σε μια περίοδο που το εμπόριο του ΥΦΑ περνά μια σχετικά υποτονική περίοδο (όχι όσο είχε προβλεφθεί), αφού ο παγκόσμιος χάρτης εμπορίου φυσικού αερίου περνά μια μεταβατική φάση. Το μόνο βέβαιο είναι ότι θα υπάρξει ανάγκη για αύξηση της χωρητικότητας του στόλου των LNG Carriers στο μέλλον, αφού η παγκόσμια εξαγωγή και ζήτηση σε ΦΑ αυξάνεται. Έτσι, με βάση τα προηγούμενα το εμπόριο του ΥΦΑ θα αποτελέσει πρόκληση για τις νέες επενδύσεις στον τομέα αυτό.

## 2 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ LNG CARRIER 170.000 m<sup>3</sup>

### 2.1 Επιλογή όμοιων πλοίων

Για την επιλογή των κύριων διαστάσεων του πλοίου είναι απαραίτητο να βρεθούν όμοια πλοία από κάποια βάση δεδομένων. Αρχικά διατίθενται λίστα πλοίων LNG Carrier, το πλήθος των οποίων ανέρχεται σε 293 πλοία. Σε αυτά περιλαμβάνονται πλοία με σφαιρικές δεξαμενές τύπου Moss και με πρισματικού τύπου μεμβρανικές δεξαμενές. Πλοία με δεξαμενές τύπου Moss απορρίπτονται. Ακόμη, αδελφά πλοία και πλοία που έχουν ελλειπή στοιχεία απορρίπτονται. Απορρίπτονται επίσης πλοία τα οποία έχουν ατμοστρόβιλο για πρόωση.

Τελικά η επιλογή των ομοίων πλοίων έγινε με βάση το DWT ( $\pm 10\%$ ), τον όγκο κυτών  $V_{liquid}$  ( $\pm 10\%$ ) και την ταχύτητα  $V_s$  ( $\pm 1.5$  knot). Αποκλείστηκαν όσα πλοία είχαν μεγάλες αποκλίσεις από τα όρια αυτά όπως επίσης και από το προκαθορισμένο πλάτος. Τελικά επιλέχθηκαν 6 όμοια πλοία, τα στοιχεία των οποίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Το πατρικό πλοίο είναι το Woodside Rogers.

Όνομα Σκάφους			Provalys	Gaslog Savannah	British Sapphire	Maersk Meridian	Clearsky	Abdelkader	Woodside Rogers
Κύριες Διαστ.	L <sub>BP</sub>	m	289.6	285.1	288.43	286.17	298	298.43	294.2
	L <sub>OA</sub>	m	274.1	274	275	275	279	285	283.2
	B	m	43.35	43.4	44.24	43.4	45.8	46	44
	D	m	26.25	26	26	26.6	26	26.8	26
	T	m	11.6	12.1	12.2	12.12	11.6	11.93	11.5
Βάρη	DWT	t	74300	82291	84455	81929	96100	91305	79087.1
	Δ	t	106500	113591	116204	113609	130957	125563	111629.0
	LS	t	32200	31300	31749	31680	34857	34258	32541.9
Όγκοι	V <sub>liquid</sub>	m <sup>3</sup>	153500	155000	155000	163285	171800	173870	159800.0
Πρόωση	V <sub>service</sub>	kn	19.5	19.5	21	19.5	19.5	19.5	19.9
	P <sub>B</sub>	HP	33915	37335	39900	39900	37100	33914	34200
	F <sub>n</sub>		0.19	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19
	TYPE	-	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric

Λόγοι - Αναλογίες	DWT/Δ	-	0.698	0.724	0.727	0.721	0.734	0.727	0.708
	$L_{BP}/\Delta^{1/3}$	$m/t^{1/3}$	5.783	5.658	5.635	5.678	5.494	5.691	5.882
	$L_{BP}/B$	-	6.323	6.313	6.216	6.336	6.092	6.196	6.436
	$L_{BP}/L_{OA}$	-	0.946	0.961	0.953	0.961	0.936	0.955	0.963
	$L_{BP}/D$	-	10.442	10.538	10.577	10.338	10.731	10.634	10.892
	B/T	-	3.737	3.587	3.626	3.581	3.948	3.856	3.826
	D/T	-	2.263	2.149	2.131	2.195	2.241	2.246	2.261
	$w_{LS}$	$t/m^3$	0.1032	0.1012	0.1004	0.0998	0.1049	0.0975	0.1004
	$C_B$	-	0.751	0.767	0.761	0.764	-	0.781	0.757
	$C_N$	$\frac{t^2 \cdot kn^3}{kW}$	491.223	465.819	552.712	435.919	515.406	548.234	534.217

Πίνακας 2.1:1 Χαρακτηριστικά επιλεγμένων όμοιων πλοίων

Οι προδιαγραφές για το υπό σχεδίαση πλοίο:

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	
DWT(tn)	85000
$V_{liquid}(m^3)$	170000
$T_{max}(m)$	12
$B_{max}(m)$	46
$Vs(kn)$	19

Πίνακας 2.1:2 Προδιαγραφές υπό μελέτη πλοίου

Για τα πλοία αυτά υπολογίστηκαν οι λόγοι L/B, L/D, B/T, D/T, DWT/Δ και οι συντελεστές  $C_B$ ,  $w_{LS}$  και ο αριθμός Froude. Κατόπιν προσδιορίστηκαν οι μέγιστες, οι ελάχιστες και οι μέσες τιμές του δείγματος των πλοίων για τα ανωτέρω στοιχεία:

	Average	Min	Max
$F_n$	0.379	0.369	0.404
DWT/Δ	0.720	0.698	0.734
$L_{BP}/\Delta^{1/3}$	5.689	5.494	5.882
$L_{BP}/B$	6.273	6.092	6.436
$L_{BP}/L_{OA}$	0.954	0.936	0.963
$L_{BP}/D$	10.593	10.338	10.892
B/T	3.737	3.581	3.948
D/T	2.212	2.131	2.263



$w_{LS}$	0.101	0.098	0.105
$C_B$	0.764	0.751	0.781
$C_N$	506.219	435.919	552.712

Πίνακας 2.1:3 Λόγοι κύριων διαστάσεων και χαρακτηριστικά όμοιων πλοίων

## 2.2 Επιλογή κύριων διαστάσεων

Αρχικά παρατίθενται σε πινακοποιημένη μορφή οι μέσοι όροι που προκύπτουν από τα όμοια πλοία για τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν:

ΟΜΟΙΑ ΠΛΟΙΑ	
$DWT/\Delta$	0.720
$L_{BP}/\Delta^{1/3}$	5.689
$L_{BP}/B$	6.273
$L_{BP}/L_{OA}$	0.954
$L_{BP}/D$	10.593
$B/T$	3.737
$D/T$	2.212
$w_{LS}$	0.101
$C_B$	0.764

Πίνακας 2.2:1 Χαρακτηριστικά όμοιων πλοίων

Με τη χρήση της **εξίσωσης της μελέτης** η διαδικασία επιλογής ξεκινά με τον προσδιορισμό του εκτοπίσματος από τον λόγο  $DWT/\Delta$ :

$$\frac{DWT}{\Delta} = 0.7199 \Rightarrow \Delta = \frac{85000}{0.7199} = 118067.1 \text{ tn}$$

Ύστερα προκύπτει το πλάτος από την εξίσωση της μελέτης:

$$B = \sqrt[3]{\frac{\Delta \cdot B/T}{c \cdot \gamma \cdot L/B \cdot c_B}} = 44.74 \text{ m}$$

Ακολούθως από τους λόγους  $L/B$ ,  $B/T$ ,  $L/D$  και  $D/T$ , προκύπτουν το μήκος  $L$ , το βύθισμα  $T$  και το κοίλο  $D$ ,

$$\frac{L}{B} = 6.27 \Rightarrow L = 280.67 \text{ m}$$

$$\frac{B}{T} = 3.74 \Rightarrow T = 11.97 \text{ m}$$

$$\frac{L}{D} = 10.59 \Rightarrow D1 = 26.50 \text{ m}$$

$$\frac{D}{T} = 2.21 \Rightarrow D2 = 26.48 \text{ m}$$

$$\rightarrow \frac{D1 + D2}{2} = 26.49 \text{ m}$$

Για να γίνει ο έλεγχος του γεωμετρικού εκτοπίσματος σε σχέση με το εκτόπισμα βαρών πρέπει να πραγματοποιηθεί μία πρόχειρη εκτίμηση του βάρους του άφορτου σκάφους. Η εκτίμηση αυτή θα γίνει με βάση το συντελεστή  $w_{LS}$  που προέκυψε από τα όμοια πλοία.

$$LS = w_{LS} \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D = 0.101 \cdot 280.67 \cdot 44.74 \cdot 26.49 \rightarrow LS = 33621.2 \text{ [t]}$$

Σε αυτό το βάρος θα προστεθεί το DWT από τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και έτσι θα έχουμε μία προκαταρκτική εκτίμηση του εκτοπίσματος βαρών:

$$\Delta_B = LS + DWT = 33621.2 + 85000 \rightarrow \Delta_B = 118621.2 \text{ [t]}$$

Το γεωμετρικό εκτόπισμα του πλοίου είναι:

$$\Delta_G = C_B \cdot \gamma \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot c = 0.764 \cdot 1.025 \cdot 280.67 \cdot 44.74 \cdot 11.97 \cdot 1.0035$$

$$\rightarrow \Delta_G = 118067.1 \text{ [t]}$$

Η διαφορά του  $\Delta_B$  με το  $\Delta_G$  είναι:

$$\frac{\Delta_G - \Delta_B}{\Delta_G} \% = \frac{118067.1 - 118621.2}{118067.1} = -0.47\%$$

Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για απόκλιση θετική και μικρότερη του 0.5%.

Με χρήση **μέσων όρων** η διαδικασία επιλογής των κύριων διαστάσεων ξεκινά θέτοντας τους περιορισμούς που δίδονται από τον πλοιοκτήτη ( $B_{MAX}$  και  $T_{MAX}$ ) και ακολούθως υπολογίζονται τα μεγέθη βάσει των μέσων όρων των λόγων που εξάχθηκαν από τα όμοια πλοία όπως προηγουμένως.

$$\frac{L}{B} = 6.27 \Rightarrow L = 288.57 \text{ m}$$

$$\frac{L}{D} = 10.59 \Rightarrow D1 = 27.24 \text{ m}$$

$$\frac{D}{T} = 2.21 \Rightarrow D2 = 26.55 \text{ m}$$

$$\rightarrow \frac{D1 + D2}{2} = 26.89 \text{ m}$$

Το γεωμετρικό εκτόπισμα που προκύπτει με αυτά τα δεδομένα είναι:

$$\Delta_{\Gamma} = C_B \cdot \gamma \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot c = 0.764 \cdot 1.025 \cdot 288.57 \cdot 46 \cdot 12 \cdot 1.0035 \\ \rightarrow \Delta_{\Gamma} = 125101.5[t]$$

Υπολογισμός βάρους άφορτου σκάφους μέσω του συντελεστή βάρους ομοίων πλοίων.

$$LS = w_{LS} \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D = 0.101 \cdot 288.57 \cdot 46 \cdot 26.89 \rightarrow LS = 36082.1 [t]$$

Σε αυτό το βάρος θα προστεθεί το DWT και έτσι θα έχουμε,

$$\Delta_B = LS + DWT = 36082.1 + 85000 \rightarrow \Delta_B = 121082.1 [t]$$

Η διαφορά του  $\Delta_B$  με το  $\Delta_{\Gamma}$  είναι:

$$\frac{\Delta_{\Gamma} - \Delta_B}{\Delta_{\Gamma}} \% = \frac{125101.5 - 121082.1}{125101.5} = 3.21\%$$

Παρατηρούμε ότι, ούτε με αυτή τη μέθοδο ικανοποιείται ο έλεγχος για απόκλιση θετική και μικρότερη του 0.5%.

Τελικά, επιλέγονται οι κύριες διαστάσεις έπειτα από δοκιμές, με σκοπό να ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις.

$$L = 283.2 \text{ m}$$

$$B = 46 \text{ m}$$

$$T = 11.7 \text{ m}$$

$$D = 26 \text{ m}$$

$$C_B = 0.758$$

$$W_{LS} = 0.099$$

### Τελικός έλεγχος $\Delta_B$ , $\Delta_{\Gamma}$

$$W_{LS} = w_{LS} \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D = 0.099 \cdot 283.2 \cdot 46 \cdot 26 \rightarrow LS = 33532.0 [t]$$

$$\Delta_B = LS + DWT = 33532.0 + 85000 \rightarrow \Delta_B = 118532.0[t]$$

Το γεωμετρικό εκτόπισμα του πλοίου είναι:

$$\Delta_{\Gamma} = C_B \cdot \gamma \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot c = 0.758 \cdot 1.025 \cdot 283.2 \cdot 46 \cdot 11.7 \cdot 1.0035 \\ \rightarrow \Delta_{\Gamma} = 118835.8[t]$$

Η διαφορά του  $\Delta_B$  με το  $\Delta_T$  είναι:

$$\frac{\Delta_T - \Delta_B}{\Delta_T} \% = \frac{118835.8 - 118532}{118835.8} = 0.256 \% < 0.50\%$$

$$\text{Άρα αποδεκτή τιμή και τελικά } DWT = \Delta_T - L.S = 85304 \text{ tn}$$

### 2.2.1 Συντελεστής μέσης τομής ( $C_M$ )

Για τον υπολογισμό του  $C_M$  χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι συναρτήσεων του  $C_B$ :

$$\begin{array}{ll} \text{V. Lammeren} & 0.9 + 0.1 \cdot C_B \\ \text{H. Kerlen} & 1.006 - 0.0056 \cdot C_B^{-3.56} \\ \text{HSVA} & \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3.5}} \end{array}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Υπολογισμός
<b>V. Lammeren</b>	0.976
<b>H. Kerlen</b>	0.991
<b>HSVA</b>	0.993

Όπως φαίνεται, οι τύποι H. Kerlen και HSVA είναι πολύ κοντά μεταξύ τους ενώ ο V. Lammeren διαφέρει αρκετά. Συνεπώς ο συντελεστής μέσης τομής θα υπολογιστεί ως ο μέσος όρος των δύο αυτών τύπων:

$$C_M = 0.992$$

### 2.2.2 Πρισματικός συντελεστής ( $C_P$ )

Ο πρισματικός συντελεστής υπολογίζεται ως εξής:

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0.758}{0.992} \rightarrow C_P = 0.764$$

### 2.2.3 Συντελεστής ισάλου επιφάνειας ( $C_{WP}$ )

Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των δύο παρακάτω εμπειρικών τύπων:

$$C_{WL} = 0.7 \cdot C_P + 0.3 = 0.7 \cdot 0.764 + 0.3 \rightarrow C_{WL} = 0.835$$

$$C_{WL} = \frac{1 + 2 \cdot C_B}{3} = \frac{1 + 2 \cdot 0.758}{3} \rightarrow C_{WL} = 0.839$$

Συνεπώς,

$$C_{WL} = 0.837$$

### 2.2.4 Αποτελέσματα

Υπό Μελέτη σκάφος			
Κύριες Διαστάσεις	$L_{OA}$	[m]	294.20
	$L_{BP}$	[m]	283.20
	B	[m]	46.00
	D	[m]	26.00
	T	[m]	11.70
Λόγοι - Αναλογίες	$L_{BP}/B$	-	6.157
	$L_{BP}/D$	-	10.892
	B/T	-	3.932
	D/T	-	2.222
	DWT/ $\Delta$	-	0.715
	$C_B$	-	0.758
	$C_M$	-	0.992
	$C_P$	-	0.764
	$C_{WL}$	-	0.837
	P	[Kw]	34200
	$\Delta_r$	[t]	118836

Πίνακας 2.2:2 Χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου

Παρατηρώ ότι οι τιμές του πιο πάνω πίνακα είναι μέσα στα όρια των αναμενόμενων τιμών που προκύπτουν από τα όμοια πλοία.

## 2.3 Πρώτη προσέγγιση ισχύος προωστήριας εγκατάστασης

Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται η ισχύς της προωστήριας εγκατάστασης και επιλέγεται η κύρια μηχανή του πλοίου. Για τον υπολογισμό της ισχύος πρόωσης χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής ναυαρχείου.

### 2.3.1 Ισχύς πρόωσης

#### Συντελεστής Ναυαρχείου

Ο Συντελεστής ναυαρχείου για το υπό μελέτη πλοίο παίρνεται ίσος με τον μέσο όρο των συντελεστών ναυαρχείου των όμοιων πλοίων, οπότε  $C_N^{ave} = 506.2 t^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{kn^3}{HP}$ . Η ισχύς για το νέο πλοίο υπολογίζεται ως εξής:

$$C_N = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_S^3}{P_B} \rightarrow P_B = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_S^3}{C_N} = \frac{118836^{2/3} \cdot 19^3}{506.2} \rightarrow P_B = 32751 [kW]$$

### 2.3.2 Επιλογή κύριας μηχανής

Επιλέγονται 4 sets μηχανής διπλής καύσης, όμοια με το πατρικό, Wärtsilä 9L50DF X 4 sets, η οποία λειτουργεί είτε με φυσικό αέριο (natural gas) είτε με βαρύ ή ελαφρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil, Light Fuel Oil). Μπορεί να πραγματοποιηθεί αλλαγή καυσίμου καθώς η μηχανή είναι σε λειτουργία. Επίσης είναι σχεδιασμένη να αποδίδει την ίδια ισχύ χωρίς να επηρεάζεται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Όταν λειτουργεί με φυσικό αέριο οι εκπομπές ρύπων είναι σημαντικά μειωμένες. Συγκεκριμένα τα NO<sub>x</sub> (nitrogen oxide) είναι τουλάχιστον 85% πιο κάτω από αυτά που επιτρέπει ο IMO και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι περίπου 25% λιγότερα από αυτά των συμβατικών ναυτικών κινητήρων που χρησιμοποιούν πετρέλαιο για καύση. Επιπλέον τα SO<sub>x</sub>, (sulphur oxide) και οι λοιπές εκπομπές είναι αμελητέες. Παρακάτω δίνονται τα χαρακτηριστικά της μηχανής:



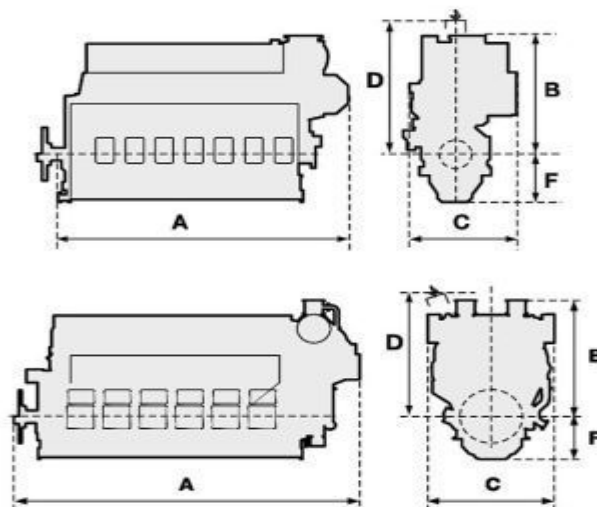
Εικόνα 2.3:1 Κύρια μηχανή, Wärtsilä 9L50DF (Πηγή: Wärtsilä)

Wärtsilä 50DF		IMO Tier III	
Cylinder bore	500 mm	<b>Fuel specification:</b>	
Piston stroke	580 mm	Fuel oil	700 cSt/50°C
Cylinder output	950, 975 kW/cyl	7200 sR1/100 F	
Speed	500, 514 rpm	ISO 8217, ISO-F-DMX, DMA & DMB	
Mean effective pressure	20.0 bar	BSEC 7110 kJ/kWh at ISO cond.	
Piston speed	9.7, 9.9 m/s		

Rated power				
Engine type	Engine kW (50Hz)	Gen. kW (50Hz)	Engine kW (60Hz)	Gen. kW (60Hz)
6L50DF	5 700	5 500	5 850	5 650
8L50DF	7 600	7 330	7 800	7 530
9L50DF	8 550	8 250	8 775	8 470
12V50DF	11 400	11 000	11 700	11 290
16V50DF	15 200	14 670	15 600	15 050
18V50DF	17 100	16 500	17 550	16 940

Generator output based on a generator efficiency of 96.50 %

Dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A	B	C	D	F	Weight
6L50DF	8 115	3 580	3 270	4 000	1 455	96
8L50DF	10 230	3 920	3 360	4 000	1 455	128
9L50DF	11 140	3 920	3 505	4 000	1 455	148
12V50DF	10 410	4 055	3 810	3 600	1 500	175
16V50DF	13 085	4 400	4 730	3 600	1 500	220
18V50DF	14 180	4 400	4 730	3 600	1 500	240



Εικόνα 2.3:2 Χαρακτηριστικά κύριας μηχανής, Wärtsilä 9L50DF (Πηγή: Wärtsilä)

## 2.4 Υπολογισμός βάρους Lightship

### 2.4.1 Ανάλυση Βαρών Πατρικού Πλοίου

Για το προϋπολογισμό του βάρους του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου πλοίου (LS) θα χρησιμοποιηθούν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι για τις οποίες θα πρέπει να χωρίσουμε το LS σε τρεις ομάδες βαρών:

- Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης ( $W_M$ )
- Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού ( $W_{OT}$ )
- Βάρος μεταλλικής κατασκευής ( $W_{ST}$ )

Αφού υπολογιστούν και οι τρεις ομάδες βαρών θα προστεθούν και το άθροισμά τους θα μας δώσει το LS σύμφωνα με την εξίσωση:

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

Επειδή δεν έχουμε τις ομάδες βαρών για το πατρικό πλοίο ("Woodside Rogers") παρά μόνο το συνολικό LS, θα εκτιμήσουμε με τις κατάλληλες μεθόδους τις ομάδες βαρών, θα τις αθροίσουμε και θα συγκρίνουμε το αποτέλεσμα με το πραγματικό LS πατρικού πλοίου. Αυτό θα μας δώσει την δυνατότητα να εξάγουμε ένα συντελεστή διόρθωσης, τον οποίο θα εφαρμόσουμε στην ίδια ακριβώς διαδικασία για το υπό μελέτη πλοίο ώστε να έχουμε σχεδόν εξαλείψει το σφάλμα της διαδικασίας που θα ακολουθήσουμε.

Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι λόγω έλλειψης στοιχείων για μεθόδους μελέτης και σχεδίασης LNG Carriers, γίνεται θεώρηση ότι το εν λόγω πλοίο προσεγγίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό από ένα δεξαμενόπλοιο χαμηλού συντελεστή γάστρας στο οποίο προστίθενται τα παρελκόμενα των δεξαμενών φορτίου LNG (ενισχυτικά, μονώσεις, πύργος αντλιών κτλ).

#### 2.4.1.1 Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής ( $W_{ST}$ )

- *Μέθοδος Watson*

Σύμφωνα με την μέθοδο Watson του βιβλίου [1a]<sup>i</sup>, σελ. 219, το  $W_{ST}$  υπολογίζεται από την εξίσωση κατά Lloyd's Register:

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

όπου:  $N_1, h_{1i}, l_{1i}$ : αριθμός, ύψος και μήκος των υπερστεγασμάτων,

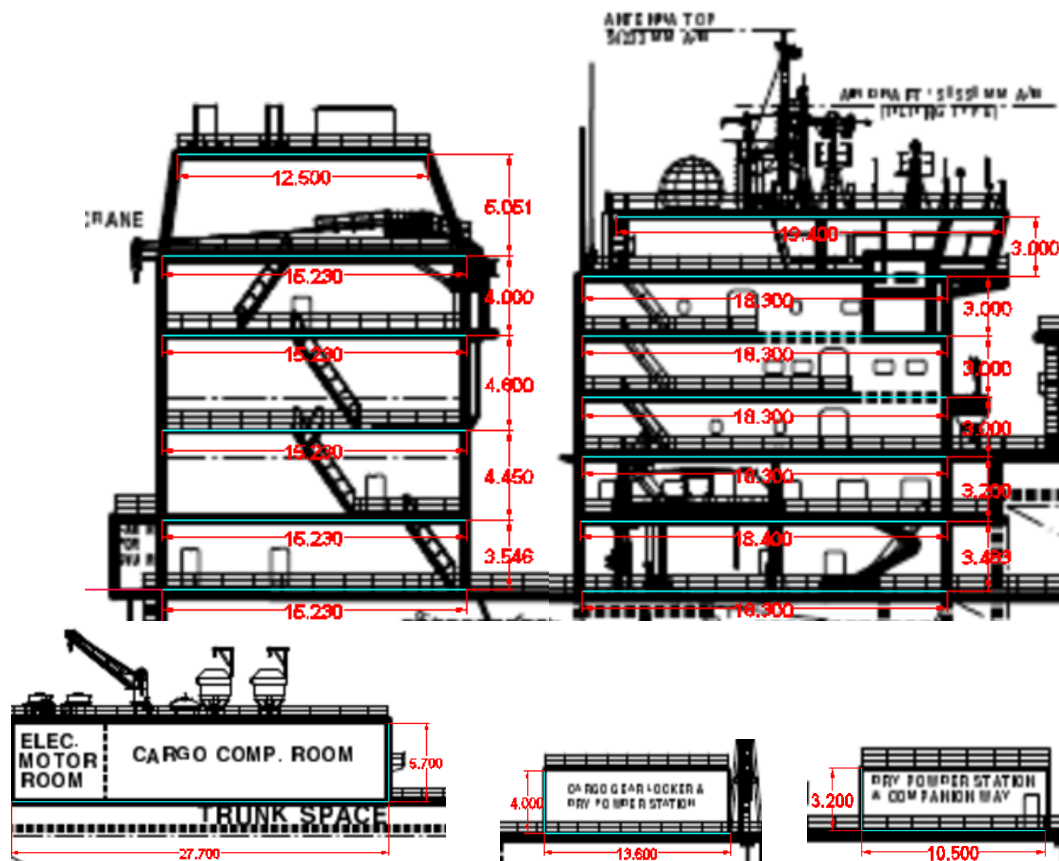
$N_2, h_{2i}, l_{2i}$ : αριθμός, ύψος και μήκος των υπερκατασκευών.

Έχοντας προμηθευτεί το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου, γίνεται η αναγωγή στην κλίμακα μέσω του προγράμματος "Autocad". Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν χώροι που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως υπερκατασκευές ( $B_{SS} \geq 0.92B$ ).

<sup>i</sup> Βιβλίο [1a]: «Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης», Α. Παπανικολάου, Τεύχος 1



Έτσι οι χώροι που υπάρχουν, χαρακτηρίζονται ως υπερστεγάσματα και διαχωρίζονται στους χώρους οι οποίοι διακρίνονται στην εικόνα 3 και στον πίνακα 6. Ως χώρος "cargo space above the main deck" που αναφέρεται στον Πίνακας 2.4:1, θεωρείται ο χώρος πάνω από το ανώτερο κατάστρωμα (upper deck στα 26m) ο οποίος χρησιμοποιείται σαν χώρος φορτίου, αφού η μελέτη που γίνεται βασίζεται σε δεξαμενόπλοια και επομένως δεν συμπεριλαμβάνεται ο χώρος αυτός στη συγκεκριμένη μέθοδο.



Εικόνα 2.4:1 Υπερστεγάσματα πατρικού πλοίου

Οπότε έχουμε τον εξής πίνακα στον οποίο θα υπολογιστούν τα δύο αθροίσματα της παραπάνω εξίσωσης.

Υπερστεγ	h1i (m)	l1i (m)	h1i x l1i
<b>DECKS</b>			
UPPER	3.483	18.3	63.74
A	3.2	18.4	58.88
B	3	18.3	54.90
C	3	18.3	54.90
D	3	18.3	54.90
NAV. BRI.	3	19.4	58.20

<b>Engine Casing ,Cofferdam, Emerg. gen. room. etc.</b>			
UPPER	3.546	15.23	54.01
A	4.45	15.23	67.77
B	4.8	15.23	73.10
C	4	15.23	60.92
D	5.051	13.865	70.03
<b>In Cargo Space</b>			
<b>Cargo comp. room</b>	5.7	27.7	157.89
<b>Cargo gear locker</b>	4	13.6	54.4
<b>Dry powder st.</b>	3.2	10.5	33.6
<b>Cargo space above main deck</b>	6.675	200	1335
			<b>2252.24</b>
<b>Υπερκατασκευές</b>	<b>h<sub>2i</sub> (m)</b>	<b>l<sub>2i</sub> (m)</b>	<b>h x l</b>
	0	0	0

$$= \sum_{i=1}^{N1} h_{1i} L_{1i}$$

$$= \sum_{i=1}^{N2} h_{2i} L_{2i}$$

Πίνακας 2.4:1 Διαστάσεις υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου

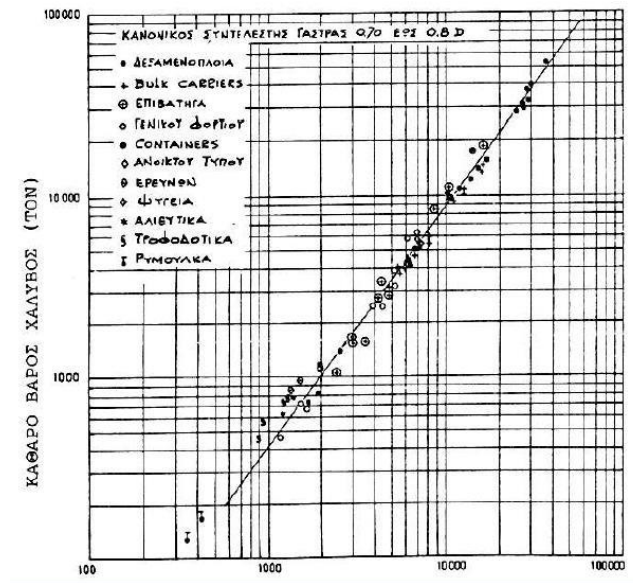
Οπότε η εξίσωση γράφεται:

$$E_N = 283.2 \cdot (44 + 11.5) + 0.8 \cdot 283.2 \cdot (26 - 11.5) + 0.85 \cdot 2252.24 + 0.75 \cdot 0$$

$$\rightarrow E_N = 20917$$

Ακολουθως μέσω της μεθοδολογίας Watson (Διάγραμμα 2:1) και με δεδομένο δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  προσδιορίζεται ο αριθμός  $W_{ST}^* = 23000 t$ . Σε αυτό το νούμερο πρέπει να ελέγξουμε αν θα υπάρξει διόρθωση λόγω του  $C_B$ . Υπολογίζουμε το  $C_B$  στο 80% του D σύμφωνα με την εξίσωση:

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



Διάγραμμα 2:1 Υπολογισμός του  $W_{ST}^*$  βάσει του δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  της μεθόδου Watson (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Όπου,

$$C_{B1} = C_B \left( \frac{D}{T} \right)^{\left( \frac{C_{WL}}{C_B} - 1 \right)} = 0.757 \left( \frac{26}{11.5} \right)^{\left( \frac{0.853}{0.757} - 1 \right)} = 0.840$$

Άρα,

$$C_{B1}^* = 0.840 + \frac{(1 - 0.840)(0.8 \cdot 26 - 11.5)}{3 \cdot 11.5} \rightarrow C_{B1}^* = 0.883 \neq 0.700$$

Άρα θα πρέπει να διορθώσουμε την τιμή του  $W_{ST}^*$  που βρήκαμε από το διάγραμμα σύμφωνα με την εξίσωση:

$$W_{ST}' = W_{ST}^* \cdot (1 + 0.05(C_{B1}^* - 0.7)) = 23000 \cdot (1 + 0.05 \cdot (0.883 - 0.7)) \rightarrow$$

$$\rightarrow W_{ST}' = 23210 [t]$$

Επειδή στο πατρικό πλοίο χρησιμοποιείται χάλυβας υψηλής αντοχής την παραπάνω εκτίμηση θα την μειώσουμε κατά 5% έως 7% (επιλέγω 6%). Έτσι έχουμε:

$$W_{ST} = 21818 [t]$$

- **Μέθοδοι Schneekluth και Müller-Koster**

Η μέθοδος Schneekluth που περιγράφεται στο βιβλίο [1a], σελ. 228, εκτιμά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{ST}'$ ). Για να υπολογίσουμε το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{SS}$ ) θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο Müller-Koster (σελ.235).

Στη μέθοδο Schneekluth υπολογίζουμε πρώτα τον όγκο κάτωθεν του ανώτερου καταστρώματος σύμφωνα με την εξίσωση:

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

όπου  $\nabla_U$ , Ο όγκος κάτωθεν του ανώτερου καταστρώματος

$\nabla_D$ , Ο όγκος έως το κοίλο,  $\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD}$

$\nabla_S$ , Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας,  $\nabla_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2$

$\nabla_b$ , Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος,  $\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3$

$\nabla_H$ , Αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών,  $\nabla_H = \sum_i^N l_{Hi} b_{Hi} h_{Li}$

Στον όγκο  $\nabla_U$  θα προστεθεί ο όγκος των κυτών πάνω από το ανώτερο κατάστρωμα,  $\nabla_{UP.Cargo}$ , και θα αφαιρεθεί ο όγκος,  $\nabla_{Stern Shape}$ , λόγω διαμόρφωσης του πρυμναίου τμήματος του πλοίου. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο γεγονός ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι για δεξαμενόπλοια και όχι για πλοία LNG.

Άρα τελικά ο ζητούμενος όγκος θα είναι:

$$\nabla_V = \nabla_U + \nabla_{UP.Cargo} - \nabla_{Stern Shape}$$

### Ο όγκος έως το κοίλο ( $\nabla_D$ )

Επιλέγουμε συντελεστή  $C_1 = 0.25$  αφού το πατρικό έχει μικρό άνοιγμα νομέων, οπότε έχουμε:

$$C_{BD} = C_B + C_1 \frac{D - T}{T} (1 - C_B) = 0.757 + 0.25 \frac{26 - 11.5}{11.5} (1 - 0.757) \rightarrow C_{BD} = 0.834$$

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 283.2 \cdot 44 \cdot 26 \cdot 0.834 \rightarrow \nabla_D = 270146 [m^3]$$

- **Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας ( $\nabla_S$ )**

Ο συντελεστής  $C_2$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_2 = \frac{C_{BD}^{2/3}}{6} = \frac{0.834^{2/3}}{6} \rightarrow C_2 = 0.148$$

Επιπλέον από τα σχέδια βρίσκουμε ότι  $L_S = 32.7$  m,  $S_F = 0.314$  m,  $S_A = 0$  m, οπότε έχουμε:

$$\nabla_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2 = 32.7 \cdot 44 \cdot (0.314 + 0) \cdot 0.148 \rightarrow \nabla_S = 66.7 [m^3]$$

- **Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος ( $\nabla_b$ )**

Ο συντελεστής  $C_3$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_3 = 0.7 \cdot C_{BD} = 0.7 \cdot 0.834 \rightarrow C_3 = 0.584$$

Η κυρτότητα του καταστρώματος από τα σχέδια είναι ίση με  $b = 450 \text{ mm (camber)}$ . Συνεπώς έχουμε:

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3 = 283.2 \cdot 44 \cdot 0.45 \cdot 0.584 \rightarrow \nabla_b = 3273 \text{ m}^3$$

- **Αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών ( $\nabla_H$ )**

Δεν υπάρχουν στόμια, συνεπώς,

$$\nabla_H = 0 \text{ [m}^3\text{]}$$

Οπότε ο όγκος κάτωθεν του ανωτέρου καταστρώματος ( $\nabla_U$ ) είναι:

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 270146 + 66.7 + 3273 + 0 \rightarrow \nabla_U = 273485 \text{ m}^3$$

- **Αύξηση όγκου λόγω όγκου κυτών πάνω από το ανώτερο κατάστρωμα ( $\nabla_{UP.Cargo}$ )**

$$\nabla_{UP.Cargo} = \nabla_{UP.Cargo1} + \nabla_{UP.Cargo2}$$

Για τον προσδιορισμό του  $\nabla_{UP.Cargo}$ , ανατρέχουμε στο σχέδιο γενικής διάταξης και στο σχέδιο μέσης τομής από όπου γίνεται η λήψη των απαιτούμενων διαστάσεων. Ουσιαστικά η γεωμετρία δεν αλλάζει για τις τρεις πρώτες δεξαμενές φορτίου (No 4,3 και 2) και προσδιορίζεται ο όγκος ως το εμβαδό άνωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος πολλαπλασιασμένο με το μήκος των τριών δεξαμενών και των στεγανών διαχωριστικών χώρων (cofferdams),  $\nabla_{UP.Cargo1}$ . Πιο συγκεκριμένα οι τρεις πρώτες δεξαμενές εκτείνονται από τον νομέα 67 μέχρι τον 116. Η ισαπόσταση μεταξύ των νομέων για τη δεξαμενή 4 είναι 3.44m ενώ για το 3 και 2 είναι 3.36m. Το πρώτο cofferdam είναι 2.4m ενώ τα άλλα 2.8m. Κατά συνέπεια το ζητούμενο μήκος είναι 163.2m. Το εμβαδό που αναφέρθηκε είναι, με μια καλή προσέγγιση, ένα τραπέζιο.

Η δεξαμενή No.1, βλέπουμε ότι εκτείνεται από τον νομέα 116 έως τον 126 με ισαπόσταση 3.36m. Το τελευταίο cofferdam το οποίο θα συμπεριληφθεί στο ζητούμενο μήκος είναι 2.8m. Κατά συνέπεια το μήκος για τον υπολογισμό του  $\nabla_{UP.Cargo2}$  είναι 36.4m. Επειδή όμως αλλάζει το πλάτος κατά το μήκος της δεξαμενής αυτής και δεν έχουμε στοιχεία για τα πλάτη πέραν την μέσης τομής, αναγκαζόμαστε να πάρουμε διαστάσεις πλάτους από το σχέδιο γενικής διάταξης. Τελικά ο όγκος πάνω από το κατάστρωμα της δεξαμενής No.1,  $\nabla_{UP.Cargo2}$ , προσδιορίζεται υπολογίζοντας τον μέσο όρο των δυο εγκάρσιων επιφανειών που βρίσκονται στην αρχή και στο τέλος της συγκεκριμένης δεξαμενής επί το μήκος της δεξαμενής. Συγκεκριμένα η εγκάρσια επιφάνεια στην αρχή της δεξαμενής είναι αυτή στο νομέα 116 και η άλλη στο νομέα 127.

Ο όγκος αυτός προκύπτει:

$$\nabla_{UP.Cargo} = \nabla_{UP.Cargo1} + \nabla_{UP.Cargo2}$$

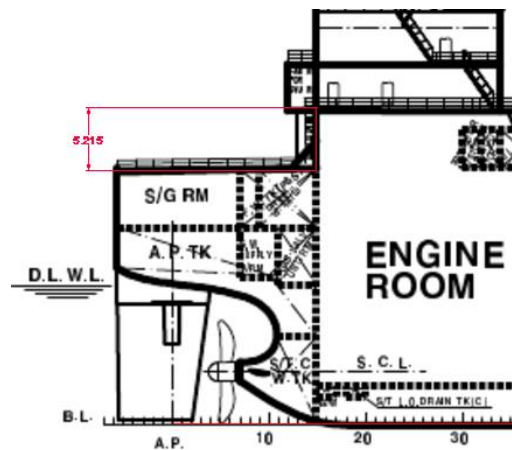
$$\nabla_{UP.Cargo1} = l_1 \cdot A_1 = 163.2 \cdot (37.2 + 27.55) \cdot \left( \frac{32.8 - 26.125}{2} \right) = 35268 \text{ m}^3$$

$$\nabla_{UP.Cargo2} = l_2 \cdot \frac{A_1 + A_2}{2} = 36.4 \cdot \left[ A_1 + (7.5 + 17.24) \cdot \left( \frac{32.8 - 26.125}{2} \right) \right] = 5436 \text{ m}^3$$

Τελικά,

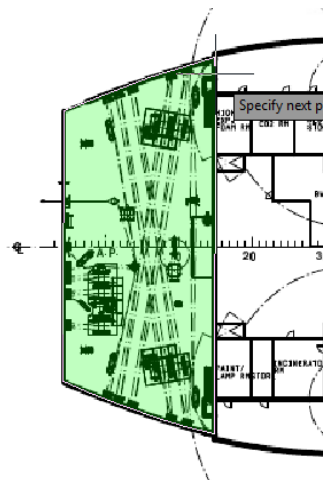
$$\nabla_{UP.Cargo} = 40704 \text{ m}^3$$

- Μείωση όγκου λόγω διαμόρφωσης πρύμνης ( $\nabla_{\text{STERN SHAPE}}$ )



Εικόνα 2.4:2 Διαμόρφωση πρύμναιού τμήματος

Για τον προσδιορισμό του  $\nabla_{\text{Stern Shaper}}$  ανατρέχουμε στο σχέδιο γενικής διάταξης από όπου υπολογίζουμε το εγκάρσιο εμβαδό του πρυμναίου τμήματος που θέλουμε να αφαιρέσουμε από τον όγκο κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος,  $\nabla_U$ . Ο όγκος αυτός θα είναι το εμβαδό,  $575.15 \text{ m}^2$ , το οποίο υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εντολής "Area" του "Autocad", επί το ύψος,  $5.215 \text{ m}$ .



Εικόνα 2.4:3 Υπολογισμός ζητούμενου εγκάρσιου εμβαδού πρυμναίου τμήματος

$$V_{Stern\ Shape} = Area \cdot h = 575.15 \cdot 5.215 = 2963.2 \text{ m}^3$$

Τελικά,

$$V_V = V_D + V_S + V_b + V_H + V_{UP.Cargo} - V_{Stern\ Shape} = 311225.9 \text{ m}^3$$

Το  $W_{ST'}$  χωρίς τις υπερκατασκευές δίδεται από τον πιο κάτω τύπο,

$$W_{ST'} = V_V \times C_{ST'} \times |1+0.033(L/D-12)| \times |1+0.06(n-D/D_0)| \times |1+0.05(1.85-B/D)| \times |1+0.2 \cdot (T/D - 0.85)| \times |0.92 + (1 - C_{BD})^2| \times |1+0.75 C_{BD}(C_M-0.98)|$$

Όμως ο συντελεστής  $C_{ST'}$  δίδεται από την εξίσωση

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

για περιοχή μηκών 150 ÷ 350 m. Οπότε με γραμμική παρεμβολή λαμβάνεται :

$$C'_{St} = [0.112 + 283.2 \cdot 10^{-4}] \cdot (1.0166) = 0.1408 \text{ [tn/m}^3\text{]}$$

Οπότε αντικαθιστώντας έχουμε:

$$W_{ST'} = 311225.9 \text{ [m}^3\text{]} \times 0.1408 \text{ [tn/m}^3\text{]} \times |1+0.033((283.2/26)-12)| \times |1+0.06(1-(26/4))| \times |1+0.05 \cdot (1.85-44/26)| \times |1+0.2(11.5/26-0.85)| \times |0.92+(1-0.834)^2| \times |1+0.75 \cdot 0.834 \cdot (0.992-0.98)| = 24990 \text{ t}$$

Επειδή το πατρικό πλοίο έχει βολβοειδή πλώρη θα προσαιξήσουμε το  $W_{ST'}$  κατά 0.55% (0.4%-0,7%) (αφού η συγκεκριμένη μέθοδος αναφέρεται σε πλοία χωρίς βολβό). Οπότε,

$$W_{ST'} = 25127 \text{ t}$$

Για το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{SS}$ ) θα ακολουθήσουμε την μέθοδο **Müller-Koster**. Με τη μέθοδο αυτή, υπολογίζονται τα βάρη όλων των, υπερκείμενων του κυρίου καταστρώματος, κατασκευών. Η μέθοδος διακρίνει τις κατασκευές σε δύο κατηγορίες, τις υπερκατασκευές και τα υπερστεγάσματα.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης, υπερκατασκευές, θεωρούνται κατασκευές επί του κύριου καταστρώματος με απόσταση πλαγίων τοιχωμάτων από τα πλευρά του πλοίου μικρότερη ή ίση του 4% του πλάτους, B. Υπερστεγάσματα θεωρούνται όλες οι υπόλοιπες κατασκευές. Υπερκατασκευές όμως δεν υπάρχουν στο συγκεκριμένο πλοίο όπως διαπιστώθηκε και προηγουμένως.

Συγκεκριμένα, αναλύονται τα πατώματα των χώρων των υπερστεγασμάτων που αναφέρθηκαν στην μέθοδο Watson (χώροι ενδίαιτησης-B και χώροι αποθήκης εφοδίων-καπνοδόχου-A). Έτσι σύμφωνα με την θεώρηση της μεθόδου αυτής, προσδιορίζονται κάθε φορά τα εμβαδά της επιφάνειας του δαπέδου  $A_0$  και της οροφής  $A_u$ , συμπεριλαμβανόμενων των διαδρόμων για την τελευταία. Ύστερα με τον λόγο  $A_0/A_u$ , επιλέγεται για κάθε επίπεδο ο αντίστοιχος συντελεστής βάσει του ακόλουθου πίνακα:

Θέση	I	II	III	IV	Οιακιστήριο
$A_0/A_U$					
1.0	57	55	52	53	40
1.25	64	63	59	60	45
1.5	71	70	65	66	50
1.75	78	77	72	73	55
2.0	86	84	78	80	60
2.25	93	91	85	86	65
2.5	100	98	91	93	70

Πίνακας 2.4:2 Συντελεστές υπερστεγασμάτων κατά Schneckluth (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για τον χώρο Β, υπάρχουν έξι καταστρώματα και γίνεται η παραδοχή ότι το 2ο και 3ο λαμβάνουν την τιμή για το πάτωμα II, το 4ο για το III, το 5ο για το IV και το 6ο για το Οιακιστήριο.

Για τους λοιπούς χώρους περί της καπνοδόχου, επειδή δεν είναι χώροι ενδιαίτησης αλλά βοηθητικοί μηχανημάτων, εκλέγεται για όλα τα καταστρώματα ως συντελεστής, αυτός του Οιακιστηρίου.

Τα αποτελέσματα ακολουθούν:

Για τα συγκεκριμένα στεγάσματα, το βάρος δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:  $C_{DH}$ : ο ογκομετρικός συντελεστής βάρους σύμφωνα με τον πίνακα 2.13 του βιβλίου [1a], σελ.238,

$$A_m = 0,5 \times (A_0 + A_U)$$

h: ύψος στεγάσματος

b: πλάτος ενδιαίτησεων

$$k_1 = 1 + 0.02 (h - 2.6)$$

$k_2 = 1 + 0.05 (4.5 - l_1 / l_{DH})$  όπου  $l_{DH}$ : μήκος στεγάσματος.

$k_3$ : διόρθωση για μήκος πλοίου σημαντικά διάφορου του κανονικού  $L_{pp}=150m$  δηλ.  
 $\delta L_{pp} = \pm 30 m$

0.95 για  $L_{pp} = 100m$  και 1.1 για  $L_{pp} = 230m$ . Επομένως με γραμμ. παρεμβολή για  
 $L=283.2$   $k_3=1.161$ .

$A_0$ : εμβαδό ανοικτών και κλειστών χώρων, υπεράνω του στεγάσματος

$A_U$ : εμβαδό κλειστών χώρων στεγάσματος



	BI	BII	BIII	BIV	BV	BVI	AI	AII	AIII	AIV	AV
$A_0(m^2)$	633.58	652.88	626.36	599.61	643.51	296.74	531.73	463.58	408.64	370.58	139.84
$A_u(m^2)$	561.73	562.76	565.98	558.68	561.45	254.82	492.18	463.58	321.52	293.96	139.84
$A_0/A_u$	1.13	1.16	1.11	1.07	1.15	1.16	1.08	1.00	1.27	1.26	1.00
1	57	55	55	52	53	40	40	40	40	40	40
1.25	64	63	63	59	60	45	45	45	45	45	45
$C_{DH}(t/m^3)$	60.58	60.12	58.41	54.05	57.09	43.29	41.61	40.00	45.42	45.21	40.00
$A_m$	597.66	607.82	596.17	579.15	602.48	275.78	511.96	463.58	365.08	332.27	139.84
$h_{DH}(m)$	3.483	3.2	3	3	3	3	3.546	4.45	4.8	4	5.051
$K_1$	1.018	1.012	1.008	1.008	1.008	1.008	1.019	1.037	1.044	1.028	1.049
$K_2$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$K_3$	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
$W_{DH}(t)$	149.10	137.49	122.35	109.98	120.85	41.94	89.41	99.41	96.54	71.77	34.43
										$W_{DH}$	1073t

Πίνακας 2.4:3 Υπολογισμός υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου κατά Schneekluth (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Επειδή στο πατρικό πλοίο χρησιμοποιείται χάλυβας υψηλής αντοχής θα μειώσουμε κατά 6% την εκτίμηση για το  $W'_{ST}$ .

