

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Παραγωγών
Πετρελαίου, Μεταφορικής Ικανότητας 80,000t DWT»***

ΚΟΚΚΟΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ, ΜΕΛΟΣ Ε.Ε.Δ.Ι.Π.
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΣΕΛΙΔΑ ΠΑΡΕΜΕΙΝΕ ΣΚΟΠΙΜΩΣ ΚΕΝΗ

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Παραγωγών
Πετρελαίου, Μεταφορικής Ικανότητας 80,000t DWT»**

ΚΟΚΚΟΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Επιβλέποντες: Ελευθερία Ηλιοπούλου, Μέλος Ε.Ε.Δ.Ι.Π.
Γεώργιος Ζαραφωνίτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες μου, κα. Ηλιοπούλου Ελευθερία και κ. Ζαραφωνίτη Γεώργιο, για την ανεύρεση και ανάθεση του θέματος της εργασίας, καθώς και για την συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής. Η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την πολύτιμη καθοδήγηση τους.

Ακόμη, ευχαριστώ το σύνολο της ακαδημαϊκής κοινότητας της σχολής των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για τα εφόδια και τα ερεθίσματα που μου μετέδωσαν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου στο εν λόγω τμήμα, καθώς και τους συμφοιτητές μου, για τις στιγμές και τις ανησυχίες που μοιραστήκαμε.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου, για την στήριξη, την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου προσέφερε, ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου, και στους αγαπημένους μου φίλους. Η εργασία είναι αφιερωμένη στην μνήμη του Μπερνίκα, Κόκκορη Χρήστου του πρεσβύτερου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022, στα πλαίσια των απαιτήσεων αποφοίτησης από την σχολή των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο αυτής αποτελεί η μελέτη σχεδίασης ενός αξιόπλοου δεξαμενόπλοιου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου, Product Carrier, υπό το πρίσμα σχεδιαστικών και επιχειρησιακών κανονιστικών πλαισίων, όπως περιγράφονται στις Διεθνείς Συμβάσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, του ανθρώπινου δυναμικού και της ίδιας της κατασκευής.

Abstract

The present diploma thesis has been carried out at the Division of Ship Design and Marine Transportation during the academic year of 2021-2022, in the context of graduation requirements of the School of Naval Architecture & Marine Engineering of National Technical University of Athens. The aim of this thesis is the design of a seaworthy tanker vessel responsible for the transport of oil products, also known as Product Carrier, under design and operational regulatory frameworks, as described in the International Conventions of the shipping industry, in order to protect the environment, human life and the construction itself.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	4
Abstract	4
1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Γενικά	7
1.2. Σκοπός Εργασίας.....	7
1.3. Δομή Εργασίας.....	8
2. Πλοία Μεταφοράς Υγρού Φορτίου	9
2.1. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου	9
2.2. Κατηγορίες Δεξαμενόπλοιων	10
2.2.1 Κατηγοριοποίηση Βάσει Τύπου Φορτίου.....	10
2.2.2. Κατηγοριοποίηση Βάσει Μεταφορικής Ικανότητας	13
2.3. Βασικά Σχεδιαστικά/Λειτουργικά Χαρακτηριστικά.....	16
2.4. Διεθνείς Οργανισμοί και Ενώσεις	22
2.5. Η Διεθνής Σύμβαση "MARPOL".....	25
3. Μελέτη Σχεδίασης	27
3.1. Γενικά περί μελέτης.....	27
3.2. Αποτελέσματα Προμελέτης Σχεδίασης.....	29
3.3. Μοντελοποίηση Γάστρας.....	30
3.3.1. Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών	31
3.3.2. Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθισης Γάστρας.....	32
3.3.3. Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας.....	33
3.3.4. Διάγραμμα Κατακλύσιμων Μηκών.....	33
3.4. Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης	35
3.5. Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale).....	36
3.6. Κατανομή Βάρους Lightship	37
3.7. Διαμερισματοποίηση Γάστρας.....	37
3.7.1. Σχέδιο Χωρητικότητας (Capacity Plan).....	39
3.7.2. Πλάνο Δεξαμενών (Tankplan).....	40
3.7.3. Καταμέτρηση	41
4. Καταστάσεις Φόρτωσης.....	43
4.1. Κατάσταση Full Load Departure (FLD-Payload s.g.=0.849 t/m ³)	43
4.2. Συνοπτικός Πίνακας Καταστάσεων Φόρτωσης.....	50
4.3. Σύγκριση Καταστάσεων NBD/NBA με Κριτήρια MARPOL (Κανονισμός 18, Παράρτημα Ι)	51
5. Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 23, Παράρτημα Ι)	52

5.1. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής βάσει AVEVA	52
5.2. Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής.....	56
5.3. Σύγκριση Αναλυτικού Υπολογισμού και AVEVA	63
6. Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 12Α, Παράρτημα Ι)	66
6.1. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής βάσει AVEVA	67
6.2. Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου	69
6.3. Σύγκριση Αναλυτικού Υπολογισμού με AVEVA.....	76
7. Τεχνοοικονομική Μελέτη Απόκτησης Δεξαμενόπλοιου	79
7.1. Κόστος Κτήσεως Πλοίου	79
7.2. Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου	83
7.3. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος.....	87
8. Ανακεφαλαίωση	89
8.1. Συμπεράσματα	89
8.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	90
Βιβλιογραφία	91
Παράρτημα Α. Προμελέτη Σχεδίασης	94
Παράρτημα Β. Τιμές Καμπτικών Ροπών-Διατμητικών Δυνάμεων Καταστάσεως FLD και Αντίστοιχα Όρια CSR.....	112

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου, ή αλλιώς δεξαμενόπλοια, ονομάζονται τα πλοία εκείνα τα οποία διαθέτουν κύπη διαμορφωμένα σε στεγανές δεξαμενές, ώστε να είναι ικανά να μεταφέρουν χύδην υγρό φορτίο. Τα σπουδαιότερα φορτία αυτής της μορφής είναι το αργό πετρέλαιο (crude oil) και τα προϊόντα διύλισής του (βενζίνες, πετρέλαια καύσης, λιπαντικά έλαια), τα υγροποιημένα αέρια καύσιμα, χημικά (αμμωνία, χλώριο, υδρογόνο, κ.α.) καθώς και βρώσιμα έλαια, ποτά και νερό, σε σαφώς μικρότερες ποσότητες από τα πρώτα. Τα χύδην υγρά φορτία αποθηκεύονται στις δεξαμενές ενώ ο χειρισμός τους γίνεται με συστήματα σωληνώσεων και αντλιών (Michel & Osborne, 2008).

Ο σχεδιασμός και ο εξοπλισμός των σύγχρονων δεξαμενόπλοιων διέπονται από τις αρχές που απορρέουν από τις υπηρεσιακές τους ανάγκες, τις ενεργειακές τους απαιτήσεις, τον τύπο του φορτίου, τις συνθήκες λειτουργίας και σε μεγάλο βαθμό καθορίζονται από διεθνείς συμβάσεις και κανονισμούς. Έτσι διαμορφώνονται τα χαρακτηριστικά μορφής της γάστρας και η διαμέριση αυτής, σχεδιάζονται οι χώροι φορτίου και οι πάσης φύσεως δεξαμενές και εγκαθίστανται τα συστήματα λειτουργίας που εξυπηρετούν την ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα λειτουργία του πλοίου (Ζυγομάλας, 2018).

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός δεξαμενόπλοιου είναι η σχεδίαση της εσωτερικής διάταξης της γάστρας στην περιοχή του χώρου φορτίου, η οποία αποτελείται από διπλό τοίχωμα και διπλό πυθμένα, το λεγόμενο double hull. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μείωση/εξάλειψη του κινδύνου εκροής πετρελαίου/χημικών ουσιών στο περιβάλλον σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος (σύγκρουση, προσάραξη κλπ.). Οι χώροι, οι οποίοι δημιουργούνται μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβλήματος, χρησιμοποιούνται ως δεξαμενές έρματος, προσδίδοντας μια ασπίδα προστασίας στο φορτίο, από πιθανό ρήγμα στο εξωτερικό της γάστρας. Η απαίτηση της διπλής γάστρας είναι αποτέλεσμα μιας σειράς οικολογικών καταστροφών που προκλήθηκαν έπειτα από σειρά ατυχημάτων που αφορούσαν δεξαμενόπλοια και περιγράφεται εκτενώς στους Κανονισμούς του Παραρτήματος I της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL του IMO.

1.2. Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη σχεδίασης και η τελική μοντελοποίηση ενός δεξαμενόπλοιου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου, κατηγορίας μεγέθους Aframax και μεταφορικής ικανότητας περί τους 80,000 τόνους. Η σχεδίαση έγινε με τη χρήση των ναυπηγικών προγραμμάτων της AVEVA Marine, από όπου και εξάγονται πληθώρα υδροστατικών μεγεθών, δεδομένων και διαγραμμάτων, τα οποία συνθέτουν την ταυτότητα του πλοίου. Κεντρική πηγή άντλησης πληροφοριών αποτέλεσαν τα σχέδια και το εγχειρίδιο ευστάθειας του πατρικού δεξαμενόπλοιου Energy Centaur.

Κύριο ζητούμενο της τελικής σχεδίασης είναι η εναρμόνιση αυτής με τους βασικούς σχεδιαστικούς κανονισμούς της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL, με έμφαση στους Κανονισμούς 23 και 12A, ως προς την απόδοση ακούσιας εκροής φορτίου και καυσίμου πετρελαίου αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, το δεξαμενόπλοιο θα πρέπει να πληροί τα κριτήρια ασφαλούς ναυσιπλοΐας, που θέτει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, IMO, μέσω της Διεθνούς Σύμβασης για την Γραμμή Φόρτωσης (ILLC) και του κώδικα άθικτης ευστάθειας (IS-Code), καθώς και τα όσα αναφέρει ο IACS στους ενοποιημένους κανονισμούς CSR, σχετικά με τα όρια των διαμήκων κατανομών των καμπτικών ροπών και των διαμηθικών δυνάμεων που οφείλονται καθαρά σε κυματισμούς.

1.3. Δομή Εργασίας

Το σύνολο της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 8 Κεφάλαια και 2 Παραρτήματα, τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 περιέχεται η εισαγωγή της εργασίας, η οποία περιλαμβάνει γενικά σχόλια σχετικά με τα δεξαμενόπλοια, τον σκοπό της εργασίας καθώς και την δομή αυτής.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια συνοπτική αναφορά στον συγκεκριμένο τύπο πλοίου, όπου ορίζονται τα διάφορα είδη αυτού, βάσει των φορτίων που δύνανται να μεταφερθούν. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η ταξινόμηση των δεξαμενόπλοιων μεταφοράς αργού πετρελαίου/παραγώνων αυτού, βάσει του μεγέθους της μεταφορικής τους ικανότητας, ενώ περιγράφονται βασικά σχεδιαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Τέλος, γίνεται αναφορά σε Διεθνείς Οργανισμούς/Ενώσεις με σημαντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα, καθώς και στην Διεθνή Σύμβαση MARPOL.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα στάδια της μελέτης σχεδίασης και παρατίθενται τα αποτελέσματα της Προμελέτης, βάσει της οποίας διεξάγεται η μοντελοποίηση της γάστρας. Εν συνέχεια, παρουσιάζεται το παραγόμενο μοντέλο, το οποίο πλαισιώνουν τα διαγράμματα των ναυπηγικών γραμμών, των υδροστατικών μεγεθών, των παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας και των κατακλύσιμων μηκών της ισοβύθισης γάστρας. Ελέγχεται η συμμόρφωση με τους Κανονισμούς της Διεθνούς Σύμβασης για την Γραμμή Φόρτωσης ενώ παράγεται η κλίμακα της μεταφορικής της ικανότητας. Τέλος πραγματοποιείται η διαμήκης κατανομή του βάρους της κατασκευής της, ενώ καθορίζεται η διαμερισματοποίηση αυτής και γίνεται μελέτη καταμέτρησης βάσει των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης Καταμέτρησης.

Στο Κεφάλαιο 4 αναπτύσσονται ορισμένες καταστάσεις φόρτωσης του δεξαμενόπλοιου και παρουσιάζεται λεπτομερώς η κατάσταση πλήρους ομογενούς φόρτωσης στην αναχώρηση (FLD). Στην συνέχεια εξετάζονται τα κριτήρια ασφαλούς ναυσιπλοΐας (IS-Code) για όλες τις καταστάσεις, ενώ επιπλέον οι καταστάσεις ερματισμού ελέγχονται με τον Κανονισμό 18 του Παραρτήματος I της MARPOL. Τέλος, εξετάζονται οι διαμήκεις κατανομές των καμπυλών ροπών και των διατμητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται καθαρά λόγω των κυματισμών στην κατάσταση FLD και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα όρια που θέτει ο IACS (CSR).

Στο Κεφάλαιο 5 διεξάγεται η μελέτη εναρμόνισης της σχεδίασης των δεξαμενών φορτίου με τον Κανονισμό 23 του Παραρτήματος I της MARPOL, σχετικά με την απόδοση ακούσιας εκροής πετρελαίου. Εδώ παρατίθενται οι υπολογισμοί που εκτελεί το πρόγραμμα “Hydrostatics & Hydrodynamics” (Avena) και επεξηγούνται οι εκτιμήσεις αυτού, οι οποίες οδηγούν στην υπερεκτίμηση της παραμέτρου μέσης εκροής. Στην συνέχεια ακολουθούν οι αναλυτικοί υπολογισμοί που εκτελέστηκαν από εμάς, τα αποτελέσματα των οποίων αντιπαραβάλλονται με αυτά του προγράμματος ώστε να αποσαφηνισθεί η απόκλιση τους.

Στο Κεφάλαιο 6 διεξάγεται η μελέτη απόδοσης ακούσιας εκροής καυσίμου πετρελαίου, όπου εξετάζονται τα κριτήρια του Κανονισμού 12A του Παραρτήματος I της MARPOL σχετικά με τις δεξαμενές καυσίμου. Επιπροσθέτως παρατίθεται ο αντίστοιχος υπολογισμός της παραμέτρου μέσης εκροής μέσω του προγράμματος και στην συνέχεια οι αναλυτικοί υπολογισμοί, ενώ υποδεικνύονται τα σημεία όπου το πρόγραμμα παρεκκλίνει.

Στο Κεφάλαιο 7 πραγματοποιείται μια προκαταρκτική τεχνοοικονομική μελέτη του υπό σχεδίαση δεξαμενόπλοιου. Εδώ προσεγγίζονται τα κόστη απόκτησης και ετήσιας λειτουργίας του πλοίου και υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος ανά τόνο φορτίου, μέσω του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, ώστε η επένδυση να είναι βιώσιμη.

Στο Κεφάλαιο 8 αναπτύσσεται η ανακεφαλαίωση της εργασίας, όπου παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα επί της μελέτης που πραγματοποιήθηκε και μερικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στα δύο Παραρτήματα της εργασίας παρατίθενται με την σειρά η Προμελέτη σχεδίασης και τα εξαγόμενα αποτελέσματα των καμπυλών ροπών και διατμητικών δυνάμεων της κατάστασης FLD, μαζί με τον υπολογισμό των ορίων που θέτει ο IACS.

2. Πλοία Μεταφοράς Υγρού Φορτίου

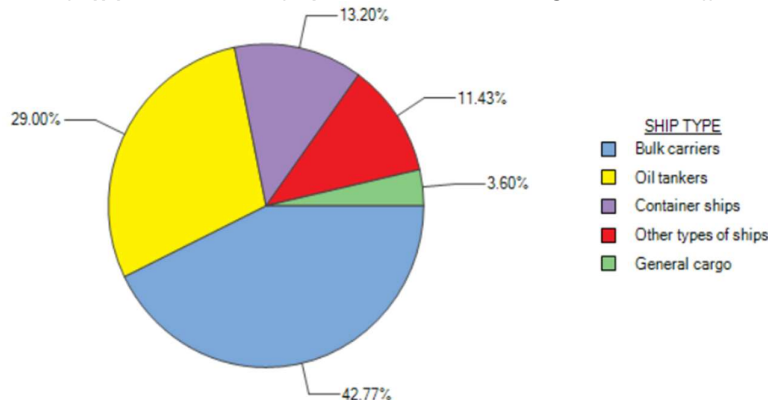
2.1. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου

Η παραγωγική διαδικασία της παγκόσμιας βιομηχανίας εξαρτάται άρρηκτα από την διανομή των πρώτων υλών και την παράδοση των αγαθών μέσω του εμπορίου. Η ναυτιλία αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας, μιας και οι θαλάσσιες μεταφορές κατέχουν ηγετικό ρόλο, με ποσοστό, το οποίο είναι ελαφρώς μεγαλύτερο για τις ανεπτυγμένες χώρες, περίπου 80% στο διεθνές εμπόριο (UNCTAD, 2021).

Ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος απαρτίζεται από πληθώρα εμπορικών πλοίων, τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τύπο του φορτίου που μεταφέρουν. Ενδεικτικά παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία της μεταφορικής ικανότητας (Deadweight Tonnage-DWT) σε χιλιάδες τόνους του παγκόσμιου εμπορικού στόλου για το έτος 2021 και η κατανομή αυτής στους κυριότερους τύπους εμπορικών πλοίων.

YEAR	2021	
ECONOMY	SHIP TYPE	
World	Total fleet	2 134 640
	Bulk carriers	913 032
	Oil tankers	619 148
	Container ships	281 784
	Other types of ships	243 922
	General cargo	76 754

Πίνακας 1. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου βάσει της μεταφορικής του ικανότητας (DWT*10³)
(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))



Διάγραμμα 1. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου βάσει της μεταφορικής του ικανότητας
(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))

Η μεταφορική ικανότητα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου ανέρχεται κατά προσέγγιση στα 2,13 δισεκατομμύρια τόνους (Dead Weight Tons) για το έτος 2021. Τα δεξαμενόπλοια αποτελούν την δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία εμπορικών πλοίων, όσον αφορά την μεταφορική τους ικανότητα (DWT), έπειτα από τα πλοία μεταφοράς ξηρού χύδην φορτίου, καλύπτοντας το 29.00% του συνολικού μεταφερόμενου φορτίου έναντι 42.77% των πρώτων.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως η κατηγοριοποίηση της UNCTAD αφορά εμπορικά πλοία ολικής χωρητικότητας μεγαλύτερης των 100 κόρων (GT>100). Οι κατηγορίες δεν περιλαμβάνουν πλοία που δραστηριοποιούνται σε ποταμούς, αλιευτικά και πολεμικά σκάφη, σκάφη αναψυχής, υπεράκτιες πλατφόρμες εξόρυξης πλουτοπαραγωγικών πόρων, κινητές ή μονίμως εγκατεστημένες και φορηγίδες. Ακόμη, οι κατηγορίες των εμπορικών πλοίων μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω, μιας και είναι ενοποιημένες. Σκοπός της ανωτέρω ανάλυσης είναι να καταστεί σαφές το μεγάλο μερίδιο της μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου εμπορικού στόλου που κατέχουν τα δεξαμενόπλοια.

2.2. Κατηγορίες Δεξαμενόπλοιων

Όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή της εργασίας, τα δεξαμενόπλοια διαθέτουν κύττα διαμορφωμένα σε στεγανές δεξαμενές, ώστε να είναι ικανά να μεταφέρουν χύδην υγρό φορτίο, με τα σπουδαιότερα φορτία αυτής της μορφής να είναι το αργό πετρέλαιο (Crude Oil) και τα προϊόντα διύλισής του. Στο παρόν παρουσιάζονται τα κυριότερα είδη δεξαμενόπλοιων, βάσει της φύσης του μεταφερόμενου φορτίου, και οι κατηγορίες μεγέθους των δεξαμενόπλοιων μεταφοράς πετρελαίου και παραγώγων αυτού (Oil Tankers).

2.2.1 Κατηγοριοποίηση Βάσει Τύπου Φορτίου

Η πλειονότητα των δεξαμενόπλοιων μεταφέρει είτε αργό πετρέλαιο, από τα σημεία εξόρυξης στα διυλιστήρια (Crude Oil Tankers), είτε προϊόντα πετρελαίου, όπως βενζίνη, ντίζελ, καύσιμα θέρμανσης και πετροχημικά, από τα διυλιστήρια σε κέντρα διανομής (Oil Product Carriers). Μια άλλη κατηγορία δεξαμενόπλοιων αποτελούν τα τεχνολογικά προηγμένα πλοία μεταφοράς χημικών (Chemical Tankers), τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα για την μεταφορά χημικών ουσιών. Τα εξειδικευμένα πλοία για την μεταφορά υγροποιημένων αέριων καυσίμων (LPG και LNG Carriers) συγκαταλέγονται στα δεξαμενόπλοια, με το φορτίο τους να μεταφέρεται σε μεγάλες ψυχόμενες ή/και υπό πίεση δεξαμενές (Σπύρου, 2011). Συχνά, τα δεξαμενόπλοια, για την καλύτερη οικονομική τους εκμετάλλευση, δεν περιορίζονται στην μεταφορά ενός μόνο είδους φορτίου, με αποτέλεσμα να συναντώνται συνδυασμοί των κατηγοριών (Crude/Product Carriers, Chemical/Product Carriers, Crude/Chemical/Product, κ.ο.κ.).

Οι κυριότερες κατηγορίες αλλά και υποκατηγορίες των δεξαμενόπλοιων, ανάλογα με το είδος του μεταφερόμενου φορτίου, παρουσιάζονται επιγραμματικά στην συνέχεια.

- **Oil Tankers**

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), ως Oil Tanker ορίζεται ένα πλοίο κατασκευασμένο ή προκαταρκτικά σχεδιασμένο ώστε να μεταφέρει πετρέλαιο χύδην στους χώρους φορτίου του και περιλαμβάνει επίσης τα πλοία μεταφοράς συνδυασμένου φορτίου (Combination Carriers), οποιοδήποτε πλοίο μεταφοράς υγρών επιβλαβών ουσιών (NLS Carriers) όπως αυτό ορίζεται στο Παράρτημα II της συνθήκης της MARPOL 73/78 και οποιοδήποτε πλοίο μεταφοράς αέριων φορτίων, όπως αυτό ορίζεται στον Κανονισμό 3.20 του Κεφαλαίου II-1 της σύμβασης SOLAS 74, όταν το φορτίο τους ή μέρος αυτού είναι φορτίο πετρελαίου χύδην. Ο όρος Oil αναφέρεται στην κάθε μορφή πετρελαίου ή παραγώγων του όπως Crude Oil, Fuel Oil, Sludge/Oil Refuse και Refined Products. Τα Oil Tankers μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής 2 βασικές υποκατηγορίες (Michel & Osborne, 2008):

- **Crude Oil Carriers**: όπως υποδηλώνει και η ονομασία τους, πρόκειται για τα δεξαμενόπλοια εκείνα τα οποία μεταφέρουν αργό πετρέλαιο από τα σημεία εξόρυξης στα διυλιστήρια. Επειδή τα ταξίδια που πραγματοποιούν είναι κατά βάσει μεγάλα, τα εν λόγω πλοία είναι αρκετά ογκώδη ώστε να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες αργού πετρελαίου ενώ συνήθως σχεδιάζονται για να μεταφέρουν πάνω από 3 είδη (grades) πετρελαίου.
- **Product Carriers**: μεταφέρουν ραφιναρισμένα παράγωγα του πετρελαίου από τα διυλιστήρια στους διανομείς. Μπορούν να διαχωρισθούν σε *Clean* και *Dirty Product Carriers*, ανάλογα με το αν μεταφέρουν "καθαρά" παράγωγα, όπως η βενζίνη και τα λιπαντικά, ή "βρώμικα" υπολειμματικά καύσιμα. Είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν διαφορετικά μεταξύ τους είδη φορτίου, ταυτόχρονα στο ίδιο ταξίδι και για αυτό διαθέτουν πολύπλοκα δίκτυα διανομής, με ξεχωριστό δίκτυο σωληνώσεων και αντλιών

για κάθε δεξαμενή. Οι δεξαμενές επικαλύπτονται με διάφορες χημικές ουσίες, όπως εποξεική ρητίνη, για την προστασία του φορτίου (Michel & Osborne, 2008). Το πλοίο το οποίο θα αποτελέσει θέμα της μελέτης της παρούσας εργασίας ανήκει σε αυτήν την κατηγορία.

- **Chemical Tankers**

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), ως Chemical Tankers ορίζονται τα πλοία εκείνα τα οποία είναι κατασκευασμένα ή προκαταρκτικά τροποποιημένα ώστε να μεταφέρουν χύδην τα υγρά προϊόντα που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 17 του IBC Code (International Bulk Chemical Code) και συμπεριλαμβάνουν ένα Oil Tanker, όπως αυτό ορίζεται στο Παράρτημα I της MARPOL 73/78, όταν το φορτίο του ή μέρος αυτού είναι επιβλαβής υγρή ουσία χύδην. Πρόκειται για τα πιο τεχνολογικά εξελιγμένα πλοία ανάμεσα στις βασικές κατηγορίες εμπορικών πλοίων, λόγω του ότι διαχειρίζονται αρκετά ευαίσθητα και επικίνδυνα φορτία. Η σχεδίαση των συγκεκριμένων πλοίων υπόκειται σε 3 διατάξεις του IMO (IBC Code, SOLAS, MARPOL), οι οποίες περιέχουν κανονισμούς για την κατασκευή και τον εξοπλισμό, την ασφάλεια και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος αντίστοιχα. Στο Κεφάλαιο 17 του IBC Code περιγράφονται τα στοιχεία, τα οποία δυνητικά θα κληθεί ένα Chemical Tanker να μεταφέρει. Ανάλογα με την επικινδυνότητα του φορτίου, ο κώδικας κατατάσσει, με φθίνουσα σειρά επικινδυνότητας, τα συγκεκριμένα πλοία σε 3 κατηγορίες:

- IMO 1: Chemical Tankers προορισμένα για την μεταφορά χημικών ουσιών με εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις προς το περιβάλλον και υψηλής επικινδυνότητας σε θέματα ασφαλείας, σε περίπτωση που διαρρεύσουν.
- IMO 2: Chemical Tankers προορισμένα για την μεταφορά χημικών ουσιών με σημαντικά δυσμενείς επιπτώσεις αν τυχόν διαρρεύσουν.
- IMO 3: Chemical Tankers προορισμένα για την μεταφορά χημικών ουσιών με επιπτώσεις σε περίπτωση διαρροής ελαφρώς μικρότερες απ' ό,τι αυτές των 2 προηγούμενων κατηγοριών (Werner, 2008).

Ακόμη, οι κανονισμοί περιγράφουν πληθώρα τεχνικών χαρακτηριστικών τα οποία τα συγκεκριμένα πλοία θα πρέπει να φέρουν, όπως συστήματα εξαερισμού, ελέγχου και παρακολούθησης του φορτίου, συστήματα καθαρισμού των χώρων φόρτωσης, δίκτυα σωληνώσεων και αντλιών για την διαχείριση του φορτίου, συστήματα πυρόσβεσης κ.ο.κ.

- **Liquefied Gas Tankers**

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), ως Liquefied Gas Tankers ορίζονται τα πλοία εκείνα τα οποία είναι κατασκευασμένα ή μορφοποιημένα ώστε να μεταφέρουν χύδην τα υγροποιημένα αέρια ή άλλα προϊόντα, που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 19 του IGC Code, όπως ορίζονται στον Κανονισμό 11.2 του Παραρτήματος VII της συμβάσεως SOLAS. Τα πιο σημαντικά, από άποψη μεταφερόμενου όγκου, αέρια καύσιμα είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), τα υγροποιημένα παράγωγα του πετρελαίου (LPG: βουτάνιο, προπάνιο και μείγματα αυτών) και η αμμωνία. Άλλα φορτία υψηλής εμπορικής σημασίας είναι το βουταδιένιο, το βουτιλένιο, το αιθυλένιο και το βινυλοχλωρίδιο (Emi et al., 2003). Ανάλογα με το μεταφερόμενο φορτίο και τον τρόπο αποθήκευσής του, ο συγκεκριμένος τύπος πλοίων μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

- Fully Pressurized Carriers: μεταφέρουν το φορτίο υπό πίεση, μέχρι και 180 bar, και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Είναι μικρά σε μέγεθος λόγω της πολύ υψηλής πίεσης σχεδίασης των δεξαμενών τους.
- Semi Pressurized/Refrigerated Carriers: σε αυτήν την περίπτωση το φορτίο για την μεταφορά του βρίσκεται υπό μερική πίεση, 3-6 bar, και/ή ψύχεται σε θερμοκρασίες

από -10°C έως -104°C . Αποτελούν την πιο αποδοτική κατηγορία μιας και μπορούν να μεταφέρουν μια ευρεία γκάμα αερίων καυσίμων.

- Refrigerated LPG/Ammonia Carriers: τα πλοία αυτά μεταφέρουν το αέριο φορτίο υγροποιημένο σε θερμοκρασίες έως -48°C και σε ατμοσφαιρική πίεση ή κοντά σε αυτήν. Μερικά χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγροποιημένης αμμωνίας.
- Ethylene Carriers: όπως υποδηλώνει η ονομασία τους, μεταφέρουν υγροποιημένο αιθυλένιο. Μπορούν να μεταφέρουν το φορτίο σε θερμοκρασία έως -33°C και υπό πίεση 200 bar ή υπό ψύξη στους -104°C και σε ατμοσφαιρική πίεση ή κοντά σε αυτήν.
- LNG Carriers: η συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων είναι σχεδιασμένη για να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες υγροποιημένου φυσικού αερίου, στο σημείο βρασμού του υπό ατμοσφαιρική πίεση, που είναι οι -163°C . Πρόκειται για το μεγαλύτερο στόλο των Gas Tankers όσον αφορά την μεταφορική τους ικανότητα και αποτελούν το σημείο αιχμής των νέων ναυπηγήσεων μιας και ο συγκεκριμένος τύπος καυσίμου χρησιμοποιείται ευρέως τόσο στην βιομηχανία όσο και στις μεταφορές και τις οικιακές εγκαταστάσεις.
- CNG Carriers: η συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων είναι σχεδιασμένη για να μεταφέρει ποσότητες υγροποιημένου φυσικού αερίου υπό υψηλή πίεση, συνήθως πάνω από 250 bar. Χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του φορτίου σε μεσαίου μεγέθους διαδρομές και βασίζονται στις υψηλής πίεσης δεξαμενές τους για την υγροποίηση και αποθήκευση του φυσικού αερίου, ενώ διαθέτουν ειδικούς συμπιεστές για την φορτοεκφόρτωση του.

Τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων καυσίμων υπόκεινται εκτός των άλλων και στους κανονισμούς του κώδικα IGC, ο οποίος περιέχει ένα σύνολο απαιτήσεων ασφαλείας που σχετίζονται με τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τον εξοπλισμό και την λειτουργία τους. Ο κώδικας στο Κεφάλαιο 19 καθορίζει, ανάλογα με το είδος του φορτίου, 4 τύπους πλοίων, τα 1G, 2G, 2PG και 3G και τις αντίστοιχες προδιαγραφές αυτών ως προς την ελάχιστη απόσταση των δεξαμενών τους από το εξωτερικό περιβάλλον της γάστρας (Emi et. Al., 2003).

- **Specialized Tankers**

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τα δεξαμενόπλοια των οποίων οι επιχειρησιακές δραστηριότητες δεν εντάσσονται σε μια εκ των προηγούμενων κυρίων κατηγοριών και αντιπροσωπεύουν μικρό ποσοστό του παγκόσμιου στόλου των δεξαμενόπλοιων. Επιγραμματικά αναφέρονται οι κατηγορίες και οι βασικές τους λειτουργίες:

- Slurry/Asphalt Tankers: μεταφέρουν υλικά που δεν διαλύονται στο νερό (slurry), τα οποία προέρχονται από την διύλιση του πετρελαίου και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιπασμάτων, ασφάλτου και λοιπών προϊόντων.
- Hydrogen Tankers: μεταφέρουν αποκλειστικά υγροποιημένο αέριο υδρογόνο, γεγονός που τα καθιστά μη αξιοποιήσιμα για άλλα φορτία.
- Combination Carriers: πρόκειται για δεξαμενόπλοια σχεδιασμένα να μεταφέρουν συνδυασμούς φορτίων, ξηρά ή υγρά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του τύπου είναι τα Ore/Oil Carriers - Ore/Slurry/Oil Carriers - Ore/Bulk/Oil Carriers.
- Juice/Wine Tankers: μεταφέρουν χυμούς φρούτων και κρασί. Διαθέτουν ψυχόμενες εγκαταστάσεις για την διατήρηση της σύστασης των ευαίσθητων αυτών προϊόντων.
- ITB (Integrated Tug Barges): πρόκειται για φορτηγίδες στην πρύμνη των οποίων προσαρτώνται κατάλληλα διαμορφωμένα ρυμουλκά ώστε να δημιουργήσουν μια κινητή μονάδα. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην ανατολική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών για την μεταφορά υγρών φορτίων στην ενδοχώρα (Mohit, 2021).

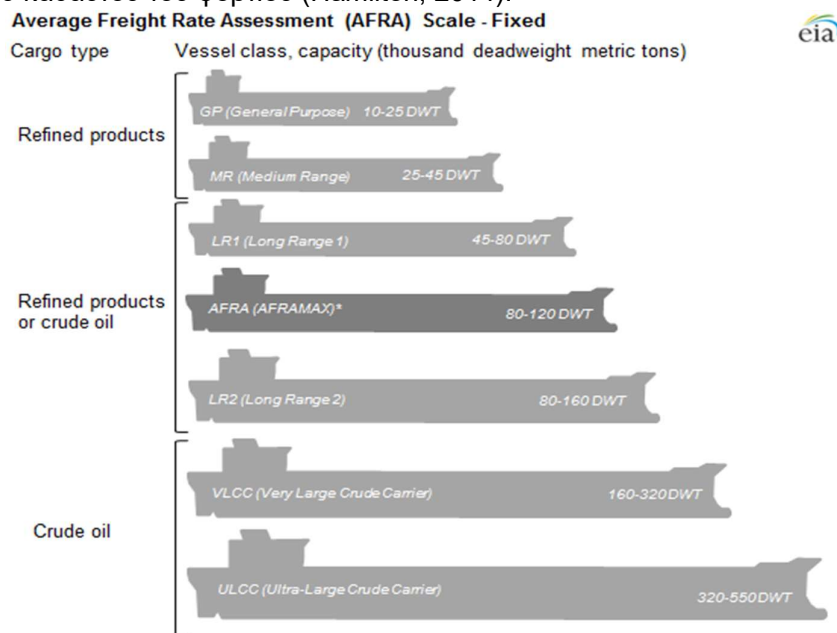
2.2.2. Κατηγοριοποίηση Βάσει Μεταφορικής Ικανότητας

Ένας διαφορετικός τρόπος ταξινόμησης των δεξαμενόπλοιων σε κατηγορίες γίνεται μέσω του μεγέθους της μεταφορικής τους ικανότητας σε τόνους (Dead Weight Tonnage, DWT). Η μεταφορική ικανότητα εκφράζει το βάρος το οποίο το πλοίο είναι ικανό να μεταφέρει εφόσον διατηρεί το βύθισμα που προβλέπεται από τους ισχύοντες κανονισμούς (Κανονισμοί Γραμμής Φόρτωσης). Η ταξινόμηση των δεξαμενόπλοιων βάσει του DWT πραγματοποιείται εκτενώς για τα Oil Tankers, ενώ για τους υπόλοιπους τύπους πλοίων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο, δεν υπάρχει κάποιο διαδεδομένο σύστημα ταξινόμησης πέρα από τον διαχωρισμό τους σε μικρά, μεσαία και μεγάλα βάσει της μεταφορικής τους ικανότητας. Στην συνέχεια αναλύονται 2 συστήματα ταξινόμησης των Oil Tankers βάσει του DWT και παρουσιάζονται τα όρια της μεταφορικής ικανότητας των κατηγοριών.

Κλίμακα A.F.R.A (Average Freight Rate Assessment)

Το 1954 η πολυεθνική πετρελαϊκή εταιρεία Royal Dutch Shell ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης των δεξαμενόπλοιων αργού πετρελαίου και προϊόντων αυτού, βάσει της μεταφορικής τους ικανότητας. Το σύστημα, γνωστό με την ονομασία AFRA, υιοθετήθηκε από την ανεξάρτητη ένωση LTBP (London Tanker Broker's Panel) και χρησιμοποιήθηκε μέχρι το 1983 για την εκτίμηση του μέσου ναύλου μίσθωσης και τον καθορισμό των όρων των συμβολαίων μεταξύ πλοιοκτητών και πετρελαιοεμπόρων.

Η δυναμική συμπεριφορά της τιμής του πετρελαίου οδήγησε στην εγκατάλειψη του παρόντος συστήματος για τον υπολογισμό του ναύλου, παρόλα αυτά χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για την ταξινόμηση των συγκεκριμένων δεξαμενόπλοιων βάσει του μεγέθους της μεταφορικής τους ικανότητας. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται τα όρια κάθε κατηγορίας, σε χιλιάδες τόνους νεκρού φορτίου (DWT), ενώ περιγράφεται και ο τύπος φορτίου που συνήθως μεταφέρει η κάθε κατηγορία, χωρίς να σημαίνει πως χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την μεταφορά αυτού καθαυτού του φορτίου (Hamilton, 2014).



Εικόνα 1. Η κλίμακα AFRA (Πηγή: U.S. Energy Information Administration, London Tanker Brokers' Panel)

Η κατηγορία AFRAMAX που εμφανίζεται στην Εικόνα 1 δεν αποτελεί κάποια κλάση του συστήματος κατηγοριοποίησης AFRA, αλλά έχει αντιπαρατεθεί για σύγκριση, μιας και είναι ένας οικονομικά συμφέρων τύπος δεξαμενόπλοιου που προτιμάται κατά κόρον από τους πλοιοκτήτες. Τα όρια του DWT του βρίσκονται στο κάτω όριο της κατηγορίας LR2.

Flexible Size Scale

Το σύστημα ταξινόμησης των δεξαμενόπλοιων πετρελαίου βάσει της μεταφορικής τους ικανότητας που χρησιμοποιείται την τρέχουσα περίοδο, ονοματίζει τις κατηγορίες αυτές με γνώμονα την ευχέρειά τους να διέλθουν από καθορισμένα θαλάσσια σημεία όπως κανάλια και διώρυγες. Στον Πίνακα 2 περιγράφονται τα όρια της εκάστοτε κατηγορίας (σε χιλιάδες τόνους) και στην συνέχεια δίνονται πληροφορίες για κάθε μια από αυτές. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί πως τα όρια των κατηγοριών αυτών διαχρονικά αυξομειώνονται σε μικρά ποσοστά, χωρίς βέβαια να παρεκκλίνουν σημαντικά από τις αρχικές τους τιμές (Σπύρου, 2011).

Size category	Indicative DWT-range
Handy	10,000 - 26,999 dwt
MR Small	27,000 - 39,999 dwt
MR Large	40,000 - 54,999 dwt
Panamax	55,000 - 79,999 dwt
<i>New Panamax</i>	
Aframax	80,000 - 119,999 dwt
Suezmax	120,000 - 199,999 dwt
VLCC	200,000 - 319,999 dwt
ULCC	320,000 dwt >

Πίνακας 2. Flexible Size Scale (Πηγή: IHS Markit)

Οι κατηγορίες *Handy*, *MR Small* και *MR Large* περιέχουν πλοία στην περιοχή των 10,000-54,999 τόνων DWT ενώ μπορούν να ενοποιηθούν στην κατηγορία *Coastal Tankers*, μιας και χρησιμοποιούνται για την παράκτια διανομή κυρίως παραγώγων πετρελαίου. Πρόκειται για δεξαμενόπλοια χαμηλής μεταφορικής ικανότητας και σχετικά μικρών διαστάσεων, γεγονός που τα καθιστά πιο ευέλικτα στην προσέγγιση στενών και ρηχών θαλάσσιων περασμάτων και λιμανιών, με σκοπό την διανομή προϊόντων εντός μικρών αποστάσεων ή και τον ανεφοδιασμό πλοίων με καύσιμα.

- **Panamax (55,000-79,999 DWT)**

Πρόκειται για πλοία με DWT από 55,000 έως 79,999 τόνους. Οι 79,999 τόνοι συνδέονται με το μέγεθος των πλοίων που μπορούν να διέλθουν από την διώρυγα του Παναμά, εξού και η ονομασία τους, γεγονός το οποίο συνεχώς αλλάζει με τις διευρύνσεις της διώρυγας, δίνοντας χώρο για την κατηγορία *New Panamax*. Οι εισαγωγές αργού και καυσίμου πετρελαίου στη Β. Αμερική αποτελούν το κύριο πεδίο δραστηριοτήτων των δεξαμενοπλοίων τύπου *Panamax*, μιας και στις περιοχές του Ατλαντικού τα πλοία αυτά έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των μεγαλύτερων κατηγοριών λόγω περιορισμών στα βάθη των λιμένων. Ένα σύνθητες *Panamax*, με διπλά τοιχώματα, μεταφορικής ικανότητας 60,000 τόνων DWT, έχει μήκος 228.6m, πλάτος 32.2m, βύθισμα 12.6m και Lightship 11,000 τόνους (Σπύρου, 2011).

- **Aframax (80,000-119,999 DWT)**

Πρόκειται για δεξαμενόπλοια με μεταφορική ικανότητα μεταξύ 80,000-119,999 τόνων DWT. Η ονομασία τους προέρχεται από το σύστημα εκτίμησης ναύλου της Royal Dutch Shell. Ο συγκεκριμένος τύπος δεξαμενόπλοιων έχαιρε οικονομικών πλεονεκτημάτων και γι' αυτό αποτελούσε αγαπημένη κατηγορία μεταξύ των πλοιοκτητών. Τα *Aframax* χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για ποικίλες μεταφορές αργού πετρελαίου σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις, ενώ διαθέτουν δεξαμενές με εποξική επικάλυψη. Το πεδίο δράσης τους είναι κυρίως η Μεσόγειος, η Μαύρη Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα, η Καραϊβική και οι ακτές της βορείου και ανατολικής Κίνας. Ένα σύνθητες *Aframax*, με διπλά τοιχώματα, μεταφορικής ικανότητας 100,000 τόνων DWT, έχει μήκος 253.0m, πλάτος 44.2m, βύθισμα 11.6m και Lightship 14,850 τόνους (Σπύρου, 2011).

- **Suezmax (120,000-199,999 DWT)**

Η κατηγορία αυτή περιέχει δεξαμενόπλοια μεταφορικής ικανότητας από 120,000 έως 200,000 τόνους DWT και γενικά προσδιορίζονται ως πλοία που βρίσκονται σε θέση να μεταφέρουν 1,000,000 βαρέλια πετρελαίου. Ο όρος *Suezmax* χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μεγαλύτερο δεξαμενόπλοιο που μπορεί να διέλθει από την διώρυγα του Suez. Τα *Suezmax* δεξαμενόπλοια σχεδιάζονται για την μεταφορά πολλαπλών βαθμίδων πετρελαίου (συχνά τριών ειδών, grades). Ένα σύνηθες *Suezmax*, με διπλά τοιχώματα, μεταφορικής ικανότητας 150,000 τόνων DWT, έχει μήκος 274.0m, πλάτος 50.0m, βύθισμα 14.5m και Lightship 20,000 τόνους (Σπύρου, 2011).

- **VLCC/Very Large Crude Carrier (200,000-319,999 DWT)**

Η μεταφορική ικανότητα της συγκεκριμένης κατηγορίας δεξαμενόπλοιου κυμαίνεται μεταξύ των 200,000 και 320,000 τόνων DWT και γενικά αναφέρονται ως δεξαμενόπλοια των 2,000,000 βαρελιών πετρελαίου. Η ανάγκη για την ναυπήγησή πλοίων αυτού του μεγέθους, ήταν αποτέλεσμα της αυξημένης ζήτησης πετρελαίου από το 1950 έως το 1980, σε συνδυασμό με το κλείσιμο της διώρυγας του Suez το 1967, γεγονός που υποχρέωνε τα δεξαμενόπλοια να ταξιδεύουν γύρω από το ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας, καθιστώντας την μεταφορά του πετρελαίου από τα μικρότερα δεξαμενόπλοια οικονομικά ασύμφορη. Σήμερα τα *VLCCs* αποτελούν τον πιο αποτελεσματικό τρόπο μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων αργού πετρελαίου σε μεγάλες αποστάσεις. Λόγω του μεγέθους τους, τόσο τα *VLCCs* όσο και τα *ULCCs*, δεν μπορούν να εισέλθουν στα περισσότερα λιμάνια, γι' αυτό και παραλαμβάνουν το φορτίο τους από υπεράκτιες πλατφόρμες και ειδικά σχεδιασμένα τερματικά σημεία (όπως τα συστήματα Single Point Mooring, SPM). Ένα σύνηθες *VLCC*, με διπλά τοιχώματα, μεταφορικής ικανότητας 280,000 τόνων DWT, έχει μήκος 335.0m, πλάτος 57.0m, βύθισμα 21.0m και Lightship 35,000 τόνους (Σπύρου, 2011).

- **ULCC/Ultra Large Crude Carrier (320,000+ DWT)**

Πρόκειται για δεξαμενόπλοια με μεταφορική ικανότητα άνω των 320,000 τόνων DWT. Η πλειονότητα αυτών κατασκευάσθηκε στα μέσα και τα τέλη της δεκαετίας του 1970, με σκοπό την περαιτέρω μείωση του κόστους μεταφοράς τεραστίων ποσοτήτων πετρελαίου. Η αύξηση της τιμής του μαύρου χρυσού, λίγα χρόνια μετά την ναυπήγηση των πρώτων *ULCCs*, κατέστησε την κατασκευή τους μη κερδοφόρα. Πολλά δεξαμενόπλοια αυτού του μεγέθους, συμπεριλαμβανομένων και των *VLCCs*, μετασκευάζονται σε πλωτές μονάδες αποθήκευσης πετρελαίου (*FSO*), με το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της μετασκευής του Knock Nevis, του μεγαλύτερου δεξαμενόπλοιου που κατασκευάσθηκε ποτέ. Ένα σύνηθες *ULCC*, με διπλά τοιχώματα, 410,000 τόνων DWT, έχει μήκος 377.0m, πλάτος 68.0m, βύθισμα 23.0m και Lightship ίσο με 45,000 τόνους. (Σπύρου, 2011).



Εικόνα 2. *ULCC/ FSO Asia* (Πηγή: Aleksandar Gribov)

2.3. Βασικά Σχεδιαστικά/Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Ο σχεδιασμός και ο εξοπλισμός των σύγχρονων δεξαμενόπλοιων διέπονται από αρχές που απορρέουν από τις υπηρεσιακές τους ανάγκες, τις ενεργειακές τους απαιτήσεις, τον τύπο του φορτίου, τις συνθήκες λειτουργίας και σε μεγάλο βαθμό καθορίζονται από διεθνείς συμβάσεις και κανονισμούς. Έτσι διαμορφώνονται τα χαρακτηριστικά της μορφής της γάστρας και η εσωτερική διαμερισματοποίηση αυτής, σχεδιάζονται οι χώροι φορτίου και οι πάσης φύσεως δεξαμενές και εγκαθίστανται τα συστήματα λειτουργίας που εξυπηρετούν την ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα λειτουργία του πλοίου.

- **Μορφή Γάστρας**

Το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός δεξαμενόπλοιου είναι η μορφή της γάστρας του, με τα γεωμετρικά της μεγέθη να καθορίζονται από την ποσότητα του φορτίου που θα κληθεί να μεταφέρει (weight-based design). Τα πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου σχεδιάζονται με γνώμονα την αύξηση της μέγιστης μεταφορικής τους ικανότητας, ανεξαρτήτως του μεγέθους τους. Αποτέλεσμα της απαίτησης αυτής είναι η μεγάλη τιμή του συντελεστή γάστρας (C_b), ο οποίος ξεπερνά το 0.8, καθιστώντας τα δεξαμενόπλοια ογκώδη και αργόπλοια, με την υπηρεσιακή τους ταχύτητα να βρίσκεται συνήθως κάτω από τους 16 κόμβους. Τα περισσότερα σύγχρονα δεξαμενόπλοια έχουν ταχύτητες υπηρεσίας μεταξύ 14 και 16 κόμβους, ενώ ο συντελεστής γάστρας κυμαίνεται από 0.81 έως 0.84. Δεξαμενόπλοια με σχετικά μικρότερα δρομολόγια, όπως τα Shuttle Tankers, σχεδιάζονται με συντελεστή γάστρας από 0.85 έως 0.88, ενώ τα δεξαμενόπλοια των παράκτιων διαδρομών, τα Coastal Tankers, τείνουν να είναι αρκετά πιο λεπτόγραμπα, με τον συντελεστή να βρίσκεται μεταξύ των τιμών 0.7 και 0.8 (Deltamarin, 1999).

- **Εσωτερική Διαμερισματοποίηση**

Ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά ενός δεξαμενόπλοιου είναι η σχεδίαση της εσωτερικής διάταξης της γάστρας στην περιοχή του χώρου φορτίου, η οποία αποτελείται από διπλό τοίχωμα και διπλό πυθμένα, το λεγόμενο double hull. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μείωση/εξάλειψη του κινδύνου εκροής πετρελαίου στο περιβάλλον σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος (σύγκρουση, επαφή ή προσάραξη). Οι χώροι μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος και του εσωτερικού, χρησιμοποιούνται ως δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος, προσδίδοντας μια ασπίδα προστασίας του φορτίου που είναι αποθηκευμένο εντός των εσωτερικών δεξαμενών από πιθανό ρήγμα στο εξωτερικό περίβλημα.

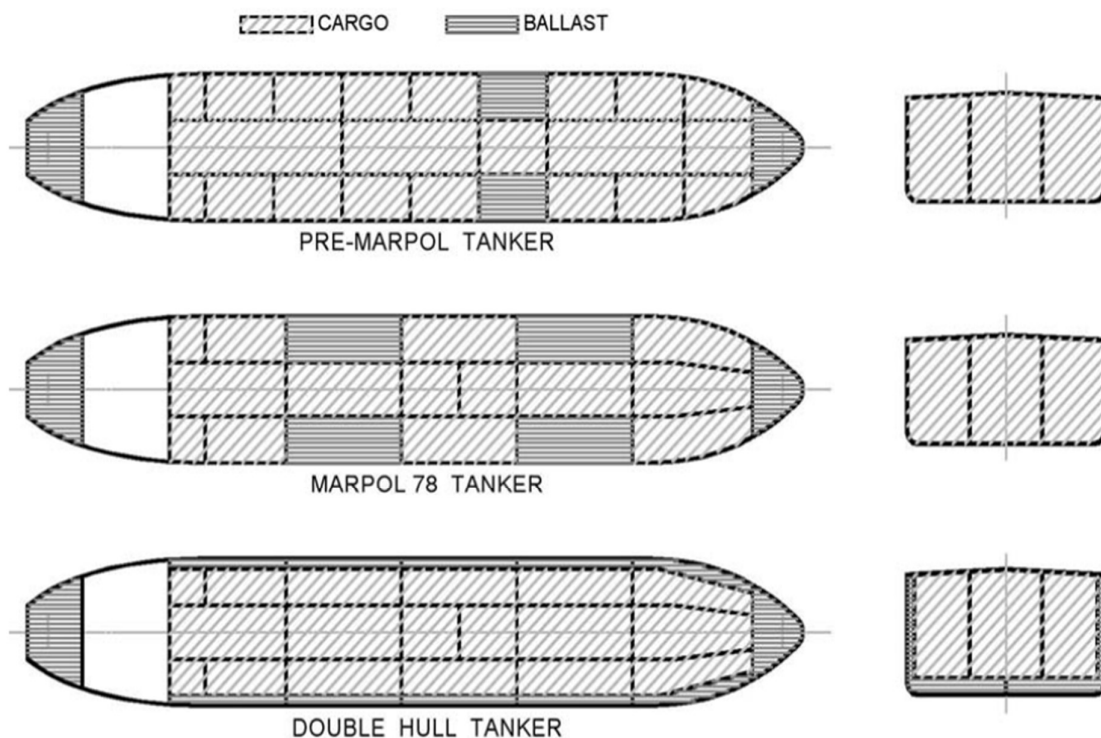
Η απαίτηση της διπλής γάστρας είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς οικολογικών καταστροφών που προκλήθηκαν έπειτα από σειρά ατυχημάτων που αφορούσαν δεξαμενόπλοια και περιγράφεται εκτενώς στους κανονισμούς του Παραρτήματος I της διεθνούς σύμβασης του IMO, MARPOL 73/78. Προτού τεθεί σε ισχύ η συγκεκριμένη σύμβαση, τα δεξαμενόπλοια ήταν κατασκευή μονής γάστρας, ή αλλιώς single hull tankers. Οι δεξαμενές φορτίου χρησιμοποιούνταν, όταν το πλοίο ταξίδευε άφορτο, και ως δεξαμενές έρματος, με αποτέλεσμα τα υπολείμματα του μεταφερόμενου φορτίου να αναμειγνύονται με το έρμα και να απορρίπτονται στην θάλασσα κατά το άδειασμα των δεξαμενών.

Το 1973, η σύμβαση της MARPOL αντικαθιστώντας την παλαιότερη σύμβαση OILPOL 1954, απαίτησε τα νεότευκτα δεξαμενόπλοια άνω των 70,000 DWT να εγκαταστήσουν δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος στην διαμερισματοποίησή τους, απαγορεύοντας παράλληλα την χρήση των δεξαμενών φορτίου ως χώρων αποθήκευσης έρματος (τότε Κανονισμός 13, Παράρτημα I). Η σύμβαση αποσκοπούσε στην προστασία του περιβάλλοντος

από το πετρέλαιο που αποβαλλόταν στη θάλασσα κατά την απόρριψη του έρματος. Ο τύπος των δεξαμενόπλοιων που καθιερώθηκε από την σύμβαση αυτή, έμεινε στην ιστορία ως "pre-MARPOL tankers" ή "non-SBT/PL single hull tankers", δηλαδή δεξαμενόπλοιων με απλή γάστρα, χωρίς την τοποθέτηση δεξαμενών διαχωρισμένου έρματος ώστε να προστατεύονται οι δεξαμενές φορτίου από ρήγμα σε περίπτωση ατυχήματος.

Το Πρωτόκολλο του 1978 της MARPOL, επέφερε νέες σημαντικές αλλαγές στα ισχύοντα ως προς τα δεξαμενόπλοια. Συγκεκριμένα ανέφερε, ότι όλα τα δεξαμενόπλοια άνω των 20,000 DWT θα έπρεπε να έχουν εγκατεστημένες δεξαμενές διαχωρισμένου έρματος. Επιπλέον, απαιτούνταν οι δεξαμενές έρματος να είναι έτσι διευθετημένες στον χώρο του φορτίου, ώστε να δύναται να προστατεύουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό των εσωτερικών δεξαμενών πετρελαίου από τυχόν διαρροή. Το είδος πλοίων που προέκυψε από τη δεδομένη τροποποίηση της αρχικής σύμβασης ονομάστηκε "MARPOL 78" ή αλλιώς "SBT/PL" (Segregated Ballast Tanks/ Protective Location).

Το 1992, συντάχθηκε και επικυρώθηκε από τα αρμόδια όργανα η τροποποίηση της σύμβασης της MARPOL, επεκτείνοντας ουσιαστικά διατάξεις της προηγούμενης νομοθεσίας σε περισσότερα δεξαμενόπλοια και θέτοντας παράλληλα αυστηρότερες απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, όλα τα δεξαμενόπλοια μεταφορικής ικανότητας μεγαλύτερης των 5,000t DWT, με συμφωνητικό παραγγελίας μετά την 6^η Ιουνίου 1993, υποχρεούνται να διαθέτουν διπλή γάστρα ή εναλλακτική σχεδίαση εγκεκριμένη από τον IMO που να παρέχει ισοδύναμο βαθμό προστασίας, με αυτόν της διπλής γάστρας, έναντι της θαλάσσιας ρύπανσης (τότε Κανονισμός 13F, Παράρτημα Ι). Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται οι τρεις διατάξεις pre-MARPOL, MARPOL 78 και Double Hull που κατά χρονική σειρά επικυρώθηκαν ως αποδεκτές από τον διεθνή οργανισμό ναυτιλίας (Papanikolaou et al., 2006).



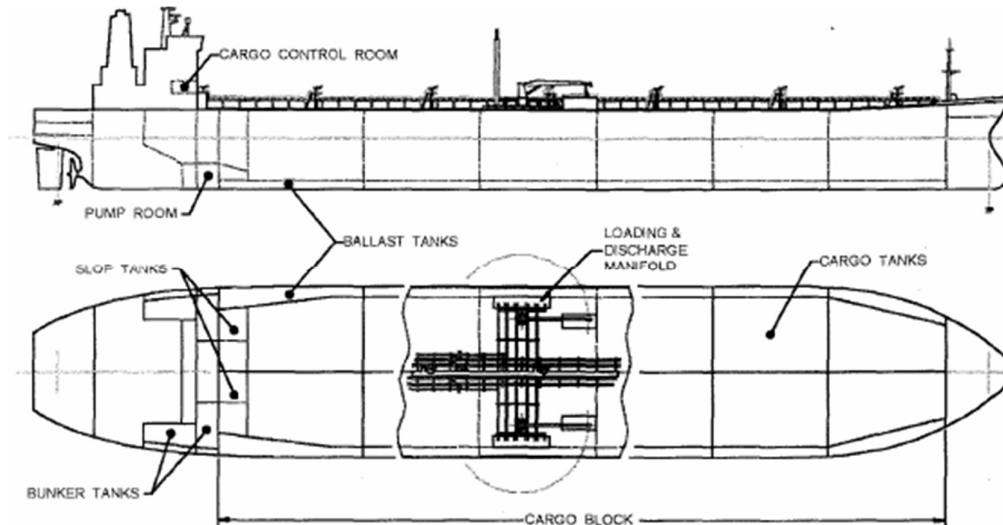
Εικόνα 3. Εξέλιξη της διαμέρισης της γάστρας (Πηγή: Ship Design and Construction, SNAME, edition 2004)

- **Λειτουργικά Συστήματα**

Προκειμένου ένα δεξαμενόπλοιο να φέρει εις πέρας την αποστολή του, δηλαδή την ασφαλή και οικονομική μεταφορά του φορτίου του, επιστρατεύεται ένα εκτεταμένο σύνολο συστημάτων λειτουργίας. Τα συστήματα αυτά ποικίλουν από τα συστήματα πρόωσης στα συστήματα ασφαλείας και από τα συστήματα διαχείρισης φορτίου και έρματος στα συστήματα πρόσδεσης και ασφαλούς πλοήγησης. Τα περισσότερα από αυτά συναντώνται στην πλειονότητα των εμπορικών πλοίων ανεξαρτήτως τύπου. Στο παρόν γίνεται αναφορά στα κύρια συστήματα που εγκαθίστανται στα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αργού πετρελαίου και προϊόντων αυτού και τα οποία τα διαχωρίζουν από τα υπόλοιπα.

- **Δίκτυο άντλησης φορτίου**

Το πιο εμφανές δίκτυο που παρατηρείται εύκολα στο κατάστρωμα ενός δεξαμενόπλοιου είναι αυτό της διαχείρισης του φορτίου. Οι διατάξεις του συστήματος των σωληνώσεων στα δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου είναι πιο απλές σε σχέση με αυτές των υπολοίπων δεξαμενόπλοιων. Ο λόγος είναι ότι τα δεύτερα καλούνται να μεταφέρουν φορτία διαφορετικής φύσης και σύστασης στο ίδιο ταξίδι. Ο αριθμός των αντλιών και η διάταξη των σωληνώσεων επηρεάζονται από τον αριθμό των δεξαμενών αλλά κυρίως από τον αριθμό των βαθμίδων πετρελαίου (grades of oil) που το πλοίο έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει ταυτόχρονα. Κάθε βαθμίδα διαθέτει το δικό της δίκτυο και την δική της αντλία ώστε να αποφευχθεί η ανάμειξη διαφορετικών σε σύσταση προϊόντων. Οι βασικοί τύποι κινητήρων άντλησης (αντλίες) φορτίου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα δεξαμενόπλοια είναι οι υδραυλικοί και οι ατμού (Ζυγομάλας, 2018).



Εικόνα 4. Αντλιοστάσιο, χώρος ελέγχου φορτίου και σωληνώση πολλαπλής εισαγωγής
(Πηγή: Ship Design and Construction, SNAME, edition 2004)

- **Σύστημα αδρανούς αερίου (Inert Gas System)**

Το σύστημα αδρανούς αερίου αποτελεί ένα από τα βασικότερα και πιο αναγκαία συστήματα σε ένα δεξαμενόπλοιο. Ο κύριος σκοπός του συστήματος είναι η τροφοδότηση των δεξαμενών φορτίου με αδρανή αέρια, τα οποία αδρανοποιούν το εκρηκτικό μείγμα αερίων υδρογονανθράκων και οξυγόνου, με αποτέλεσμα την προστασία από ανάφλεξη ή έκρηξη στις δεξαμενές φορτίου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κατά την φορτοεκφόρτωση του πλοίου, όταν μεταβάλλεται ο ελεύθερος όγκος πάνω από την επιφάνεια του φορτίου στον

χώρο της δεξαμενής, αλλά και κατά τη διάρκεια καθαρισμού της με Crude Oil Washing ή την προετοιμασία για επιθεώρηση ή επισκευή της πριν τον εξαερισμό της.

Οι Κανονισμοί 4.5.5 και 16.3.3 του Κεφαλαίου II-2 της SOLAS έφεραν την απαίτηση του εξοπλισμού των Oil Tankers και Chemical Tankers, μεταφορικής ικανότητας άνω των 8,000t DWT, με το εν λόγω σύστημα. Τα αντίστοιχα πλοία μεταφορικής ικανότητας μεγαλύτερης των 20,000t, καλύπτονταν ήδη από του κανονισμούς της σύμβασης, όπου περιγράφονται ενδελεχώς τα δομικά στοιχεία του συστήματος.

Οι πηγές αδρανούς αερίου τις οποίες μπορεί να εκμεταλλευθεί το σύστημα μέσα σε ένα πλοίο είναι:

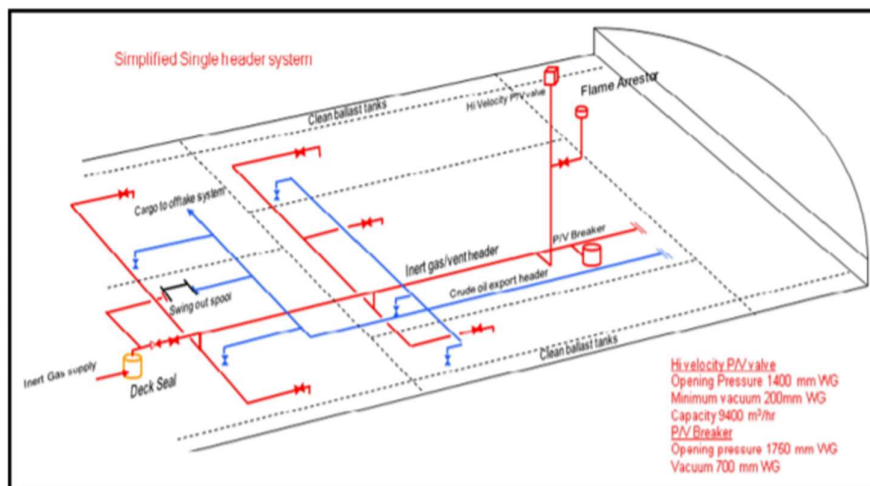
- α) Τα καυσαέρια των λεβήτων
- β) Μία ανεξάρτητη γεννήτρια αδρανούς αερίου IGG (Inert Gas Generator)
- γ) Το σύστημα αδρανούς αερίου με παραγωγή αζώτου (N - Generator)

Μια ειδική γραμμή διανομής διοχετεύει, μέσω ρυθμιστή πίεσεως, το αδρανές αέριο κατά μήκος του καταστρώματος και μέσω των διακλαδώσεων των σωληνώσεων στις δεξαμενές φορτίου και στις δεξαμενές καταλοίπων. Η κύρια γραμμή αδρανούς αερίου του καταστρώματος λειτουργεί και σαν κύρια γραμμή εξαερισμού των δεξαμενών κατά τη διάρκεια χειρισμού φορτίου και είναι συνδεδεμένη με τους εξαεριστήρες για να εξασφαλίζεται η ελεύθερη εξαέρωση προς την ατμόσφαιρα (Ζυγομάλας, 2018).

➤ Σύστημα εξαερισμού δεξαμενών

Βάσει του Κανονισμού 11.6.1 του Κεφαλαίου II-2 της SOLAS, τα δεξαμενόπλοια θα πρέπει να διαθέτουν ειδικά σχεδιασμένο σύστημα εξαερισμού των δεξαμενών, προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση πίεσης ή υποπίεσης εντός αυτών, σε επίπεδα μεγαλύτερα από τις πιέσεις σχεδίασης των δεξαμενών.

Οι κύριες διατάξεις που χρησιμοποιούνται στα συστήματα εξαερισμού είναι το ασφαλιστικό του ιστού (Mast Riser) και τα ανακουφιστικά επιστόμια πίεσεως-κενού (P/V Valves). Σε περίπτωση αστοχίας των παραπάνω, βάσει του κανονισμού 11.6.3.2 του Κεφαλαίου II-2 της SOLAS, τα εν λόγω πλοία θα πρέπει να διαθέτουν δευτερεύοντα μέσα εξαερισμού, τα οποία περιλαμβάνουν την εγκατάσταση και 2^{ης} βαλβίδας πίεσεως-κενού σε κάθε δεξαμενή, ή το κοινό ασφαλιστικό πίεσεως-κενού με υγρό (P/V Breaker), για προστασία από ανώμαλες μεταβολές πίεσεως, σε συνδυασμό με αισθητήρες πίεσεως (Pressure Sensors) σε κάθε δεξαμενή, οι οποίοι θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι με το δωμάτιο ελέγχου φορτίου. Το P/V Breaker είναι συνδεδεμένο με την κύρια γραμμή αδρανούς αερίου και δεν προστατεύει ανεξάρτητες δεξαμενές (Ζυγομάλας, 2018).



Εικόνα 5. Απλοποιημένο διάγραμμα ενιαίου συστήματος εξαερισμού (Πηγή: Ignition Hazards and Area Classification of Hydrocarbon Vents, The Offshore Oil and Gas Industry)

➤ Σύστημα θέρμανσης φορτίου

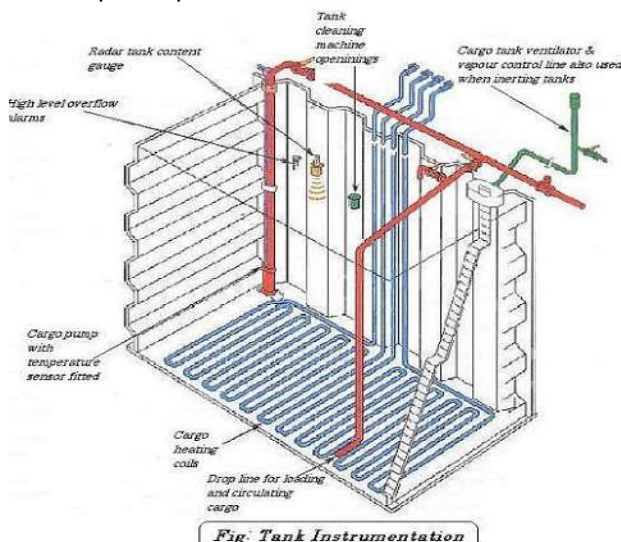
Τα δεξαμενόπλοια μεταφέρουν αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα αυτού ανά τον κόσμο, επομένως οι αλλαγές στο κλίμα της κάθε περιοχής επηρεάζουν την θερμοκρασία του φορτίου. Οι διακυμάνσεις στην θερμοκρασία μπορούν να επιφέρουν πληθώρα προβλημάτων, όπως η αλλοίωση της χημικής σύστασης, η διαφοροποίηση του επιθυμητού ιξώδους, η εμφάνιση δυσκολίας στην εκφόρτωσή, αλλά και η αύξηση της κοπώσεως της μεταλλικής κατασκευής λόγω έντονης εξάτμισης του φορτίου. Για τον λόγο αυτό τα δεξαμενόπλοια εξοπλίζονται με συστήματα θέρμανσης του φορτίου, με τα δύο κυριότερα να είναι τα εξής:

❖ Σύστημα θέρμανσης με στοιχεία καλοριφέρ

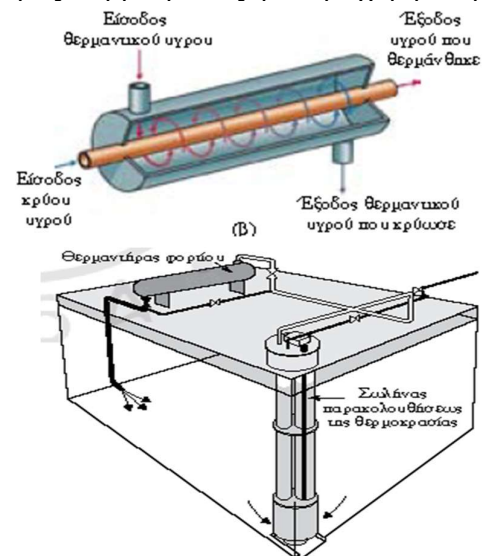
Πρόκειται για τον συνηθέστερο τρόπο θέρμανσης του φορτίου μιας και τα δεξαμενόπλοια κατά βάση διαθέτουν ατμό σε αφθονία. Το φορτίο αποκτά την επιθυμητή θερμοκρασία μέσω στοιχείων καλοριφέρ, τις σερπαντίνες, οι οποίες είναι μικρής διαμέτρου θερμαντικές σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί ο ατμός. Ο ατμός από τους λέβητες οδηγείται υπό πίεση, κατά μήκος του καταστρώματος, δια μέσου ανεξάρτητου μονωμένου σωλήνα και από κει, στις σερπαντίνες κάθε δεξαμενής, συμπεριλαμβανομένων και των δεξαμενών καταλοίπων. Ο ατμός κυκλοφορεί στο χώρο των δεξαμενών, μεταδίδοντας την θερμότητά του στο φορτίο, και στην συνέχεια επιστρέφει στο μηχανοστάσιο, μέσω του σωλήνα επιστροφής. Κάθε δεξαμενή, ανάλογα με τον όγκο της, διαθέτει κατάλληλο δίκτυο σερπαντινών στον πυθμένα της ή/και στα πλευρικά της τοιχώματα.

❖ Σύστημα θέρμανσης με εναλλάκτη θερμότητας

Πρόκειται για ένα σύστημα στο οποίο μέρος του φορτίου αντλείται από την δεξαμενή, κυκλοφορεί από τον εναλλάκτη, όπου και θερμαίνεται, και στην συνέχεια επιστρέφει στη δεξαμενή, μεταδίδοντας την αποκτώμενη θερμότητα στην υπόλοιπη μάζα του φορτίου. Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από κυλινδρικές δεξαμενές τοποθετημένες στο κατάστρωμα του πλοίου και μπορεί να περιέχει σερπαντίνες, μέσα στις οποίες ρέει ατμός, ή δίκτυο μέσα στο οποίο κυκλοφορεί, με την βοήθεια αντλιών, θερμαντικό υγρό που έχει θερμανθεί. Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούν θερμαντικό υγρό θεωρούνται πιο αποδοτικοί έναντι αυτών που διαθέτουν σερπαντίνες, μιας και το υγρό παραμένει σε υγρή φάση καθ' όλη τη διαδικασία της θέρμανσης, επιτυγχάνοντας υψηλές θερμοκρασίες με την χαμηλότερη δυνατή πίεση.



Εικόνα 6. Σύστημα θέρμανσης με στοιχεία καλοριφέρ
(Πηγή: International Safety Guide for Oil Tankers)



Εικόνα 7. Σύστημα θέρμανσης με εναλλάκτη
(Πηγή: Μεταφορά Φορτίων, Νικολάου Α. Ζυγομαλά)

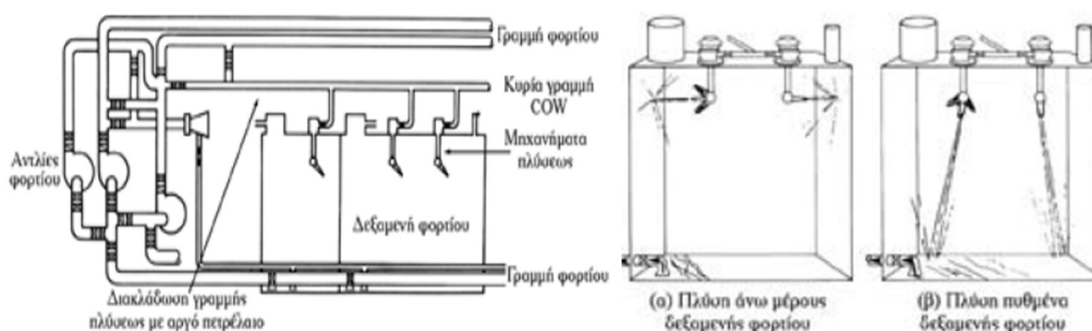
➤ Σύστημα καθαρισμού δεξαμενών

Προκειμένου οι δεξαμενές να βρίσκονται σε θέση να υποδεχθούν το επόμενο τους φορτίο, έπειτα από την εκφόρτωση, αλλά και για να επιθεωρηθούν ή να επισκευασθούν, τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο διαθέτουν σύστημα για τον καθαρισμό των δεξαμενών τους από τυχόν υπολείμματα του φορτίου που μετέφεραν. Οι μέθοδοι πλύσεως που εφαρμόζονται, χρησιμοποιούν είτε νερό, ζεστό ή και κρύο, είτε αργό πετρέλαιο. Η μέθοδος που ακολουθείται, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως τον τύπο του δεξαμενόπλοιου, τον τύπο του φορτίου, το αν οι δεξαμενές αδρανοποιούνται και το λόγο για τον οποίο γίνεται ο καθαρισμός.

❖ Σύστημα πλύσεως με αργό πετρέλαιο (COW-Crude Oil Washing)

Βάσει του Κανονισμού 33 του Παραρτήματος Ι της MARPOL, ορισμένα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αργού πετρελαίου, μεταφορικής ικανότητας των 20,000t και άνω, με συμφωνητικό παράδοσης την 1^η Ιουνίου του 1982, υποχρεούνται να φέρουν το εν λόγω σύστημα καθαρισμού των δεξαμενών τους. Το σύστημα χρησιμοποιεί το αργό πετρέλαιο των δεξαμενών φορτίου, ώστε να απομακρύνει από τα τοιχώματα αυτών τα υπολείμματα του πετρελαίου, το σύνολο δηλαδή των ουσιών που παραμένουν στις δεξαμενές μετά την εκφόρτωση.

Για την εκτέλεση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται μόνιμα μηχανήματα πλύσεως (μασίνια) με ακροφύσια υψηλής πίεσεως και μόνιμες σωληνώσεις. Μια αντλία, φορτίου ή προορισμένη αποκλειστικά για πλύση, κυκλοφορεί στο σύστημα το αργό πετρέλαιο, το οποίο εκτοξεύεται στα τοιχώματα της δεξαμενής με αποτέλεσμα τα υπολείμματα να απομακρύνονται και να απαντλούνται με το υπόλοιπο φορτίο. Κατά την διαδικασία της πλύσεως με αργό πετρέλαιο είναι απαραίτητη η πλήρωση των δεξαμενών με αδρανές αέριο, μέσω του εξειδικευμένου συστήματος, ώστε η ατμόσφαιρα των δεξαμενών να παραμείνει αδρανοποιημένη. Η διαλυτική δράση του αργού πετρελαίου καθιστά την διαδικασία πιο αποτελεσματική έναντι της πλύσεως με νερό, ενώ δεν απαιτείται διαχωρισμός του μείγματος που προκύπτει από την πλύση όπως απαιτείται με το νερό.



Εικόνα 8. Σύστημα πλύσεως με αργό πετρέλαιο (COW-Crude Oil Washing)

(Πηγή: Μεταφορά Φορτίων, Νικολάου Α. Ζυγομαλά)

❖ Σύστημα πλύσεως με νερό

Προτού εμφανισθεί το σύστημα πλύσεως με αργό πετρέλαιο, ο μόνος τρόπος για τον καθαρισμό των δεξαμενών ήταν η χρήση ζεστού νερού. Η μέθοδος αυτή απασχολεί περισσότερα μέλη του πληρώματος και είναι πιο δυσλειτουργική έναντι της COW, λόγω της δημιουργίας μείγματος νερού-πετρελαίου, το οποίο πρέπει να επεξεργασθεί πριν απορριφθεί στην θάλασσα. Ακόμη, το νερό είναι λιγότερο αποτελεσματικό ως μέσο καθαρισμού, ενώ τα σταγονίδια του μπορούν να δημιουργήσουν στατική φόρτιση, το μέγεθος της οποίας θα πρέπει να ελέγχεται για την αποφυγή ατυχημάτων.

Το σύστημα βρίσκει εφαρμογή σε μικρά πετρελαιοφόρα, χημικά πλοία και φορηγίδες. Τα πλοία διαθέτουν αυτοματοποιημένα μπρούτζινα ή ανοξείδωτα μηχανήματα καθαρισμού των δεξαμενών (μασίνια Butterworth), τα οποία είναι φορητά, ανεξάρτητα δηλαδή από την κατασκευή του πλοίου. Τα μασίνια συνδέονται με τις παροχές νερού επί του καταστρώματος και εκτοξεύουν το νερό στις επιφάνειες της δεξαμενής, αφότου αυτή έχει αδειάσει από φορτίο. Το μείγμα που προκύπτει αναρροφάται από το δίκτυο των σωληνώσεων αποστράγγισης και οδηγείται στις δεξαμενές καταλοίπων (Ζυγομάλας, 2018).



Εικόνα 9. Μασίνι Butterworth
(Πηγή: Μεταφορά Φορτίων, Νικολάου Α. Ζυγομαλά)

➤ Σύστημα πυρόσβεσης

Πρωταρχικό μέσο εξάλειψης του κινδύνου πυρκαγιάς αποτελεί η πρόληψη έναντι του φαινομένου. Τα δεξαμενόπλοια πετυχαίνουν τον σκοπό αυτό με την λειτουργία του συστήματος αδρανούς αερίου και τον εξαερισμό των κλειστών χώρων φορτίου, αδρανοποιώντας το δυνητικά εκρηκτικό περιβάλλον των δεξαμενών. Η πυρανίχνευση στους χώρους φορτίου, του μηχανοστασίου, του αντλιοστασίου και της ενδιάμεσης επιτυγχάνεται, επιγραμματικά, με αυτόματα συστήματα πυρανίχνευσης.

Για τον περιορισμό και την κατάσβεση της πυρκαγιάς, τα δεξαμενόπλοια διαθέτουν φορητά και μόνιμα πυροσβεστικά συστήματα. Τα φορητά συστήματα περιλαμβάνουν τους πυροσβεστήρες χειρός (νερού, διοξειδίου του άνθρακα, ξηράς σκόνης, αφρού) ενώ τα μόνιμα αποτελούνται από δίκτυα πυροσβεστικού νερού, αφρού και διοξειδίου του άνθρακα.

Πέρα από τις πυροσβεστικές φωλιές στο κατάστρωμα των δεξαμενόπλοιων, οι κανονισμοί ασφαλείας επιβάλλουν την εγκατάσταση του συστήματος αφρού καταστρώματος. Το σύστημα τροφοδοτείται από τη δεξαμενή του συμπυκνώματος αφρού, μέσω σωληνώσεων. Ο αφρός συγκεντρώνεται στους ειδικούς σταθμούς επάνω στο κατάστρωμα και από εκεί εκτοξεύεται στην φωτιά με ειδικό κανόνι (Ζυγομάλας, 2018).

2.4. Διεθνείς Οργανισμοί και Ενώσεις

Το παγκόσμιο αντίκτυπο της ναυτιλίας και η οικουμενική φύση του εμπορίου συντέλεσαν στην ίδρυση διεθνών οργανισμών και ενώσεων, στόχος των οποίων είναι η ομαλή, οργανωμένη και ασφαλής διεξαγωγή των θαλάσσιων μεταφορών, η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και του ανθρώπινου δυναμικού, η διασφάλιση των συμφερόντων των εργοδοτών και των εργαζομένων αλλά και η κάλυψη πληθώρας άλλων ζητημάτων όπως η σύνταξη κανονιστικών πλαισίων και διεθνών συμβάσεων για την ρύθμιση των προηγούμενων (<https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO>). Στην παρούσα ενότητα γίνεται αναφορά στους μεγαλύτερους ναυτιλιακούς οργανισμούς, στο έργο το οποίο επιτελούν και στην προσφορά τους στην διεθνή ναυτιλιακή κοινότητα.

- **Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO)**

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization, IMO) είναι ένας πολυεθνικός, διακυβερνητικός οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών, αρμόδιος για την ασφαλή και προστατευμένη περάτωση των θαλάσσιων μεταφορών και για τον έλεγχο και τον

περιορισμό της θαλάσσιας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την δραστηριότητα του παγκόσμιου ναυτικού στόλου. Επίσης επιβλέπει την σωστή εφαρμογή των διεθνών κανονισμών ναυσιπλοΐας και είναι υπεύθυνος για την ομαλή επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των Κρατών-Μελών αυτού.

Ο κύριος ρόλος του IMO είναι η θέσπιση ενός ενιαίου ρυθμιστικού πλαισίου για την ναυτιλιακή βιομηχανία, το οποίο θα είναι δίκαιο και αποτελεσματικό, παγκοσμίως αποδεκτό και εφαρμόσιμο. Με άλλα λόγια, το έργο του διασφαλίζει πως οι κάτοχοι και οι διαχειριστές των στόλων δεν θα προβαίνουν σε παρασπονδίες που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πληρωμάτων/επιβατών και του περιβάλλοντος, με σκοπό την μεγιστοποίηση των οικονομικών τους συμφερόντων. Επίσης, ασχολείται με τη διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας καθώς και με νομικά ζητήματα που δύνανται να προκύψουν από τη δραστηριοποίηση της διεθνούς ναυτιλίας, συμπεριλαμβανομένων ζητημάτων ευθύνης και αποζημίωσης από ναυτικές απαιτήσεις. Ο οργανισμός αριθμεί 174 Κράτη-Μέλη (Member States) και 3 Συνδεδεμένα Μέλη (Associate Members), ενώ 63 Διακυβερνητικοί Οργανισμοί (IGOs) έχουν υπογράψει συμφωνίες συνεργασίας με τον IMO και 80 Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (NGOs) έχουν συμβουλευτικό ρόλο.

Οι τρεις (3) «Συμβάσεις Κλειδιά» του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας είναι η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) και η Διεθνής Σύμβαση για τα Πρότυπα Εκπαίδευσης, Πιστοποίησης και Τήρησης Φυλακών των Ναυτικών (STCW). Αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο της ανθρώπινης θαλάσσιας δραστηριότητας και άνοιξαν τον δρόμο για την θωράκιση της ναυτιλιακής βιομηχανίας με ένα ενιαίο κανονιστικό πλαίσιο (<https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO>). Η Διεθνής Σύμβαση της MARPOL αναλύεται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο της έκθεσης μιας και τα Παραρτήματά της βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στα δεξαμενόπλοια.

- **Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (IACS)**

Η Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (International Association of Classification Societies, IACS) είναι μία Μη Κυβερνητική Οργάνωση με έδρα το Λονδίνο, ιδρύθηκε στις 11 Σεπτεμβρίου 1968 στο Αμβούργο και αποτελεί τον κύριο συνεργάτη του IMO με συμβουλευτικό ρόλο, σε θέση παρατηρητή. Μέσω αυτού εκδίδονται οι διάφορες οδηγίες του IMO ενώ έχει στενή συνεργασία με την ναυτιλιακή βιομηχανία και γενικότερα με την ναυτιλιακή κοινότητα. Αποτελείται από 13 διεθνώς αναγνωρισμένους νηογνώμονες, μεταξύ των οποίων ο Αγγλικός (LR), ο Αμερικανικός (ABS), ο Γαλλικός (BV), ο Γερμανικός (GL), ο Ιταλικός (RINA) και ο Νορβηγικός (DNV).

Το βασικό αντικείμενο του IACS είναι ο έλεγχος της εφαρμογής των κανονισμών, κατά την κατασκευή του πλοίου και καθ' όλη την διάρκεια της ζωής αυτού, η καταγραφή των επιπέδων ασφάλειας των πλοίων, κατηγοριοποιώντας αυτά σε κλάσεις, όσο και των μέτρων κατά της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, μέσω των κανονισμών πολλαπλής συμμόρφωσης των πλοίων, προκύπτουν πρότυπα κανόνων που ορίζονται από τους νηογνώμονες του IACS. Συγκεκριμένα, η Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων συνέθεσε μεταξύ άλλων, στις 14 Δεκεμβρίου 2005, τους κοινούς κατασκευαστικούς κανόνες για δεξαμενόπλοια διπλού τοιχώματος και την 1η Απριλίου 2006, τους κοινούς κατασκευαστικούς κανόνες για πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου. Το 2014 τα δυο αυτά πακέτα κανονισμών εναρμονίστηκαν και συνέθεσαν τους κοινούς κατασκευαστικούς κανόνες για τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου και υγρού φορτίου χύδην (Common Structural Rules, CSR). Σκοπός των κοινών κατασκευαστικών κανόνων είναι ο ορθολογικότερος σχεδιασμός και η πρόσδοση ικανοποιητικής ανθεκτικότητας στις νέες σχεδιάσεις των εμπορικών πλοίων, ώστε να επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία σε όλη την περίοδο λειτουργίας τους (<https://www.iacs.org.uk/about/>).

- **Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξ/πλοίων (INTERTANKO)**

Η Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιοιων (International Association of Independent Tanker Owners, INTERTANKO) ιδρύθηκε το 1934 με αρχική ονομασία "International Tanker Owners Association" και το 1970 μετονομάστηκε σε "INTERTANKO". Με έδρα της το Όσλο της Νορβηγίας, αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες ενώσεις πλοιοκτητών. Ο στόλος των μελών της αποτελείται από 4.162 δεξαμενόπλοια, με την συνολική μεταφορική του ικανότητα να ανέρχεται στους 371 εκατομμύρια τόνους (περίπου 17% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου εμπορικού στόλου).