Το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής προκύπτει:

$$W'_{STtotal} = 0,94 \cdot (W'_{ST} + W'_{SS}) = 0,94 \cdot 25127 + 1073 \rightarrow W'_{STtotal} = 24629 [t]$$

### Συγκεντρωτικός πίνακας

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Watson	21818
Schneekluth & Müller-Koster	24629

Το  $W_{ST}$  θα υπολογιστεί ως ο μέσος όρος των 2 μεθόδων.

$$W_{ST} = 23223 [t]$$

#### 2.4.1.2 Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού ( $W_{OT}$ )

##### ▪ Βάρος μόνωσης δεξαμενών

Όπως προαναφέρθηκε, γίνεται η παραδοχή ότι το LNG Carrier προσεγγίζεται σαν ένα δεξαμενόπλοιο στο οποίο προστίθεται το βάρος της ενίσχυσης και της μόνωσης των δεξαμενών φορτίου. Οπότε στην περίπτωση αυτή, θα υπολογιστεί το βάρος της ενδιαίτησης και εξοπλισμού με τις τυπικές μεθόδους και στη συνέχεια θα προστεθεί το βάρος της ενίσχυσης και της μόνωσης των δεξαμενών φορτίου, καθώς και οι διάφορες αντλίες που βρίσκονται στις δεξαμενές φορτίου (pump towers).

Το πατρικό πλοίο διαθέτει δεξαμενές μεμβρανικού τύπου της *GTT*, οι οποίες αποτελούνται από δυο στρώματα πανομοιότυπων μεταλλικών μεμβρανών υλικού Invar (primary και secondary barriers) και από τρία ανεξάρτητα στρώματα μόνωσης (insulation layers) συνολικού πάχους 530mm. Για το συγκεκριμένο πλοίο, έπειτα από μελέτη του ναυπηγείου για μείωση του ημερήσιου Boil-off rate (~στο 0.1%), αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τα εξής στρώματα μόνωσης: ένα στρώμα 92mm και ένα 230mm τα οποία αποτελούνται από plywood και υαλοβάμβακα (glasswool), και ένα στρώμα 208mm το οποίο αποτελείται από plywood και πολυουρεθάνη (PUF). Τα στρώματα από invar έχουν πάχος 0.7mm και τοποθετούνται, το πρώτο να είναι σε επαφή με το φορτίο και το δεύτερο στα 300 χιλιοστά από τη γάστρα.



Εικόνα 2.4:4 Εσωτερικό δεξαμενής LNG Carrier (Πηγή: gcaptain)

Για τον υπολογισμό του βάρους των μεταλλικών μεμβρανών λαμβάνεται υπόψη η σύσταση των υλικών τους και οι διαστάσεις τους. Το Invar όπως έχει αναφερθεί, είναι ένα κράμα νικελίου-χάλυβα το οποίο έχει πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και χρησιμοποιείται λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών του φορτίου LNG (-162°C). Η πρώτη στρώση (primary membrane) είναι σε επαφή με το φορτίο ενώ η δεύτερη (secondary membrane) εξασφαλίζει στεγανότητα σε περίπτωση διαρροής. Το ειδικό βάρος του συγκεκριμένου υλικού είναι 8.1tn/m<sup>3</sup>.

Έτσι, από το σχέδιο της μέσης τομής είναι δυνατό, επειδή είναι πολύ μικρό το πάχος να θεωρηθεί ότι το μήκος της περιφέρειας αυτής της επιφάνειας, πολλαπλασιασμένο με το πάχος δίνει την επιφάνεια της ενίσχυσης. Αν πολλαπλασιαστεί επί το μήκος της δεξαμενής που λαμβάνεται από το σχέδιο γενικής διάταξης, προσδιορίζεται ο όγκος της μιας μεμβράνης της ενίσχυσης ( $V_{length} (m^3) = Perimeter(m) \times Length(m) \times 0.0007(m)$ ). Επίσης, υπολογίζονται στην αρχή και στο τέλος της δεξαμενής οι εγκάρσιες επιφάνειες και κατά συνέπεια ο όγκος ( $V_{closings} (m^3) = Area(m^2) \times 0.0007(m)$ ), ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με το ειδικό βάρος του Invar, δίνει το βάρος της μεταλλικής αυτής ενίσχυσης ( $Mass(tn) = V(m^3) \times \gamma(tn/m^3)$ ).

Αυτά ισχύουν για τις δεξαμενές No.4,3 και 2 που έχουν ίδια γεωμετρία και διαφέρουν μόνο ως προς το μήκος τους. Για την δεξαμενή No. 1 υπολογίζουμε τα αντίστοιχα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν στο τέλος και στην αρχή της δεξαμενής (δηλ. στο

frame 116 και 126 αντίστοιχα). Τα μεγέθη του frame 116 είναι όμοια με αυτά των άλλων δεξαμενών που έχουν ήδη υπολογιστεί. Αυτά του frame 126 υπολογίζονται από το σχέδιο γενικής διάταξης. Ακολουθώντας, λόγω της γραμμικότητας που ακολουθεί το πάχος της δεξαμενής No. 1 κατά το μήκος, για να υπολογίσουμε τον όγκο  $V_{length}$  παίρνουμε τον μέσο όρο των περιμέτρων στην αρχή και στο τέλος της δεξαμενής και τον πολλαπλασιάζουμε επί το μήκος και το πάχος .

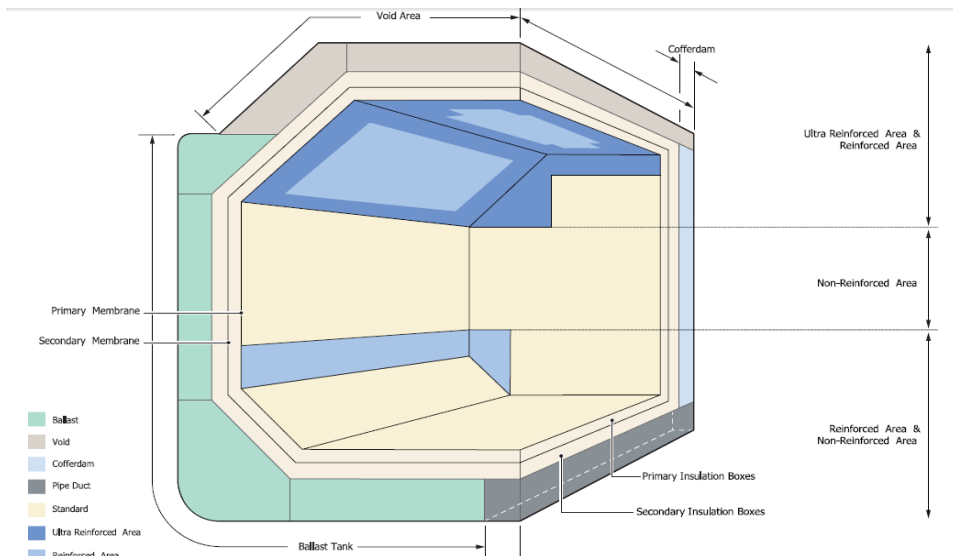
<b>Tank No. 4</b>	<b>Perimeter (m)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>Length</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Secondary Barrier (invar)</b>	116.36	988.13	1.38	4.20	5.59	8.10	45.25
<b>Primary Barrier (invar)</b>	114.83	952.85	1.33	4.15	5.48	8.10	44.40
<b>Tanks No.2,3</b>	<b>Perimeter (m)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>Length</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Secondary Barrier (invar)</b>	116.36	988.13	1.38	4.11	5.49	8.10	88.91
<b>Primary Barrier (invar)</b>	114.83	952.85	1.33	4.05	5.39	8.10	87.24
<b>Tank No.1</b>	<b>Perimeter at frame 126 (m)</b>	<b>Area at frame 126 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>Length</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Secondary Barrier (invar)</b>	79.38	473.47	1.02	2.30	3.33	8.10	26.93
<b>Primary Barrier (invar)</b>	77.85	431.16	0.97	2.27	3.23	8.10	26.20
						<b>Invar<sub>TOTAL</sub></b>	<b>318.94</b>

Πίνακας 2.4:4 Υπολογισμός βάρους μεταλλικής ενίσχυσης δεξαμενών φορτίου

Μήκος tank No. 4	51.6 m
Μήκος tank No.3,2	50.4 m
Μήκος tank No. 1	33.6 m

Ομοίως, υπολογίζουμε το βάρος των μονώσεων που αποτελούνται από plywood-glasswool-PUF. Το plywood είναι από σημύδα (birch) και έχει ειδικό βάρος 735 kg/m<sup>3</sup>. Η πολυουρεθάνη έχει ειδικό βάρος 130 kg/m<sup>3</sup>, ενώ ο υαλοβάμβακας 35 kg/m<sup>3</sup><sup>i</sup>. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η μόνωση δεν είναι ομοιόμορφη παντού, αλλά υπάρχουν περιοχές που είναι πιο ενισχυμένες (Reinforced και ultra-Reinforced Areas). Η ανάλυση για την εύρεση των ποσοστών της κάθε περιοχής στο σύνολο του συστήματος έγινε με μοντελοποίηση της εικόνας 7 με τη βοήθεια του "Autocad".

<sup>i</sup> Πληροφορίες από το Ναυπηγείο

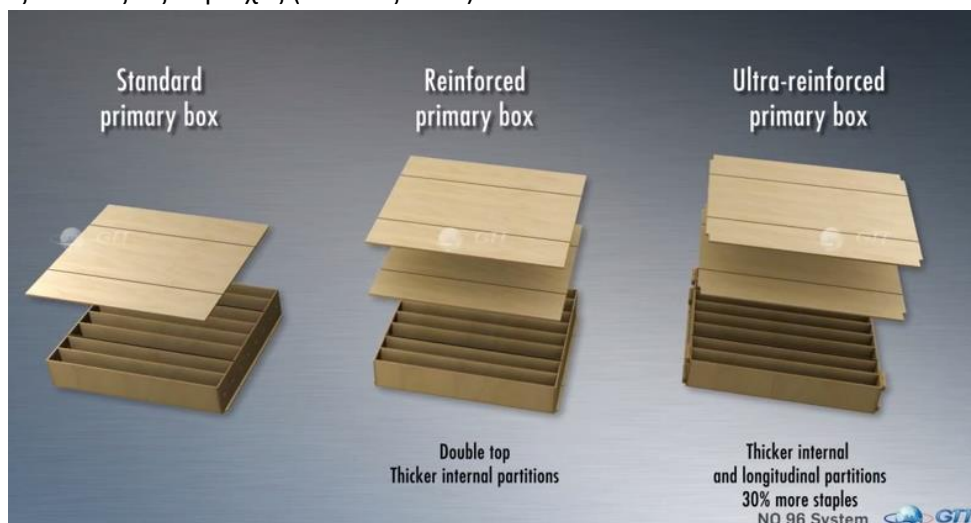


Εικόνα 2.4:5 Περιοχές του συστήματος μόνωσης του πατρικού πλοίου με επιπλέον ενίσχυση

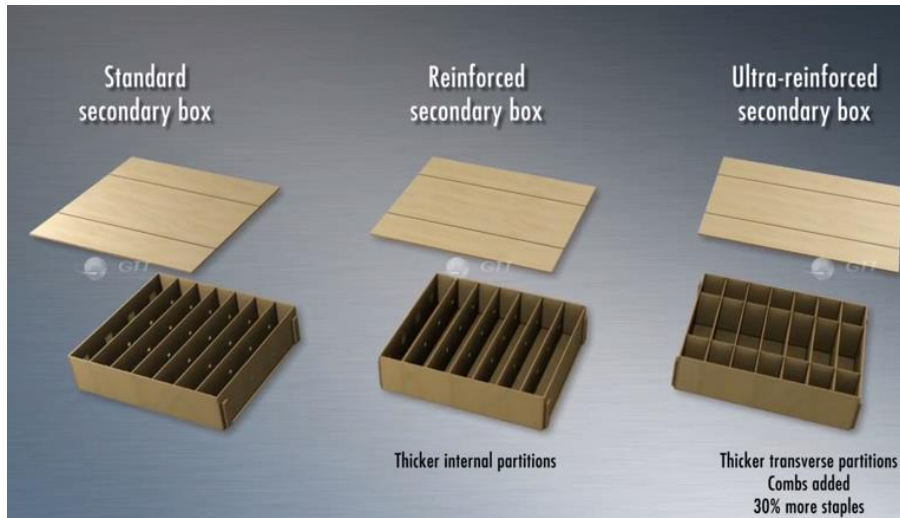
Standard areas	63%
Reinforced areas	25%
Ultra-Reinforced areas	12%

Πίνακας 2.4:5 Ποσοστό κάθε περιοχής στο σύνολο του συστήματος μόνωσης

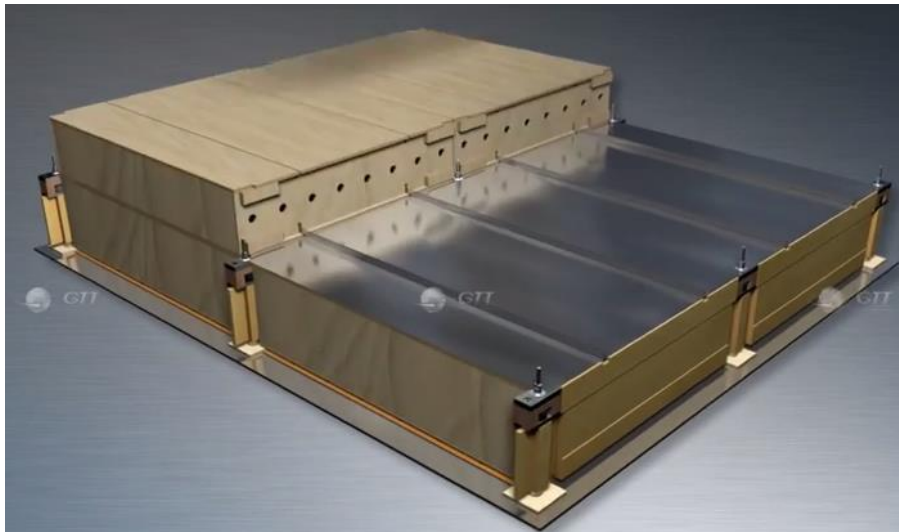
Για να υπολογίσουμε όμως το ειδικό βάρος της κάθε μιας από τις τρεις στρώσεις μόνωσης η οποία αποτελείται από δυο υλικά κάθε φορά (είτε plywood-glasswool είτε plywood-PUF), χρειάζεται να μοντελοποιήσουμε τα “κουτιά” (boxes) ώστε να δούμε σε ποια αναλογία βρίσκεται το καθένα από τα δυο υλικά στη κάθε στρώση. Τα κουτιά διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και έτσι πρέπει να γίνει μοντελοποίηση για όλες τις στρώσεις σε όλες τις περιοχές (Πίνακας 2.4:6).



Εικόνα 2.4:6 Δομή «κουτιών» της primary insulation layer και στις τρεις περιοχές (standard, Reinforced, Ultra-Reinforced Areas) (Πηγή: GTT)



Εικόνα 2.4:7 Δομή «κουτιών» της secondary insulation layer και στις τρεις περιοχές (standard, Reinforced, Ultra-Reinforced Areas) (Πηγή: GTT)



Εικόνα 2.4:8 Διάταξη συστήματος της GTT (Πηγή: GTT)

<i>In Standard Areas</i>			<i>In Reinforced Areas</i>			<i>In Ultra-Reinforced Areas</i>		
<b>secondary box</b>			<b>secondary box</b>			<b>secondary box</b>		
layer πάχους 0.208m			layer πάχους 0.208m			layer πάχους 0.208m		
plywood	20.70%	255.24	plywood	22.10%	263.71	plywood	22.50%	266.13
PUF	79.30%	kg/m <sup>3</sup>	PUF	77.900%	kg/m <sup>3</sup>	PUF	77.500%	kg/m <sup>3</sup>
layer πάχους 0.092m			layer πάχους 0.092m			layer πάχους 0.092m		
plywood	22%	189.0	plywood	23%	198.8	plywood	24%	201.6
Glasswool	78%	kg/m <sup>3</sup>	Glasswool	77%	kg/m <sup>3</sup>	Glasswool	76%	kg/m <sup>3</sup>
<b>primary box</b>			<b>primary box</b>			<b>primary box</b>		
plywood	21.90%	188.3	plywood	26.40%	219.8	plywood	28.70%	235.9
Glasswool	78.10%	kg/m <sup>3</sup>	Glasswool	73.60%	kg/m <sup>3</sup>	Glasswool	71.30%	kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 2.4:6 Ειδικό βάρος της κάθε στρώσης σε κάθε περιοχή

Λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα θα υπολογιστούν τα βάρη της κάθε στρώσης σε όλες τις δεξαμενές. Συγκεκριμένα για τις δεξαμενές Νο. 4,3 και 2 η διαδικασία είναι όμοια με την διαδικασία που ακολουθήθηκε και στον υπολογισμό της μεταλλικής μόνωσης, μόνο που επειδή εδώ το πάχος της μόνωσης είναι σημαντικό βρίσκουμε την εγκάρσια επιφάνεια που μας ενδιαφέρει κάθε φορά, με την εντολή "Area" του "Autocad".

<b>Tank No. 4</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>Lenght</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Layer 0.208m</b>	24.45	385.29	1261.62	1646.91	0.259	425.99
<b>Layer 0.092m</b>	10.83	170.42	558.83	729.25	0.193	140.72
<b>Layer 0.23m</b>	26.59	426.04	1372.04	1798.09	0.202	363.01
<b>Tanks No.2,3</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>Lenght</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Layer 0.208m</b>	24.45	385.29	1232.28	1617.57	0.259	836.80
<b>Layer 0.092m</b>	10.83	170.42	545.83	716.25	0.193	276.42
<b>Layer 0.23m</b>	26.59	426.04	1340.14	1766.18	0.202	713.14

Πίνακας 2.4:7 Υπολογισμός βάρους σύνθετης μόνωσης δεξαμενών Νο. 4,3,2

Αναλυτικά, το ειδικό βάρος, γ, προκύπτει π.χ για το layer 0.208m :

$$\begin{aligned} \gamma_{layer\ 0.208m} &= [255.24\ \text{kg/m}^3 \cdot 63\%] + [263.71\ \text{kg/m}^3 \cdot 25\%] + \\ &\quad + [266.13\ \text{kg/m}^3 \cdot 12\%] \\ \gamma_{layer\ 0.208m} &= 259\ \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

Τελικά προκύπτει για τη δεξαμενή Νο.1,

	<b>Tank No. 1</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>closings</sub> (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Frame 116</b>	<b>Layer 0.208m</b>	24.45	192.65
	<b>Layer 0.092m</b>	10.83	85.21
	<b>Layer 0.23m</b>	26.59	213.02

<b>Frame 126</b>	<b>Layer 0.208m</b>	16.71	89.68
	<b>Layer 0.092m</b>	7.46	39.67
	<b>ply 0.23m</b>	18.08	99.17

<b>Tank No. 1</b>	<b>V<sub>Lenght</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mass (tn)</b>
<b>Layer 0.208m</b>	691.49	973.81	0.259	251.89
<b>Layer 0.092m</b>	307.27	432.15	0.193	83.39
<b>Layer 0.23m</b>	750.46	1062.64	0.202	214.53

Πίνακας 2.4:8 Υπολογισμός βάρους σύνθετης μόνωσης δεξαμενής No. 1

Το συνολικό βάρος για τις τρεις σύνθετες στρώσεις μόνωσης είναι **Insulation<sub>TOTAL</sub> = 3305.9 t**

Άρα το συνολικό βάρος μόνωσης-ενίσχυσης θα είναι **Invar<sub>TOTAL</sub> + Insulation<sub>TOTAL</sub> = 3624.8 t**

Στο βάρος αυτό θα προστεθεί και το βάρος των πύργων αντλιών (rump towers). Ο κάθε πύργος ζυγίζει περίπου 40 tn. Υπάρχει ένας πύργος σε κάθε δεξαμενή.

Συμπερασματικά, το βάρος της πρόσθετης ενδιαίτησης εξοπλισμού λόγω των δεξαμενών φορτίου θα είναι:

$$\mathbf{Tanks_{TOTAL} = 3784.8 \text{ tn} = W_{OT}^*}$$

- Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού με τη μεθοδο συντελεστών

Στη μέθοδο αυτή του βιβλίου [1a], σελ.256, το  $W_{OT}$  χωρίζεται σε υποομάδες για τις οποίες δίνεται το ειδικό βάρος. Το άθροισμα των ειδικών βαρών των υποομάδων δίνει το συνολικό ειδικό βάρος ( $w_{OT}$ ) του  $W_{OT}$ . Πολλαπλασιάζοντας με LBD το συνολικό ειδικό βάρος ( $w_{OT}$ ) έχουμε μία εκτίμηση για το  $W_{OT}$ . Παρουσιάζεται ο Πίνακας 2.4:9 με τις υποομάδες και τα ειδικά βάρη τους.



Ομάδα	kg/m <sup>3</sup>
I	0.5
II <sub>1</sub>	0
II <sub>2</sub>	1
III	1
IV	2.5
V	1.5
VI	0
VII	0.3
VIII <sub>1</sub>	0
VIII <sub>2</sub>	1.5
IX	1
<b>w<sub>OT</sub></b>	<b>9.3</b>

Πίνακας 2.4:9 Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών για δεξαμενόπλοιο (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Συνεπώς το  $W_{OT}$  του πατρικού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W_{OT} = w_{OT} \cdot L \cdot B \cdot D + W_{OT}^* = 9.3 \cdot 283.2 \cdot 44 \cdot 26 + 3784.8 \rightarrow W_{OT} = 6797.8 [t]$$

- Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού με Προσεγγιστικούς τύπους  
Από το βιβλίο [1a], σελ. 257, ισχύει η εξίσωση:

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

Ο  $K_{OT}$  είναι ένας συντελεστής του οποίου η τιμή δίδεται  $0.17 t/m^2$  για δεξαμενόπλοια μήκους 300 m και  $0.180 t/m^2$  για δεξαμενόπλοια μήκους 150 m. Επομένως με γραμμ. παρεμβολή για μήκος 283.2 m η τιμή του συντελεστή προκύπτει  $K_{OT} = 0.182 t/m^2$ , οπότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B + W_{OT}^* = 0.182 \cdot 283.2 \cdot 44 + 3784.8 \rightarrow W_{OT} = 6056.7[t]$$

- Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού με τη μεθοδο *Schneekluth*

Σε αυτή τη μέθοδο του βιβλίου [1a], σελ.263, χωρίζεται το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε 4 υποομάδες: I. Καλύμματα στομιών κυτών, II. Φορτοεκφορτωτικά μέσα, III. Ενδιαίτηση και IV. Λοιπά βάρη.

I. Καλύμματα στομιών κυτών: Δεν υπάρχουν στόμια. Επομένως,

$$W_I = 0 [t]$$

II. Φορτοεκφορτωτικά μέσα: Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει φορτωτήρες, βαρούλκα φορτωτήρων και γερανούς.

Το πατρικό πλοίο διαθέτει δυο περιστρεφόμενους ελαφρούς φορτωτήρες των 3tn ακτίνας 16.5 m, ένα 5tn με ακτίνα 8m και δυο 10tn ακτίνας 24m. Για τους γερανούς 3tn και 5tn το βάρος προκύπτει από τον Πίνακα 2.4:10, ενώ για τους δυο των 10tn από τον Πίνακα 2.4:11, με γραμμική παρεμβολή.

Μέγιστος βάρος ανύψωσης (tn)	Μέγιστος άνοιγμα (m)	Ύψος κατασκευής (m)	Βάρος γερανού (tn)
3	16.5	4	10
5	8	3.5	10
10	24	8	25.2

Για τους φορτωτήρες έχουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Μέγιστο βάρος ανύψωσης [t]	Μέγιστο άνοιγμα [m]	Ύψος κατασκευής [m]	Βάρος γερανού [t]
1	10	3,7	10
2	10	3.7 ÷ 4.3	7 ÷ 11
	14	4.3 ÷ 5.0	8 ÷ 13
3	10	3.7 ÷ 4.5	8 ÷ 11
	16	4.3 ÷ 5.0	10 ÷ 15
5	10	3.7 ÷ 5.1	10 ÷ 15
	16	4.7 ÷ 6.3	13 ÷ 16
7.5	14.5	5.9	20
	16	6.5	21

Πίνακας 2.4:10 Ενδεικτικά βάρη φορτοεκφορτωτικών (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Max. load (t)	Weight (t) at max. working radius			
	15 m	20 m	25 m	30 m
10	18	22	26	
15	24	28	34	
20		32	38	45
25		38	44	54
30		42	48	57
35		46	52	63

Πίνακας 2.4:11 Ενδεικτικά βάρη φορτοεκφορτωτικών (Πηγή: Schneekluth & Bertram 1998)

Επομένως, το βάρος των φορτοεκφορτωτικών μέσων προκύπτει:

$$W_{II} = 80.4 [t]$$

III. **Ενδιαίτηση:** Η ομάδα αυτή αφορά το χώρο ενδιαίτησης του πληρώματος. Όλα τα βάρη, που περιλαμβάνονται στην ομάδα αυτή, μπορούν να υπολογισθούν μέσω του αντίστοιχου όγκου ενδιαίτησης.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των υπερστεγασμάτων ενδιαίτησης του πατρικού πλοίου:

Υπερστεγάσματα	h (m)	l (m)	b (m)	V (m <sup>3</sup> )
UPPER	3.48	18.30	30.75	1959.97
A	3.20	18.40	30.75	1810.56
B	3.00	18.30	30.75	1688.18
C	3.00	18.30	30.75	1688.18
D	3.00	18.30	30.75	1688.18
NAV.BRI.	3.00	AREA = 275.78		827.34
<b>Σύνολο</b>				<b>9662.40</b>

Πίνακας 2.4:12 Διαστάσεις υπερστεγασμάτων χώρων ενδιαίτησης

Για δεξαμενόπλοια το ογκομετρικό βάρος λαμβάνεται ίσο με  $70 \text{ kp/m}^3$  (βιβλίο [1a], σελ. 267).

Επομένως το βάρος των ενδιαιτήσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{III} = 70 \cdot 9662.4 \cdot 9.81 = 6635170 \text{ [N]} = 677 \text{ [t]}$$

IV. **Λοιπά βάρη:** Στην ομάδα αυτή ανήκουν άγκυρες, εγκατάσταση πηδαλίου, συστήματα πυρόσβεσης-πυρασφάλειας κλπ. Θα χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος προσεγγιστικός τύπος (σελ. 268):

$$W_{IV} = (L \cdot B \cdot D)^{2/3} \cdot C_1, \text{ όπου } C_1 = 0.18 \div 0.26$$

Επομένως για το πατρικό πλοίο υπολογίζουμε:

$$W_{IV} = (283.2 \cdot 44 \cdot 26)^{2/3} \cdot 0.22 = 1037.8 \text{ [t]}$$

Τελικά το συνολικό βάρος εξοπλισμού κατά Schneekluth για το πατρικό πλοίο υπολογίζεται ως:

$$W_{OT} = W_I + W_{II} + W_{III} + W_{IV} + W_{OT}^* = 0 + 80.4 + 677 + 1037.8 + 3784.8 = 5579.6 \text{ [t]}$$

**Συγκεντρωτικός πίνακας**

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Συντελεστές	6798
Προσεγγιστικοί Τύποι	6057
Ομάδες βαρών Schneekluth	5580

Το  $W_{OT}$  θα υπολογιστεί από το μέσο όρο των τριών μεθόδων.

$$W_{OT} = 6145 [t]$$

**2.4.1.3 Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης ( $W_M$ )**

- **Διαγράμματα**

Από το διάγραμμα στο βιβλίο [1b]<sup>i</sup>, σ. 90, θα βρούμε ένα ειδικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης με βάση την ισχύ πρόωσης για δεξαμενόπλοια με μεσόστροφες μηχανές. Έτσι για ισχύ πρόωσης  $P_B = 45862.2 [HP]$  βρίσκουμε ειδικό βάρος ίσο με  $w_M = 60 Kg/HP$ . Οπότε το  $W_M$  υπολογίζεται ως εξής:

$$W_M = \frac{w_M \cdot P_B}{1000} = \frac{60 \cdot 45862.2}{1000} \Rightarrow W_M = 2752 [t]$$

- **Τυποι Watson – Gilfillan**

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο βιβλίο [1a], «Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης», Α. Παπανικολάου, Τεύχος 1, σ. 272, σύμφωνα με την εξίσωση:

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

Επιλέγουμε την τιμή του συντελεστή  $C_{MD} = 0.21$  (μεσόστροφες diesel) και η ισχύς του πατρικού είναι  $P_B = 34200 [kW]$ , συνεπώς η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$W_M = 0.21 \cdot 34200^{0.89} \Rightarrow W_M = 2278 [t]$$

<sup>i</sup> Βιβλίο [1b]: «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι, Συλλογή Βοηθημάτων», Α. Παπανικολάου, Κ. Αναστασόπουλος

▪ **Εμπειρικοί Συντελεστές**

Στη μέθοδο με τους εμπειρικούς συντελεστές του βιβλίου [1b], σελ.88, το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης υποδιαιρείται σε τρεις υποομάδες  $W_{MR}$ ,  $W_{MS}$ ,  $W_{MM}$ , το άθροισμα των οποίων μας δίνει το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης. Ακόμα η μέθοδος με τους συντελεστές απαιτεί να γνωρίζουμε την ισχύ στον άξονα του πλοίου (SHP). Έτσι υποθέτουμε ένα συντελεστή  $\eta_M = 0.98$  ώστε να την υπολογίσουμε:

$$SHP = \eta_M \cdot P_B = 0.98 \cdot 45862.2 \Rightarrow SHP = 44945 [HP]$$

Για την κάθε υποομάδα ισχύει:

- $W_{MR} = w_1 \cdot LBD$
- $W_{MS} = w_3 \cdot SHP$
- $W_{MM} = w_4 \cdot SHP$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$w_1$	4	kp/m <sup>3</sup>	→	$W_{MR}$	1295923	kp	→	1296	t
$w_3$	4	kp/SHP	→	$W_{MS}$	179779.8	kp	→	179.8	t
$w_4$	22.5	kp/SHP	→	$W_{MM}$	1011262	kp	→	1011	t

Τελικά από τον πίνακα προκύπτει:

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR} \rightarrow W_M = 2487 [t]$$

**Συγκεντρωτικός πίνακας**

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Διαγράμματα	2752
Watson – Gilfillan	2278
Συντελεστές	2487

Όπως φαίνεται, τα αποτελέσματα των 3 μεθόδων ισαπέχουν μεταξύ τους επομένως το  $W_M$  θα υπολογιστεί ως ο μέσος όρος όλων των μεθόδων.

$$W_M = 2505 [t]$$

**2.4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα, βάρος LS, συντελεστής διόρθωσης.**

Τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας για το πατρικό πλοίο συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση (t)	%
$W_M$	2505	8
$W_{OT}$	6145	19
$W_{ST}$	23223	73
<b>LS</b>	<b>31873</b>	<b>100</b>

Σύμφωνα με το Booklet του πατρικού πλοίου το πραγματικό LS είναι 32541.9 t. Έτσι μπορούμε να βγάλουμε τον συντελεστή διόρθωσης της όλης διαδικασίας:

$$\lambda_{LS} = \frac{LS_{Calc}}{LS_{Real}} = \frac{31873}{32541.9} \rightarrow \lambda_{LS} = 0.9795$$

Σημείωση: Στο σημείο αυτό παρατηρούμε ότι το βάρος της ενδιαίτησης και εξοπλισμού,  $W_{OT}$ , στο σύνολο του άφορτου σκάφους διακατέχει μεγάλο ποσοστό σε σχέση με ένα απλό δεξαμενόπλοιο. Το γεγονός αυτό οφείλεται προφανώς στο έξτρα βάρος για την μόνωση και ενίσχυση των δεξαμενών φορτίου.

### 2.4.3 Υπολογισμός βαρών για το υπό μελέτη πλοίο

Για το υπό μελέτη πλοίο θα ακολουθήσουμε ακριβώς την ίδια διαδικασία και θα λάβουμε υπ' όψιν μόνο τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για το πατρικό πλοίο. Στο τέλος της διαδικασίας βάσει του συντελεστή διόρθωσης θα βρεθεί το βάρος του υπο μελέτη πλοίου.

#### 2.4.3.1 Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής ( $W_{ST}$ )

- Μέθοδος Watson

Σύμφωνα με την μέθοδο Watson του βιβλίου [1a], σελ. 219, το  $W_{ST}$  υπολογίζεται από την εξίσωση κατά Lloyd's Register:

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

όπου:  $N_1, h_{1i}, l_{1i}$ : αριθμός, ύψος και μήκος των υπερστεγασμάτων,

$N_2, h_{2i}, l_{2i}$ : αριθμός, ύψος και μήκος των υπερκατασκευών.

Έχοντας προμηθευτεί το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου, γίνεται η αναγωγή στην κλίμακα μέσω του προγράμματος "Autocad". Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν χώροι που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως υπερκατασκευές ( $B_{SS} \geq 0.92B$ ).

Για τη μέθοδο Watson θα χρησιμοποιηθούν ως υπερστεγάσματα, τα υπερστεγάσματα του πατρικού πλοίου.

Οπότε έχουμε τον εξής πίνακα στον οποίο θα υπολογιστούν τα δύο αθροίσματα της παραπάνω εξίσωσης.

Υπερστευ	h <sub>1i</sub> (m)	l <sub>1i</sub> (m)	h <sub>1i</sub> x l <sub>1i</sub>
<b>DECKS</b>			
UPPER	3.483	18.3	63.74
A	3.2	18.4	58.88
B	3	18.3	54.90
C	3	18.3	54.90
D	3	18.3	54.90
NAV. BRI.	3	19.4	58.20
<b>Engine Casing ,Cofferdam, Emerg. gen. r. etc.</b>			
UPPER	3.546	15.23	54.01
A	4.45	15.23	67.77
B	4.8	15.23	73.10
C	4	15.23	60.92
D	5.051	13.865	70.03
<b>In Cargo Space</b>			
Cargo comp. room	5.7	27.7	157.89
Cargo gear locker	4	13.6	54.4
Dry powder st.	3.2	10.5	33.6
Cargo space above main deck	6.675	200	1335
			<b>2252.24</b>
Υπερκατασκευές	h <sub>2i</sub> (m)	l <sub>2i</sub> (m)	h x l
	0	0	0

$$= \sum_{i=1}^{N1} h_{1i} L_{1i}$$

$$= \sum_{i=1}^{N2} h_{2i} L_{2i}$$

Πίνακας 2.4:13 Διαστάσεις υπερστεγμασμάτων πατρικού πλοίου

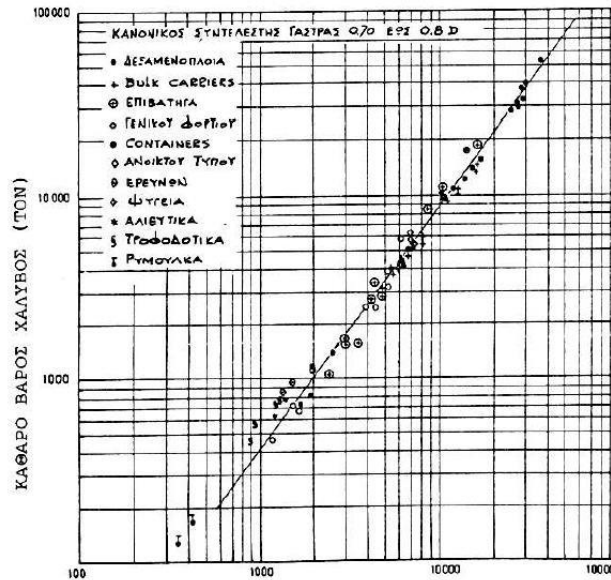
Οπότε η εξίσωση γράφεται:

$$E_N = 283.2 \cdot (46 + 11.7) + 0.8 \cdot 283.2 \cdot (26 - 11.7) + 0.85 \cdot 2252.24 + 0.75 \cdot 0 \rightarrow$$

$$E_N = 21495$$

Ακολούθως μέσω του Διάγραμμα 2:2 της μεθοδολογίας Watson και με δεδομένο δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  προσδιορίζεται ο αριθμός  $W_{ST}^* = 23500 t$ . Σε αυτό το νούμερο πρέπει να ελέγξουμε αν θα υπάρξει διόρθωση λόγω του  $C_B$ . Υπολογίζουμε το  $C_B$  στο 80% του D σύμφωνα με την εξίσωση:

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



Διάγραμμα 2:2 Υπολογισμός του  $W_{ST}^*$  βάσει του δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  της μεθόδου Watson (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Όπου,

$$C_{B1} = C_B \left( \frac{D}{T} \right)^{\left( \frac{C_{WL}}{C_B} - 1 \right)} = 0.758 \left( \frac{26}{11.7} \right)^{\left( \frac{0.837}{0.758} - 1 \right)} = 0.824$$

Άρα,

$$C_{B1}^* = 0.824 + \frac{(1 - 0.824)(0.8 \cdot 26 - 11.7)}{3 \cdot 11.7} \rightarrow C_{B1}^* = 0.869 \neq 0.700$$

Άρα θα πρέπει να διορθώσουμε την τιμή του  $W_{ST}^*$  που βρήκαμε από το διάγραμμα σύμφωνα με την εξίσωση:

$$W'_{ST} = W_{ST}^* \cdot (1 + 0.05(C_{B1}^* - 0.7)) = 23500 \cdot (1 + 0.05 \cdot (0.869 - 0.7)) \rightarrow$$

$$\rightarrow W'_{ST} = 23699 [t]$$

Επειδή στο πλοίο θα χρησιμοποιηθεί χάλυβας υψηλής αντοχής την παραπάνω εκτίμηση θα την μειώσουμε κατά 5% έως 7% (επιλέγω 6%). Έτσι έχουμε:

$$W_{ST} = 22277 [t]$$



- **Μέθοδοι Schneekluth και Müller-Koster**

Η μέθοδος Schneekluth που περιγράφεται στο βιβλίο [1a], σελ. 228, εκτιμά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{ST}'$ ). Για να υπολογίσουμε το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{SS}$ ) θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο Müller-Koster (σελ.235).

Στη μέθοδο Schneekluth υπολογίζουμε πρώτα τον όγκο κάτωθεν του ανώτερου καταστρώματος σύμφωνα με την εξίσωση:

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

όπου  $V_U$ , Ο όγκος κάτωθεν του ανώτερου καταστρώματος

$V_D$ , Ο όγκος έως το κοίλο,  $V_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD}$

$V_S$ , Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας,  $V_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2$

$V_b$ , Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος,  $V_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3$

$V_H$ , Αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών,  $V_H = \sum_i^N l_{Hi} b_{Hi} h_{Li}$

Στον όγκο  $V_U$  θα προστεθεί ο όγκος των κυτών πάνω από το ανώτερο κατάστρωμα,  $V_{UP.Cargo}$ , και θα αφαιρεθεί ο όγκος,  $V_{Stern Shape}$ , λόγω διαμόρφωσης του πρυμναίου τμήματος του πλοίου. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο γεγονός ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι για δεξαμενόπλοια και όχι για πλοία LNG.

Άρα τελικά ο ζητούμενος όγκος θα είναι:

$$V_V = V_U + V_{UP.Cargo} - V_{Stern Shape}$$

### Ο όγκος έως το κοίλο ( $V_D$ )

Επιλέγουμε συντελεστή  $C_1 = 0.25$  αφού το πατρικό έχει μικρό άνοιγμα νομέων, οπότε έχουμε:

$$C_{BD} = C_B + C_1 \frac{D - T}{T} (1 - C_B) = 0.758 + 0.25 \frac{26 - 11.7}{11.7} (1 - 0.758) \rightarrow C_{BD} = 0.832$$

$$V_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 283.2 \cdot 46 \cdot 26 \cdot 0.832 \rightarrow V_D = 281786 [m^3]$$

- **Αύξηση όγκου λόγω σιμότητας ( $V_S$ )**

Θεωρούμε ότι η σιμότητα που υπάρχει στο πατρικό είναι αμελητέα επομένως το υπο μελέτη δεν θα έχει σιμότητα.

$$V_S = 0 [m^3]$$

- **Αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος ( $\nabla_b$ )**

Ο συντελεστής  $C_3$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_3 = 0.7 \cdot C_{BD} = 0.7 \cdot 0.832 \rightarrow C_3 = 0.582$$

Η κυρτότητα του καταστρώματος θα είναι όμοια με του πατρικού,  $b = 450 \text{ mm}$ . Συνεπώς έχουμε:

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3 = 283.2 \cdot 46 \cdot 0.45 \cdot 0.582 \rightarrow \nabla_b = 3414 \text{ m}^3$$

- **Αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών ( $\nabla_H$ )**

Δεν θα υπάρχουν στόμια, συνεπώς,

$$\nabla_H = 0 \text{ [m}^3\text{]}$$

Οπότε ο όγκος κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος ( $\nabla_U$ ) είναι:

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 281786 + 0 + 3414 + 0 \rightarrow \nabla_U = 285200 \text{ m}^3$$

- **Αύξηση όγκου λόγω όγκου κυτών πάνω από το ανώτερο κατάστρωμα ( $\nabla_{UP.Cargo}$ )**

$$\nabla_{UP.Cargo} = \nabla_{UP.Cargo1} + \nabla_{UP.Cargo2}$$

Εφόσον το υπό μελέτη πλοίο διαφέρει μόνο ως προς το πλάτος, όσον αφορά τις κύριες διαστάσεις σε σχέση με το πατρικό και θεωρώντας ότι τα διπλά τοιχώματα θα έχουν το ίδιο πλάτος με του πατρικού, για τον υπολογισμό του  $\nabla_{UP.Cargo}$  γίνεται προσαύξηση κατά 2m στην κάθε διάσταση που αφορά το πλάτος.

Ο όγκος αυτός προκύπτει:

$$\nabla_{UP.Cargo} = \nabla_{UP.Cargo1} + \nabla_{UP.Cargo2}$$

$$\nabla_{UP.Cargo1} = l_1 \cdot A_1 = 163.2 \cdot (37.2 + 2 + 27.55 + 2) \cdot \left( \frac{32.8 - 26.125}{2} \right) = 37447 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \nabla_{UP.Cargo2} &= l_2 \cdot \frac{A_1 + A_2}{2} = 36.4 \cdot \left[ A_1 + (7.5 + 2 + 17.24 + 2) \cdot \left( \frac{32.8 - 26.125}{2} \right) \right] \\ &= 5922 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Τελικά,

$$\nabla_{UP.Cargo} = 43369 \text{ m}^3$$

- **Μείωση όγκου λόγω διαμόρφωσης πρύμνης ( $\nabla_{\text{STERN SHAPE}}$ )**

Για τον προσδιορισμό του  $\nabla_{\text{Stern Shape}}$  του υπό μελέτη πλοίου παίρνουμε τον όγκο που υπολογίστηκε για το πατρικό, και το πολλαπλασιάζουμε με τον συντελεστή πλάτους.

$$\nabla_{\text{Stern Shape}} = \text{Area} \cdot h = 575.15 \cdot (46/44) \cdot 5.215 = 3098 \text{ m}^3$$

Τελικά,

$$\nabla_V = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H + \nabla_{UP.Cargo} - \nabla_{\text{Stern Shape}} = 325470 \text{ m}^3$$

Το  $W_{ST'}$  χωρίς τις υπερκατασκευές δίδεται από τον πιο κάτω τύπο,

$$W_{ST'} = \nabla_V \times C_{ST'} \times |1+0.033(L/D-12)| \times |1+0.06(n-D/D_0)| \times |1+0.05(1.85-B/D)| \times |1+0.2(T/D-0.85)| \times |0.92 + (1 - C_{BD})^2| \times |1+0.75 C_{BD}(C_M-0.98)|$$

Όμως ο συντελεστής  $C_{ST'}$  δίδεται από την εξίσωση  $C'_{St} = [0.112 + L[m] \cdot 10^{-4}] \cdot (0.95 \div 1.05)$  για περιοχή μηκών 150 ÷ 350 m. Οπότε με γραμμική παρεμβολή λαμβάνεται :

$$C'_{St} = [0.112 + 283.2 \cdot 10^{-4}] \cdot (1.0166) = 1.1408 \text{ [tn/m}^3\text{]}$$

Οπότε αντικαθιστώντας έχουμε:

$$W_{ST'} = 325470 \text{ [m}^3\text{]} \times 0.1408 \text{ [tn/m}^3\text{]} \times |1+0.033((283.2/26)-12)| \times |1+0.06(1-(26/4))| \times |1+0.05 \cdot (1.85-46/26)| \times |1+0.2((11.7/26)-0.85)| \times |0.92+(1-0.832)^2| \times |1+0.75 \cdot 0.832 \cdot (0.992-0.98)| = 26103 \text{ t}$$

Επειδή το υπό μελέτη πλοίο θα έχει βολβοειδή πλώρη θα προσαιξήσουμε το  $W_{ST'}$  κατά 0.55% (0.4%-0,7%)(αφού η συγκεκριμένη μέθοδος αναφέρεται σε πλοία χωρίς βολβό). Οπότε,

$$W_{ST'} = 26247 \text{ t.}$$

Για το βάρος των υπερκατασκευών ( $W_{SS}$ ) θα ακολουθήσουμε την μέθοδο Müller-Koster. Με τη μέθοδο αυτή, υπολογίζονται τα βάρη όλων των, υπερκείμενων του κυρίου καταστρώματος, κατασκευών. Η μέθοδος διακρίνει τις κατασκευές σε δύο κατηγορίες, τις υπερκατασκευές και τα υπερστεγάσματα.

Το υπό μελέτη πλοίο θα έχει ακριβώς τα ίδια υπερστεγάσματα. Συνεπώς το  $W_{SS}$  θα είναι ίδιο με του πατρικού:

$$W_{SS} = 424 \text{ t}$$

Παρόμοια με το πατρικό πλοίο υποθέτουμε ότι θα χρησιμοποιηθεί χάλυβας υψηλής αντοχής. Επομένως θα μειώσουμε κατά 6% την εκτίμηση για το  $W'_{ST}$ . Συνεπώς έχουμε:

Το συνολικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής προκύπτει:

$$W'_{STtotal} = 0,94 \cdot (W'_{ST} + W_{SS}) = 0,94 \cdot (26247 + 1073) \rightarrow W'_{STtotal} = 25681[t]$$

#### Συγκεντρωτικός πίνακας

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Watson	22277
Schneekluth & Müller-Koster	25681

Το  $W_{ST}$  θα υπολογιστεί ως ο μέσος όρος των 2 μεθόδων.

$$W_{ST} = 23979 [t]$$

#### 2.4.3.2 Βάρος ενδαιίτησης και εξοπλισμού ( $W_{OT}$ )

- **Βάρος μόνωσης-ενίσχυσης δεξαμενών**

Το βάρος μόνωσης-ενίσχυσης των δεξαμενών για το υπό μελέτη πλοίο θα προσεγγισθεί από αυτό που υπολογίστηκε αναλυτικά στο πατρικό βάσει ενός συντελεστή διαστάσεων. Όπως προαναφέρθηκε το υπό μελέτη πλοίο διαφέρει από το πατρικό μόνο ως προς το πλάτος όσον αφορά τις κύριες διαστάσεις. Επομένως βάσει του συντελεστή πλάτους το ζητούμενο βάρος για το υπό μελέτη πλοίο προκύπτει:

$$W_{OT}^* = (\text{Invar}_{\text{TOTAL}} + \text{Insulation}_{\text{TOTAL}}) \cdot (B_{\text{υπο μελ.}}/B_{\text{πατρ.}}) + W_{\text{pump towers}}$$

$$\Rightarrow W_{OT}^* = 3949.6 \text{ tn}$$

- **Υπολογισμός βάρους ενδαιίτησης και εξοπλισμού με τη μεθοδο συντελεστών**

Στη μέθοδο αυτή του βιβλίου [1a], σελ.256, το  $W_{OT}$  χωρίζεται σε υποομάδες για τις οποίες δίνεται το ειδικό βάρος. Το άθροισμα των ειδικών βαρών των υποομάδων δίνει το συνολικό ειδικό βάρος ( $w_{OT}$ ) του  $W_{OT}$ . Πολλαπλασιάζοντας με LBD το συνολικό ειδικό βάρος ( $w_{OT}$ ) έχουμε μία εκτίμηση για το  $W_{OT}$ . Παρουσιάζεται ο Πίνακας 2.4:14 πάλι, με τις υποομάδες και τα ειδικά βάρη τους.

Ομάδα	kg/m <sup>3</sup>
I	0.5
II <sub>1</sub>	0
II <sub>2</sub>	1
III	1
IV	2.5
V	1.5
VI	0
VII	0.3
VIII <sub>1</sub>	0
VIII <sub>2</sub>	1.5
IX	1
<b>w<sub>OT</sub></b>	<b>9.3</b>

Πίνακας 2.4:14 Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών για δεξαμενόπλοιο (Πηγή: Παπανικολάου 2009)

Συνεπώς το  $W_{OT}$  του πατρικού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W_{OT} = w_{OT} \cdot L \cdot B \cdot D + W_{OT}^* = 9.3 \cdot 283.2 \cdot 46 \cdot 26 + 3949.6 \rightarrow W_{OT} = 7099.6 [t]$$

- Υπολογισμός θάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού με Προσεγγιστικούς τύπους

Από το βιβλίο [1a], σελ. 257, ισχύει η εξίσωση:

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

Ο  $K_{OT}$  είναι ένας συντελεστής του οποίου η τιμή δίδεται  $0.17 t/m^2$  για δεξαμενόπλοια μήκους 300 m και  $0.180 t/m^2$  για δεξαμενόπλοια μήκους 150 m. Επομένως με γραμμ. παρεμβολή για μήκος 283.2 m η τιμή του συντελεστή προκύπτει  $K_{OT} = 0.182 t/m^2$ , οπότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B + W_{OT}^* = 0.182 \cdot 283.2 \cdot 46 + 3949.6 \rightarrow W_{OT} = 6324.7[t]$$

▪ Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης και εξοπλισμού με τη μεθοδο Schneekluth

Σε αυτή τη μέθοδο του βιβλίου [1a], σελ.263, χωρίζεται το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε 4 υποομάδες: I. Καλύμματα στομιών κυτών, II. Φορτοεκφορτωτικά μέσα, III. Ενδιαίτηση και IV. Λοιπά βάρη.