Κύριο αντικείμενο της είναι η προάσπιση των συμφερόντων των μελών της ανά τον κόσμο, με την συμμετοχή της, ως παρατηρητής, στις κανονιστικές συνδιασκέψεις του IMO και των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) αλλά και η ενημέρωση των μελών της σε θέματα που αφορούν τεχνικά, επιχειρησιακά αλλά και νομικά ζητήματα που προκύπτουν από την δραστηριότητα των δεξαμενόπλοιοιων. Ακόμη, συμβάλει καθοριστικά στην διασφάλιση μιας ελεύθερης και ανταγωνιστικής αγοράς, προασπίζοντας την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος και αναπτύσσοντας, μαζί με τα μέλη της, κοινές και εποικοδομητικές πολιτικές εκπροσώπησης τους. Τέλος, η ένωση αποσκοπεί στον μελλοντικό εκμηδενισμό των ανθρωπίνων απωλειών, της ρύπανσης και των κυρώσεων που πηγάζουν από την διακίνηση του πετρελαίου, προωθώντας την εξειδίκευση όσων εμπλέκονται στην διαδικασία αυτή (<https://www.intertanko.com/about-us>).

- **Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιοιων για Θέματα Ρύπανσης (ITOPF)**

Η Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενοπλοίων για Θέματα Ρύπανσης (International Tanker Owners Pollution Federation, ITOPF) είναι ένας διεθνής Μη Κυβερνητικός Οργανισμός ιδιοκτητών δεξαμενόπλοιοιων που εδρεύει στο Λονδίνο, με συμβουλευτικό χαρακτήρα, για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης αλλά και την αντιμετώπιση αυτής. Ιδρύθηκε το 1969 ως μια εθελοντική οργάνωση, έναν χρόνο μετά το ναυάγιο του "Torrey Canyon", το οποίο προκάλεσε την μεγαλύτερη οικολογική καταστροφή που είχε προκληθεί ποτέ από δεξαμενόπλοιο. Στο πλαίσιο της ανάγκης για τη διαχείριση παρόμοιων καταστροφών και τη λήψη μέτρων περιορισμού των επιπτώσεών τους, αλλά και για την αποζημίωση των πληγέντων, δημιούργησε το σύστημα αποζημίωσης TOVALOP, το οποίο ίσχυσε μέχρι το 1997 και αποτέλεσε πηγή για την συνομολόγηση των δυο διεθνών συνθηκών του IMO, περί της αστικής ευθύνης επί της μόλυνσης του θαλασσιού περιβάλλοντος και του κοινού ταμείου αποζημίωσης (CLC και FUND).

Η ITOPF παρέχει τεχνικές συμβουλές για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρελαιοειδή, αλλά και σχέδια για τον περιορισμό και την καταστολή των πετρελαιοκηλίδων που προκύπτουν υπό οποιαδήποτε αιτία. Το έργο της αναγνωρίζεται ευρέως από τους κρατικούς φορείς των ναυτικών χωρών ενώ ανήκει στις Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις που κατέχουν συμβουλευτικό χαρακτήρα στον IMO. Μέσω της μεγάλης βάσης δεδομένων που διαθέτει, σχετικά με τα περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης που έχουν σημειωθεί παγκοσμίως από δεξαμενόπλοια, πραγματοποιεί στατιστικές αναλύσεις επί του θέματος και εξάγει συμβουλευτικούς οδηγούς για την περιβαλλοντική πολιτική της διεθνούς κοινότητας ή του εκάστοτε κράτους. Ακόμη συμβάλει στην εξέλιξη της ναυπήγησης ασφαλέστερων δεξαμενόπλοιοιων και την επαύξηση της τεχνικής υποδομής εγκαταστάσεων πετρελαιοειδών (<https://www.itopf.org/about-us/>).

2.5. Η Διεθνής Σύμβαση "MARPOL"

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL) αποτελεί την κύρια διεθνή σύμβαση που καλύπτει την ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, λόγω της λειτουργίας των πλοίων ή λόγω ναυτικών ατυχημάτων, και την πρόληψη αυτής, μέσα από τους κανονισμούς των έξι Παραρτημάτων της. Χαρακτηρίζεται ως μια «Συνθήκη Κλειδί» από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό και βρίσκει, μεταξύ των άλλων, ευρεία εφαρμογή στον σχεδιασμό, την κατασκευή και την λειτουργία των πλοίων μεταφοράς υγρού φορτίου χύδην.

Το ερώτημα σχετικά με την θαλάσσια ρύπανση που προκαλείται από την ναυτιλιακή δραστηριότητα, τέθηκε επί τάπητος στο Συνέδριο του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον, τον Ιούνιο του 1972 στην Στοκχόλμη. Την ίδια χρονιά, διεξήχθη στο Λονδίνο το Συνέδριο όπου υιοθετήθηκε η Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από την Απόρριψη Αποβλήτων και λοιπών Ουσιών, γνωστή ως "Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter (LC)". Στόχος της ήταν ο έλεγχος των βιομηχανικών και λοιπών αποβλήτων που απορρίπτονταν στην θάλασσα, τόσο από τα πλοία όσο και από τα αεροσκάφη.

Έναν χρόνο μετά, στις 2 Νοεμβρίου του 1973, υιοθετήθηκε η Διεθνής Σύμβαση MARPOL 73, η οποία ενσωμάτωσε ένα μεγάλο κομμάτι της μέχρι πρότινος ισχύουσας Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από το Πετρέλαιο, του 1954, γνωστή και ως OILPOL, μαζί με τις τροποποιήσεις της, αυτές του 1962, 1969 και 1971. Τα Πρωτόκολλα I και II της σύμβασης υιοθετήθηκαν επίσης στο συνέδριο που διεξήχθη. Η σύμβαση MARPOL73, ενώ απαιτούσε την επικύρωση από 15 Μέλη-Κράτη, που αντιπροσώπευαν περισσότερο από το 50% της ολικής χωρητικότητας του παγκόσμιου εμπορικού στόλου, μέχρι το 1976 είχε λάβει έγκριση μόνο από 3 Μέλη (Ιορδανία, Κένυα και Τυνησία), ποσοστό μικρότερο του 1%, παρά το γεγονός πως για να επικυρώσουν την σύμβαση τα Μέλη θα έπρεπε να συμφωνήσουν για την εφαρμογή μόνο των Παραρτημάτων I (πετρέλαιο) και II (χημικά), με τα Παραρτήματα III, IV και V (επιβλαβείς συσκευασμένες ουσίες, λύματα και απορρίμματα) να είναι προαιρετικά. Δημιουργήθηκε λοιπόν η εντύπωση πως η Σύμβαση, παρά την μεγάλη της σπουδαιότητα, δεν θα θέτονταν ποτέ σε ισχύ.

Μια σειρά ατυχημάτων την περίοδο 1976-1977, με πρωταγωνιστές τα δεξαμενόπλοια, οδήγησε τον IMO στην σύγκληση εκτάκτου διάσκεψης σχετικά με την ασφάλεια των πετρελαιοφόρων και την πρόληψη της ρύπανσης, τον Φεβρουάριο του 1978. Εκεί υιοθετήθηκαν μέτρα σχετικά με την σχεδίαση και την λειτουργία των δεξαμενόπλοιων, τα οποία ενσωματώθηκαν στο Πρωτόκολλο του 1978, βάσει του οποίου τροποποιήθηκαν οι Συμβάσεις της SOLAS74 και της MARPOL73. Μιας και η MARPOL73 δεν είχε τεθεί ακόμη σε ισχύ, το Πρωτόκολλο του 1978 αφομοίωσε την αρχική σύμβαση του 1973, με τον συνδυασμό των 2 να ορίζεται ως η «Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία», 1973 όπως τροποποιείται από το Πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL 73/78) και τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 για το Παράρτημα I, σχετικά με το πετρέλαιο και το επιβαρυμένο με πετρέλαιο έρμα. Η απαίτηση της Σύμβασης για την επικύρωση μόνο του Παραρτήματος I από τα Μέλη, διευκόλυνε την αποδοχή αυτής, ανοίγοντας τον δρόμο για τη επικύρωση και των υπόλοιπων Παραρτημάτων (Παπανικολάου, 2016).

Συγκεκριμένα για το Παράρτημα II, το οποίο καλύπτει την χύδην μεταφορά χημικών ουσιών, δόθηκε μια περίοδος χάριτος τριών ετών από την ημερομηνία ισχύος του Πρωτοκόλλου του 1978 και τέθηκε σε ισχύ στις 6 Απριλίου 1987, ενώ το Παράρτημα V, το οποίο καλύπτει τα απορρίμματα των πλοίων, τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988. Το Παράρτημα III, σχετικά με τις επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται συσκευασμένες, ίσχυσε την 1^η Ιουλίου 1992 και το Παράρτημα IV, σχετικά με τα λήμματα, στις 27 Σεπτεμβρίου 2003. Τον Σεπτέμβριο του 1997, επικυρώνοντας το Πρωτόκολλο του 1997, ο IMO υιοθέτησε το

καινούργιο Παράρτημα VI, το οποίο αφορά την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα καυσαέρια των πλοίων και τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005 (IMO, 1998).

Τα Παραρτήματα της MARPOL και η ημερομηνία που τέθηκαν σε ισχύ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Annex	Title	Entry into force ^{[1][6]}
Annex I	Prevention of pollution by oil & oily water	2 October 1983
Annex II	Control of pollution by noxious liquid substances in bulk	6 April 1987
Annex III	Prevention of pollution by harmful substances carried by sea in packaged form	1 July 1992
Annex IV	Pollution by sewage from ships	27 September 2003
Annex V	Pollution by garbage from ships	31 December 1988
Annex VI	Prevention of air pollution from ships	19 May 2005

Πίνακας 3. Τα Παραρτήματα της σύμβασης MARPOL 73/78 και οι ημερομηνίες έναρξης ισχύος τους
(Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78#Provisions)

Από το 1973 έως σήμερα, η σύμβαση της MARPOL έχει τροποποιηθεί, μετά την σύμβαση της SOLAS, τις περισσότερες φορές από οποιαδήποτε άλλη σύμβαση. Το Παράρτημα I είναι αυτό το οποίο έχει υποστεί τις περισσότερες τροποποιήσεις, με το Πρωτόκολλο του 1978 (επέκταση της απαίτησης δεξαμενών διαχωρισμένου έρματος) και τις τροπολογίες των 1984 (υδατοστεγής υποδιαίρεση και ευστάθεια κατόπιν βλάβης), 1992 (απαίτηση διπλής γάστρας) και 1994 (κριτήρια άθικτης ευστάθειας) να θεσπίζουν θεμελιώδεις αλλαγές στις μεθόδους σχεδίασης και κατασκευής των δεξαμενόπλοιων της σύγχρονης εποχής.

3. Μελέτη Σχεδίασης

3.1. Γενικά περί μελέτης

Η διαδικασία της μελέτης και σχεδίασης ενός πλοίου αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία μιας και εξαρτάται άμεσα από την περιπλοκή των συχνώς αντικρουόμενων απαιτήσεων, σε τεχνικό και οικονομικό επίπεδο, σε συνδυασμό με τους ισχύοντες κανονισμούς ασφαλείας. Ακόμη, το δυναμικό πεδίο δραστηριότητας του πλοίου, η επιφάνεια της θάλασσας, επιφέρει την χρονικά μεταβαλλόμενη (δυναμική) φόρτιση της μεταλλικής κατασκευής της γάστρας και πολλά άλλα φαινόμενα υδροστατικής και υδροδυναμικής φύσης.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό το γεγονός πως η συνολική διαδικασία της ναυπήγησης, από την μελέτη και σχεδίαση μέχρι την κατασκευή του ετοιμοπαράδοτου πλοίου χωρίζεται σε επιμέρους στάδια, τα οποία συνθέτουν την επαναληπτική διαδικασία προσδιορισμού των διαφόρων στοιχείων του πλοίου (Παπανικολάου, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της μελέτης και σχεδίασης μπορεί να απεικονισθεί ως μια σπειροειδής επαναληπτική διαδικασία όπως παρουσιάστηκε από τον J.H.Evans το 1959, (Εικόνα 10), κατά την οποία εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων επιλογών σχεδίασης και μπορεί να διαχωριστεί στις εξής τέσσερις βασικές φάσεις:

A. Μελέτη Εφικτότητας ή Αρχικού Σχεδιασμού (Concept Design)

Στην παρούσα φάση λαμβάνονται υπόψιν οι απαιτήσεις του πλοιοκτήτη με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό των κυρίων διαστάσεων και τον προσδιορισμό των συντελεστών μορφής του πλοίου, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτές

B. Προμελέτη (Preliminary Design)

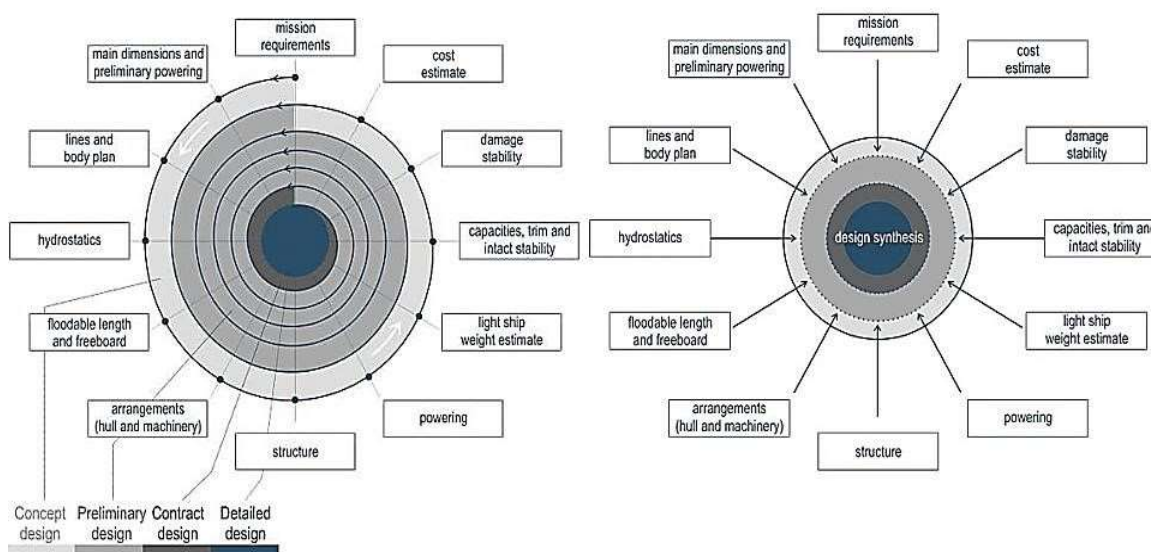
Έπεται της φάσης του Αρχικού Σχεδιασμού και αποτελεί μια πιο λεπτομερή μελέτη, όπου δημιουργείται μια σειρά σχεδίων, όπως το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών και τα σχέδια γενικής διάταξης και χωρητικότητας, ενώ διενεργείται σειρά υπολογισμών όπου καθορίζονται το βάρος του άφορτου σκάφους, η ευστάθεια της γάστρας, η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και το κόστος της κατασκευής.

Γ. Συμβατική Μελέτη ή Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design)

Αποτελεί την φάση κατά την οποία μια τελική σχεδίαση παρουσιάζεται στον πλοιοκτήτη. Εκτελούνται λεπτομερείς υδροστατικοί κ υδροδυναμικοί υπολογισμοί, που βασίζονται στην τελική διαμόρφωση της γάστρας και οριστικοποιείται η εσωτερική διαρρύθμιση της. Επιπλέον, διενεργούνται μελέτες που αφορούν τον ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό σχεδιασμό και τέλος προσδιορίζεται με ακρίβεια η ταχύτητα και το κόστος κατασκευής του πλοίου. Σε αυτό το σημείο το πλοίο έχει προσδιοριστεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε μπορούν πλέον ο πλοιοκτήτης και το ναυπηγείο να προχωρήσουν στην υπογραφή της σύμβασης ναυπήγησης.

Δ. Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detailed Design)

Πρόκειται για το τελευταίο στάδιο της σχεδιαστικής διαδικασίας όπου πραγματοποιείται η λεπτομερής σχεδίαση όλων των κατασκευαστικών στοιχείων και των στοιχείων εξοπλισμού του πλοίου. Εκπονούνται αναλυτικά σχέδια εγκατάστασης του εξοπλισμού που έχει ήδη επιλεγεί στη σύμβαση ναυπήγησης ενώ διενεργείται ο τελικός έλεγχος συμμόρφωσης με τους ισχύοντες κανονισμούς.



Εικόνα 10. Αριστερά η παραδοσιακή σπειροειδής μέθοδος σχεδίασης πλοίου (J.H.Evans, 1959), δεξιά η σύγχρονη ολοκληρωμένη προσέγγιση μελέτης και σχεδίασης πλοίου (Πηγή: Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, Παπανικολάου 2011)

Με την εισαγωγή των συστημάτων υπολογιστικής σχεδίασης CAD/CAE (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering), η επαναληπτική διαδικασία της μελέτης και σχεδίασης απλοποιήθηκε ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός έργου μειώθηκε. Η πολυπλοκότητα υπολογισμών δεν δυσχεραίνει πλέον τη δουλειά του σχεδιαστή, μιας και εκτελεί αναλυτικούς υπολογισμούς σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και πραγματοποιεί αλλαγές και τροποποιήσεις σε αυτούς, ενώ η όλη διαδικασία ενημερώνεται αυτόματα (Παπανικολάου, 2011).

Η υπολογιστική θεωρία των συστημάτων CAD/CAE βασίζεται στην παραμετρική σχεδίαση μέσω μιας αλγοριθμικής προσέγγισης, όπου προσδιορίζονται οι παράμετροι και οι κανόνες μεταξύ της πρόθεσης της μελέτης και της απόκρισης του τελικού σχεδιασμού. Ο παραμετρικός σχεδιασμός μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες, τον μερικώς παραμετρικό (ημι-παραμετρικό) και τον πλήρως παραμετρικό.

Για τις ανάγκες σχεδίασης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε ο ημι-παραμετρικός σχεδιασμός, με τα κύρια λογισμικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται να είναι τα προγράμματα της σουίτας Avena Marine. Το πατρικό πλοίο, από το οποίο αντλούνται βασικά γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά, είναι ένα δεξαμενόπλοιο μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου (Product Carrier) τύπου Panamax, μεταφορικής ικανότητας 75,000 tn, στο βύθισμα αντοχής, ενώ το υπό μελέτη δεξαμενόπλοιο ανήκει στην κλάση Aframax, με μεταφορική ικανότητα 80,000 tn, στο βύθισμα σχεδίασης. Οι ναυπηγικές γραμμές του υπό μελέτη πλοίου, το οποίο από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως "M.V. Julia", σχεδιάστηκαν μέσω του προγράμματος "Lines" της Avena Marine, ενώ η μοντελοποίηση και η εσωτερική διαμερισματοποίηση της παραγόμενης γάστρας πραγματοποιήθηκε με την χρήση του προγράμματος "Surface and Compartment" της ίδιας σουίτας λογισμικών. Μέσω του προγράμματος "Hydrostatics and Hydrodynamics" υπολογίστηκαν τα απαραίτητα υδροστατικά μεγέθη της γάστρας αλλά και αναπτύχθηκαν οι διάφορες καταστάσεις φόρτωσης του μοντέλου, ώστε να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος συμμόρφωσης με κριτήρια ναυσιπλοΐας των ισχυόντων κανονισμών.

3.2. Αποτελέσματα Προμελέτης Σχεδίασης

Στον Πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία που προέκυψαν από τις προσεγγίσεις της προμελέτης σχεδίασης (Παράρτημα Α), τα οποία θα αξιοποιηθούν στην φάση της μοντελοποίησης της γάστρας και των δεξαμενών του υπό σχεδίαση δεξαμενόπλοιου.

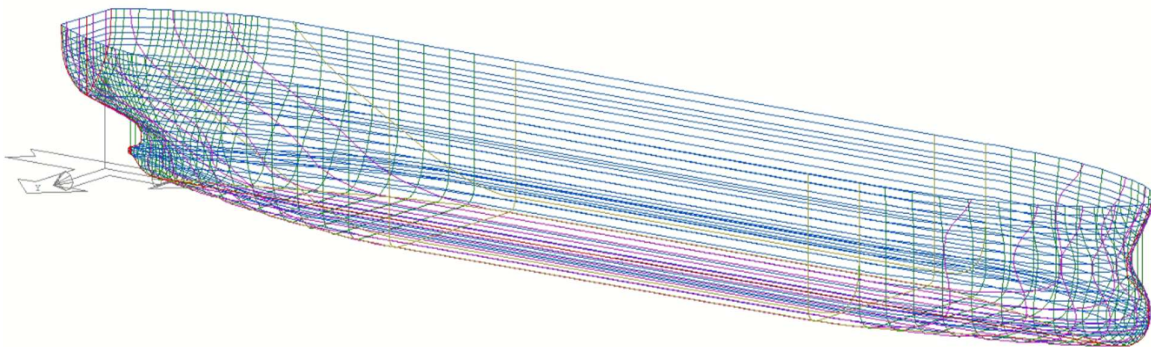
M.V. JULIA				
Κύριες Διαστάσεις	Ολικό Μήκος	L _{OA}	abt. 226.40	m
	Μήκος μεταξύ καθέτων	L _{BP}	219.00	m
	Πλάτος (moulded)	B	36.00	m
	Κοίλο (moulded)	D	20.70	m
	Βύθισμα Σχεδίασης (moulded)	T _d	14.00	m
Συντελεστές Μορφής/Λοιπά Μεγέθη @ T ^{design}	Συντελεστής Γάστρας	C _B	0.8440	
	Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας (εκτίμηση)	C _{WP}	0.8960	
	Πρισματικός Συντελεστής (εκτίμηση)	C _P	0.8500	
	Συντελεστής Μέσης Τομής (εκτίμηση)	C _M	0.9929	
	Εκτόπισμα	Δ	95,672.59	t
	Πρόσθετο Βάρος	DWT	80,277.59	t
Κατασκευαστικά Στοιχεία	Βάρος Lightship	LS	15,395.00	t
	Ύψος Διπύθμενου	h _{DB}	2.450	m
	Απόσταση Διπλών Τοιχωμάτων	w _{DH}	2.450	m
	Κυρτότητα Κύριου Καταστρώματος	b	1.000	m
	Σιμότητα Κύριου Καταστρώματος	s	0.000	m
	Πρυμναίο Μήκος	L _{AFT}	9.60	m
	Μήκος Μηχανοστασίου	L _{ER}	29.60	m
	Μήκος Ωφέλιμου Φορτίου	L _{CARGO}	169.68	m
	Πρωραίο Μήκος	L _{FWD}	10.12	m
	Όγκος Δεξαμενών Φορτίου (εκτίμηση)	V _{CARGO}	92,472.7	m ³
	Όγκος Κύριων Δεξαμενών Έρματος (εκτίμηση)	V _{BALLAST}	32,989.5	m ³
	Μέγιστη Συνεχής Ισχύς Προωστήριας Εγκατ.	MCR	14,880	kW
Στοιχεία Εκτίμησης Καταστάσεων Φόρτιωσης	FULL LOAD DEPARTURE (s.g. 0.849 t/m³)			
	Εκτόπισμα	Δ _{FLD}	95,672.59	t
	Βύθισμα (moulded)	T _{FLD}	14.000	m
	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Βάρους	KG	11.814	m
	Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους	LCG	114.791	m
	Ανύψωση Κέντρου Βάρους (λόγω FSM)	GG _O	0.698	m
	Διορθωμένη Κατακόρυφη Θέση Βάρους	KG _O	12.512	m
	Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου	KM _T	14.946	m
	Μετακεντρικό Ύψος (με διόρθωση για FSM)	G _O M	2.434	m
	FULL LOAD ARRIVAL (s.g. 0.849 t/m³)			
	Εκτόπισμα	Δ _{FLA}	93,077.64	t
	Βύθισμα (moulded)	T _{FLA}	13.642	m
	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Βάρους	KG	11.713	m
	Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους	LCG	117.121	m
	Ανύψωση Κέντρου Βάρους (λόγω FSM)	GG _O	0.718	m
	Διορθωμένη Κατακόρυφη Θέση Βάρους	KG _O	12.431	m
	Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου	KM _T	14.945	m
	Μετακεντρικό Ύψος (με διόρθωση για FSM)	G _O M	2.514	m

Πίνακας 4. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Προμελέτης Δεξαμενόπλοιου "M.V. Julia"

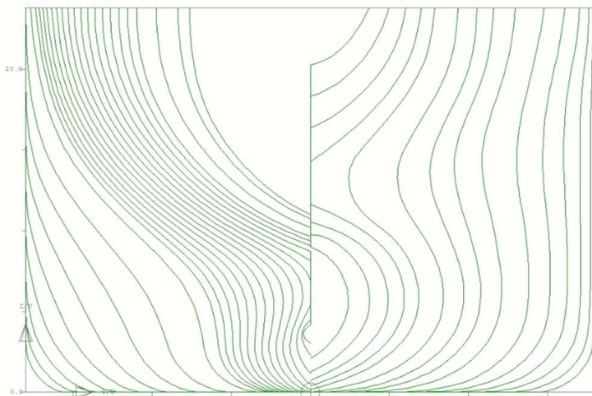
3.3. Μοντελοποίηση Γάστρας

Έχοντας ολοκληρώσει την διαδικασία της Προμελέτης του υπό σχεδίαση πλοίου, ακολουθεί η μοντελοποίηση και η μελέτη αξιοπλοΐας αυτού. Για την ανάπτυξη των ναυπηγικών γραμμών έγινε χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος “Lines”.

Η σχεδίαση της τελικής γεωμετρίας περιλαμβάνει μια κυκλική διαδικασία εξομάλυνσης των σχεδιαστικών νομέων και ισάλων, με σκοπό τόσο την γεωμετρική ομαλότητα των καμπυλών όσο και την επίτευξη ικανοποιητικών υδροστατικών μεγεθών που εκτιμήθηκαν στο στάδιο της Προμελέτης. Συγκεκριμένα η εξομάλυνση ολοκληρώθηκε με την προσέγγιση του συντελεστή γάστρας C_B στο βύθισμα σχεδίασης ($C_B=0.844$) και της διαμήκου θέσης κέντρου άντωσης LCB, σχετικά παραπλήσια με την διαμήκη θέση του κέντρου βάρους (LCG) των καταστάσεων φόρτωσης που εξετάστηκαν στην Προμελέτη ($LCB=115.49$ m). Στις Εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της σχεδίασης της γάστρας.

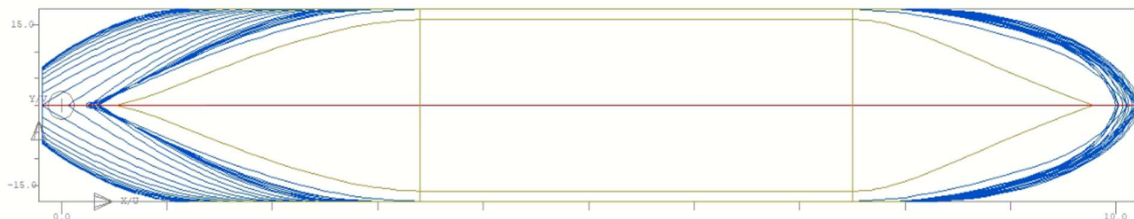


Εικόνα 11. Το παραχθέν πλέγμα του μοντέλου της γάστρας στο περιβάλλον του “Lines”



Εικόνα 12. Καμπύλες νομέων (Sections)

Για την περιγραφή των περιοχών της πρύμνης (στην απόληξη του άξονα της έλικας) και πλώρης (στον βολβό), όπου η γεωμετρία της γάστρας μεταβάλλεται έντονα, εισήχθη μεγάλο πλήθος νομέων και ισάλων. Τέλος, έχοντας καταλήξει στην οριστική θέση των σημείων των ανωτέρων καμπυλών, εισήχθησαν οι καμπύλες Buttocks σε σταθερές διαμήκεις τομές, μέσω παρεμβολής.

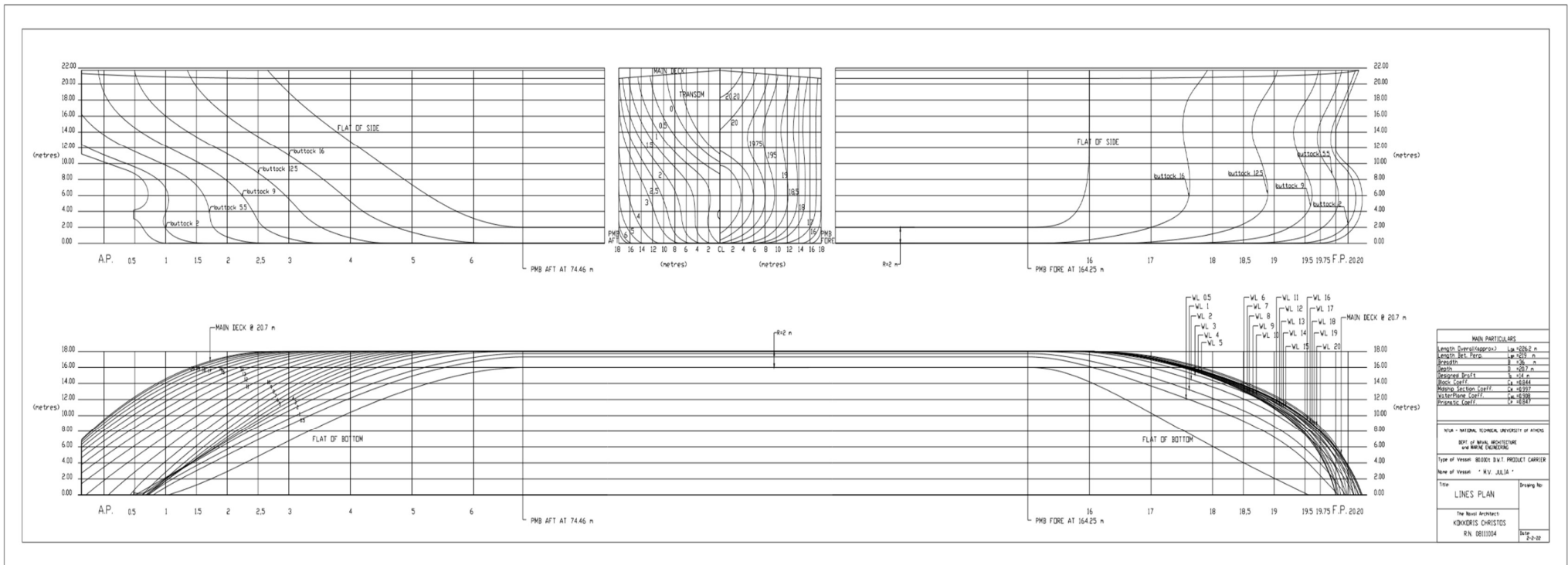


Εικόνα 13. Καμπύλες ισάλων σχεδίασης (Waterlines)

Το πρόγραμμα “Lines” παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας του τελικού Σχεδίου Ναυπηγικών Γραμμών, με την εξαγωγή επιλεγμένων καμπυλών σε αρχείο κατάλληλης μορφής προς επεξεργασία στο “Autocad”. Το προαναφερθέν επισυνάπτεται στην αμέσως επόμενη σελίδα της εργασίας.

3.3.1. Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών

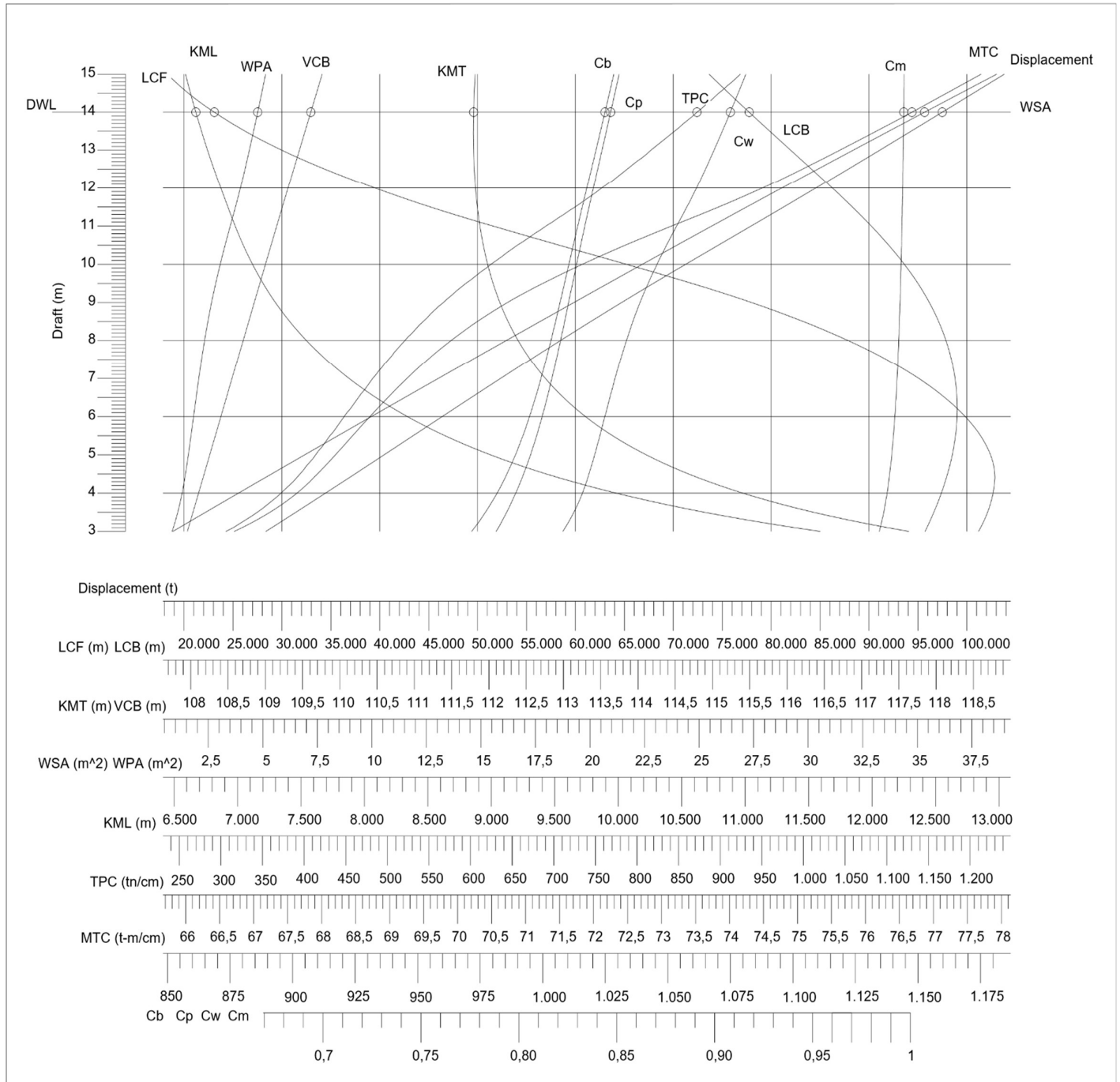
Στο σημείο αυτό παρατίθεται το παραγόμενο Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών, το οποίο εκπονήθηκε μέσω του “Lines” και μορφοποιήθηκε μέσω του “Autocad”. Για την παραγωγή αυτού επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικοί νομείς και ίσαλοι, μιας και η αποτύπωση του πραγματικού πλήθους των καμπυλών που χρησιμοποιήθηκε για να παραχθεί η γάστρα θα δυσχέραινε την ανάγνωση του.



Διάγραμμα 2. Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών Δεξαμενόπλοιου 'M.V. Julia

3.3.2. Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθιστης Γάστρας

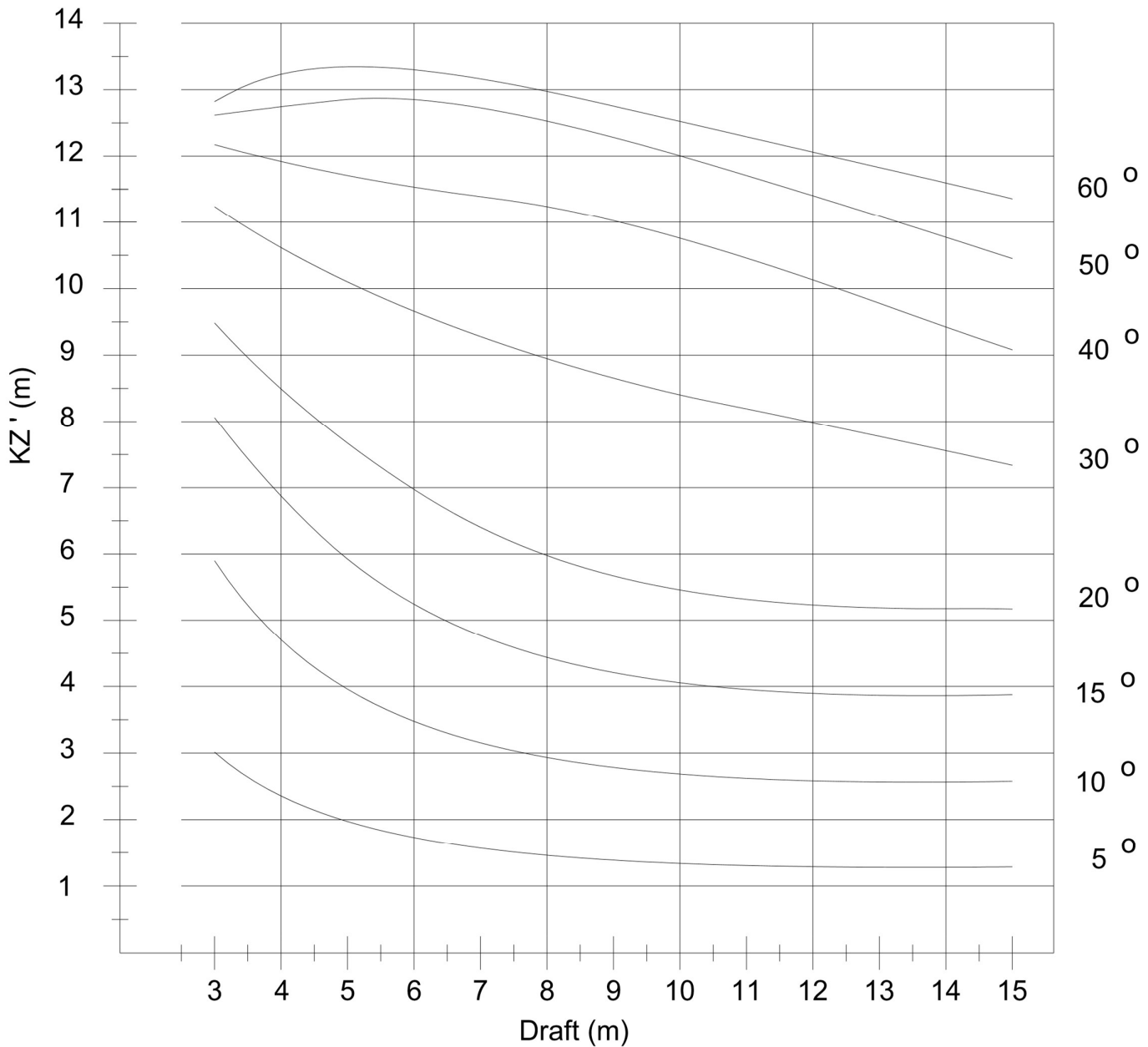
Με δεδομένη πλέον την γεωμετρία της γάστρας, καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός των υδροστατικών μεγεθών αυτής, σε ισοβύθιστη κατάσταση. Για τον σκοπό αυτόν, έγινε χρήση του προγράμματος “Hydrostatics and Hydrodynamics” της Avena. Το διάγραμμα παρήχθη μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος “Autocad”.



Διάγραμμα 3. Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθιστης Γάστρας

3.3.3. Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας

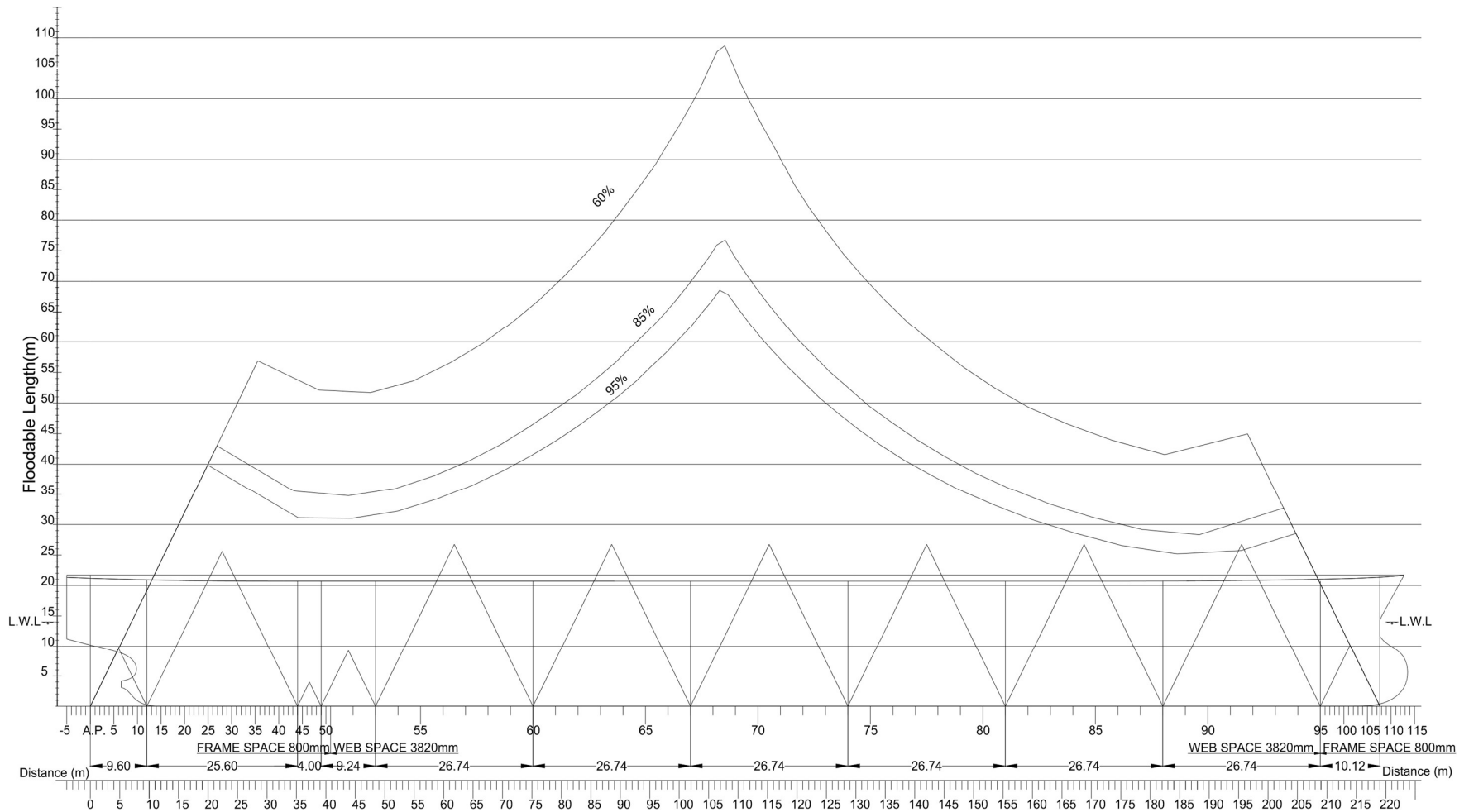
Ομοίως παράγονται οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας της γάστρας, για δεδομένες γωνίες (φ) εγκάρσιας κλίσης, συναρτήσει του βυθίσματος, για μηδενική διαγωγή.