I. **Καλύμματα στομιών κυτών:** Δεν θα υπάρχουν στόμια. Επομένως,

$$W_I = 0 [t]$$

II. **Φορτοεκφορτωτικά μέσα:** Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει φορτωτήρες, βαρούλκα φορτωτήρων και γερανούς. Όμοια με το πατρικό πλοίο θεωρούμε ότι το πλοίο θα διαθέτει δυο περιστρεφόμενους ελαφρούς φορτωτήρες των 3tn ακτίνας 16.5 m, ένα 5tn με ακτίνα 8m και δυο 10tn ακτίνας 24m.

Επομένως, το βάρος των φορτοεκφορτωτικών θα είναι:

$$W_{II} = 80.4 [t]$$

III. **Ενδιαίτηση:** Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των υπερστεγασμάτων του πλοίου θεωρούνται ίδιες με αυτές του πατρικού. Επομένως το βάρος των ενδιαιτήσεων ισούται με:

$$W_{III} = 677 t$$

IV. **Λοιπά βάρη:** Στην ομάδα αυτή ανήκουν άγκυρες, εγκατάσταση πηδαλίου, συστήματα πυρόσβεσης-πυρασφάλειας κλπ. Θα χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος προσεγγιστικός τύπος (σελ. 268):

$$W_{IV} = (L \cdot B \cdot D)^{2/3} \cdot C_1, \text{ όπου } C_1 = 0.18 \div 0.26$$

Επομένως για το υπό μελέτη πλοίο υπολογίζουμε:

$$W_{IV} = (283.2 \cdot 46 \cdot 26)^{2/3} \cdot 0.22 = 1069 [t]$$

Τελικά το συνολικό βάρος εξοπλισμού κατά Schneekluth για το πατρικό πλοίο υπολογίζεται ως:

$$W_{OT} = W_I + W_{II} + W_{III} + W_{IV} + W_{OT}^* = 0 + 80.4 + 677 + 1069 + 3949.6 = 5775.6 [t]$$

*Συγκεντρωτικός πίνακας*

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Συντελεστές	7100
Προσεγγιστικοί Τύποι	6325
Ομάδες βαρών Schneekluth	5776

Το  $W_{OT}$  θα υπολογιστεί από το μέσο όρο των τριών μεθόδων.

$$W_{OT} = 6400 [t]$$

### 2.4.3.3 Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης ( $W_M$ )

#### ▪ Διαγράμματα

Από το διάγραμμα στο βιβλίο [1b], σ. 90, θα βρούμε ένα ειδικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης με βάση την ισχύ πρόωσης για δεξαμενόπλοια με μεσόστροφες μηχανές. Έτσι για ισχύ πρόωσης  $P_B = 45862.2 [HP]$  βρίσκουμε ειδικό βάρος ίσο με  $w_M = 60 Kg/HP$ . Οπότε το  $W_M$  υπολογίζεται ως εξής:

$$W_M = \frac{w_M \cdot P_B}{1000} = \frac{60 \cdot 45862.2}{1000} \Rightarrow W_M = 2752 [t]$$

#### ▪ Τυποι Watson – Gilfillan

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο βιβλίο [1a], σ. 272, σύμφωνα με την εξίσωση:

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

Επιλέγουμε την τιμή του συντελεστή  $C_{MD} = 0.21$  (μεσόστροφες diesel) και η ισχύς του υπό μελέτη πλοίου είναι  $P_B = 34200 [kW]$ , συνεπώς η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$W_M = 0.21 \cdot 34200^{0.89} \Rightarrow W_M = 2278 [t]$$

#### ▪ Εμπειρικοί Συντελεστές

Στη μέθοδο με τους εμπειρικούς συντελεστές του βιβλίου [1b], σελ.88, το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης υποδιαιρείται σε τρεις υποομάδες  $W_{MR}$ ,  $W_{MS}$ ,  $W_{MM}$ , το άθροισμα των οποίων μας δίνει το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης. Ακόμα η μέθοδος με τους συντελεστές απαιτεί να γνωρίζουμε την ισχύ στον άξονα του πλοίου (SHP). Έτσι υποθέτουμε ένα συντελεστή  $\eta_M = 0.98$  ώστε να την υπολογίσουμε:

$$SHP = \eta_M \cdot P_B = 0.98 \cdot 45862.2 \Rightarrow SHP = 44945 [HP]$$

Για την κάθε υποομάδα ισχύει:

- $W_{MR} = w_1 \cdot LBD$
- $W_{MS} = w_3 \cdot SHP$
- $W_{MM} = w_4 \cdot SHP$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$w_1$	4	kp/m <sup>3</sup>	→	$W_{MR}$	1354829	kp	→	1354.8	t
$w_3$	4	kp/SHP	→	$W_{MS}$	179779.8	kp	→	179.8	t
$w_4$	22.5	kp/SHP	→	$W_{MM}$	1011262	kp	→	1011.3	t

Τελικά από τον πίνακα προκύπτει:

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR} \rightarrow W_M = 2545.9 [t]$$

### Συγκεντρωτικός πίνακας

Στον πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν:

Μέθοδος	Εκτίμηση (t)
Διαγράμματα	2752
Watson – Gilfillan	2278
Συντελεστές	2546

Όπως φαίνεται, τα αποτελέσματα των 3 μεθόδων ισαπέχουν μεταξύ τους επομένως το  $W_M$  θα υπολογιστεί ως ο μέσος όρος όλων των μεθόδων.

$$W_M = 2525 [t]$$

#### 2.4.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα, βάρος LS, συντελεστής διόρθωσης.

Τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας για το πατρικό πλοίο συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ομάδα Βάρους	Εκτίμηση (t)	%
$W_M$	2525	8
$W_{OT}$	6400	19
$W_{ST}$	23979	73
<b>LS</b>	<b>32904</b>	<b>100</b>

Το LS που υπολογίστηκε στο παραπάνω πίνακα θα το διαιρέσουμε με τον συντελεστή διόρθωσης που έχουμε από το πατρικό, έτσι έχουμε:

$$LS_{\tau\epsilon\lambda} = \frac{LS_{calc}}{\lambda_{LS}} = \frac{32904}{0.9795} \rightarrow LS_{\tau\epsilon\lambda} = 33594 t$$

#### 2.4.5 Έλεγχος βαρών $\Delta_B$ με $\Delta_T$ για το υπό μελέτη πλοίο

Σε αυτό το στάδιο της μελέτης θα γίνει ο έλεγχος του  $\Delta_B$  με το  $\Delta_T$ . Θα πρέπει πρώτα να ισχύει ότι  $\Delta_T \geq \Delta_B$  και η διαφορά τους να μην είναι μεγαλύτερη από 0.5 %. Έτσι έχουμε:

- $\Delta_B = LS + DWT = 33594 + 85000 \rightarrow \Delta_B = 118594 t$
- Από αρχικούς υπολογισμούς έχουμε:  $\Delta_T = 118836 t$

Σύμφωνα με τα παραπάνω ισχύει ότι  $\Delta_T > \Delta_B$  και επιπλέον:

$$\frac{\Delta_T - \Delta_B}{\Delta_T} \% = \frac{118836 - 118594}{118836} = 0.20\% < 0.50\%$$

Η απόκλιση κατά 0.20% είναι μέσα στα πλαίσια που έχουν οριστεί και έτσι μπορούμε να προχωρήσουμε.

Επίσης το καινούριο DWT που προκύπτει από την αναλυτική εκτίμηση του LS και το γεωμετρικό εκτόπισμα  $\Delta_T$  υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$DWT_{NEW} = \Delta_T - LS = 118836 - 33594 \rightarrow DWT_{NEW} = 85242 [t]$$



## 2.5 Ανάλυση DWT για το υπό μελέτη πλοίο

Το DWT περιλαμβάνει: το ωφέλιμο φορτίο, τα καύσιμα, το φρέσκο νερό, το ψυκτικό νερό, το τροφοδοτικό νερό, το θαλάσσιο έρμα, λοιπά εφόδια εργαλεία και ανταλλακτικά, τα τρόφιμα, το πλήρωμα και τυχόν επιβάτες με αποσκευές.

Συνοπτικά :

$$DWT = PL + W_F + W_{PR} + W_{FW} + DWT_{Const}$$

PL	→	το βάρος του ωφέλιμου φορτίου (PayLoad)
$W_F$	→	το βάρος των καυσίμων
$W_{PR}$	→	το βάρος των εφοδίων
$W_{FW}$	→	το βάρος του νερού
$DWT_{Const.}$	→	σταθερά βάρη

### 2.5.1 Βάρος Καυσίμων

Το βάρος των καυσίμων, ισούται με:

$$W_F = W_{FO} + W_{DO} + W_{LO}$$

όπου:  $W_{FO}$ : το βάρος του καυσίμου Fuel Oil

$W_{DO}$ : το βάρος του καυσίμου Diesel για τις ηλεκτρογεννήτριες

$W_{LO}$ : το βάρος των λιπαντικών

### Χρόνος ταξιδιού ( $t_1$ )

Ο χρόνος του ταξιδιού μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$t_1 = \frac{W_{FO}}{P_B \cdot b_1 \cdot C \cdot 10^{-6}}$$

όπου  $P_B$  → η ισχύς του πλοίου, σε kW

$b_1$  → η κατανάλωση της κύριας μηχανής που είναι ίση με 189 gr/kWh(από κατασκευαστή)

$C$  → συντελεστής εφεδρείας που παίρνεται ίσος με 1.2

Από το capacity plan του πατρικού πλοίου προκύπτει ότι το βάρος των δεξαμενών καυσίμου(HFOT) στο 98% πλήρωσης τους, είναι 4856.6 t. Επομένως για το υπό μελέτη πλοίο θα ισχύει:

$$W_{FO} = 4856.6 \cdot \lambda_{LBD} \rightarrow W_{FO} = 5077.4 [t]$$

Όπου το  $\lambda_{LBD}$  εμπεριέχει τους επιμέρους συντελεστές (μήκους, πλάτους, ύψους) και αφορά την αναγωγή του βάρους των δεξαμενών του πατρικού, στο υπό μελέτη πλοίο με βάσει τις διαστάσεις τους.

Γνωρίζοντας την ισχύ του υπό μελέτη πλοίου  $P_B = 34200 \text{ kW}$  και αντικαθιστώντας έχουμε:

$$t_1 = \frac{5077.4}{34200 \cdot 189 \cdot 1.2 \cdot 10^{-6}} = 655 \text{ [hr]}$$

Η ακτίνα ενέργειας υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$R = t_1 \cdot V_S$$

Αντικαθιστώντας λοιπόν τα χαρακτηριστικά του πατρικού στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$R = 655 \cdot 19 \rightarrow R = 12437 \text{ [sm]}$$

### 2.5.2 Βάρος ελαφρού καυσίμου ( $W_{DO}$ )

Για να υπολογιστεί το βάρος ελαφρού καυσίμου χρειάζεται να υπολογίσουμε την ισχύ  $P_G$  η οποία δίδεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$PeM = 100 + 0,55 \times MCR^{0,7}$$

$$P_G = (100 + 0.55 \cdot MCR^{0.7}) \cdot 1.3 = 1197 \text{ kW}$$

$$W_{DO} = P_G \cdot b_2 \cdot t_2 \cdot C \cdot 10^{-6} \cdot \eta_E$$

όπου  $b_2 \rightarrow$  η κατανάλωση των ηλεκτρογεννητριών που είναι ίση με  $190 \text{ gr/kW}\cdot\text{h}$

$t_2 \rightarrow$  ο χρόνος λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών, που υπολογίζεται ως  $1.2 \cdot t_1$  και είναι ίσος με  $786 \text{ h}$

$\eta_E \rightarrow$  συντελεστής απωλειών ηλεκτρογεννητριών, ίσος με  $0.83$

$C \rightarrow$  συντελεστής εφεδρείας που παίρνεται ίσος με  $1.2$

Αντικαθιστώντας όλα τα παραπάνω στην εξίσωση έχουμε:

$$W_{DO} = \frac{1197 \cdot 190 \cdot 786 \cdot 1.2 \cdot 10^{-6}}{0.83} \rightarrow W_{DO} = 258.3 \text{ t}$$

Απορρίπτουμε την πιο πάνω τιμή διότι θεωρείται μικρή σε σχέση με το πατρικό και επιλέγω τελικά το βάρος των καυσίμων βάσει του συντελεστή  $\lambda_{LBD}$ .

$$W_{DO} = W_{DO \text{ πατρικό}} \cdot \lambda_{LBD} = 594 \text{ t}$$

### 2.5.3 Βάρος λιπαντικών ( $W_{LO}$ )

Το  $W_{LO}$  μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$W_{LO} = 0.04 \cdot (W_{FO} + W_{DO}) = 0.04 \cdot (5077.4 + 594) \rightarrow W_{LO} = 160.1 \text{ t}$$

Απορρίπτεται επίσης, διότι διαφέρει κατά πολύ απ το πατρικό και επιλέγεται νέο βάρος για τα λιπαντικά καύσιμα βάσει του συντελεστή  $\lambda_{LBD}$ .

$$W_{LO} = W_{LO \text{ πατρικό}} \cdot \lambda_{LBD} = 231 \text{ t}$$

### 2.5.4 Βάρος νερού ( $W_{FW}$ )

Στο πατρικό πλοίο ο αριθμός μελών πληρώματος είναι 45 άτομα. Ο αριθμός αυτός θα διατηρηθεί και στο υπό μελέτη πλοίο.

Για το **φρέσκο νερό** διακρίνουμε τις εξής ποιότητες και αντίστοιχες ενδεικτικές τιμές για το ειδικό βάρος από τις σημειώσεις του μαθήματος Μελέτης Πλοίου 1.

Πόσιμο νερό: 15 kg / ανθρωπομέρα  
Νερό καθαριότητας: 200 kg / ανθρωπομέρα, για ενδειατήσεις με λουτήρες

#### Πόσιμο νερό

$$W_{DW} = \frac{15 \cdot Crew \cdot days}{1000} = \frac{15 \cdot 45 \cdot 28}{1000} = 18 \text{ t}$$

#### Νερό καθαριότητας

$$W_{CleanW} = \frac{200 \cdot Crew \cdot days}{1000} = \frac{200 \cdot 45 \cdot 28}{1000} = 252 \text{ t}$$

Επομένως το συνολικό βάρος για το Fresh Water είναι το ακόλουθο:

$$W_{FW} = W_{DW} + W_{CleanW} = 18 + 252 = 270 \text{ t}$$

Όμως το πατρικό πλοίο διαθέτει 422.2 t φρέσκο νερό. Η διαφορά είναι σημαντική. Επομένως το νέο βάρος για το υπο μελέτη πλοίο θα υπολογιστεί πάλι βάσει του  $\lambda_{LBD}$ .

$$W_{FW} = W_{FW \text{ πατρικό}} \cdot \lambda_{LBD} = 441 \text{ t}$$

### 2.5.5 Βάρος Εφοδίων-τροφίμων ( $W_{PR}$ )

Υπολογίζεται περίπου 12kg/ανθρωποημέρα.

$$W_{PR} = \frac{12 \cdot Crew \cdot days}{1000} = \frac{45 \cdot 45 \cdot 28}{1000} = 14.7 \text{ t}$$

### 2.5.6 Βάρος Επιβατών και αποσκευών ( $W_P$ και $W_{CR}$ )

Επιβάτες: 75 kg/ μέλος πληρώματος

Αποσκευές: 60 kg/μέλος πληρώματος

$$W_{PR} = \frac{135 \cdot Crew}{1000} = \frac{135 \cdot 45}{1000} = 6.1 \text{ t}$$

### 2.5.7 Σταθερά βάρη (Const.)

Στην κατηγορία  $DWT_{const}$  λαμβάνουμε την ακόλουθη ανάλυση για το πατρικό πλοίο:

DWT const.	m(tn)	LCG	t m	KG	t m	FSM
<b>Crew-effects</b>	<b>5.85</b>	<b>44.40</b>	<b>260</b>	<b>35.53</b>	<b>208</b>	<b>0.00</b>
<b>stores</b>	119.31	102.94	12281.89	26.39	3148.59	0.00
<b>provisions</b>	<b>5.67</b>	<b>41.20</b>	<b>234</b>	<b>27.90</b>	<b>158</b>	<b>0.00</b>
<b>water&amp;oil in ER</b>	450.33	32.98	14849.63	4.55	2050.35	1143.00
<b>water&amp;oil in hull</b>	83.07	129.78	10781.07	6.00	498.17	2.00
<b>Spare anchor</b>	13.35	239.20	3193.32	30.00	400.50	0.00
	<b>686.86</b>	<b>61.12</b>	<b>41982.45</b>	<b>9.79</b>	<b>6724.38</b>	<b>1145.00</b>

Πίνακας 2.5:1 Ανάλυση αποτελούμενων βαρών  $DWT_{const}$ .πατρικούπλοίου

Σε αυτήν την κατάσταση μεταβάλλονται μόνο τα βάρη για πλήρωμα και αποσκευές και για προμήθειες, τα οποία έχουμε υπολογίσει προηγουμένως, και εισάγονται τα νέα. Τελικά το βάρος αυτής της κατηγορίας θα είναι ίσο με **686.9 t**.

DWT const.	m(tn)	LCG	t m	KG	t m	FSM
<b>Crew-effects</b>	<b>6.08</b>	<b>44.40</b>	<b>269.73</b>	<b>35.53</b>	<b>215.84</b>	<b>0.00</b>
stores	119.31	102.94	12281.89	26.39	3148.59	0.00
<b>provisions</b>	<b>14.73</b>	<b>41.20</b>	<b>606.80</b>	<b>27.90</b>	<b>410.92</b>	<b>0.00</b>
<b>water&amp;oil in ER</b>	450.33	32.98	14849.63	4.55	2050.35	1143.00
<b>water&amp;oil in hull</b>	83.07	129.78	10781.07	6.00	498.17	2.00
<b>Spare anchor</b>	13.35	239.20	3193.32	30.00	400.50	0.00
	<b>686.86</b>	<b>61.12</b>	<b>41982.45</b>	<b>9.79</b>	<b>6724.38</b>	<b>1145.00</b>

Πίνακας 2.5:2 Ανάλυση αποτελούμενων βαρών DWTconst νέου πλοίου

Για τον υπολογισμό των νέων LCG,KG διατηρήθηκαν οι λόγοι LCG/L και KG/D από το πατρικό σκάφος και εισήχθησαν στο νέο πλοίο.

Συμπερασματικά τα στοιχεία για το υπό σχεδίαση πλοίο θα είναι σε πινακοποιημένη μορφή:

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ	
<b>L (m)</b>	283.2
<b>B (m)</b>	46
<b>T (m)</b>	11.7
<b>D (m)</b>	26
<b>C<sub>B</sub></b>	0.758
<b>C<sub>WL</sub></b>	0.837
<b>C<sub>P</sub></b>	0.764
<b>C<sub>M</sub></b>	0.992
<b>Δ (t)</b>	118836
<b>DWT(t)</b>	85242
<b>W<sub>LS</sub> (t)</b>	33594
<b>P<sub>B</sub>(KW)</b>	34200
<b>P<sub>B</sub>(PS)</b>	44945
<b>b(m)</b>	0.45
<b>S<sub>f</sub> (m)</b>	0
<b>S<sub>a</sub> (m)</b>	0
<b>R (s.m)</b>	12437
<b>W<sub>FO</sub>(t)</b>	5077.4
<b>W<sub>DO</sub> (t)</b>	594
<b>W<sub>LO</sub> (t)</b>	231
<b>W<sub>FW</sub> (t)</b>	441
<b>W<sub>PR</sub> (t)</b>	14.7
<b>W<sub>CR</sub></b>	6.1
<b>DWT<sub>const</sub></b>	686.9
<b>B</b>	0

Πίνακας 2.5:3 Στοιχεία ανάλυσης προμελέτης πλοίου

### 2.5.8 Βάρος ωφέλιμου φορτίου (W<sub>PL</sub>)

Το DWT που έχει το υπό μελέτη πλοίο βρίσκεται από την εξίσωση:

$$DWT = \Delta - LS = 118836 - 33594 \rightarrow DWT = 85242 \text{ t}$$

Συνεπώς το βάρος του ωφέλιμου φορτίου είναι:

$$PL = DWT - W_{FO} - W_{DO} - W_{LO} - W_{FW} - DWT_{Const} =$$

$$= 85242 - 5077.4 - 594 - 231 - 441 - 686.9 \rightarrow$$

$$PL = 78211 \text{ t}$$

## 2.6 Καθορισμός κατασκευαστικών νομέων, κύριων φρακτών και διπτυθμένου

### 2.6.1 Ανάλυση Επιμέρους Μηκών $L_i$

Για την ανάλυση μηκών καταφεύγουμε το σχέδιο γενικής διάταξης, όπου δίνονται τα μήκη των ισαποστάσεων κατασκευαστικών νομέων και κατά συνέπεια εξάγεται για κάθε τμήμα το μήκος του και το σύνολο των νομέων που καταλαμβάνει.

	Νομείς	Αριθμός Νομέων	Ισαπόσταση Νομέων	$L_i$	$L_i$ πατρικό	% $L_{BP}$	$L_i$ υπο μελέτη
$L_A$	A.P-15	15	0.8	12	12	0.042	<b>12</b>
$L_{ER}$	15-67	52	0.8	41.6	41.6	0.147	<b>41.6</b>
$L_{cargo}$	68-83	15	3.44	51.6	199.6	0.705	<b>199.6</b>
	84-99	15	3.36	50.4			
	100-115	15	3.36	50.4			
	116-126	10	3.36	33.6			
	67-68	1	2.4	2.4			
	83-84, 99-100, 115-116, 126-127	4	2.8	11.2			
$L_F$	127-164.5	37.5	0.8	30	30	0.106	<b>30</b>
				283.2	283.2	1	<b>283.2</b>

Πίνακας 2.6:1 Υπολογισμός επιμέρους μηκών για το υπό μελέτη πλοίο

Επειδή το υπό μελέτη πλοίο θα έχει ακριβώς το ίδιο μήκος με το πατρικό η διαμερισματοποίηση των χώρων του θα είναι η ίδια με του πατρικού.

### 2.6.2 Έλεγχος απόστασης φρακτής σύγκρουσης

Για υπο μελέτη πλοίο από τον πιο πάνω πίνακα ισχύουν τα εξής:

- $L_A = 12$  m.
- $L_{ER} = 41.6$  m.
- $L_C = 199.6$  m
- $L_F = 30$  m

Σύμφωνα με την Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής Στη Θάλασσα SOLAS (Safety of Life at Sea, Ch. II-1, Part B, Reg. 11) τα όρια για την πρωραία φρακτή σύγκρουσης, αν το πλοίο έχει βολβό, είναι:

$$X_r = \min(0.5 \cdot L_{BULB}, 0.015 \cdot L_{BP}, 3) = \min(0.5 \cdot 6.4 = 3.2, 0.015 \cdot 283.2, 3) = 3 \text{ m}$$

$$L_{Fmin} = \min(0.05 \cdot L_{BP}, 10) - X_r = \min(0.05 \cdot 283.2, 10) - 3 = 10 \text{ m}$$

$$L_{Fmax} = 0.08 \cdot L_{BP} - X_r = 0.08 \cdot 283.2 - 3 = 19.7 \text{ m}$$

$$10 < L_F < 19.7$$

Στο υπό μελέτη πλοίο η πρωραία φρακτή σύγκρουσης τοποθετήθηκε στα 10.6 m. Έτσι η πρωραία φράκτη σύγκρουσης είναι μέσα στα επιτρεπτά πλαίσια.

### 2.6.3 Υπολογισμός ύψους διπυθμένου

Το ελάχιστο ύψος του διπυθμένου δίνεται από τους πιο κάτω κανονισμούς:

ABS:  $h_{DB} \geq (32 \cdot B + 190 \cdot \sqrt{T}) \cdot 0.001 = (32 \cdot 46 + 190 \cdot \sqrt{11.7}) \cdot 0.001 \rightarrow h_{DB} = 2.12 \text{ m}$

LR:  $h_{DB} \geq (28 \cdot B + 205 \cdot \sqrt{T}) \cdot 0.001 = (28 \cdot 46 + 205 \cdot 11.7) \cdot 0.001 \rightarrow h_{DB} = 1.99 \text{ m}$

DNV:  $h_{DB} \geq (250 + 20 \cdot B + 50 \cdot T) \cdot 0.001 = (250 \cdot 20 \cdot 46 + 50 \cdot 11.7) \cdot 0.001 \rightarrow h_{DB} = 1.76 \text{ m}$

Tankers > 5000 t DWT:  $h_{DB} = (B/15, 2) \geq 1 \rightarrow h_{DB} = 3.07 \text{ m}$

Τελικά το ύψος του διπυθμένου λαμβάνεται ίσο με του πατρικού,

$$h_{DB} = 3.2 \text{ m}$$

### 2.6.4 Υπολογισμός απόστασης διπλών τοιχωμάτων

Η ελάχιστη απόσταση των διπλών τοιχωμάτων δίνεται από τον πιο κάτω κανονισμό:

Tankers > 5000 t DWT:  $w = \min(0.5 + DWT/2000, 2) \geq 1 \rightarrow h_{DB} = 2 \text{ m}$

Τελικά η απόσταση των διπλών τοιχωμάτων λαμβάνεται ίση με,

$$w = 2.25 \text{ m}$$



### 2.6.5 Υπολογισμός όγκου κυτών ( $V_{cargo}$ )

Για να υπολογίσουμε τον όγκο θα χρησιμοποιήσουμε ένα κυβικό συντελεστή με τα στοιχεία του πατρικού, τον οποίο θα εφαρμόσουμε στη συνέχεια στο υπό μελέτη πλοίο.

#### Για το πατρικό πλοίο

Έχουμε την παρακάτω εξίσωση:

$$c_{vcargo} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot B_c \cdot D_c} = \frac{V_{cargo}}{L_c \cdot (B - 2w) \cdot (D - h_{DB})} = \frac{159847.1}{199.6 \cdot (44 - 2 \cdot 2.511) \cdot (26 - 3.2)}$$

Το  $V_{cargo} = 159847.1 \text{ m}^3$  σύμφωνα με το capacity plan του πατρικού πλοίου.

$$c_{vcargo} = 0.901$$

#### Για το υπό μελέτη πλοίο

Έχοντας τον κυβικό συντελεστή από το πατρικό πλοίο θα λύσουμε την παραπάνω εξίσωση ως προς  $V_{cargo}$ . Άρα:

$$\begin{aligned} V_{cargo} &= c_{vcargo} \cdot (L_c \cdot B_c \cdot D_c) = c_{vcargo} \cdot (L_c \cdot [B - 2w] \cdot [D - h_{DB}]) \rightarrow \\ &\rightarrow 0.901 \cdot (199.6 \cdot [44 - 2 \cdot 2.25] \cdot [26 - 3.2]) \rightarrow V_{cargo} = 170190 \text{ m}^3 > 170000 \text{ m}^3 \\ V_{cargo}^{98\%} &= 166786 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Συνεπώς τον υπολογισμό του  $\gamma_{HOM}$  έχουμε:

$$\gamma_{HOM} = \frac{PL}{V_{cargo}^{98\%}} = \frac{78211}{166786} \rightarrow \gamma_{HOM} = 0.469 \text{ t/m}^3$$

### 2.6.6 Υπολογισμός ελάχιστου έρματος

Για να υπολογίσουμε το ελάχιστο έρμα που απαιτείται θα υπολογίσουμε ένα κυβικό συντελεστή από το πατρικό πλοίο τον οποίο θα εφαρμόσουμε στο πλοίο μας.

#### Για το πατρικό

Από τα σχέδια του πατρικού έχουμε ότι  $V_{WB} = 52073.8 \text{ m}^3$  (οι δεξαμενές οι οποίες είναι εκτός των ορίων του φορτίου,  $L_{cargo}$  είναι εκτός), και  $V_{cargo} = 159847.1 \text{ m}^3$

$$V_{cargo} = \frac{V_{cargo} + V_{WB}}{L_c \cdot B \cdot D} = \frac{159847.1 + 52073.8}{119.6 \cdot 44 \cdot 26} \rightarrow \lambda_{WB} = 0.928$$

#### Για υπο μελέτη πλοίο

Θα χρησιμοποιήσουμε τον παραπάνω συντελεστή για να υπολογίσουμε τον όγκο του έρματος για το υπό μελέτη πλοίο. Από προηγούμενους υπολογισμούς έχουμε:

$$V_{cargo} = 170179 \text{ m}^3$$

Έχοντας το κυβικό συντελεστή από το πατρικό θα λύσουμε την παραπάνω εξίσωση ως  $V_{WB}$ :

$$\begin{aligned} V_{cargo} + V_{WB} &= \lambda_{WB} \cdot (L_{cargo} \cdot B \cdot D) \rightarrow \\ \rightarrow V_{WB} &= \lambda_{WB} \cdot (L_{cargo} \cdot B \cdot D) - V_{cargo} \rightarrow \\ \rightarrow V_{WB} &= 0.928 \cdot 199.6 \cdot 46 \cdot 26 - 170179 \rightarrow \\ &\rightarrow V_{WB} = 51364 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Οπότε για το υπό μελέτη πλοίο θα γίνει έλεγχος της επάρκειας της χωρητικότητας των δεξαμενών έρματος. Τα ελάχιστα επιτρεπόμενα βυθίσματα στην κατάσταση ερματισμού υπολογίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

$T_A \geq$	$D_{\varepsilon\lambda}$	8.6	8.6	m
$t \leq$	$0.015 \cdot L_{BP}$	$0.015 \cdot 283.2$	4.248	m
$T_m \geq$	$2 + 0.02 \cdot L_{BP}$	$2 + 0.02 \cdot 283.2$	7.664	m

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το βύθισμα στην κατάσταση ερματισμού:

$$T_B = T_m = 7.664 \text{ m}$$

Το  $C_B$  για αυτό το βύθισμα υπολογίζεται από την εξίσωση (σελ.146,147 βιβλίο [1b]):

$$C_{BB} = C_B \cdot \left(\frac{T_m}{T}\right)^{\frac{c_{wl}}{c_b-1}} = 0.758 \cdot \left(\frac{7.664}{11.7}\right)^{\frac{0.837}{0.758-1}} \rightarrow C_{BB} = 0.725$$

Το εκτόπισμα το πλοίου θα είναι:

$$\Delta_{WB} = c\gamma \cdot L \cdot B \cdot T_B \cdot C_{BB} = 1.0035 \cdot 1.025 \cdot 283.2 \cdot 46 \cdot 7.664 \cdot 0.725 \rightarrow \Delta_{WB} = 74495 \text{ t}$$

Από την εξίσωση των βαρών του πλοίου για την κατάσταση ερματισμού Arrival, στην οποία προκύπτει το ελάχιστο βύθισμα, υπολογίζουμε το ελάχιστο απαιτούμενο βάρος έρματος:

$$\begin{aligned} WB_{req} &= \Delta_{WB} - LS - DWT_{Const} - 0.1 \cdot (W_{FO} + W_{DO} + W_{LO} + W_{FW}) \rightarrow \\ \rightarrow WB_{req} &= 74495 - 33594 - 686.9 - 0.1 \cdot (5077.4 + 594 + 231 + 441) \rightarrow \\ &\rightarrow WB_{req} = 39579 \text{ t} \rightarrow V_{WB_{req}} = 38613 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Έχουμε ότι το υπο μελέτη πλοίο διαθέτει δεξαμενές έρματος χωρητικότητας  $51364 \text{ m}^3$ . Επομένως η απαίτηση καλύπτεται.

## 2.7 Έλεγχος Ευστάθειας

### 2.7.1 Πατρικό - Αναχώρηση

CONDITION 10 HOMO. LOAD MAX. BUNKER COND. (S.G.=0.46)

WEIGHT ITEMS	FILL. (%)	S.G	WEIGHT (MT)	L.C.G (M)	V.C.G (M)	T.C.G (M)	F.S.M (MT-M)
NO.1 CARGO TANK	98.50	0.4600	9937.4	231.691	16.005	0.000	4037
NO.2 CARGO TANK	98.50	0.4600	20663.1	188.800	16.251	0.000	19920
NO.3 CARGO TANK	98.50	0.4600	20666.1	135.600	16.251	0.000	19923
NO.4 CARGO TANK	98.50	0.4600	21160.0	81.800	16.251	0.000	20399
<b>TOTAL LIQUIFIED NATURAL GAS</b>			<b>72426.7</b>	<b>148.244</b>	<b>16.217</b>	<b>0.000</b>	<b>64279</b>
FWD DEEP W.B.TK(P)	22.61	1.0250	268.0	260.367	2.116	3.559	133
FWD DEEP W.B.TK(S)	22.61	1.0250	268.0	260.367	2.116	-3.559	133
<b>TOTAL WATER BALLAST</b>			<b>536.0</b>	<b>260.367</b>	<b>2.116</b>	<b>0.000</b>	<b>266</b>
FRESH WATER			422.1	8.971	18.879	0.000	386
HEAVY FUEL OIL			4856.7	192.143	14.587	0.593	3802
DIESEL OIL			561.5	48.791	18.460	-4.450	47
LUBRICATING OIL			221.4	30.044	22.826	-2.995	128
DEADWEIGHT CONSTANT			677.6	61.394	9.539	0.000	1145
<b>TOTAL DEADWEIGHT</b>			<b>79702.1</b>	<b>149.168</b>	<b>16.014</b>	<b>-0.004</b>	<b>70053</b>
LIGHT SHIP			32541.9	122.733	16.527	-0.178	
<b>TOTAL DISPLACEMENT</b>			<b>112244.0</b>	<b>141.504</b>	<b>16.163</b>	<b>-0.054</b>	<b>70053</b>

EQUIV. DRAFT(EXT)	=	11.556 M	:	M.T.C.	=	1953.43 MT-M
MEAN DRAFT(EXT)	=	11.554 M	:	T.P.C	=	109.19 MT/CM
AFT. DRAFT(EXT)	=	11.554 M	:	K.M.T.	=	20.213 M
FORE DRAFT(EXT)	=	11.554 M	:	V.C.G.	=	16.163 M
TRIM	=	0.000 M	:	UNCORRECTED GM	=	4.050 M
DISPLACEMENT	=	112244 MT	:	GG <sub>0</sub>	=	0.624 M
L.C.G.	=	141.504 M	:	CORRECTED GM (GoM)	=	3.426 M
L.C.B.	=	141.504 M	:	PROPELLER IMMR.	=	132.9 %
L.C.F.	=	133.917 M	:	BLIND DISTANCE	=	361.3 M
HEEL	=	-0.93 DEG				

HEEL ANG. (DEG)	=	0.000	5.000	10.000	15.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000
GE VALUE (M)	=	-0.056	0.249	0.596	0.987	1.439	2.496	3.126	2.864	2.283
GE AREA (M <sup>2</sup> RAD)	=	0.000	0.008	0.045	0.114	0.219	0.562	1.065	1.597	2.048

Πίνακας 2.7:1 Κατάσταση φόρτωσης αναχώρησης πατρικού πλοίου

	Weight(tn)	LCG(m)	KG(m)	MI (t·m)	Mt (t·m)	FSM(m <sup>4</sup> )	LCG/L	KG/D
L.S	32541.90	122.73	16.53	3993965.01	537819.98	-	0.43	0.64
CARGO 98.5% (Payload)	72426.72	148.24	16.22	10736511.5	1174562.03	64279.0	0.52	0.62
W.B.T	536.00	260.37	2.12	139556.71	1134.18	266.00	0.92	0.08
F.W. TANKS	422.10	8.97	18.88	3786.66	7968.83	386.00	0.03	0.73
F.O.TANKS	4856.70	192.14	14.59	933180.91	70844.68	3802.00	0.68	0.56
D.O.TANKS	561.50	48.79	18.46	27396.15	10365.29	47.00	0.17	0.71

<b>LUB.OIL.T.</b>	221.40	30.04	22.83	6651.74	5053.68	128.00	0.11	0.88
<b>DWT CONST.</b>	677.60	61.39	9.54	41600.57	6463.63	1145.00	0.22	0.37
<b>Δ</b>	112244	141.50	16.16	15882649.3	1814212.29	70053.0	-	-

Πίνακας 2.7:2 Ανάλυση Εκτοπίσματος πατρικού πλοίου FLD

LS	Weight(tn)	KG/D	KG(m)	Mt (t·m)	LCG/L	LCG(m)	MI (t·m)
<b>WST</b>	23710.28	0.64	16.64	394539.07	0.48	135.94	3223080.74
<b>WOT</b>	6273.59	0.90	23.40	146801.99	0.42	118.94	746205.80
<b>WM</b>	2558.03	0.55	14.30	36579.83	<b>LCGM=LA+0.5LER</b>	32.80	83903.38
	32541.90		<b>17.76</b>	577920.89		<b>124.55</b>	4053189.92
		<b>Πραγματικό</b>	<b>16.53</b>		<b>Πραγματικό</b>	<b>122.73</b>	
<b>ΔΙΟΡΘΩΣΗ</b>		<b>λ<sub>KG</sub></b>	<b>1.075</b>		<b>λ<sub>LCG</sub></b>	<b>1.015</b>	

Πίνακας 2.7:3 Ανάλυση διορθωτικών συντελεστών του lightship(λ<sub>KG</sub>,λ<sub>LCG</sub>) πατρικού πλοίου

Να σημειωθεί ότι ως κέντρο βάρους κατά το διάμηκες για το μηχανοστάσιο ελήφθη το  $LCG_M=L_A+0.5L_{ER}=32.8m$ .

CARGO (Payload)	V <sup>100%</sup> (m <sup>3</sup> )	V <sup>98.5%</sup> (m <sup>3</sup> )	W(tn) SG=0.46	LCG(m) from AP	KG(m) from BL	MI (t·m)	Mt (t·m)	FSM
<b>No.1 CargoTank</b>	21932.1	21603.12	9937.4	231.66	16.01	2302096.1	159048.6	4037.0
<b>No.2 CargoTank</b>	45603.9	44919.84	20663.1	188.80	16.25	3901198.4	335796.5	19920.0
<b>No.3 CargoTank</b>	45610.5	44926.34	20666.1	135.60	16.25	2802325.5	335845.1	19923.0
<b>No.4 CargoTank</b>	46700.6	46000.09	21160.0	81.80	16.25	1730891.4	343871.8	20399.0
<b>Payload TOTAL</b>	159847.1	157449.4	72426.7	148.24	16.22	10736512	1174562	64279.0

Πίνακας 2.7:4 Ανάλυση Payload πατρικού πλοίου FLD

Από τα παραπάνω θα χρησιμοποιήσουμε το πραγματικό KG, LCG του Payload και θα τα συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα εμπειρικών τύπων (ABS), ώστε να βγάλουμε ένα συντελεστή διόρθωσης τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπό μελέτη πλοίο. Έτσι έχουμε:

- **KG του payload**

Το KG του payload δίνεται από την εξίσωση:

$$KG_{PL} = h_{DB} + 0.54 \cdot (D - h_{DB})$$

όπου  $h_{DB} \rightarrow$  το ύψος του διπυθμένου, για το πατρικό είναι ίσο με 1.65 [m].

Αντικαθιστώντας έχουμε:

$$KG_{PL}^{calc} = 3.2 + 0.54 \cdot (26 - 3.2) \rightarrow KG_{PL}^{calc} = 15.512 [m]$$

Οπότε προκύπτει ο συντελεστής διόρθωσης:

$$\lambda_{KG_{PL}} = \frac{KG_{PL}^{calc}}{KG_{PL}^{real}} = \frac{15.12}{16.22} \rightarrow \lambda_{KG_{PL}} = 0.957$$

- **LCG του payload**

Το LCG του payload δίνεται από την εξίσωση:

$$LCG_{PL} = L_A + L_{ER} + 0.485 \cdot L_{cargo}$$

όπου  $L_A \rightarrow$  η πρυμναία φρακτή, για το πατρικό είναι 12 [m]

$L_{ER} \rightarrow$  το μήκος του μηχανοστασίου, για το πατρικό είναι 41.6[m]

$L_{cargo} \rightarrow$  το μήκος των κυτών, για το πατρικό είναι 199.6 [m]

Αντικαθιστώντας έχουμε:

$$LCG_{PL}^{calc} = 12 + 41.6 + 0.485 \cdot 199.6 \rightarrow LCG_{PL}^{calc} = 150.406 [m]$$

Οπότε προκύπτει ο συντελεστής διόρθωσης:

$$\lambda_{LCG} = \frac{LCG_{PL}^{calc}}{LCG_{PL}^{real}} = \frac{150.406}{148.24} \rightarrow \lambda_{LCG} = 1.015$$

### 2.7.1.1 Υπολογισμός GM

Για την κατάσταση Full Load Departure έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

	Αποτέλεσμα
<b>Βύθισμα (m)</b>	11.5
<b>Συντελεστής <math>C_{WL}</math></b>	0.853
<b>Συντελεστής <math>C_M</math></b>	0.992
<b>Συντελεστής <math>C_B</math></b>	0.757

### Υπολογισμός KB

Από το βιβλίο [1a] σελ. 302 χρησιμοποιούμε τους προσεγγιστικούς τύπους:

$$\begin{array}{l|l} \text{Schneekluth} & T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) \\ \text{Normand I} & T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M) \\ \text{Normand II} & T \cdot \left( \frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WL}} \right) \end{array}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσεγγιστικό KB	
Schneekluth	6.058 [m]
Normand I	6.245 [m]
Normand II	6.181 [m]
<b>Μέσο KB</b>	<b>6.161 [m]</b>

### Υπολογισμός BM

- Προσεγγιστικοί τύποι

Αυτοί οι τύποι είναι της μορφής  $BM = C_1 \frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B}$ , όπου  $C_1$  συντελεστής ανάλογα με τον τύπο που θέλουμε. Επομένως υπολογίζουμε

$$\frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B} = \frac{44^2}{12 \cdot 11.5 \cdot 0.757} = 18.52$$

	Εξισώσεις $C_1$
Normand	$0.096 + 0.89 \cdot C_{WL}^2$
Schneekluth	$C_{WL}^{1.8}$
Bauer	$0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WL} + 1)^3$
Dudszus-Danckwardt	$0.13 \cdot C_{WL} + 0.87 \cdot C_{WL}^2 + 0.005$
Murray	$0.5 (3C_{WL} - 1)$

Προσεγγιστικό BM	
Normand	13.780 [m]
Schneekluth	13.920 [m]
Bauer	13.660 [m]
Dudszus-Danckwardt	13.879 [m]
Murray	14.445 [m]
<b>Μέσο BM</b>	<b>13.937 [m]</b>

Από τα παραπάνω το ΚΜ υπολογίζεται:

$$KM = KB + BM = 6.161 + 13.937 \rightarrow KM = 20.098 [m]$$

	ΚΜ [m]
Υπολογισθέν	20.098
Πραγματικό	20.213
Συντελεστής διόρθωσης λ	0.994

## 2.7.2 Υπό μελέτη πλοίο – Αναχώρηση

Για να υπολογίσουμε τα ΚG και LCG των ομάδων βαρών του DWT του υπό μελέτη πλοίου έχουμε εξάγει από το πατρικό συντελεστές ΚG/D και LCG/L<sub>BP</sub>. Παίρνοντας τους ίδιους συντελεστές για κάθε ομάδα θα υπολογίσουμε το ΚG και το LCG για κάθε ομάδα βάρους. Επειδή όμως οι διαστάσεις μήκους και ύψους του υπό μελέτη παραμένουν ίδιες με του πατρικό τα ΚG και LCG του υπό μελέτη σε σχέση με το πατρικό δεν αλλάζουν.

Τα ΚG και LCG του Payload επίσης δεν αλλάζουν, όμως για λόγους πληρότητας της διαδικασίας θα υπολογιστούν αναλυτικά, βάσει των συντελεστών διόρθωσης που εξαχθηκαν προηγουμένως.

Εξαίρεση αποτελεί ο υπολογισμός του ΚG και LCG του Lightship.

- **KG Payload**

$$KG_{PL}^{calc} = h_{DB} + 0.54 \cdot (D - h_{DB}) = 3.2 + 0.54 \cdot (26 - 3.2) \rightarrow KG_{PL}^{calc} = 15.512 [m]$$

Εφαρμόζουμε τον συντελεστή διόρθωσης από το πατρικό για αυτή την εξίσωση:

$$KG_{PL}^{CORR} = \frac{KG_{PL}^{calc}}{\lambda_{KG}} = \frac{15.512}{0.957} \rightarrow KG_{PL}^{CORR} = 16.22 [m]$$

- **LCG Payload**

$$LCG_{PL} = L_A + L_{ER} + 0.485 \cdot L_{cargo}$$

Αντικαθιστώντας από προηγούμενους υπολογισμούς έχουμε:

$$LCG_{PL}^{calc} = 12 + 41.6 + 0.485 \cdot 199.6 \rightarrow LCG_{PL}^{calc} = 150.406 [m]$$

Οπότε προκύπτει ο συντελεστής διόρθωσης:

$$LCG_{PL}^{CORR} = \frac{LCG_{PL}^{calc}}{\lambda_{LCG}} = \frac{150.406}{1.015} \rightarrow LCG_{PL}^{CORR} = 148.24 [m]$$

Συμφώνα με τα παραπάνω προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας για το υπό μελέτη πλοίο:

	Weight(tn)	LCG(m)	KG(m)	MI (t·m)	Mt (t·m)	LCG/L	KG/D
L.S	33594.08	122.89	16.54	4128503.5	555709.13	0.43	0.64
CARGO 98.5% (Payload)	78210.54	148.24	16.22	11593903.1	1268359.7	0.52	0.62
W.B.T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F.W. TANKS	441.39	8.97	18.88	3959.72	8333.02	0.03	0.73
F.O.TANKS	5077.35	192.14	14.59	975578.13	74063.37	0.68	0.56
D.O.TANKS	594.13	48.79	18.46	28988.29	10967.67	0.17	0.71
LUB.OIL.T.	231.46	30.04	22.83	6954.09	5283.39	0.11	0.88
DWT CONST.	686.86	61.12	9.79	41982.45	6724.38	0.22	0.38
Δ	118835.83	141.20	16.24	16779869.3	1929440.7	-	-

Πίνακας 2.7:5 Ανάλυση Εκτοπίσματος υπο μελέτη πλοίου FLD

L.S	Weight(tn)	KG/D	KG(m)	Mt (t·m)	LCG/L	LCG(m)	MI (t·m)
W <sub>st</sub>	24481.82	0.64	16.64	407377.43	0.48	135.94	3327960.23
W <sub>ot</sub>	6534.19	0.90	23.40	152899.95	0.42	118.94	777202.23
W <sub>m</sub>	2578.08	0.55	14.30	36866.50	LCGM=LA+0.5LER	32.80	84560.92
	33594.08		<b>17.78</b>	597143.88		<b>124.72</b>	4189723.39
		λ <sub>KG</sub>	<b>1.075</b>		λ <sub>LCG</sub>	<b>1.015</b>	
<b>ΔΙΟΡΘΩΣΗ</b>			<b>16.54</b>			<b>122.89</b>	

Πίνακας 2.7:6 Ανάλυση του lightship του υπο μελέτη πλοίου βάσει των διορθωτικών συντελεστών (λ<sub>KG</sub>, λ<sub>LCG</sub>)



### 2.7.2.1 Υπολογισμός GM

Για την κατάσταση Full Load Departure έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

	Αποτέλεσμα
<b>Βύθισμα</b>	11.70
<b>Συντελεστής <math>C_{WL}</math></b>	0.837
<b>Συντελεστής <math>C_M</math></b>	0.992
<b>Συντελεστής <math>C_B</math></b>	0.758

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του KB και του BM.

#### Υπολογισμός KB

Από το βιβλίο [1a] σελ. 302, χρησιμοποιούμε τους προσεγγιστικούς τύπους:

$$\begin{array}{l|l}
 \text{Schneekluth} & T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) \\
 \text{Normand I} & T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M) \\
 \text{Normand II} & T \cdot \left( \frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WL}} \right)
 \end{array}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσεγγιστικό KB	
Schneekluth	6.161 [m]
Normand I	6.352 [m]
Normand II	6.217 [m]
<b>Μέσο KB</b>	<b>6.243 [m]</b>

#### Υπολογισμός BM

- Προσεγγιστικοί τύποι (σελ. 302 [1a])

Αυτοί οι τύποι είναι της μορφής  $BM = C_1 \frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B}$ , όπου  $C_1$  συντελεστής ανάλογα με τον τύπο που θέλουμε. Επομένως υπολογίζουμε

$$\frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B} = \frac{46^2}{12 \cdot 11.7 \cdot 0.758} = 19.88$$

	Εξισώσεις $C_1$
Normand	$0.096 + 0.89 \cdot C_{WL}^2$
Schneekluth	$C_{WL}^{1.8}$
Bauer	$0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WL} + 1)^3$
Dudszus-Danckwardt	$0.13 \cdot C_{WL} + 0.87 \cdot C_{WL}^2 + 0.005$
Murray	$0.5 (3C_{WL} - 1)$

Προσεγγιστικό ΒΜ	
Normand	14.299 [m]
Schneekluth	14.427 [m]
Bauer	14.134 [m]
Dudszus-Danckwardt	14.374 [m]
Murray	15.015 [m]
<b>Μέσο ΒΜ</b>	<b>14.450 [m]</b>

Από τα παραπάνω το υπολογισθέν ΚΜ είναι:

$$KM = KB + BM = 6.243 + 14.450 \rightarrow KM = 20.693 [m]$$

Το διορθωμένο ΚΜ του πλοίου θα είναι:

$$KM_{CORR} = \frac{KM_{calc}}{\lambda_{KM}} = \frac{20.693}{0.994} \rightarrow KM_{CORR} = 20.811 [m]$$

Όμως επειδή οι δεξαμενές είναι γεμάτες στο 98.5%, υπάρχει επίδραση ελεύθερων επιφανειών. Κατά αυτόν τον τρόπο, ανατρέχοντας στον πίνακα της αναχώρησης του πλοίου για το πατρικό πλοίο, δίδεται η ροπή για την ελεύθερη επιφάνεια όλων των δεξαμενών ίση με 70053.0 tm.

Με αναγωγή στο νέο πλοίο με τους λόγους  $\lambda_L, \lambda_B$  προκύπτει η ροπή για το νέο πλοίο:

$$M' = M_{\text{πατρικό}} \cdot \lambda_L \cdot \lambda_B^3$$

$$\delta KG = \frac{M'}{\Delta} = 0.67m$$

$$KG_{CORR} = KG' + \delta KG = 16.24 + 0.67 = 16.91m$$

$$GM_{CORR} = KM_{CORR} - KG_{CORR} = 3.9 m$$

### 2.7.3 Πατρικό - Άφιξη

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης θεωρούμε ότι έχει απομείνει το 10% των αναλωσίμων.

Από το Stability Booklet του πατρικού πλοίου προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

CONDITION 6 HOMO.DESIGN LOAD ARR.COND. (S.G.=0.46)							
WEIGHT ITEMS	FILL. (%)	S.G	WEIGHT (MT)	L.C.G (M)	V.C.G (M)	T.C.G (M)	F.S.M (MT-M)
NO.1 CARGO TANK	96.37	0.4600	9722.5	231.726	15.715	0.000	5753
NO.2 CARGO TANK	96.37	0.4600	20216.3	188.800	15.960	0.000	25014
NO.3 CARGO TANK	96.37	0.4600	20219.2	135.600	15.960	0.000	25018
NO.4 CARGO TANK	96.37	0.4600	20702.5	81.800	15.960	0.000	25616
<b>TOTAL LIQUIFIED NATURAL GAS</b>			<b>70860.5</b>	<b>148.249</b>	<b>15.926</b>	<b>0.000</b>	<b>81401</b>
FWD DEEP W.B.TK(P)	66.04	1.0250	783.0	260.365	7.829	6.211	266
FWD DEEP W.B.TK(S)	66.04	1.0250	783.0	260.365	7.829	-6.211	266
<b>TOTAL WATER BALLAST</b>			<b>1566.0</b>	<b>260.365</b>	<b>7.829</b>	<b>0.000</b>	<b>533</b>
FRESH WATER			42.2	8.984	16.618	-0.057	386
HEAVY FUEL OIL			495.6	191.644	7.262	0.579	3802
DIESEL OIL			57.3	48.406	13.892	-4.450	47
LUBRICATING OIL			22.6	30.044	21.422	-2.995	128
DEADWEIGHT CONSTANT			677.6	61.394	9.539	0.000	1145
<b>TOTAL DEADWEIGHT</b>			<b>73721.8</b>	<b>149.930</b>	<b>15.638</b>	<b>-0.001</b>	<b>87442</b>
LIGHT SHIP			32541.9	122.733	16.527	-0.178	
<b>TOTAL DISPLACEMENT</b>			<b>106263.7</b>	<b>141.601</b>	<b>15.910</b>	<b>-0.055</b>	<b>87442</b>
=====							
EQUIV. DRAFT(EXT)	=	11.006 M	:	M.T.C.	=	1900.96 MT-M	
MEAN DRAFT(EXT)	=	11.001 M	:	T.P.C	=	108.14 MT/CM	
AFT. DRAFT(EXT)	=	11.085 M	:	K.M.T.	=	20.574 M	
FORW DRAFT(EXT)	=	10.916 M	:	V.C.G.	=	15.910 M	
TRIM	=	0.170 M	:	UNCORRECTED GM	=	4.664 M	
DISPLACEMENT	=	106264 MT	:	GG <sub>0</sub>	=	0.823 M	
L.C.G.	=	141.601 M	:	CORRECTED GM (GoM)	=	3.841 M	
L.C.B.	=	141.593 M	:	PROPELLER IMMR.	=	127.5 %	
L.C.F.	=	135.072 M	:	BLIND DISTANCE	=	377.5 M	
HEEL	=	-0.84 DEG					
=====							
HEEL ANG. (DEG)	=	0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 30.000 40.000 50.000 60.000					
GE VALUE (M)	=	-0.046 0.281 0.635 1.047 1.528 2.583 3.201 2.955 2.335					
GE AREA (M <sup>2</sup> /RAD)	=	0.000 0.010 0.049 0.122 0.234 0.594 1.110 1.657 2.121					

Πίνακας 2.7:7 Κατάσταση φόρτωσης άφιξης πατρικού πλοίου

	Weight(tn)	LCG(m)	KG(m)	MI (t·m)	Mt (t·m)	FSM(m <sup>4</sup> )	LCG/L	KG/D
L.S	32541.90	122.73	16.53	3993965.01	537819.98	-	0.43	0.64
CARGO 96.37% (Payload)	70860.54	148.25	15.93	10504992.7	1128552.18	81401.0	0.52	0.61
W.B.T	1566.00	260.37	7.83	407731.59	12260.21	533.00	0.92	0.30
F.W. TANKS	42.20	8.98	16.62	379.12	701.28	386.00	0.03	0.64
F.O.TANKS	495.60	191.64	7.26	94978.77	3599.05	3802.00	0.68	0.28

<b>D.O.TANKS</b>	57.30	48.41	13.89	2773.66	796.01	47.00	0.17	0.53
<b>LUB.OIL.T.</b>	22.60	30.04	21.42	678.99	484.14	128.00	0.11	0.82
<b>DWT CONST.</b>	677.60	61.39	9.54	41600.57	6463.63	1145.00	0.22	0.37
<b>Δ</b>	106263.74	141.60	15.91	15047100.4	1690676.48	87442.0	-	-

Πίνακας 2.7:8 Ανάλυση Εκτοπίσματος πατρικού πλοίου FLA

Το Payload λόγω εξάτμισης του φορτίου (BOG) μεταβάλλεται από 98.5% σε 96.37% πλήρωσης δεξαμενών. Οπότε θα ακολουθήσει νέα ανάλυση, αλλά με όμοιο τρόπο:

<b>CARGO (Payload)</b>	$V^{100\%} (m^3)$	$V^{96.37\%} (m^3)$	<b>W(tn) SG=0.46</b>	<b>LCG(m) from AP</b>	<b>KG(m) from BL</b>	<b>MI (t·m)</b>	<b>Mt (t·m)</b>	<b>FSM</b>
<b>No.1 CargoTank</b>	21932.10	21135.96	9722.54	231.73	15.72	2252966.18	152789.8	5753.00
<b>No.2 CargoTank</b>	45603.90	43948.48	20216.3	188.80	15.96	3816837.45	322652.2	25014.0
<b>No.3 CargoTank</b>	45610.50	43954.84	20219.2	135.60	15.96	2741727.03	322698.8	25018.0
<b>No.4 CargoTank</b>	46700.60	45005.37	20702.5	81.80	15.96	1693462.00	330411.4	25616.0
<b>Payload TOTAL</b>	159847.10	154044.7	70860.5	148.25	15.93	10504992.7	112855	81401.0

Πίνακας 2.7:9 Ανάλυση Payload πατρικού πλοίου FLA

Επειδή, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι διαστάσεις μήκους και ύψους δεν αλλάζουν από το πατρικό σε σχέση με το υπό μελέτη, δεν χρειάζεται να γίνει ανάλυση μέσω εμπειρικών τύπων για το Payload ώστε να εξαγάγουμε διορθωτικούς συντελεστές. Η ανάλυση αυτή έγινε στην κατάσταση αναχώρησης για σκοπούς πληρότητας. Οπότε για το υπό μελέτη πλοίο στην κατάσταση αναχώρησης τα KG και LCG του Payload θα είναι τα ίδια με του πατρικού.

Το **Lightship** παραμένει το ίδιο και κατά συνέπεια οι διορθωτικοί συντελεστές του πατρικού σε σχέση με το υπό μελέτη θα είναι οι ίδιοι ( $\lambda_{KG}=1.075$  και  $\lambda_{LCG}=1.015$ ).

### 2.7.3.1 Υπολογισμός GM

Για να υπολογίσουμε τα KB και BM σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης πρέπει να υπολογίσουμε το βύθισμα και τους συντελεστές μορφής σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις, όπου (0) η Full Load Departure και (1) η Full Load Arrival:

$$\begin{aligned}
 \text{Βύθισμα} \quad T_1 &= T_0 \left( \frac{\Delta_1}{\Delta_0} \right)^{\frac{C_{B_0}}{C_{WL_0}}} \\
 C_{WL} \quad C_{WL_1} &= C_{WL_0} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{C_{WL_0}-1}{C_{B_0}}} \\
 C_M \quad C_{M_1} &= \frac{(C_{M_0} - 1) \cdot T_0 + T_1}{T_1} \\
 C_B \quad C_{B_1} &= C_{B_0} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{C_{WL_0}-1}{C_{B_0}}}
 \end{aligned}$$

Για τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής νούμερα:

$$T_0 = 11.5 [m], \Delta_0 = 111629 [t], \Delta_1 = 106263.7 [t], C_{B_0} = 0.757, C_{WL_0} = 0.853$$

	Αποτέλεσμα
<b>Βύθισμα</b>	11.008
<b>Συντελεστής <math>C_{WL}</math></b>	0.848
<b>Συντελεστής <math>C_M</math></b>	0.991
<b>Συντελεστής <math>C_B</math></b>	0.753

### Υπολογισμός KB

Από το βιβλίο [1a] σελ. 302 χρησιμοποιούμε τους προσεγγιστικούς τύπους:

Schneekluth	$T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B)$
Normand I	$T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M)$
Normand II	$T \cdot \left( \frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WL}} \right)$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσεγγιστικό ΚΒ	
Schneekluth	5.805 [m]
Normand I	5.980 [m]
Normand II	5.916 [m]
<b>Μέσο ΚΒ</b>	<b>5.900 [m]</b>

### Υπολογισμός ΒΜ

- Προσεγγιστικοί τύποι

Αυτοί οι τύποι είναι της μορφής  $BM = C_1 \frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B}$ , όπου  $C_1$  συντελεστής ανάλογα με τον τύπο που θέλουμε. Επομένως υπολογίζουμε

$$\frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B} = \frac{44^2}{12 \cdot 11.008 \cdot 0.753} = 19.46$$

Εξισώσεις  $C_1$

Normand	$0.096 + 0.89 \cdot C_{WL}^2$
Schneekluth	$C_{WL}^{1.8}$
Bauer	$0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WL} + 1)^3$
Dudszus-Danckwardt	$0.13 \cdot C_{WL} + 0.87 \cdot C_{WL}^2 + 0.005$
Murray	$0.5 (3C_{WL} - 1)$

Προσεγγιστικό ΒΜ	
Normand	14.336 [m]
Schneekluth	14.477 [m]
Bauer	14.201 [m]
Dudszus-Danckwardt	14.432 [m]
Murray	15.037 [m]
<b>Μέσο ΒΜ</b>	<b>14.497 [m]</b>

Από τα παραπάνω το ΚΜ υπολογίζεται:

$$KM = KB + BM = 5.90 + 14.497 \rightarrow KM = 20.397 [m]$$

	<b>ΚΜ [m]</b>
<b>Υπολογισθέν</b>	20.397
<b>Πραγματικό</b>	20.574
<b>Συντελεστής διόρθωσης λ</b>	<b>0.991</b>

### 2.7.4 Υπό μελέτη πλοίο – Αφιξη

	Weight(tn)	LCG(m)	KG(m)	MI (t·m)	Mt (t·m)	LCG/L	KG/D
L.S	33594.08	122.89	16.54	4128503.47	555709.13	0.43	0.64
CARGO 96.37% (Payload)	76519.29	148.25	15.93	11343895.77	1218675.61	0.52	0.61
W.B.T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F.W. TANKS	44.14	8.98	16.62	396.55	733.50	0.03	0.64
F.O.TANKS	507.74	191.64	7.26	97304.45	3687.17	0.68	0.28
D.O.TANKS	59.41	48.41	13.89	2875.95	825.37	0.17	0.53
LUB.OIL.T.	23.15	30.04	21.42	695.41	495.84	0.11	0.82
DWT CONST.	686.86	61.12	9.79	41982.45	6724.38	0.22	0.38
<b>Δ</b>	<b>111434.67</b>	<b>140.13</b>	<b>16.03</b>	<b>15615654.05</b>	<b>1786851.00</b>	-	-

Πίνακας 2.7:10 Κατάσταση φόρτωσης άφιξης υπό μελέτη πλοίου

Σημείωση : Το Payload είναι στο 96.37% της πλήρωσης του, για την συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης.

L.S	Weight(tn)	KG/D	KG(m)	Mt (t·m)	LCG/L	LCG(m)	MI (t·m)
W <sub>ST</sub>	24481.82	0.64	16.64	407377.43	0.48	135.94	3327960.23
W <sub>OT</sub>	6534.19	0.90	23.40	152899.95	0.42	118.94	777202.23
W <sub>M</sub>	2578.08	0.55	14.30	36866.50	LCGM=LA+0.5LER	32.80	84560.92
	33594.08		<b>17.78</b>	597143.88		<b>124.72</b>	4189723.39
		<b>λ<sub>KG</sub></b>	<b>1.075</b>		<b>λ<sub>LCG</sub></b>	<b>1.015</b>	
<b>ΔΙΟΡΘΩΣΗ</b>			<b>16.54</b>			<b>122.89</b>	

Πίνακας 2.7:11 Ανάλυση του lightship του υπό μελέτη πλοίου βάσει των διορθωτικών συντελεστών (λ<sub>KG</sub>, λ<sub>LCG</sub>)

### 2.7.4.1 Υπολογισμός GM

Για να υπολογίσουμε τα KB και BM σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης πρέπει να υπολογίσουμε το βύθισμα και τους συντελεστές μορφής σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις, όπου (0) η Full Load Departure και (1) η Full Load Arrival:

$$\begin{aligned} \text{Βύθισμα} \quad T_1 &= T_0 \left( \frac{\Delta_1}{\Delta_0} \right)^{\frac{C_{B_0}}{C_{WL_0}}} \\ C_{WL} \quad C_{WL_1} &= C_{WL_0} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{C_{WL_0}-1}{C_{B_0}}} \\ C_M \quad C_{M_1} &= \frac{(C_{M_0} - 1) \cdot T_0 + T_1}{T_1} \\ C_B \quad C_{B_1} &= C_{B_0} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{C_{WL_0}-1}{C_{B_0}}} \end{aligned}$$

Για τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής νούμερα:

$$T_0 = 11.7 [m], \Delta_0 = 118835.8 [t], \Delta_1 = 11434.7 [t], C_{B_0} = 0.758, C_{WL_0} = 0.837$$

	Αποτέλεσμα
<b>Βύθισμα</b>	11.038
<b>Συντελεστής <math>C_{WL}</math></b>	0.832
<b>Συντελεστής <math>C_M</math></b>	0.992
<b>Συντελεστής <math>C_B</math></b>	0.753

### Υπολογισμός KB

Από το βιβλίο [1a] σελ. 302 χρησιμοποιούμε τους προσεγγιστικούς τύπους:

$$\begin{array}{l|l} \text{Schneekluth} & T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) \\ \text{Normand I} & T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M) \\ \text{Normand II} & T \cdot \left( \frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WL}} \right) \end{array}$$



Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσεγγιστικό ΚΒ	
Schneekluth	5.819 [m]
Normand I	5.994 [m]
Normand II	5.865 [m]
<b>Μέσο ΚΒ</b>	<b>5.893 [m]</b>

### Υπολογισμός ΒΜ

- Προσεγγιστικοί τύποι (σελ. 302 [1a])

Αυτοί οι τύποι είναι της μορφής  $BM = C_1 \frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B}$ , όπου  $C_1$  συντελεστής ανάλογα με τον τύπο που θέλουμε. Επομένως υπολογίζουμε

$$\frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B} = \frac{46^2}{12 \cdot 11.038 \cdot 0.753} = 21.2$$

	Εξισώσεις $C_1$
Normand	$0.096 + 0.89 \cdot C_{WL}^2$
Schneekluth	$C_{WL}^{1.8}$
Bauer	$0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WL} + 1)^3$
Dudszus-Danckwardt	$0.13 \cdot C_{WL} + 0.87 \cdot C_{WL}^2 + 0.005$
Murray	$0.5 (3C_{WL} - 1)$

Προσεγγιστικό ΒΜ	
Normand	15.090 [m]
Schneekluth	15.218 [m]
Bauer	14.903 [m]
Dudszus-Danckwardt	15.159 [m]
Murray	15.851 [m]
<b>Μέσο ΒΜ</b>	<b>15.244 [m]</b>

Από τα παραπάνω το υπολογισθέν ΚΜ είναι:

$$KM = KB + BM = 5.893 + 15.244 \rightarrow KM = 21.137 [m]$$

Το διορθωμένο ΚΜ του πλοίου θα είναι:

$$KM_{CORR} = \frac{KM_{calc}}{\lambda_{KM}} = \frac{21.137}{0.991} \rightarrow KM_{CORR} = 21.321 [m]$$

Όμως επειδή οι δεξαμενές είναι γεμάτες στο 96.37 %, υπάρχει επίδραση ελεύθερων επιφανειών. Κατά αυτόν τον τρόπο, ανατρέχοντας στον πίνακα της αναχώρησης του πλοίου για το πατρικό πλοίο, δίδεται η ροπή για την ελεύθερη επιφάνεια όλων των δεξαμενών ίση με 87442 tm.

Με αναγωγή στο νέο πλοίο με τους λόγους  $\lambda_L, \lambda_B$  προκύπτει η ροπή για το νέο πλοίο:

$$M' = M_{\text{πατρικό}} \cdot \lambda_L \cdot \lambda_B^3$$

$$\delta KG = \frac{M'}{\Delta} = 0.897m$$

$$KG_{CORR} = KG' + \delta KG = 16.03 + 0.897 = 16.93m$$

$$GM_{CORR} = KM_{CORR} - KG_{CORR} = 4.39 m$$

## 2.8 Γραμμή Φόρτωσης

Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου που χρειάζονται για τη γραμμή φόρτωσης είναι:

<b>L<sub>BP</sub></b>	283.2	[m]
<b>B</b>	46	[m]
<b>T</b>	11.7	[m]
<b>D</b>	20.8	[m]
<b>C<sub>B</sub></b>	0.758	-
<b>C<sub>WL</sub></b>	0.837	-

Θεωρούμε ότι το πάχος του ελάσματος του πρυμναίου καταστρώματος είναι ίσο με  $t = 18 [mm]$

- Πλευρικό Ύψος  $D_F$  θεωρούμε το ύψος στην πρύμνη όπου είναι χαμηλότερο από το κύριο κατάστρωμα

$$D_F = D + t = 20800 + 0.018 \rightarrow D_F = 20818 [mm]$$

- Βύθισμα στο 0.85D

$$T_{0.85D} = 0.85D = 0.85 \cdot 20.8 \rightarrow T_{0.85D} = 17.68 [m]$$

- Συντελεστής γάστρας στο 0.85D

$$C_{B_{0.85D}} = C_{B_0} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{C_{WL_0}}{C_{B_0}} - 1} \rightarrow 0.758 \left( \frac{17.68}{11.7} \right)^{\frac{0.837}{0.758} - 1} \rightarrow C_{B_{0.85D}} = 0.791$$

- Βασικό Ύψος Εξάλων (BYE)

Το πλοίο είναι Τύπου Α και έτσι από τον πίνακα Ι του βιβλίου [1b] σελ. Δ-14, βρίσκουμε με γραμμική παρεμβολή για μήκος 283.2 m ότι:

$$BYE = 3190.08 [mm]$$

- Διόρθωση μήκους

Δεν έχουμε διότι  $L_{ΓΦ} > 100 m$ .

- Διόρθωση  $C_B$

Αφού έχουμε  $C_{B_{0.85D}} > 0.68$  τότε ισχύει:

$$YE^5 = \left( \frac{C_{B_{0.85D}} + 0.68}{1.36} \right) = \left( \frac{0.791 + 0.68}{1.36} \right) \rightarrow YE^5 = 1.082 [mm]$$

- Διόρθωση πλευρικού ύψους

Έχουμε  $\frac{L_{ΓΦ}}{15} = m$ , δηλαδή  $D_F > \frac{L_{ΓΦ}}{15}$ . Επιπλέον  $L_{ΓΦ} > 120 m$  άρα  $R = 250 [mm]$ , οπότε έχουμε:

$$YE^6 = \left( D_F - \frac{L_{ΓΦ}}{15} \right) \cdot R = \left( 20.818 - \frac{283.2}{15} \right) \cdot 250 \rightarrow YE^6 = 484.5 [mm]$$

- Διόρθωση υπερκατασκευών δεν έχουμε αφού δεν υπάρχουν υπερκατασκευές.

- Διόρθωση σιμότητας

Για την διόρθωση της σιμότητας υπολογίζουμε το μέτρο της κανονικής σιμότητας:

$$M_N = 12.5063 \cdot \left( \frac{L_{ΓΦ}}{3} + 10 \right) = 12.5063 \cdot \left( \frac{283.2}{3} + 10 \right) \rightarrow M_N = 1305.7 [mm]$$

Εφόσον το υπό μελέτη πλοίο δεν έχει σιμότητα τότε:  $M_S^* = 0$

Οπότε η διόρθωση για την σιμότητα βρίσκεται:

$$YE^8 = (M_N - M_S^*) \cdot \left( 0.75 - \frac{S}{2 \cdot L_{ΓΦ}} \right) \rightarrow$$

$$\rightarrow (1305.7 - 0) \cdot \left(0.75 - \frac{0}{2 \cdot 283.2}\right) \rightarrow YE^8 = 979.2 [mm]$$

- Τελικό Ύψος εξάλων

Το τελικό ύψος εξάλων του υπό μελέτη πλοίου ισούται με:

$$YE_{TEΛ} = B_{YE} \cdot YE^5 + YE^6 + YE^7 + YE^8 = 4914.7 [mm]$$

- Μέγιστο έμφορτο βύθισμα

$$T_{ΓΦ} = D_F - YE_{TEΛ} = (20818 - 4914.7) [mm] \rightarrow T_{ΓΦ} = 15.90 [m]$$

$$T_{ΓΦ} > 11.7 m \rightarrow \text{αποδεκτό}$$

- Ελάχιστο ύψος πλώρας

Το ελάχιστο ύψος πλώρας (ΕΥΠ) δίνεται από την εξίσωση, όπου  $L_{ΓΦ} = L_{BP}$ :

$$EYΠ = 7000 \cdot \frac{1.36}{C_{B_{0.85D}} + 0.68} [mm], \quad L \geq 250m$$

$$= 7000 \cdot \frac{1.36}{0.791 + 0.68} \rightarrow$$

$$\rightarrow EYΠ = 6470.8 [mm] = 6.47 [m]$$

- Πραγματικό ύψος πλώρας

$$ΠΥΠ = D_f - T = 20.818 - 11.7 \rightarrow ΠΥΠ = 9.12 [m] > EYΠ$$

Ο έλεγχος της γραμμής φόρτωσης πραγματοποιήθηκε με επιτυχία, όπως και ο έλεγχος για το ύψος της πλώρης.

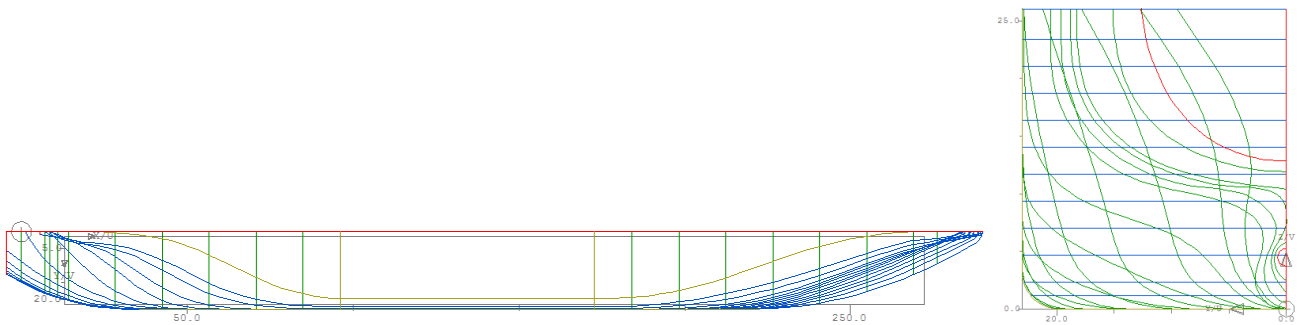
Η χάραξη των γραμμών φόρτωσης, γίνεται σύμφωνα τον διεθνή κανονισμό της LoadLine Convention.

### 3 ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

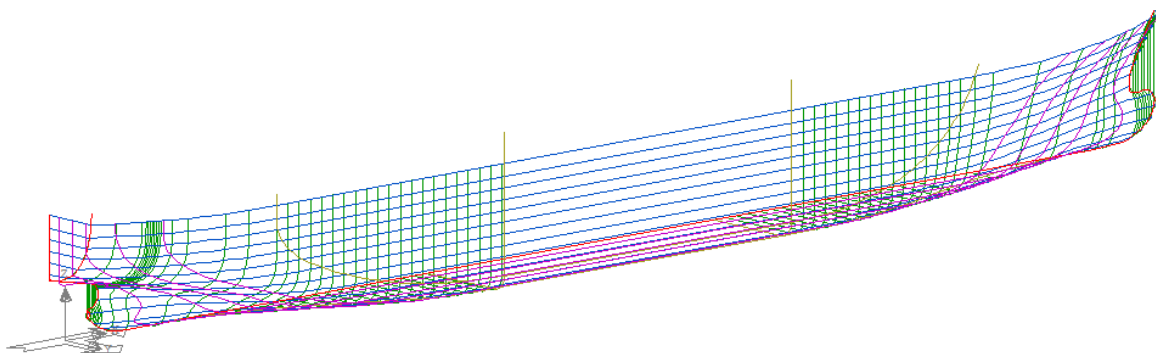
Αφού επιλεγούν τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου όπως αυτά υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 2, πραγματοποιείται μοντελοποίηση και σχεδίαση του υπο μελέτη πλοίου με τη βοήθεια του προγράμματος AVEVA και Autocad με σκοπό να εξαχθούν χρήσιμα δεδομένα. Στα Παραρτήματα παρατίθενται σχετικά σχέδια.

#### 3.1 Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών

Με χρήση του υποπρογράμματος Lines του AVEVA, οι γραμμές προσαρμόστηκαν κατάλληλα στο υπό μελέτη πλοίο, με αναφορά το πατρικό (FOS, FOB, stem-stern profile, transom, άξονας έλικας). Ακολούθως πραγματοποιείται εξομάλυνση για να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα διατηρώντας το  $C_B$  και στο τέλος εισάγονται και οι διαμήκεις τομές (buttocks).



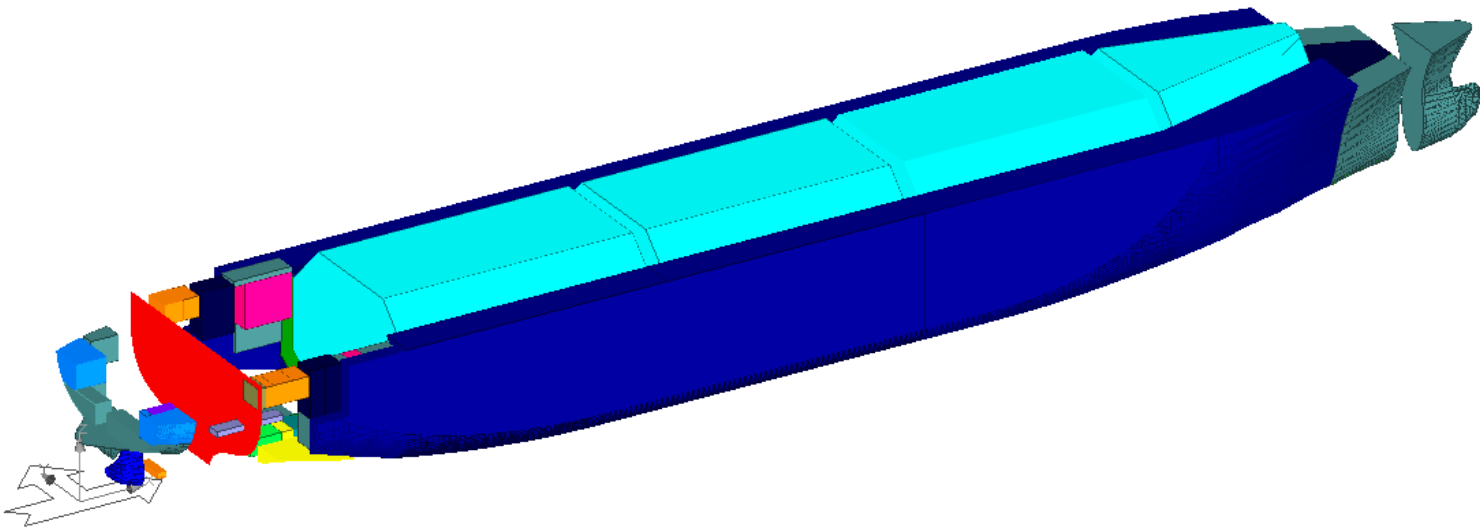
Εικόνα 3.1:1 Μορφή ισάλων και νομέων υπό μελέτη πλοίου



Εικόνα 3.1:2 Τελικό 3D σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών

### 3.2 Διαμερισματοποίηση

Επόμενο βήμα είναι η διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου με χρήση του υποπρογράμματος Surface & Compartment του AVEVA και του τελικού σχεδίου των ναυπηγικών γραμμών. Συγκεκριμένα, ορίζονται βοηθητικές επιφάνειες ώστε να διαχωριστούν και να σχεδιαστούν τελικά όλες οι δεξαμενές του πλοίου (cargo, ballast, fuel oil, lube oil, diesel oil, freshwater tank, etc.). Οι διαστάσεις των δεξαμενών προσαρμόζονται με βάση το πατρικό πλοίο. Στην Εικόνα 3.2:1 φαίνεται η διαμερισματοποίηση του πλοίου.



Εικόνα 3.2:1 Τελική διαμερισματοποίηση υπό μελέτη πλοίου- 3D

### 3.3 Υδροστατικά και Υδροδυναμικά Χαρακτηριστικά

Στη συνέχεια, το αρχείο της διαμερισματοποίησης του υπό μελέτη πλοίου, εισάγεται στο υποπρόγραμμα Hydrostatics & Hydrodynamics του AVEVA. Στο υποπρόγραμμα αυτό ορίζονται τα διάφορα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου και κατηγοριοποιούνται οι δεξαμενές που το αποτελούν με σκοπό να εξαχθούν οι καταστάσεις φόρτωσης, με όλες τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν (Full Load Departure, Full Load Arrival, Ballast Departure, Ballast Arrival). Επίσης, από το πρόγραμμα θα εξαχθούν τα υδροστατικά, οι καμπύλες ευστάθειας, τα κατακλύσιμα μήκη και η DWT Scale.

### 3.3.1 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Αναχώρηση (FLD)

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	HFO	0.9800
	DO	0.8500
	LO	0.9000
	CARGO	0.4670

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
E/R W.B.T(P)	44-67	WB	100.0	1.025	679.8	46.47	-21.68	15.97	0.0
ER/W.B.T(S)	44-67	WB	100.0	1.025	679.8	46.47	21.68	15.97	0.0
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>1359.6</b>	<b>46.47</b>	<b>0.00</b>	<b>15.97</b>	<b>0.0</b>
<i>FRESH WATER</i>									
D.W.TK(S)	9-15	FW	100.0	1.000	65.0	9.40	12.25	18.50	0.0
F.W.TK(P)	7-15	FW	100.0	1.000	218.0	9.01	-14.48	18.63	0.0
F.W.TK(S)	7-15	FW	100.0	1.000	153.0	8.85	15.42	18.68	0.0
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>436.0</b>	<b>9.01</b>	<b>0.00</b>	<b>18.63</b>	<b>0.0</b>
<i>HEAVY FUEL OIL</i>									
H.F.O.SERV(S)	44-48	HFO	98.0	0.980	116.5	36.80	18.49	20.65	16.6
H.F.O.SETT(S)	48-52	HFO	98.0	0.980	116.5	40.00	18.49	20.66	16.6
H.F.O.T(S)	44-67	HFO	98.0	0.980	426.3	43.05	18.87	16.62	62.2
H.F.O.SERV(P)	44-48	HFO	98.0	0.980	116.5	36.80	-18.49	20.65	16.6
H.F.O.SETT(P)	48-52	HFO	98.0	0.980	116.5	40.00	-18.49	20.66	16.6
L.S.H.F.O.T(P)	44-67	HFO	98.0	0.980	608.8	44.78	-18.65	15.46	62.2
NO.1 FWD H.F.O.T(C)	135-147	HFO	98.0	0.980	1785.3	263.89	0.00	12.41	944.6
NO.2 FWD H.F.O.T(C):	127-135	HFO	98.0	0.980	1825.8	256.25	0.00	12.41	2101.5
<b>Total HEAVY FUEL OIL</b>					<b>5112.2</b>	<b>196.10</b>	<b>-0.65</b>	<b>13.88</b>	<b>3236.9</b>
<i>DIESEL OIL</i>									
M.D.O.SERV(S)	55-59	DO	98.0	0.850	79.2	45.60	18.15	20.41	8.1
M.D.O.STOR(S)	55-67	DO	98.0	0.850	316.7	49.58	18.15	16.59	16.3
M.G.O.SERV(P)	55-59	DO	98.0	0.850	79.2	45.60	-18.15	20.41	8.1
M.G.O.STOR(P)	59-67	DO	98.0	0.850	158.3	50.40	-18.15	20.41	16.3
<b>Total DIESEL OIL</b>					<b>633.4</b>	<b>48.79</b>	<b>4.54</b>	<b>18.50</b>	<b>48.8</b>
<i>LUB. OIL</i>									
G/E L.O.SETT.T(P)	34-39	LO	98.0	0.900	69.1	29.20	-18.95	22.96	35.3

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
G/E L.O.STOR.T(P)	39-43	LO	98.0	0.900	55.3	32.80	-18.95	22.96	28.2
G/E L.OIL.SETT.T(S)	34-39	LO	98.0	0.900	69.1	29.20	18.95	22.96	35.3
G/E L.OIL.STR.T(S)	39-43	LO	98.0	0.900	55.3	32.80	18.95	22.96	28.2
PRO M.L.O STR.T(S)	30-32	LO	98.0	0.900	27.7	24.80	18.95	22.96	14.1
R/G L.OIL.STR.T(S)	32-34	LO	98.0	0.900	27.7	26.40	18.95	22.96	14.1
<b>Total LUB. OIL</b>					<b>304.2</b>	<b>29.85</b>	<b>3.45</b>	<b>22.96</b>	<b>155.2</b>
<i>CARGO</i>									
CARGO TANK NO.1	116-126	CARGO	98.5	0.467	10731.7	231.73	0.00	16.11	4956.7
CARGO TANK NO.2	100-115	CARGO	98.5	0.467	22319.1	188.80	0.00	16.37	24754.8
CARGO TANK NO.3	84-99	CARGO	98.5	0.467	22319.1	135.60	0.00	16.37	24754.8
CARGO TANK NO.4	68-83	CARGO	98.5	0.467	22850.5	81.80	0.00	16.37	25344.2
<b>Total CARGO</b>					<b>78220.4</b>	<b>148.25</b>	<b>0.00</b>	<b>16.33</b>	<b>79810.5</b>
<i>DWT CONST.</i>									
DWT CONST.					686.9	61.12	0.00	9.79	0.0
<b>Total DWT CONST.</b>					<b>686.9</b>	<b>61.12</b>	<b>0.00</b>	<b>9.79</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>33594.1</b>	<b>122.89</b>	<b>0.00</b>	<b>16.54</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>86752.5</b>	<b>146.95</b>	<b>0.01</b>	<b>16.18</b>	<b>83251.6</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>120346.6</b>	<b>140.23</b>	<b>0.01</b>	<b>16.28</b>	<b>83251.6</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>120340.4</b>	<b>140.23</b>	<b>0.02</b>	<b>6.22</b>	<b>1792976.7</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>120340.4</b>	<b>140.23</b>	<b>0.02</b>	<b>6.22</b>	<b>1792976.7</b>

Πίνακας 3.3:1 Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώριση (FLD)

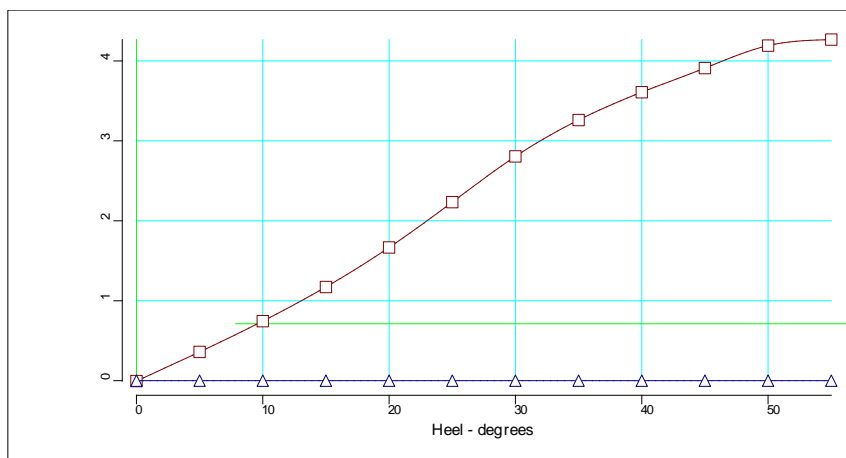
Draft at LCF	11.852 metres
Draft aft at marks	11.843 metres
Draft fwd at marks	11.862 metres
Draft at AP	11.843 metres
Draft at FP	11.862 metres
Mean draft at midships	11.853 metres

Density of water	1.0286 tonnes/cu.m
Heel to starboard	0.07 degrees
Trim	No trim
KG	16.282 metres
FSC	0.692 metres
KGf	16.974 metres
GMt	4.144 metres
BMt	14.899 metres
BMI	477.680 metres
Waterplane area	11067.58 sq.metres



Density of water	1.0286	tonnes/cu.m
LCG	140.231	metres
LCB	140.231	metres
TCB	0.018	metres
LCF	133.612	metres
TCF	0.018	metres
TPC	113.840	tonnes/cm
MTC	2029.810	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Πίνακας 3.3:2 Βυθίσματα και Υδροστατικά Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώρηση (FLD)



Διάγραμμα 3:1 Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναναφοράς Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώρηση (FLD)

### Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	-0.0051	4.1436	0.019	11.853	14.60[0]	0.0000
5.00	0.3600	4.2637	0.056	11.799	12.55[0]	0.0000
10.00	0.7451	4.6253	0.168	11.635	10.42[0]	0.0000
15.00	1.1724	5.2695	0.356	11.361	8.23[0]	0.0000
20.00	1.6661	6.1912	0.608	10.977	6.01[0]	0.0000
25.00	2.2334	6.8104	0.913	10.474	3.78[0]	0.0000
30.00	2.8050	6.1546	1.255	9.812	1.59[0]	0.0000
35.00	3.2602	4.6025	1.610	8.932	-0.46[0]	0.0000
40.00	3.6085	3.6661	1.928	7.828	-2.35[0]	0.0000
45.00	3.9098	3.4935	2.147	6.516	-4.08[0]	0.0000
50.00	4.1910	2.3500	2.286	5.023	-5.64[0]	0.0000
55.00	4.2663	-0.4427	2.459	3.474	-7.14[0]	0.0000

Πίνακας 3.3:3 Στοιχεία Μοχλοβραχίονα Επαναναφοράς Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώρηση (FLD)

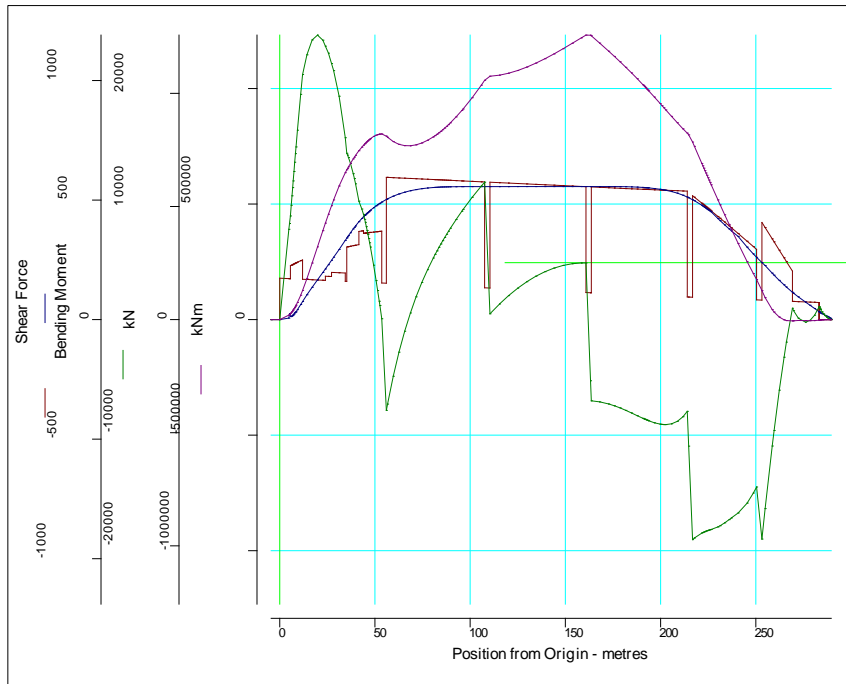
Property	Value	Units
Length WL	291.696	metres
Profile area above WL	0.000	sq.metres
Area to leeward (Area b)	1.90821	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00000	m-radians
GZc	0.000	metres
Gust angle	0.070	degrees
Rollback angle	18.901	degrees
Steady state angle	0.070	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	3.881	
X1	0.800	
Cb	0.757	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	5.120	metres
r	0.989	
T	15.223	seconds

Πίνακας 3.3:4 IMO Wind Heeling Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώριση (FLD)

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.660	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.566	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	1.226	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	Not Appl..	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	4.270	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	54.057	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.070	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

Πίνακας 3.3:5 Εφαρμογή Κριτηρίου IMO 749 Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώριση (FLD)

**Condition complies with the regulations**



Διάγραμμα 3:2 Διαμήκης Αντοχή Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώριση (FLD)

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
0.00	#0	0.0	---	0.0	---
19.86	--	25154.7	---	314837.2	---
53.62	--	0.0	---	803286.7	---
56.00	#68	-8023.8	---	793896.4	---
67.53	--	0.0	---	752489.5	---
107.60	#83	12149.0	---	1035383.6	---
161.95	--	0.0	---	1231015.6	---
202.75	--	-9280.9	---	907267.2	---
216.80	#116	-19452.5	---	768105.5	---
253.20	#127	-19400.3	---	125533.7	---
268.15	--	0.0	---	-4987.2	---
273.64	--	0.0	---	-4017.2	---
276.12	--	-230.3	---	-4313.7	---
278.83	--	0.0	---	-4678.9	---
283.20	--	1131.5	---	-2680.2	---
<b>Maximum BM</b>					
<b>160.80</b>				<b>1231252.4</b>	<b>---</b>
<b>Maximum SF</b>					
<b>19.86</b>		<b>25154.7</b>	<b>---</b>		

Πίνακας 3.3:6 Στοιχεία Διαμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Αναχώριση (FLD)

### 3.3.2 Κατάσταση πλήρους φόρτωσης - Άφιξη (FLA)

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>FRESH WATER</i>									
D.W.TK(S)	9-15	FW	10.0	1.000	6.5	9.40	12.25	16.25	6.8
F.W.TK(P)	7-15	FW	10.0	1.000	21.8	9.08	-13.93	16.30	125.1
F.W.TK(S)	7-15	FW	10.0	1.000	15.3	8.90	14.86	16.33	56.7
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>43.6</b>	<b>9.07</b>	<b>0.08</b>	<b>16.30</b>	<b>188.6</b>
<i>HEAVY FUEL OIL</i>									
H.F.O.SERV(S)	44-48	HFO	10.0	0.980	11.9	36.80	18.49	16.47	16.6
H.F.O.SETT(S)	48-52	HFO	10.0	0.980	11.9	40.00	18.49	16.48	16.6
H.F.O.T(S)	44-67	HFO	10.0	0.980	43.5	41.06	18.76	10.53	60.7
H.F.O.SERV(P)	44-48	HFO	10.0	0.980	11.9	36.80	-18.49	16.47	16.6
H.F.O.SETT(P)	48-52	HFO	10.0	0.980	11.9	40.00	-18.49	16.48	16.6
L.S.H.F.O.T(P)	44-67	HFO	10.0	0.980	62.1	44.40	-18.49	10.43	95.4
NO.1 FWD H.F.O.T(C)	135-147	HFO	10.0	0.980	182.2	263.89	0.00	4.14	944.6
NO.2 FWD H.F.O.T(C)	127-135	HFO	10.0	0.980	186.3	256.25	0.00	4.14	2101.5
<b>Total HEAVY FUEL OIL</b>					<b>521.7</b>	<b>195.89</b>	<b>-0.64</b>	<b>6.55</b>	<b>3268.6</b>
<i>DIESEL OIL</i>									
M.D.O.SERV(S)	55-59	DO	10.0	0.850	8.1	45.60	18.15	16.45	8.1
M.D.O.STOR(S)	55-67	DO	10.0	0.850	32.3	48.80	18.15	10.60	24.4
M.G.O.SERV(P)	55-59	DO	10.0	0.850	8.1	45.60	-18.15	16.45	8.1
M.G.O.STOR(P)	59-67	DO	10.0	0.850	16.2	50.40	-18.15	16.45	16.3
<b>Total DIESEL OIL</b>					<b>64.7</b>	<b>48.40</b>	<b>4.54</b>	<b>13.53</b>	<b>56.9</b>
<i>LUB. OIL</i>									
G/E L.O.SETT.T(P)	34-39	LO	10.0	0.900	7.1	29.20	-18.95	21.20	35.3
G/E L.O.STOR.T(P)	39-43	LO	10.0	0.900	5.6	32.80	-18.95	21.20	28.2
G/E L.OIL.SETT.T(S)	34-39	LO	10.0	0.900	7.1	29.20	18.95	21.20	35.3
G/E L.OIL.STR.T(S)	39-43	LO	10.0	0.900	5.6	32.80	18.95	21.20	28.2
PRO M.L.O.STR.T(S)	30-32	LO	10.0	0.900	2.8	24.80	18.95	21.20	14.1
R/G L.OIL.STR.T(S)	32-34	LO	10.0	0.900	2.8	26.40	18.95	21.20	14.1
<b>Total LUB. OIL</b>					<b>31.0</b>	<b>29.85</b>	<b>3.45</b>	<b>21.20</b>	<b>155.2</b>
<i>CARGO</i>									
CARGO TANK NO.1	116-126	CARGO	96.4	0.467	10499.6	231.75	0.00	15.82	6881.2
CARGO TANK NO.2	100-115	CARGO	96.4	0.467	21836.3	188.80	0.00	16.08	30582.2
CARGO TANK NO.3	84-99	CARGO	96.4	0.467	21836.3	135.60	0.00	16.08	30582.3
CARGO TANK NO.4	68-83	CARGO	96.4	0.467	22356.2	81.80	0.00	16.08	31310.4
<b>Total CARGO</b>					<b>76528.4</b>	<b>148.26</b>	<b>0.00</b>	<b>16.04</b>	<b>99356.1</b>
<i>DWT CONST.</i>									

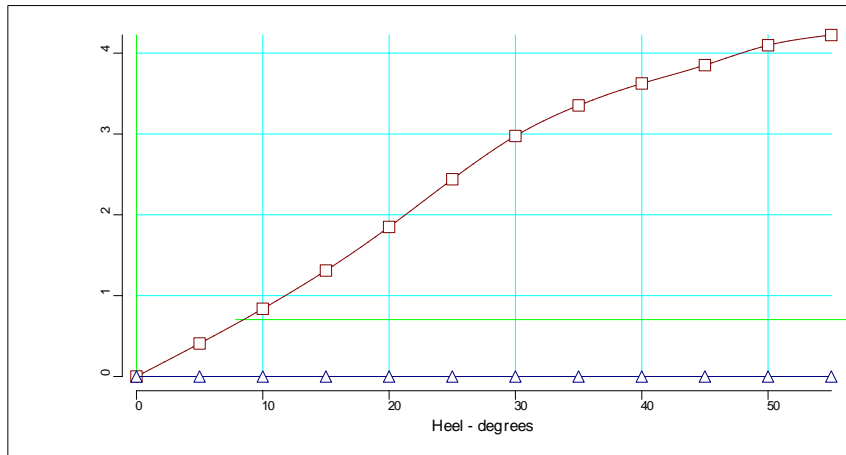
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
DWT CONST.					686.9	61.12	0.00	9.79	0.0
<b>Total DWT CONST.</b>					<b>686.9</b>	<b>61.12</b>	<b>0.00</b>	<b>9.79</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>33594.1</b>	<b>122.89</b>	<b>0.00</b>	<b>16.54</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>77876.3</b>	<b>147.60</b>	<b>0.00</b>	<b>15.93</b>	<b>103025.5</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>111470.3</b>	<b>140.15</b>	<b>0.00</b>	<b>16.11</b>	<b>103025.5</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>111470.4</b>	<b>140.14</b>	<b>0.00</b>	<b>5.80</b>	<b>1770255.5</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>111470.4</b>	<b>140.14</b>	<b>0.00</b>	<b>5.80</b>	<b>1770255.5</b>