Διάγραμμα 4. Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας

3.3.4. Διάγραμμα Κατακλύσιμων Μηκών

Οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν για 3 διαχωρητότητες (60%, 85% και 95%) των χώρων, οι οποίοι ορίζονται από την στεγανή υποδιαίρεση της γάστρας. Οι συντεταγμένες των σημείων του κύριου καταστρώματος εισήχθησαν από το πρόγραμμα Lines της Avena, ενώ η γραμμή ορίου βύθισης ορίστηκε στα 76mm κάτω από το κατάστρωμα αυτό.



Διάγραμμα 5. Διάγραμμα Καμπυλών Κατακλύσιμων Μηκών

3.4. Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης

Με την εισαγωγή του μοντέλου της γάστρας στο υποπρόγραμμα “Hydrostatics & Hydrodynamics”, παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού του μέγιστου επιτρεπόμενου βυθίσματος θέρους, βάσει των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης για τις Γραμμές Φόρτωσης. Ο υπολογισμός εκτελέστηκε βάσει του πρωτοκόλλου του 1988 ενώ η ακρίβεια των αποτελεσμάτων ελέγχθηκε σε υπολογιστικό φύλλο του Excel, όπου ακολουθήθηκαν επακριβώς τα στάδια που περιέχονται στην Σύμβαση.

Το πρόγραμμα βρίσκεται σε θέση να υπολογίσει με ακρίβεια μεγέθη, των οποίων οι τιμές είχαν προσεγγισθεί κατά τον έλεγχο της Προμελέτης. Τα μεγέθη αυτά είναι το μήκος κανόνα (L), ο συντελεστής γάστρας στο 85% του κοίλου ($C_{B@0.85D}$), η μεταβολή του εκτοπίσματος ανά μονάδα μεταβολής του βυθίσματος (TPC) στην θερινή ίσαλο πλεύσης και ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας πλώραθεν του L/2 (C_{wf}).

Έλεγχος Βυθίσματος Γραμμής Φόρτωσης / Ελάχιστου Απαιτούμενου Ύψους Πρώρας				
Στάδιο Υπολογισμών		Προμελέτη (Excel)	Σχεδίαση (Aveva)	
Βασικό Ύψος Εξάλων (Κανονισμός 28)	YE1	2,783.50	2,799	mm
Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B-60 (ή B-100) (Κανονισμός 27)	YE2	0	0	mm
Διόρθωση για καλύμματα στομίων κυτών (Κανονισμός 27)	YE3	0	0	mm
Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B κάτω των 100m (Κανονισμός 29)	YE4	0	0	mm
Διόρθωση για τον συντελεστή γάστρας (Κανονισμός 30)	YE5	1.12939	1.127	
Διόρθωση για το πλευρικό ύψος (Κανονισμός 31)	YE6	1,528.38	1,498	mm
Διόρθωση για υπερκατασκευές /υπερστεγάσματα (Κανονισμός 37)	YE7	0	0	mm
Διόρθωση για σιμότητα (Κανονισμός 38)	YE8	725.43	675	mm
Υπολογισμός ύψους εξάλων θέρους (Summer Freeboard) [$FB_{SUMMER} = (YE1+YE2+YE3+YE4) * YE5 + YE6 + YE7 + YE8$]	FB _{SUMMER}	5,397.46	5,384	mm
Πλευρικό ύψος ($D_F = D + t_{deck}$)	D _F	20,713.50	20,714	mm
Βύθισμα Γραμμής Φόρτωσης Θέρους [$T_{ILLC} = (D_F - FB_{SUMMER})/1000$]	T _{ILLC(rule)}	15.316	15.385	m
Πραγματική Γραμμή Φόρτωσης Θέρους	T _{ILLC}	14.000	14.000	m
Κοίλο στην Πλώρα	ΚΠ	20,7135	21,450	mm
Πραγματικό Ύψος Πρώρας	ΠΥΠ	6,713.50	7,450	mm
Ελάχιστο Απαιτούμενο Ύψος Πρώρας	ΕΑΥΠ	5,429.48	6,425	mm

Πίνακας 5. Έλεγχος Απαιτήσεων Γραμμής Φόρτωσης

Παρατηρείται μικρή μείωση του απαιτούμενου ύψους εξάλων θέρους, μεταξύ προμελέτης και τελικής σχεδίασης, με αποτέλεσμα την ελάχιστη αύξηση του βυθίσματος θέρους κατά 13mm. Σημαντική είναι η αλλαγή στο ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πρώρας, το οποίο αυξήθηκε περίπου 1m σε σχέση με την προμελέτη. Ο λόγος αυτών των αλλαγών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ο ακριβέστερος υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών της γάστρας, οι τιμές των οποίων, στην φάση της προμελέτης, είχαν προσεγγισθεί με εμπειρικούς τύπους. Επομένως, με μέγιστο το βύθισμα σχεδίασης στα 14m, προσδιορίζονται τα λοιπά βυθίσματα των Κανονισμών της Γραμμής Φόρτωσης.

Βυθίσματα Plimsoll Line	Βύθισμα (m)
Γραμμή Φόρτωσης Τροπικού Γλυκού Νερού (T _{TF})	14.709
Γραμμή Φόρτωσης Γλυκού Νερού (T _F)	14.417
Γραμμή Φόρτωσης Τροπική (T _T)	14.292
Γραμμή Φόρτωσης Θέρους (T _S)	14.000
Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα (T _W)	13.708

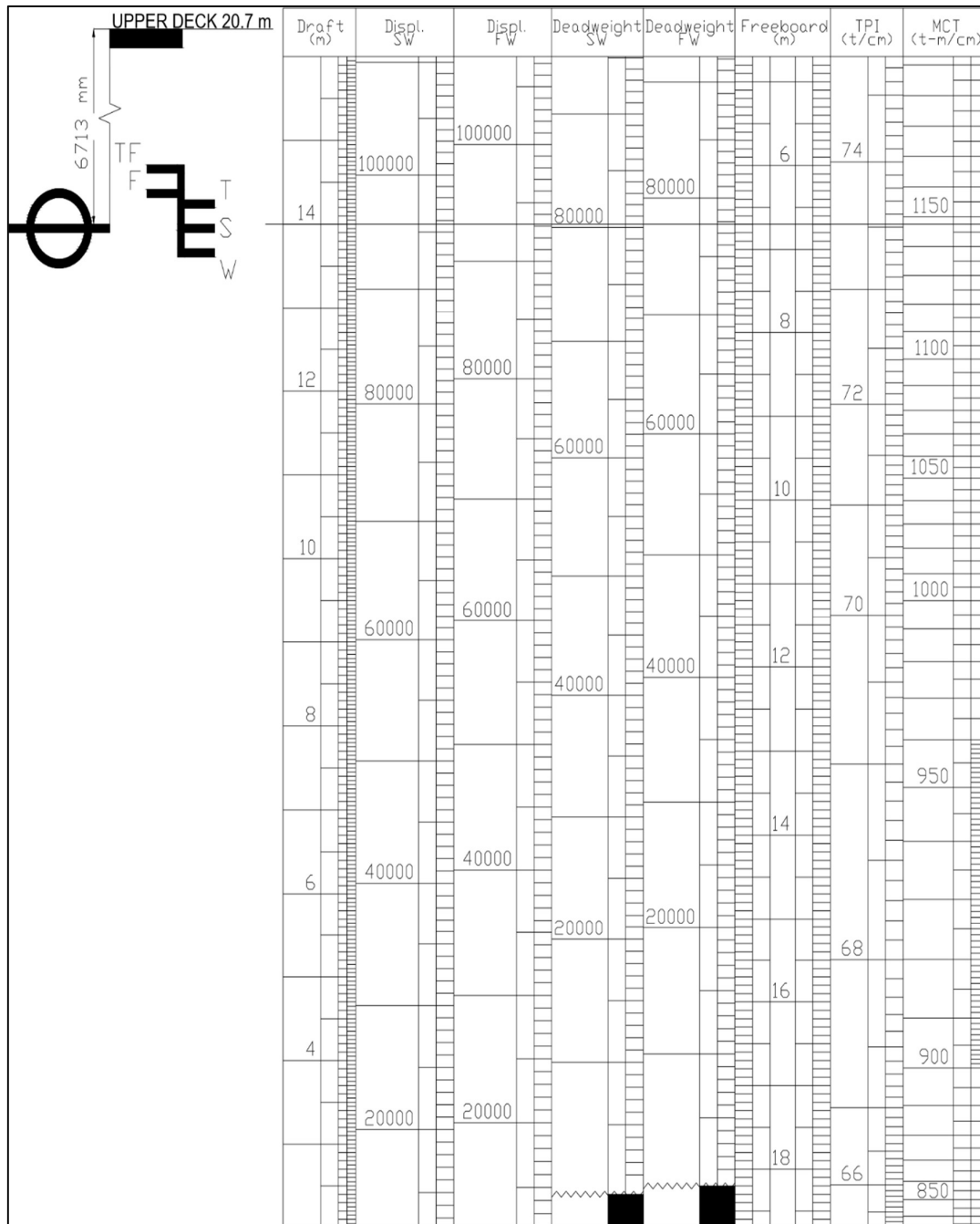
Πίνακας 6. Καθορισμός Βυθισμάτων Γραμμής Φόρτωσης

3.5. Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale)

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η κλίμακα της μεταφορικής ικανότητας. Σημειώνεται πως λόγω της λεπτομερούς μοντελοποίησης της γάστρας, με σκοπό την επίτευξη του επιθυμητού συντελεστή γάστρας στο βύθισμα σχεδίασης, το εκτόπισμα σε αυτό το βύθισμα συγκλίνει ακριβώς με το προεκτιμηθέν στο στάδιο της Προμελέτης ($\Delta_{@T=14} = 95,672.59$). Ως αποτέλεσμα, η γάστρα του υπό σχεδίαση πλοίου βρίσκεται σε θέση να μεταφέρει στο βύθισμα σχεδίασης πρόσθετο βάρος ίσο με:

$$DWT_{@14m} = 80,277.59 \text{ t}$$

όσο εκτιμήθηκε στο στάδιο της προμελέτης για την κατάσταση φόρτωσης FLD.



Διάγραμμα 6. Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale)

3.6. Κατανομή Βάρους Lightship

Στο παρόν προσεγγίζεται η κατανομή του βάρους κατά μήκος του πλοίου για κάθε συνιστώσα του βάρους άφορτου πλοίου (Lightship). Η ανάλυση του Lightship σε επιμέρους συνιστώσες (Steel, Outfit, Machinery) και η προσέγγιση της διαμήκου θέσης του κέντρου βάρους κάθε συνιστώσας πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της Προμελέτης. Επιπλέον, το βάρος της μεταλλικής κατασκευής αναλύεται στο βάρος της γάστρας (Hull) και το βάρος των υπερκατασκευών (Superstructure). Τα βάρη των παραπάνω συνιστωσών κατανέμονται στο μήκος του πλοίου κατά τόπους ανάλογα με την περιοχή του σκάφους στην οποία αναφέρονται, με τη μέθοδο της τραπεζοειδούς κατανομής.

Ανάλυση Βάρους Lightship		
Κατηγορία	W(t)	LCG (m)
1) W _{STEEL}	11,761.74	110.379
2) W _{OUTFIT}	1,767.58	97.599
3) W _{MACHINERY}	1,865.68	23.768
L.S.	15,395.00	98.416

Πίνακας 7. Συνιστώσες Lightship

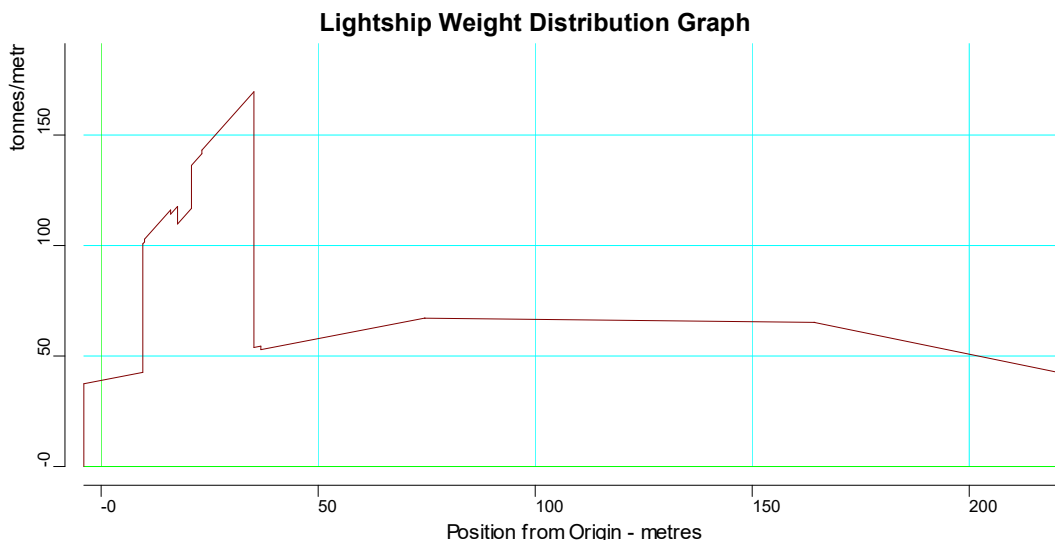
Lightship Weight Summary				
Item	Weight (t)	Aft ext. (m)	Fwd ext. (m)	LCG (m)
W_ aft	3,368.65	-4.000	74.460	39.999
W_ parallel	5,261.12	74.460	164.250	119.355
W_ fore	2,754.52	164.250	222.200	190.977
Main Deck	111.01	20.800	35.200	28.000
A' Deck	57.62	20.800	35.200	28.000
B' Deck	54.17	20.800	35.200	28.000
C' Deck	57.68	20.800	35.200	28.000
Nav' Deck	21.48	23.200	36.800	30.000
Main Deck"	24.36	9.600	17.600	13.600
A' Deck"	16.61	9.600	17.600	13.600
B' Deck"	13.12	9.600	17.600	13.600
C' Deck"	9.62	9.600	17.600	13.600
Nav' Deck"	4.37	9.600	16.000	12.800
Chimney"	7.42	10.000	16.000	13.000
W_ ot	1,767.58	-4.000	222.20	97.599
W_ mach	1,865.68	9.600	35.200	23.768
Total	15,395.00			98.416

Πίνακας 8. Ανάλυση Βάρους Lightship

Lightship Weight Distribution		
X Position (m)	Wt.aft (t/m)	Wt.fwd (t/m)
-4.00	0.000	37.474
9.60	42.616	100.769
10.00	101.650	102.887
16.00	116.111	114.191
17.60	117.718	109.754
20.80	116.807	136.285
23.20	141.574	143.154
35.20	169.601	53.874
36.80	54.479	52.899
74.46	67.138	67.138
164.25	65.245	65.245
222.20	41.902	0.000

Πίνακας 9. Διαμήκης Κατανομή Βάρους Lightship

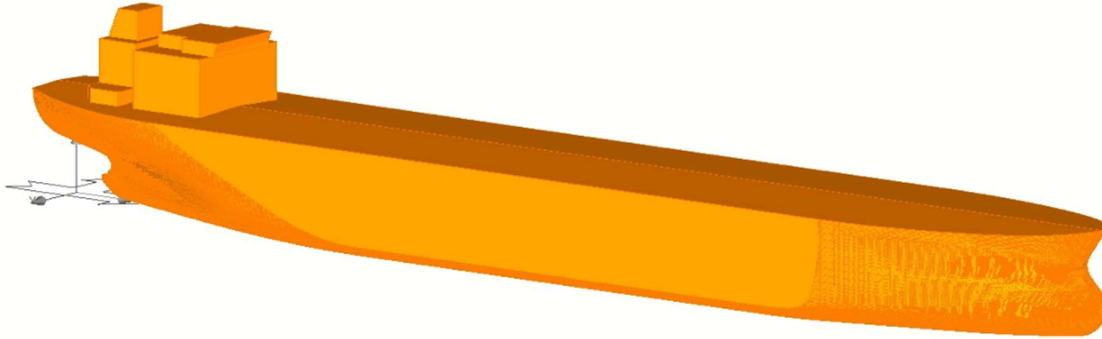
Από την υπέρθεση όλων των επιμέρους διαμήκων κατανομών βαρών, προκύπτει η κατανομή του συνολικού βάρους άφορτου σκάφους (Lightship).



Διάγραμμα 7. Διαμήκης Κατανομή Βάρους Lightship

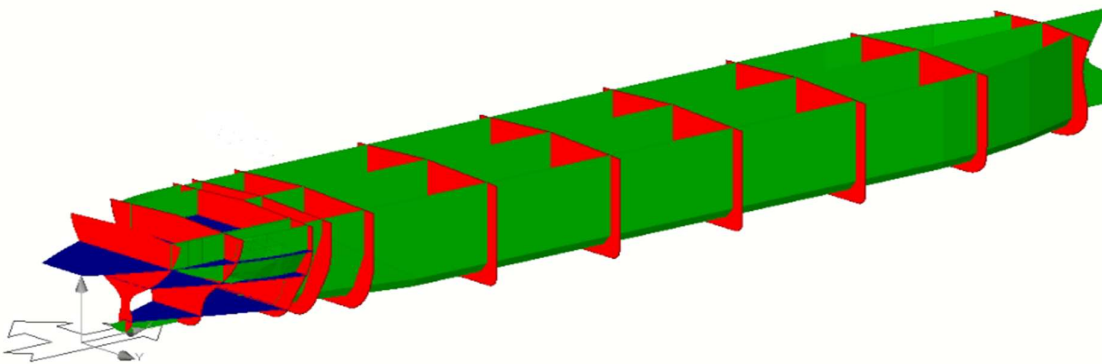
3.7. Διαμερισματοποίηση Γάστρας

Επόμενο βήμα της σχεδίασης αποτελεί η διαμερισματοποίηση του υπό σχεδίαση πλοίου, κάνοντας χρήση του υποπρογράμματος “Surface & Compartment” της Avena, με σκοπό την μοντελοποίηση όλων των δεξαμενών αυτού. Στην επόμενη Εικόνα παρουσιάζεται το μοντέλο της παραθείσας γάστρας στο περιβάλλον του προγράμματος.

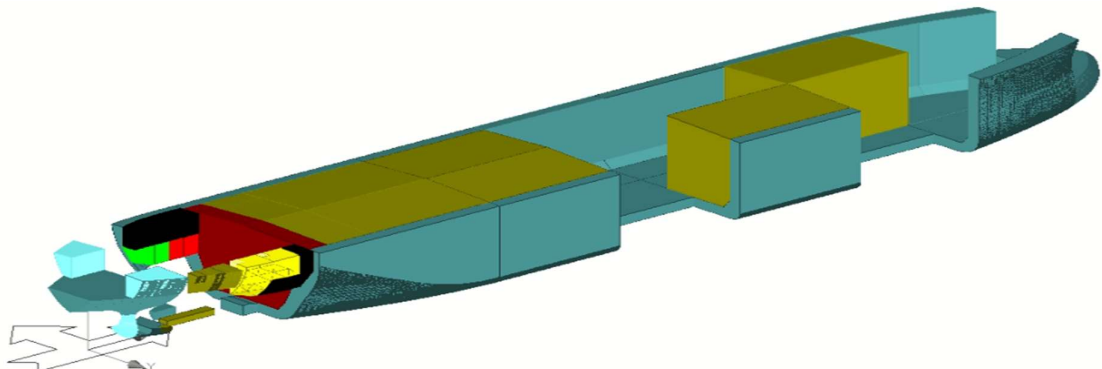


Εικόνα 14. Μοντέλο δεξαμενόπλοιου “M.V. Julia” στο περιβάλλον του “Surface & Compartment”

Στην συνέχεια, με την εισαγωγή όλων των απαραίτητων επιφανειών, καθορίζεται η θέση, η μορφή και η χωρητικότητα όλων των δεξαμενών εντός της γάστρας. Η σχεδίαση των δεξαμενών φορτίου καθορίστηκε από τις απαιτήσεις των Κανονισμών 18 και 19 του Παραρτήματος I της MARPOL, για την ύπαρξη διπλής γάστρας. Ακόμη, όλες οι δεξαμενές καυσίμου, πληρούν τα κριτήρια των παραγράφων 6, 7 και 8 του Κανονισμού 12A του Παραρτήματος I της MARPOL, σχετικά με την προστατευμένη θέση των δεξαμενών που περιέχουν υγρά καύσιμα. Για τον σκοπό αυτό, μοντελοποιήθηκαν κενά διαμερίσματα (Voids) μεταξύ του περιβλήματος της γάστρας και των εξωτερικών ελασμάτων των δεξαμενών.



Εικόνα 15. Εσωτερικές Επιφάνειες/Ελάσματα Δεξαμενών Γάστρας

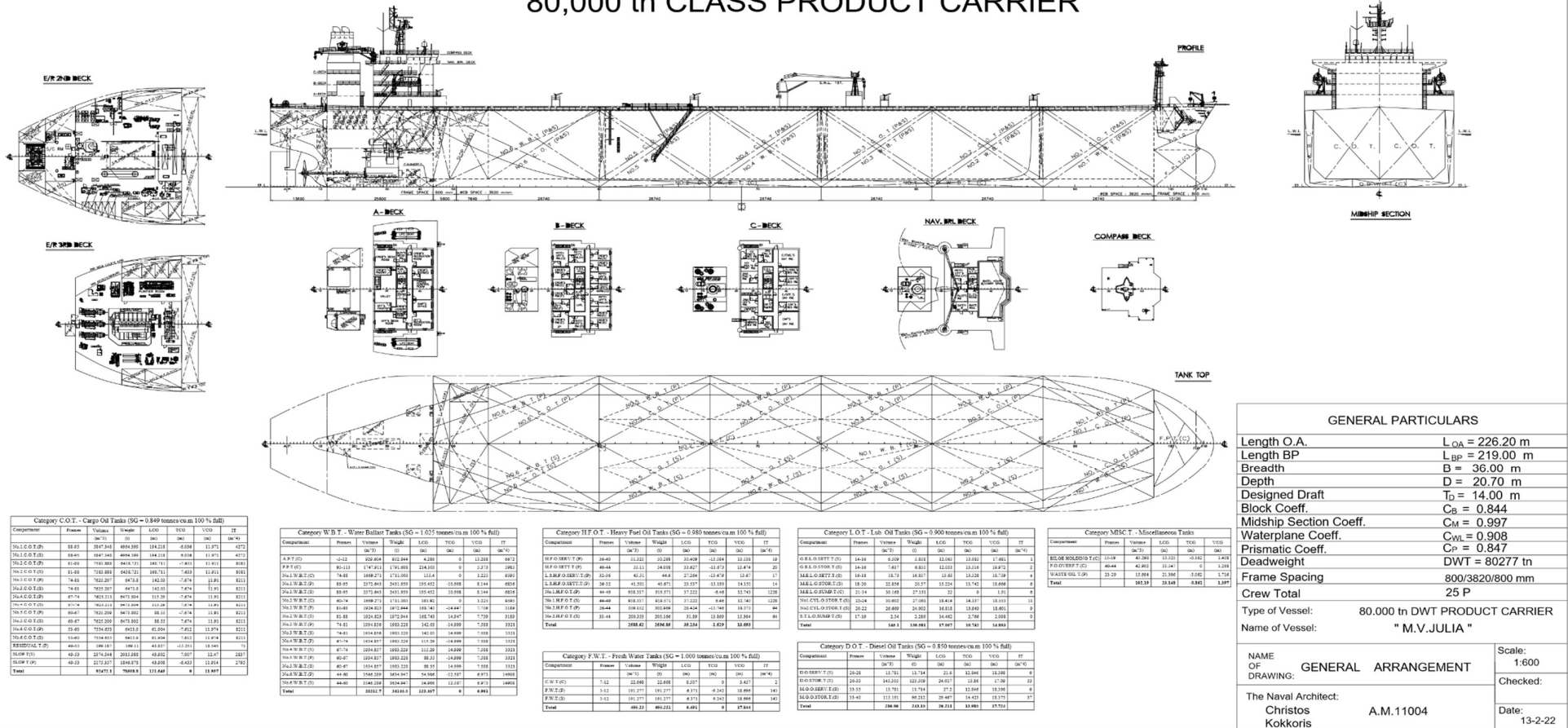


Εικόνα 16. Σύνοψη Παραγόμενων Δεξαμενών

3.7.1. Σχέδιο Χωρητικότητας (Capacity Plan)

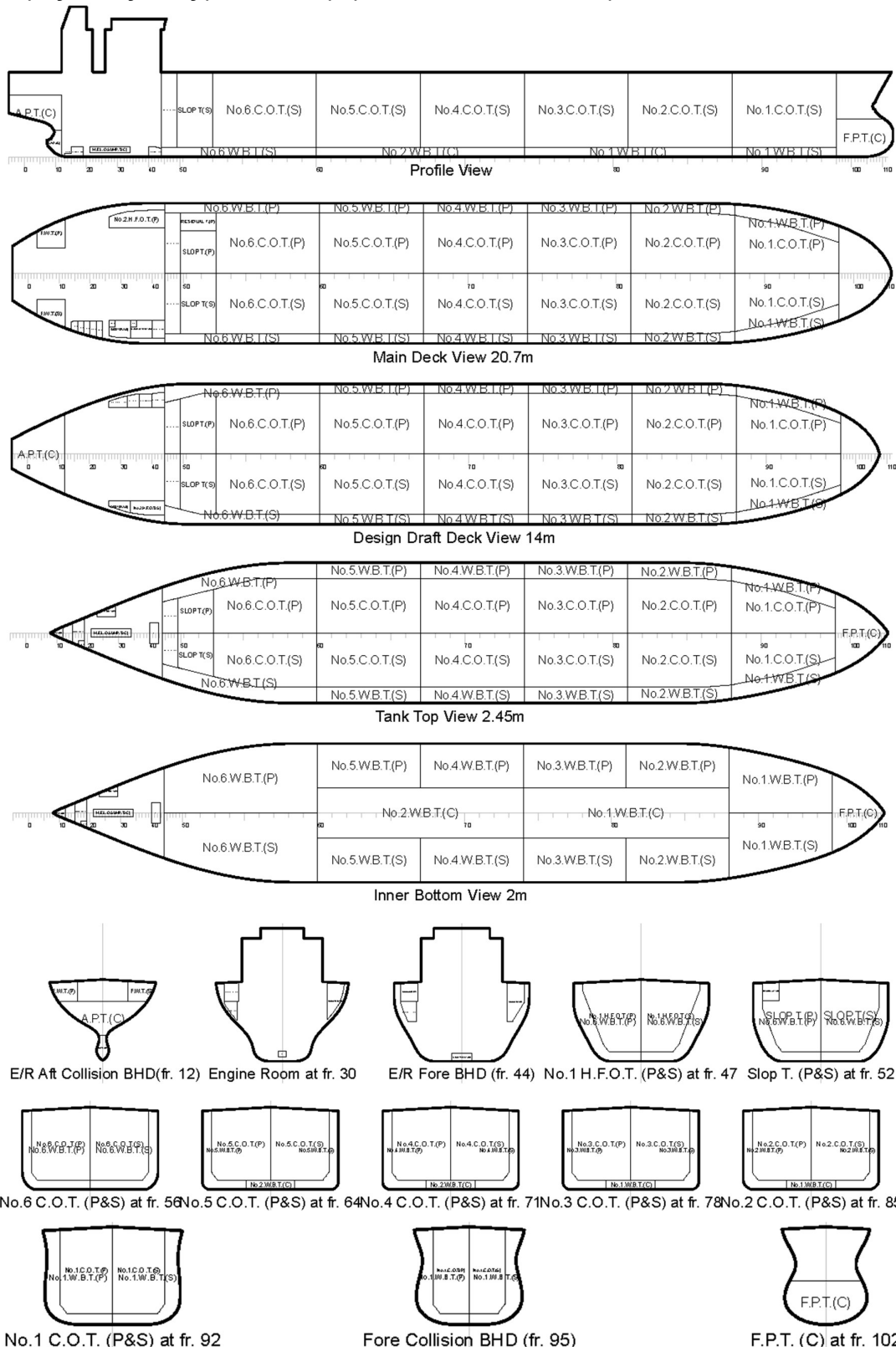
Δεδομένης της μορφής της γάστρας και των εσωτερικών χώρων αυτής, παράγεται το Σχέδιο Χωρητικότητας, μέσω του "Autocad".

CAPACITY PLAN 80,000 tn CLASS PRODUCT CARRIER



3.7.2. Πλάνο Δεξαμενών (Tankplan)

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται ορισμένες όψεις των κύριων δεξαμενών εντός της γάστρας, όπως αυτές μοντελοποιήθηκαν στο “Surface & Compartment”.



Εικόνα 17. Πλάνο Δεξαμενών (Tankplan)

3.7.3. Καταμέτρηση

Στο παρόν προσεγγίζεται η Ολική (Gross Tonnage) και η Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage) του υπό σχεδίαση δεξαμενόπλοιου, βάσει των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης Καταμέτρησης. Οι όγκοι των κλειστών χώρων του πλοίου εξάγονται από το πρόγραμμα “Hydrostatics & Hydrodynamics”

- **Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage – GT)**

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 3, η ολική χωρητικότητα (**Gross Tonnage**) δίνεται από τη σχέση:

$$GT = K_1 \cdot V$$

όπου:

V: ο συνολικός όγκος όλων των περιφραγμένων χώρων του πλοίου, σε m^3

K₁: συντελεστής, ίσος με: $K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}V$

Enclosed Spaces

ID	Name	Frames	Volume (m^3)	Length (m)	Breadth (m)	Depth (m)
	Julia Envelope	-5-113	151,894.688	226.202	36.000	38.439
Total			151,894.688			

Πίνακας 10. Προσέγγιση Συνολικού Όγκου Περιφραγμένων Χώρων Πλοίου

Επομένως υπολογίζεται ο συντελεστής K₁, ο οποίος ισούται με:

$$K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10}V \Rightarrow K_1 = \mathbf{0.30363}$$

Και η ολική χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου, ίση με:

$$GT = K_1 \cdot V \Rightarrow \boxed{GT = 46,120}$$

- **Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage – NT)**

Σύμφωνα με το Κανονισμό 4, η καθαρή χωρητικότητα (**Net Tonnage**) δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:

V_C: ο συνολικός όγκος των δεξαμενών φορτίου, ίσος με $V_C = 92472.13 m^3$

K₂: συντελεστής, ίσος με: $K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}V_C$

K₃: συντελεστής, ίσος με: $K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT+1,000}{10,000}$

D: κοίλο του πλοίου, ίσο με $D = 20.7 m$

d_s: βύθισμα θερινής ισάλου πλεύσης, ίσο με $d_s = 14 m$

N₁: αριθμός επιβατών σε κοιτώνες με όχι περισσότερες από 8 κλίνες

N₂: αριθμός υπολοίπων επιβατών

Επιβάτης θεωρείται κάθε άτομο, εκτός από τον πλοίαρχο και τα μέλη του πληρώματος ή άλλα άτομα που απασχολούνται ή χρησιμοποιούνται με οποιαδήποτε ιδιότητα πάνω στο πλοίο για τις εργασίες του πλοίου αυτού. Στην περίπτωσή μας, $N_1 + N_2 = 0$

Επομένως υπολογίζονται οι συντελεστές:

$$K_2 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V_C \Rightarrow K_2 = \mathbf{0.29932}$$

$$K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT + 10,000}{10,000} \Rightarrow K_3 = \mathbf{7.015}$$

Και η καθαρή χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου, ίση με:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d_s}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) \Rightarrow \boxed{NT = 22,508}$$

Οι άνωθεν υπολογισμοί, σχετικά με την Καθαρή Χωρητικότητα, θεωρούνται αποδεκτοί αν ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις:

1^η Απαίτηση: $\left(\frac{4 \cdot d_s}{3 \cdot D}\right)^2 < 1$

$$\left(\frac{4 \cdot 14}{3 \cdot 20.7}\right)^2 = 0.902^2 = 0.8132 < 1, \text{ άρα η απαίτηση ικανοποιείται.}$$

2^η Απαίτηση: $K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d_s}{3 \cdot D}\right)^2 > 0.25 \cdot GT$

$$0.29932 \cdot 92,472.13 \cdot 0.8132 = 22,508 > 11,530 = 0.25 \cdot GT, \text{ η απαίτηση ικανοποιείται.}$$

3^η Απαίτηση: $NT > 0.3 \cdot GT$

$$22,508 > 13,836 = 0.3 \cdot GT, \text{ άρα η απαίτηση ικανοποιείται.}$$

Συνοψίζοντας, βάσει των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης Καταμέτρησης, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- **Ολική Χωρητικότητα (GT – Gross Tonnage):** $\boxed{GT = 46,120}$
- **Καθαρή Χωρητικότητα (NT – Net Tonnage):** $\boxed{NT = 22,508}$

4. Καταστάσεις Φόρτωσης

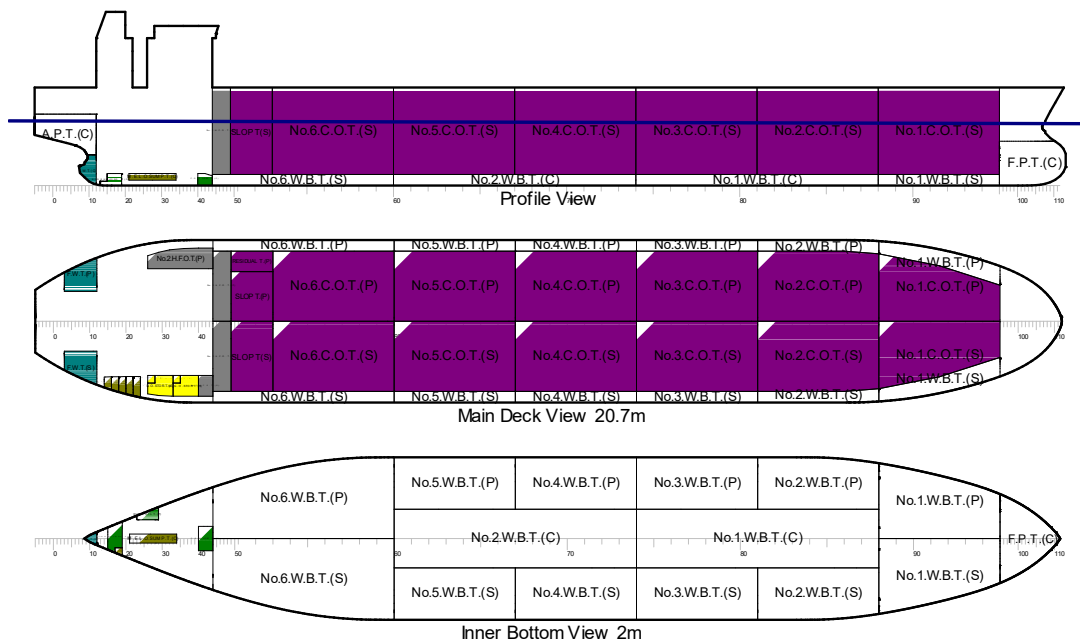
Για τους υπολογισμούς έγινε χρήση του υπολογιστικού υποπρογράμματος Hydrostatics & Hydrodynamics, ενώ οι καταστάσεις οι οποίες αναπτύχθηκαν είναι οι εξής:

- Lightship Condition (Not Sea-Going)
- Full Load Departure Condition (FLD-Payload s.g.=0.849 t/m³)
- Full Load Arrival Condition (FLA-Payload s.g.=0.849 t/m³)
- Normal Ballast Departure Condition (NBD)
- Normal Ballast Arrival Condition (NBA)

Τα αποτελέσματα των καταστάσεων NBD και NBA, συγκρίνονται με τις απαιτήσεις ασφαλούς πλεύσης (Κανονισμός 18, Παράρτημα Ι, MARPOL) ως προς το ελάχιστο βύθισμα στο μέσο του πλοίου, την μέγιστη έμπρυσμη διαγωγή και την πλήρη βύθιση της έλικας.

Επιπροσθέτως, για την κατάσταση φόρτωσης FLD, μελετήθηκαν οι διαμήκεις κατανομές των καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων λόγω κυματισμού, με το μέσο του πλοίου στην κορυφή (Sagging) και στην κοιλάδα (Hogging) κύματος τροχοειδούς μορφής. Η κατανομή του DWT πραγματοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα, μιας και έχουν ορισθεί οι θέσεις και οι χώροι των δεξαμενών, ενώ η κατανομή του Lightship δίνεται από τον χρήστη (Κεφ. 3.6). Εν συνεχεία παρουσιάζεται η κατάσταση FLD και πραγματοποιείται η σύγκριση των κατανομών των καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων σε Sagging και Hogging, με τα όρια του IACS (CSR).

4.1. Κατάσταση Full Load Departure (FLD-Payload s.g.=0.849 t/m³)



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Cargo Oil Tanks									
No.1.C.O.T.(P)	88-95	CO	98.0	0.849	4,865.1	194.197	-6.075	11.782	3094.7
No.1.C.O.T.(S)	88-95	CO	98.0	0.849	4,865.1	194.197	6.075	11.782	3094.7
No.2.C.O.T.(P)	81-88	CO	98.0	0.849	6,309.9	168.710	-7.691	11.722	5576.7
No.2.C.O.T.(S)	81-88	CO	98.0	0.849	6,309.9	168.710	7.691	11.722	5576.7

Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
				(t/m ³)	(t)	(m)	(m)	(m)	(t-m)
No.3.C.O.T.(P)	74-81	CO	98.0	0.849	6,344.3	142.030	-7.733	11.721	5622.1
No.3.C.O.T.(S)	74-81	CO	98.0	0.849	6,344.3	142.030	7.733	11.721	5622.1
No.4.C.O.T.(P)	67-74	CO	98.0	0.849	6,344.3	115.290	-7.733	11.721	5622.4
No.4.C.O.T.(S)	67-74	CO	98.0	0.849	6,344.3	115.290	7.733	11.721	5622.4
No.5.C.O.T.(P)	60-67	CO	98.0	0.849	6,344.3	88.550	-7.733	11.721	5622.3
No.5.C.O.T.(S)	60-67	CO	98.0	0.849	6,344.3	88.550	7.733	11.721	5622.3
No.6.C.O.T.(P)	53-60	CO	98.0	0.849	6,285.6	61.906	-7.669	11.787	5544.5
No.6.C.O.T.(S)	53-60	CO	98.0	0.849	6,285.6	61.906	7.669	11.787	5544.5
RESIDUAL T.(P)	49-53	CO	98.0	0.849	165.7	43.828	-13.270	18.496	40.4
SLOP T(S)	49-53	CO	98.0	0.849	1,975.7	43.903	7.056	12.292	1662.2
SLOP T.(P)	49-53	CO	98.0	0.849	1,809.9	43.910	-6.480	11.724	852.7
Total Cargo Oil					76,938.3	121.643	0.000	11.769	6,4720.7
<i>Fresh Water Tanks</i>									
C.W.T.(C)	7-12	FW	100.0	1.000	22.7	8.507	0.000	3.457	0.0
F.W.T.(P)	3-12	FW	100.0	1.000	191.3	6.371	-9.242	18.696	0.0
F.W.T.(S)	3-12	FW	100.0	1.000	191.3	6.371	9.242	18.696	0.0
Total Fresh Water					405.3	6.491	0.000	17.844	0.0
<i>Heavy Fuel Oil Tanks</i>									
H.F.O.SERV.T.(P)	36-40	HFO	70.0	0.980	34.5	30.410	-13.406	12.814	13.5
H.F.O.SETT.T.(P)	40-44	HFO	70.0	0.980	37.0	33.638	-13.515	12.738	15.1
No.1.H.F.O.T.(P)	44-49	HFO	98.0	0.980	901.2	37.223	-6.502	12.570	724.5
No.1.H.F.O.T.(S)	44-49	HFO	98.0	0.980	901.2	37.223	6.502	12.570	724.5
No.2.H.F.O.T.(P)	26-44	HFO	98.0	0.980	291.0	28.432	-13.763	18.321	65.7
No.2.H.F.O.T.(S)	33-44	HFO	98.0	0.980	201.1	31.856	13.867	15.193	24.9
Total Heavy Fuel Oil					2,366.0	35.530	-0.921	13.506	1,568.2
<i>Diesel Oil Tanks</i>									
D.O.STOR.T.(S)	26-33	DO	98.0	0.850	121.0	24.017	13.862	17.013	28.5
M.G.O.STOR.T.(S)	33-40	DO	98.0	0.850	94.3	29.464	14.441	18.324	25.3
Total Diesel Oil					215.3	26.402	14.115	17.587	53.8
<i>Miscellaneous Tanks</i>									
BILGE HOLDING T.(C)	13-19	BHT	70.0	0.944	28.6	13.488	-0.075	1.032	43.6
D.O.SERV.T.(S)	26-28	DO	70.0	0.850	8.2	21.600	12.849	17.622	0.5
F.O.OVERF.T.(C)	40-44	FOOT	70.0	0.979	29.4	33.600	0.000	0.884	40.7
G.E.L.O.SETT.T.(S)	14-16	LO	70.0	0.900	4.1	12.074	12.991	17.285	0.7
G.E.L.O.STOR.T.(S)	14-16	LO	70.0	0.900	4.8	12.035	13.494	19.674	2.0
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	32-36	HFO	70.0	0.980	30.6	27.282	-13.293	12.985	12.0
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	26-32	HFO	70.0	0.980	27.9	23.609	-13.029	13.613	10.5
M.E.L.O.SETT.T.(S)	16-18	LO	70.0	0.900	11.8	13.634	13.418	18.075	3.0
M.E.L.O.STOR.T.(S)	18-20	LO	70.0	0.900	14.4	15.227	13.635	17.961	4.6
M.E.L.O.SUMP.T.(C)	21-34	LO	70.0	0.900	19.0	22.000	0.000	1.688	6.1
M.G.O.SERV.T.(S)	33-35	DO	70.0	0.850	8.2	27.200	12.849	17.622	0.5
No1.CYL.O.STOR.T.(S)	22-24	LO	70.0	0.900	18.9	18.416	14.045	17.827	8.8
No2.CYL.O.STOR.T.(S)	20-22	LO	70.0	0.900	16.8	16.820	13.842	17.883	6.6
S.T.L.O.SUMP.T.(S)	17-19	LO	70.0	0.900	1.6	14.464	2.745	1.930	0.4
WASTE OIL T.(P)	23-29	WOT	70.0	0.991	11.1	21.357	-4.985	1.422	4.2
Total Miscellaneous					235.4	21.510	1.521	10.396	144.2
<i>Provisions (Departure)</i>									
Provisions					5.6	24.800	0.000	22.532	0.0
Total Provisions					5.6	24.800	0.000	22.532	0.0
<i>Constants</i>									
Constants					111.3	116.416	0.000	14.113	0.0

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Total Constants					111.3	116.416	0.000	14.113	0.0
Lightweight					15,395.0	98.416	0.000	11.110	0.0
Deadweight					80,277.5	117.960	0.015	11.866	6,6487.2
Total Displacement					95,672.5	114.815	0.013	11.745	6,6487.2
Buoyancy					95,672.5	114.802	0.043	7.201	71,6318.6
Total Buoyancy					95,672.5	114.802	0.043	7.201	71,6318.6

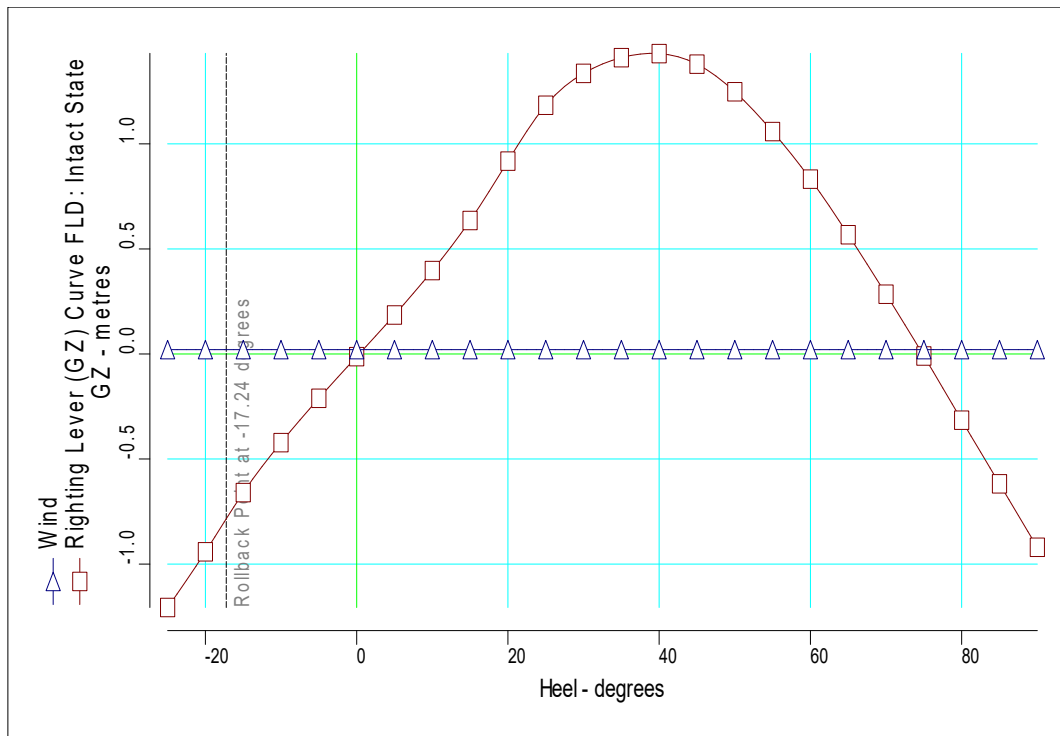
Πίνακας 11. Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης FLD

Heel to starboard	0.33	Degrees
Trim by the stern	0.573	metres
KG	11.745	metres
FSC	0.695	metres
KGf	12.440	metres
GMt	2.248	metres
BMt	7.487	metres
BMI	264.096	metres
Waterplane area	7173.25	sq.metres
LCG	114.815	metres
LCB	114.802	metres
TCB	0.043	metres
LCF	108.069	metres
TCF	0.087	metres
TPC	73.669	tonnes/cm
MTC	1153.732	tonnes-m/cm

Draft at LCF	14.000	metres
Draft aft at marks	14.283	metres
Draft fwd at marks	13.710	metres
Draft at AP	14.283	metres
Draft at FP	13.710	metres
Mean draft at midships	13.997	metres

Πίνακας 13. Βυθίσματα Κατάστασης FLD

Πίνακας 12. Υδροστατικά Στοιχεία Κατάστασης FLD



Διάγραμμα 8: Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης FLD

Property	Value	Units
Length WL	225.570	metres
Profile area above WL	2044.8	sq.metres
Area to leeward (Area b)	0.81314	m.radians
Area to windward (Area a)	0.11879	m.radians
GZc	0.021	metres
Gust angle	0.853	degrees
Rollback angle	17.922	degrees
Steady state angle	0.678	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	2.572	
X1	0.966	
Cb	0.842	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	-1.557	metres
r	0.663	
T	16.094	seconds

Πίνακας 14. Κριτήριο Καιρού Κατάστασης FLD

#	Criterion	Actual Value	Critical Value	State
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.348	0.055	Pass
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg.or downflood > 0.03	0.245	0.030	Pass
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.593	0.090	Pass
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	1.440	0.150	Pass
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	1.430	0.200	Pass
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	39.367	30.000	Pass
7	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle of Heel)	0.678	16.000	Pass
8	IMO Weather Criterion (Areas)	6.845	1.000	Pass

Πίνακας 15. Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης FLD

Καμπύλες Διαμήκων Κατανομών Εκτοπίσματος – Άντωσης – Καμπτικών Ροπών – Διατμητικών Δυνάμεων Καταστάσεως FLD

Η μορφή της γάστρας είναι δεδομένη και γνωστή με κάθε λεπτομέρεια από τα προηγούμενα Κεφάλαια της εργασίας. Η κατάσταση φόρτωσης που μελετάται είναι η κατάσταση αναχώρησης πλήρους φορτίου (Full Load Departure - FLD). Οι καταστάσεις θάλασσας ενδιαφέροντος είναι οι ακόλουθες:

- Κατάσταση ήρεμου νερού (*Still Water*)
- Καταστάσεις κυματισμού (*Wave*):
 1. *Hogging*: Το μέσο του πλοίου βρίσκεται στην κορυφή του κύματος
 2. *Sagging*: Το μέσο του πλοίου βρίσκεται στην κοιλάδα του κύματος

Το κύμα που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς θεωρείται ότι είναι **τροχοειδούς** μορφής με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

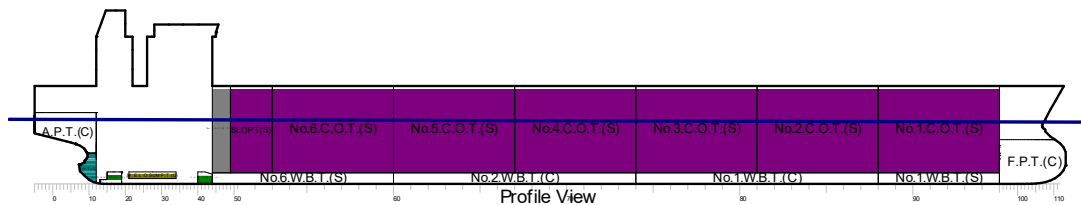
- Ύψος: $H_0 = 0.607 \cdot \sqrt{L_{OA}} = 9.126m$
- Μήκος: $\lambda_0 = L_{OA} = 226.20 m$

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου “Hydrostatics & Hydrodynamics” γίνεται ο υπολογισμός των άνωθεν καμπυλών για κάθε μια από τις καταστάσεις θάλασσας.

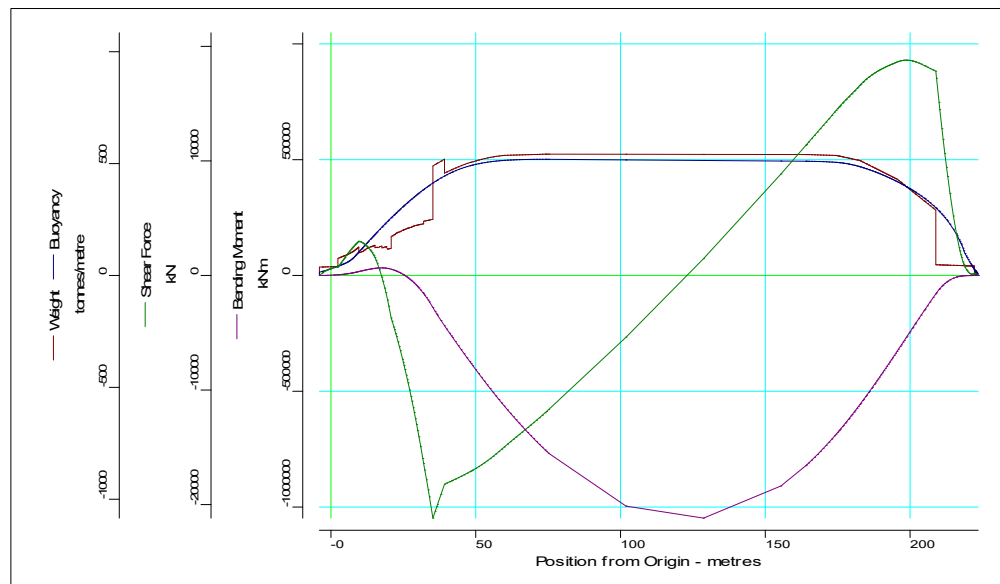
➤ Πλεύση σε ήρεμο νερό (Still Water)

Παρά το γεγονός πως θα εξετασθούν οι κατανομές των καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων που οφείλονται καθαρά σε κυματισμούς, προβαίνουμε στον υπολογισμό των αντίστοιχων για ήρεμο νερό. Ο λόγος είναι πως οι διαμήκεις κατανομές των καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων που εξάγονται από το “Hydrostatics & Hydrodynamics” για τις καταστάσεις κυματισμού, είναι συνδυασμός της κατάστασης κυματισμών (είτε *Hogging*, είτε *Sagging*) και της κατάστασης σε ήρεμο νερό (*Still Water*).

Προκειμένου λοιπόν να υπολογίσουμε την καμπτική ροπή και τη διατμητική δύναμη που οφείλονται καθαρά σε κυματισμούς, θα πρέπει να αφαιρέσουμε από την εκάστοτε συνολική κατάσταση, την συνιστώσα του ήρεμου νερού και να δημιουργήσουμε την αντίστοιχη κατανομή.



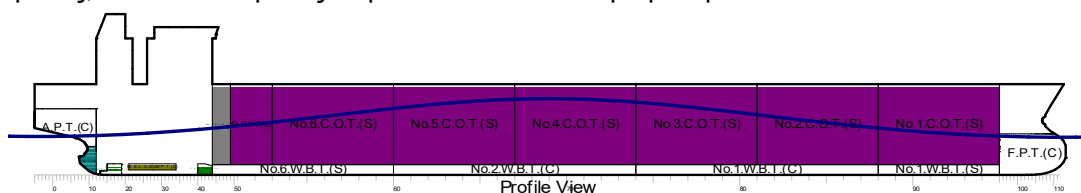
Εικόνα 18. Προφίλ Πλοίου Καταστάσεως FLD σε Ήρεμο Νερό



Διάγραμμα 9. Διαμήκεις Κατανομές Εκποσίματος – Άντωσης – Τεμνουσών Δυνάμεων – Καμπτικών Ροπών Καταστάσεως FLD σε Ήρεμο Νερό

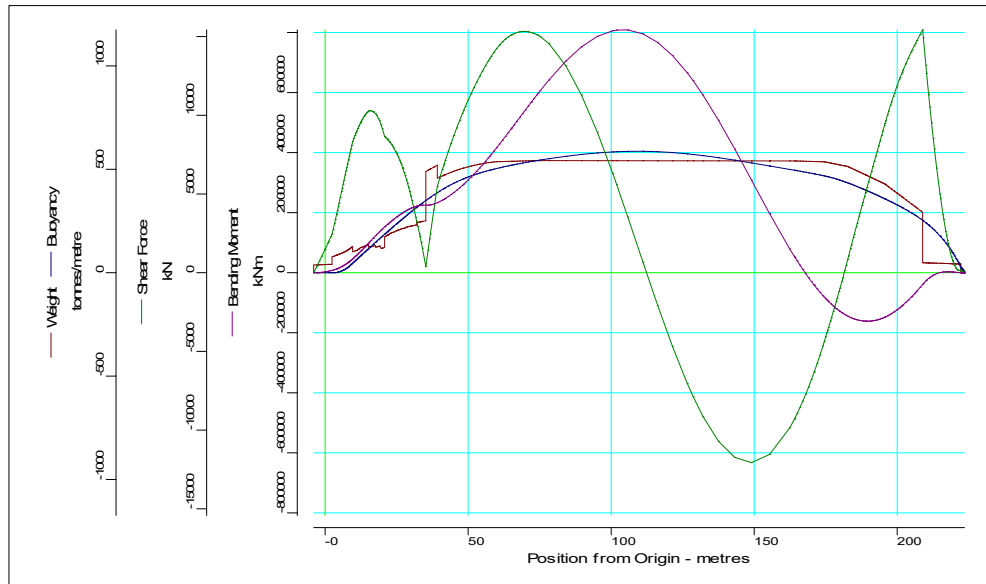
➤ Πλεύση με το μέσο του πλοίου στην κορυφή του κύματος (Hogging)

Σε αυτήν την κατάσταση κυματισμού, το μέσο του πλοίου βρίσκεται στην κορυφή του κύματος, οπότε ο πυθμένας θλίβεται ενώ το κατάστρωμα εφελκύεται.



Εικόνα 19. Προφίλ Πλοίου Καταστάσεως FLD στην Κορυφή Κύματος (Hogging)

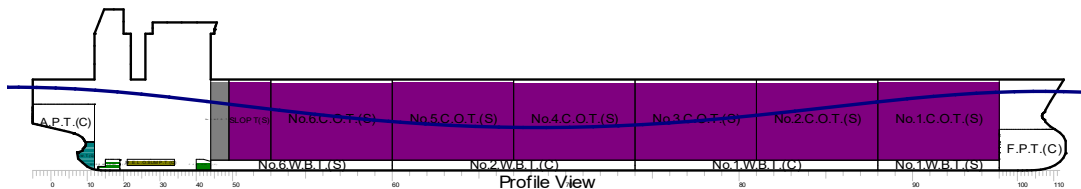
Το παρακάτω διάγραμμα περιλαμβάνει τις συνολικές κατανομές τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, ως άθροισμα της κατάστασης σε ήρεμο νερό και της κατάστασης λόγω κυματισμού.



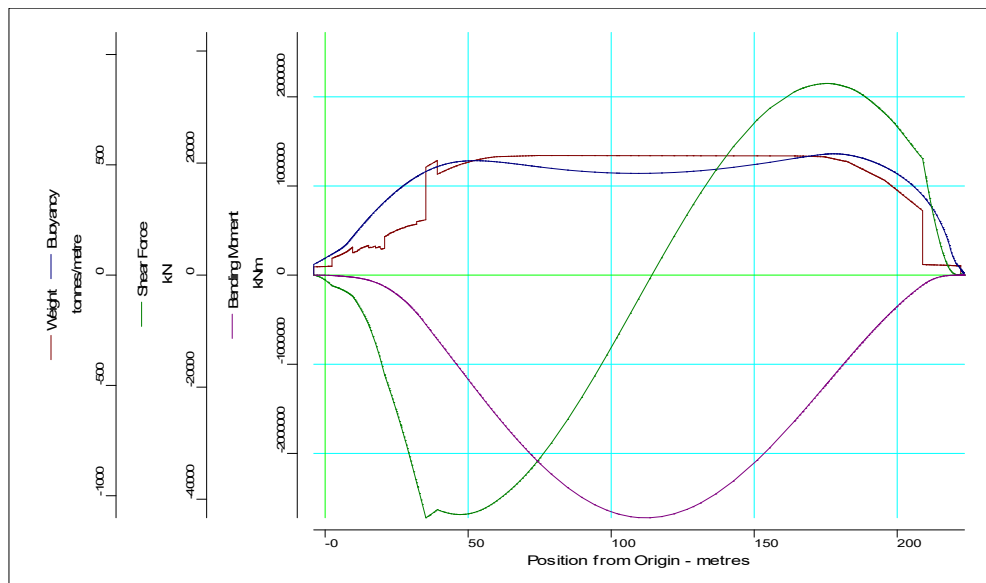
Διάγραμμα 10. Διαμήκεις Κατανομές Εκτοπίσματος – Άντωσης – Τεμνουσών Δυνάμεων –Καμπτικών Ροπών Καταστάσεως FLD – Hogging

➤ Πλεύση με το μέσο του πλοίου στην κοιλάδα του κύματος (Sagging)

Σε αυτήν την κατάσταση κυματισμού, η πρύμνη και η πλώρη βρίσκονται στην κορυφή του κύματος, οπότε ο πυθμένας εφελκύεται ενώ το κατάστρωμα θλίβεται.



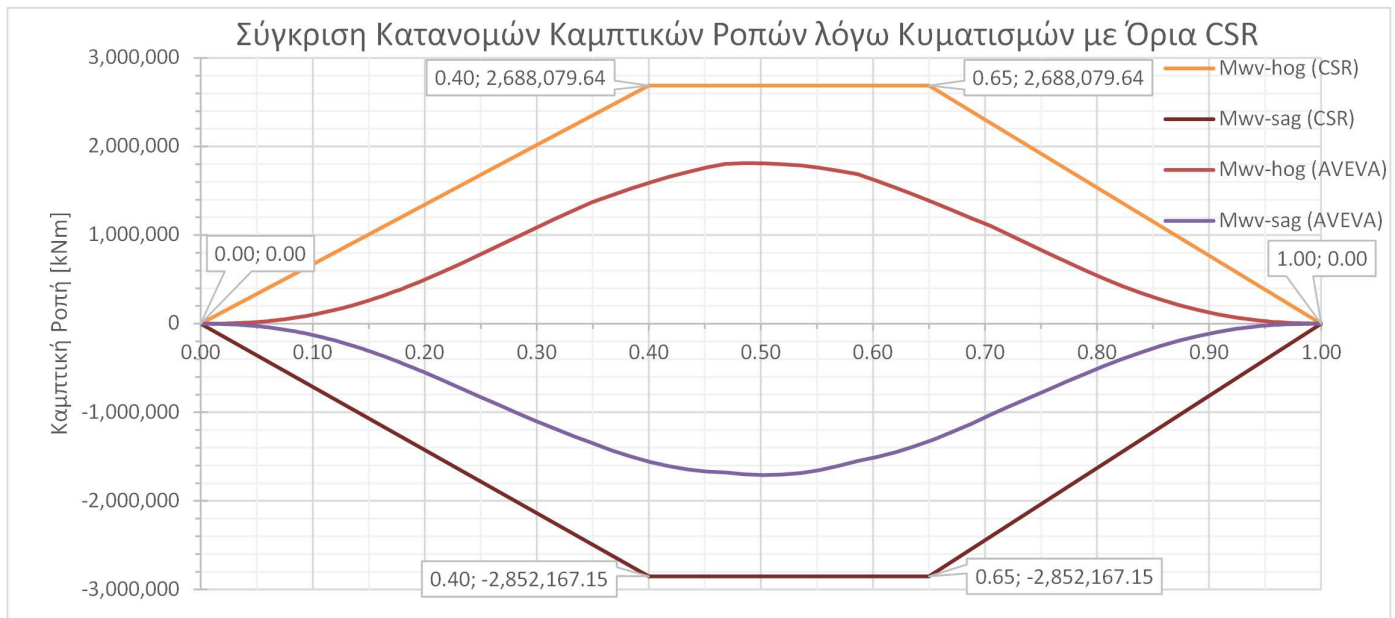
Εικόνα 20. Προφίλ Πλοίου Καταστάσεως FLD στην Κοιλάδα Κύματος (Sagging)



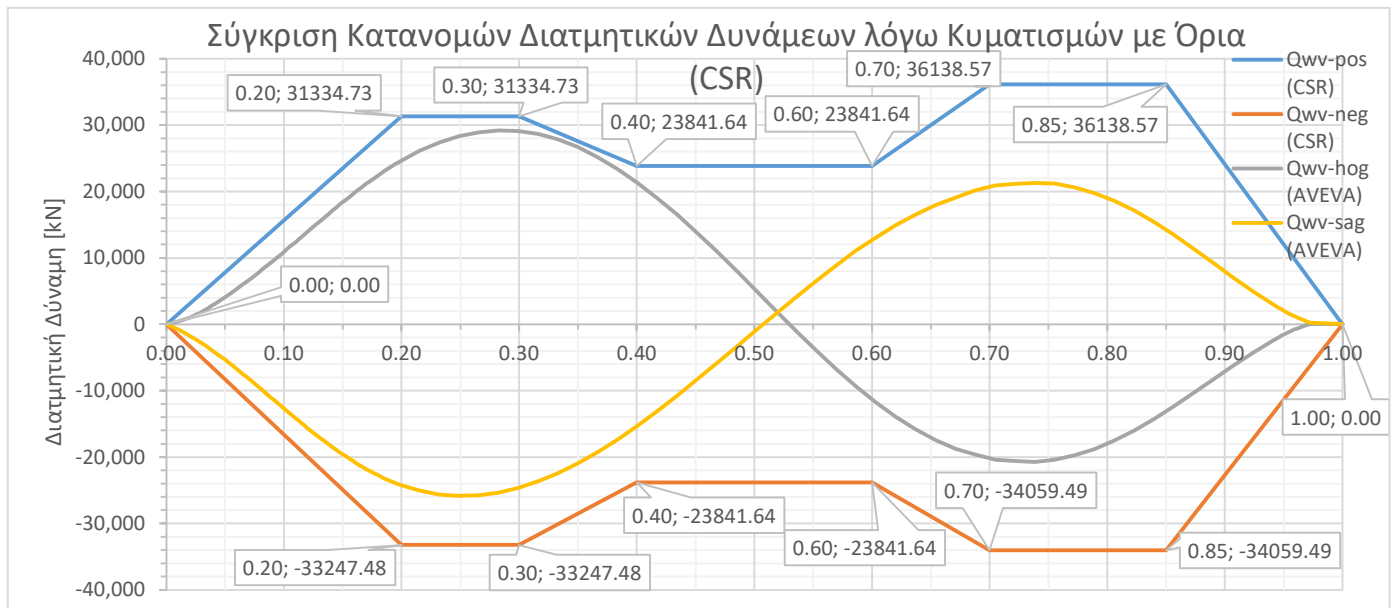
Διάγραμμα 11. Διαμήκεις Κατανομές Εκτοπίσματος – Άντωσης – Τεμνουσών Δυνάμεων –Καμπτικών Ροπών Καταστάσεως FLD – Sagging

Σύγκριση Διαμήκων Κατανομών Καμπτικών Ροπών και Διατμητικών Δυνάμεων από Κυματισμό Καταστάσεως FLD με Όρια CSR

Με δεδομένες τις διαμήκεις κατανομές των καμπτικών ροπών και των διατμητικών δυνάμεων της καταστάσεως φόρτωσης FLD, σε ήρεμο νερό και σε κυματισμούς, προχωράμε στην σύγκριση αυτών με τα με τα όρια των αντίστοιχων κατανομών, όπως αυτά ορίζονται στους σχετικούς κανονισμούς **[Pt1/Ch4/Sec4/"Dynamic Hull Girder Loads"]** (Common Structural Rules – CSR για Oil Tankers). Προκειμένου να συγκρίνουμε την καμπτική ροπή και τη διατμητική δύναμη, καθαρά λόγω κυματισμού, με τα αντίστοιχα όρια των CSR, αφαιρούμε από τα αποτελέσματα των καταστάσεων *Hogging* και *Sagging*, αυτά της καταστάσεως *Still Water*, για τις αντίστοιχες θέσεις κατά μήκος του πλοίου (Παράρτημα Β).



Διάγραμμα 12. Σύγκριση Διαμήκων Κατανομών Καμπτικών Ροπών λόγω Κυματισμών με Όρια CSR



Διάγραμμα 13. Σύγκριση Διαμήκων Κατανομών Διατμητικών Δυνάμεων λόγω Κυματισμών με Όρια CSR

4.2. Συνοπτικός Πίνακας Καταστάσεων Φόρτωσης

Στο παρόν παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα του “Hydrostatics & Hydrodynamics” για τις παραχθείσες καταστάσεις φόρτωσης.

Items	Lightship	FLD	FLA	NBD	NBA	Units
Cargo Oil	0.0	76938.6	76938.6	0.0	0.0	tonnes
Water Ballast	0.0	0.0	2419.4	28493.1	29220.1	tonnes
Fresh Water	0.0	405.2	74.0	405.2	74.0	tonnes
Heavy Fuel Oil	0.0	2365.9	301.0	2,365.9	301.0	tonnes
Diesel Oil	0.0	215.3	21.6	215.3	21.6	tonnes
Miscellaneous	0.0	235.4	235.4	235.4	235.4	tonnes
Fixed Weights	0.0	117.0	111.9	117.0	111.9	tonnes
Deadweight	0.0	80277.5	80101.9	31832.0	29964.0	tonnes
Lightship	15395.0	15395.0	15395.0	15395.0	15395.0	tonnes
Displacement	15395.0	95672.5	95496.9	47227.0	45359.0	tonnes
LCG	98.416	114.815	115.492	112.169	115.848	metres
TCG	0.000	0.013	-0.005	0.026	-0.010	metres
VCG	11.110	11.745	11.400	8.328	7.943	metres
FSM	0.0	66487.2	96466.8	2428.9	1481.8	tonnes-metres
FSC	0.000	0.695	1.010	0.051	0.033	metres
KGf	11.110	12.440	12.410	8.380	7.976	metres
Buoyancy	15395.0	95672.5	95496.9	47227.0	45359.0	tonnes
LCB	98.258	114.802	115.492	112.105	115.824	metres
TCB	0.000	0.043	-0.015	0.038	-0.014	metres
VCB	1.434	7.201	7.188	3.724	3.550	metres
Density of Water	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	tonnes/cu.m
Angle of Heel	0.00	0.33	-0.12	0.16	-0.06	degrees
Draft at LCF	2.503	14.000	13.976	7.188	6.910	metres
Draft at AP	4.387	14.283	13.981	8.784	7.534	metres
Draft at FP	0.820	13.710	13.971	5.786	6.371	metres
Mean Draft at Midships	2.603	13.997	13.976	7.285	6.952	metres
Trim by Stern	3.566	0.573	0.010	2.998	1.163	metres
Trim by Bow	-3.566	-0.573	-0.010	-2.998	-1.163	metres
BMt	39.139	7.487	7.477	14.187	14.614	metres
Effective GM	29.463	2.248	2.255	9.529	10.188	metres
BMI	1156.523	264.096	263.042	457.205	461.423	metres
Waterplane Area	6312.64	7173.25	7157.69	6788.71	6718.38	sq.metres
LCF	115.614	108.069	108.331	116.451	117.487	metres
TCF	0.000	0.087	-0.031	0.023	-0.008	metres
TPC	64.831	73.669	73.510	69.720	68.998	tonnes/cm
MTC	812.999	1153.732	1147.019	985.837	955.673	tonnes-m/cm
Propeller Tip Immersion	-3.021	6.947	6.659	1.389	0.184	metres
Required % Immersion	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	%
Actual % Immersion	59.181	193.879	189.981	118.776	102.487	%
Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	2.430	0.348	0.354	1.347	1.439	m-rads
Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.958	0.245	0.248	0.975	1.022	m-rads

Items	Lightship	FLD	FLA	NBD	NBA	Units
Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	3.388	0.593	0.602	2.322	2.461	m-rads
Initial GM to be at least 0.15 metres	29.463	1.440	1.454	9.530	10.188	metres
GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 deg	6.023	1.430	1.450	6.317	6.650	metres
Max GZ at an angle > 30 deg	22.361	39.367	39.327	48.376	49.265	degrees
IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	0.354	0.678	0.470	0.434	0.335	degrees
IMO Weather Criterion (Areas)	1.947	6.845	6.916	4.131	4.036	

Πίνακας 16. Συνοπτικός Πίνακας Καταστάσεων Φόρτωσης

4.3. Σύγκριση Καταστάσεων NBD/NBA με Κριτήρια MARPOL (Κανονισμός 18, Παράρτημα I)

Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται ο έλεγχος της συμμόρφωσης των ερματισμένων καταστάσεων φόρτωσης (NBD,NBA) με τις κύριες απαιτήσεις του Κανονισμού 18 του Παραρτήματος I της MARPOL. Επιγραμματικά, στον Κανονισμό αναφέρονται, και θα μελετηθούν, τα εξής:

2 Η χωρητικότητα των δεξαμενών διαχωρισμένου έρματος θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε :

- .1 το προβαλλόμενο βύθισμα στο μέσο του πλοίου (d_m) σε μέτρα (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε παραμόρφωση του πλοίου) να μην είναι μικρότερο από:

$$d_m \geq 2.0 + 0.02 * L = 2.0 + 0.02 * 220.782 \Rightarrow$$

$$d_m \geq 6.416 \text{ m}$$

- .2 τα βυθίσματα στη πρωραία και στη πρυμναία κάθετο θα πρέπει να ανταποκρίνονται σε εκείνα που καθορίζονται από το βύθισμα στο μέσο του πλοίου (d_m), όπως προσδιορίζεται στη Παράγραφο 2.1 του παρόντος Κανονισμού, ώστε το πλοίο να έχει έμπρυμνη διαγωγή, όχι μεγαλύτερη από:

$$trim \leq 0.015 * L = 0.015 * 220.782 \Rightarrow$$

$$trim \leq 3.312 \text{ m}$$

- .3 σε κάθε περίπτωση, το βύθισμα στην πρυμναία κάθετο θα πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης βύθιση της έλικας του πλοίου.

*L: το μήκος (L) λαμβάνεται ίσο με το 96% του ολικού μήκους μιας ισάλου στο 85% του ελάχιστου κοίλου σχεδίασης μετρούμενου από το άνω μέρος της τρόπιδας ή με το μήκος μετρούμενο από το πρωραίο άκρο της πλώρης έως τον άξονα του πηδαλιού σε εκείνη την ίσαλο, αν αυτό είναι μεγαλύτερο.

Στην συνέχεια παρατίθεται Πίνακας με τα μελετούμενα στοιχεία των καταστάσεων φόρτωσης NBD και NBA, όπου διαπιστώνεται η συμμόρφωση αυτών με τα απαιτούμενα.

Item	MARPOL	NBD	NBA
d_m	≥ 6.416	7.285	6.952
Trim	≤ 3.312	2.998	1.163
Propeller immersion	$\geq 100\%$	118.776%	102.487%

Πίνακας 17. Συγκριτικός Πίνακας Καταστάσεων NBD/NBA με Κριτήρια Κανονισμού

Σημειώνεται πως για τον έλεγχο της βύθισης της έλικας, εισήχθη στο Hydrostatics and Hydrodynamics η θέση της απόληξης του άξονα (βάσει σχεδίασης στο Lines), ενώ τέθηκε μια τυπική διάμετρος έλικας, ίση με 7.4 m.

5. Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 23, Παράρτημα Ι)

Σε αυτό το Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη εναρμόνισης της σχεδίασης με τον Κανονισμό 23 του Παραρτήματος Ι της MARPOL, σχετικά με την παράμετρο μέσης εκροής πετρελαίου O_M . Για τις ανάγκες των υπολογισμών έγινε χρήση του υποπρογράμματος “Hydrostatics & Hydrodynamics”, μέσω της καρτέλας “Oil Outflow”. Επιπλέον, εκτελέστηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων

5.1. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής βάσει AVEVA

Ακολουθούν οι Πίνακες με τα δεδομένα των υπολογισμών και τα αποτελέσματα αυτών, όπως εκτελέστηκαν από το πρόγραμμα “Hydrostatics & Hydrodynamics”.

Main Particulars

Symbol	Description	Units	Value
L	Length on WL at 85% D_S	m	220.782
d_S	Load Line Draft Mld.	m	14.00
B_S	Mld. Breadth at or below d_S	m	36.00
B_B	Mld. Breadth at or below 30% D_S	m	36.00
D_S	Mld. Depth to Upper Deck	m	20.70
DWT	Nominal Deadweight	tons	80,278
rhCargo	Cargo Oil Density	tons/m ³	0.886
t_C	Tidal Change	m	-2.5
LBhds	2 or more long. bulkheads?		No

Πίνακας 18. Πρωταρχικά Μεγέθη Υπολογισμών “Hydrostatics & Hydrodynamics”

Cargo Tank Data

Compartment	Capacity	X_a	X_f	Y_p	Y_s	Z_l	Z_u	y	z	Inert Gas
	98% full									press. p
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	kPa
No.1.C.O.T.(P)	5,730.40	182.14	208.88	-14.95	0.00	2.45	20.70	<u>2.56</u>	2.45	5.00
No.1.C.O.T.(S)	5,730.40	182.14	208.88	0.00	14.95	2.45	20.70	<u>2.56</u>	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(P)	7,432.21	155.40	182.14	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(S)	7,432.21	155.40	182.14	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(P)	7,472.70	128.66	155.40	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(S)	7,472.70	128.66	155.40	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(P)	7,472.70	101.92	128.66	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(S)	7,472.70	101.92	128.66	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(P)	7,472.70	75.18	101.92	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(S)	7,472.70	75.18	101.92	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(P)	7,403.56	48.44	75.18	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(S)	7,403.56	48.44	75.18	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
RESIDUAL T.(P)	195.20	39.20	48.44	-15.55	-11.00	16.12	20.70	<u>2.45</u>	16.12	5.00
SLOP T.(P)	2,131.85	39.20	48.44	-15.55	0.00	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
SLOP T.(S)	2,327.05	39.20	48.44	0.00	15.55	2.45	20.70	<u>2.45</u>	2.45	5.00
C	90,622.67									

Πίνακας 19. Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

- **Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, Oms**

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα σχετικά με την μέση εκροή λόγω πλευρικής βλάβης (Πίνακας 20), διαπιστώνεται πως το πρόγραμμα καταλήγει στην συνολική μέση εκροή, O_{MS}, αθροίζοντας τις μέσες εκροές όλων των δεξαμενών φορτίου, χωρίς να τις διαχωρίζει ανάλογα με την πλευρά που βρίσκονται.

Παρόλα αυτά, στον Κανονισμό 23 καθώς και στις Επεξηγηματικές Σημειώσεις της απόφασης MEPC.122(52), αναφέρεται ότι στις περιπτώσεις συμμετρικών διατάξεων των δεξαμενών, οι βλάβες δύναται να εξετάζονται για την μια πλευρά του πλοίου μόνο.

Ανατρέχοντας στις Επεξηγηματικές Σημειώσεις της απόφασης MEPC.122(52), εντοπίζουμε τα ακόλουθα για την περίπτωση των ασύμμετρων δεξαμενών φορτίου (Παράγραφος 6, Κανονισμός 23.5.1.) ([https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.122\(52\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.122(52).pdf)):

Side Damage Outflow			
Compart- ment	Ps	Os (m ³)	PsOs (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.029	5,730.40	164.34
No.1.C.O.T.(S)	0.029	5,730.40	164.34
No.2.C.O.T.(P)	0.033	7,432.21	243.22
No.2.C.O.T.(S)	0.033	7,432.21	243.22
No.3.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55
No.3.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55
No.4.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55
No.4.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55
No.5.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55
No.5.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55
No.6.C.O.T.(P)	0.033	7,403.56	242.55
No.6.C.O.T.(S)	0.033	7,403.56	242.55
RESIDUAL T.(P)	0.010	195.20	2.02
SLOP T.(P)	0.019	2,131.85	40.21
SLOP T.(S)	0.019	2,327.05	43.89
Long Bhd C3			1.00
Oms			2,853.62

Πίνακας 20. Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης βάσει "Hydrostatics & Hydrodynamics"

For designs with asymmetrical cargo tank arrangements, calculations should be performed from both sides and the results averaged. For side damage, the probabilities of damage are derived from five dimensions as defined in Paragraph 8.2. These are: X_a, X_f, Z_l, Z_u, and y. X_a, X_f, Z_l, and Z_u will have the same values, for both port and starboard damage. For damage from the starboard side, y is measured inboard from the starboard side shell. For damage from the port side, y is measured inboard from the portside shell. This will result in two outflow values for side damage, O_{MS-port} and O_{MS-starboard}. Averaging these values yields the overall mean outflow from side damage.

$$O_{MS} = (O_{MS-port} + O_{MS-starboard}) / 2$$

Το πρόγραμμα φαίνεται να μην λαμβάνει υπόψιν την ανωτέρω επεξήγηση. Αντί αυτού, υπολογίζει την μέση εκροή κάθε δεξαμενής μόνο από την πλευρά πλησίον της δεξαμενής, μιας και οι ελάχιστες αποστάσεις y των δεξαμενών έχουν ληφθεί μόνο για την πλευρά του πλοίου στην οποία επαφίεται η εκάστοτε δεξαμενή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο Πίνακας 20 να καταλήγει στην συνολική μέση εκροή του χώρου φορτίου αθροίζοντας ταυτόχρονα την μέση εκροή της αριστερής και της δεξιάς πλευράς, με αποτέλεσμα να την υπερεκτιμά.

Επομένως, ακολουθώντας τις οδηγίες του Κανονισμού 23, αξιοποιούμε τα δεδομένα του Πίνακα 20 αναλόγως και δημιουργούμε τις στήλες με τις μέσες εκροές της κάθε δεξαμενής για κάθε πλευρά, O_{MS-port} και O_{MS-starboard}, ο μέσος όρος των οποίων αντιστοιχεί στην πραγματική μέση εκροή πλευρικής βλάβης O_{MS} (Πίνακας 21).

Side Damage Outflow

"AVEVA-Hydrostatics & Hydrodynamics"				Port Side			Starboard Side			Mean
Compartment	Ps	Os (m ³)	PsOs (m ³)	Ps _p	Os (m ³)	O _{MS-port} (m ³)	Ps _s	Os (m ³)	O _{MS-starboard} (m ³)	O _{MS} (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.029	5,730.40	164.34	0.029	5,730.40	164.34	0.000	5,730.40	0.00	82.17
No.1.C.O.T.(S)	0.029	5,730.40	164.34	0.000	5,730.40	0.00	0.029	5,730.40	164.34	82.17
No.2.C.O.T.(P)	0.033	7,432.21	243.22	0.033	7,432.21	243.22	0.000	7,432.21	0.00	121.61
No.2.C.O.T.(S)	0.033	7,432.21	243.22	0.000	7,432.21	0.00	0.033	7,432.21	243.22	121.61
No.3.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	122.275
No.3.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	0.033	7,472.70	244.55	122.275
No.4.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	122.275
No.4.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	0.033	7,472.70	244.55	122.275
No.5.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	122.275
No.5.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.000	7,472.70	0.00	0.033	7,472.70	244.55	122.275
No.6.C.O.T.(P)	0.033	7,403.56	242.55	0.033	7,403.56	242.55	0.000	7,403.56	0.00	121.275
No.6.C.O.T.(S)	0.033	7,403.56	242.55	0.000	7,403.56	0.00	0.033	7,403.56	242.55	121.275
RESIDUAL T.(P)	0.010	195.20	2.02	0.010	195.20	2.02	0.000	195.20	0.00	1.01
SLOP T.(P)	0.019	2,131.85	40.21	0.019	2,131.85	40.21	0.000	2,131.85	0.00	20.105
SLOP T.(S)	0.019	2,327.05	43.89	0.000	2,327.05	0.00	0.019	2,327.05	43.89	21.945
Long Bhd C3			1.00			1.00			1.00	1.00
Oms			2,853.62			1,425.99			1,427.65	1,426.82

Πίνακας 21. Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης βάσει "Hydrostatics & Hydrodynamics" και Ανάλυση για τις 2 Πλευρές

Σε αυτό το σημείο οφείλουμε να σημειώσουμε πως η ρίζα των παρεκκλίσεων των υπολογισμών του προγράμματος δεν εντοπίστηκε. Η πιο πιθανή αιτία φαίνεται να βρίσκεται στο στάδιο της μοντελοποίησης μας, και όχι σε εσφαλμένες παραμέτρους του προγράμματος, μιας και πρόκειται για ένα πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως από την ναυπηγική κοινότητα και συνεχώς αναβαθμίζεται μέσω ενημερώσεων.

- **Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}**

Η μέση εκροή λόγω βλάβης πυθμένα, O_{MB}, υπολογίζεται για 2 καταστάσεις παλίρροιας, 0 m και -2.5 m. Οι μέσες εκροές των καταστάσεων αυτών, O_{MB(0)} και O_{MB(-2.5)} αντίστοιχα, συνδυάζονται προς την εξαγωγή της συνολικής μέσης εκροής βλάβης πυθμένα, O_{MB}.

Στον υπολογισμό των μέσων εκροών πυθμένα O_{MB(0)} και O_{MB(-2.5)}, εισέρχονται τα μεγέθη P_B (πιθανότητα βλάβης πυθμένα της εκάστοτε δεξαμενής, η οποία παραμένει ίδια και στις 2 καταστάσεις παλίρροιας για την κάθε δεξαμενή) και O_{B(0)}/O_{B(-2.5)} (εκρέουσα ποσότητα/εκροή στις 2 καταστάσεις παλίρροιας).

Όσον αφορά τις εκροές O_{B(0)} και O_{B(-2.5)}, σε αυτό το σημείο στηρίζομαστε στις τιμές του Πίνακα 22, ενώ αυτές ελέγχονται στο Κεφάλαιο 5.2. μέσω ειδικής καρτέλας του προγράμματος (Tank Calibration), προς την εκτέλεση των αναλυτικών υπολογισμών. Ακολουθεί ο Πίνακας με τους υπολογισμούς της μέσης εκροής λόγω βλάβης πυθμένα, όπως εξήχθη από το πρόγραμμα.

Bottom Damage Outflow

Compartment	Cdb	Pb	Ob(0) (m ³)	CdbPbOb(0) (m ³)	Ob(2.5) (m ³)	CdbPbOb(2.5) (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.600	0.064	1,789.77	68.98	2,690.82	103.71
No.1.C.O.T.(S)	0.600	0.064	1,789.77	68.98	2,690.82	103.71
No.2.C.O.T.(P)	0.600	0.065	2,292.53	88.73	3,464.78	134.11

Bottom Damage Outflow						
Compartment	Cdb	Pb	Ob(0) (m ³)	CdbPbOb(0) (m ³)	Ob(2.5) (m ³)	CdbPbOb(2.5) (m ³)
No.2.C.O.T.(S)	0.600	0.065	2,292.53	88.73	3,464.78	134.11
No.3.C.O.T.(P)	0.600	0.053	2,304.32	73.84	3,483.07	111.61
No.3.C.O.T.(S)	0.600	0.053	2,304.32	73.84	3,483.07	111.61
No.4.C.O.T.(P)	0.600	0.039	2,304.30	53.81	3,483.05	81.34
No.4.C.O.T.(S)	0.600	0.039	2,304.30	53.81	3,483.05	81.34
No.5.C.O.T.(P)	0.600	0.027	2,304.30	37.85	3,483.05	57.21
No.5.C.O.T.(S)	0.600	0.027	2,304.30	37.85	3,483.05	57.21
No.6.C.O.T.(P)	0.600	0.020	2,305.72	27.77	3,484.47	41.97
No.6.C.O.T.(S)	0.600	0.020	2,305.72	27.77	3,484.47	41.97
RESIDUAL T.(P)	0.600	0.000	195.20	0.00	195.20	0.00
SLOP T.(P)	0.600	0.012	604.83	5.88	998.65	8.78
SLOP T.(S)	0.600	0.012	800.03	4.45	1,193.85	7.34
Omb				712.29		1,076.00

Πίνακας 22. Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα βάσει "Hydrostatics & Hydrodynamics"

- **Παράμετρος Μέσης Εκροής Πετρελαίου, Om**

Δεδομένων των υπολογισμών των Πινάκων 20 και 22, το πρόγραμμα υπολογίζει την παράμετρο μέσης εκροής πετρελαίου, Om, στον παρακάτω Πίνακα. Η γραμμοσκιασμένη στήλη αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της επιμέρους ανάλυσης της μέσης εκροής πλευρικής βλάβης (Πίνακας 21).

Outflow Summary				
Symbol	Description	Units	Value	Value
Oms	Mean Outflow for Side Damage	cu.metres	2,853.621	1,426.820
Omb	Mean Outflow for Bottom Damage	cu.metres	821.405	821.405
Om	Outflow parameter = (0.4Oms + 0.6Omb)/C		0.0180	0.0117
OmLimit	Maximum allowed value of Om		0.0150	0.0150

Πίνακας 23. Παράμετρος Μέσης Εκροής βάσει "Hydrostatics & Hydrodynamics"

The vessel does not comply with MARPOL 23, because the Outflow parameter is greater than the regulation limit.