Πίνακας 3.3:7 Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης - Άφιξη (FLA)

Draft at LCF	11.068 metres
Draft aft at marks	11.212 metres
Draft fwd at marks	10.908 metres
Draft at AP	11.212 metres
Draft at FP	10.908 metres
Mean draft at midships	11.060 metres

Density of water	1.0286 tonnes/cu.m
Heel	No heel
Trim by the stern	0.304 metres
KG	16.111 metres
FSC	0.924 metres
KGf	17.035 metres
GMt	4.647 metres
BMt	15.881 metres
BMI	498.863 metres
Waterplane area	10938.91 sq.metres
LCG	140.152 metres
LCB	140.140 metres
TCB	0.000 metres
LCF	134.615 metres
TCF	0.000 metres
TPC	112.516 tonnes/cm
MTC	1963.575 tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000 mm

Πίνακας 3.3:8 Βυθίσματα και Υδροστατικά Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)



Διάγραμμα 3:3 Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	-0.0006	4.6471	-0.304	11.060	15.39[0]	0.0000
5.00	0.4082	4.7665	-0.260	11.008	13.34[0]	0.0000
10.00	0.8374	5.1470	-0.130	10.851	11.20[0]	0.0000
15.00	1.3106	5.8189	0.083	10.589	9.01[0]	0.0000
20.00	1.8503	6.6737	0.363	10.220	6.77[0]	0.0000
25.00	2.4397	6.8378	0.700	9.728	4.52[0]	0.0000
30.00	2.9751	5.3326	1.077	9.062	2.34[0]	0.0000
35.00	3.3529	3.7141	1.465	8.171	0.30[0]	0.0000
40.00	3.6247	2.8384	1.825	7.064	-1.59[0]	0.0000
45.00	3.8518	2.6323	2.101	5.758	-3.32[0]	0.0000
50.00	4.0971	2.7170	2.252	4.265	-4.88[0]	0.0000
55.00	4.2238	0.0930	2.439	2.675	-6.34[0]	0.0000

Πίνακας 3.3:9 Στοιχεία Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)

Property	Value	Units
Length WL	291.696	metres
Profile area above WL	0.000	sq.metres
Area to leeward (Area b)	1.98207	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00000	m-radians
GZc	-0.001	metres
Gust angle	0.000	degrees
Rollback angle	20.036	degrees
Steady state angle	0.000	degrees
Max. angle to leeward	49.992	degrees
B/d'	4.159	
X1	0.800	
Cb	0.751	

Property	Value	Units
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	5.975	metres
r	1.054	
T	14.648	seconds

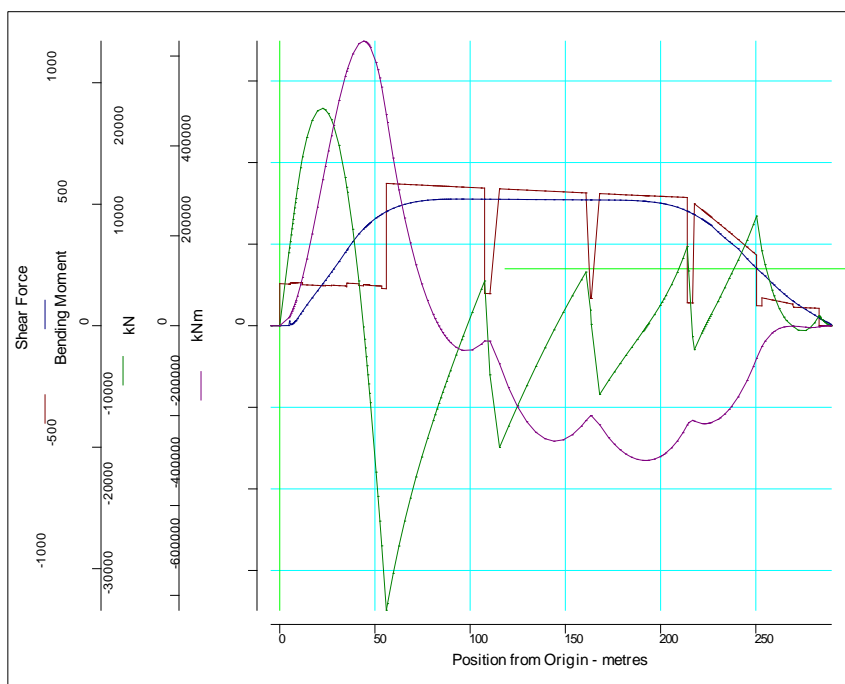
Πίνακας 3.3:10 IMO Wind Heeling Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)

### IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

# Criterion	Actual Value	Critical Value
1 Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.727	0.055
2 Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.582	0.030
3 Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	1.309	0.090
4 Initial GM to be at least 0.15 metres	4.647	0.150
5 GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	4.224	0.200
6 Max GZ to be at an angle > 30 degrees	55.000	30.000
7 IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.000	16.000
8 IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

Πίνακας 3.3:11 Εφαρμογή Κριτηρίου IMO 749 Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)

**Condition complies with the regulations**



Διάγραμμα 3:4 Διαμήκης Αντοχή Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
0.00	#0	0.0	---	0.0	---
22.66	--	24170.8	---	357878.7	---
43.94	--	0.0	---	697432.2	---
56.00	#68	-31652.5	---	517718.1	---
98.42	--	0.0	---	-60105.1	---
108.93	--	0.0	---	-37538.0	---
115.40	--	-13542.3	---	-93350.8	---
145.22	--	0.0	---	-282353.9	---
160.80	#99	5967.8	---	-232626.2	---
163.68	--	0.0	---	-220841.3	---
167.97	--	-7647.3	---	-242653.3	---
192.88	--	0.0	---	-330420.1	---
214.00	#115	8806.2	---	-243435.3	---
216.46	--	0.0	---	-233098.2	---
217.75	--	-2659.1	---	-234105.4	---
223.52	#118	0.0	---	-240142.7	---
250.40	#126	12195.9	---	-80014.0	---
269.13	--	0.0	---	-1087.9	---
276.12	--	-533.4	---	-3730.5	---
279.46	--	0.0	---	-4518.3	---
283.20	--	1113.9	---	-2723.1	---
<i>Maximum BM</i>					
<b>44.00</b>				<b>697592.6</b>	---
<i>Maximum SF</i>					
<b>56.00</b>		<b>-31652.5</b>	---		

Πίνακας 3.3:12 Στοιχεία Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών Κατάστασης Πλήρους Φόρτωσης – Άφιξη (FLA)



### 3.3.3 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αναχώρηση (BD)

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
W.B.T.NO.1(P)	115-127	WB	100.0	1.025	5726.1	233.41	-14.65	13.24	0.0
W.B.T.NO.1(S)	115-127	WB	100.0	1.025	5726.1	233.41	14.65	13.24	0.0
W.B.T.NO.2(P)	99-115	WB	100.0	1.025	7553.0	186.87	-16.97	8.61	0.0
W.B.T.NO.2(S)	99-115	WB	100.0	1.025	7553.0	186.87	16.97	8.61	0.0
W.B.T.NO.3(P)	83-99	WB	100.0	1.025	7770.0	134.20	-17.09	8.43	0.0
W.B.T.NO.3(S)	83-99	WB	100.0	1.025	7770.0	134.20	17.09	8.43	0.0
W.B.T.NO.4(P)	67-83	WB	100.0	1.025	7545.4	81.43	-16.98	8.74	0.0
W.B.T.NO.4(S)	67-83	WB	100.0	1.025	7545.4	81.43	16.98	8.74	0.0
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>57189.0</b>	<b>154.05</b>	<b>0.00</b>	<b>9.52</b>	<b>0.0</b>
<i>FRESH WATER</i>									
D.W.TK(S)	9-15	FW	100.0	1.000	65.0	9.40	12.25	18.50	0.0
F.W.TK(P)	7-15	FW	100.0	1.000	218.0	9.01	-14.48	18.63	0.0
F.W.TK(S)	7-15	FW	100.0	1.000	153.0	8.85	15.42	18.68	0.0
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>436.0</b>	<b>9.01</b>	<b>0.00</b>	<b>18.63</b>	<b>0.0</b>
<i>HEAVY FUEL OIL</i>									
H.F.O.SERV(S)	44-48	HFO	98.0	0.980	116.5	36.80	18.49	20.65	16.6
H.F.O.SETT(S)	48-52	HFO	98.0	0.980	116.5	40.00	18.49	20.66	16.6
H.F.O.T(S)	44-67	HFO	98.0	0.980	426.3	43.05	18.87	16.62	62.2
H.F.O.SERV(P)	44-48	HFO	98.0	0.980	116.5	36.80	-18.49	20.65	16.6
H.F.O.SETT(P)	48-52	HFO	98.0	0.980	116.5	40.00	-18.49	20.66	16.6
L.S.H.F.O.T(P)	44-67	HFO	98.0	0.980	608.8	44.78	-18.65	15.46	62.2
NO.1 FWD H.F.O.T(C)	135-147	HFO	98.0	0.980	1785.3	263.89	0.00	12.41	944.6
NO.2 FWD H.F.O.T(C)	127-135	HFO	98.0	0.980	1825.8	256.25	0.00	12.41	2101.5
<b>Total HEAVY FUEL OIL</b>					<b>5112.2</b>	<b>196.10</b>	<b>-0.65</b>	<b>13.88</b>	<b>3236.9</b>
<i>DIESEL OIL</i>									
M.D.O.SERV(S)	55-59	DO	98.0	0.850	79.2	45.60	18.15	20.41	8.1
M.D.O.STOR(S)	55-67	DO	98.0	0.850	316.7	49.58	18.15	16.59	16.3
M.G.O.SERV(P)	55-59	DO	98.0	0.850	79.2	45.60	-18.15	20.41	8.1
M.G.O.STOR(P)	59-67	DO	98.0	0.850	158.3	50.40	-18.15	20.41	16.3
<b>Total DIESEL OIL</b>					<b>633.4</b>	<b>48.79</b>	<b>4.54</b>	<b>18.50</b>	<b>48.8</b>
<i>LUB. OIL</i>									
G/E L.O.SETT.T(P)	34-39	LO	98.0	0.900	69.1	29.20	-18.95	22.96	35.3
G/E L.O.STOR.T(P)	39-43	LO	98.0	0.900	55.3	32.80	-18.95	22.96	28.2
G/E L.OIL.SETT.T(S)	34-39	LO	98.0	0.900	69.1	29.20	18.95	22.96	35.3
G/E L.OIL.STR.T(S)	39-43	LO	98.0	0.900	55.3	32.80	18.95	22.96	28.2

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
PRO M.L.O STR.T(S)	30-32	LO	98.0	0.900	27.7	24.80	18.95	22.96	14.1
R/G L.OIL.STR.T(S)	32-34	LO	98.0	0.900	27.7	26.40	18.95	22.96	14.1
<b>Total LUB. OIL</b>					<b>304.2</b>	<b>29.85</b>	<b>3.45</b>	<b>22.96</b>	<b>155.2</b>
<i>CARGO</i>									
CARGO TANK NO.1	116-126	CARGO	0.3	0.467	34.9	232.04	0.00	3.79	12849.2
CARGO TANK NO.2	100-115	CARGO	0.3	0.467	74.8	188.80	0.00	3.79	41413.6
CARGO TANK NO.3	84-99	CARGO	0.3	0.467	74.8	135.60	0.00	3.79	41413.6
CARGO TANK NO.4	68-83	CARGO	6.2	0.467	1440.6	81.80	0.00	4.75	74591.1
<b>Total CARGO</b>					<b>1625.1</b>	<b>92.42</b>	<b>0.00</b>	<b>4.64</b>	<b>170267.5</b>
<i>DWT CONST.</i>									
DWT CONST.					686.9	61.12	0.00	9.79	0.0
<b>Total DWT CONST.</b>					<b>686.9</b>	<b>61.12</b>	<b>0.00</b>	<b>9.79</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>33594.1</b>	<b>122.89</b>	<b>0.00</b>	<b>16.54</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>65986.7</b>	<b>152.28</b>	<b>0.01</b>	<b>9.95</b>	<b>173708.7</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>99580.8</b>	<b>142.37</b>	<b>0.01</b>	<b>12.17</b>	<b>173708.7</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>99576.4</b>	<b>142.39</b>	<b>0.01</b>	<b>5.24</b>	<b>1725174.7</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>99576.4</b>	<b>142.39</b>	<b>0.01</b>	<b>5.24</b>	<b>1725174.7</b>

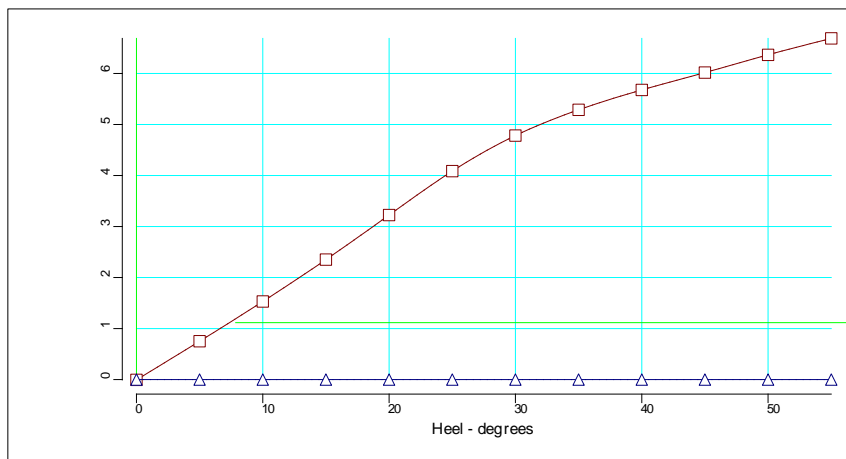
Πίνακας 3.3:13 Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

Draft at LCF	9.999 metres
Draft aft at marks	9.704 metres
Draft fwd at marks	10.314 metres
Draft at AP	9.704 metres
Draft at FP	10.314 metres
Mean draft at midships	10.009 metres

Density of water	1.0286 tonnes/cu.m
Heel to starboard	0.04 degrees
Trim by the bow	0.609 metres
KG	12.173 metres
FSC	1.744 metres
KGf	13.918 metres
GMt	8.643 metres
BMt	17.325 metres

Density of water	1.0286	tonnes/cu.m
BMI	521.404	metres
Waterplane area	10681.07	sq.metres
LCG	142.368	metres
LCB	142.387	metres
TCB	0.012	metres
LCF	137.161	metres
TCF	0.009	metres
TPC	109.864	tonnes/cm
MTC	1833.318	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Πίνακας 3.3:14 Βυθίσματα και Υδροστατικά Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)



Διάγραμμα 3:5 Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	-0.0061	8.6437	0.610	10.009	16.44[0]	0.0000
5.00	0.7515	8.7663	0.657	9.960	14.39[0]	0.0000
10.00	1.5302	9.1573	0.796	9.811	12.24[0]	0.0000
15.00	2.3519	9.7887	1.011	9.563	10.03[0]	0.0000
20.00	3.2253	10.2337	1.296	9.210	7.78[0]	0.0000
25.00	4.0864	9.4124	1.644	8.720	5.53[0]	0.0000
30.00	4.7827	6.8849	2.042	8.030	3.38[0]	0.0000
35.00	5.2878	5.1349	2.443	7.120	1.35[0]	0.0000
40.00	5.6775	4.1773	2.812	6.007	-0.53[0]	0.0000
45.00	6.0179	3.8951	3.110	4.706	-2.27[0]	0.0000
50.00	6.3664	4.2485	3.300	3.225	-3.84[0]	0.0000
55.00	6.6878	2.7749	3.504	1.598	-5.27[0]	0.0000

Πίνακας 3.3:15 Στοιχεία Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

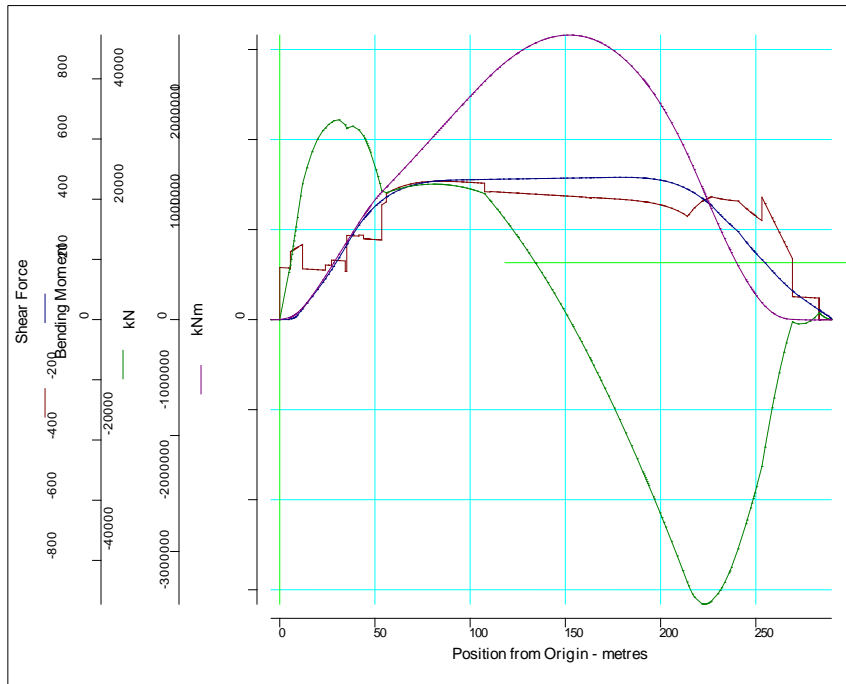
Property	Value	Units
Length WL	291.696	metres
Profile area above WL	0.000	sq.metres
Area to leeward (Area b)	3.22217	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00000	m-radians
GZc	0.000	metres
Gust angle	0.041	degrees
Rollback angle	22.882	degrees
Steady state angle	0.041	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	4.596	
X1	0.800	
Cb	0.741	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	3.909	metres
r	0.964	
T	11.055	seconds

Πίνακας 3.3:16 IMO Wind Heeling Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

# Criterion	Actual Value	Critical Value
1 Area under GZ curve up to 30 degree > 0.055	1.252	0.055
2 Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.920	0.030
3 Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	2.172	0.090
4 Initial GM to be at least 0.15 metres	8.643	0.150
5 GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	6.688	0.200
6 Max GZ to be at an angle > 30 degrees	55.000	30.000
7 IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.041	16.000
8 IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

Πίνακας 3.3:17 Εφαρμογή Κριτηρίου IMO 749 Αθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

**Condition complies with the regulations**



Διάγραμμα 3:6 Διαμήκης Αντοχή Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
0.00	#0	0.0	---	0.0	---
31.20	#39	34459.0	---	727972.9	---
38.40	#48	33367.1	---	970137.7	---
80.62	--	23364.9	---	2032071.7	---
152.16	--	0.0	---	3159778.9	---
222.88	--	-49085.3	---	1415280.9	---
272.31	--	-753.1	---	-122.9	---
279.57	--	0.0	---	-4252.5	---
283.20	--	1128.5	---	-2639.3	---
<b>Maximum BM</b>					
<b>150.82</b>				<b>3159959.4</b>	<b>---</b>
<b>Maximum SF</b>					
<b>222.88</b>		<b>-49085.3</b>	<b>---</b>		

Πίνακας 3.3:18 Στοιχεία Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Αναχώρηση (BD)

### 3.3.4 Κατάσταση πλήρους ερματισμού - Αφιξη (BA)

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
W.B.T.NO.1(P)	115-127	WB	100.0	1.025	5726.1	233.41	-14.65	13.24	0.0
W.B.T.NO.1(S)	115-127	WB	100.0	1.025	5726.1	233.41	14.65	13.24	0.0
W.B.T.NO.2(P)	99-115	WB	100.0	1.025	7553.0	186.87	-16.97	8.61	0.0
W.B.T.NO.2(S)	99-115	WB	100.0	1.025	7553.0	186.87	16.97	8.61	0.0
W.B.T.NO.3(P)	83-99	WB	100.0	1.025	7770.0	134.20	-17.09	8.43	0.0
W.B.T.NO.3(S)	83-99	WB	100.0	1.025	7770.0	134.20	17.09	8.43	0.0
W.B.T.NO.4(P)	67-83	WB	100.0	1.025	7545.4	81.43	-16.98	8.74	0.0
W.B.T.NO.4(S)	67-83	WB	100.0	1.025	7545.4	81.43	16.98	8.74	0.0
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>57189.0</b>	<b>154.05</b>	<b>0.00</b>	<b>9.52</b>	<b>0.0</b>
<i>FRESH WATER</i>									
D.W.TK(S)	9-15	FW	10.0	1.000	6.5	9.40	12.25	16.25	6.8
F.W.TK(P)	7-15	FW	10.0	1.000	21.8	9.08	-13.93	16.30	125.1
F.W.TK(S)	7-15	FW	10.0	1.000	15.3	8.90	14.86	16.33	56.7
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>43.6</b>	<b>9.07</b>	<b>0.08</b>	<b>16.30</b>	<b>188.6</b>
<i>HEAVY FUEL OIL</i>									
H.F.O.SERV(S)	44-48	HFO	10.0	0.980	11.9	36.80	18.49	16.47	16.6
H.F.O.SETT(S)	48-52	HFO	10.0	0.980	11.9	40.00	18.49	16.48	16.6
H.F.O.T(S)	44-67	HFO	10.0	0.980	43.5	41.06	18.76	10.53	60.7
H.F.O.SERV(P)	44-48	HFO	10.0	0.980	11.9	36.80	-18.49	16.47	16.6
H.F.O.SETT(P)	48-52	HFO	10.0	0.980	11.9	40.00	-18.49	16.48	16.6
L.S.H.F.O.T(P)	44-67	HFO	10.0	0.980	62.1	44.40	-18.49	10.43	95.4
NO.1 FWD H.F.O.T(C)	135-147	HFO	10.0	0.980	182.2	263.89	0.00	4.14	944.6
NO.2 FWD H.F.O.T(C)	127-135	HFO	10.0	0.980	186.3	256.25	0.00	4.14	2101.5
<b>Total HEAVY FUEL OIL</b>					<b>521.7</b>	<b>195.89</b>	<b>-0.64</b>	<b>6.55</b>	<b>3268.6</b>
<i>DIESEL OIL</i>									
M.D.O.SERV(S)	55-59	DO	10.0	0.850	8.1	45.60	18.15	16.45	8.1
M.D.O.STOR(S)	55-67	DO	10.0	0.850	32.3	48.80	18.15	10.60	24.4
M.G.O.SERV(P)	55-59	DO	10.0	0.850	8.1	45.60	-18.15	16.45	8.1
M.G.O.STOR(P)	59-67	DO	10.0	0.850	16.2	50.40	-18.15	16.45	16.3
<b>Total DIESEL OIL</b>					<b>64.7</b>	<b>48.40</b>	<b>4.54</b>	<b>13.53</b>	<b>56.9</b>
<i>LUB. OIL</i>									
G/E L.O.SETT.T(P)	34-39	LO	10.0	0.900	7.1	29.20	-18.95	21.20	35.3
G/E L.O.STOR.T(P)	39-43	LO	10.0	0.900	5.6	32.80	-18.95	21.20	28.2
G/E L.OIL.SETT.T(S)	34-39	LO	10.0	0.900	7.1	29.20	18.95	21.20	35.3
G/E L.OIL.STR.T(S)	39-43	LO	10.0	0.900	5.6	32.80	18.95	21.20	28.2
PRO M.L.O.STR.T(S)	30-32	LO	10.0	0.900	2.8	24.80	18.95	21.20	14.1

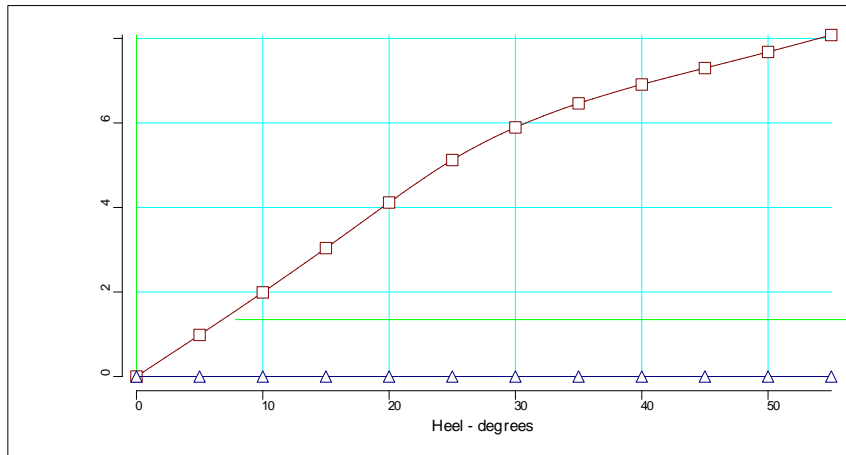
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
R/G L.OIL.STR.T(S)	32-34	LO	10.0	0.900	2.8	26.40	18.95	21.20	14.1
<b>Total LUB. OIL</b>					<b>31.0</b>	<b>29.85</b>	<b>3.45</b>	<b>21.20</b>	<b>155.2</b>
<i>DWT CONST.</i>									
DWT CONST.					686.9	61.12	0.00	9.79	0.0
<b>Total DWT CONST.</b>					<b>686.9</b>	<b>61.12</b>	<b>0.00</b>	<b>9.79</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>33594.1</b>	<b>122.89</b>	<b>0.00</b>	<b>16.54</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>58536.8</b>	<b>153.05</b>	<b>0.00</b>	<b>9.51</b>	<b>3669.5</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>92130.8</b>	<b>142.05</b>	<b>0.00</b>	<b>12.08</b>	<b>3669.5</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>92131.0</b>	<b>142.06</b>	<b>0.00</b>	<b>4.88</b>	<b>1703567.9</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>92131.0</b>	<b>142.06</b>	<b>0.00</b>	<b>4.88</b>	<b>1703567.9</b>

Πίνακας 3.3:19 Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

Draft at LCF	9.320	metres
Draft aft at marks	9.201	metres
Draft fwd at marks	9.445	metres
Draft at AP	9.201	metres
Draft at FP	9.445	metres
Mean draft at midships	9.323	metres

Density of water	1.0286	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.244	metres
KG	12.076	metres
FSC	0.040	metres
KGf	12.116	metres
GMt	11.253	metres
BMt	18.491	metres
BMI	552.836	metres
Waterplane area	10595.77	sq.metres
LCG	142.050	metres
LCB	142.056	metres
TCB	0.000	metres
LCF	137.998	metres
TCF	0.000	metres
TPC	108.987	tonnes/cm
MTC	1798.493	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Πίνακας 3.3:20 Βυθίσματα και Υδροστατικά Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)



Διάγραμμα 3:7 Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	-0.0008	11.2529	0.244	9.323	17.13[0]	0.0000
5.00	0.9846	11.3782	0.294	9.276	15.07[0]	0.0000
10.00	1.9910	11.7690	0.440	9.133	12.92[0]	0.0000
15.00	3.0385	12.3447	0.668	8.896	10.70[0]	0.0000
20.00	4.1166	12.3406	0.968	8.550	8.44[0]	0.0000
25.00	5.1231	10.4758	1.337	8.055	6.20[0]	0.0000
30.00	5.8933	7.6766	1.754	7.346	4.06[0]	0.0000
35.00	6.4626	5.8552	2.173	6.424	2.05[0]	0.0000
40.00	6.9096	4.8021	2.560	5.309	0.17[0]	0.0000
45.00	7.2983	4.4154	2.890	4.014	-1.57[0]	0.0000
50.00	7.6800	4.6072	3.143	2.546	-3.16[0]	0.0000
55.00	8.0798	4.1155	3.338	0.913	-4.58[0]	0.0000

Πίνακας 3.3:21 Στοιχεία Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

Property	Value	Units
Length WL	291.696	metres
Profile area above WL	0.000	sq.metres
Area to leeward (Area b)	3.98856	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00000	m-radians
GZc	-0.001	metres
Gust angle	0.000	degrees
Rollback angle	23.481	degrees
Steady state angle	0.000	degrees
Max. angle to leeward	49.996	degrees
B/d'	4.934	
X1	0.800	
Cb	0.736	



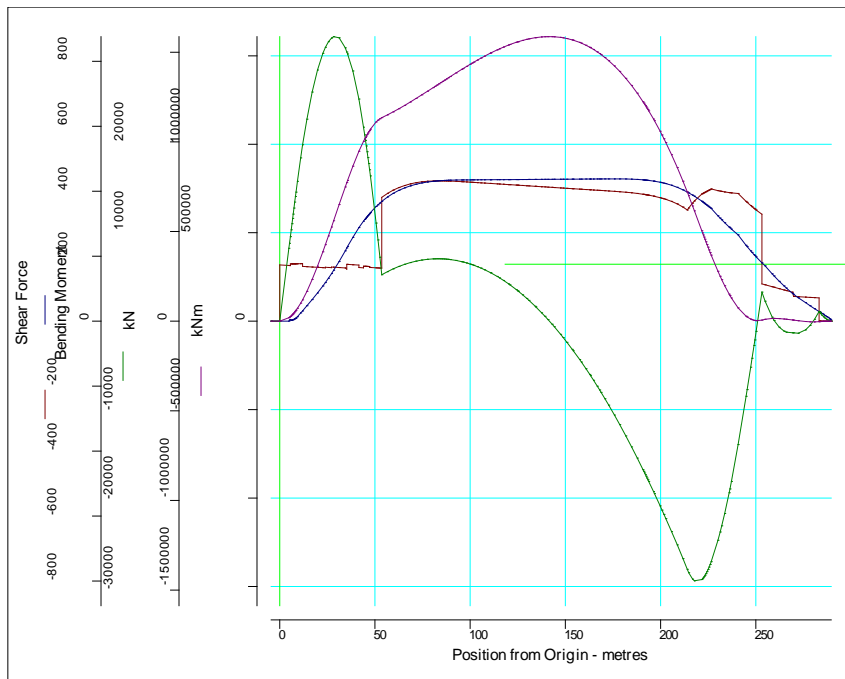
Property	Value	Units
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	2.793	metres
r	0.910	
T	9.902	seconds

Πίνακας 3.3:22 Εφαρμογή Κριτηρίου IMO Wind Heeling Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

# Criterion	Actual Value	Critical Value
1 Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	1.591	0.055
2 Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	1.124	0.030
3 Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	2.715	0.090
4 Initial GM to be at least 0.15 metres	11.253	0.150
5 GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	8.080	0.200
6 Max GZ to be at an angle > 30 degrees	55.000	30.000
7 IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.000	16.000
8 IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

Πίνακας 3.3:23 Εφαρμογή Κριτηρίου IMO 749 Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

**Condition complies with the regulations**



Διάγραμμα 3:8 Διαμήκης Αντοχή Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
0.00	#0	0.0	---	0.0	---
28.32	--	31739.8	---	567774.8	---
82.62	--	6959.7	---	1334433.0	---
141.61	--	0.0	---	1608388.5	---
217.75	--	-28960.2	---	623567.6	---
250.95	--	0.0	---	3702.3	---
253.20	#127	3240.0	---	6010.0	---
259.89	--	0.0	---	15444.7	---
272.31	--	-1343.2	---	2652.2	---
280.13	--	0.0	---	-3949.1	---
283.20	--	1082.2	---	-2581.1	---
<i>Maximum BM</i>					
<b>140.85</b>				<b>1608461.2</b>	---
<i>Maximum SF</i>					
<b>28.32</b>		<b>31739.8</b>	---		

Πίνακας 3.3:24 Στοιχεία Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών Κατάστασης Πλήρους Ερματισμού – Άφιξη (BA)

### 3.4 Κλίμακα DWT

Draft (m)	Displ Salt water (t)	Displ Fresh water (t)	Deadweight Salt water (t)	Deadweight Fresh water (t)	Free- board (m)	TPI (t/cm)	MCT (t-m/cm)
4.00	36411.31	35399.33	2817.31	1805.33	22.00	100.181	1458.92
4.50	41446.77	40294.84	7852.77	6700.84	21.50	101.218	1494.82
5.00	46530.61	45237.39	12936.61	11643.39	21.00	102.114	1525.87
5.50	51657.03	50221.33	18063.03	16627.33	20.50	102.936	1554.77
6.00	56823.31	55244.02	23229.31	21650.02	20.00	103.697	1582.42
6.50	62026.72	60302.81	28432.72	26708.81	19.50	104.449	1610.83
7.00	67268.83	65399.23	33674.83	31805.23	19.00	105.240	1642.15
7.50	72550.75	70534.35	38956.75	36940.35	18.50	106.041	1674.79
8.00	77873.57	75709.24	44279.57	42115.24	18.00	106.877	1709.55
8.50	83238.81	80925.36	49644.81	47331.36	17.50	107.733	1745.91
9.00	88646.80	86183.04	55052.80	52589.04	17.00	108.587	1782.55
9.50	94097.28	91482.03	60503.28	57888.03	16.50	109.428	1818.80
10.00	99589.38	96821.50	65995.38	63227.50	16.00	110.255	1854.32
10.50	105124.80	102203.07	71530.80	68609.07	15.50	111.199	1898.10
11.00	110710.50	107633.53	77116.50	74039.53	15.00	112.202	1947.05
11.50	116343.99	113110.44	82749.99	79516.44	14.50	113.154	1994.50
12.00	122026.49	118635.01	88432.49	85041.01	14.00	114.144	2045.73
12.50	127758.30	124207.51	94164.30	90613.51	13.50	115.126	2097.90
13.00	133537.83	129826.42	99943.83	96232.42	13.00	116.025	2146.37
13.50	139357.83	135484.66	105763.83	101890.66	12.50	116.755	2184.98
14.00	145211.88	141176.01	111617.88	107582.01	12.00	117.396	2218.93
14.50	151096.40	146896.98	117502.40	113302.98	11.50	117.977	2249.54
15.00	157008.74	152645.00	123414.74	119051.00	11.00	118.509	2277.71
15.50	162946.48	158417.71	129352.48	124823.71	10.50	118.993	2303.54
16.00	168907.53	164213.09	135313.43	130618.99	10.45	119.445	2327.94
16.50	174890.69	170029.96	141296.59	136435.86	9.95	119.882	2351.67
17.00	180895.63	175868.00	147301.53	142273.90	9.45	120.311	2375.10
17.50	186921.31	181726.21	153327.21	148132.11	8.95	120.712	2397.34
18.00	192966.35	187603.24	159372.25	154009.14	8.45	121.087	2418.43
18.50	199029.87	193498.24	165435.77	159904.14	7.95	121.452	2439.30
19.00	205111.60	199410.94	171517.50	165816.84	7.45	121.821	2460.34
19.50	211211.91	205341.71	177617.81	171747.61	6.95	122.189	2481.40
20.00	217330.34	211290.09	183736.24	177695.99	6.45	122.546	2502.06
20.50	223466.25	217255.46	189872.15	183661.36	5.95	122.888	2522.32
21.00	229618.92	223237.13	196024.82	189643.03	5.45	123.215	2541.93

Πίνακας 3.4:1 Στοιχεία Κλίμακας DWT

### 3.5 Υδροστατικά (Hydrostatics)

Draft (m)	Displ (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t- m/cm)
4.00	36411.31	142.868	2.095	9739.70	142.507	1136.818	43.024	10866.93	100.18	1458.92
5.00	46530.61	142.749	2.618	9927.56	142.121	931.311	35.728	11524.72	102.11	1525.87
6.00	56823.31	142.594	3.140	10081.48	141.627	791.797	30.985	12175.75	103.70	1582.42
7.00	67268.83	142.384	3.662	10231.54	140.828	695.004	27.740	12828.02	105.24	1642.15
8.00	77873.57	142.095	4.185	10390.62	139.659	625.893	25.457	13496.06	106.88	1709.55
9.00	88646.80	141.717	4.710	10556.92	138.301	574.182	23.818	14179.22	108.59	1782.55
10.00	99589.38	141.258	5.236	10719.04	136.716	532.546	22.611	14878.54	110.25	1854.32
11.00	110710.50	140.713	5.765	10908.33	134.979	503.824	21.713	15595.54	112.20	1947.05
11.70	118611.05	140.294	6.137	11039.66	133.844	487.260	21.214	16089.19	113.55	2015.06
12.00	122026.49	140.107	6.297	11097.20	133.352	481.072	21.029	16299.58	114.14	2045.73
13.00	133537.83	139.460	6.832	11280.00	131.959	462.022	20.516	16991.77	116.02	2146.37
14.00	145211.88	138.825	7.368	11413.29	131.249	440.116	20.136	17646.03	117.40	2218.93
15.00	157008.74	138.242	7.904	11521.55	130.913	418.739	19.868	18284.13	118.51	2277.71
16.00	168907.53	137.720	8.439	11612.57	130.779	398.756	19.685	18914.73	119.45	2327.94
17.00	180895.63	137.260	8.973	11696.70	130.824	380.805	19.584	19543.37	120.31	2375.10
18.00	192966.35	136.863	9.507	11772.17	131.002	364.439	19.542	20170.79	121.09	2418.43
19.00	205111.60	136.523	10.039	11843.52	131.267	349.742	19.557	20799.17	121.82	2460.34
20.00	217330.34	136.238	10.571	11913.98	131.664	336.611	19.624	21429.78	122.55	2502.06
21.00	229618.92	136.005	11.103	11979.06	132.091	324.611	19.728	22061.36	123.22	2541.93

Draft (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW	TCF (m)
4.00	1134.723	40.929	0.679	0.976	0.696	0.748	0.000
5.00	928.692	33.109	0.695	0.981	0.708	0.762	0.000
6.00	788.656	27.845	0.707	0.984	0.718	0.774	0.000
7.00	691.341	24.078	0.717	0.987	0.727	0.785	0.000
8.00	621.707	21.271	0.726	0.988	0.735	0.798	0.000
9.00	569.472	19.108	0.735	0.990	0.743	0.810	0.000
10.00	527.309	17.374	0.743	0.991	0.750	0.823	0.000
11.00	498.059	15.948	0.751	0.991	0.758	0.837	0.000
11.70	481.122	15.077	0.757	0.992	0.763	0.847	0.000
12.00	474.775	14.732	0.759	0.992	0.765	0.852	0.000
13.00	455.190	13.685	0.767	0.993	0.772	0.866	0.000
14.00	432.748	12.768	0.774	0.993	0.779	0.876	0.000
15.00	410.835	11.964	0.781	0.994	0.786	0.884	0.000
16.00	390.317	11.246	0.788	0.994	0.793	0.891	0.000
17.00	371.832	10.610	0.794	0.994	0.799	0.898	0.000
18.00	354.933	10.035	0.800	0.995	0.804	0.904	0.000
19.00	339.703	9.518	0.806	0.995	0.810	0.909	0.000
20.00	326.040	9.053	0.811	0.995	0.815	0.915	0.000
21.00	313.508	8.625	0.816	0.996	0.820	0.920	0.000

Πίνακας 3.5:1 Υδροστατικά Στοιχεία Πλοίου

### 3.6 Καμπύλες Ευστάθιας (Cross Curves)

KN's in metres

Heel Displ.	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0
10000.000	0.000	13.225	16.049	16.787	16.584	15.770	14.579	13.366	13.256
20000.000	0.000	10.320	14.155	15.720	16.202	16.046	15.539	15.126	16.219
30000.000	0.000	8.398	12.741	14.885	15.901	16.247	16.259	16.461	17.702
40000.000	0.000	6.971	11.673	14.177	15.638	16.407	16.854	17.573	18.399
50000.000	0.000	5.995	10.812	13.601	15.393	16.540	17.373	18.371	18.758
60000.000	0.000	5.315	10.087	13.129	15.181	16.647	17.843	18.882	18.950
70000.000	0.000	4.825	9.459	12.731	15.006	16.743	18.254	19.183	19.046
80000.000	0.000	4.467	8.912	12.390	14.865	16.833	18.561	19.353	19.084
90000.000	0.000	4.202	8.455	12.092	14.752	16.924	18.758	19.434	19.084
100000.000	0.000	4.003	8.086	11.828	14.665	17.016	18.855	19.454	19.057
110000.000	0.000	3.852	7.790	11.591	14.598	17.108	18.879	19.429	19.012
120000.000	0.000	3.736	7.554	11.376	14.544	17.181	18.853	19.368	18.952
130000.000	0.000	3.646	7.370	11.181	14.499	17.215	18.789	19.281	18.881

Πίνακας 3.6:1 Μεταβολή KN για διάφορα Εκτοπίσματα και Γωνίες Κλίσης

### 3.7 Κατακλύσιμα Μήκη (Floodable Length)

Mean draft	11.700	metres
Trim over LBP	0.000	metres
Subdivision displacement	118654.027	tonnes
Water density	1.029	tonnes/cu.m
L.C.B. from origin	140.275	metres
Criterion of Service	0.000	
Subdivision Factor	1.000	
Margin Line below Deck	76.000	mm

L AFT = 95%

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
		24.000	12.000		

E/R = 85%

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
		24.000	12.000		
57490.11	43.421	79.529	39.765	15.573	-21.511
62047.05	54.063	79.599	52.298	16.008	-20.647
		80.061	53.600		

CARGO = 95%

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
		70.091	53.600		
63548.18	57.017	70.640	56.190	16.159	-20.346
68748.44	65.384	75.011	65.253	16.632	-19.405
73840.64	72.859	79.794	73.295	17.120	-18.435
79380.38	79.556	85.347	80.399	17.622	-17.437
84762.21	85.560	90.655	86.719	18.138	-16.412
90600.12	90.960	96.329	92.341	18.665	-15.362
96312.61	95.846	101.554	97.389	19.205	-14.289
102378.83	100.295	107.005	101.862	19.755	-13.194

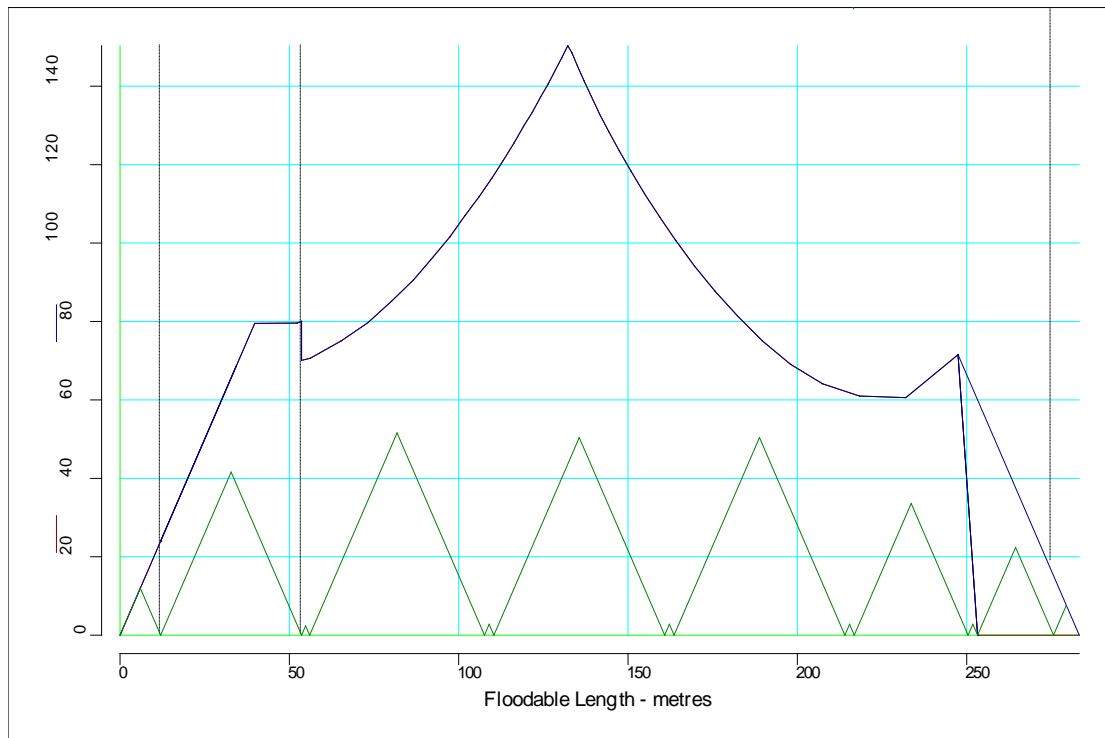
Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
108447.66	104.371	111.842	106.035	20.316	-12.079
114611.20	108.125	116.511	109.787	20.885	-10.946
120947.78	111.594	121.082	113.164	21.463	-9.797
127557.21	114.810	125.466	116.304	22.047	-8.633
134229.28	117.804	129.729	119.100	22.638	-7.455
140753.97	120.603	133.369	121.743	23.235	-6.267
147829.74	123.230	137.262	124.180	23.836	-5.069
154596.54	125.699	140.582	126.431	24.440	-3.863
161829.04	128.031	144.087	128.520	25.047	-2.652
168970.56	130.240	147.273	130.468	25.656	-1.436
176221.35	132.234	150.310	132.201	26.265	-0.218
171319.95	133.754	148.505	133.442	25.874	1.000
163427.81	135.622	145.147	135.054	25.265	2.216
155448.49	137.787	141.363	137.018	24.658	3.429
147461.17	140.170	137.380	139.163	24.052	4.637
139342.12	142.800	132.827	141.633	23.450	5.838
131560.75	145.708	128.404	144.315	22.852	7.030
123830.08	148.926	123.559	147.375	22.259	8.212
116271.69	152.493	118.344	150.876	21.672	9.381
108705.89	156.451	112.576	154.855	21.091	10.536
101488.85	160.843	106.628	159.347	20.519	11.675
94206.58	165.706	100.609	164.132	19.955	12.797
87246.66	171.054	94.128	169.630	19.401	13.899
80654.12	176.930	87.712	175.679	18.858	14.980
74415.38	183.345	81.438	182.301	18.325	16.038
68224.54	190.413	75.073	189.637	17.805	17.072
62350.36	198.298	69.099	197.944	17.299	18.080
56957.95	207.157	64.109	207.447	16.805	19.061
51734.65	217.259	60.990	218.359	16.327	20.012
46540.02	228.866	60.577	232.023	15.864	20.933
43095.86	239.250	71.545	247.427	15.417	21.822

L FORW = 95%

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
		0.000	253.200		

Πίνακας 3.7:1 Στοιχεία Κατακλύσιμων Μηκών





Διάγραμμα 3:9 Καμπύλη Κατακλύσιμων Μηκών

## 4 ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ

Με την εφαρμογή της Διεθνούς σύμβασης καταμέτρησης προσδιορίζεται η Ολική και η Καθαρή Χωρητικότητα.

### 4.1 Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage – GT)

Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Καταμέτρησης, η ολική χωρητικότητα (**Gross Tonnage**) δίνεται από τη σχέση:

$$GT = K_1 \times V_{TOTAL}$$

όπου  $K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V_{TOTAL}$

$V_{TOTAL}$  → Ο συνολικός όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου, σε  $m^3$  (μέχρι την εσωτερική όψη του ελάσματος)

Από το AVEVA – Surface/Compartment προκύπτει ο συνολικός όγκος,  $V_D$ , μέχρι και το ανώτερο έλασμα του Trunk Space.

$$V_D = 323552 m^3$$

$$V_{TOTAL} = V_D + V_{SS}$$

$V_{SS}$  → Ο όγκος των υπερστεγασμάτων, σε  $m^3$

Πιο κάτω υπολογίζεται το εμβαδόν και ο όγκος των υπερστεγασμάτων, σύμφωνα με το σχέδιο Γενικής Διάταξης.

Χώροι Ενδιαίτησης			Χώροι Καπνοδόχου	
DECK	Επιφάνεια	Όγκος	Επιφάνεια	Όγκος
	$m^2$	$m^3$	$m^2$	$m^3$
UPPER	558.3	1944.5	492.3	1723.1
A DECK	534.6	1710.7	440.5	1960.2
B DECK	534.5	1603.5	344.5	1653.6
C DECK	532.1	1596.3	324.8	1234.2
D DECK.	534.6	1603.8	135.7	678.5
NAV. DECK.	240.6	721.8	-	-
<b>SUM</b>	2934.7	<b>9180.7</b>	1737.8	<b>7249.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>= 9180.7 + 7249.6 =</b>			<b>16430</b>

Πίνακας 4.1:1 Ανάλυση όγκου υπερστεγασμάτων

Χώροι στο Αν. κατάστρωμα		
	Επιφάνεια	Όγκος
	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
Dry Powder Station & Companion way	42.8	149.8
Cargo Gear Locker & Dry Powder Station	64.32	276.576
Elec. Motor Room & Cargo Comp. Room	447.12	2682.72
<b>TOTAL</b>	<b>554.24</b>	<b>3109.096</b>

Πίνακας 4.1:2 Ανάλυση όγκου υπερστεγασμάτων στον χώρο του αν. καταστρώματος

$$\Rightarrow V_{SS} = 19539.4 \text{ m}^3$$

Άρα,

$$V_{TOTAL} = V_D + V_{SS} \rightarrow$$

$$V_{TOTAL} = 323552 + 19539.4 \rightarrow$$

$$V_{TOTAL} = 343091.4 \text{ m}^3$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι  $K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(V_{TOTAL}) = 0.3107$ . Έτσι η ολική χωρητικότητα του πλοίου είναι ίση με:

$$GT = K_1 \cdot V = 0.3107 \cdot 343091.4 \rightarrow GT = 106601 \text{ GRT}$$

## 4.2 Καθαρή Χωρητικότητα

Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Καταμέτρησης, η καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage) δίνεται από τη σχέση:

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

Όπου  $V_C \rightarrow$  ο συνολικός όγκος των κοιτών φορτίου, σε m<sup>3</sup>

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V_C$$

$$K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT + 10000}{10000}$$

$N_1 = 0 \rightarrow$  ο αριθμός των επιβατών σε κοιτώνες με όχι περισσότερες από 8 κλίνες,

$N_2 = 0 \rightarrow$  ο αριθμός των λοιπών επιβατών.

Από το τρισδιάστατο μοντέλο του πλοίου στο AVEVA-Calc μπορούμε να υπολογίσουμε τους όγκους των κοιτών. Αυτοί οι όγκοι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Compartment	Frames #	Volume (m <sup>3</sup> )
CARGO TANK NO.1	116-126	23685.18
CARGO TANK NO.2	100-115	49259.09
CARGO TANK NO.3	84-99	49259.09
CARGO TANK NO.4	68-83	50431.98
<b>Total</b>		172635.4

Πίνακας 4.2:1 Όγκος Δεξαμενών φορτίου σύμφωνα με το AVEVA

Ο όγκος φορτίου του πλοίου είναι:

$$V_C = 172635.4 \text{ m}^3$$

Επιπλέον

$$K_2 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V_C = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} 172635.4 \rightarrow K_2 = 0.3047$$

$$K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT+10000}{10000} = 1.25 \cdot \frac{106601.3+10000}{10000} \rightarrow K_3 = 14.575$$

Οπότε:

$$NT = 0.3047 \cdot 172635.4 \cdot \left(\frac{4 \cdot 11.7}{3 \cdot 26}\right)^2 + 14.575 \cdot \left(0 + \frac{0}{10}\right) \rightarrow NT = 18939.4 \text{ GRT}$$

Για να είναι αποδεκτή η παραπάνω τιμή της καθαρής χωρητικότητας, θα πρέπει να ισχύουν οι τρεις παρακάτω προϋποθέσεις:

- α) Ο παράγοντας  $\left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2$  δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από τη μονάδα. Για το υπό μελέτη πλοίο, ισχύει ότι:

$$\left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 11.7}{3 \cdot 26}\right)^2 = 0.36 < 1$$

επομένως λαμβάνεται ίσος με αυτήν την τιμή.

- β) Ο όρος  $K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2$  δεν πρέπει να λαμβάνεται μικρότερος από  $0.25 \cdot GT$ . Για το υπό μελέτη πλοίο, ισχύει ότι:

$$K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2 = 18939.4 < 0.25 \cdot GT = 26650.3$$

επομένως ο όρος αυτός λαμβάνεται ίσος με την τιμή 26650.3 .

- γ) Η καθαρή χωρητικότητα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 30% της ολικής χωρητικότητας:

$$NT = 26650.3 < 31980.4 = 0.30 \cdot GT \Rightarrow$$

Τελικά,  $NT = 31980.4 RT$

Συνοψίζοντας έχουμε:

<b>REGISTERED TONNAGE INTERNATIONAL RULES</b>		
GROSS TONNAGE	106601.3	RT
NET TONNAGE	31980.4	RT

## 5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ ΒΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Στο σημείο αυτό μελετάται η σχεδίαση της Μέσης Τομής του υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίου. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται αναλυτικά τα κατασκευαστικά στοιχεία (ελάσματα και ενισχυτικά) που συμβάλουν στη διαμήκη αντοχή της Μέσης Τομής. Έχοντας υπολογίσει τα κατασκευαστικά στοιχεία, γίνεται έλεγχος αντοχής της διατομής της Μέσης Τομής ούτως ώστε να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις ροπής αδράνειας και αντίστασης, όπως αυτές ορίζονται από τους σχετικούς κανονισμούς.

Τέλος, αναπτύσσεται το κατασκευαστικό σχέδιο της Μέσης Τομής του υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίου, σε κατάλληλο σχεδιαστικό πακέτο. (Παράρτημα 8.2 )

### 5.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR)<sup>i</sup> στους οποίους θα αναφερόμαστε κατά κανόνα από εδώ και πέρα.

Γενικά, η μελέτη και η σχεδίαση της Μέσης Τομής του πλοίου βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό και στο Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section) του πατρικού πλοίου, ούτως ώστε να έχουν καλυφθεί εκ των προτέρων οι υπόλοιπες απαιτήσεις πλην της διαστασιολόγησης.

Οι κανονισμοί ([2]) αφορούν δεξαμενόπλοια διπλών τοιχωμάτων με μήκος μεγαλύτερο των 150 m και υπογραφή συμβολαίου κατασκευής μετά την 1<sup>η</sup> Απριλίου 2006 ([2], Section 1:Introduction) και τέθηκαν σε ισχύ από την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2012 ([2], Foreword).

Αρχικά, αναφορικά με το πατρικό πλοίο, λαμβάνουμε το βύθισμα ενίσχυσης (scantling draught) του υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίου ίσο με 12.7 m ( $T_{scant.} = 12.7 m$ ). Ως μήκος υπολογισμών βάση των κανονισμών (rule length -  $L_R$ ) ([2], Section 4:Basic Information), λαμβάνεται το μήκος από την πρυμναία κάθετο (F.P.) μέχρι το ακραίο πρωραίο σημείο της ισάλου που αντιστοιχεί στο βύθισμα ενίσχυσης (scantling draught). Αυτό το μήκος δε πρέπει να είναι μικρότερο από το 96% και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 97% του μήκους της ισάλου που αντιστοιχεί στο βύθισμα θέρους, το οποίο είναι  $L_{ILLC} = 282.42 m$ , όπως μετρήθηκε από το σχεδιαστικό πακέτο AVEVA-Calc.

$$0.96 \cdot L_{ILLC} = 271.13m < L_R = 273.95 m \leq 0.97 \cdot L_{ILLC} = 273.95 m$$

Όσον αφορά τα υλικά κατασκευής της Μέσης Τομής, έχουμε τον απλό ναυπηγικό χάλυβα (Grade A, normal strength hull structure steel) με όριο διαρροής  $\sigma_y = 235 N/mm^2$ , ενώ σε κάποιες περιοχές χρησιμοποιείται και χάλυβα υψηλής αντοχής (Grade AH, high tensile steel) με όριο διαρροής  $\sigma_y = 315 N/mm^2$  ([2], Section 6:Materials and Welding).

<sup>i</sup>([2]): International Association of Classification Societies (IACS), Common Structural Rules (CSR)

## 5.2 Ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης πυθμένα και καταστρώματος της Μέσης Τομής περί τον ουδέτερο άξονα της διατομής, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8: Scantling Requirements), δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{min} = 0.9 \cdot k \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

όπου:  $k$  συντελεστής χάλυβα υψηλότερης αντοχής, όπως ορίζεται στον πίνακα 6.1.1 των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6: Materials and Welding) και φαίνεται παρακάτω

$C_{wc}$  συντελεστής κυματισμών, όπως ορίζεται στον πίνακα 8.1.2 των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8: Scantling Requirements) και φαίνεται παρακάτω

Specified minimum yield stress, N/mm <sup>2</sup>	$k$
235	1.00
265	0.93
315	0.78
340	0.74
355	0.72
390	0.68

Note  
1. Intermediate values are to be calculated by linear interpolation.

Πίνακας 5.2:1  $k$ , συντελεστής χάλυβα υψηλότερης αντοχής (Πηγή: Πίνακας 6.1.1- Section 6: Materials and Welding, CSR)

rule length	$C_{wv}$
$150 \leq L \leq 300$	$10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2}$
$300 < L < 350$	10.75
$350 \leq L \leq 500$	$10.75 - [(L - 350) / 150]^{3/2}$

Πίνακας 5.2:2  $C_{wc}$  συντελεστής κυματισμών (Πηγή: Πίνακας 8.1.2- Section 8: Scantling Requirements, CSR)

Το μήκος υπολογισμών του υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίου είναι  $L_R = 273.95 \text{ m}$ , οπότε ο συντελεστής κυματισμών δίνεται από την πρώτη σχέση του πίνακα 8.1.2 και είναι:

$$C_{wv} = 10.75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10.75 - \left( \frac{300 - 273.95}{100} \right)^{3/2} \Rightarrow C_{wv} = 10.617$$

Θεωρώντας σε πρώτο στάδιο ως υλικό κατασκευής εξ' ολοκλήρου της Μέσης Τομής τον απλό ναυπηγικό χάλυβα (Grade A), που είναι και η δυσμενέστερη τιμή, ο συντελεστής χάλυβα λαμβάνει από τον πίνακα 6.1.1 την τιμή της μονάδας και είναι  $k = 1$ .

Αντικαθιστώντας στη σχέση υπολογισμού της ελάχιστης ροπής αντίστασης έχουμε:

$$\begin{aligned} Z_{min} &= 0.9 \cdot k \cdot C_{wv} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 0.9 \cdot 1 \cdot 10.617 \cdot 273.95^2 \cdot 46 \cdot (0.758 + 0.7) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\ &\Rightarrow Z_{min} = 48.095 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 5.3 Ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας της Μέσης Τομής περί τον ουδέτερο άξονα της διατομής, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8: Scantling Requirements), δίνεται από τη σχέση:

$$I_{min} = 2.7 \cdot C_{wc} \cdot L^3 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

όπου:  $C_{wv}$  συντελεστής κυματισμών, όπως ορίστηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Αντικαθιστώντας στη σχέση υπολογισμού της ελάχιστης ροπής αδράνειας έχουμε:

$$\begin{aligned} I_{min} &= 2.7 \cdot C_{wc} \cdot L^3 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ &= 2.7 \cdot 10.617 \cdot 273.95^3 \cdot 46 \cdot (0.758 + 0.7) \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ &\Rightarrow I_{min} = 395.27 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### 5.4 Διαστασιολόγηση στοιχείων διαμήκους αντοχής Μέσης Τομής<sup>i</sup>

Ο υπολογισμός των κύριων στοιχείων διαμήκους αντοχής της Μέσης Τομής του υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίου επιμερίζεται στη διαστασιολόγηση των κατασκευαστικών στοιχείων, ελασμάτων και ενισχυτικών, των παρακάτω περιοχών:

- Πυθμένας – Διπύθμενο (Bottom – Double Bottom)
- Πλευρά (Side shell)
- Κατάστρωμα (Deck) | Inner Deck, Upper Deck, Trunk Deck
- Διαμήκεις Φρακτές (Longitudinal Bulkheads)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος των κύριων ελασμάτων και κύριων διαμήκων ενισχυτικών δε πρέπει να είναι μικρότερο από τις τιμές που δίνονται στους πίνακες 8.2.1 και 8.2.2 των

<sup>i</sup> Οι πίνακες/σχήματα που θα αναφερθούν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο (5.4) παρουσιάζονται στο παράρτημα, 8.2.



κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8: Scantling Requirements) και παρατίθενται ακολούθως.

Table 8.2.1 Minimum Net Thickness for Plating and Local Support Members in the Cargo Tank Region			
Scantling Location		Net Thickness (mm)	
Plating	Shell	Keel plating	$6.5+0.03L_2$
		Bottom shell/bilge/side shell	$4.5+0.03L_2$
	Upper Deck		$4.5+0.02L_2$
	Other structure	Hull internal tank boundaries	$4.5+0.02L_2$
Non-tight bulkheads, bulkheads between dry spaces and other plates in general		$4.5+0.01L_2$	
Local support members	Local support members on tight boundaries		$3.5+0.015L_2$
	Local support members on other structure		$2.5+0.015L_2$
Tripping brackets		$5.0+0.015L_2$	
Where: $L_2$ rule length, $L$ , as defined in Section 4/1.1.1.1, but need not be taken greater than 300m			

Πίνακας 5.4:1 Το ελάχιστο καθαρό πάχος των κύριων ελασμάτων (Πηγή: Πίνακας 8.2.1- Section 8: Scantling Requirements, CSR)

Table 8.2.2 Minimum Net Thickness for Primary Support Members in Cargo Tank Region	
Scantling Location	Net Thickness (mm)
Double bottom centreline girder	$5.5+0.025L_2$
Other double bottom girders	$5.5+0.02L_2$
Double bottom floors, web plates of side transverses and stringers in double hull	$5.0+0.015L_2$
Web and flanges of vertical web frames on longitudinal bulkheads, horizontal stringers on transverse bulkhead, deck transverses (above and below upper deck) and cross ties.	$5.5+0.015L_2$
Where: $L_2$ rule length, $L$ , as defined in Section 4/1.1.1.1, but need not be taken greater than 300m	

Πίνακας 5.4:2 Το ελάχιστο καθαρό πάχος ενισχυτικών (Πηγή: Πίνακας 8.2.2- Section 8: Scantling Requirements, CSR)

#### 5.4.1 Ελάσματα

Για τους υπολογισμούς των ελασμάτων που αναφέρονται στη συγκεκριμένη παράγραφο ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$t_{net} [mm] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}}$$

$$a_p = \min\left(1.2 - \frac{s}{2,100 \cdot l_p}, 1\right)$$

με  $s$  την ισαπόσταση των ενισχυτικών σε mm και  $l_p$  το μήκος του ελάσματος ως η απόσταση ανάμεσα στην κύρια εγκάρσια ενίσχυσή του σε m ([2], Section 4:Basic Information/2.2)

$\sigma_{yd} = 235$  το ελάχιστο όριο διαρροής του ναυπηγικού χάλυβα (Grade A) ή  $\sigma_{yd} = 315$  του Grade AH σε  $N/mm^2$

$C_a = C_{a-max} = 1$  συντελεστής επιτρεπόμενης καμπτικής καταπόνησης, για κριτήρια φόρτισης σχεδίασης AC2 και ελάσματα που αποτελούν εξωτερικό όριο και ελάσματα που αποτελούν υδατοστεγές όριο, όπως ορίζεται στον πίνακα 8.2.4

$P$ , η πίεση σχεδίασης υπολογισμένη στο σημείο φόρτισης, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 3:Rule Application/5.1), για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης σχεδίασης σε  $kN/m^2$  και είναι το άθροισμα μιας υδροστατικής συνιστώσας και μιας δυναμικής λόγω κυματισμών, ή είναι η πίεση του φορτίου για την κατάσταση πλήρους φόρτωσης ([2], Section 8:Scantling Requirements), όπως ορίζεται από τον πίνακα 8.2.7

**(α) Για βυθισμένα εξωτερικά ελάσματα ισχύει:**

$$P = P_{hys} + P_{wv-dyn}$$

με  $P_{hys} = \rho \cdot g \cdot (T_{sc} - z)$ ,  $P_{wv-dyn} = P_{ctr} + (|y|/0.5B_{local}) \cdot (P_{bidge} - P_{ctr})$  για την περιοχή ανάμεσα στο διαμήκη άξονα συμμετρίας και την ακμή του ελάσματος υδρορροής ([2], Section 7:Loads/6.3.5) και για  $|y| = 0.5B_{local}$  είναι η δυσμενέστερη φόρτιση από τη δυναμική πίεση λόγω κυματισμών, η οποία τότε γράφεται

$$P_{wv-dyn} = P_{bidge}$$

με  $P_{bidge} = f_{bidge} \cdot P_{ex-max}$

με  $f_{bidge} = 1$  για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης, όπως φαίνεται στους πίνακες 7.6.4 και 7.6.5 ([2], Section 7:Loads/6.5.1)

και  $P_{ex-max} = P_{ex-dyn}$  σε  $kN/m^2$  για περιοχές κάτω από την ισάλο επιφάνεια ([2], Section 7:Loads/3.5.2.2) με  $P_{ex-dyn} = \max\{P_1, P_2\}$  ([2], Section 7:Loads/3.5.2.1)

$$P_1[kN/m^2] = 2 \cdot f_{prob} \cdot f_{nl-P1} \cdot \left[ \left( P_{11} + \frac{135 \cdot B_{local}}{4 \cdot (B + 75)} - 1.2 \cdot (T_{LC} - z) \right) \cdot f_1 + \frac{135 \cdot B_{local}}{4 \cdot (B + 75)} \cdot f_2 \right]$$

και

$$P_2[kN/m^2] = 26 \cdot f_{prob} \cdot f_{nl-P2} \cdot \left[ \left( \frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_B \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local} + 0.8 \cdot C_{wv}}{14} \cdot \left( 0.7 + \frac{2 \cdot z}{T_{LC}} \right) \right) \cdot f_1 + \left( \frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_B \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local}}{14} \cdot \left( 0.7 + \frac{2 \cdot z}{T_{LC}} \right) \right) \cdot f_2 \right]$$

όπου  $f_{prob} = 1$ ,  $f_{nl-P1} = 0.9$ ,  $f_{nl-P2} = 0.65$  για εκτίμηση αντοχής ([2], Section 7:Loads/3.5.2.2)

$$P_{11} = (3 \cdot f_s + 0.8) \cdot C_{wv}, \text{ με } f_s = C_B, \text{ για } 0.2L < x < 0.7L$$

και συντελεστή κύματος,

$$C_{wv} = 10.617$$

$B_{local}$  το τοπικό πλάτος της ισάλου για το βύθισμα υπολογισμών

$T_{LC}$  το βύθισμα σχεδίασης και υπολογισμού αντοχής μέσης τομής

$f_1 = f_{lng} - (f_{lng}/f_V)f_2 + f_2 = 1$  με  $f_{lng} = 0.7$  για  $0.2L < x < 0.7L$ ,  $f_V = 1$  για εκτίμηση αντοχής ([2], Section 7:Loads/3.5.2.2) και

$f_2 = f_V \cdot [(4|y|/B_{local}) - 1] = 1$  για  $|y| = 0.5 \cdot B_{local}$  που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση

$\theta = [50/(B + 75)](1.25 - 0.025 \cdot U_{roll}) \cdot f_{bk}$  η γωνία διατοιχισμού σε rads ([2], Section 7:Loads/3.2.2.2), με  $U_{roll} = 2.3 \cdot r_{roll-gyr}/\sqrt{GM}$  ([2], Section 7:Loads/3.2.2.1), με  $r_{roll-gyr} = 0.35B$  και  $GM = 0.12B$ , όπως ορίζονται στον πίνακα 7.3.1 ([2], Section 7:Loads/3.1.3.1), και  $f_{bk} = 1$  για πλοία με έλασμα υδρορροής.

$f_T = T_{LC}/T_{sc}$  ο λόγος βυθίσματος σχεδίασης προς βύθισμα ενίσχυσης

**(β) Για τα εσωτερικά ελάσματα των δεξαμενών ισχύει:**

$$P = P_{in} = \max\{P_{in-test}, P_{in-tk} + P_{valve}\},$$

για συνδυασμό στατικών και δυναμικών φορτίσεων, όπως ορίζεται στον πίνακα 7.6.1 ([2], Section 7:Loads/6.2.1.1) και για δεξαμενές φορτίου

με  $P_{valve} = 25 \text{ kN/m}^2$ , κατ' ελάχιστον ([2], Section 7:Loads/2.2.3.3)

με  $P_{in-test} = \rho \cdot g \cdot z_{test}$  ([2], Section 7:Loads/2.2.3.5) με  $z_{test} = z_{tk-max} + 2.4$ ,  $\rho = 1.025 \text{ t/m}^3$  για εκτίμηση αντοχής και  $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας

με  $P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk}$ , όπως ορίζεται στους κανονισμούς ([2], Section 7:Loads/2.2.3.1), με  $\rho = 1.025 \text{ t/m}^3$  για εκτίμηση αντοχής,  $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $z_{tk} = D + \text{camber} - h_{DB}$ , η κατακόρυφη απόσταση από το σημείο υπολογισμού της πίεσης και το υψηλότερο σημείο της δεξαμενής

**(γ) Για τα ελάσματα του καταστρώματος ισχύει:**

$$P = P_{wdk-dyn}$$

με  $P_{wdk-dyn} = \max\{P_{wdk-dyn1}, P_{wdk-dyn2}\} > 34$  ([2], Section 7:Loads/6.3.6.2), για συνδυασμό στατικών και δυναμικών φορτίσεων, όπως ορίζεται στον πίνακα 7.6.1 ([2], Section 7:Loads/6.2.1.1) και για το κατάστρωμα

αφού

$$P_{wdk-dyn1} [\text{kN/m}^2] = f_{1-dk} \cdot (f_{op} \cdot P_{1-WL} - 10 \cdot z_{dk-T})$$

και

$$P_{wdk-dyn2} [\text{kN/m}^2] = 0.8 \cdot f_{2-dk} \cdot (P_{2-WL} - 10 \cdot z_{dk-T})$$

όπου  $f_{1-dk} = 0.8 + L/750$ ,

$f_{2-dk} = 0.5 + |y|/B_{wdk} = 1$ , για  $|y| = 0.5 \cdot B_{wdk}$  που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση

$z_{dk-T} = D - T_d$  η απόσταση από το κατάστρωμα μέχρι την ίσαλο επιφάνεια για την κατάσταση πλήρους φόρτωσης

$f_{op} = 1$ , για  $0.2L < x$  που αντιστοιχεί στην περιοχή της μέσης τομής και

$$P_{1-WL} = P_1 [\text{kN/m}^2] = 2 \cdot f_{prob} \cdot f_{nl-P1} \cdot \left[ \left( P_{11} + \frac{135 \cdot B_{local}}{4 \cdot (B + 75)} - 1.2 \cdot (T_{LC} - z) \right) \cdot f_1 + \frac{135 \cdot B_{local}}{4 \cdot (B + 75)} \cdot f_2 \right]$$

και

$$P_{2-WL} = P_2 [kN/m^2] = 26 \cdot f_{prob} \cdot f_{nl-P2} \cdot \left[ \left( \frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_B \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local} + 0.8 \cdot C_{wv}}{14} \cdot \left( 0.7 + \frac{2 \cdot z}{T_{LC}} \right) \right) \cdot f_1 + \left( \frac{B_{local}}{8} \cdot \theta + f_T \cdot C_B \cdot \frac{0.25 \cdot B_{local}}{14} \cdot \left( 0.7 + \frac{2 \cdot z}{T_{LC}} \right) \right) \cdot f_2 \right]$$

όπου  $f_{prob} = 1$ ,  $f_{nl-P1} = 0.9$ ,  $f_{nl-P2} = 0.65$  για εκτίμηση αντοχής ([2], Section 7:Loads/3.5.2.2)

$$P_{11} = (3 \cdot f_s + 0.8) \cdot C_{wv} \text{ με } f_s = C_B, \text{ για } 0.2L < x < 0.7L$$

$B_{local}$  το τοπικό πλάτος της ισάλου για το βύθισμα υπολογισμών

$T_{LC}$  το βύθισμα σχεδίασης και υπολογισμού αντοχής μέσης τομής

$z = D$  η απόσταση του καταστρώματος από το επίπεδο της τρόπιδας σε m

$f_1 = f_{ing} - (f_{ing}/f_V)f_2 + f_2 = 1$  με  $f_{ing} = 0.7$  για  $0.2L < x < 0.7L$ ,  $f_V = 1$  για εκτίμηση αντοχής ([2], Section 7:Loads/3.5.2.2) και  $f_2 = f_V \cdot [(4|y|/B_{local}) - 1] = 1$  για  $|y| = 0.5 \cdot B_{local}$  που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση

$\theta = [50/(B + 75)](1.25 - 0.025 \cdot U_{roll}) \cdot f_{bk}$  η γωνία διατοιχισμού σε rads ([2], Section 7:Loads/3.2.2.2), με  $U_{roll} = 2.3 \cdot r_{roll-gyr}/\sqrt{GM}$  ([2], Section 7:Loads/3.2.2.1), με  $r_{roll-gyr} = 0.35B$  και  $GM = 0.12B$ , όπως ορίζονται στον πίνακα 7.3.1 ([2], Section 7:Loads/3.1.3.1), και  $f_{bk} = 1$  για πλοία με έλασμα υδρορροής

$f_T = T_{LC}/T_{sc}$  ο λόγος βυθίσματος σχεδίασης προς βύθισμα ενίσχυσης

#### 5.4.1.1 Έλασμα τρόπιδας (Keel plate)

Το έλασμα της τρόπιδας πρέπει να εκτείνεται καθ' όλο το επίπεδο τμήμα του πυθμένα και το ελάχιστο πλάτος των ελασμάτων της τρόπιδας, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.1.1), δίνεται από τη σχέση:

$$b_{min,kl} [mm] = 800 + 5 \cdot L_R = 800 + 5 \cdot 273.95 \Rightarrow b_{min,kl} = 2170 \text{ mm}$$

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελασματος τρόπιδας, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.1.2), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 που παρατίθεται στο Παράρτημα. (βλ. Παράγραφο 5.4.1.α)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, s = 815 \text{ mm}, l_p = 3.36 \text{ m}, C_\alpha = C_{\alpha-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 \text{ m}, T_{LC} = 11.7 \text{ m}, \theta = 0.354 \text{ rad}$$

$$P_{hys} = 127.70 \text{ kN/m}^2, \text{ για } T_{sc} = 12.7 \text{ m και } z = 0 \text{ και}$$

$$P_1 = 75.45 \text{ kN/m}^2, P_2 = 87.33 \text{ kN/m}^2, P_{11} = 32.64$$

$$P_{ex-dyn} = \max\{P_1, P_2\} = 87.33 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ex-max} = P_{ex-dyn}$$

$$P_{bldge} = f_{bldge} \cdot P_{ex-max} = 87.33 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{wv-dyn} = P_{bldge}$$

$$P = P_{hys} + P_{wv-dyn} = (127.7 + 87.33) \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 215.03 \text{ kN/m}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος της τρόπιδας, έχουμε:

$$t_{net,kl} [mm] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}} = 12.32 \text{ mm} < 6.5 + 0.03 \cdot L_2 = 14.72 \text{ mm}$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος της τρόπιδας αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.1 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1, που παρατίθεται στο Παράρτημα και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος της τρόπιδας είναι:

$$t_{min,kl} = t_{net,kl} + t_{cor,kl} = 12.32 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 15.32 \text{ mm} \Rightarrow t_{min,kl} = 18 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης της μέσης τομής του πατρικού, τελικά επιλέγουμε πάχος ελάσματος τρόπιδας, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο ίσο με:

$$t_{kl} = 20 \text{ mm}$$

#### 5.4.1.2 Έλασμα πυθμένα (Bottom plate)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.2), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 (βλ. Παράγραφο 5.4.1.α)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 315 \text{ N/mm}^2, s = 810 \text{ mm}, l_p = 3.36 \text{ m}, C_a = C_{a-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 \text{ m}, T_{LC} = 11.7 \text{ m}, \theta = 0.354 \text{ rad}$$

$$P_{hys} = 127.70 \text{ kN/m}^2, \text{ για } T_{sc} = 12.7 \text{ m και } z = 0 \text{ και}$$

$$P_1 = 75.45 \text{ kN/m}^2, P_2 = 87.33 \text{ kN/m}^2, P_{11} = 32.64$$

$$P_{ex-dyn} = \max\{P_1, P_2\} = 87.33 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ex-max} = P_{ex-dyn}$$

$$P_{bldge} = f_{bldge} \cdot P_{ex-max} = 87.33 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{wv-dyn} = P_{bldge}$$

$$P = P_{hys} + P_{wv-dyn} = (127.7 + 87.33) \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 215.03 \text{ kN/m}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του πυθμένα, έχουμε:

$$t_{net,bot} [mm] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}} = 10.6 \text{ mm} < 4.5 + 0.03 \cdot L_2 = 12.72 \text{ mm}$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του πυθμένα αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.1 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6: Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του πυθμένα είναι:

$$t_{min,bot} = t_{net,bot} + t_{cor,bot} = 10.6 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 13.6 \text{ mm} \Rightarrow t_{min,bot} = 16 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης της μέσης τομής του πατρικού, τελικά επιλέγουμε πάχος ελάσματος πυθμένα, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο ίσο με:

$$\mathbf{t_{bot} = 17 \text{ mm}}$$

#### 5.4.1.3 Έλασμα εσωτερικού πυθμένα (Inner Bottom plate)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος εσωτερικού πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8: Scantling Requirements/2.4.1.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 (βλ. Παράγραφο 5.4.1.β)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, s = 810 \text{ mm}, l_p = 3.36 \text{ m}, C_a = C_{a-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 \text{ m}, T_{LC} = 11.7 \text{ m}, \theta = 0.354 \text{ rad}$$

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} = 233.78 \text{ kN/m}^2, z_{tk} = D + \text{camber} - h_{DB} = 23.25 \text{ m}$$

$$P_{in-test} = \rho \cdot g \cdot z_{test} = 257.92 \text{ kN/m}^2, z_{test} = z_{tk-max} + 2.4 = 25.65 \text{ m}$$

$$P_{in} = \max\{P_{in-test}, P_{in-tk} + P_{valve}\},$$

$$P_{valve} = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$P = P_{in} = \max\{257.92, 233.78\} \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 257.92 \text{ kN/m}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του εσωτερικού πυθμένα, έχουμε:

$$t_{net,in-bot} [\text{mm}] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}} = 13.41 \text{ mm} > 4.5 + 0.02 \cdot L_2$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος εσωτερικού πυθμένα, αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.4 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 4 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος των ελασμάτων του εσωτερικού πυθμένα είναι:

$$t_{min,in-bot} = t_{net,in-bot} + t_{cor,in-bot} = 13.41 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 17.41 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow t_{min,in-bot} = 18 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος ελασμάτων εσωτερικού πυθμένα, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$t_{in-bot} = 19 \text{ mm}$$

#### 5.4.1.4 Έλασμα υδρορροής (Bildge plate)

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος υδρορροής, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.3), δε πρέπει να είναι μικρότερο από το πάχος του παράπλευρου ελάσματος πυθμένα ή πλευράς, όποιο είναι μεγαλύτερο, ενώ για έλασμα υδρορροής χωρίς διαμήκη ενίσχυση, το ελάχιστο καθαρό πάχος δίνεται από τη σχέση:

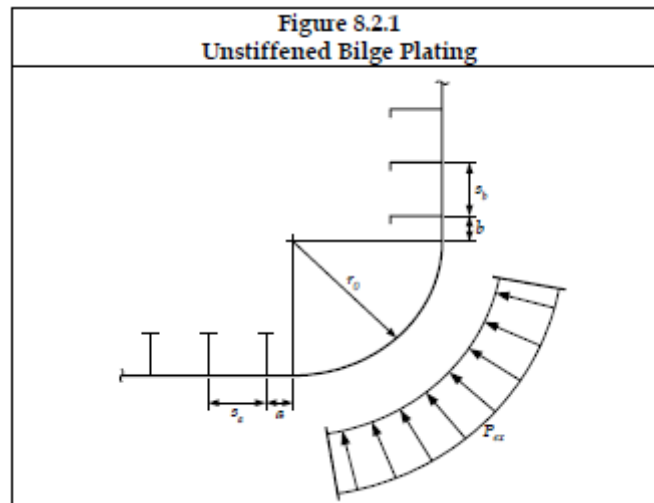
$$t_{net,bl} [\text{mm}] = \frac{\sqrt[3]{r^2 \cdot S_t \cdot P_{ex}}}{100}$$

$$t_{net,bl} = 16.92 \text{ mm}$$

όπου:  $r$  η αποτελεσματική ακτίνα της υδρορροής και είναι  $r = r_0 + 0.5 \cdot (a + b) = 3056 + 0.5 \cdot (450 + 160) = 3361 \text{ mm}$



με  $r$ ,  $a$  και  $b$ , όπως φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα 8.2.1 και ορίζονται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.3.2)



Εικόνα 5.4:1 Έλασμα υδρορροής (Πηγή: Σχήμα 8.2.1- Section 8:Scantling Requirements/2.2.3.2, CSR)

$S_t = 3.36 \text{ m}$  η ισαπόσταση των εγκάρσιων ενισχυτικών σε m | TYP TRANS. WEB, (είναι το Frame Spacing) και φαίνεται στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan)

$P_{ex}$  η εξωτερική πίεση σχεδίασης για τα κριτήρια αποδοχής 1 ([2], Section 8:Scantling Requirements, Table 8.2.7), δηλαδή η υδροστατική, υπολογισμένη στην κατώτερη ακμή του ελάσματος υδρορροής σε  $\text{kN/m}^2$ , όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Loads/2.2.2) και είναι:

$$P_{ex} \equiv P_{hys} = \rho \cdot g \cdot (T_{sc} - z)$$

$$P_{ex} = 127.7 \text{ kN/m}^2$$

Στο ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος υδρορροής απαιτείται να προσθέσουμε το περιθώριο διάβρωσης, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, οπότε το ελάχιστο πάχος του ελάσματος υδρορροής είναι:

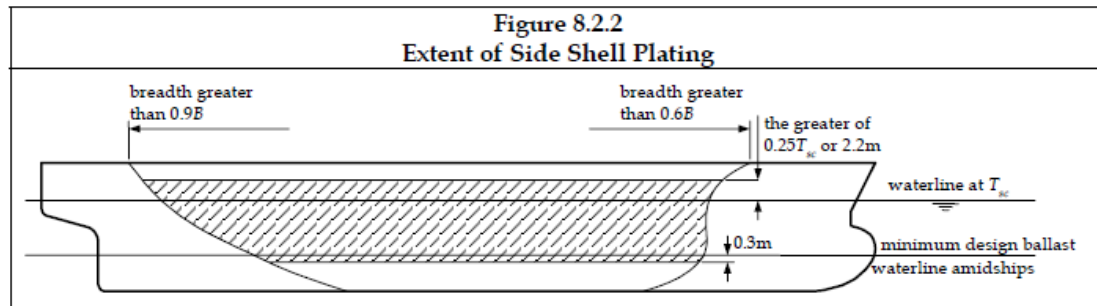
$$t_{min,bl} = t_{net,bl} + t_{cor,bl} = 16.92 \text{ mm} + 3 \text{ mm} > 4.5 + 0.03 \cdot L_2$$

$$t_{bl} = 20 \text{ mm}$$

#### 5.4.1.5 Έλασμα πλευράς (Side shell plate)

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος πλευράς, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section

8:Scantling Requirements/2.2.4.2), στην περιοχή που ορίζεται στο σχήμα 8.2.2, που παρατίθεται παρακάτω και δίνεται από τη σχέση:



Εικόνα 5.4:2 Έλασμα πλευράς (Πηγή: Σχήμα 8.2.2 - Section 8:Scantling Requirements/2.2.4.2, CSR)

$$t_{net,side} [mm] = 26 \cdot \left( \frac{s}{1000} + 0.7 \right) \cdot \left( \frac{B \cdot T_{sc}}{\sigma_{yd}^2} \right)^{0.25}$$

$$s = 822 \text{ mm}, B = 46 \text{ m}, T_{sc} = 12.7 \text{ m}, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος πλευράς, έχουμε:

$$t_{net,side} [mm] = 26 \cdot \left( \frac{s}{1000} + 0.7 \right) \cdot \left( \frac{B \cdot T_{sc}}{\sigma_{yd}^2} \right)^{0.25} = 12.7 \text{ mm} < 4.5 + 0.03 \cdot L_2 = 12.72 \text{ mm}$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος πλευράς, αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.1 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 που είναι 3.5 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος πλευράς είναι:

$$t_{min,side} = t_{net,side} + t_{cor,side} = 12.72 \text{ mm} + 3.5 \text{ mm} = 16.22 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow t_{min,side} = 17 \text{ mm}$$

#### 5.4.1.6 Έλασμα ζωστήρα (Sheer strake)

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος ζωστήρα, όπως ορίζεται από τους ενοποιημένους κατασκευαστικούς κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.2.5.1), υπόκειται στις ίδιες απαιτήσεις με το έλασμα πλευράς, οπότε επιλέγουμε το ίδιο πάχος ελάσματος ζωστήρα:

$$t_{strake} = 17 \text{ mm}$$

#### 5.4.1.7 Έλασμα πλευρικής διαμήκουσ φρακτής (Side longitudinal bulkhead plate)

Οι διαμήκεις φρακτές πρέπει να είναι γενικά επίπεδες και να φέρουν διαμήκη ενίσχυση ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.1.1), ενώ το ελάχιστο καθαρό πάχος της πλευρικής διαμήκουσ φρακτής, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του

IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 που παρατίθεται στο Παράρτημα. (βλ. Παράγραφο 5.4.1.β)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, s = 822 \text{ mm}, l_p = 3.36 \text{ m}, C_\alpha = C_{\alpha-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 \text{ m}, T_{LC} = 11.7 \text{ m}, \theta = 0.354 \text{ rad}$$

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} = 192.56 \text{ kN/m}^2, z_{tk} = D + \text{camber} - h_{Hopper} = 19.15 \text{ m}$$

$$P_{in-test} = \rho \cdot g \cdot z_{test} = 216.69 \text{ kN/m}^2, z_{test} = z_{tk-max} + 2.4 = 21.55 \text{ m}$$

$$P_{in} = \max\{P_{in-test}, P_{in-tk} + P_{valve}\},$$

$$P_{valve} = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$P = P_{in} = \max\{216.69, 192.56\} \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 216.69 \text{ kN/m}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος της πλευρικής διαμήκουσ φρακτής, έχουμε:

$$t_{net,side-lng} [\text{mm}] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_\alpha \cdot \sigma_{yd}}} = 12.47 \text{ mm} > 4.5 + 0.02 \cdot L_2 = 9.98 \text{ mm}$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος της πλευρικής διαμήκουσ φρακτής, αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.4 και προσθέτοντας το μέγιστο περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 4 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του ελάσματος της πλευρικής διαμήκουσ φρακτής είναι:

$$t_{min,side-lng} = t_{net,side-lng} + t_{cor-max,side-lng} = 12.47 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 16.47 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow t_{min,side-lng} = \mathbf{16.5 \text{ mm}}$$

#### 5.4.1.8 Έλασμα καταστρώματος (Upper – Inner Deck plate)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος καταστρώματος, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.4.1.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 (βλ. Παράγραφο 5.4.1.γ)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, s = 850 \text{ mm}, l_p = 3.36 \text{ m}, C_\alpha = C_{\alpha-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 \text{ m}, T_{LC} = 11.7 \text{ m}, T_{sc} = 12.7 \text{ m} \text{ και } z = D = 26 \text{ m}$$

$$P_{11} = 32.64, z_{dk-T} = D - T_d = 14.3 \text{ m}, \theta = 0.354 \text{ rad}$$

$$P_{1-WL} = 131.61 \text{ kN/m}^2 \text{ και } P_{2-WL} = P_2 [\text{kN/m}^2] = 196.03 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{wdk-dyn1} [kN/m^2] = -13.27 kN/m^2$$

$$P_{wdk-dyn2} [kN/m^2] = 42.42 kN/m^2$$

$$\text{όπου} \quad f_{1-dk} = 1.17 \text{ και } f_{2-dk} = 1,$$

$$P_{wdk-dyn} = \max\{P_{wdk-dyn1}, P_{wdk-dyn2}\} > 34 = 42.42 kN/m^2$$

$$P = P_{wdk-dyn} = 42.42 kN/m^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του καταστρώματος, έχουμε:

$$t_{net,deck} [mm] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_\alpha \cdot \sigma_{yd}}} = 5.71 mm < 4.5 + 0.02 \cdot L_2 = 9.98 mm$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος εσωτερικού πυθμένα, αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.1 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6: Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 4 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος των ελασμάτων του καταστρώματος είναι:

$$t_{min,deck} = t_{net,deck} + t_{cor,deck} = 5.71 mm + 4 mm = 9.71 mm$$

$$\Rightarrow t_{min,deck} = 14 mm$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος ελασμάτων καταστρώματος, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$t_{inner deck} = t_{upper deck} = 16 mm$$

Για το *Trunk deck* επιλέγουμε, όμοια με το πατρικό, πάχος ελάσματος 30.5 mm, που αντιστοιχεί περίπου στο διπλάσιο του Upper Deck ,

$$t_{trunk deck} = 30.5 mm.$$

#### 5.4.1.9 Hopper plating

Το έλασμα του hopper πρέπει να στηρίζεται από σταθμίδες (οριζόντια και κατακόρυφη) στα άκρα του ([2], Section 8: Scantling Requirements/2.5.3.1), ενώ το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του hopper, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.4 (βλ. Παράγραφο 5.4.1.β)

$$a_p = 1, \sigma_{yd} = 235 \frac{N}{mm^2}, l_p = 3.36 m, s = 830 mm, C_\alpha = C_{\alpha-max} = 1$$

$$B_{local} = 46 m, T_{LC} = 11.7 m$$

$$P_{in-tk} = \rho \cdot g \cdot z_{tk} = 233.78 \text{ kN/m}^2, z_{tk} = D + \text{camber} - h_{DB} = 23.25 \text{ m}$$

$$P_{in-test} = \rho \cdot g \cdot z_{test} = 257.92 \text{ kN/m}^2, z_{test} = z_{tk-max} + 2.4 = 25.65 \text{ m}$$

$$P_{in} = \max\{P_{in-test}, P_{in-tk} + P_{valve}\},$$

$$P_{valve} = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$P = P_{in} = \max\{257.92, 233.78\} \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 257.92 \text{ kN/m}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του hopper, έχουμε:

$$t_{net,hopper} [mm] = 0.0158 \cdot a_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}} = 13.74 \text{ mm} > 4.5 + 0.02 \cdot L_2 = 9.98 \text{ mm}$$

Οπότε θεωρούμε ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος του hopper, αυτό που δίνεται από τον πίνακα 8.2.4 και προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του ελάσματος του hopper είναι:

$$t_{min,hopper} = t_{net,hopper} + t_{cor,hopper} = 13.74 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 16.74 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow t_{min,in-bot} = 17 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος ελάσματος hopper, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$t_{hopper} = 19 \text{ mm}$$

#### 5.4.2 Ενισχυτικά

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 και γενικά δίνεται από τη σχέση:

$$t_{w-net,bot} [mm] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}}$$

όπου:

$f_{shr} = 0.7$  ο παράγοντας κατανομής της διατμητικής δύναμης για κατακόρυφα ενισχυτικά και  $f_{shr} = 0.5$  για οριζόντια ενισχυτικά.

$P$  η πίεση σχεδίασης υπολογισμένη στο σημείο φόρτισης, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 3:Rule

Application/5.1), για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης σχεδίασης σε  $\text{kN/m}^2$ , ίση με την τιμή που υπολογίστηκε για τη διαστασιολόγηση του αντίστοιχου ελάσματος

$s$  η ισάπλοσταση των ενισχυτικών σε mm ([2], Section 4:Basic Information/2.2)

$l_{shr} = l - s/2000 = 2.95 \text{ m}$  το ενεργό άνοιγμα διάτμησης σε m ([2], Section 4:Basic Information/2.1.2), με  $l = 3.36 \text{ m}$  το μήκος του ενισχυτικού ανάμεσα στα κύριους κατασκευαστικούς νομείς στην περιοχή της μέσης τομής

$d_{shr} = (h_{stf} + t_{p-net}) \cdot \sin \varphi_w$  το ενεργό βάθος διάτμησης του ενισχυτικού σε mm ([2], Section 4:Basic Information/2.4.2.2)

$h_{stf} = h_{web} + t_{flange}$  το ύψος του ενισχυτικού σε mm συμπεριλαμβανομένης και της φλάντζας για ενισχυτικά διατομής T, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.12 ([2], Section 4:Basic Information/2.4.1.2),

$t_{p-net}$  το καθαρό πάχος του ελάσματος που είναι τοποθετημένο το ενισχυτικό σε mm και  $\varphi_w$  η γωνία που σχηματίζει ο κορμός του ενισχυτικού και με το έλασμα

$C_s = 0.9$  συντελεστής επιτρεπόμενης διατμητικής καταπόνησης, για κριτήρια φόρτισης σχεδίασης AC2

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd}/\sqrt{3}$$

Στο ελάχιστο καθαρό πάχος προστίθεται το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1.

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 και γενικά δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{net,stf-bot} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}}$$

όπου:  $f_{bdg} = 10$  ο παράγοντας καμπτικής ροπής για κατακόρυφα ενισχυτικά και  $f_{bdg} = 12$  για οριζόντια ενισχυτικά.

$l_{bdg}$  το ενεργό άνοιγμα κάμψης σε m ([2], Section 4:Basic Information/2.1.1), ίσο με το μήκος του ενισχυτικού ανάμεσα στα κύριους κατασκευαστικούς νομείς στην περιοχή της μέσης τομής

$C_s = C_{s-max} = 0.9$  συντελεστής επιτρεπόμενης καμπτικής καταπόνησης, για κριτήρια φόρτισης σχεδίασης AC2 και ενισχυτικά υδατοστεγούς ορίου.