Παρατηρείται πως η σχεδιάσή μας δεν πληροί τα κριτήρια του Κανονισμού 23, βάσει του "Hydrostatics & Hydrodynamics" μιας και η παράμετρος μέσης εκροής υπερβαίνει το όριο που θέτει ο Κανονισμός. Παρόλα αυτά, η ανάλυση που πραγματοποιήσαμε στα αποτελέσματα του προγράμματος, χωρίζοντας τις μέσες εκροές δεξιάς και αριστερής πλευράς (Πίνακας 21), δείχνει πως η παράμετρος μέσης εκροής βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων.

5.2. Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής

Στον Πίνακα 24 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί της μέσης εκροής λόγω πλευρικής βλάβης και για τις δυο πλευρές και ο μέσος όρος των εκροών ανά πλευρά. Προσοχή απαιτείται στην θεώρηση της απόστασης “y”, η οποία αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση της εκάστοτε δεξαμενής από την πλευρά της βλάβης.

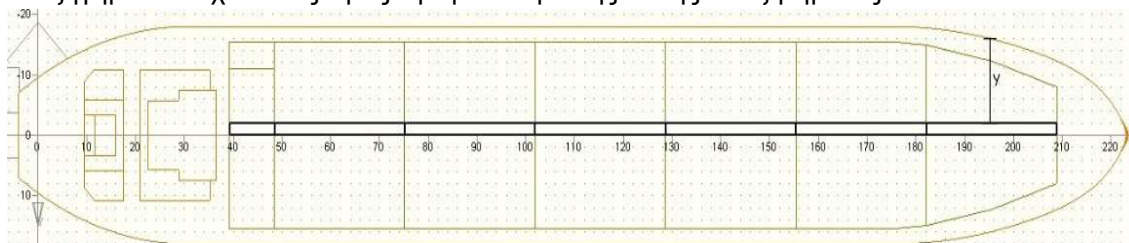
Tanks	Capacity	X_a	X_f	Y_p	Y_s	Z_l	Z_u	y_p	y_s	z	I.G.(p)
	98% full										
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	kPa
No.1.C.O.T.(P)	5,730.40	182.14	208.88	32.95	18.00	2.45	20.70	2.56	???	2.45	5.00
No.1.C.O.T.(S)	5,730.40	182.14	208.88	18.00	3.05	2.45	20.70	???	2.56	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(P)	7,432.21	155.40	182.14	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(S)	7,432.21	155.40	182.14	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(P)	7,472.70	128.66	155.40	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(S)	7,472.70	128.66	155.40	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(P)	7,472.70	101.92	128.66	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(S)	7,472.70	101.92	128.66	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(P)	7,472.70	75.18	101.92	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(S)	7,472.70	75.18	101.92	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(P)	7,403.56	48.44	75.18	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(S)	7,403.56	48.44	75.18	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
RESIDUAL.(P)	195.20	39.20	48.44	33.55	29.00	16.12	20.70	2.45	???	16.12	5.00
SLOP T.(P)	2,131.85	39.20	48.44	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45	5.00
SLOP T.(S)	2,327.05	39.20	48.44	18.00	2.45	2.45	20.70	???	2.45	2.45	5.00
C	90,622.67										

Πίνακας 24. Τροποποιημένα, βάσει Κανονισμού 23, Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου

Αρχικά, οι τιμές Y_p και Y_s του Πίνακα 19 μετασχηματίζονται σε αυτές του Πίνακα 24, αφαιρώντας τις πρώτες από το ημιπλάτος ($B_B/2=18m$), ώστε να αντικατοπτρίζουν τις αποστάσεις των αριστερότερων και δεξιότερων σημείων κάθε δεξαμενής από μία κάθετη ευθεία, η οποία βρίσκεται $B_B/2$ προς τα δεξιά της κεντρικής γραμμής του πλοίου, και όχι από την κεντρική γραμμή, όπως υπολογίζονται από το πρόγραμμα.

Στην συνέχεια, δημιουργούμε τις στήλες y_p και y_s , οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις ελάχιστες αποστάσεις κάθε δεξαμενής από την αριστερή και την δεξιά πλευρά της γάστρας αντίστοιχα. Βάσει των όσων παρέχει το πρόγραμμα στον Πίνακα 19, οι τιμές y των αριστερά δεξαμενών (C.O.T.(P)), αντιστοιχούν στις τιμές y_p του Πίνακα 24, ενώ αυτές των δεξιά δεξαμενών (C.O.T.(S)) αντιστοιχούν στις τιμές y_s . Επομένως, το αμέσως επόμενο ζήτημα που προκύπτει για την εφαρμογή της μεθόδου στο υπολογιστικό φύλλο είναι ο καθορισμός των ελαχίστων αποστάσεων y_s των αριστερά δεξαμενών (P) και αντίστοιχα των αποστάσεων y_p των δεξιά δεξαμενών (S), όπως φαίνεται στον Πίνακα 24.

Το ζήτημα επιλύθηκε σχεδιαστικά, με την εισαγωγή βοηθητικών διαμερισμάτων στο “Surface & Compartment” και εν συνέχεια στο “Hydrostatics & Hydrodynamics” ώστε να εξάγουμε τις ελάχιστες αποστάσεις y αυτών, από το περίβλημα της γάστρας και μέσω αυτών τις ζητούμενες αποστάσεις y_p και y_s των υπαρκτών δεξαμενών φορτίου. Παρατίθεται η Εικόνα 21 με την κάτοψη των βοηθητικών δεξαμενών και ο Πίνακας με τα εξαγόμενα μεγέθη, μαζί με επεξηγηματικά σχόλια ως προς την φιλοσοφία της λύσης του ζητήματος.



Εικόνα 21. Port & Starboard Δεξαμενές Φορτίου (καφέ περίγραμμα) και Βοηθητικές Δεξαμενές (μαύρο περίγραμμα)

Compart- ment	Capacity 98% full	X _a	X _f	Y _p	Y _s	Z _l	Z _u	y	z
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
No.1.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	182.14	208.88	-2	0	2.45	20.70	9.28	2.45
No.2.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	155.40	182.14	-2	0	2.45	20.70	15.45	2.45
No.3.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	128.66	155.40	-2	0	2.45	20.70	16.00	2.45
No.4.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	101.92	128.66	-2	0	2.45	20.70	16.00	2.45
No.5.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	75.18	101.92	-2	0	2.45	20.70	16.00	2.45
No.6.C.O.T.(S) (HELP)	1,005.99	48.44	75.18	-2	0	2.45	20.70	13.97	2.45
SLOP.T.(S) (HELP)	347.62	39.20	48.44	-2	0	2.45	20.70	11.43	2.45

Πίνακας 25. Χαρακτηριστικά Βοηθητικών Δεξαμενών βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

Για να εξάγουμε τις ελάχιστες αποστάσεις y_p των δεξιά (S) δεξαμενών από την αριστερή πλευρά (Πίνακας 24), μοντελοποιούμε βοηθητικές δεξαμενές (Εικόνα 21, Πίνακας 25), με διαμήκη και κατακόρυφα όρια ίδια με αυτά των κύριων δεξαμενών, και πλάτος ίσο με 2m. Εισάγοντας αυτές, μαζί με την γάστρα, στο “Hydrostatics & Hydrodynamics”, το πρόγραμμα επιστρέφει τις τιμές y αυτών, οι οποίες είναι οι ελάχιστες αποστάσεις τους από το περίβλημα της αριστερής πλευράς. Προσθέτοντας στις τιμές y του Πίνακα 25, το πλάτος 2m των βοηθητικών δεξαμενών, καταλήγουμε στην ελάχιστη απόσταση του ελάσματος στην κεντρική γραμμή του πλοίου από την αριστερή πλευρά της γάστρας, το οποίο ταυτίζεται με το έλασμα των δεξιά δεξαμενών και επομένως με την ελάχιστη απόσταση y_p των δεξιά δεξαμενών (S) από την αριστερή πλευρά (Πίνακας 26).

Αντίστοιχα, για τις ελάχιστες αποστάσεις y_s των αριστερά (P) δεξαμενών από την δεξιά πλευρά της γάστρας (Πίνακας 24), αντιστρέφουμε τις τιμές y_p του Πίνακα 26, μεταξύ των αντίστοιχων συμμετρικών δεξαμενών P και S, με μόνη διαφορά την δεξαμενή Residual (P). Η ελάχιστη απόσταση y_s , της συγκεκριμένης δεξαμενής, ισούται με την ελάχιστη απόσταση της δεξαμενής Slop (P) από την δεξιά πλευρά (y_s) συν την θέση του δεξιά ελάσματος της Residual (P) δεξαμενής, το οποίο βρίσκεται στα 11m από την κεντρική γραμμή (Πίνακας 19), όπου βρίσκεται το δεξί έλασμα της Slop (P).

Tanks	Capacity 98% full	X _a	X _f	Y _p	Y _s	Z _l	Z _u	y _p	y _s	z	I.G.(p)
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	kPa
No.1.C.O.T.(P)	5,730.40	182.14	208.88	32.95	18.00	2.45	20.70	2.56	11.28	2.45	5.00
No.1.C.O.T.(S)	5,730.40	182.14	208.88	18.00	3.05	2.45	20.70	11.28	2.56	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(P)	7,432.21	155.40	182.14	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	17.45	2.45	5.00
No.2.C.O.T.(S)	7,432.21	155.40	182.14	18.00	2.45	2.45	20.70	17.45	2.45	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(P)	7,472.70	128.66	155.40	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	5.00
No.3.C.O.T.(S)	7,472.70	128.66	155.40	18.00	2.45	2.45	20.70	18.00	2.45	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(P)	7,472.70	101.92	128.66	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	5.00
No.4.C.O.T.(S)	7,472.70	101.92	128.66	18.00	2.45	2.45	20.70	18.00	2.45	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(P)	7,472.70	75.18	101.92	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	5.00
No.5.C.O.T.(S)	7,472.70	75.18	101.92	18.00	2.45	2.45	20.70	18.00	2.45	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(P)	7,403.56	48.44	75.18	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	15.97	2.45	5.00
No.6.C.O.T.(S)	7,403.56	48.44	75.18	18.00	2.45	2.45	20.70	15.97	2.45	2.45	5.00
RESIDUAL.(P)	195.20	39.20	48.44	33.55	29.00	16.12	20.70	2.45	24.43	16.12	5.00
SLOP T.(P)	2,131.85	39.20	48.44	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	13.43	2.45	5.00
SLOP T.(S)	2,327.05	39.20	48.44	18.00	2.45	2.45	20.70	13.43	2.45	2.45	5.00
C	90,622.67										

Πίνακας 26. Τροποποιημένα, βάσει Κανονισμού 23, Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου

Πλέον, με δεδομένα τα τελικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών φορτίου του Πίνακα 26, μπορούμε να προβούμε στον υπολογισμό της παραμέτρου μέσης εκροής πετρελαίου, βάσει των όσων περιγράφονται στον Κανονισμό 23.

- Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{MS}

Στον Πίνακα 27 συγκεντρώνονται τα δεδομένα των υπολογισμών της μέσης εκροής, για την περίπτωση της πλευρικής βλάβης.

Cargo Tank	X_a (m)	X_f (m)	Z_l (m)	Z_u (m)	y_p (m)	y_s (m)	X_a/L	X_f/L	Z_l/D_s	Z_u/D_s	y_p/B_s	y_s/B_s
No.1.C.O.T.(P)	182.14	208.88	2.45	20.70	2.56	11.28	0.8250	0.9461	0.1184	1.0000	0.0711	0.3133
No.1.C.O.T.(S)	182.14	208.88	2.45	20.70	11.28	2.56	0.8250	0.9461	0.1184	1.0000	0.3133	0.0711
No.2.C.O.T.(P)	155.40	182.14	2.45	20.70	2.45	17.45	0.7039	0.8250	0.1184	1.0000	0.0681	0.4847
No.2.C.O.T.(S)	155.40	182.14	2.45	20.70	17.45	2.45	0.7039	0.8250	0.1184	1.0000	0.4847	0.0681
No.3.C.O.T.(P)	128.66	155.40	2.45	20.70	2.45	18.00	0.5827	0.7039	0.1184	1.0000	0.0681	0.5000
No.3.C.O.T.(S)	128.66	155.40	2.45	20.70	18.00	2.45	0.5827	0.7039	0.1184	1.0000	0.5000	0.0681
No.4.C.O.T.(P)	101.92	128.66	2.45	20.70	2.45	18.00	0.4616	0.5827	0.1184	1.0000	0.0681	0.5000
No.4.C.O.T.(S)	101.92	128.66	2.45	20.70	18.00	2.45	0.4616	0.5827	0.1184	1.0000	0.5000	0.0681
No.5.C.O.T.(P)	75.18	101.92	2.45	20.70	2.45	18.00	0.3405	0.4616	0.1184	1.0000	0.0681	0.5000
No.5.C.O.T.(S)	75.18	101.92	2.45	20.70	18.00	2.45	0.3405	0.4616	0.1184	1.0000	0.5000	0.0681
No.6.C.O.T.(P)	48.44	75.18	2.45	20.70	2.45	15.97	0.2194	0.3405	0.1184	1.0000	0.0681	0.4436
No.6.C.O.T.(S)	48.44	75.18	2.45	20.70	15.97	2.45	0.2194	0.3405	0.1184	1.0000	0.4436	0.0681
RESIDUALT.(P)	39.20	48.44	16.12	20.70	2.45	24.43	0.1776	0.2194	0.7787	1.0000	0.0681	0.6786
SLOP T.(P)	39.20	48.44	2.45	20.70	2.45	13.43	0.1776	0.2194	0.1184	1.0000	0.0681	0.3731
SLOP T.(S)	39.20	48.44	2.45	20.70	13.43	2.45	0.1776	0.2194	0.1184	1.0000	0.3731	0.0681

Πίνακας 27. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Φορτίου

Cargo Tank	P_{Sa}	P_{Sf}	P_{Sl}	P_{Su}	P_{Syp}	P_{Sys}	P_{SL}	P_{SV}	P_{STp}	P_{STs}	P_{Sp}	P_{Ss}
No.1.C.O.T.(P)	0.7920	0.0248	0.0017	0.00	0.8348	1.0000	0.1832	0.9983	0.1652	0.0000	0.0302	0.0000
No.1.C.O.T.(S)	0.7920	0.0248	0.0017	0.00	1.0000	0.8348	0.1832	0.9983	0.0000	0.1652	0.0000	0.0302
No.2.C.O.T.(P)	0.6709	0.1420	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1871	0.9983	0.1752	0.0000	0.0327	0.0000
No.2.C.O.T.(S)	0.6709	0.1420	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1871	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0327
No.3.C.O.T.(P)	0.5497	0.2631	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1871	0.9983	0.1752	0.0000	0.0327	0.0000
No.3.C.O.T.(S)	0.5497	0.2631	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1871	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0327
No.4.C.O.T.(P)	0.4286	0.3843	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1871	0.9983	0.1752	0.0000	0.0327	0.0000
No.4.C.O.T.(S)	0.4286	0.3843	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1871	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0327
No.5.C.O.T.(P)	0.3075	0.5054	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1871	0.9983	0.1752	0.0000	0.0327	0.0000
No.5.C.O.T.(S)	0.3075	0.5054	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1871	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0327
No.6.C.O.T.(P)	0.1864	0.6265	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1871	0.9983	0.1752	0.0000	0.0327	0.0000
No.6.C.O.T.(S)	0.1864	0.6265	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1871	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0327
RESIDUALT.(P)	0.1446	0.7476	0.4527	0.00	0.8248	1.0000	0.1079	0.5473	0.1752	0.0000	0.0103	0.0000
SLOP T.(P)	0.1446	0.7476	0.0017	0.00	0.8248	1.0000	0.1079	0.9983	0.1752	0.0000	0.0189	0.0000
SLOP T.(S)	0.1446	0.7476	0.0017	0.00	1.0000	0.8248	0.1079	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0189

Πίνακας 28. Καθορισμός Πιθανοτήτων Πλευρικής Διάτρησης Δεξαμενών Φορτίου

Δεδομένων των πιθανοτήτων διάτρησης των δεξαμενών φορτίου, σε περίπτωση πλευρικής βλάβης, είτε εξ αριστερών είτε εκ δεξιών, υπολογίζεται η μέση εκροή κάθε δεξαμενής, για κάθε πλευρά και στην συνέχεια συνδυάζονται προς τον υπολογισμό της συνολικής μέσης εκροής για πλευρική βλάβη, O_{MS} . Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 29.

SIDE DAMAGE						
Cargo Tank	P_{Sp}	P_{Ss}	O_s (m^3)	$O_{MS-port}$ (m^3)	$O_{MS-stbd}$ (m^3)	O_{MS} (m^3)
No.1.C.O.T.(P)	0.0302	0.0000	5,730.40	173.19	0.00	86.59
No.1.C.O.T.(S)	0.0000	0.0302	5,730.40	0.00	173.19	86.59
No.2.C.O.T.(P)	0.0327	0.0000	7,432.21	243.22	0.00	121.61
No.2.C.O.T.(S)	0.0000	0.0327	7,432.21	0.00	243.22	121.61
No.3.C.O.T.(P)	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.3.C.O.T.(S)	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.4.C.O.T.(P)	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.4.C.O.T.(S)	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.5.C.O.T.(P)	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.5.C.O.T.(S)	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.6.C.O.T.(P)	0.0327	0.0000	7,403.56	242.28	0.00	121.14
No.6.C.O.T.(S)	0.0000	0.0327	7,403.56	0.00	242.28	121.14
RESIDUAL.T.(P)	0.0103	0.0000	195.20	2.02	0.00	1.01
SLOP T.(P)	0.0189	0.0000	2,131.85	40.21	0.00	20.11
SLOP T.(S)	0.0000	0.0189	2,327.05	0.00	43.89	21.95
SUM				1,434.55	1,436.22	1,435.38

Πίνακας 29. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

- **Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}**

Στον Πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται τα δεδομένα των υπολογισμών της μέσης εκροής, για την περίπτωση βλάβης πυθμένα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι αποστάσεις Y_P και Y_S , οι οποίες δεν πρέπει να συγχέονται με τις αποστάσεις y_S και y_P των υπολογισμών της πλευρικής βλάβης, μετρήθηκαν από κατακόρυφο επίπεδο αποστάσεως $B_B/2$ από το επίπεδο της Centerline.

Cargo Tank	X_a (m)	X_f (m)	Y_P (m)	Y_S (m)	Z (m)	X_a/L	X_f/L	Y_P/B_B	Y_S/B_B	z/D_s
No.1.C.O.T.(P)	182.14	208.88	32.95	18.00	2.45	0.8250	0.9461	0.9153	0.5000	0.1184
No.1.C.O.T.(S)	182.14	208.88	18.00	3.05	2.45	0.8250	0.9461	0.5000	0.0847	0.1184
No.2.C.O.T.(P)	155.40	182.14	33.55	18.00	2.45	0.7039	0.8250	0.9319	0.5000	0.1184
No.2.C.O.T.(S)	155.40	182.14	18.00	2.45	2.45	0.7039	0.8250	0.5000	0.0681	0.1184
No.3.C.O.T.(P)	128.66	155.40	33.55	18.00	2.45	0.5827	0.7039	0.9319	0.5000	0.1184
No.3.C.O.T.(S)	128.66	155.40	18.00	2.45	2.45	0.5827	0.7039	0.5000	0.0681	0.1184
No.4.C.O.T.(P)	101.92	128.66	33.55	18.00	2.45	0.4616	0.5827	0.9319	0.5000	0.1184
No.4.C.O.T.(S)	101.92	128.66	18.00	2.45	2.45	0.4616	0.5827	0.5000	0.0681	0.1184
No.5.C.O.T.(P)	75.18	101.92	33.55	18.00	2.45	0.3405	0.4616	0.9319	0.5000	0.1184
No.5.C.O.T.(S)	75.18	101.92	18.00	2.45	2.45	0.3405	0.4616	0.5000	0.0681	0.1184
No.6.C.O.T.(P)	48.44	75.18	33.55	18.00	2.45	0.2194	0.3405	0.9319	0.5000	0.1184
No.6.C.O.T.(S)	48.44	75.18	18.00	2.45	2.45	0.2194	0.3405	0.5000	0.0681	0.1184
RESIDUAL.T.(P)	39.20	48.44	33.55	29.00	16.12	0.1776	0.2194	0.9319	0.8056	0.7787
SLOP T.(P)	39.20	48.44	33.55	18.00	2.45	0.1776	0.2194	0.9319	0.5000	0.1184
SLOP T.(S)	39.20	48.44	18.00	2.45	2.45	0.1776	0.2194	0.5000	0.0681	0.1184

Πίνακας 30. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Φορτίου

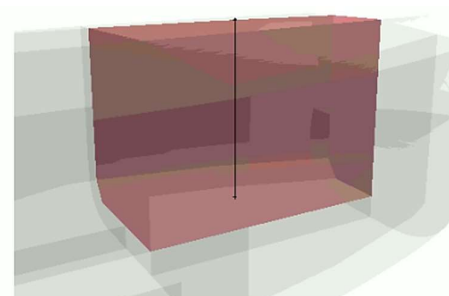
Cargo Tank	P _{Ba}	P _{Bf}	P _{Bp}	P _{Bs}	P _{Bz}	P _{BL}	P _{BT}	P _{BV}	P _B
No.1.C.O.T.(P)	0.4455	0.0309	0.0250	0.3440	0.8002	0.5236	0.6310	0.1998	0.0660
No.1.C.O.T.(S)	0.4455	0.0309	0.3440	0.0250	0.8002	0.5236	0.6310	0.1998	0.0660
No.2.C.O.T.(P)	0.2932	0.2110	0.0173	0.3440	0.8002	0.4957	0.6387	0.1998	0.0633
No.2.C.O.T.(S)	0.2932	0.2110	0.3440	0.0173	0.8002	0.4957	0.6387	0.1998	0.0633
No.3.C.O.T.(P)	0.1920	0.4068	0.0173	0.3440	0.8002	0.4012	0.6387	0.1998	0.0512
No.3.C.O.T.(S)	0.1920	0.4068	0.3440	0.0173	0.8002	0.4012	0.6387	0.1998	0.0512
No.4.C.O.T.(P)	0.1246	0.5861	0.0173	0.3440	0.8002	0.2893	0.6387	0.1998	0.0369
No.4.C.O.T.(S)	0.1246	0.5861	0.3440	0.0173	0.8002	0.2893	0.6387	0.1998	0.0369
No.5.C.O.T.(P)	0.0726	0.7231	0.0173	0.3440	0.8002	0.2043	0.6387	0.1998	0.0261
No.5.C.O.T.(S)	0.0726	0.7231	0.3440	0.0173	0.8002	0.2043	0.6387	0.1998	0.0261
No.6.C.O.T.(P)	0.0340	0.8161	0.0173	0.3440	0.8002	0.1499	0.6387	0.1998	0.0191
No.6.C.O.T.(S)	0.0340	0.8161	0.3440	0.0173	0.8002	0.1499	0.6387	0.1998	0.0191
RESIDUAL.T.(P)	0.0236	0.8847	0.0173	0.6496	1.0000	0.0917	0.3331	0.0000	0.0000
SLOP T.(P)	0.0236	0.8847	0.0173	0.3440	0.8002	0.0917	0.6387	0.1998	0.0117
SLOP T.(S)	0.0236	0.8847	0.3440	0.0173	0.8002	0.0917	0.6387	0.1998	0.0117

Πίνακας 31. Καθορισμός Πιθανοτήτων Διάτρησης Πυθμένα Δεξαμενών Φορτίου

Στα πλαίσια των υπολογισμών της περίπτωσης βλάβης πυθμένα, η ποσότητα πετρελαίου που εκρέει, O_B , καθορίζεται από την τελική στάθμη ισορροπίας, h_c , του φορτίου, λόγω της υδροστατικής πίεσεως. Για τον καθορισμό της εναπομένουσας ποσότητας φορτίου εντός των δεξαμενών, V_c , έγινε χρήση της καρτέλας “Tank Calibration” του “Hydrostatics & Hydrodynamics”.

Δεδομένης λοιπόν της τελικής στάθμης ισορροπίας, h_c , στις δεξαμενές φορτίου, υπολογίζεται, μέσω γραμμικής παρεμβολής για αντίστοιχες τιμές των σταθμών/ποσοτήτων που μας δίνει η εν λόγω καρτέλα (Εικόνα 22), η εναπομένουσα ποσότητα της κάθε δεξαμενής, την οποία αφαιρούμε από την συνολική, αρχική ποσότητα, ώστε να καταλήξουμε στην εκρέουσα. Η τελική στάθμη ισορροπίας και αντίστοιχα η εκρέουσα ποσότητα, υπολογίστηκαν για συνθήκες παλίρροιας 0m και -2.5m.

Στην περίπτωση της δεξαμενής Residual (P), η στάθμη ισορροπίας υπολογίζεται αρνητική και στις 2 καταστάσεις παλίρροιας. Επομένως η δεξαμενή αδειάζει όλη, κατά την βλάβη πυθμένα.



For full tank:

LCG	194.218	metres fwd of origin
TCG	6.036	metres to port
VCG	11.971	metres above baseline
Total Volume	5847.35	cu.metres

Sensor# 1 : Sounding Tube

X	Y	Z
195.510	-7.475	2.450
195.510	-7.475	21.700

No Heel	<input type="checkbox"/>
No Trim	<input type="checkbox"/>

Sounding Sensor #1	Volume (m ³)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)	IL (m ⁴)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.787	3940.02	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.788	3940.33	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.789	3940.65	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.790	3940.96	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.791	3941.27	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.792	3941.58	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02
12.793	3941.89	194.19	-6.06	8.91	4272.95	17708.02

Εικόνα 22. Στάθμη/Όγκος Δεξαμενής

Cargo Tank	Capacity 98% (m ³)	h _{C (0)} (m)	V _{C (0)} (m ³)	O _{B (0)} (m ³)	h _{C (-2.5)} (m)	V _{C (-2.5)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	5,730.40	12.789	3,940.65	1,789.75	9.896	3,039.60	2,690.80
No.1.C.O.T.(S)	5,730.40	12.789	3,940.65	1,789.75	9.896	3,039.60	2,690.80
No.2.C.O.T.(P)	7,432.21	12.789	5,139.70	2,292.51	9.896	3,967.44	3,464.77
No.2.C.O.T.(S)	7,432.21	12.789	5,139.70	2,292.51	9.896	3,967.44	3,464.77
No.3.C.O.T.(P)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.3.C.O.T.(S)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.4.C.O.T.(P)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.4.C.O.T.(S)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.5.C.O.T.(P)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.5.C.O.T.(S)	7,472.70	12.789	5,168.42	2,304.28	9.896	3,989.67	3,483.03
No.6.C.O.T.(P)	7,403.56	12.789	5,097.87	2,305.69	9.896	3,919.11	3,484.45
No.6.C.O.T.(S)	7,403.56	12.789	5,097.87	2,305.69	9.896	3,919.11	3,484.45
RESIDUAL.T.(P)	195.20	-3.028	0.00	195.20	-5.921	0.00	195.20
SLOP T.(P)	2,131.85	12.789	1,527.03	604.82	9.896	1,133.21	998.64
SLOP T.(S)	2,327.05	12.789	1,527.03	800.02	9.896	1,133.21	1,193.84

Πίνακας 32. Υπολογισμός Εκροής Βλάβης Πυθμένα

Με δεδομένα λοιπόν τις ποσότητες εκροής (Πίνακας 32) και τις πιθανότητες διάτρησης (Πίνακας 31), για βλάβη πυθμένα, ακολουθεί ο υπολογισμός της μέσης εκροής για την εν λόγω περίπτωση.

BOTTOM DAMAGE							
Cargo Tank	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)	O _{MB} (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.60	0.0660	1,789.75	2,690.80	70.89	106.59	81.60
No.1.C.O.T.(S)	0.60	0.0660	1,789.75	2,690.80	70.89	106.59	81.60
No.2.C.O.T.(P)	0.60	0.0633	2,292.51	3,464.77	87.02	131.51	100.36
No.2.C.O.T.(S)	0.60	0.0633	2,292.51	3,464.77	87.02	131.51	100.36
No.3.C.O.T.(P)	0.60	0.0512	2,304.28	3,483.03	70.79	107.00	81.65
No.3.C.O.T.(S)	0.60	0.0512	2,304.28	3,483.03	70.79	107.00	81.65
No.4.C.O.T.(P)	0.60	0.0369	2,304.28	3,483.03	51.04	77.15	58.88
No.4.C.O.T.(S)	0.60	0.0369	2,304.28	3,483.03	51.04	77.15	58.88
No.5.C.O.T.(P)	0.60	0.0261	2,304.28	3,483.03	36.05	54.50	41.59
No.5.C.O.T.(S)	0.60	0.0261	2,304.28	3,483.03	36.05	54.50	41.59
No.6.C.O.T.(P)	0.60	0.0191	2,305.69	3,484.45	26.46	39.99	30.52
No.6.C.O.T.(S)	0.60	0.0191	2,305.69	3,484.45	26.46	39.99	30.52
RESIDUAL.T.(P)	0.60	0.0000	195.20	195.20	0.00	0.00	0.00
SLOP T.(P)	0.60	0.0117	604.82	998.64	4.25	7.01	5.08
SLOP T.(S)	0.60	0.0117	800.02	1,193.84	5.62	8.38	6.45
SUM					694.38	1,048.88	800.73

Πίνακας 33. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα

• Παράμετρος Μέσης Εκροής Πετρελαίου, O_M

Δεδομένων των υπολογισμών για τις περιπτώσεις βλάβης πλευράς και πυθμένα, ακολουθεί ο υπολογισμός της παραμέτρου μέσης εκροής για την σχεδιάσή μας. Το σύνολο των υπολογισμών συγκεντρώνεται στον Πίνακα της επόμενης σελίδας.

SUMMARY TABLE													
BOTTOM DAMAGE								SIDE DAMAGE					
Cargo Tank	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)	O _{MB} (m ³)	P _{Sp}	P _{Ss}	O _S (m ³)	O _{MS-port} (m ³)	O _{MS-stbd} (m ³)	O _{MS} (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.60	0.0660	1,789.75	2,690.80	70.89	106.59	81.60	0.0302	0.0000	5,730.40	173.19	0.00	86.59
No.1.C.O.T.(S)	0.60	0.0660	1,789.75	2,690.80	70.89	106.59	81.60	0.0000	0.0302	5,730.40	0.00	173.19	86.59
No.2.C.O.T.(P)	0.60	0.0633	2,292.51	3,464.77	87.02	131.51	100.36	0.0327	0.0000	7,432.21	243.22	0.00	121.61
No.2.C.O.T.(S)	0.60	0.0633	2,292.51	3,464.77	87.02	131.51	100.36	0.0000	0.0327	7,432.21	0.00	243.22	121.61
No.3.C.O.T.(P)	0.60	0.0512	2,304.28	3,483.03	70.79	107.00	81.65	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.3.C.O.T.(S)	0.60	0.0512	2,304.28	3,483.03	70.79	107.00	81.65	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.4.C.O.T.(P)	0.60	0.0369	2,304.28	3,483.03	51.04	77.15	58.88	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.4.C.O.T.(S)	0.60	0.0369	2,304.28	3,483.03	51.04	77.15	58.88	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.5.C.O.T.(P)	0.60	0.0261	2,304.28	3,483.03	36.05	54.50	41.59	0.0327	0.0000	7,472.70	244.54	0.00	122.27
No.5.C.O.T.(S)	0.60	0.0261	2,304.28	3,483.03	36.05	54.50	41.59	0.0000	0.0327	7,472.70	0.00	244.54	122.27
No.6.C.O.T.(P)	0.60	0.0191	2,305.69	3,484.45	26.46	39.99	30.52	0.0327	0.0000	7,403.56	242.28	0.00	121.14
No.6.C.O.T.(S)	0.60	0.0191	2,305.69	3,484.45	26.46	39.99	30.52	0.0000	0.0327	7,403.56	0.00	242.28	121.14
RESIDUAL T.(P)	0.60	0.0000	195.20	195.20	0.00	0.00	0.00	0.0103	0.0000	195.20	2.02	0.00	1.01
SLOP T.(P)	0.60	0.0117	604.82	998.64	4.25	7.01	5.08	0.0189	0.0000	2,131.85	40.21	0.00	20.11
SLOP T.(S)	0.60	0.0117	800.02	1,193.84	5.62	8.38	6.45	0.0000	0.0189	2,327.05	0.00	43.89	21.95
SUM					694.38	1,048.88	800.73				1,434.55	1,436.22	1,435.38

Πίνακας 34. Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμών Κανονισμού 23

SIDE DAMAGE			BOTTOM DAMAGE		
$O_{MS} = (\sum P_{Sp} \cdot O_S + \sum P_{Ss} \cdot O_S) / 2$	1,435.38	m ³	$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(-2.5)}$	800.73	m ³
C (Total Capacity @ 98% Volume)	90,622.67	m ³			
$O_M = (0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}) / C$	0.0116				
O _M (Required)	< 0.0150				

***The vessel complies with MARPOL 23 ***

Πίνακας 35. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής

5.3. Σύγκριση Αναλυτικού Υπολογισμού και AVEVA

Σε αυτό το σημείο, συγκρίνονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα του αναλυτικού υπολογισμού, με αυτά του “Hydrostatics & Hydrodynamics”, ώστε να καταδείξουμε τα σημεία στα οποία το πρόγραμμα παρεκκλίνει από την ανάλυση που περιγράφεται στον Κανονισμό.

Ακολουθούν οι Πίνακες υπολογισμών του προγράμματος σε αντιπαράθεση με τους τροποποιημένους Πίνακες των αναλυτικών υπολογισμών. Τα αποτελέσματα του υπολογιστικού φύλλου δίνονται στην μορφή των αποτελεσμάτων του προγράμματος για να καταστεί η σύγκριση ευκολότερη.

- Αρχικά Δεδομένα/Στοιχεία δεξαμενών

Main Particulars

Symbol	Description	Units	Value (AVEVA)	Value (EXCEL)
L	Length on WL at 85% D _s	m	220.782	220.782
B	Max. Breadth amidships	m	36.000	36.000
D _s	Mld. Depth to Upper Deck	m	20.700	20.700
d _s	Load Line Draft Mld.	m	14.000	14.000
B _s	Mld. Breadth at or below d _s	m	36.000	36.000
B _B	Mld. Breadth at or below 30% D _s	m	36.000	36.000
t _c	Tidal Change	m	-2.500	-2.500
DWT	Nominal Deadweight	tons	80,278.0	80,227.59
LBhds	2 or more long. bulkheads?		No	No
rhoCargo	Cargo Oil Density	tons/m ³	0.886	0.8858

Πίνακας 36. Σύγκριση Αρχικών Δεδομένων Υπολογισμών Κανονισμού 23

Παρατηρείται ταύτιση των αρχικών δεδομένων του προγράμματος με αυτά του αναλυτικού υπολογισμού. Ακολουθεί ο Πίνακας με τα χωροταξικά δεδομένα των δεξαμενών, τα οποία καθορίζουν τις πιθανότητες διάτρησης.

Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου

Cargo Tank	Capacity	X _a	X _r	AVEVA		EXCEL		Z _l	Z _u	AVEVA		EXCEL		z
				Y _p	Y _s	Y _p	Y _s			γ	γ _p	γ _s		
	98% full			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
No.1.C.O.T.(P)	5,730.40	182.14	208.88	-14.95	0.00	32.95	18.00	2.45	20.70	2.56	2.56	11.28	2.45	
No.1.C.O.T.(S)	5,730.40	182.14	208.88	0.00	14.95	18.00	3.05	2.45	20.70	2.56	11.28	2.56	2.45	
No.2.C.O.T.(P)	7,432.21	155.40	182.14	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	17.45	2.45	
No.2.C.O.T.(S)	7,432.21	155.40	182.14	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	17.45	2.45	2.45	
No.3.C.O.T.(P)	7,472.70	128.66	155.40	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	18.00	2.45	
No.3.C.O.T.(S)	7,472.70	128.66	155.40	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	2.45	
No.4.C.O.T.(P)	7,472.70	101.92	128.66	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	18.00	2.45	
No.4.C.O.T.(S)	7,472.70	101.92	128.66	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	2.45	
No.5.C.O.T.(P)	7,472.70	75.18	101.92	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	18.00	2.45	
No.5.C.O.T.(S)	7,472.70	75.18	101.92	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	18.00	2.45	2.45	
No.6.C.O.T.(P)	7,403.56	48.44	75.18	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	15.97	2.45	
No.6.C.O.T.(S)	7,403.56	48.44	75.18	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	15.97	2.45	2.45	
RESIDUAL.T.(P)	195.20	39.20	48.44	-15.55	-11.00	33.55	29.00	16.12	20.70	2.45	2.45	24.43	16.12	
SLOP T.(P)	2,131.85	39.20	48.44	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	13.43	2.45	
SLOP T.(S)	2,327.05	39.20	48.44	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	13.43	2.45	2.45	
C	90,622.67													

Πίνακας 37. Σύγκριση Χαρακτηριστικών Δεξαμενών Φορτίου

Παρά το γεγονός ότι το πρόγραμμα χρησιμοποιεί διαφορετικό σημείο αναφοράς για τις αποστάσεις Y_p και Y_s, οι αντίστοιχες πιθανότητες εξαγονται ορθά. Η απόκλιση των υπολογισμών του προγράμματος από αυτούς που εκτελέστηκαν στο υπολογιστικό φύλλο, φαίνεται στην συνέχεια.

- Σύγκριση Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης, O_{ms}

Προηγουμένως αναφέρθηκε πως η απόκλιση των αποτελεσμάτων του προγράμματος από τα αποτελέσματα του υπολογιστικού φύλλου, οφείλεται στο γεγονός ότι η συνολική μέση εκροή υπολογίζεται από το “Hydrostatics & Hydrodynamics” αθροίζοντας τις μέσες εκροές όλων των δεξαμενών φορτίου ανεξαρτήτου πλευράς.

Compart- ment	AVEVA			EXCEL				
	P_s	O_s (m^3)	$P_s O_s$ (m^3)	P_{Sp}	P_{Ss}	P_s	O_s (m^3)	$P_s O_s$ (m^3)
No.1.C.O.T.(P)	0.029	5,730.40	164.34	0.0302	0.0000	0.0151	5,730.40	86.59
No.1.C.O.T.(S)	0.029	5,730.40	164.34	0.0000	0.0302	0.0151	5,730.40	86.59
No.2.C.O.T.(P)	0.033	7,432.21	243.22	0.0327	0.0000	0.0164	7,432.21	121.61
No.2.C.O.T.(S)	0.033	7,432.21	243.22	0.0000	0.0327	0.0164	7,432.21	121.61
No.3.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.0327	0.0000	0.0164	7,472.70	122.27
No.3.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.0000	0.0327	0.0164	7,472.70	122.27
No.4.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.0327	0.0000	0.0164	7,472.70	122.27
No.4.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.0000	0.0327	0.0164	7,472.70	122.27
No.5.C.O.T.(P)	0.033	7,472.70	244.55	0.0327	0.0000	0.0164	7,472.70	122.27
No.5.C.O.T.(S)	0.033	7,472.70	244.55	0.0000	0.0327	0.0164	7,472.70	122.27
No.6.C.O.T.(P)	0.033	7,403.56	242.55	0.0327	0.0000	0.0164	7,403.56	121.14
No.6.C.O.T.(S)	0.033	7,403.56	242.55	0.0000	0.0327	0.0164	7,403.56	121.14
RESIDUAL T.(P)	0.010	195.20	2.02	0.0103	0.0000	0.0052	195.20	1.01
SLOP T.(P)	0.019	2,131.85	40.21	0.0189	0.0000	0.0094	2,131.85	20.11
SLOP T.(S)	0.019	2,327.05	43.89	0.0000	0.0189	0.0094	2,327.05	21.95
Long Bhd C3			1.00					1.00
Oms			2,853.62					1,435.38

Πίνακας 38. Σύγκριση Υπολογισμών Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

Αυτό οδηγεί στην υπερεκτίμηση των πιθανοτήτων $P_{s,oi}$ οποίες κατά την θεώρηση βλάβης και από τις δυο πλευρές, πρέπει να ισούνται με τον μέσο όρο των πιθανοτήτων P_{Sp} και P_{Ss} που προκύπτουν για την κάθε πλευρά (MEPC. 122(52)). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέση εκροή λόγω πλευρικής βλάβης να υπερεκτιμάται, και να υπολογίζεται σχεδόν διπλάσια από την πραγματική.

- Σύγκριση Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}

Σε αυτήν την περίπτωση, τα αποτελέσματα μεταξύ του προγράμματος και του υπολογιστικού φύλλου συγκλίνουν. Λόγω των μικρών διαφορών στα δεκαδικά ψηφία των δεδομένων, οι οποίες οφείλονται στον τρόπο στρογγυλοποίησης που εφαρμόζει το πρόγραμμα, η μέση εκροή για τις 2 περιπτώσεις παλίρροιας, άρα και η συνολική μέση εκροή βλάβης πυθμένα, μεταξύ του προγράμματος και του φύλλου, είναι παραπλήσια.

Compart- ment	AVEVA						EXCEL					
	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)
No.1.C.O.T.(P)	0.60	0.064	1,789.77	68.98	2,690.82	103.71	0.60	0.0660	1,789.75	70.89	2,690.80	106.59
No.1.C.O.T.(S)	0.60	0.064	1,789.77	68.98	2,690.82	103.71	0.60	0.0660	1,789.75	70.89	2,690.80	106.59
No.2.C.O.T.(P)	0.60	0.065	2,292.53	88.73	3,464.78	134.11	0.60	0.0633	2,292.51	87.02	3,464.77	131.51
No.2.C.O.T.(S)	0.60	0.065	2,292.53	88.73	3,464.78	134.11	0.60	0.0633	2,292.51	87.02	3,464.77	131.51
No.3.C.O.T.(P)	0.60	0.053	2,304.32	73.84	3,483.07	111.61	0.60	0.0512	2,304.28	70.79	3,483.03	107.00
No.3.C.O.T.(S)	0.60	0.053	2,304.32	73.84	3,483.07	111.61	0.60	0.0512	2,304.28	70.79	3,483.03	107.00
No.4.C.O.T.(P)	0.60	0.039	2,304.30	53.81	3,483.05	81.34	0.60	0.0369	2,304.28	51.04	3,483.03	77.15
No.4.C.O.T.(S)	0.60	0.039	2,304.30	53.81	3,483.05	81.34	0.60	0.0369	2,304.28	51.04	3,483.03	77.15
No.5.C.O.T.(P)	0.60	0.027	2,304.30	37.85	3,483.05	57.21	0.60	0.0261	2,304.28	36.05	3,483.03	54.50
No.5.C.O.T.(S)	0.60	0.027	2,304.30	37.85	3,483.05	57.21	0.60	0.0261	2,304.28	36.05	3,483.03	54.50
No.6.C.O.T.(P)	0.60	0.020	2,305.72	27.77	3,484.47	41.97	0.60	0.0191	2,305.69	26.46	3,484.45	39.99
No.6.C.O.T.(S)	0.60	0.020	2,305.72	27.77	3,484.47	41.97	0.60	0.0191	2,305.69	26.46	3,484.45	39.99
RESIDUAL T.(P)	0.60	0.000	195.20	0.00	195.20	0.00	0.60	0.0000	195.20	0.00	195.20	0.00
SLOP T.(P)	0.60	0.012	604.83	4.45	998.65	7.34	0.60	0.0117	604.82	4.25	998.64	7.01
SLOP T.(S)	0.60	0.012	800.03	5.88	1,193.85	8.78	0.60	0.0117	800.02	5.62	1,193.84	8.38
Omb				712.29		1,076.00				694.38		1,048.88

Πίνακας 39. Σύγκριση Υπολογισμών Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα

Οι διαφορές της μέσης εκροής O_{MB} και για τις 2 περιπτώσεις παλίρροιας, μεταξύ του προγράμματος και του υπολογιστικού φύλλου, οφείλονται στις ελάχιστες διαφορές μεταξύ των ποσοτήτων O_B και στις λίγο μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των πιθανοτήτων P_B . Ως εκ τούτου η υπολογιζόμενη από το πρόγραμμα μέση εκροή O_{MB} είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή που εξάγουμε στο υπολογιστικό φύλλο. Παρόλα αυτά η μέθοδος δεν έχει αστοχήσει σε βαθμό τέτοιο ώστε να κινδυνεύει ο υπολογισμός, όπως συνέβη στην περίπτωση της πλευρικής βλάβης προηγουμένως.

- Σύγκριση Παραμέτρου Μέσης Εκροής Πετρελαίου, O_M

Symbol	Description	Units	AVEVA	EXCEL
			Value	Value
O_{MS}	Mean Outflow for Side Damage	m ³	2,853.621	1,435.384
O_{MB}	Mean Outflow for Bottom Damage = $(0.7O_{MB(0)} + 0.3O_{MB(-2.5)})$	m ³	821.405	800.730
O_M	Outflow parameter = $(0.4O_{MS} + 0.6O_{MB})/C$		0.0180	0.0116
O_M Limit	Maximum allowed value of O_M		0.0150	0.0150

Πίνακας 40. Σύγκριση Παραμέτρου Μέσης Εκροής

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος, η σχεδίαση δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, ενώ πραγματικά βρίσκεται εντός ορίων βάσει του Κανονισμού 23. Εδώ απαιτούνται πρόσθετες μελέτες ώστε να διερευνηθούν πιθανές αιτίες της απόκλισης, όπως διαφορετική μοντελοποίηση των δεξαμενών.

6. Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 12Α, Παράρτημα Ι)

Σε αυτό το Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη εναρμόνισης της σχεδίασης με τον Κανονισμό 12Α του Παραρτήματος Ι της MARPOL, σχετικά με την προστατευμένη θέση των δεξαμενών καυσίμου και τον βαθμό απόδοσης ακούσιας εκροής, καυσίμου πετρελαίου αυτή τη φορά. Ο Κανονισμός 12Α εμφανίζει βασικές ομοιότητες με τον Κανονισμό 23, ως προς τα μεγέθη που καθορίζουν τις θέσεις των δεξαμενών καυσίμου. Και σε αυτή την περίπτωση έγινε χρήση του υποπρογράμματος “Hydrostatics & Hydrodynamics”, μέσω της αντίστοιχης καρτέλας “Oil Outflow”.

Στον Πίνακα 41 παρουσιάζονται οι δεξαμενές καυσίμου οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν στους υπολογισμούς, μαζί με τα πρυμναία και πρωραία άκρα τους καθώς και τις ελάχιστες αποστάσεις τους από το περίβλημα της γάστρας, ώστε να ελεγχθούν τα όσα αναφέρονται στις Παραγράφους 5, 6, 7 και 11 του Κανονισμού 12Α.

Compartment	Capacity	Capacity	X _a	X _r	Bottom	Width
	98% full	100% full				
	(m ³)	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	13.79	20.80	22.40	15.81	2.02
D.O.STOR.T.(S)	142.40	145.31	20.80	26.40	10.48	0.92
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	13.79	26.40	28.00	15.81	3.27
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	113.19	26.40	32.00	15.81	0.97
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	209.36	26.40	35.20	10.48	0.89
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	938.34	35.20	39.20	2.45	2.45
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	938.34	35.20	39.20	2.45	2.45
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	39.86	40.67	20.80	25.60	10.48	0.80
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	43.71	44.60	25.60	28.80	10.48	0.80
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	50.30	28.80	32.00	10.48	0.92
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	54.01	32.00	35.20	10.48	1.41
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	302.97	20.80	35.20	15.81	1.00
C	2,807.34	2,864.63				

Πίνακας 41. Χωρητικότητες και Όρια Δεξαμενών Καυσίμου βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

• Παράγραφος 5, 6 και 7, Κανονισμός 12Α, Παράρτημα Ι, MARPOL

Βάσει της Παραγράφου 5 του Κανονισμού 12Α, “οι χωριστές δεξαμενές δεν πρέπει να έχουν χωρητικότητα μεγαλύτερη από 2,500 m³”. Παρατηρούμε πως καμία δεξαμενή καυσίμου (Πίνακας 41) δεν ξεπερνά το άνωθεν όριο.

Ακόμη, βάσει των Παραγράφων 6 και 7, θα πρέπει να τηρούνται τα κάτωθι όρια των αποστάσεων των ελασμάτων των δεξαμενών καυσίμου:

— από τον πυθμένα:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{36}{20} \Rightarrow h = 1.8 \text{ m}$$

— από την πλευρά:

$$w = 0.4 + \frac{2.4 \cdot C}{20,000} = 0.4 + \frac{2.4 \cdot 2,807.34}{20,000} \Rightarrow w = 0.736 < w_{min.} = 1.0 \text{ m}$$

άρα

$$w = 1.0 \text{ m}$$

και

$$w = 0.76 \text{ m για δεξαμενές χωρητικότητας <500m}^3$$

τα οποία τηρούνται, βάσει του Πίνακα 41.

6.1. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής βάσει AVEVA

Η Παράγραφος 11 του Κανονισμού 12Α περιλαμβάνει την πορεία των υπολογισμών της παραμέτρου μέσης εκροής καυσίμου πετρελαίου. Παρόλα αυτά, εντοπίστηκε η ίδια παράλειψη με αυτήν κατά τον υπολογισμό της παραμέτρου εκροής του Κανονισμού 23 και συγκεκριμένα στον σχετικό υπολογισμό της πλευρικής βλάβης. Ακολουθούν οι Πίνακες με τους υπολογισμούς του “Hydrostatics & Hydrodynamics”.

Main Particulars

Symbol	Description	Units	Value
L	Length on WL at 85% Ds	m	220.782
B	Max. Breadth amidships	m	36.000
D _S	Mld. Depth to Upper Deck	m	20.700
d _S	Load Line Draft Mld.	m	14.000
d _{LS}	Lightship Draft Mld.	m	2.603
d _P	Partial Draft = d _{LS} + 0.6(d _S - d _{LS})	m	9.441
B _S	Mld. Breadth at or below d _S	m	36.000
B _B	Mld. Breadth at or below 30% Ds	m	36.000
t _C	Tidal Change	m	-2.500
rhoOil	Fuel Oil Density	tons/m ³	1.000

Πίνακας 42. Πρωταρχικά Μεγέθη Υπολογισμών του “Hydrostatics & Hydrodynamics”

Fuel Tank Data

Compartment	Capacity	X _a	X _f	Y _p	Y _s	Z _l	Z _u	y	z
	98% full								
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	20.80	22.40	12.00	13.70	15.81	20.7	2.02	15.81
D.O.STOR.T.(S)	142.40	20.80	26.40	12.00	16.60	10.48	20.7	0.92	10.48
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	26.40	28.00	12.00	13.70	15.81	20.7	3.27	15.81
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	26.40	32.00	12.00	16.60	15.81	20.7	0.97	15.81
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	26.40	35.20	12.00	16.60	10.48	20.7	0.89	10.48
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	35.20	39.20	0.00	15.55	2.45	20.7	2.45	2.45
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	35.20	39.20	-15.55	0.00	2.45	20.7	2.45	2.45
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	39.86	20.80	25.60	-15.83	-11.98	10.48	15.81	0.80	10.48
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	43.71	25.60	28.80	-16.13	-11.98	10.48	15.81	0.80	10.48
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	28.80	32.00	-16.23	-11.98	10.48	15.81	0.92	10.48
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	32.00	35.20	-16.23	-11.98	10.48	15.81	1.41	10.48
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	20.80	35.20	-16.23	-11.64	15.81	20.7	1.00	15.81
C	2,807.34								

Πίνακας 43. Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Καυσίμου βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

- **Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, Oms**

Στον Πίνακα 44 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί του προγράμματος “Hydrostatics and Hydrodynamics” σχετικά με την μέση εκροή πλευρικής βλάβης καθώς και η περαιτέρω ανάλυση αυτής για την εκάστοτε πλευρά.

Side Damage Outflow

“AVEVA-Hydrostatics & Hydrodynamics”				Port Side			Starboard Side			Mean
Compartment	P _S	O _S (m ³)	P _S O _S (m ³)	P _{Sp}	O _S (m ³)	O _{MS-port} (m ³)	P _{Ss}	O _S (m ³)	O _{MS-starboard} (m ³)	O _{MS} (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	0.009	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.039	142.40	5.54	0.000	142.40	0.00	0.039	142.40	5.54	2.77
M.G.O.SERV.T.(S)	0.005	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.025	110.93	2.72	0.000	110.93	0.00	0.025	110.93	2.72	1.36
No.2.H.F.O.T.(S)	0.046	205.17	9.53	0.000	205.17	0.00	0.046	205.17	9.53	4.765
No.1.H.F.O.T.(S)	0.015	919.57	13.53	0.000	919.57	0.00	0.015	919.57	13.53	6.765
No.1.H.F.O.T.(P)	0.015	919.57	13.53	0.015	919.57	13.53	0.000	919.57	0.00	6.765
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.033	39.86	1.30	0.033	39.86	1.30	0.000	39.86	0.00	0.65
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.030	43.71	1.31	0.030	43.71	1.31	0.000	43.71	0.00	0.655
H.F.O.SERV.T.(P)	0.027	49.29	1.34	0.027	49.29	1.34	0.000	49.29	0.00	0.67
H.F.O.SETT.T.(P)	0.018	52.93	0.96	0.018	52.93	0.96	0.000	52.93	0.00	0.48
No.2.H.F.O.T.(P)	0.034	296.91	10.10	0.034	296.91	10.10	0.000	296.91	0.00	5.05
Oms			59.86			28.54			31.32	29.93

Πίνακας 44. Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics” και Ανάλυση για τις 2 Πλευρές

- Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}

Στον αμέσως επόμενο Πίνακα συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών του προγράμματος για την μέση εκροή της βλάβης πυθμένα.

Bottom Damage Outflow

Compartment	C _{db}	H _w (m)	A (m ²)	P _B	Ob(0) (m ³)	CdbPbOb(0) (m ³)	Ob(2.5) (m ³)	CdbPbOb(2.5) (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	0.60	0.831	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.60	0.923	0.000	0.000	142.40	0.00	142.40	0.00
M.G.O.SERV.T.(S)	0.60	0.728	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.60	0.919	0.000	0.000	110.93	0.00	110.93	0.00
No.2.H.F.O.T.(S)	0.60	0.926	0.000	0.000	205.17	0.00	205.17	0.00
No.1.H.F.O.T.(S)	0.60	0.796	0.000	0.010	625.48	3.85	740.70	4.56
No.1.H.F.O.T.(P)	0.60	0.796	0.000	0.010	625.48	3.85	740.70	4.56
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.933	0.000	0.000	39.86	0.00	39.86	0.00
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.933	0.000	0.000	43.71	0.00	43.71	0.00
H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.923	0.000	0.000	49.29	0.00	49.29	0.00
H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.882	0.000	0.000	52.93	0.00	52.93	0.00
No.2.H.F.O.T.(P)	0.60	0.916	0.000	0.000	296.91	0.00	296.91	0.00
Omb						7.71		9.13

Πίνακας 45. Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

- Παράμετρος Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου, O_M

Δεδομένων των υπολογισμών των Πινάκων 44 και 45, το πρόγραμμα υπολογίζει την παράμετρο μέσης εκροής καυσίμου πετρελαίου, O_M, στον παρακάτω Πίνακα. Η γραμμοσκιασμένη στήλη αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της επιμέρους ανάλυσης της μέσης εκροής πλευρικής βλάβης (Πίνακας 44).

Outflow Summary

Symbol	Description	Units	Value	Value
Oms	Mean Outflow for Side Damage	cu.metres	59.864	29.930
Omb	Mean Outflow for Bottom Damage	cu.metres	8.135	8.135
Om	Outflow parameter = (0.4Oms + 0.6Omb)/C		0.0103	0.0060
OmLimit	Maximum allowed value of Om		0.0125	0.0125

Πίνακας 46.Παράμετρος Μέσης Εκροής βάσει “Hydrostatics & Hydrodynamics”

**** The vessel complies with MARPOL 12A. ****

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η σχεδίασή μας φέρεται, βάσει του “Hydrostatics & Hydrodynamics”, να πληροί τα κριτήρια της Παραγράφου 11 του Κανονισμού 12Α, μιας και η παράμετρος μέσης εκροής είναι μικρότερη από το όριο που θέτει ο Κανονισμός.

6.2. Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου

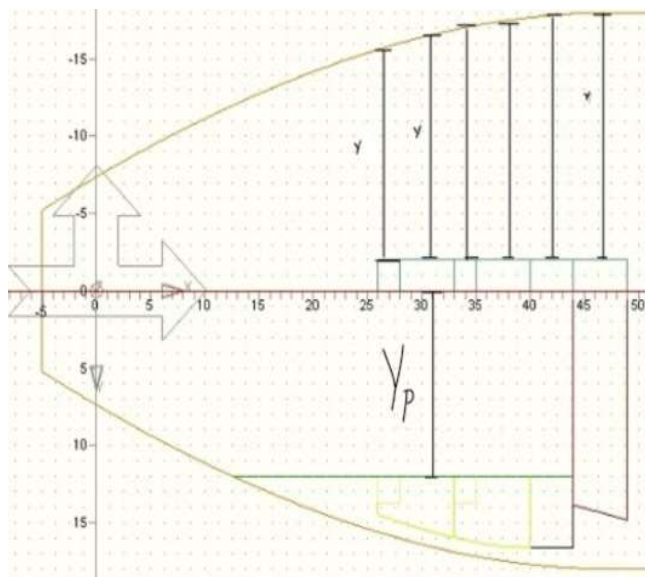
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η σχεδίαση των δεξαμενών δεν είναι συμμετρική. Βάσει των Επεξηγηματικών Σημειώσεων της ΜΕΡC. 122(52), θα πρέπει να εκτελέσουμε τους υπολογισμούς της μέσης εκροής λόγω πλευρικής βλάβης και για τις δυο πλευρές και στην συνέχεια να εξάγουμε τον μέσο όρο των εκροών που προκύπτουν για την κάθε πλευρά ως την συνολική μέση εκροή λόγω πλευρικής βλάβης.

Επομένως, το αμέσως επόμενο ζήτημα που προκύπτει για την εφαρμογή της μεθόδου στο υπολογιστικό φύλλο είναι ο καθορισμός των ελαχίστων αποστάσεων y_p των δεξιά δεξαμενών (S) και αντίστοιχα των αποστάσεων y_s των αριστερά δεξαμενών (P), όπως φαίνεται στον Πίνακα 47.

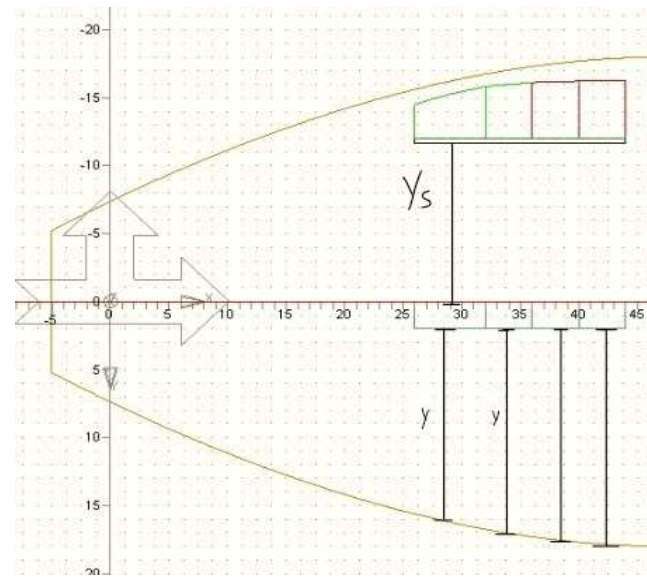
Tanks	Capacity	X_a	X_f	Y_p	Y_s	Z_l	Z_u	y_p	y_s	z
	98% full									
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	20.80	22.40	12.00	13.70	15.81	20.70	???	2.02	15.81
D.O.STOR.T.(S)	142.40	20.80	26.40	12.00	16.60	10.48	20.70	???	0.92	10.48
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	26.40	28.00	12.00	13.70	15.81	20.70	???	3.27	15.81
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	26.40	32.00	12.00	16.60	15.81	20.70	???	0.97	15.81
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	26.40	35.20	12.00	16.60	10.48	20.70	???	0.89	10.48
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	35.20	39.20	0.00	15.55	2.45	20.70	???	2.45	2.45
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	35.20	39.20	-15.55	0.00	2.45	20.70	2.45	???	2.45
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	39.86	20.80	25.60	-15.83	-11.98	10.48	15.81	0.80	???	10.48
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	43.71	25.60	28.80	-16.13	-11.98	10.48	15.81	0.80	???	10.48
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	28.80	32.00	-16.23	-11.98	10.48	15.81	0.92	???	10.48
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	32.00	35.20	-16.23	-11.98	10.48	15.81	1.41	???	10.48
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	20.80	35.20	-16.23	-11.64	15.81	20.70	1.00	???	15.81
C	2,807.34									

Πίνακας 47. Τροποποιημένα, βάσει Κανονισμού 12Α, Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου

Και εδώ, το ζήτημα επιλύθηκε γεωμετρικά, με την σχεδίαση βοηθητικών δεξαμενών για τις αντίστοιχες δεξαμενές καυσίμου, με διαμήκη και κατακόρυφα όρια ίδια με τις πραγματικές δεξαμενές, και εγκάρσια τέτοια ώστε να εξαγάγουμε τις ελάχιστες αποστάσεις y αυτών από το περίβλημα της γάστρας και μέσω αυτών τις ζητούμενες αποστάσεις y_p και y_s των υπαρκτών δεξαμενών καυσίμου. Παρατίθενται εικόνες με την κάτοψη των βοηθητικών δεξαμενών και ο Πίνακας 48 με τα εξαγόμενα μεγέθη, μαζί με επεξηγηματικά σχόλια ως προς την φιλοσοφία της λύσης του ζητήματος.



Εικόνα 23. Βοηθητικές Δεξαμενές (μπλέ περίγραμμα) Starboard Δεξαμενών Καυσίμου



Εικόνα 24. Βοηθητικές Δεξαμενές (μπλέ περίγραμμα) Port Δεξαμενών Καυσίμου

Compartment	Capacity 98% full	X_a	X_f	Y_p	Y_s	Z_l	Z_u	y	z
	(m^3)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S) OUTFLOW	18.30	20.80	22.40	-2.00	0.00	15.81	20.70	13.72	15.81
D.O.STOR.T.(S) OUTFLOW	122.54	20.80	26.40	-2.00	0.00	10.48	20.70	9.28	10.48
M.G.O.SERV.T.(S) OUTFLOW	18.30	26.40	28.00	-2.00	0.00	15.81	20.70	14.96	15.81
M.G.O.STOR.T.(S) OUTFLOW	64.04	26.40	32.00	-2.00	0.00	15.81	20.70	14.96	15.81
No.2.H.F.O.T.(S) OUTFLOW	192.56	26.40	35.20	-2.00	0.00	10.48	20.70	11.54	10.48
No.1.H.F.O.T.(S) OUTFLOW	150.48	35.20	39.20	-2.00	0.00	2.45	20.70	10.07	2.45
No.1.H.F.O.T.(P) OUTFLOW	150.48	35.20	39.20	0.00	2.00	2.45	20.70	10.07	2.45
L.S.H.F.O.SETT.T.(P) OUTFLOW	50.14	20.80	25.60	0.00	2.00	10.48	15.81	9.28	10.48
L.S.H.F.O.SERV.T.(P) OUTFLOW	33.43	25.60	28.80	0.00	2.00	10.48	15.81	11.24	10.48
H.F.O.SERV.T.(P) OUTFLOW	33.43	28.80	32.00	0.00	2.00	10.48	15.81	12.39	10.48
H.F.O.SETT.T.(P) OUTFLOW	33.43	32.00	35.20	0.00	2.00	10.48	15.81	13.42	10.48
No.2.H.F.O.T.(P) OUTFLOW	164.67	20.80	35.20	0.00	2.00	15.81	20.70	13.72	15.81

Πίνακας 48. Χαρακτηριστικά Βοηθητικών Δεξαμενών βάσει "Hydrostatics & Hydrodynamics"

Δεδομένων λοιπόν των ελαχίστων αποστάσεων " y " της εκάστοτε βοηθητικής δεξαμενής (Πίνακας 48), προσθέτουμε σε αυτές, το πλάτος των βοηθητικών δεξαμενών (2m) και τις απόλυτες αποστάσεις των ελασμάτων των πραγματικών δεξαμενών καυσίμου από την Centerline (Πίνακας 47, Y_p για τις (S) δεξαμενές και Y_s για τις (P) δεξαμενές) ώστε να καταλήξουμε στις υπολειπόμενες παραμέτρους y_p και y_s των πραγματικών δεξαμενών καυσίμου (Πίνακας 49).

Στην συνέχεια, οι παράμετροι Y_p και Y_s των πραγματικών δεξαμενών (Πίνακας 47) μετασχηματίζονται σε αυτές του Πίνακα 49, αφαιρώντας τις πρώτες από το ημιπλάτος ($B_B/2=18m$), ώστε να αντικατοπτρίζουν τις αποστάσεις των αριστερότερων και δεξιότερων σημείων κάθε δεξαμενής από μία κάθετη ευθεία, η οποία βρίσκεται $B_B/2$ προς τα δεξιά της

κεντρικής γραμμής του πλοίου, και όχι από την κεντρική γραμμή, όπως υπολογίζονται από το πρόγραμμα. Τα όσα περιγράφονται, συγκεντρώνονται στον Πίνακα που ακολουθεί, ο οποίος περιέχει το σύνολο των στοιχείων των δεξαμενών καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί στους αναλυτικούς υπολογισμούς.

Tanks	Capacity	X_a	X_f	Y_p	Y_s	Z_l	Z_u	y_p	y_s	z
	98% full									
	(m^3)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	20.80	22.40	6.00	4.30	15.81	20.70	27.72	2.02	15.81
D.O.STOR.T.(S)	142.40	20.80	26.40	6.00	1.40	10.48	20.70	23.28	0.92	10.48
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	26.40	28.00	6.00	4.30	15.81	20.70	28.96	3.27	15.81
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	26.40	32.00	6.00	1.40	15.81	20.70	28.96	0.97	15.81
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	26.40	35.20	6.00	1.40	10.48	20.70	25.54	0.89	10.48
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	35.20	39.20	18.00	2.45	2.45	20.70	12.07	2.45	2.45
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	35.20	39.20	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	12.07	2.45
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	39.86	20.80	25.60	33.83	29.98	10.48	15.81	0.80	23.26	10.48
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	43.71	25.60	28.80	34.13	29.98	10.48	15.81	0.80	25.22	10.48
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	28.80	32.00	34.23	29.98	10.48	15.81	0.92	26.37	10.48
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	32.00	35.20	34.23	29.98	10.48	15.81	1.41	27.40	10.48
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	20.80	35.20	34.23	29.64	15.81	20.70	1.00	27.36	15.81
C	2,807.34									

Πίνακας 49. Τροποποιημένα, βάσει Κανονισμού 12Α, Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Καυσίμου

Με δεδομένα τα τελικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών καυσίμου του Πίνακα 49, μπορούμε να προβούμε στον υπολογισμό της παραμέτρου μέσης εκροής πετρελαίου, βάσει των όσων περιγράφονται στον Κανονισμό 12Α.

• Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{ms}

Στους Πίνακες που ακολουθούν, συγκεντρώνονται τα δεδομένα των υπολογισμών της μέσης εκροής, για την περίπτωση της πλευρικής βλάβης της γάστρας.

Fuel Tank	X_a (m)	X_f (m)	Z_l (m)	Z_u (m)	y_p (m)	y_s (m)	X_a/L	X_f/L	Z_l/D_s	Z_u/D_s	y_p/B_s	y_s/B_s
D.O.SERV.T.(S)	20.80	22.40	15.81	20.70	27.72	2.02	0.0942	0.1015	0.7638	1.0000	0.7700	0.0561
D.O.STOR.T.(S)	20.80	26.40	10.48	20.70	23.28	0.92	0.0942	0.1196	0.5063	1.0000	0.6467	0.0256
M.G.O.SERV.T.(S)	26.40	28.00	15.81	20.70	28.96	3.27	0.1196	0.1268	0.7638	1.0000	0.8044	0.0908
M.G.O.STOR.T.(S)	26.40	32.00	15.81	20.70	28.96	0.97	0.1196	0.1449	0.7638	1.0000	0.8044	0.0269
No.2.H.F.O.T.(S)	26.40	35.20	10.48	20.70	25.54	0.89	0.1196	0.1594	0.5063	1.0000	0.7094	0.0247
No.1.H.F.O.T.(S)	35.20	39.20	2.45	20.70	12.07	2.45	0.1594	0.1776	0.1184	1.0000	0.3353	0.0681
No.1.H.F.O.T.(P)	35.20	39.20	2.45	20.70	2.45	12.07	0.1594	0.1776	0.1184	1.0000	0.0681	0.3353
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	20.80	25.60	10.48	15.81	0.80	23.26	0.0942	0.1160	0.5063	0.7638	0.0222	0.6461
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	25.60	28.80	10.48	15.81	0.80	25.22	0.1160	0.1304	0.5063	0.7638	0.0222	0.7006
H.F.O.SERV.T.(P)	28.80	32.00	10.48	15.81	0.92	26.37	0.1304	0.1449	0.5063	0.7638	0.0256	0.7325
H.F.O.SETT.T.(P)	32.00	35.20	10.48	15.81	1.41	27.40	0.1449	0.1594	0.5063	0.7638	0.0392	0.7611
No.2.H.F.O.T.(P)	20.80	35.20	15.81	20.70	1.00	27.36	0.0942	0.1594	0.7638	1.0000	0.0278	0.7600

Πίνακας 50. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Καυσίμου

Fuel Tank	P _{Sa}	P _{Sf}	P _{Si}	P _{Su}	P _{Syp}	P _{Sys}	P _{SL}	P _{SV}	P _{STp}	P _{STs}	P _{Sp}	P _{Ss}
D.O.SERV.T.(S)	0.0628	0.8655	0.4320	0.0000	1.0000	0.7779	0.0717	0.5680	0.0000	0.2221	0.0000	0.0090
D.O.STOR.T.(S)	0.0628	0.8474	0.1292	0.0000	1.0000	0.5075	0.0898	0.8708	0.0000	0.4925	0.0000	0.0385
M.G.O.SERV.T.(S)	0.0872	0.8402	0.4320	0.0000	1.0000	0.8791	0.0726	0.5680	0.0000	0.1209	0.0000	0.0050
M.G.O.STOR.T.(S)	0.0872	0.8221	0.4320	0.0000	1.0000	0.5276	0.0908	0.5680	0.0000	0.4724	0.0000	0.0244
No.2.H.F.O.T.(S)	0.0872	0.8076	0.1292	0.0000	1.0000	0.4951	0.1052	0.8708	0.0000	0.5049	0.0000	0.0463
No.1.H.F.O.T.(S)	0.1264	0.7894	0.0017	0.0000	1.0000	0.8248	0.0841	0.9983	0.0000	0.1752	0.0000	0.0147
No.1.H.F.O.T.(P)	0.1264	0.7894	0.0017	0.0000	0.8248	1.0000	0.0841	0.9983	0.1752	0.0000	0.0147	0.0000
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.0628	0.8510	0.1292	0.1821	0.4561	1.0000	0.0862	0.6887	0.5439	0.0000	0.0323	0.0000
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.0836	0.8366	0.1292	0.1821	0.4561	1.0000	0.0798	0.6887	0.5439	0.0000	0.0299	0.0000
H.F.O.SERV.T.(P)	0.0978	0.8221	0.1292	0.1821	0.5075	1.0000	0.0801	0.6887	0.4925	0.0000	0.0272	0.0000
H.F.O.SETT.T.(P)	0.1120	0.8076	0.1292	0.1821	0.6714	1.0000	0.0804	0.6887	0.3286	0.0000	0.0182	0.0000
No.2.H.F.O.T.(P)	0.0628	0.8076	0.4320	0.0000	0.5393	1.0000	0.1296	0.5680	0.4607	0.0000	0.0339	0.0000

Πίνακας 51. Καθορισμός Πιθανοτήτων Πλευρικής Διάτρησης Δεξαμενών Καυσίμου

Δεδομένων των πιθανοτήτων διάτρησης των δεξαμενών καυσίμου, σε περίπτωση πλευρικής βλάβης, είτε εξ αριστερών είτε εκ δεξιών, υπολογίζεται η μέση εκροή κάθε δεξαμενής, για κάθε πλευρά και στην συνέχεια συνδυάζονται προς τον υπολογισμό της συνολικής μέσης εκροής για πλευρική βλάβη, O_{MS} . Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα που ακολουθεί.

SIDE DAMAGE						
Fuel Tank	P _{Sp}	P _{Ss}	O _S (m ³)	O _{MS-port} (m ³)	O _{MS-stbd} (m ³)	O _{MS} (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	0.0000	0.0090	0.00	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.0000	0.0385	142.40	0.00	5.48	2.74
M.G.O.SERV.T.(S)	0.0000	0.0050	0.00	0.00	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.0000	0.0244	110.93	0.00	2.70	1.35
No.2.H.F.O.T.(S)	0.0000	0.0463	205.17	0.00	9.50	4.75
No.1.H.F.O.T.(S)	0.0000	0.0147	919.57	0.00	13.53	6.76
No.1.H.F.O.T.(P)	0.0147	0.0000	919.57	13.53	0.00	6.76
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.0323	0.0000	39.86	1.29	0.00	0.64
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.0299	0.0000	43.71	1.31	0.00	0.65
H.F.O.SERV.T.(P)	0.0272	0.0000	49.29	1.34	0.00	0.67
H.F.O.SETT.T.(P)	0.0182	0.0000	52.93	0.96	0.00	0.48
No.2.H.F.O.T.(P)	0.0339	0.0000	296.91	10.07	0.00	5.04
SUM				28.50	31.21	29.85

Πίνακας 52. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

Βάσει του Κανονισμού 12A, η συνεισφορά των δεξαμενών χωρητικότητας μικρότερης των 30 m³, εν προκειμένω των D.O.SERV.T.(S) και M.G.O.SERV.T.(S), θεωρείται μηδενική.

• Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}

Στον Πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται τα δεδομένα των υπολογισμών της μέσης εκροής, για την περίπτωση της βλάβης πυθμένα. Οι υπολογισμοί, βάσει Κανονισμού, πραγματοποιούνται για 2 καταστάσεις παλίρροιας, 0 m και -2.5 m. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι αποστάσεις Y_P και Y_S , οι οποίες δεν πρέπει να συγχέονται με τις αποστάσεις y_S και y_P των υπολογισμών της πλευρικής βλάβης, μετρήθηκαν από ένα κατακόρυφο επίπεδο, αποστάσεως $B_B/2$ από το επίπεδο της Centerline.

Fuel Tank	X _a (m)	X _f (m)	Y _p (m)	Y _s (m)	Z (m)	X _a /L	X _f /L	Y _p /B _B	Y _s /B _B	z/D _s
D.O.SERV.T.(S)	20.80	22.40	6.00	4.30	15.81	0.0942	0.1015	0.1667	0.1194	0.7638
D.O.STOR.T.(S)	20.80	26.40	6.00	1.40	10.48	0.0942	0.1196	0.1667	0.0389	0.5063
M.G.O.SERV.T.(S)	26.40	28.00	6.00	4.30	15.81	0.1196	0.1268	0.1667	0.1194	0.7638
M.G.O.STOR.T.(S)	26.40	32.00	6.00	1.40	15.81	0.1196	0.1449	0.1667	0.0389	0.7638
No.2.H.F.O.T.(S)	26.40	35.20	6.00	1.40	10.48	0.1196	0.1594	0.1667	0.0389	0.5063
No.1.H.F.O.T.(S)	35.20	39.20	18.00	2.45	2.45	0.1594	0.1776	0.5000	0.0681	0.1184
No.1.H.F.O.T.(P)	35.20	39.20	33.55	18.00	2.45	0.1594	0.1776	0.9319	0.5000	0.1184
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	20.80	25.60	33.83	29.98	10.48	0.0942	0.1160	0.9397	0.8328	0.5063
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	25.60	28.80	34.13	29.98	10.48	0.1160	0.1304	0.9481	0.8328	0.5063
H.F.O.SERV.T.(P)	28.80	32.00	34.23	29.98	10.48	0.1304	0.1449	0.9508	0.8328	0.5063
H.F.O.SETT.T.(P)	32.00	35.20	34.23	29.98	10.48	0.1449	0.1594	0.9508	0.8328	0.5063
No.2.H.F.O.T.(P)	20.80	35.20	34.23	29.64	15.81	0.0942	0.1594	0.9508	0.8233	0.7638

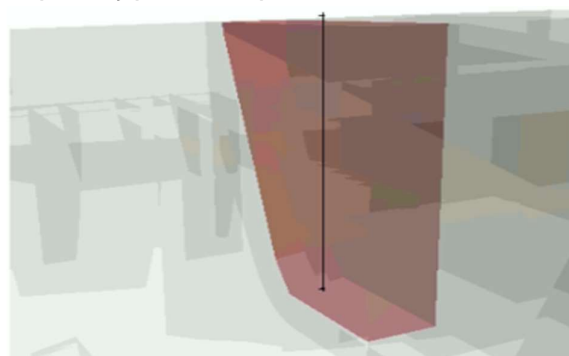
Πίνακας 53. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Καυσίμου

Fuel Tank	P _{Ba}	P _{Bf}	P _{Bp}	P _{Bs}	P _{Bz}	P _{BL}	P _{BT}	P _{BV}	P _B
D.O.SERV.T.(S)	0.0073	0.9354	0.6773	0.0441	1.0000	0.0573	0.2786	0.0000	0.0000
D.O.STOR.T.(S)	0.0073	0.9282	0.6773	0.0070	1.0000	0.0645	0.3157	0.0000	0.0000
M.G.O.SERV.T.(S)	0.0115	0.9253	0.6773	0.0441	1.0000	0.0632	0.2786	0.0000	0.0000
M.G.O.STOR.T.(S)	0.0115	0.9180	0.6773	0.0070	1.0000	0.0705	0.3157	0.0000	0.0000
No.2.H.F.O.T.(S)	0.0115	0.9118	0.6773	0.0070	1.0000	0.0766	0.3157	0.0000	0.0000
No.1.H.F.O.T.(S)	0.0193	0.9039	0.3440	0.0173	0.8002	0.0769	0.6387	0.1998	0.0098
No.1.H.F.O.T.(P)	0.0193	0.9039	0.0173	0.3440	0.8002	0.0769	0.6387	0.1998	0.0098
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.0073	0.9296	0.0137	0.6768	1.0000	0.0631	0.3095	0.0000	0.0000
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.0109	0.9238	0.0099	0.6768	1.0000	0.0653	0.3133	0.0000	0.0000
H.F.O.SERV.T.(P)	0.0135	0.9180	0.0088	0.6768	1.0000	0.0685	0.3144	0.0000	0.0000
H.F.O.SETT.T.(P)	0.0161	0.9118	0.0088	0.6768	1.0000	0.0721	0.3144	0.0000	0.0000
No.2.H.F.O.T.(P)	0.0073	0.9118	0.0088	0.6673	1.0000	0.0808	0.3238	0.0000	0.0000

Πίνακας 54. Καθορισμός Πιθανοτήτων Διάτρησης Πυθμένα Δεξαμενών Καυσίμου

Στα πλαίσια των υπολογισμών της περίπτωσης βλάβης πυθμένα, η ποσότητα πετρελαίου που εκρέει, O_B , καθορίζεται από την τελική στάθμη ισορροπίας, h_F , του καυσίμου, λόγω της υδροστατικής πίεσεως. Για τον καθορισμό της εναπομένουσας ποσότητας καυσίμου εντός των δεξαμενών, V_F , έγινε χρήση της καρτέλας "Tank Calibration" του προγράμματος (Εικόνα 25). Η εναπομένουσα ποσότητα της κάθε δεξαμενής αφαιρείται από την συνολική, αρχική ποσότητα, ώστε να καταλήξουμε στην εκρέουσα, ώστε να καταλήξουμε στην εκρέουσα. Η τελική στάθμη ισορροπίας και αντίστοιχα η εκρέουσα ποσότητα, υπολογίστηκαν σε συνθήκες παλίρροιας 0 m και -2.5m.

Σημειώνεται πως ο εν λόγω υπολογισμός για την εναπομένουσα ποσότητα πραγματοποιήθηκε μόνο για τις δεξαμενές No.1.H.F.O.T.(P)&(S), μιας και όπως φαίνεται στον Πίνακα των υπολογισμών, οι υπόλοιπες δεξαμενές αδειάζουν εντελώς και στις 2 καταστάσεις παλίρροιας. Και σε αυτήν την περίπτωση βλάβης, η συνεισφορά των δεξαμενών D.O.SERV.T.(S) και M.G.O.SERV.T.(S), θεωρείται μηδενική.



For full tank:

LCG	37.222	metres fwd of origin
TCG	6.460	metres to port
VCG	12.743	metres above baseline
Total Volume	938.34	cu metres

Sensor# 1 : Sounding Tube

X	Y	Z
37.200	-7.775	2.450
37.200	-7.775	21.700

No Heel	
No Trim	

Sounding	Volume	LCG	TCG	VCG	IT	IL
Sensor #1	(m)	(m ³)	(m)	(m)	(m ⁴)	(m ⁴)
7.165	294.04	37.23	-5.28	6.22	561.06	62.49
7.166	294.08	37.23	-5.28	6.22	561.11	62.49
7.167	294.13	37.23	-5.28	6.22	561.17	62.49
7.168	294.18	37.23	-5.28	6.22	561.22	62.49
7.169	294.23	37.23	-5.28	6.22	561.27	62.50

Εικόνα 25. Στάθμη/Όγκος Δεξαμενής

Fuel Tank	Capacity 98% (m ³)	h _{F (0)} (m)	V _{F (0)} (m ³)	O _{B (0)} (m ³)	h _{F (-2.5)} (m)	V _{F (-2.5)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	-6.528	0.00	0.00	-9.091	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	142.40	-1.065	0.00	142.40	-3.627	0.00	142.40
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	-6.528	0.00	0.00	-9.091	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	-6.528	0.00	110.93	-9.091	0.00	110.93
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	-1.065	0.00	205.17	-3.627	0.00	205.17
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	7.166	294.08	625.49	4.603	178.87	740.70
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	7.166	294.08	625.49	4.603	178.87	740.70
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	39.86	-1.065	0.00	39.86	-3.627	0.00	39.86
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	43.71	-1.065	0.00	43.71	-3.627	0.00	43.71
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	-1.065	0.00	49.29	-3.627	0.00	49.29
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	-1.065	0.00	52.93	-3.627	0.00	52.93
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	-6.528	0.00	296.91	-9.091	0.00	296.91

Πίνακας 55. Υπολογισμός Εκροής Βλάβης Πυθμένα

Βάσει του Κανονισμού, οι εκρέουσες ποσότητες O_B, δεν θα πρέπει να είναι μικρότερες από την ποσότητα H_w*A, της εκάστοτε δεξαμενής, όπως αυτή ορίζεται στο Κανονισμό 12A, μέσω της παραμέτρου Y_B. Στην συνέχεια, συγκεντρώνονται όσα υπολογίστηκαν προηγουμένως για την βλάβη πυθμένα, μαζί με τις παραμέτρους Y_B, H_w και A. Οι 2 πρώτες παράμετροι υπολογίστηκαν από εμάς (Y_B=y και H_w με γραμμική παρεμβολή βάσει τιμών Κανονισμού), ενώ για την παράμετρο A στηριχθήκαμε στα αποτελέσματα του προγράμματος.

Τα Y_B και H_w υπολογίστηκαν ίδια με αυτά που μας δίνει το πρόγραμμα (Πίνακας 55), ενώ η παράμετρος A είναι παντού μηδενική, γεγονός το οποίο βγάζει νόημα, αν κοιτάξουμε την υπόσταση της παραμέτρου, ως “η μέγιστη οριζόντια προβαλλόμενη περιοχή της δεξαμενής καυσίμου πετρελαίου, μέχρι το επίπεδο του H_w από τον πυθμένα της δεξαμενής”, για δεξαμενές οριοθετημένες από το περίβλημα του πυθμένα. Όλες οι δεξαμενές βρίσκονται πάνω από το περίβλημα του πυθμένα, επομένως ο μηδενισμός της παραμέτρου A είναι ορθός.

BOTTOM DAMAGE										
Fuel Tank	Y _B	H _w	A	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)	O _{MB} (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	2.02	0.832	0.0	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.92	0.923	0.0	0.60	0.0000	142.40	142.40	0.00	0.00	0.00
M.G.O.SERV.T.(S)	3.27	0.728	0.0	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.97	0.919	0.0	0.60	0.0000	110.93	110.93	0.00	0.00	0.00
No.2.H.F.O.T.(S)	0.89	0.926	0.0	0.60	0.0000	205.17	205.17	0.00	0.00	0.00
No.1.H.F.O.T.(S)	2.45	0.796	0.0	0.60	0.0098	625.49	740.70	3.68	4.36	3.88
No.1.H.F.O.T.(P)	2.45	0.796	0.0	0.60	0.0098	625.49	740.70	3.68	4.36	3.88
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.80	0.933	0.0	0.60	0.0000	39.86	39.86	0.00	0.00	0.00
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.80	0.933	0.0	0.60	0.0000	43.71	43.71	0.00	0.00	0.00
H.F.O.SERV.T.(P)	0.92	0.923	0.0	0.60	0.0000	49.29	49.29	0.00	0.00	0.00
H.F.O.SETT.T.(P)	1.41	0.883	0.0	0.60	0.0000	52.93	52.93	0.00	0.00	0.00
No.2.H.F.O.T.(P)	1.00	0.917	0.0	0.60	0.0000	296.91	296.91	0.00	0.00	0.00
SUM								7.36	8.72	7.77

Πίνακας 56. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα

Δεδομένων των υπολογισμών για τις περιπτώσεις βλάβης πλευράς και πυθμένα, ακολουθεί ο υπολογισμός της παραμέτρου μέσης εκροής για την σχεδίασή μας. Στην συνέχεια συγκρίνουμε τον εξαγόμενο δείκτη με τα κριτήρια του Κανονισμού, ώστε να αποφανθούμε ως προς την επάρκεια της σχεδίασης.