#### 5.4.2.1 Διαμήκη ενισχυτικά πυθμένα (Bottom longitudinal stiffeners)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{shr} = 0.7, P = 215.03 \text{ kN/m}^2, s = 810 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.955 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 482 \text{ mm}, h_{stf} = 468 \text{ mm}, t_{p-net} = 14 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd}/\sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, έχουμε:

$$t_{w-net,bot} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 5.1 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα είναι:

$$t_{min,w-bot} = t_{w-net,bot} + t_{cor,w-bot} = 5.1 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 8.1 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-bot} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{bdg} = 10, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, έχουμε:

$$Z_{min,net,stf-bot} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 929.7 \text{ cm}^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (450x12,150x15) χάλυβα (Grade "A") που έχουν επιλεγεί στον πυθμένα θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(450 \times 12, 150 \times 15)} = 1,032 \text{ cm}^3 > 929.7 \text{ cm}^3 = Z_{min,net,stf-bot}$$

#### 5.4.2.2 Διαμήκη ενισχυτικά εσωτερικού πυθμένα (Inner bottom longitudinal stiffeners)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{shr} = 0.7, P = 257.92 \text{ kN/m}^2, s = 810 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.955 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 645 \text{ mm}, h_{stf} = 630 \text{ mm}, t_{p-net} = 15 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd}/\sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, έχουμε:

$$t_{w-net,inner bot} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 6.1 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα είναι:

$$t_{min,w-stif inner bot} = t_{w-net,inner bot} + t_{cor,w-inner bot} = 6.1 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 9.1 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-inner bot} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 (βλ. Παράγραφο 5.4.2):

$$f_{bdg} = 10, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, έχουμε:

$$Z_{min,net,stf-inner bot} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 1115.2 \text{ cm}^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (450x12,150x18) χάλυβα (Grade "A") που έχουν επιλεγεί στον εσωτερικό πυθμένα θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(450 \times 12, 150 \times 18)} = 1150.1 \text{ cm}^3 > 1115.2 \text{ cm}^3 = Z_{min,net,stf-inner bot}$$



#### 5.4.2.3 Διαμήκη ενισχυτικά πλευράς (Side shell longitudinal stiffeners)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{shr} = 0.5, P = 197.32 \text{ kN/m}^2, s = 822 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.949 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 428.5 \text{ mm}, h_{stf} = 415 \text{ mm}, t_{p-net} = 13.5 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd} / \sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς, έχουμε:

$$t_{w-net,side} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 3.8 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς είναι:

$$t_{min,w-side} = t_{w-net,side} + t_{cor,w-side} = 3.8 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 6.8 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-side} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 (βλ. Παράγραφο 5.4.2):

$$f_{bdg} = 12, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευράς, έχουμε:

$$Z_{net,stf-side} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 721.5 \text{ cm}^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (400x12,150x15) χάλυβα (Grade "A") που έχουν επιλεγεί στην πλευρά θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(400 \times 12, 150 \times 15)} = 873.8 \text{ cm}^3 > 721.5 \text{ cm}^3 = Z_{min,net,stf-side}$$

#### 5.4.2.4 Διαμήκη ενισχυτικά καταστρώματος (Deck longitudinal stiffeners)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1 ), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{shr} = 0.7, P = 42.42 \text{ kN/m}^2, s = 850 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.935 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 274 \text{ mm}, h_{stf} = 262 \text{ mm}, t_{p-net} = 12 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd}/\sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος, έχουμε:

$$t_{w-net,deck} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 1.8 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 4 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος είναι:

$$t_{min,w-deck} = t_{w-net,deck} + t_{cor,w-deck} = 1.8 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 5.8 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-deck} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.3.2.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{bdg} = 10, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του καταστρώματος, έχουμε:

$$Z_{min,net,stf-deck} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 192.5 \text{ cm}^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (250x12,100x12) (Grade "A") που έχουν επιλεγεί στο κατάστρωμα θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(250 \times 12, 100 \times 12)} = 304.8 \text{ cm}^3 > 192.5 \text{ cm}^3 = Z_{min,net,stf-in-bot}$$

#### 5.4.2.5 Διαμήκη ενισχυτικά πλευρικής διαμήκους φρακτής (Side longitudinal bulkhead stiffeners)

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.5.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{shr} = 0.5, P = 216.69 \text{ kN/m}^2, s = 822 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.949 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 427.5 \text{ mm}, h_{stf} = 415 \text{ mm}, t_{p-net} = 12.5 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd}/\sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής, έχουμε:

$$t_{w-net,side-lng} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 4.2 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το μέγιστο περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 και είναι 4 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής είναι:

$$t_{min,w-side-lng} = t_{w-net,side-lng} + t_{cor,w-side-lng} = 4.2 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 8.2 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-side-lng} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.5.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5 (βλ. Παράγραφο 5.4.2)

$$f_{bdg} = 12, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής διαμήκους φρακτής, έχουμε:

$$Z_{net,stf-side-lng} [\text{cm}^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 792.3 \text{ cm}^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (400x12,150x15) απλού ναυπηγικού χάλυβα που έχουν επιλεγεί στην πλευρική διαμήκη φρακτή θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(400 \times 12, 150 \times 15)} = 873.8 \text{ cm}^3 > 792.3 \text{ cm}^3 = Z_{net, stf-side-lng}$$

#### 5.4.2.6 Hopper longitudinal stiffeners

Το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού (web) των διαμήκων ενισχυτικών του hopper, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.5.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.6 (βλ. Παράγραφο 5.4.2).

$$f_{shr} = 0.6, P = 257.92 \text{ kN/m}^2, s = 830 \text{ mm}$$

$$l_{shr} = 2.945 \text{ m}, l = 3.36 \text{ m}$$

$$d_{shr} = 481 \text{ mm}, h_{stf} = 465 \text{ mm}, t_{p-net} = 16 \text{ mm}, \varphi_w = 90^\circ$$

$$\tau_{yd} = \sigma_{yd} / \sqrt{3} = 162.94 \text{ N/mm}^2, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του hopper, έχουμε:

$$t_{w-net, hopper} [\text{mm}] = \frac{f_{shr} \cdot |P| \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{yd}} = 5.4 \text{ mm}$$

Προσθέτοντας το περιθώριο διάβρωσης που απαιτείται, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 6:Materials and Welding), στον πίνακα 6.3.1 που είναι 3 mm, τελικά το ελάχιστο πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του hopper είναι:

$$t_{min, w-hopper} = t_{w-net, hopper} + t_{cor, w-hopper} = 5.4 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 8.4 \text{ mm}$$

Με βάση και τα στοιχεία διαστασιολόγησης των ενισχυτικών της μέσης τομής του πατρικού πλοίου, τελικά επιλέγουμε πάχος κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του hopper, για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο, ίσο με:

$$\Rightarrow t_{w-hopper} = 12 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών του εσωτερικού πυθμένα, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών του IACS, Common Structural Rules (CSR) ([2], Section 8:Scantling Requirements/2.5.5.1), όπως ορίζονται στον πίνακα 8.2.5. (βλ. Παράγραφο 5.4.2).

$$f_{bdg} = 12, l_{bdg} = 3.36, \sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2, C_s = 0.9$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση για το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των διαμήκων ενισχυτικών του πυθμένα, έχουμε:

$$Z_{min,net,stf-hopper} [cm^3] = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot \sigma_{yd}} = 952.2 cm^3$$

Τα ενισχυτικά διατομής T (450x12,150x15) χάλυβα (Grade "A") που έχουν επιλεγεί στο hopper θεωρούνται αποδεκτά, αφού έχουν ροπή αντίστασης μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη:

$$Z_{(450x12,150x15)} = 1031.5 cm^3 > 952.2 cm^3 = Z_{min,net,stf-hopper}$$

### 5.5 Υπολογισμός ροπής αντίστασης και αδράνειας Μέσης Τομής

Η απόσταση του ουδέτερου άξονα προκύπτει από τη σχέση:

$$y_{NA} = \frac{\sum A \cdot y_{BL}}{\sum A}$$

Η ροπή αδράνειας της διατομής, ως προς τον ουδέτερο άξονα της, προκύπτει από τη σχέση:

$$I_{NA} = \sum I = \sum (i + A \cdot y_{NA}^2)$$

Η ροπή αντίστασης του πυθμένα και του καταστρώματος, αντίστοιχα, προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$SM_B = \frac{I_{NA}}{y_{NA}}$$

$$SM_D = \frac{I_{NA}}{D - y_{NA}}$$

Χαρακτηριστικά διατομής		
Ουδέτερος άξονας	$z_{NA} (m) =$	<b>15.49</b>
Ροπή αδράνειας	$I (m^4) =$	<b>1185.9</b>
Ροπή αντίστασης		
Κατάστρωμα	$SM_D (m^3) =$	<b>68.5</b>
Πυθμένας	$SM_B (m^3) =$	<b>76.6</b>

Πίνακας 5.5:1 Χαρακτηριστικά διατομής και ροπή αντίστασης μέσης τομής

Οι τιμές αυτές είναι αποδεκτές καθώς όπως υπολογίστηκε στην αρχή έχουμε ελάχιστες απαιτήσεις :

$$Z_{min} = 48.1 \text{ m}^3 < SM_D = 68.5 \text{ m}^3 < SM_B = 76.6 \text{ m}^3$$

$$I_{min} = 395.3 \text{ m}^4 < I = 1185.9 \text{ m}^4$$

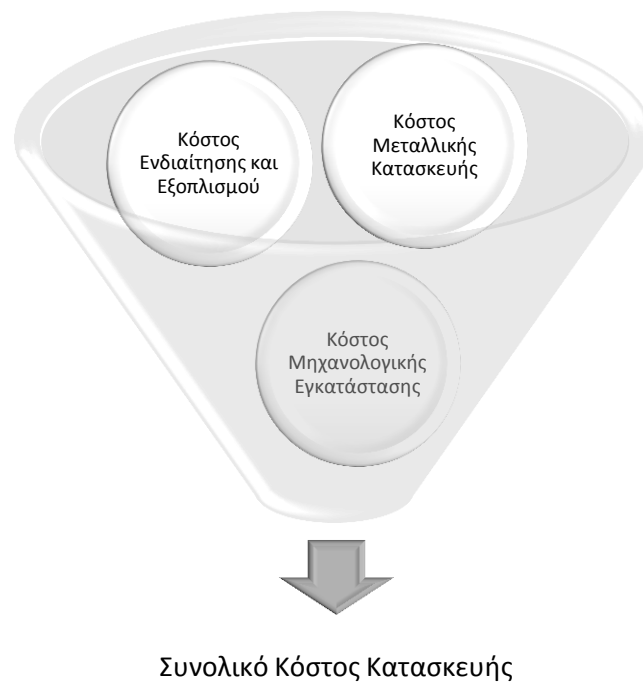
Στο Παράρτημα 8.3 παρατίθενται οι πίνακες των αναλυτικών υπολογισμών των χαρακτηριστικών διατομής και το σχέδιο Μέσης Τομής του υπό μελέτη πλοίου.

## 6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΤΗΣΗΣ, ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΥΛΟΥ <sup>31</sup>

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ένας προκαταρκτικός υπολογισμός του συνολικού κόστους κτήσεως και εκμετάλλευσης του υπό μελέτη πλοίου. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος, για την οικονομική βιωσιμότητα του πλοίου, που προκύπτει με βάση το παραπάνω συνολικό κόστος.

### 6.1 Κόστος Κτήσεως Πλοίου:

Το συνολικό κόστος κατασκευής του πλοίου αναλύεται στα κόστη των τριών κύριων κατασκευαστικών μονάδων που το αποτελούν, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.1:1. Κάθε μια από τις επιμέρους αυτές κατηγορίες αναλύεται σε κόστος υλικών και κόστος εργατικών.



Εικόνα 6.1:1 Συνολικό κόστος κατασκευής

### 6.1.1 Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής:

Το κόστος μεταλλικής κατασκευής αναλύεται από το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος.

Το κόστος των υλικών υπολογίζεται για τιμή χάλυβα 800 \$/t και φύρα της τάξης 16%. Επομένως, προκύπτει:

$$C_M = 1.16 \cdot 700 \$/t \cdot W_{st} = 19879221.6 \$$$

$$W_{st} = 24481.8 t$$

Οι εργατώρες που απαιτούνται για τη μεταλλική κατασκευή, υπολογίζονται προσεγγιστικά κατά Benford:

$$MHS_{st} = 141.2 \cdot W_{st}^{0.9} \rightarrow$$

$$MHS_{st} = 1258327.6 h$$

Το εργατικό κόστος, θεωρώντας κατά μέσο όρο κόστος εργατώρας ίσο με 40 \$, προκύπτει:

$$C_W = 40\$ \cdot MHS_{st} = 5033102.6\$$$

Αναλυτικά, το συνολικό κόστος μεταλλικής κατασκευής, θα είναι:

ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			$W_{ST} = 24481.8 \text{ tons}$
	ΚΟΣΤΟΣ (\$)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ (\$/t)
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	50333102.3	71.7	2055.9
ΥΛΙΚΑ	19879221.6	28.3	812.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>70212323.9</b>	100	2867.9

Πίνακας 6.1:1 Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής



Διάγραμμα 6:1 Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής



### 6.1.2 Κόστος Ενδιαίτησεως & Εξοπλισμού:

Το κόστος ενδίαίτησης και εξοπλισμού του πλοίου αποτελείται από το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος. Λόγω της ιδιαιτερότητας του τύπου του πλοίου, θα υπολογίσουμε το βάρος του υλικού Invar που χρησιμοποιείται στην μόνωση των δεξαμενών αναλυτικά, ενώ για το υπόλοιπο βάρος θα χρησιμοποιηθεί εμπειρική σχέση.

Το κόστος ανά τόνο του υλικού Invar είναι 13000 \$/t. <sup>32</sup>

Επομένως, το συνολικό κόστος για το Invar θα είναι:

$$C_{Invar} = 13000 \cdot W_{Invar} = 4146220 \text{ \$}$$

$$W_{Invar} = 318.9 \text{ t}$$

Το κόστος των υλικών για τα υπόλοιπα υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$C_{Other\ outf.} = 6000 \cdot W_{Other\ outf.}^{0.95} = 24095591.2 \text{ \$}$$

$$W_{Other\ outf.} = 6215.3 \text{ t}$$

$$C_{Outf.\ Mat.} = C_{Other\ outf.} + C_{Invar} = 28241811.2 \text{ \$}$$

Από εμπειρικές σχέσεις, προκύπτει ότι το κόστος των υλικών ενδίαίτησεως και εξοπλισμού αποτελεί το 82 % του συνολικού κόστους. Επομένως, το συνολικό κόστος υπολογίζεται:

$$C_{Tot.} = C_{Outf.\ Mat.} / 0.82 = 34441233.2$$

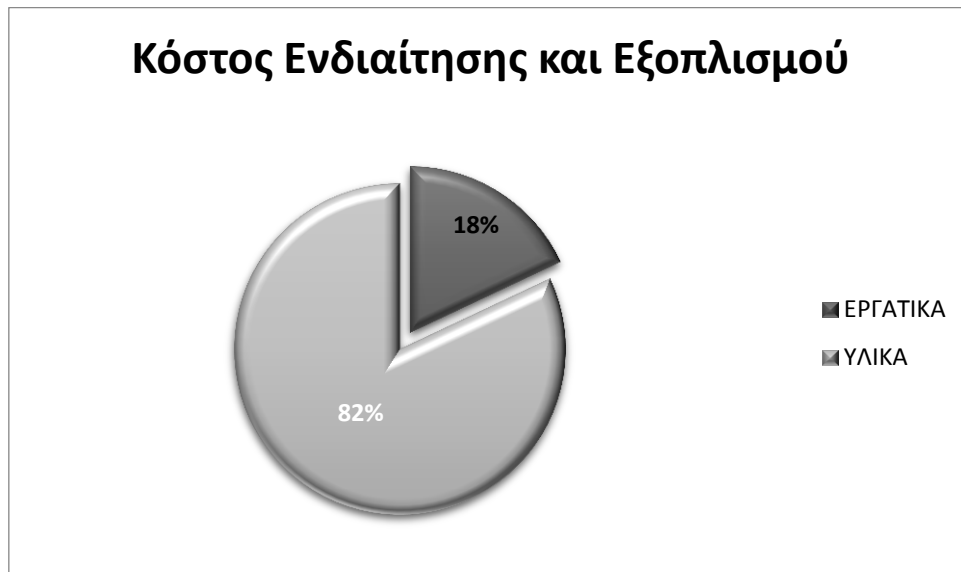
Άρα, το εργατικό κόστος προκύπτει:

$$C_W = 6199422.0 \text{ \$}$$

Επομένως, το συνολικό κόστος ενδίαίτησης και εξοπλισμού θα είναι:

ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ			$W_{ST} = 24481.8 \text{ tons}$
	ΚΟΣΤΟΣ (\$)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ (\$/t)
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	6199422	18	948.8
ΥΛΙΚΑ	28241811.2	82	4322.2
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>34441233.2</b>	100	5271

Πίνακας 6.1:2 Κόστος Ενδίαίτησης και Εξοπλισμού



Διάγραμμα 6:2 Κόστος Ενδίαίτησης και Εξοπλισμού

#### 6.1.3 Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης:

Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου αποτελείται από το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος.

Το κόστος των υλικών μιας μηχανολογικής εγκατάστασης είναι κατά κύριο λόγο ανάλογο της συνολικής ισχύος των μηχανών και μπορεί να προσεγγιστεί από την σχέση:

$$C_M = K_M \cdot BHP^{0.82}$$

$K_M = 2000 \text{ \$/PS}$  είναι το κόστος της συνολικής μηχανολογικής εγκατάστασης ανά εγκατεστημένο ίππο

$$BHP = 45845.1 \text{ PS}$$

Επομένως, το κόστος των υλικών προκύπτει:

$$C_M = 13282817.1 \text{ \$}$$

Από εμπειρικές σχέσεις, προκύπτει ότι το κόστος των υλικών της μηχανολογικής εγκατάστασης αποτελεί το 85% του συνολικού κόστους. Επομένως, το συνολικό κόστος υπολογίζεται:

$$C_{TOT} = \frac{C_M}{0.85} = 15626843.7 \text{ \$}$$

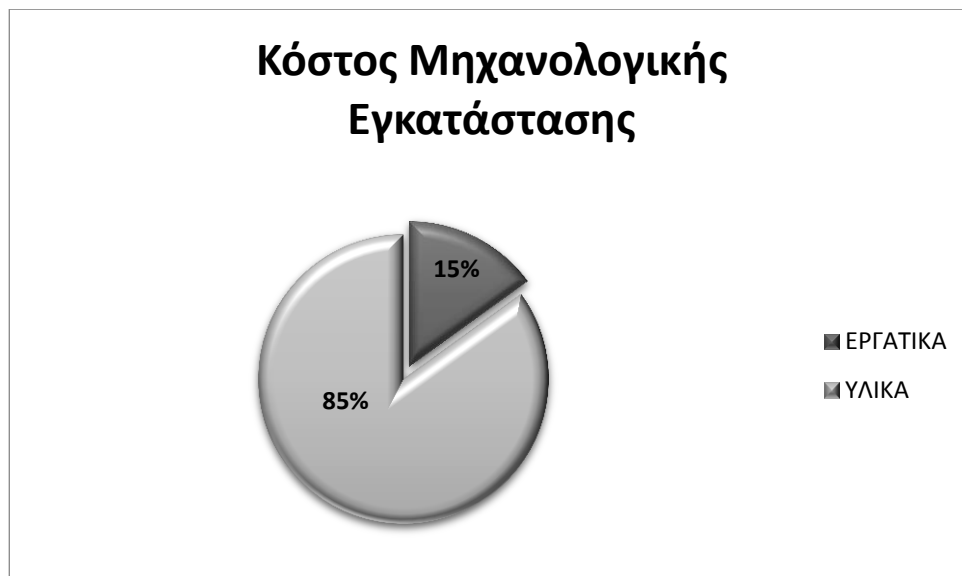
Άρα, το εργατικό κόστος προκύπτει:

$$C_W = 2344026.6 \text{ \$}$$

Αναλυτικά, το συνολικό κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης θα είναι:

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>			
	<b>ΚΟΣΤΟΣ (\$)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΑ (%)</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ (\$/t)</b>
<b>ΕΡΓΑΤΙΚΑ</b>	2344026.6	15	60.1
<b>ΥΛΙΚΑ</b>	13282817.1	85	340
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>15626843.7</b>	100	400.5

Πίνακας 6.1:3 Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης



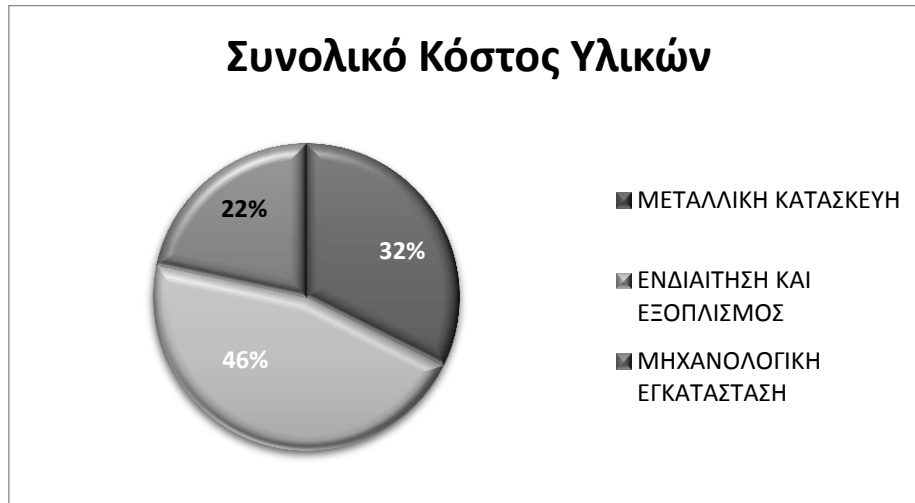
Διάγραμμα 6:3 Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

#### 6.1.4 Συνολικό Κόστος Υλικών:

Το συνολικό κόστος υλικών για την κατασκευή του πλοίου φαίνεται στον πίνακα:

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>			
	<b>ΚΟΣΤΟΣ(\$)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΑ(%)</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ(\$/kW)</b>
<b>ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</b>	19879221.6	32%	812.0
<b>ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	28241811.2	46%	4322.2
<b>ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	13282817.1	22%	290
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>61403849.9</b>	100%	

Πίνακας 6.1:4 Συνολικό Κόστος Υλικών



Διάγραμμα 6:4 Συνολικό Κόστος Υλικών

#### 6.1.5 Συνολικό Κόστος Εργατικών:

Το συνολικό κόστος εργατικών για την κατασκευή του πλοίου είναι αντίστοιχα:

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΤΙΚΩΝ			
	ΚΟΣΤΟΣ(\$)	ΠΟΣΟΣΤΑ(%)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ(\$/kW)
ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	50333102.3	85.5%	2055.9
ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	6199422.1	10.5%	948.8
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	2344026.6	4%	51.1
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58876551.0</b>	<b>100%</b>	

Πίνακας 6.1:5 Συνολικό Κόστος Εργατικών



Διάγραμμα 6:5 Συνολικό Κόστος Εργατικών

### 6.1.6 Συνολικό Κόστος Κτήσεως Πλοίου:

Το συνολικό κόστος κτήσεως του πλοίου προκύπτει:

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΕΩΣ</b>			
	<b>ΚΟΣΤΟΣ(\$)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΑ(%)</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ(\$/kW)</b>
<b>ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</b>	70212323.9	58.4%	2867.9
<b>ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	34441233.2	28.6%	5270.9
<b>ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	15626843.7	13.0%	340.9
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>120280400.8</b>	100%	

Πίνακας 6.1:6 Συνολικό Κόστος Κτήσεως



Διάγραμμα 6:6 Συνολικό Κόστος Κτήσεως

Είτε,

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΕΩΣ ΠΛΟΙΟΥ</b>		
	<b>ΚΟΣΤΟΣ (\$)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΑ (%)</b>
<b>ΥΛΙΚΑ</b>	61403849.9	51.1%
<b>ΕΡΓΑΤΙΚΑ</b>	58876550.8	48.9%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>120280400.8</b>	100%

Πίνακας 6.1:7 Συνολικό Κόστος Κτήσεως



Διάγραμμα 6:7 Συνολικό Κόστος Κτήσεως

## 6.2 ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ:

Το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης του υπό σχεδίαση πλοίου αποτελείται από επιμέρους κόστη, τα οποία μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Κόστος Heavy Fuel Oil
- Κόστος Diesel Oil
- Κόστος Lubricating Oil
- Κόστος Fresh Water
- Κόστος Τροφοδοσίας
- Κόστος Μισθοδοσίας
- Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών
- Κόστος Ασφάλισης
- Λιμενικά έξοδα
- Γενικά έξοδα

Για να υπολογίσουμε το κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου, θα θεωρήσουμε ότι το πλοίο προορίζεται για να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης γραμμής μεταφοράς από κάποιο λιμάνι αφετηρίας σε κάποιο λιμάνι προορισμού, τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με την ακτίνα ενεργείας του πλοίου. Επίσης, θα θεωρήσουμε ότι τα ταξίδια κατά τη διάρκεια του έτους είναι συνεχή. Για κάθε ένα κυκλικό ταξίδι, θεωρούμε συνολικό χρόνο φορτοεκφόρτωσης 18 ώρες.

Ο αριθμός ημερών ανά κυκλικό ταξίδι θα είναι:

$$D = 2 \frac{R}{V} + 18 = 55.3 \text{ days}$$

$$R = 122437 \text{ sm}, \quad V = 19 \text{ kn}$$

Υπό την προϋπόθεση ότι 15 ημέρες ανά έτος διατίθενται για επισκευές, ο αριθμός των κυκλικών ταξιδιών ανά έτος είναι:

$$N = \frac{365 \text{ days} - 15 \text{ days}}{55.3 \text{ days}} = 6.3 \text{ trips/year}$$

Ο χρόνος εν πλω ανά έτος υπολογίζεται, λοιπόν,

$$\text{Sea time} = 365 - 15 - \frac{18}{24} \cdot N = 345.3 \text{ days}$$

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους των αναλωσίμων του πλοίου (HFO, DO, LO & FW), πέρα από τα παραπάνω, χρειαζόμαστε και τις ποσότητες που καταναλώνονται σε κάθε ταξίδι. Με βάση, λοιπόν, τα δεδομένα από το Loading Manual του πλοίου για τις καταστάσεις Departure και Arrival, προκύπτουν τα εξής:

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΟ ΤΑΞΙΔΙ (απλή μετάβαση)</b>			
	<b>DEPARTURE (tons)</b>	<b>ARRIVAL (tons)</b>	<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (tons)</b>
<b>FUEL OIL</b>	5112.2	521.7	4590.5
<b>DIESEL OIL</b>	633.4	64.7	568.7
<b>LUB OIL</b>	304.2	31.0	273.2
<b>FRESH WATER</b>	436.0	43.6	392.4

Πίνακας 6.2:1 Συνολική Κατανάλωση αναλωσίμων ανά μονό ταξίδι (απλή μετάβαση)

Οπότε, στο σύνολο ενός κυκλικού ταξιδιού καταναλώνονται:

	<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (tons)</b>
<b>FUEL OIL</b>	<b>9181.0</b>
<b>DIESEL OIL</b>	<b>1137.4</b>
<b>LUB OIL</b>	<b>546.4</b>
<b>FRESH WATER</b>	<b>784.8</b>

Πίνακας 6.2:2 Συνολική Κατανάλωση αναλωσίμων ανά ταξίδι

Με βάση τα παραπάνω και τις ισχύουσες τιμές της αγοράς καυσίμων, προκύπτουν:

### 6.2.1 Κόστος Heavy Fuel Oil: <sup>33</sup>

Για κόστος 350 \$/t καυσίμου το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{FO} = 9181.0 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \cdot 350 \frac{\$}{\text{ton}} \cdot 6.3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 20338303.5 \frac{\$}{\text{year}}$$

### 6.2.2 Κόστος Diesel Oil:

Για κόστος 600 \$/τον καυσίμου, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{DO} = 1137.4 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \cdot 600 \frac{\$}{\text{ton}} \cdot 6.3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 4319377.5 \frac{\$}{\text{year}}$$

### 6.2.3 Κόστος Lub Oil:

Για κόστος 1200 \$/τον λιπαντικού, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{LO} = 546.4 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \cdot 1200 \frac{\$}{\text{ton}} \cdot 6.3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 4150005.1 \frac{\$}{\text{year}}$$

### 6.2.4 Κόστος Fresh Water:

Για κόστος 0.5 \$/τον νερού, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{FW} = 784.8 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \cdot 0.5 \frac{\$}{\text{ton}} \cdot 6.3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 2483.6 \frac{\$}{\text{year}}$$

Για τα υπόλοιπα κόστη έχουμε:

### 6.2.5 Κόστος Τροφοδοσίας:

Για πλήρωμα 45 ατόμων και κόστος τροφοδοσίας κατά μέσο όρο ίσο με 20 \$/άτομο/ημέρα, το συνολικό ετήσιο κόστος τροφοδοσίας προκύπτει:

$$C_{FS} = 45 \text{ persons} \cdot \frac{20 \$}{\text{person} \cdot \text{day}} \cdot 365 \frac{\text{days}}{\text{year}} = 328500 \frac{\$}{\text{year}}$$

### 6.2.6 Κόστος Μισθοδοσίας:

Για πλήρωμα 45 ατόμων και κόστος μισθοδοσίας κατά μέσο όρο ίσο με 3000\$/άτομο/μήνα, το συνολικό ετήσιο (+2μήνες δώρο) κόστος μισθοδοσίας προκύπτει:

$$C_{PR} = 45 \text{ people} \cdot \frac{3000 \$}{\text{person} \cdot \text{month}} \cdot \frac{14 \text{ months}}{\text{year}} = 1890000 \frac{\$}{\text{year}}$$



### 6.2.7 Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών:

Οι δαπάνες συντηρήσεως και επισκευών της μεταλλικής κατασκευής δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$C_{R+M,ST} = 25000 \cdot \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{10^5} \right)^{2/3} = 606602.2 \frac{\$}{year}$$

όπου,  $L_{BP}$ ,  $B$ ,  $D$ : οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

Οι δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών της μηχανολογικής εγκατάστασης δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$C_{R+M,M} = 13.6 \cdot SHP = 617258.4 \frac{\$}{year}$$

όπου,  $SHP$ : η ισχύς της κύριας μηχανής

Συνεπώς οι συνολικές ετήσιες δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών θα είναι:

$$C_{R+M} = C_{R+M,ST} + C_{R+M,M} = 1223869.6 \frac{\$}{year}$$

### 6.2.8 Κόστος Ασφάλισης:

Το κόστος ασφάλισης για 45 άτομα πλήρωμα και για  $GT = 106601.3$  RT δίνεται από τη σχέση:

$$C_{IN} = 1925 \cdot \left( N_{CREW} + \frac{GT}{1000} \right) = 291832.5 \frac{\$}{year}$$

### 6.2.9 Έξοδα Λιμένων:

Τα έξοδα για κάθε προσέγγιση σε λιμένα δίδονται από την εξής σχέση:

$$600 + 50 \cdot \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{10^5} \right) = 6576.1 \frac{\$}{single\ trip}$$

Εφόσον το πλοίο κάνει 6.3 ταξίδια/έτος, το συνολικό ετήσιο κόστος για ελλιμενισμό θα είναι:

$$C_{port} = 6576.1 \frac{\$}{singletrip} \cdot 2 \cdot 6.3 \frac{trips}{year} = 83244.1 \frac{\$}{year}$$

#### 6.2.10 Γενικά Έξοδα:

Τα γενικά έξοδα ανά έτος δίδονται από τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$C_G = 6500 + 70 \cdot \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{100} \right) = 243595.0 \frac{\$}{year}$$

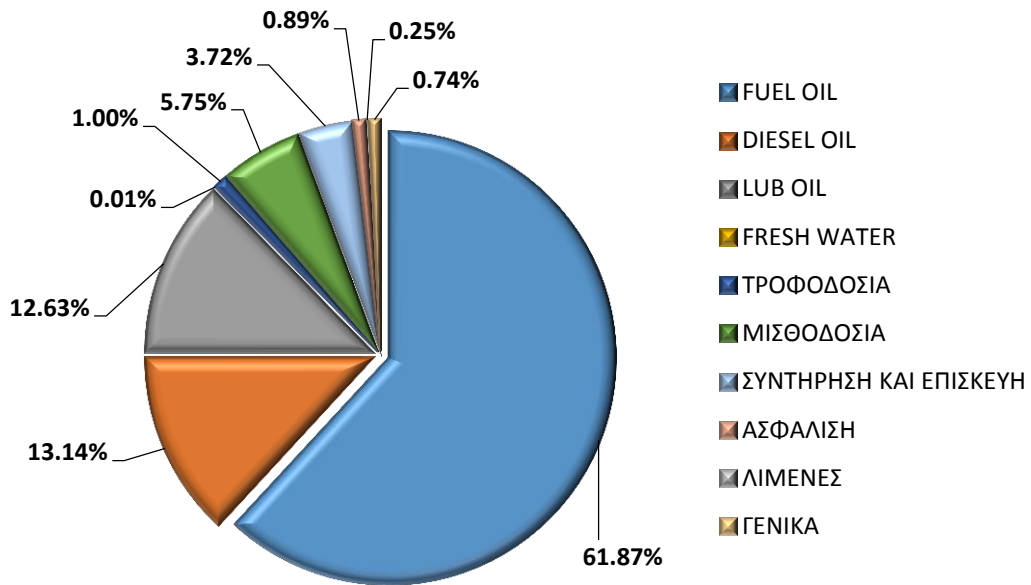
όπου,  $L_{BP}$ ,  $B$ ,  $D$ : οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

Συνεπώς το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου ανά έτος θα είναι το άθροισμα των επιμέρους εξόδων, όπως αυτά υπολογίστηκαν σε κάθε μια απ' τις παραπάνω κατηγορίες. Επομένως, έχουμε:

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ		
	ΚΟΣΤΟΣ (\$)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%)
FUEL OIL	20338303.5	61.87
DIESEL OIL	4319377.5	13.14
LUB OIL	4150005.1	12.63
FRESH WATER	2483.6	0.01
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	328500.0	1.00
ΜΙΣΘΟΔΟΣΙΑ	1890000.0	5.75
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ	1223860.6	3.72
ΑΣΦΑΛΙΣΗ	291832.5	0.89
ΛΙΜΕΝΕΣ	83244.1	0.25
ΓΕΝΙΚΑ	243595.0	0.74
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>32871202.0</b>	<b>100</b>

Πίνακας 6.2:3 Συνολικό ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης Πλοίου

## Συνολικό Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου



Διάγραμμα 6.8 Συνολικό ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης Πλοίου

Συνοπτικά κόστος κτήσης και το κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου είναι:

Κόστος Κτήσης & Εκμετάλλευσης	
Κόστος Κτήσεως	120280400.8 \$
Κόστος Εκμετάλλευσης (per year)	32871202.0 \$

Πίνακας 6.2:4 Κόστος Κτήσης και Κόστος Εκμετάλλευσης

### 6.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ

Για τον υπολογισμό του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου που θα καθιστά το υπό σχεδίαση πλοίο οικονομικά βιώσιμο, θεωρούμε τα εξής:

- Ύψος δανείου: 60% του κόστους κτήσης του πλοίου με τόκο 8%

$$K_{\Delta} = 60\% \cdot C_T = 72167240.5 \text{ \$}$$

- Κεφάλαιο πλοιοκτήτη:

$$K_{\Pi} = 40\% \cdot C_T = 48112160.3 \text{ \$}$$

- Διάρκεια εκμετάλλευσης πλοίου: 20 χρόνια

- Προσδοκώμενη απόδοση επενδεδυμένου κεφαλαίου: 12%

- Αξία πλοίου στο τέλος της διάρκειας ζωής του: 2.5% της αρχικής τιμής

$$\Pi_{20} = 2,5\% \cdot C_T = 14433648.1 \text{ \$}$$

Ο υπολογισμός του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου,  $F$  γίνεται με το μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) του πλοίου για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του.

Η Κ.Π.Α. δίνεται από τον γενικό τύπο:

$$K.P.A. = \sum \left( \frac{E\Sigma_t - E\Xi_t}{(1+i)^t} \right)$$

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει:

$$K.P.A. = -K_{\Pi} + \Pi_{20}/(1+i)^{20} + (F \cdot \sum \text{Payload} - E_{\Delta} - \Delta) \cdot \sum_{N=1}^{20} (1+i)^{-N}$$

Όπου,  $E_{\Delta} = 32871202 \text{ \$}$ , τα ετήσια λειτουργικά έξοδα,

$$\sum \text{Payload} = 495081.5 \frac{\text{tons}}{\text{year}}, \text{ το ετήσιο μεταφερόμενο φορτίο,}$$

$$\Delta = K_{\Delta} \cdot \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} = 7350494.7 \text{ \$}, \text{ η σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου δόση του δανείου,}$$

$$\sum_{N=1}^{20} (1+i)^{-N} = 7.469$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω και λύνοντας την εξίσωση για Κ.Π.Α. = 0 προκύπτει ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος για να είναι το πλοίο οικονομικά βιώσιμο:

$$F = 78.7 \text{ \$/ton}$$

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μελέτη και η σχεδίαση ενός LNG Carrier είναι ενδιαφέρουσα, όχι μόνο λόγω της ανάγκης για αύξηση του στόλου των πλοίων αυτών, αλλά και λόγω της ιδιαιτερότητας-πολυπλοκότητας τους. Επομένως, υπάρχουν πολλοί τομείς που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και ανάλυσης στα LNG Carriers. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η μελέτη και η σχεδίαση του πλοίου με βάση τα εργαλεία που παρέχει η σχολή.

- ♦ Η προμελέτη έγινε στηριζόμενη στις μεθόδους που αναφέρονται στο βιβλίο «Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης», Α. Παπανικολάου, Τεύχος 1, προσαρμοσμένες κατάλληλα. Παρ'όλ'αυτά, το βάρος του πατρικού πλοίου προσεγγίστηκε σε αρκετά καλό βαθμό με τις δεδομένες μεθόδους, με αποτέλεσμα ο συντελεστής διόρθωσης βάρους που προέκυψε, να είναι σχετικά μικρός.
- ♦ Το βάρος της μόνωσης των δεξαμενών υπολογίστηκε αναλυτικά όπως αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 2.4.1.2, βασισμένο σε στοιχεία (πάχος κάθε στρώσης μόνωσης, ειδικό βάρος κάθε υλικού που χρησιμοποιείται) από Ναυπηγείο της Ν. Κορέας το οποίο κατασκευάζει τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Το συνολικό βάρος της μόνωσης με τα rump towers, υπολογίζεται από το ναυπηγείο κοντά στους 3600-3700 τόνους. Το βάρος (3784 τόνους) που υπολογίστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αποτελεί μια καλή προσέγγιση.
- ♦ Τα υδροστατικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά που προέκυψαν στο υπό μελέτη πλοίο, όπως υπολογίστηκαν στο AVEVA, συγκρινόμενα με αυτά του πατρικού πλοίου, είναι πολύ ικανοποιητικά. (Πίνακας 6.3:1)
- ♦ Η μελέτη της αντοχής της μέσης τομής έγινε με βάση τους κανονισμούς CSR του IACS για δεξαμενόπλοια. Δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμη κανονισμοί από τον IACS για LNG carriers. Η προσέγγιση που έγινε στα πλαίσια της διπλωματικής ήταν ουσιαστική, αφού η διαφορά στις διαστάσεις των ελασμάτων & ενισχυτικών δεν έχουν μεγάλη διαφορά με αυτές του πατρικού. Υπάρχουν όμως, αναγνωρισμένοι νηογνώμονες που χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιαστικά πακέτα με πεπερασμένα στοιχεία για την ανάλυση της αντοχής της μέσης τομής. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί το πεδίο αυτό περαιτέρω, με στόχο την βελτιστοποίηση του βάρους της κατασκευής και των υλικών.
- ♦ Όσο αφορά την τεχνοοικονομική μελέτη του υπό μελέτη πλοίου, με βάση τις εμπειρικές μεθόδους που ήταν διαθέσιμες, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση από το πραγματικό κόστος κτήσης ενός LNG Carrier, το οποίο εκτιμάται κοντά στα 200 εκ. δολάρια. Επομένως, θα ήταν ενδιαφέρον να γίνει μια πλήρης μελέτη, με σκοπό την προσέγγιση του πραγματικού κόστους κτήσης και λειτουργίας του πλοίου.

			Woodside Rogers	Υπό σχεδίαση
Κύριες Διαστ.	$L_{BP}$	$m$	294.2	294.2
	$L_{OA}$	$m$	283.2	283.2
	<b>B</b>	$m$	44	46
	<b>D</b>	$m$	26	26
	<b>T</b>	$m$	11.5	11.7
Βάρη	<b>DWT</b>	$t$	79087.1	85017.0
	<b>Δ</b>	$t$	111629.0	118611.0
	<b>LS</b>	$t$	32541.9	33594.0
Όγκοι	$V_{liquid}$	$m^3$	159800.0	170046.0
Πρόωση	$V_{service}$	$kn$	19.9	19
	$P_B$	$HP$	34200	34200
	$F_n$	-	0.38	0.36
	<b>TYPE</b>	-	Diesel- Electric	Diesel- Electric
Λόγοι - Αναλογίες	<b>DWT/Δ</b>	-	0.708	0.717
	$L_{BP}/\Delta^{1/3}$	$m/t^{1/3}$	5.882	5.764
	$L_{BP}/B$	-	6.436	6.157
	$L_{BP}/L_{OA}$	-	0.963	0.963
	$L_{BP}/D$	-	10.892	10.892
	<b>B/T</b>	-	3.826	3.932
	<b>D/T</b>	-	2.261	2.222
	$w_{LS}$	$t/m^3$	0.1004	0.0992
	$C_N$	-	534.217	481.155

<b>Υδροστατικά – Υδροδυναμικά Χαρακτηριστικά</b>	<b>C<sub>w</sub></b>	$\frac{t^{\frac{2}{3}} \cdot kn^3}{kW}$	0.853	0.847
	<b>C<sub>M</sub></b>	<i>kn</i>	0.992	0.992
	<b>C<sub>p</sub></b>	-	0.766	0.763
	<b>C<sub>B</sub></b>	-	0.757	0.757
	<b>TPC</b>	<i>t/cm</i>	109.08	113.55
	<b>MTC</b>	<i>t m /cm</i>	1948.0	2015.1
	<b>KMT</b>	<i>m</i>	20.250	21.214
	<b>LCF</b>	<i>m</i>	134.04	133.84
	<b>LCB</b>	<i>m</i>	141.50	140.23
	<b>LCG</b>	<i>m</i>	141.50	140.23
	<b>KG</b>	<i>m</i>	16.16	16.97
	<b>KB</b>	<i>m</i>	6.030	6.137
	<b>WPA</b>	<i>m<sup>2</sup></i>	10642.0	11039.7
	<b>WSA</b>	<i>m<sup>2</sup></i>	15633.0	16089.2
	<b>GM</b>	<i>m</i>	3.426	4.144
	<b>GT</b>	<i>RT</i>	103925	106601.3
	<b>NT</b>	<i>RT</i>	31178	31980.4

Πίνακας 6.3:1 Σύγκριση χαρακτηριστικών πατρικού πλοίου και υπό σχεδίαση

## 8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 8.1 Prevention of Air Pollution from Ships

Although air pollution from ships does not have the direct cause and effect associated with, for example, an oil spill incident, it causes a cumulative effect that contributes to the overall air quality problems encountered by populations in many areas, and also affects the natural environment, such as tough acid rain.

**MARPOL Annex VI**, first adopted in 1997, limits the main air pollutants contained in ships exhaust gas, including sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) and nitrous oxides (NO<sub>x</sub>), and prohibits deliberate emissions of ozone depleting substances (ODS). MARPOL Annex VI also regulates shipboard incineration, and the emissions of volatile organic compounds (VOC) from tankers.

Following entry into force of MARPOL Annex VI on 19 May 2005, the Marine Environment Protection Committee (MEPC), at its 53rd session (July 2005), agreed to revise MARPOL Annex VI with the aim of significantly strengthening the emission limits in light of technological improvements and implementation experience. As a result of three years examination, MEPC 58 (October 2008) adopted the revised MARPOL Annex VI and the associated NO<sub>x</sub> Technical Code 2008, which entered into force on 1 July 2010.

#### **Revised MARPOL Annex VI**

The main changes to MARPOL Annex VI are a progressive reduction globally in emissions of SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and particulate matter and the introduction of emission control areas (ECAs) to reduce emissions of those air pollutants further in designated sea areas.

Under the revised MARPOL Annex VI, the global sulphur cap will be reduced from current 3.50% to 0.50%, effective from 1 January 2020, subject to a feasibility review to be completed no later than 2018. The limits applicable in ECAs for SO<sub>x</sub> and particulate matter were reduced to 0.10%, from 1 January 2015.

Progressive reductions in NO<sub>x</sub> emissions from marine diesel engines installed on ships are also included, with a "Tier II" emission limit for engines installed on a ship constructed on or after 1 January 2011; and a more stringent "Tier III" emission limit for engines installed on a ship constructed on or after 1 January 2016 operating in ECAs (North American Emission Control Area and the U.S. Caribbean Sea Emission Control Area). Marine diesel engines installed on a ship constructed on or after 1 January 1990 but prior to 1 January 2000 are required to comply with "Tier I" emission limits, if an approved method for that engine has been certified by an Administration.

The revised NO<sub>x</sub> Technical Code 2008 includes a new chapter based on the agreed approach for regulation of existing (pre-2000) engines established in MARPOL Annex VI, provisions for a direct measurement and monitoring method, a certification procedure for existing engines and test cycles to be applied to Tier II and Tier III engines.



MEPC 66 (April 2014) adopted amendments to regulation 13 of MARPOL Annex VI regarding the effective date of NOx Tier III standards.

The amendments provide for the Tier III NOx standards to be applied to a marine diesel engine that is installed on a ship constructed on or after 1 January 2016 and which operates in the North American Emission Control Area or the U.S. Caribbean Sea Emission Control Area that are designated for the control of NOx emissions.

In addition, the Tier III requirements would apply to installed marine diesel engines when operated in other emission control areas which might be designated in the future for Tier III NOx control. Tier III would apply to ships constructed on or after the date of adoption by the Marine Environment Protection Committee of such an emission control area, or a later date as may be specified in the amendment designating the NOx Tier III emission control area.

Further, the Tier III requirements do not apply to a marine diesel engine installed on a ship constructed prior to 1 January 2021 of less than 500 gross tonnage, of 24 m or over in length, which has been specifically designed and is used solely, for recreational purposes.

The amendments are expected to enter into force on 1 September 2015.

Revisions to the regulations for ozone-depleting substances, volatile organic compounds, shipboard incineration, reception facilities and fuel oil quality were also made with regulations on fuel oil availability added.

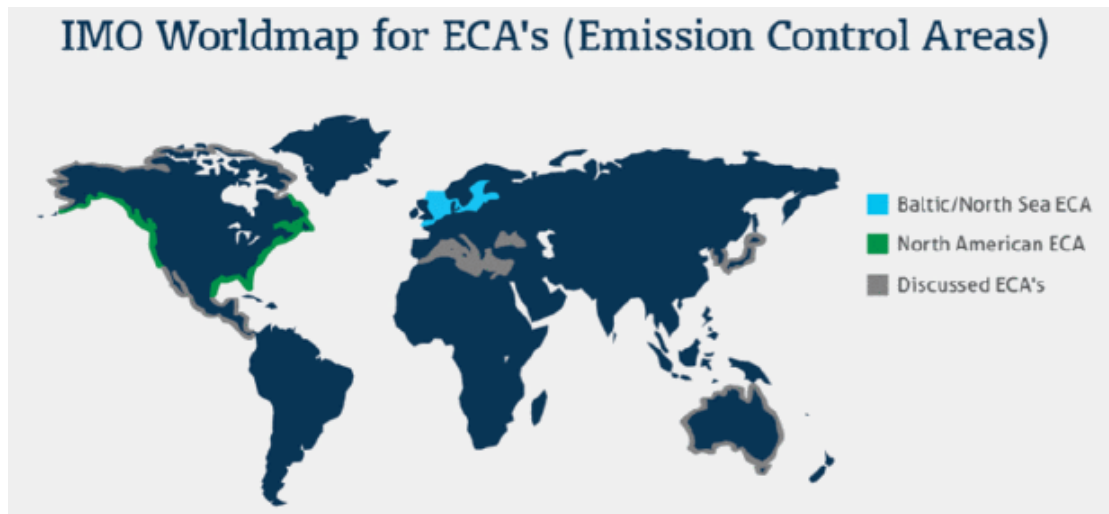
The revised measures are expected to have a significant beneficial impact on the atmospheric environment and on human health, particularly for those people living in port cities and coastal communities.<sup>34</sup>

<b>Sulphur limits for fuel in SECA</b>	<b>% m/m</b>
Before 1 July 2010	1.50
Between 1 July 2010 and 1 January 2015	1.00
After 1 January 2015	0.10

Πίνακας 8.1:1 Sulphur limits for fuel in SECA (Πηγή: Wikipedia)

<b>Sulphur limits in other sea areas</b>	<b>% m/m</b>
before 1 January 2012	4.50
between 1 January 2012 and 1 January 2020	3.50
After 1 January 2020	0.50

Πίνακας 8.1:2 Sulphur limits in other sea areas (Πηγή: Wikipedia)



Εικόνα 8.1:1 Παγκόσμιος Χάρτης για τις περιοχές SECA (Πηγή: Maritime Cyprus)

## 8.2 Πίνακες από IACS, CSR

Table 8.2.4 Thickness Requirements for Plating						
The minimum net thickness, $t_{net}$ , is to be taken as the greatest value for all applicable design load sets, as given in Table 8.2.7, and given by:						
$t_{net} = 0.0158 \alpha_p s \sqrt{\frac{ P }{C_a \sigma_{yd}}} \quad \text{mm}$						
Where:						
$P$	design pressure for the design load set being considered and calculated at the load calculation point defined in Section 3/5.1, in $\text{kN/m}^2$					
$\alpha_p$	correction factor for the panel aspect ratio $= 1.2 - \frac{s}{2100 l_p} \quad \text{but is not to be taken as greater than 1.0}$					
$s$	as defined in Section 4/2.2, in mm					
$l_p$	length of plate panel, to be taken as the spacing of primary support members, $S$ , unless carlings are fitted, in m					
$\sigma_{yd}$	specified minimum yield stress of the material, in $\text{N/mm}^2$					
$C_a$	permissible bending stress coefficient for the design load set being considered $= \beta_a - \alpha_a \frac{ \sigma_{hg} }{\sigma_{yd}} \quad \text{but not to be taken greater than } C_{a-max}$					
	Acceptance Criteria Set	Structural Member	$\beta_a$	$\alpha_a$	$C_{a-max}$	
	AC1	Longitudinal Strength Members	Longitudinally stiffened plating	0.9	0.5	0.8
			Transversely or vertically stiffened plating	0.9	1.0	0.8
		Other members		0.8	0	0.8
	AC2	Longitudinal Strength Members	Longitudinally stiffened plating	1.05	0.5	0.95
			Transversely or vertically stiffened plating	1.05	1.0	0.95
		Other members, including watertight boundary plating		1.0	0	1.0
$\sigma_{hg}$	hull girder bending stress for the design load set being considered and calculated at the load calculation point defined in Section 3/5.1.2 $= \left( \frac{(z - z_{NA-net50}) M_{v-total}}{I_{v-net50}} - \frac{y M_{h-total}}{I_{h-net50}} \right) 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$					
$M_{v-total}$	design vertical bending moment at the longitudinal position under consideration for the design load set being considered, in $\text{kNm}$ . The still water bending moment, $M_{sw-norm}$ , is to be taken with the same sign as the simultaneously acting wave bending moment, $M_{sw}$ , see Table 7.6.1					
$M_{h-total}$	design horizontal bending moment at the longitudinal position under consideration for the design load set being considered, in $\text{kNm}$					
$I_{v-net50}$	net vertical hull girder moment of inertia, at the longitudinal position being considered, as defined in Section 4/2.6.1, in $\text{m}^4$					
$I_{h-net50}$	net horizontal hull girder moment of inertia, at the longitudinal position being considered, as defined in Section 4/2.6.2, in $\text{m}^4$					
$y$	transverse coordinate of load calculation point, in m					
$z$	vertical coordinate of the load calculation point under consideration, in m					
$z_{NA-net50}$	distance from the baseline to the horizontal neutral axis, as defined in Section 4/2.6.1, in m					

Πίνακας 8.2:1 Απαιτήσεις πάχους ελασμάτων (Πηγή: Πίνακας 8.2.4 - Section 8: Scantling Requirements, CSR)

Table 8.2.7 Design Load Sets for Plating and Local Support Members						
Structural Member	Design Load Set (1, 2, 9)	Load Component	Draught	Comment	Diagrammatic Representation	
Keel, Bottom Shell, Bilge, Side Shell, Sheer strake	1	$P_{ex}$	$T_{sc}$	Sea pressure only		
	2	$P_{ex}$	$T_{sc}$			
	7	$P_{in} - P_{ex}$	$T_{bal}$	Net pressure difference between water ballast pressure and sea pressure		
	8	$P_{in} - P_{ex}$	$0.25T_{sc}$			
Deck	In way of cargo tanks	1	$P_{ex}$	$T_{sc}$	Green sea pressure only or other loads on deck	
		3	$P_{in}$	$0.6T_{sc}$		Cargo pressure only
		4	$P_{in}$	-		
		11	$P_{in/flood}$	-		
	In way of other tanks	1	$P_{ex}$	$T_{sc}$	Green sea pressure only or other loads on deck	
		5	$P_{in}$	$T_{bal}$		Water ballast or other liquid pressure only
		6	$P_{in}$	$0.25T_{sc}$		
		11	$P_{in/flood}$	-		
	Any location	9	$P_{dk}$	$T_{bal}$	Distributed or concentrated loads only. Simultaneously occurring green sea pressure may be ignored	
		10	$P_{dk}$	-		
	Inner Bottom, Inner hull, Hopper side	3	$P_{in}$	$0.6T_{sc}$	Cargo pressure only	
4		$P_{in}$	-			
5		$P_{in}$	$T_{bal}$	Water ballast or other liquid pressure only		
6		$P_{in}$	$0.25T_{sc}$			
11		$P_{in/flood}$	-			
Longitudinal Bulkhead, Centreline Bulkhead	3	$P_{in}$	$0.6T_{sc}$	Pressure from one side only. Full cargo tank with adjacent cargo tank empty.		
	4	$P_{in}$	-			
	11	$P_{in/flood}$	-	Two cases are to be evaluated: 1. Inner empty, outer full 2. Inner full, outer empty		

Πίνακας 8.2:2 Φορτίσεις ελασμάτων (Πηγή: Πίνακας 8.2.7 - Section 8: Scantling Requirements, CSR)

Table 7.6.1 Design Load Combinations				
Design Load Combination		S	S + D	A
Load components				
$M_{v-total}$		$M_{sw-harb}$	$M_{sw-sea} + M_{uv}$	-
$M_{h-total}$		-	$M_h$	-
$Q$		$Q_{sw-harb}$	$Q_{sw-sea} + Q_{uv}$	-
$P_{ex}$	Weather Deck	-	$P_{wdk-dyn}$	-
	Hull envelope	$P_{hys}$	$P_{hys} + P_{uv-dyn}$	-
$P_{in}$	Ballast tanks (BWE with sequential filling method)	the greater of a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-air} + P_{drop}$	$P_{in-tk} + P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	Ballast tanks (BWE with flow-through method)	the greater of a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-air} + P_{drop}$	$P_{in-air} + P_{drop} + P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	Cargo tanks including cargo tanks designed for filling with water ballast	the greater of a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-tk} + P_{valve}$	$P_{in-tk} + P_{in-dyn}$	-
	Other tanks with liquid filling	the greater of a) $P_{in-test}$ b) $P_{in-air}$	$P_{in-tk} + P_{in-dyn}$	$P_{in-flood}$
	Watertight boundaries	-	-	$P_{in-flood}$
$P_{dk}$	Internal decks for dry spaces	$F_{stat}$	$F_{stat} + F_{dk-dyn}$	-
	Decks for heavy units	$F_{stat}$	$F_{stat} + F_{dk-dyn}$	-

Πίνακας 8.2:3 Συνδυασμός φορτίσεων (Πηγή: Πίνακας 7.6.1 - Section 7:Loads/6.2.1.1, CSR)

Table 6.3.1 Corrosion Addition, $t_{corr}$ , for Typical Structural Elements Within the Cargo Tank Region			
Category of contents			Corrosion Addition $t_{corr}$ , in mm
<b>Internal members and plate boundary between spaces with the same category of contents</b>			
In and between ballast water tanks	Face plate of PSM	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.5
		Elsewhere	3.5
	Other members	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.0
		Elsewhere	3.0
	Stiffeners on boundaries to heated cargo tanks	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.5
		Elsewhere	3.5
In and between cargo oil tanks	Face plate of PSM	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.0
		Elsewhere	3.5
	Other members	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.0
		Elsewhere	2.5
Exposed to atmosphere on both sides	Support members on deck		2.5
In and between void spaces	Spaces not normally accessed, e.g. access only via bolted manhole openings, pipe tunnels, etc.		2.0
In and between dry spaces	Internals of deckhouses, machinery spaces, pump room, store rooms, steering gear space, etc.		1.5
<b>Plate boundary between spaces having a different category</b>			
Boundary between ballast tank and cargo oil tank	Unheated cargo tank	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.0
		Inner bottom plating	4.0
		Elsewhere	3.0
	Heated cargo tank	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	4.5
		Inner bottom plating	4.5
		Elsewhere	3.5
Boundary between ballast tank and atmosphere or sea	Weather deck plating		4.0
	Other members <sup>(2)</sup>	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>	3.5
		Elsewhere	3.0
Boundary between ballast tank and void or dry space	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>		3.0
	Elsewhere		2.5
Boundary between cargo tank and atmosphere	Weather deck plating		4.0
Boundary between cargo tank and void spaces	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>		3.0
	Elsewhere		2.5
Boundary between cargo tank and dry spaces	Within 3m below top of tank <sup>(1)</sup>		3.0
	Elsewhere		2.0
<b>Note</b>			
1. Only applicable to cargo and ballast tanks with weather deck as the tank top			
2. 0.5mm to be added for side plating in the quay contact region defined in Section 8/Figure 8.2.2			
3. Heated cargo oil tanks are defined as cargo tanks arranged with any form of heating capability			

Πίνακας 8.2:4 Πρόσθετο πάχος λόγω διάβρωσης (Πηγή: Πίνακας 6.3.1 - Section 6: Materials and Welding, CSR)

<b>Table 8.2.6</b>	
<b>Web Thickness Requirements for Stiffeners</b>	
The minimum net web thickness, $t_{w-net}$ , is to be taken as the greatest value calculated for all applicable design load sets, as given in Table 8.2.7, and given by:	
$t_{w-net} = \frac{f_{shr}  P  s l_{shr}}{d_{shr} C_t \tau_{y\acute{a}}} \text{ mm}$	
Where:	
$P$	design pressure for the design load set being considered and calculated at the load calculation point defined in Section 3/5.1, in $\text{kN/m}^2$
$f_{shr}$	shear force distribution factor: for continuous stiffeners and where end connections are fitted consistent with idealisation of the stiffener as having as fixed ends: = 0.5 for horizontal stiffeners = 0.7 for vertical stiffeners
$d_{shr}$	for stiffeners with reduced end fixity, see Sub-section 7 as defined in Section 4/2.4.2.2, in mm
$C_t$	permissible shear stress coefficient for the design load set being considered, to be taken as: = 0.75 for acceptance criteria set AC1 = 0.90 for acceptance criteria set AC2
$s$	as defined in Section 4/2.2, in mm
$l_{shr}$	effective shear span, in m, see Section 4/2.1.2
$\tau_{y\acute{a}}$	= $\frac{\sigma_{y\acute{a}}}{\sqrt{3}}$ $\text{N/mm}^2$
$\sigma_{y\acute{a}}$	specified minimum yield stress of the material, in $\text{N/mm}^2$

Πίνακας 8.2:5 Απαιτήσεις πάχους κορμού ενισχυτικών (Πηγή: Πίνακας 8.2.6 - Section 8: Scantling Requirements, CSR)

<b>Figure 4.2.12</b>	
<b>Net Sectional Properties of Local Support Members</b>	
Profile	Reduction Methodology
	Local Support Members
<p style="text-align: center;">T - Profile</p>	

Εικόνα 8.2:1 Διαστάσεις ενισχυτικού (Πηγή: Πίνακας 4.2.12 - Section 4: Basic Information/2.4.1.2)

<b>Table 8.2.5</b>																												
<b>Section Modulus Requirements for Stiffeners</b>																												
<p>The minimum net section modulus, <math>Z_{net}</math>, is to be taken as the greatest value calculated for all applicable design load sets, as given in Table 8.2.7, and given by:</p> $Z_{net} = \frac{ P sI_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s \sigma_{yd}} \quad \text{cm}^3$																												
<p>Where:</p> <p><math>P</math> design pressure for the design load set being considered and calculated at the load calculation point defined in Section 3/5.2, in kN/m<sup>2</sup></p> <p><math>f_{bdg}</math> bending moment factor: for continuous stiffeners and where end connections are fitted consistent with idealisation of the stiffener as having as fixed ends: = 12 for horizontal stiffeners = 10 for vertical stiffeners for stiffeners with reduced end fixity see Sub-section 7.</p> <p><math>l_{bdg}</math> effective bending span, in m, as defined in Section 4/2.1.1</p> <p><math>s</math> as defined in Section 4/2.2, in mm</p> <p><math>\sigma_{yd}</math> specified minimum yield stress of the material, see also Section 3/5.2.6.5, in N/mm<sup>2</sup></p> <p><math>C_s</math> permissible bending stress coefficient for the design load set being considered, to be taken as:</p>																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Sign of Hull Girder Bending Stress, <math>\sigma_{hg}</math></th> <th style="width: 33%;">Side Pressure Acting On</th> <th style="width: 33%;">Acceptance Criteria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tension (+ve)</td> <td>Stiffener side</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"><math>C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{ \sigma_{hg} }{\sigma_{yd}}</math> but not to be taken greater than <math>C_{s-max}</math></td> </tr> <tr> <td>Compression (-ve)</td> <td>Plate side</td> </tr> <tr> <td>Tension (+ve)</td> <td>Plate side</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"><math>C_s = C_{s-max}</math></td> </tr> <tr> <td>Compression (-ve)</td> <td>Stiffener side</td> </tr> </tbody> </table>		Sign of Hull Girder Bending Stress, $\sigma_{hg}$	Side Pressure Acting On	Acceptance Criteria	Tension (+ve)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{ \sigma_{hg} }{\sigma_{yd}}$ but not to be taken greater than $C_{s-max}$	Compression (-ve)	Plate side	Tension (+ve)	Plate side	$C_s = C_{s-max}$	Compression (-ve)	Stiffener side														
Sign of Hull Girder Bending Stress, $\sigma_{hg}$	Side Pressure Acting On	Acceptance Criteria																										
Tension (+ve)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{ \sigma_{hg} }{\sigma_{yd}}$ but not to be taken greater than $C_{s-max}$																										
Compression (-ve)	Plate side																											
Tension (+ve)	Plate side	$C_s = C_{s-max}$																										
Compression (-ve)	Stiffener side																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Acceptance Criteria Set</th> <th style="width: 40%;">Structural Member</th> <th style="width: 10%;">β<sub>s</sub></th> <th style="width: 10%;">α<sub>s</sub></th> <th style="width: 10%;">C<sub>s-max</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">AC1</td> <td>Longitudinal strength member</td> <td>0.85</td> <td>1.0</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>Transverse or vertical member</td> <td>0.75</td> <td>0</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">AC2</td> <td>Longitudinal strength member</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Transverse or vertical member</td> <td>0.9</td> <td>0</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Watertight boundary Stiffeners</td> <td>0.9</td> <td>0</td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table>		Acceptance Criteria Set	Structural Member	β <sub>s</sub>	α <sub>s</sub>	C <sub>s-max</sub>	AC1	Longitudinal strength member	0.85	1.0	0.75	Transverse or vertical member	0.75	0	0.75	AC2	Longitudinal strength member	1.0	1.0	0.9	Transverse or vertical member	0.9	0	0.9	Watertight boundary Stiffeners	0.9	0	0.9
Acceptance Criteria Set	Structural Member	β <sub>s</sub>	α <sub>s</sub>	C <sub>s-max</sub>																								
AC1	Longitudinal strength member	0.85	1.0	0.75																								
	Transverse or vertical member	0.75	0	0.75																								
AC2	Longitudinal strength member	1.0	1.0	0.9																								
	Transverse or vertical member	0.9	0	0.9																								
	Watertight boundary Stiffeners	0.9	0	0.9																								
$\sigma_{hg}$	<p>hull girder bending stress for the design load set being considered and calculated at the reference point defined in Section 3/5.2.2.5</p> $= \left( \frac{(z - z_{NA-net150}) M_{v-total}}{I_{v-net150}} - \frac{y M_{h-total}}{I_{h-net150}} \right) 10^{-3} \quad \text{N/mm}^2$																											
$M_{v-total}$	<p>design vertical bending moment at longitudinal position under consideration for the design load set being considered, in kNm.</p> <p><math>M_{v-total}</math> is to be calculated in accordance with Table 7.6.1 using the permissible hogging or sagging still water bending moment, <math>M_{sw-perm}</math>, to be taken as:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 30%;">Stiffener Location</th> <th colspan="2" style="text-align: center;"><math>M_{sw-perm}</math></th> </tr> <tr> <th style="width: 35%;">Pressure acting on Plate Side</th> <th style="width: 35%;">Pressure acting on Stiffener Side</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Above Neutral Axis</td> <td>Sagging SWBM</td> <td>Hogging SWBM</td> </tr> <tr> <td>Below Neutral Axis</td> <td>Hogging SWBM</td> <td>Sagging SWBM</td> </tr> </tbody> </table>	Stiffener Location	$M_{sw-perm}$		Pressure acting on Plate Side	Pressure acting on Stiffener Side	Above Neutral Axis	Sagging SWBM	Hogging SWBM	Below Neutral Axis	Hogging SWBM	Sagging SWBM																
Stiffener Location	$M_{sw-perm}$																											
	Pressure acting on Plate Side	Pressure acting on Stiffener Side																										
Above Neutral Axis	Sagging SWBM	Hogging SWBM																										
Below Neutral Axis	Hogging SWBM	Sagging SWBM																										
$M_{h-total}$	design horizontal bending moment at longitudinal position under consideration for the design load set being considered, see Table 7.6.1, in kNm																											
$I_{v-net150}$	net vertical hull girder moment of inertia, at the longitudinal position being considered, as defined in Section 4/2.6.1, in m <sup>4</sup>																											
$I_{h-net150}$	net horizontal hull girder moment of inertia, at the longitudinal position being considered, as defined in Section 4/2.6.2, in m <sup>4</sup>																											
$y$	transverse coordinate of the reference point defined in Section 3/5.2.2.5, in m																											
$z$	vertical coordinate of the reference point defined in Section 3/5.2.2.5, in m																											
$z_{NA-net150}$	distance from the baseline to the horizontal neutral axis, as defined in Section 4/2.6.1, in m																											

Πίνακας 8.2:6 Απαιτήσεις ροπής αντίστασης για ενισχυτικά (Πηγή: Πίνακας 8.2.5 - Section 8: Scantling Requirements, CSR)



### 8.3 Πίνακες αναλυτικών υπολογισμών διατομής και Σχέδιο Μέσης Τομής

Stiffeners Bottom											
<i>web</i>	1-23	40	0.450	12.000	2,160.00	0.2250	486.00	0.004	15.266	50.337	50.341
<i>flange</i>	1-23	40	0.150	15.000	900.00	0.4575	411.75	0.000	15.033	20.340	20.340
Stif. Inner Bottom											
<i>web</i>	1-17	28	0.450	12.000	1,512.00	2.8750	4,347.00	0.003	12.616	24.065	24.067
<i>flange</i>	1-17	28	0.150	18.000	756.00	2.6410	1,996.60	0.000	12.850	12.483	12.483

	Item	n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	Y <sub>BL</sub> [m]	A·Y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	Y <sub>NA</sub> [m]	A·Y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
Plating	<i>Bottom</i>	1	39.888	17.00	6,780.96	0.0085	57.64	0.000	15.482	162.540	162.540
	<i>Inner Bottom</i>	1	27.760	19.00	5,274.40	3.2095	16,928.19	0.000	12.281	79.553	79.553
	<i>Bilge(p)</i>	1	3.056	20.00	611.20	1.30	792.73	4.788	14.194	12.313	17.102
	<i>Bilge(s)</i>	1	3.056	20.00	611.20	1.30	792.73	4.788	14.194	12.313	17.102
	<i>Side Shell (p)</i>	1	22.944	17.00	3,900.48	14.53	56,666.17	17.111	0.963	0.362	17.473
	<i>Side Shell (s)</i>	1	22.944	17.00	3,900.48	14.53	56,666.17	17.111	0.963	0.362	17.473
	<i>Hopper (p)</i>	1	7.770	19.00	1,476.30	5.25	7,750.58	0.394	10.241	15.482	15.876
	<i>Hopper (s)</i>	1	7.770	19.00	1,476.30	5.25	7,750.58	0.394	10.241	15.482	15.876
	<i>Upper Deck (p)</i>	1	6.560	16.00	1,049.60	26.053	27,345.23	0.000	10.562	11.709	11.709
	<i>Upper Deck (s)</i>	1	6.560	16.00	1,049.60	26.053	27,345.23	0.000	10.562	11.709	11.709
	<i>Inner Deck (p)</i>	1	11.540	16.00	1,846.40	31.030	57,293.79	0.000	15.539	44.585	44.585
	<i>Inner Deck (s)</i>	1	11.540	16.00	1,846.40	31.030	57,293.79	0.000	15.539	44.585	44.585
	<i>Inclined Inner Deck (p)</i>	1	6.940	16.00	1,110.40	28.580	31,735.23	0.315	13.089	19.024	19.339
	<i>Inclined Inner Deck (s)</i>	1	6.940	16.00	1,110.40	28.580	31,735.23	0.315	13.089	19.024	19.339
	<i>Top Side (p)</i>	1	5.720	16.00	915.20	24.100	22,056.32	0.176	8.609	6.783	6.960
	<i>Top Side (s)</i>	1	5.720	16.00	915.20	24.100	22,056.32	0.176	8.609	6.783	6.960
	<i>Trunk Deck (p)</i>	1	14.775	30.50	4,506.38	32.800	147,809.10	0.000	17.309	135.016	135.016
	<i>Trunk Deck (s)</i>	1	14.775	30.50	4,506.38	32.800	147,809.10	0.000	17.309	135.016	135.016
	<i>Inclined Trunk Deck (p)</i>	1	8.280	30.50	2,525.40	29.430	74,322.52	1.167	13.939	49.069	50.236
	<i>Inclined Trunk Deck (s)</i>	1	8.280	30.50	2,525.40	29.430	74,322.52	1.167	13.939	49.069	50.236
<i>Side Lng Bhd (p)</i>	1	14.800	16.50	2,442.00	14.690	35,872.98	4.457	0.801	0.157	4.614	
<i>Side Lng Bhd (s)</i>	1	14.800	16.50	2,442.00	14.690	35,872.98	4.457	0.801	0.157	4.614	

	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
Stif. Hopper	web	18	2	0.450	12.0	108.00	3.5260	380.81	0.000026	11.965	1.546	1.546
	flange	18	2	0.150	15.0	45.00	3.3350	150.08	0.000003	12.156	0.665	0.665
	web	19	2	0.450	12.0	108.00	3.9640	428.11	0.000026	11.527	1.435	1.435
	flange	19	2	0.150	15.0	45.00	3.7720	169.74	0.000003	11.719	0.618	0.618
	web	20	2	0.450	12.0	108.00	4.4010	475.31	0.000026	11.090	1.328	1.328
	flange	20	2	0.150	15.0	45.00	4.2090	189.41	0.000003	11.282	0.573	0.573
	web	21	2	0.450	12.0	108.00	4.8380	522.50	0.000026	10.653	1.226	1.226
	flange	21	2	0.150	15.0	45.00	4.6470	209.12	0.000003	10.844	0.529	0.529
	web	22	2	0.450	12.0	108.00	5.2750	569.70	0.000026	10.216	1.127	1.127
	flange	22	2	0.150	15.0	45.00	5.0840	228.78	0.000003	10.407	0.487	0.487
	web	23	2	0.450	12.0	108.00	5.7130	617.00	0.000026	9.778	1.033	1.033
	flange	23	2	0.150	15.0	45.00	5.5210	248.45	0.000003	9.970	0.447	0.447
	web	24	2	0.450	12.0	108.00	6.1490	664.09	0.000026	9.342	0.942	0.943
	flange	24	2	0.150	15.0	45.00	5.9590	268.16	0.000003	9.532	0.409	0.409
	web	25	2	0.450	12.0	108.00	6.5870	711.40	0.000026	8.904	0.856	0.856
	flange	25	2	0.150	15.0	45.00	6.3960	287.82	0.000003	9.095	0.372	0.372

	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
Stiffeners Side Shell	web	20	2	0.400	12.0	96.00	2.7640	265.34	0.00000	12.727	1.555	1.555
	flange	20	2	0.150	15.0	45.00	2.7640	124.38	0.00001	12.727	0.729	0.729
	web	21	2	0.400	12.0	96.00	3.4540	331.58	0.00000	12.037	1.391	1.391
	flange	21	2	0.150	15.0	45.00	3.4540	155.43	0.00001	12.037	0.652	0.652
	web	22	2	0.400	12.0	96.00	4.1440	397.82	0.00000	11.347	1.236	1.236
	flange	22	2	0.150	15.0	45.00	4.1440	186.48	0.00001	11.347	0.579	0.579
	web	23	2	1.100	12.0	264.00	4.8340	1,276.18	0.00000	10.657	2.998	2.998
	flange	23	2	0.150	12.0	36.00	4.8340	174.024	0.00001	10.657	0.409	0.409
	web	24	2	0.400	12.0	96.00	5.6560	542.98	0.00000	9.835	0.929	0.929
	flange	24	2	0.150	15.0	45.00	5.6560	254.52	0.00001	9.835	0.435	0.435
	web	25	2	0.400	12.0	96.00	7.3000	700.80	0.00000	8.191	0.644	0.644
	flange	25	2	0.150	15.0	45.00	7.3000	328.5	0.00001	8.191	0.302	0.302
	web	27	2	0.400	12.0	96.00	8.1220	779.71	0.00000	7.369	0.521	0.521
	flange	27	2	0.150	15.0	45.00	8.1220	365.49	0.00001	7.369	0.244	0.244
	web	28	2	0.400	12.0	96.00	8.9440	858.62	0.00000	6.547	0.411	0.411
	flange	28	2	0.150	15.0	45.00	8.9440	402.48	0.00001	6.547	0.193	0.193
web	29	2	0.400	12.0	96.00	9.7660	937.54	0.00000	5.725	0.315	0.315	

<i>flange</i>	29	2	0.150	15.0	45.00	9.7660	439.47	0.00001	5.725	0.147	0.147
<i>web</i>	30	2	0.400	12.0	96.00	10.5880	1,016.45	0.00000	4.903	0.231	0.231
<i>flange</i>	30	2	0.150	15.0	45.00	10.5880	476.46	0.00001	4.903	0.108	0.108
<i>web</i>	31	2	0.400	12.0	96.00	11.4100	1,095.36	0.00000	4.081	0.160	0.160
<i>flange</i>	31	2	0.150	15.0	45.00	11.4100	513.45	0.00001	4.081	0.075	0.075
<i>web</i>	32	2	0.400	12.0	96.00	13.0540	1,253.18	0.00000	2.437	0.057	0.057
<i>flange</i>	32	2	0.150	15.0	45.00	13.0540	587.43	0.00001	2.437	0.027	0.027
<i>web</i>	33	2	0.400	12.0	96.00	13.8760	1,332.10	0.00000	1.615	0.025	0.025
<i>flange</i>	33	2	0.150	15.0	45.00	13.8760	624.42	0.00001	1.615	0.012	0.012
<i>web</i>	34	2	0.400	12.0	96.00	14.6980	1,411.01	0.00000	0.793	0.006	0.006
<i>flange</i>	34	2	0.150	15.0	45.00	14.6980	661.41	0.00001	0.793	0.003	0.003
<i>web</i>	36	2	0.400	12.0	96.00	15.5200	1,489.92	0.00000	0.029	0.000	0.000
<i>flange</i>	36	2	0.150	15.0	45.00	15.5200	698.4	0.00001	0.029	0.000	0.000
<i>web</i>	37	2	0.400	12.0	96.00	16.3420	1,568.83	0.00000	0.851	0.007	0.007
<i>flange</i>	37	2	0.150	15.0	45.00	16.3420	735.39	0.00001	0.851	0.003	0.003
<i>web</i>	38	2	0.400	12.0	96.00	17.1640	1,647.74	0.00000	1.673	0.027	0.027
<i>flange</i>	38	2	0.150	15.0	45.00	17.1640	772.38	0.00001	1.673	0.013	0.013
<i>web</i>	39	2	0.400	12.0	96.00	17.9860	1,726.66	0.00000	2.495	0.060	0.060
<i>flange</i>	39	2	0.150	15.0	45.00	17.9860	809.37	0.00001	2.495	0.028	0.028
<i>web</i>	40	2	0.400	12.0	96.00	18.8080	1,805.57	0.00000	3.317	0.106	0.106
<i>flange</i>	40	2	0.150	15.0	45.00	18.8080	846.36	0.00001	3.317	0.050	0.050
<i>web</i>	41	2	0.400	12.0	96.00	20.4520	1,963.39	0.00000	4.961	0.236	0.236
<i>flange</i>	41	2	0.150	15.0	45.00	20.4520	920.34	0.00001	4.961	0.111	0.111
<i>web</i>	42	2	0.400	12.0	96.00	21.2740	2,042.30	0.00000	5.783	0.321	0.321
<i>flange</i>	42	2	0.150	15.0	45.00	21.2740	957.33	0.00001	5.783	0.151	0.151
<i>web</i>	43	2	0.400	12.0	96.00	22.0960	2,121.22	0.00000	6.605	0.419	0.419
<i>flange</i>	43	2	0.150	15.0	45.00	22.0960	994.32	0.00001	6.605	0.196	0.196
<i>web</i>	45	2	0.400	12.0	96.00	22.9180	2,200.13	0.00000	7.427	0.530	0.530
<i>flange</i>	45	2	0.150	15.0	45.00	22.9180	1031.31	0.00001	7.427	0.248	0.248
<i>web</i>	46	2	0.400	12.0	96.00	23.7400	2,279.04	0.00000	8.249	0.653	0.653
<i>flange</i>	46	2	0.150	15.0	45.00	23.7400	1068.3	0.00001	8.249	0.306	0.306
<i>web</i>	47	2	0.400	12.0	96.00	24.5620	2,357.95	0.00000	9.071	0.790	0.790
<i>flange</i>	47	2	0.150	15.0	45.00	24.5620	1105.29	0.00001	9.071	0.370	0.370
<i>web</i>	48	2	0.400	12.0	96.00	25.3840	2,436.86	0.00000	9.893	0.940	0.940
<i>flange</i>	48	2	0.150	15.0	45.00	25.3840	1142.28	0.00001	9.893	0.440	0.440

Stif. Top Side	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	web	22	2	0.250	12.0	60.00	25.2280	1,513.68	0.000008	9.737	0.569	0.569
	flange	22	2	0.100	12.0	24.00	25.3170	607.61	0.000001	9.826	0.232	0.232
	web	23	2	0.250	12.0	60.00	24.6170	1,477.02	0.000008	9.126	0.500	0.500
	flange	23	2	0.100	12.0	24.00	24.7050	592.92	0.000001	9.214	0.204	0.204
	web	24	2	0.250	12.0	60.00	24.0050	1,440.30	0.000008	8.514	0.435	0.435
	flange	24	2	0.100	12.0	24.00	24.0940	578.26	0.000001	8.603	0.178	0.178
	web	25	2	0.250	12.0	60.00	23.3940	1,403.64	0.000008	7.903	0.375	0.375
	flange	25	2	0.100	12.0	24.00	23.4820	563.57	0.000001	7.991	0.153	0.153
	web	26	2	0.250	12.0	60.00	22.7820	1,366.92	0.000008	7.291	0.319	0.319
flange	26	2	0.100	12.0	24.00	22.8700	548.88	0.000001	7.379	0.131	0.131	

Stiffeners Upper Deck												
	web	27-33	12	0.250	12.0	36.00	25.8690	931.28	0.0002	10.378	0.388	0.388
	flange	27-33	12	0.100	12.0	14.40	25.8690	372.51	0.0000	10.378	0.155	0.155
Stiffeners Inner Deck												
	web	1-13	26	0.250	12.0	78.00	33.1750	2,587.65	0.0004	17.684	2.439	2.440
	flange	1-13	26	0.100	12.0	31.20	32.9670	1,028.57	0.0000	17.476	0.953	0.953
Stiffeners Trunk Deck												
	web	1-17	32	0.250	12.0	96.00	33.1750	3,184.80	0.0005	17.684	3.002	3.003
	flange	1-17	32	0.100	12.0	38.40	32.9670	1,265.93	0.0000	17.476	1.173	1.173

Stiffeners Inner Hull Lng. Bhd.	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	web	27	2	0.400	12.0	96.00	8.1220	779.71	0.00000	7.369	0.521	0.521
	flange	27	2	0.150	15.0	45.00	8.1220	365.49	0.00001	7.369	0.244	0.244
	web	28	2	0.400	12.0	96.00	8.9440	858.62	0.00000	6.547	0.411	0.411
	flange	28	2	0.150	15.0	45.00	8.9440	402.48	0.00001	6.547	0.193	0.193
	web	29	2	0.400	12.0	96.00	9.7660	937.54	0.00000	5.725	0.315	0.315
	flange	29	2	0.150	15.0	45.00	9.7660	439.47	0.00001	5.725	0.147	0.147
	web	30	2	0.400	12.0	96.00	10.5880	1,016.45	0.00000	4.903	0.231	0.231
	flange	30	2	0.150	15.0	45.00	10.5880	476.46	0.00001	4.903	0.108	0.108
	web	31	2	0.400	12.0	96.00	11.4100	1,095.36	0.00000	4.081	0.160	0.160
	flange	31	2	0.150	15.0	45.00	11.4100	513.45	0.00001	4.081	0.075	0.075
web	32	2	0.400	12.0	96.00	13.0540	1,253.18	0.00000	2.437	0.057	0.057	

<i>flange</i>	32	2	0.150	15.0	45.00	13.0540	587.43	0.00001	2.437	0.027	0.027
<i>web</i>	33	2	0.400	12.0	96.00	13.8760	1,332.10	0.00000	1.615	0.025	0.025
<i>flange</i>	33	2	0.150	15.0	45.00	13.8760	624.42	0.00001	1.615	0.012	0.012
<i>web</i>	34	2	0.400	12.0	96.00	14.6980	1,411.01	0.00000	0.793	0.006	0.006
<i>flange</i>	34	2	0.150	15.0	45.00	14.6980	661.41	0.00001	0.793	0.003	0.003
<i>web</i>	36	2	0.400	12.0	96.00	15.5200	1,489.92	0.00000	0.029	0.000	0.000
<i>flange</i>	36	2	0.150	15.0	45.00	15.5200	698.4	0.00001	0.029	0.000	0.000
<i>web</i>	37	2	0.400	12.0	96.00	16.3420	1,568.83	0.00000	0.851	0.007	0.007
<i>flange</i>	37	2	0.150	15.0	45.00	16.3420	735.39	0.00001	0.851	0.003	0.003
<i>web</i>	38	2	0.400	12.0	96.00	17.1640	1,647.74	0.00000	1.673	0.027	0.027
<i>flange</i>	38	2	0.150	15.0	45.00	17.1640	772.38	0.00001	1.673	0.013	0.013
<i>web</i>	39	2	0.400	12.0	96.00	17.9860	1,726.66	0.00000	2.495	0.060	0.060
<i>flange</i>	39	2	0.150	15.0	45.00	17.9860	809.37	0.00001	2.495	0.028	0.028
<i>web</i>	40	2	0.400	12.0	96.00	18.8080	1,805.57	0.00000	3.317	0.106	0.106
<i>flange</i>	40	2	0.150	15.0	45.00	18.8080	846.36	0.00001	3.317	0.050	0.050
<i>web</i>	41	2	0.400	12.0	96.00	20.4520	1,963.39	0.00000	4.961	0.236	0.236
<i>flange</i>	41	2	0.150	15.0	45.00	20.4520	920.34	0.00001	4.961	0.111	0.111
<i>web</i>	42	2	0.400	12.0	96.00	21.2740	2,042.30	0.00000	5.783	0.321	0.321
<i>flange</i>	42	2	0.150	15.0	45.00	21.2740	957.33	0.00001	5.783	0.151	0.151
<i>web</i>	43	2	0.400	12.0	96.00	22.0960	2,121.22	0.00000	6.605	0.419	0.419
<i>flange</i>	43	2	0.150	15.0	45.00	22.0960	994.32	0.00001	6.605	0.196	0.196

	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	Incl. Inner. Deck	<i>web</i>	15	2	0.250	12.0	60.00	30.5070	1,830.42	0.000008	15.016	1.353
<i>flange</i>		15	2	0.100	12.0	24.00	30.5950	734.28	0.000001	15.104	0.548	0.548
<i>web</i>		16	2	0.250	12.0	60.00	29.8950	1,793.70	0.000008	14.404	1.245	1.245
<i>flange</i>		16	2	0.100	12.0	24.00	29.9840	719.62	0.000001	14.493	0.504	0.504
<i>web</i>		17	2	0.250	12.0	60.00	29.2840	1,757.04	0.000008	13.793	1.142	1.142
<i>flange</i>		17	2	0.100	12.0	24.00	29.3720	704.93	0.000001	13.881	0.462	0.462
<i>web</i>		18	2	0.250	12.0	60.00	28.6720	1,720.32	0.000008	13.181	1.042	1.042
<i>flange</i>		18	2	0.100	12.0	24.00	28.7600	690.24	0.000001	13.269	0.423	0.423
<i>web</i>		19	2	0.250	12.0	60.00	28.0600	1,683.60	0.000008	12.569	0.948	0.948
<i>flange</i>		19	2	0.100	12.0	24.00	28.1490	675.58	0.000001	12.658	0.385	0.385
<i>web</i>		20	2	0.250	12.0	60.00	27.4490	1,646.94	0.000008	11.958	0.858	0.858
<i>flange</i>		20	2	0.100	12.0	24.00	27.5370	660.89	0.000001	12.046	0.348	0.348
<i>web</i>		21	2	0.250	12.0	60.00	26.8370	1,610.22	0.000008	11.346	0.772	0.772
<i>flange</i>		21	2	0.100	12.0	24.00	26.9260	646.22	0.000001	11.435	0.314	0.314

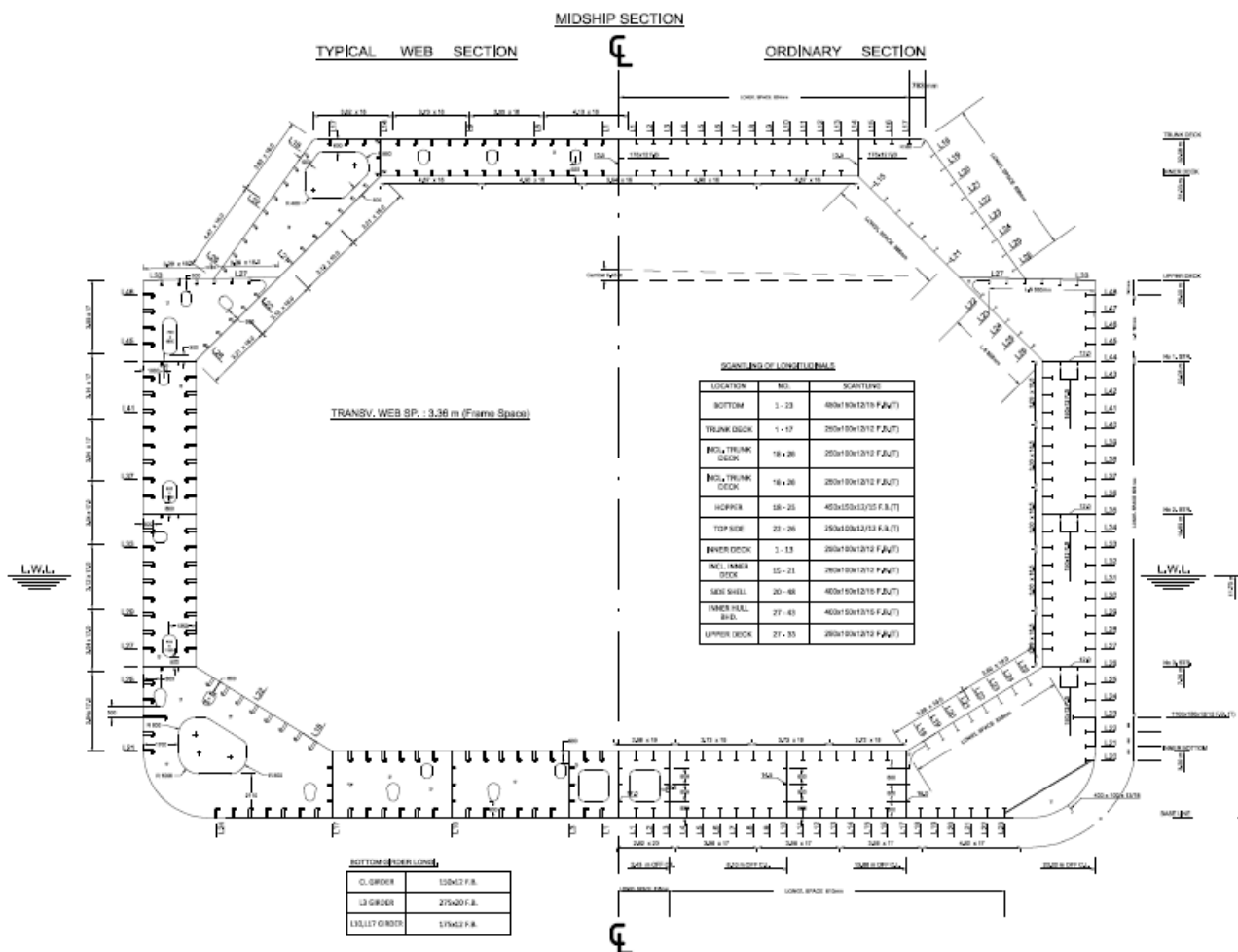
Incl. Trunk. Deck	Item		n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	web	18	2	0.250	12.0	60.00	32.0360	1,922.16	0.000005	16.545	1.642	1.642
	flange	18	2	0.100	12.0	24.00	31.9630	767.11	0.000000	16.472	0.651	0.651
	web	19	2	0.250	12.0	60.00	31.3450	1,880.70	0.000005	15.854	1.508	1.508
	flange	19	2	0.100	12.0	24.00	31.2730	750.55	0.000000	15.782	0.598	0.598
	web	20	2	0.250	12.0	60.00	30.6540	1,839.24	0.000005	15.163	1.380	1.380
	flange	20	2	0.100	12.0	24.00	30.5820	733.97	0.000000	15.091	0.547	0.547
	web	21	2	0.250	12.0	60.00	29.9630	1,797.78	0.000005	14.472	1.257	1.257
	flange	21	2	0.100	12.0	24.00	29.8910	717.38	0.000000	14.400	0.498	0.498
	web	22	2	0.250	12.0	60.00	29.2720	1,756.32	0.000005	13.781	1.140	1.140
	flange	22	2	0.100	12.0	24.00	29.1990	700.78	0.000000	13.708	0.451	0.451
	web	23	2	0.250	12.0	60.00	28.5810	1,714.86	0.000005	13.090	1.028	1.028
	flange	23	2	0.100	12.0	24.00	28.5080	684.19	0.000000	13.017	0.407	0.407
	web	24	2	0.250	12.0	60.00	27.8910	1,673.46	0.000005	12.400	0.923	0.923
	flange	24	2	0.100	12.0	24.00	27.8180	667.63	0.000000	12.327	0.365	0.365
	web	25	2	0.250	12.0	60.00	27.1990	1,631.94	0.000005	11.708	0.822	0.823
	flange	25	2	0.100	12.0	24.00	27.1270	651.05	0.000000	11.636	0.325	0.325
web	26	2	0.250	12.0	60.00	26.5090	1,590.54	0.000005	11.018	0.728	0.728	
flange	26	2	0.100	12.0	24.00	26.4360	634.46	0.000000	10.945	0.288	0.288	

Stringers		No.	n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	Str. No 1	L44	2	2.508	12.0	601.92	22.082	13,291.60	0.0000007	6.591	2.615	2.615
	Str. No 2	L35	2	2.508	12.0	601.92	14.690	8,842.20	0.0000007	0.801	0.039	0.039
	Str. No 3	L26	2	2.508	13.5	677.16	7.292	4,937.85	0.0000010	8.199	4.552	4.552
Stiff. String.	web	L44	2	0.150	12.0	36.00	22.007	792.25	0.00001	6.516	0.153	0.153
	web	L35	2	0.150	12.0	36.00	14.615	526.14	0.00001	0.876	0.003	0.003
	web	L26	2	0.150	12.0	36.00	7.217	259.81	0.00001	8.274	0.246	0.246

Girders		No.	n	b [m]	t [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	y <sub>BL</sub> [m]	A·y <sub>BL</sub> [m·cm <sup>2</sup> ]	i [m <sup>4</sup> ]	y <sub>NA</sub> [m]	A·y <sub>NA</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]
	CL Girder	1	3.200	17.0	544.00	1.600	870.40	0.0464	13.891	10.497	10.543	
	L3	2	3.200	21.0	1,344.00	1.600	2,150.40	0.1147	13.891	25.933	26.048	
	L10	2	3.200	14.5	928.00	1.600	1,484.80	0.0792	13.891	17.906	17.985	
	L17	2	3.200	16.0	1,024.00	1.600	1,638.40	0.0874	13.891	19.758	19.846	
L14 Inner D.	3	1.762	13.5	713.61	31.9190	22,777.72	0.0185	16.428	19.259	19.278		

Stiff. Girders	web	CL Girder	2	0.150	12.0	36.00	0.8000	28.80	0.000000	14.691	0.777	0.777
	web	CL Girder	2	0.150	12.0	36.00	1.6000	57.6	0.000000	13.891	0.695	0.695
	web	CL Girder	2	0.150	12.0	36.00	2.4000	86.40	0.000000	13.091	0.617	0.617
	web	L3	2	0.275	20.0	110.00	0.8000	88	0.0000004	14.691	2.374	2.374
	web	L3	2	0.275	20.0	110.00	1.6000	176.00	0.0000004	13.891	2.122	2.122
	web	L3	2	0.275	20.0	110.00	2.4000	264	0.0000004	13.091	1.885	1.885
	web	L10	2	0.175	12.0	42.00	0.8000	33.60	0.0000001	14.691	0.906	0.906
	web	L10	2	0.175	12.0	42.00	1.6000	67.2	0.0000001	13.891	0.810	0.810
	web	L10	2	0.175	12.0	42.00	2.4000	100.80	0.0000001	13.091	0.720	0.720
	web	L17	2	0.175	12.0	42.00	0.8000	33.6	0.0000001	14.691	0.906	0.906
	web	L17	2	0.175	12.0	42.00	1.6000	67.20	0.0000001	13.891	0.810	0.810
	web	L17	2	0.175	12.0	42.00	2.4000	100.8	0.0000001	13.091	0.720	0.720
	web	L14 Inner D.	3	0.175	12.0	63.00	31.9190	2,010.90	0.0000001	16.428	1.700	1.700

Πίνακας 8.3:1 Πίνακας αναλυτικών υπολογισμών στοιχείων διατομής Μέσης Τομής



Εικόνα 8.3:1 Σχέδιο Μέσης Τομής υπό μελέτη πλοίου

## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία - Αναφορές

- «Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης» Τεύχος 1, Απόστολου Δ. Παπανικολάου, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα 2009
- «Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης» Τεύχος 2, Απόστολου Δ. Παπανικολάου, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα 2009<sup>31</sup>
- «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου I - Συλλογή Βοηθημάτων» Απόστολου Δ. Παπανικολάου, Κ. Αναστασόπουλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα 2007
- «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II - Γενική Διάταξη, Ενδιαίτηση και Εξοπλισμός» Απόστολου Δ. Παπανικολάου, Κ. Αναστασόπουλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα 2004
- «Ship Design and Construction, Volume II, Chapter 32: Liquefied Gas Carriers» Thomas Lamb, SNAME, New Jersey 2004
- «MARPOL Annex VI & NTC 2008, 2013 EDITION» International Maritime Organization, 2013
- «Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers» International Association of Classification Societies, July 2012

### Επιστημονικά Άρθρα

- «Statistical analysis of ship accidents that occurred in the period 1990-2012 and assessment of safety level of ship types» Papanikolaou A., Bitha K., Eliopoulou E. and Ventikos N.P, Proc. of the Maritime Technology and Engineering Conference (MARTECH), pp 227-233, ISBN 978-1-138-02727-5, 15 - Lisboa, Portugal, 17 October 2014
- «Formal Safety Assessment of Liquefied Natural Gas Carriers» IMO, MSC 83/INF.3, Denmark, 3 July 2007
- «Innovative Design for Spherical Tank LNG Carrier with a Continuous Integrated Tank Cover» Koichi Sato, MHI, Nagasaki, Japan, 2014
- «MMA 167 Marine Structural Engineering, Assignment 1, LNG Carriers», Hale Saglam, Ulrikke Brandt, Britta Wodecki, November 2012

### Διαδικτυακές Πηγές

- <sup>1</sup><http://www.elint.org.gr/activities/lectures/lectures-2013/196-the-lng-as-a-maritime-fuel-environmental-challenges-and-perspectives.html>
- <sup>2</sup> <http://www.igi-poseidon.com/greece/focusGAS.asp>  
<http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/9D5E3FD949F00E74C2257B2000475670?OpenDocument>
- <sup>3</sup> <http://www.gasinfocus.com/en/focus/the-lng-supply-chain/>
- <sup>4</sup> The international group of lng importers 2009
- <sup>5</sup> [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grpe/LNG\\_TF-02-06e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grpe/LNG_TF-02-06e.pdf)  
<https://en.wikipedia.org/>
- <sup>6</sup> [http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/news\\_files/](http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/news_files/)  
[http://kireas.org/lng\\_gen.htm](http://kireas.org/lng_gen.htm)



---

<http://www.gasinfocus.com/en/focus/the-Ing-supply-chain/>

- <sup>7</sup> <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/tanker-Ing-history.htm>
- <sup>8</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Leif\\_H%C3%B6egh\\_%26\\_Co](https://en.wikipedia.org/wiki/Leif_H%C3%B6egh_%26_Co)
- <sup>9</sup> <http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcdb863-8881-4263-af8d-530101f64412/UploadedFiles/c3352777fcaa4c4daa8f125c0a7c03e9.pdf>
- <sup>10</sup> Annexl-II Formal Safety Assessment of LNG Carriers
- <sup>11</sup> <http://www.liquefiedgascarrier.com/cargo-containment-systems.html>  
<http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/>
- <sup>12</sup> [/Torgy\\_LNG\\_Client\\_Presentation\\_V5.pdf](http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/BEA%20Repository/Torgy_LNG_Client_Presentation_V5.pdf)
- <sup>13</sup> <http://www.pomorskodobro.com/en/types-of-Ing-carriers.html>  
<http://www.liquefiedgascarrier.com/moss-rosenberg-containment-system.html>
- <sup>14</sup> <https://en.wikipedia.org/>
- <sup>15</sup> <http://www.liquefiedgascarrier.com/cargo-containment-systems.html>
- <sup>16</sup> <http://www.ihl.co.jp/offshore/>
- <sup>17</sup> <http://www.liquefiedgascarrier.com/semi-pressurized-ships.html>  
<http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty>  
<http://www.tge-marine.com/37-0-Small-Scale-LNG.html>
- <sup>18</sup> <http://www.gtt.fr/>
- <sup>19</sup> <http://www.marinelog.com/DOCS/NEWSMMV/MMVmar14a.html>  
[http://www.intertanko.com/upload/presentations/LNG\\_NobleP.pdf](http://www.intertanko.com/upload/presentations/LNG_NobleP.pdf)  
<https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB>
- <sup>20</sup> [https://yellowdragonblogdotcom.files.wordpress.com/2014/12/8-8-henry\\_chung.pdf](https://yellowdragonblogdotcom.files.wordpress.com/2014/12/8-8-henry_chung.pdf)  
<http://www.ship-technology.com/projects/sayaendo-series-Ing-carriers/>
- <sup>21</sup> <http://instituteforenergyresearch.org/analysis/eia-outlook-fossil-fuels-continue-to-dominate-world-energy-supply/>
- <sup>22</sup> <http://www.Ingbunkering.org/sites/default/files/2010>
- <sup>23</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas)
- <sup>24</sup> Pacific Energy Summit Working Papers
- <sup>25</sup> <http://www.gasinfocus.com/en/focus/the-Ing-supply-chain/>
- <sup>26</sup> <http://www.bg-group.com/480/about-us/Ing/global-Ing-market-outlook-2014-15/>
- <sup>27</sup> <http://economictimes.indiatimes.com/news/international/business/japan-Ing-imports-to-fall-a-little-in-2015-government-official/articleshow/45206694.cms>
- <sup>28</sup> <http://economictimes.indiatimes.com/news/international/business/japan-Ing-imports-to-fall-a-little-in-2015-government-official/articleshow/45206694.cms>

- 
- <sup>29</sup> <http://www.newsbomb.gr/oikonomia/energeia-periballon/story/525332/sxistolithiko-aerio-pos-allazei-to-paixnidi-stin-energeia>
  - <sup>30</sup> <http://www.timera-energy.com/collapse-in-lng-charter-rates-continues/>  
<http://www.zougla.gr/money/article/sxistolithiko-aerio-i-energiaki-epanastasi-stis-ipa-me-eliniki-ipografi>
  - <sup>32</sup> <http://www.re-steel.com/wp-content/uploads/2013/09/Invar-Truths-2.0-SAMPE-2013-Final.pdf>
  - <sup>33</sup> <http://www.bunkerindex.com/>  
<http://www.bunkerworld.com/prices/>
  - <sup>34</sup> <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>

#### Διπλωματικές Εργασίες

- «Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου» Μεταπτυχιακή Εργασία, Περικλής Σκαβάρας, Αθήνα, 2014
- «Η Τεχνολογική Εξέλιξη των Πλοίων Μεταφοράς ΥΦΑ» Μεταπτυχιακή Εργασία, Τσαλικίδη Ιωάννα, Αθήνα, 2009

#### Προγράμματα

- AVEVA
- AUTOCAD