- Παράμετρος Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου, O_M

SIDE DAMAGE			BOTTOM DAMAGE		
$O_{MS} = \left(\sum P_{Sp} \cdot O_S + \sum P_{Ss} \cdot O_S \right) / 2$	29.852	m ³	$O_{MB} = 0.7 \cdot O_{MB(0)} + 0.3 \cdot O_{MB(-2.5)}$	7.769	m ³
C (Total Capacity @ 98% Volume)	2,807.34	m ³	** The vessel complies with MARPOL 12A. **		
$O_M = (0.4 \cdot O_{MS} + 0.6 \cdot O_{MB}) / C$	0.0059				
O_M (Required)	< 0.0125				

Πίνακας 57. Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής

SUMMARY TABLE													
BOTTOM DAMAGE								SIDE DAMAGE					
Fuel Tank	C_{db}	P_B	$O_B(0)$ (m ³)	$O_B(-2.5)$ (m ³)	$O_{MB}(0)$ (m ³)	$O_{MB}(-2.5)$ (m ³)	O_{MB} (m ³)	P_{Sp}	P_{Ss}	O_S (m ³)	$O_{MS-port}$ (m ³)	$O_{MS-stbd}$ (m ³)	O_{MS} (m ³)
D.O.SERV.T.(S)	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0090	0.00	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.60	0.0000	142.40	142.40	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0385	142.40	0.00	5.48	2.74
M.G.O.SERV.T.(S)	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0050	0.00	0.00	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.60	0.0000	110.93	110.93	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0244	110.93	0.00	2.70	1.35
No.2.H.F.O.T.(S)	0.60	0.0000	205.17	205.17	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0463	205.17	0.00	9.50	4.75
No.1.H.F.O.T.(S)	0.60	0.0098	625.49	740.70	3.68	4.36	3.88	0.0000	0.0147	919.57	0.00	13.53	6.76
No.1.H.F.O.T.(P)	0.60	0.0098	625.49	740.70	3.68	4.36	3.88	0.0147	0.0000	919.57	13.53	0.00	6.76
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.0000	39.86	39.86	0.00	0.00	0.00	0.0323	0.0000	39.86	1.29	0.00	0.64
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.0000	43.71	43.71	0.00	0.00	0.00	0.0299	0.0000	43.71	1.31	0.00	0.65
H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.0000	49.29	49.29	0.00	0.00	0.00	0.0272	0.0000	49.29	1.34	0.00	0.67
H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.0000	52.93	52.93	0.00	0.00	0.00	0.0182	0.0000	52.93	0.96	0.00	0.48
No.2.H.F.O.T.(P)	0.60	0.0000	296.91	296.91	0.00	0.00	0.00	0.0339	0.0000	296.91	10.07	0.00	5.04
SUM					7.36	8.72	7.77				28.50	31.21	29.85

Πίνακας 58. Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμών Κανονισμού 12A

6.3. Σύγκριση Αναλυτικού Υπολογισμού με AVEVA

Σε αυτό το σημείο, συγκρίνονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα του αναλυτικού υπολογισμού, με αυτά του “Hydrostatics & Hydrodynamics” Τα αποτελέσματα του υπολογιστικού φύλλου δίνονται στην μορφή των αποτελεσμάτων του προγράμματος για να καταστεί η σύγκριση ευκολότερη.

- Αρχικά Δεδομένα/Στοιχεία δεξαμενών

Main Particulars

Symbol	Description	Units	Value (AVEVA)	Value (EXCEL)
L	Length on WL at 85% Ds	m	220.782	220.782
B	Max. Breadth amidships	m	36.000	36.000
D _s	Mld. Depth to Upper Deck	m	20.700	20.700
d _s	Load Line Draft Mld.	m	14.000	14.000
d _{LS}	Lightship Draft Mld.	m	2.603	2.603
d _P	Partial Draft = d _{LS} + 0.6(d _s - d _{LS})	m	9.441	9.441
B _s	Mld. Breadth at or below d _s	m	36.000	36.000
B _B	Mld. Breadth at or below 30% D _s	m	36.000	36.000
t _c	Tidal Change	m	-2.500	-2.500
rhoOil	Fuel Oil Density	tons/m ³	1.000	1.000

Πίνακας 59. Σύγκριση Αρχικών Δεδομένων Υπολογισμών Κανονισμού 12Α

Παρατηρείται απόλυτη ταύτιση των αρχικών δεδομένων του προγράμματος με αυτά του υπολογιστικού μας φύλλου. Ακολουθεί ο Πίνακας με τα χωροταξικά δεδομένα των δεξαμενών, τα οποία καθορίζουν την πιθανότητα διάτρησης τους στις περιπτώσεις πλευρικής βλάβης και βλάβης πυθμένα. Σε αυτό το σημείο παρατηρήθηκαν, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του Κεφαλαίου 6, οι ασυμφωνίες μεταξύ του προγράμματος και των όσων περιγράφονται στον Κανονισμό.

Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Καυσίμου

Fuel Tank	Capacity	X _a	X _f	AVEVA		EXCEL		Z _l	Z _u	AVEVA		EXCEL		Z
				Y _p	Y _s	Y _p	Y _s			y	y _p	y _s		
	98% full													
	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
D.O.SERV.T.(S)	13.51	20.80	22.40	12.00	13.70	6.00	4.30	15.81	20.70	2.02	27.72	2.02	15.81	
D.O.STOR.T.(S)	142.40	20.80	26.40	12.00	16.60	6.00	1.40	10.48	20.70	0.92	23.28	0.92	10.48	
M.G.O.SERV.T.(S)	13.51	26.40	28.00	12.00	13.70	6.00	4.30	15.81	20.70	3.27	28.96	3.27	15.81	
M.G.O.STOR.T.(S)	110.93	26.40	32.00	12.00	16.60	6.00	1.40	15.81	20.70	0.97	28.96	0.97	15.81	
No.2.H.F.O.T.(S)	205.17	26.40	35.20	12.00	16.60	6.00	1.40	10.48	20.70	0.89	25.54	0.89	10.48	
No.1.H.F.O.T.(S)	919.57	35.20	39.20	0.00	15.55	18.00	2.45	2.45	20.70	2.45	12.07	2.45	2.45	
No.1.H.F.O.T.(P)	919.57	35.20	39.20	-15.55	0.00	33.55	18.00	2.45	20.70	2.45	2.45	12.07	2.45	
L.S.H.F.O.SETT.(P)	39.86	20.80	25.60	-15.83	-11.98	33.83	29.98	10.48	15.81	0.80	0.80	23.26	10.48	
L.S.H.F.O.SERV.(P)	43.71	25.60	28.80	-16.13	-11.98	34.13	29.98	10.48	15.81	0.80	0.80	25.22	10.48	
H.F.O.SERV.T.(P)	49.29	28.80	32.00	-16.23	-11.98	34.23	29.98	10.48	15.81	0.92	0.92	26.37	10.48	
H.F.O.SETT.T.(P)	52.93	32.00	35.20	-16.23	-11.98	34.23	29.98	10.48	15.81	1.41	1.41	27.40	10.48	
No.2.H.F.O.T.(P)	296.91	20.80	35.20	-16.23	-11.64	34.23	29.64	15.81	20.70	1.00	1.00	27.36	15.81	
C	2,807.34													

Πίνακας 60. Σύγκριση Χαρακτηριστικών Δεξαμενών Καυσίμου

Παρά το γεγονός ότι το πρόγραμμα χρησιμοποιεί διαφορετικό σημείο αναφοράς για τις ποσότητες Y_p και Y_s οι αντίστοιχες πιθανότητες εξαγονται ορθά. Η απόκλιση των υπολογισμών του προγράμματος από αυτούς που εκτελέστηκαν στο υπολογιστικό φύλλο, φαίνεται στην συνέχεια.

• Σύγκριση Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης, O_{Ms}

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών του προγράμματος και των αναλυτικών υπολογισμών που εκτελέστηκαν στο υπολογιστικό φύλλο.

Compart- ment	AVEVA			EXCEL				
	P_s	O_s (m^3)	$P_s O_s$ (m^3)	P_{Sp}	P_{Ss}	P_s	O_s (m^3)	$P_s O_s$ (m^3)
D.O.SERV.T.(S)	0.009	0.00	0.00	0.0000	0.0090	0.0045	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.039	142.40	5.54	0.0000	0.0385	0.0193	142.40	2.74
M.G.O.SERV.T.(S)	0.005	0.00	0.00	0.0000	0.0050	0.0025	0.00	0.00
M.G.O.STOR.T.(S)	0.025	110.93	2.72	0.0000	0.0244	0.0122	110.93	1.35
No.2.H.F.O.T.(S)	0.046	205.17	9.53	0.0000	0.0463	0.0231	205.17	4.75
No.1.H.F.O.T.(S)	0.015	919.57	13.53	0.0000	0.0147	0.0074	919.57	6.76
No.1.H.F.O.T.(P)	0.015	919.57	13.53	0.0147	0.0000	0.0074	919.57	6.76
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.033	39.86	1.30	0.0323	0.0000	0.0161	39.86	0.64
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.030	43.71	1.31	0.0299	0.0000	0.0149	43.71	0.65
H.F.O.SERV.T.(P)	0.027	49.29	1.34	0.0272	0.0000	0.0136	49.29	0.67
H.F.O.SETT.T.(P)	0.018	52.93	0.96	0.0182	0.0000	0.0091	52.93	0.48
No.2.H.F.O.T.(P)	0.034	296.91	10.10	0.0339	0.0000	0.0170	296.91	5.04
O_{Ms}			59.86					29.85

Πίνακας 61. Σύγκριση Υπολογισμών Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

Παρατηρούμε πως το πρόγραμμα έχει υπολογίσει την πιθανότητα πλευρικής βλάβης της εκάστοτε δεξαμενής, P_s , από την πλευρά από την οποία αυτή βρίσκεται πιο κοντά. Με άλλα λόγια το πρόγραμμα έχει συνδυάσει τις στήλες P_{Sp} και P_{Ss} , τις οποίες εξαγάγαμε εμείς κατά την θεώρηση βλάβης πλευράς από την αριστερή και την δεξιά πλευρά εναλλάξ.

Αυτό οδηγεί στην υπερεκτίμηση των πιθανοτήτων $P_{s,oi}$ οι οποίες κατά την θεώρηση βλάβης και από τις δυο πλευρές, πρέπει να ισούνται με τον μέσο όρο των πιθανοτήτων P_{Sp} και P_{Ss} που προκύπτουν για την κάθε πλευρά (ΜΕΡC. 122(52)). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέση εκροή λόγω πλευρικής βλάβης να υπερεκτιμάται, και να υπολογίζεται διπλάσια από την πραγματική.

• Σύγκριση Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}

Σε αυτήν την περίπτωση, τα αποτελέσματα μεταξύ του προγράμματος και του υπολογιστικού φύλλου συγκλίνουν. Λόγω των μικρών διαφορών στα δεκαδικά ψηφία των δεδομένων, οι οποίες οφείλονται στον τρόπο στρογγυλοποίησης που εφαρμόζει το πρόγραμμα, η μέση εκροή για τις 2 περιπτώσεις παλίρροιας, άρα και η συνολική μέση εκροή βλάβης πυθμένα, μεταξύ του προγράμματος και του φύλλου, είναι παραπλήσια.

Compart- ment	AVEVA						EXCEL					
	C_{db}	P_B	$O_{B(0)}$ (m^3)	$O_{MB(0)}$ (m^3)	$O_{B(-2.5)}$ (m^3)	$O_{MB(-2.5)}$ (m^3)	C_{db}	P_B	$O_{B(0)}$ (m^3)	$O_{MB(0)}$ (m^3)	$O_{B(-2.5)}$ (m^3)	$O_{MB(-2.5)}$ (m^3)
D.O.SERV.T.(S)	0.60	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
D.O.STOR.T.(S)	0.60	0.000	142.40	0.00	142.40	0.00	0.60	0.0000	142.40	0.00	142.40	0.00
M.G.O.SERV.T.(S)	0.60	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00

Compart- ment	AVEVA						EXCEL					
	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)	C _{db}	P _B	O _{B (0)} (m ³)	O _{MB (0)} (m ³)	O _{B (-2.5)} (m ³)	O _{MB (-2.5)} (m ³)
M.G.O.STOR.T.(S)	0.60	0.000	110.93	0.00	110.93	0.00	0.60	0.0000	110.93	0.00	110.93	0.00
No.2.H.F.O.T.(S)	0.60	0.000	205.17	0.00	205.17	0.00	0.60	0.0000	205.17	0.00	205.17	0.00
No.1.H.F.O.T.(S)	0.60	0.010	625.48	3.85	740.70	4.56	0.60	0.0098	625.49	3.68	740.70	4.36
No.1.H.F.O.T.(P)	0.60	0.010	625.48	3.85	740.70	4.56	0.60	0.0098	625.49	3.68	740.70	4.36
L.S.H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.000	39.86	0.00	39.86	0.00	0.60	0.0000	39.86	0.00	39.86	0.00
L.S.H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.000	43.71	0.00	43.71	0.00	0.60	0.0000	43.71	0.00	43.71	0.00
H.F.O.SERV.T.(P)	0.60	0.000	49.29	0.00	49.29	0.00	0.60	0.0000	49.29	0.00	49.29	0.00
H.F.O.SETT.T.(P)	0.60	0.000	52.93	0.00	52.93	0.00	0.60	0.0000	52.93	0.00	52.93	0.00
No.2.H.F.O.T.(P)	0.60	0.000	296.91	0.00	296.91	0.00	0.60	0.0000	296.91	0.00	296.91	0.00
O_{MB}				7.71		9.13				7.36		8.72

Πίνακας 62. Σύγκριση Υπολογισμών Μέσης Εκροής Καυσίμου Βλάβης Πυθμένα

Οι διαφορές στις τιμές της μέσης εκροής O_{MB} και για τις 2 περιπτώσεις παλίρροιας, μεταξύ του προγράμματος και του υπολογιστικού φύλλου, οφείλονται στις ελάχιστες διαφορές μεταξύ των ποσοτήτων O_B και των πιθανοτήτων P_B, για τις δεξαμενές καυσίμου No.1.H.F.O.T.(P)&(S), μιας και είναι οι μόνες οι οποίες δύναται να πληγούν. Ως εκ τούτου οι υπολογιζόμενες από το πρόγραμμα τιμές O_{MB} είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές που εξάγουμε στο υπολογιστικό φύλλο.

• Σύγκριση Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου, O_M

Symbol	Description	Units	AVEVA	EXCEL
			Value	Value
O _{MS}	Mean Outflow for Side Damage	m ³	59.864	29.852
O _{MB}	Mean Outflow for Bottom Damage = (0.7O _{MB(0)} + 0.3O _{MB(-2.5)})	m ³	8.135	7.769
O _M	Outflow parameter = (0.4O _{MS} + 0.6O _{MB})/C		0.0103	0.0059
O _M Limit	Maximum allowed value of O _M		0.0125	0.0125

Πίνακας 63. Σύγκριση Παραμέτρου Μέσης Εκροής

Στον Πίνακα 63, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την παράμετρο μέσης εκροής, O_M, όπως αυτή υπολογίζεται από το πρόγραμμα και από τους αναλυτικούς υπολογισμούς. Παρά τις διαφορές που προκύπτουν, η σχεδίαση ικανοποιεί τον Κανονισμό 12Α.

7. Τεχνοοικονομική Μελέτη Απόκτησης Δεξαμενόπλοιου

Στο παρόν Κεφάλαιο πραγματοποιείται μια προκαταρκτική μελέτη τεχνοοικονομικής φύσης, ώστε να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης του πλοιοκτήτη, ως προς την αγορά του υπό σχεδίαση δεξαμενόπλοιου.

Το συνολικό κόστος της επένδυσης, το οποίο θα κληθεί να αποπληρώσει ο επενδυτής, καθ' όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου, αναλύθηκε για τις ανάγκες της μελέτης στα εξής:

- 1) Κόστος Κτήσεως Πλοίου
- 2) Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου

Στην συνέχεια, με δεδομένο το συνολικό κόστος της επένδυσης, εφαρμόζεται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσης Αξίας (Κ.Π.Α), με σκοπό τον υπολογισμό του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου, ο οποίος καθιστά οικονομικά βιώσιμο το εγχείρημα της επένδυσης.

Στον Πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά του πλοίου, τα οποία υπολογίστηκαν σε προηγούμενα Κεφάλαια και αξιοποιούνται στους υπολογισμούς του παρόντος.

M.V. JULIA			
Ολικό Μήκος	L _{OA}	abt. 226.20	m
Μήκος μεταξύ καθέτων	L _{BP}	219.00	m
Πλάτος (moulded)	B	36.00	m
Κοίλο (moulded)	D	20.70	m
Βύθισμα Σχεδίασης (moulded)	T _d	14.00	m
Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής	W _{ST}	11,761.74	t
Βάρος Ενδιαίτησης & Εξοπλισμού	W _{OT}	1,767.58	t
Βάρος Μηχαν. Εγκατάστασης	W _M	1,865.68	t
Μέγιστη Συνεχής Ισχύς	MCR	14,480.00	kW
Ταχύτητα Υπηρεσίας	V _S	15.20	kn
Ολική Χωρητικότητα	GT	46,120	

Πίνακας 64. Χρήσιμα Χαρακτηριστικά Υπό Σχεδίαση Πλοίου

7.1. Κόστος Κτήσεως Πλοίου

Το κόστος κτήσεως/κατασκευής του πλοίου αναλύεται στα κόστη των τριών κύριων κατασκευαστικών υποομάδων, που αποτελούν το βάρος του άφορτου σκάφους (Lightship) και τα οποία είναι:

- Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής
- Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού
- Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Κάθε ένα από τα επιμέρους κόστη αναλύεται στο κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος. Ακολουθεί ο αναλυτικός υπολογισμός αυτών, κάνοντας χρήση εμπειρικών προσεγγιστικών μεθοδολογιών και, όσο το δυνατόν, πιο ρεαλιστικών στοιχείων της αγοράς.

• Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής

Το κόστος της μεταλλικής κατασκευής (C_{ST}) αποτελείται από το κόστος του υλικού (C_{ST1}), εν προκειμένω μη επεξεργασμένου χάλυβα και από το κόστος των εργατικών του προσωπικού (C_{ST2}), το οποίο υπολογίζεται βάσει των απαιτούμενων εργατωρών για την ναυπήγηση του πλοίου.

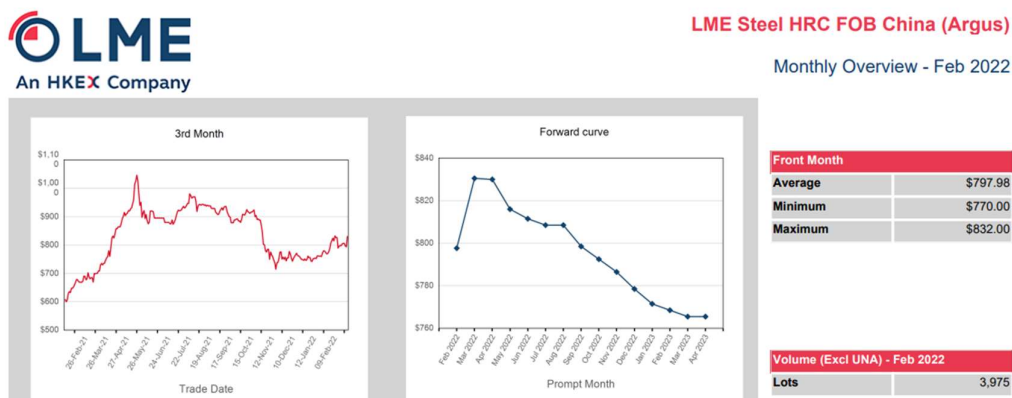
Θεωρώντας φύρα της τάξεως του 13% και τιμή χάλυβα ανά τόνο ελάσματος, ίση με την μέση αξία αυτού κατά τον μήνα Φεβρουάριο του 2022 (Εικόνα 26), λαμβάνεται το κόστος των υλικών. Συγκεκριμένα:

$$C_{ST} = 1.13 \cdot K_{ST1} \cdot W_{ST} \Rightarrow C_{ST1} = 10,606,031 \$$$

όπου:

K_{ST1} : κόστος ανά τόνο ελάσματος χάλυβα, $K_{ST1}=798 \$/ton$

W_{ST} : βάρος μεταλλικής κατασκευής, $W_{ST}=11,761.74 tons$



Εικόνα 26. Τιμή Χάλυβα Ανά Τόνο Ελάσματος (Φεβρουάριος, 2022)

Το εργατικό κόστος εξαρτάται άμεσα από την τοποθεσία και την διάρκεια της κατασκευής, από τις απαιτήσεις ποιότητας του εκάστοτε πλοιοκτήτη, καθώς και από πληθώρα άλλων οικονομικών και γεωπολιτικών παραγόντων. Επομένως η προσέγγιση αυτού βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις και παραδοχές.

Το πλήθος των εργατωρών που απαιτείται για την ανέγερση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου προσεγγίζεται κατά Johnson-Rumple, από την ακόλουθη σχέση:

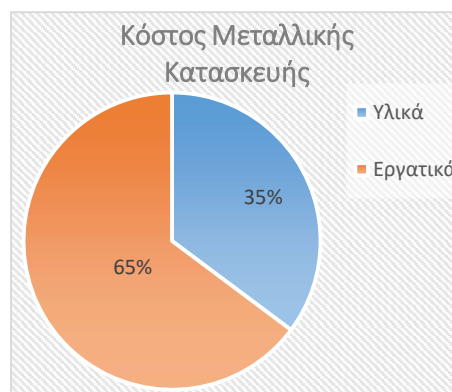
$$MHS_{ST} = 141.2 \cdot W_{ST}^{0.90} = 650,571.7 hrs$$

Έχοντας προσεγγίσει το πλήθος των εργατωρών, που απαιτείται για την ανέγερση του πλοίου, το κόστος εργασίας λαμβάνεται ίσο με $K_{ST2}=30 \$/hr$ (σύμφωνα με την μέση τιμή εργατώρας του Asia Shipbuilding Labor). Ως εκ τούτου προκύπτει το εργατικό κόστος, ίσο με:

$$C_{ST2} = K_{ST} \cdot MHS_{ST} \Rightarrow C_{ST2} = 19,515,531 \$$$

Η παραπάνω θεώρηση επιβεβαιώνεται σύμφωνα με τον εμπειρικό κανόνα, πως το κόστος των εργατικών είναι ίσο περίπου με το 70% του συνολικού κόστους της μεταλλικής κατασκευής. Αθροίζοντας τις δύο επιμέρους συνιστώσες προκύπτει το συνολικό κόστος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, ίσο με:

$$C_{ST} = C_{ST} + C_{ST2} \Rightarrow C_{ST} = 30,121,562 \$$$



Διάγραμμα 14. Ανάλυση Κόστους Μεταλλικής Κατασκευής

• Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, το κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού (C_{OT}) αναλύεται στο κόστος των υλικών (C_{OT1}) και στο εργατικό κόστος (C_{OT2}). Η προσέγγιση του κόστους ενδιαίτησης και εξοπλισμού αποτελεί μια αρχική, εμπειρική εκτίμηση, καθώς το κόστος αυτό, στα τελικά στάδια της μελέτης, καθορίζεται από τις προσφορές των προμηθευτών και τις οικονομικές συμφωνίες μεταξύ αυτών και του πλοιοκτήτη, ενώ ποικίλει ανάλογα με τα πρότυπα και τις απαιτήσεις της πλοιοκτήτριας εταιρείας.

Το κόστος των υλικών προσεγγίζεται κατά Benford, από την σχέση:

$$C_{OT1} = A_0 \cdot W_{OT}^{0.95} \Rightarrow C_{OT1} = 6,081,072 \$$$

όπου:

A_0 : σταθερά, η οποία για δεξαμενόπλοια λαμβάνει την τιμή, $A_0=5,000 \$/ton$

W_{OT} : βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού, $W_{OT}=1,767.58 tons$

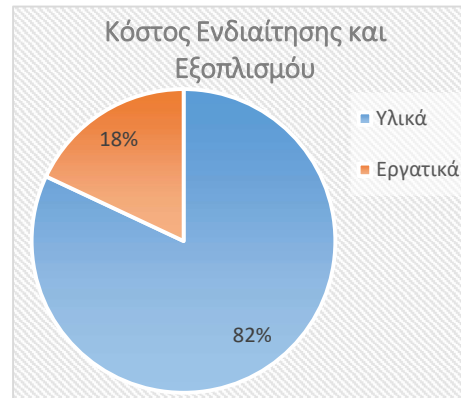
Από εμπειρικές σχέσεις, προκύπτει ότι το κόστος των υλικών ενδιαίτησης και εξοπλισμού αποτελεί το 82% του συνολικού κόστους. Επομένως το συνολικό κόστος ισούται με:

$$C_{OT} = C_{OT1}/0.82 \Rightarrow$$

$$\boxed{C_{OT} = 7,415,941 \$}$$

Επομένως, το κόστος των εργατικών υπολογίζεται ίσο με:

$$C_{OT} = C_{OT} \cdot 0.18 \Rightarrow C_{OT2} = 1,334,869 \$$$



Διάγραμμα 15. Ανάλυση Κόστους Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

• Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Αντίστοιχα, το κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης (C_M) αναλύεται σε δύο επιμέρους συνιστώσες, το κόστος κτήσης κύριας μηχανής, ηλεκτροπαραγωγών και βοηθητικών μηχανημάτων (C_{M1}) και το κόστος εργασιών (C_{M2}). Το συνολικό κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης C_M , δίνεται από το μέσο όρο των δύο παρακάτω εμπειρικών τύπων, οι οποίοι ορίζουν το άνω και κάτω όριο του κόστους (Aalbers, 2000):

$$C_{M,HIGH} = 9375 \cdot MCR^{0.79} \Rightarrow C_{M,HIGH} = 18,154,255 \$$$

$$C_{M,LOW} = 6046 \cdot MCR^{0.82} \Rightarrow C_{M,LOW} = 15,606,243 \$$$

όπου:

MCR : η μέγιστη συνεχής ισχύς της προωστήριας εγκατάστασης ίση με, $MCR=14,480 kW$ (Παράρτημα Α, Πίνακας 72).

Επομένως:

$$C_M = \frac{C_{M,HIGH} + C_{M,LOW}}{2} \Rightarrow \boxed{C_M = 16,880,249 \$}$$

Από εμπειρικές σχέσεις, προκύπτει ότι το κόστος των υλικών της μηχανολογικής εγκατάστασης αποτελεί το 88% του συνολικού κόστους. Επομένως, τα επιμέρους κόστη υπολογίζονται:

$$C_{M1} = C_M \cdot 0.88 \Rightarrow C_{M1} = 14,854,619 \$$$

$$C_{M2} = C_M \cdot 0.12 \Rightarrow C_{M2} = 2,025,630 \$$$



Διάγραμμα 16. Ανάλυση Κόστους Μηχ. Εγκατάστασης

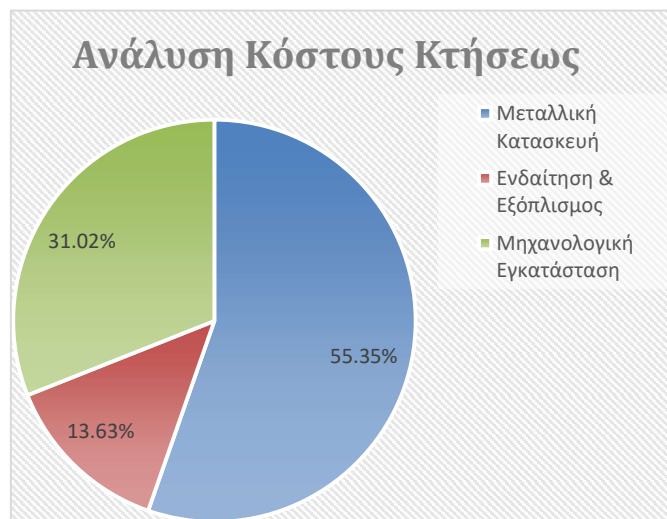
- **Συνολικό Κόστος Κτήσεως Πλοίου**

Με δεδομένα τα επιμέρους κόστη της μεταλλικής κατασκευής, της ενδίαίτησης και εξοπλισμού και της μηχανολογικής εγκατάστασης, προκύπτει το συνολικό κόστος κτήσεως του πλοίου.

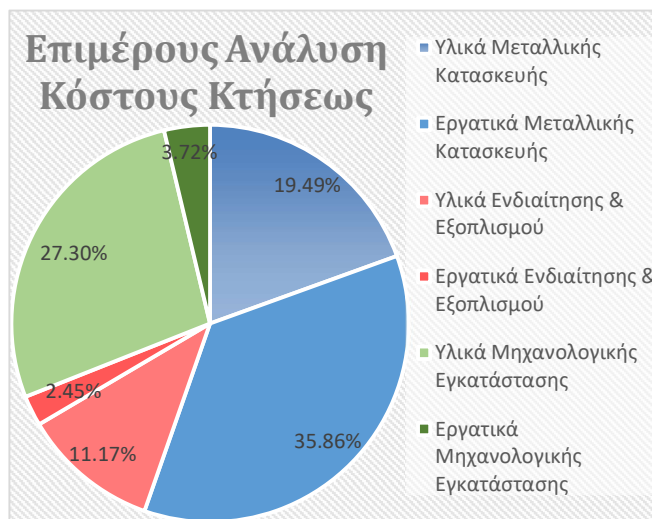
Κατηγορία Κόστους	Συνολικό Κόστος (\$)	% Κόστους Κτήσεως	Κόστος Υλικών (\$)	% Κόστους Κτήσεως	Κόστος Εργατικών (\$)	% Κόστους Κτήσεως
Μεταλλική Κατασκευή	30,121,562	55.35 %	10,606,031	19.49 %	19,515,531	35.86 %
Ενδίαίτηση και Εξοπλισμός	7,415,941	13.63 %	6,081,072	11.17 %	1,334,869	2.45 %
Μηχανολογική Εγκατάσταση	16,880,249	31.02 %	14,854,619	27.30 %	2,025,630	3.72 %
Κόστος Κτήσεως	54,417,753	100.00 %	31,541,722	57.96 %	22,876,030	42.04 %

Πίνακας 65. Ανάλυση Συνολικού Κόστους Κτήσεως Πλοίου

Σημειώνεται πως η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε αφορά παλαιότερες τεχνικές παραγωγής. Συνεπώς, λόγω της αυτοματοποίησης του κλάδου, στην πραγματικότητα αναμένονται χαμηλότερα κόστη, κυρίως εργατικών, αλλά και υλικών, καθώς η χρήση των διαθέσιμων πόρων έχει καταστεί αποδοτικότερη.



Διάγραμμα 17. Ανάλυση Συνολικού Κόστους Κτήσεως Πλοίου



Διάγραμμα 18. Επιμέρους Ανάλυση Συνολικού Κόστους Κτήσεως Πλοίου

7.2. Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου

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 Επισκευών & Συντηρήσεως
- 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.

Για την εκτίμηση της ακτίνας ενεργείας του υπό μελέτη πλοίου, με δεδομένη την υπηρεσιακή του ταχύτητα, $V_S = 15.2 \text{ kn}$, χρησιμοποιήθηκε η σχέση υπολογισμού του καταναλισκόμενου βάρους βαρέος καυσίμου, για τον υπολογισμό του χρόνου απλής μετάβασης t_1 , ως εξής:

$$W_{HFO} = P_B \cdot b \cdot t_1 \cdot C \cdot 10^{-6}$$

όπου :

W_{HFO} (t): το βάρος του καταναλισκόμενου βαρέος καυσίμου του υπό μελέτη, ίσο με την διαφορά των καταστάσεων αναχώρησης και άφιξης, όπως υπολογίστηκε στις καταστάσεις φόρτωσης 2,064.91 t.

P_B (kW): η ισχύς πέδης της κύριας μηχανής, ίση με 12,308 kW (85% MCR της μηχανής που εκλέχθηκε στην φάση της προμελέτης (Παράρτημα Α, Πίνακας 72))

b (gr/kWh): η ειδική κατανάλωση της κύριας μηχανής, θεωρήθηκε ίση με 171 gr/kWh.

C : συντελεστής εφεδρείας για υπερκατανάλωση λόγω αλλαγής πορείας, περιπτώσεων ανάγκης, καιρικών συνθηκών, κ.λ.π, ίσος με 1.2

Ο χρόνος απλής μετάβασης του υπό μελέτη πλοίου εκτιμήθηκε με την επίλυση της εξίσωσης ως προς την μεταβλητή t_1 , ίσος με :

$$t_1 = 981.11 \text{ hrs}$$

Έτσι η ακτίνα ενεργείας εκτιμήθηκε ίση με:

$$A.R. = V_S \cdot t_1 = 15.2 \cdot 981.11 = 14,913 \text{ n.m.}$$

Θεωρούμε ότι τα ταξίδια κατά την διάρκεια του έτους είναι συνεχή, στην ίδια διαδρομή και κυκλικά, καθώς και ότι ο χρόνος πλεύσης παραμένει σταθερός. Για κάθε κυκλικό ταξίδι, θεωρούμε χρόνο προσέγγισης λιμένα, ανεφοδιασμού και φορτοεκφόρτωσης, ίσο με **2 ημέρες για κάθε λιμένα**, άρα **96 ώρες για το κυκλικό ταξίδι**.

Επομένως η **διάρκεια κάθε κυκλικού ταξιδιού** είναι ίση με:

$$D = (2 \cdot t_1 + 96)/24 \Rightarrow \boxed{D \cong 86 \text{ days}}$$

Υπό την προϋπόθεση ότι 22 ημέρες ανά έτος διατίθενται για εργασίες/ επισκευές, ο **αριθμός των κυκλικών ταξιδιών ανά έτος** είναι:

$$N = (365 - 22)/D \Rightarrow \boxed{N \cong 4 \text{ trips/year}}$$

- **Κόστη Αναλώσιμων**

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους των αναλωσίμων του πλοίου (H.F.O., D.O., L.O. & F.W.), πέρα των προηγούμενων, χρειαζόμαστε τις ποσότητες που καταναλώνονται σε κάθε μετάβαση (μισό του κυκλικού ταξιδιού) και τα κόστη ανά τόνο αυτών. Βάσει, λοιπόν, των δεδομένων των καταστάσεων φόρτωσης, για τις καταστάσεις Departure και Arrival, προκύπτουν οι καταναλώσεις για ένα κυκλικό ταξίδι:

Καταναλισκόμενες Ποσότητες Κυκλικού Ταξιδιού				
Item	Departure (tons)	Arrival (tons)	Κατανάλωση Ανά Μετάβαση (tons)	Κατανάλωση Ανά Κυκλ. Ταξίδι (tons)
H.F.O.	2,365.95	301.04	2,064.91	4,129.82
D.O.	215.33	21.56	193.77	387.54
L.O.	55.70	29.50	26.20	52.40
F.W.	405.22	73.99	331.23	662.46

Πίνακας 66. Καταναλισκόμενες Ποσότητες Κυκλικού Ταξιδιού

Με βάση τα προηγούμενα και τις ισχύουσες τιμές των καταναλισκόμενων ποσοτήτων (<https://shipandbunker.com/prices#IFO380>), προκύπτουν τα κόστη ανά έτος.

Ετήσια Κόστη Αναλώσιμων						
Item	Αξία Τόνου		Κατανάλωση		N	Κόστος
H.F.O. (HSFO-380)	517.50	\$/t	4,129.82	t	4	8,548,727 \$/year
D.O. (M.G.O.)	780.00	\$/t	387.54	t	4	1,209,125 \$/year
L.O.	1,200.00	\$/t	52.40	t	4	251,520 \$/year
F.W.	0.50	\$/t	662.46	t	4	1,325 \$/year

Πίνακας 67. Ετήσια Κόστη Αναλώσιμων

- **Λοιπά Κόστη Λειτουργίας**

Προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό, ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης του δεξαμενόπλοιο, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των διαφόρων κοστών, εκτός των αναλώσιμων, τα οποία συνεπάγεται η λειτουργία αυτού (τροφοδοσίας, μισθοδοσίας, συντήρησης, ασφάλισης, λιμενικών τελών και γενικά έξοδα).

Κόστος Τροφοδοσίας

Για πλήρωμα 27 ατόμων (+2 βάσει πατρικού) και κόστος τροφοδοσίας, κατά μέσο όρο, ίσο με 16\$/άτομο/ημέρα, το συνολικό ετήσιο κόστος τροφοδοσίας προκύπτει:

$$C_{F.S.} = 29 \text{ people} \cdot \frac{16\$}{\text{person} \cdot \text{day}} \cdot 365 \frac{\text{days}}{\text{year}} \Rightarrow \boxed{C_{F.S.} = 159,152 \text{ \$/year}}$$

Κόστος Μισθοδοσίας

Για πλήρωμα 27 ατόμων και κόστος μισθοδοσίας, κατά μέσο όρο, ίσο με 2,000\$/άτομο/μήνα, το συνολικό ετήσιο (+2 μήνες δώρο) κόστος μισθοδοσίας προκύπτει:

$$C_{P.R.} = 27 \text{ people} \cdot \frac{2,000\$}{\text{person} \cdot \text{month}} \cdot 14 \frac{\text{months}}{\text{year}} \Rightarrow \boxed{C_{P.R.} = 756,000 \text{ \$/year}}$$

Κόστος Επισκευών και Συντηρήσεως

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μεταλλικής κατασκευής προσεγγίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C_{R+M,ST} = 25,000 \cdot \left(L_{BP} \cdot B \cdot \frac{D}{10^5} \right)^{\frac{2}{3}} \Rightarrow C_{R+M,ST} = 373,011 \text{ \$/year}$$

όπου:

L_{BP} : μήκος μεταξύ καθέτων σε ft, $L=718.50$ ft

B : πλάτος σε ft, $B=118.11$ ft

D : ύψος κοίλου σε ft, $D=67.91$ ft

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης προσεγγίζεται από την σχέση:

$$C_{R+M,M} = 13.6 \cdot P_B \Rightarrow C_{R+M,M} = 224,472 \text{ \$/year}$$

όπου :

P_B (HP): η ισχύς πένδης της κύριας μηχανής, σε ίππους, ίση με 16,505 HP

Συνεπώς, οι συνολικές ετήσιες δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών είναι:

$$C_{R+M} = C_{R+M,ST} + C_{R+M,M} \rightarrow \boxed{C_{R+M} = 597,483 \text{ \$/year}}$$

Λιμενικά Τέλη

Έχοντας υπολογίσει ότι το πλοίο θα κάνει 4 κυκλικά ταξίδια το χρόνο, τα ετήσια έξοδα ελλιμενισμού του πλοίου μπορούν να προσεγγιστούν από την ακόλουθη σχέση:

$$C_{PORT} = (2N + 1) \cdot \left(600 + 50 \cdot \left(\frac{L_{BP} \cdot B \cdot D}{10^5} \right) \right) = \boxed{C_{PORT} = 27,857 \text{ \$/year}}, L, B, D \text{ (ft)}$$

Κόστος Ασφάλισης

Το κόστος ασφάλισης προσεγγίζεται, συναρτήσει της ολικής χωρητικότητας και του αριθμού πληρώματος, από την ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$C_{INS} = 1,925 \cdot (N_{crew} + GT/1,000) \Rightarrow \boxed{C_{INS} = 140,756 \text{ \$/year}}$$

Όπου:

N_{crew} : αριθμός μελών του πληρώματος, $N_{crew}=27$

GT : ολική χωρητικότητα πλοίου, $GT=46,120$

Γενικά Έξοδα

Τέλος, στην κατηγορία των γενικών εξόδων συμπεριλαμβάνονται όλα τα υπόλοιπα έξοδα, τα οποία προσεγγίζονται μέσω της παρακάτω σχέσης:

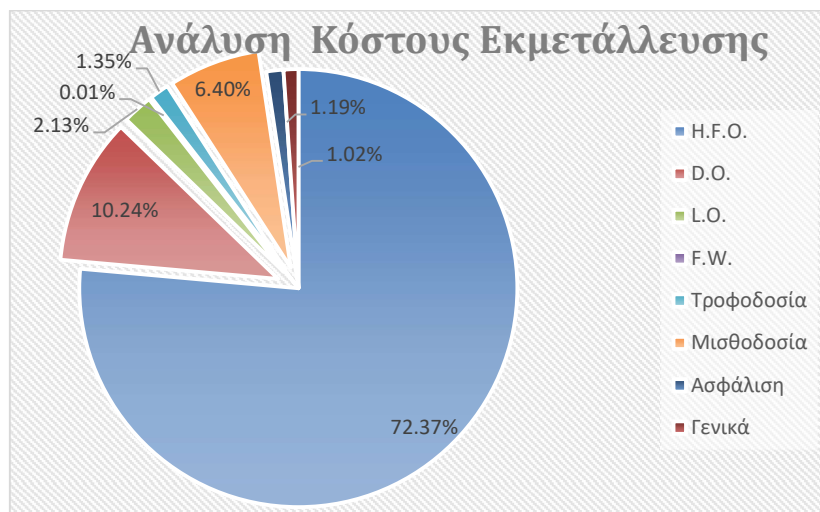
$$C_G = 6,500 + 70 \cdot \left(\frac{L_{BP} \cdot B \cdot D}{100} \right) \Rightarrow \boxed{C_G = 120,739 \text{ \$/year}}$$

- **Συνολικό Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου**

Το συνολικό ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους εξόδων. Επομένως:

Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου			
Είδος	Κατηγορία	Κόστος (\$/year)	% Συνόλου
Κόστη Αναλώσιμων	H.F.O.	8,548,727	72.37 %
	D.O.	1,209,125	10.24 %
	L.O.	251,520	2.13 %
	F.W.	1,325	0.01 %
Λοιπά Κόστη Λειτουργίας	Τροφοδοσία	159,152	1.35 %
	Μισθοδοσία	756,000	6.40 %
	Επισκευές/Συντήρηση	597,483	5.06 %
	Λιμενικά Τέλη	27,857	0.24 %
	Ασφάλιση	140,756	1.19 %
	Γενικά	120,739	1.02 %
Συνολικό Κόστος Εκμετάλλευσης		11,812,684	100.00 %

Πίνακας 68. Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου



Διάγραμμα 19. Ανάλυση Κόστους Εκμετάλλευσης Πλοίου

Συνοπτικά, τα κόστη κτήσεως και ετήσιας εκμετάλλευσης του πλοίου, τα οποία θα μας βοηθήσουν στην εκτίμηση του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου, είναι:

Κόστη Κτήσεως & Εκμετάλλευσης			
Κόστος Κτήσεως	C _{T1}	54,417,753	\$
Κόστος (Ετήσιο) Εκμετάλλευσης	C _{T2}	11,812,684	\$/year

Πίνακας 69. Κόστος Κτήσεως και Ετήσιο Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου

7.3. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος

Για την εκτίμηση του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου, ο οποίος καθιστά την επένδυση απόκτησης του δεξαμενόπλοιου οικονομικά βιώσιμη, γίνεται χρήση του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσης Αξίας (Κ.Π.Α.). Το κριτήριο λαμβάνει υπόψιν τους εξής παράγοντες:

- Την συνολική διάρκεια ζωής της επένδυσης.
- Την παρούσα αξία όλων των ταμιακών εισροών για το διάστημα εκμετάλλευσης του πλοίου.
- Την παρούσα αξία όλων των ταμιακών εκροών για το διάστημα εκμετάλλευσης του πλοίου.
- Την μέγιστη δυνατή απόδοση που θα είχαν τα χρήματα του επενδυτή, εάν αυτός επέλεγε να τα επενδύσει σε οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα.

Το εξεταζόμενο επενδυτικό σχέδιο περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Κεφάλαιο δανείου: 60% του κόστους κτήσεως του πλοίου

$$K_{\Delta} = 0.60 \cdot C_{T1} \Rightarrow \boxed{K_{\Delta} = 32,650,652 \$}$$

- Ετήσια δόση δανείου: για σταθερό ετήσιο επιτόκιο ίσο με: $r=8\%$

$$\delta_{\Delta} = K_{\Delta} \cdot \frac{r \cdot (1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \Rightarrow \boxed{\delta_{\Delta} = 3,325,541 \$}$$

- Κεφάλαιο πλοιοκτήτη: 40% του κόστους κτήσεως του πλοίου

$$K_{\Pi} = 0.40 \cdot C_{T1} \Rightarrow \boxed{K_{\Pi} = 21,767,101 \$}$$

- Διάρκεια εκμετάλλευσης πλοίου/αποπληρωμής δανείου: $n=20$ χρόνια

- Προσδοκώμενη απόδοση επενδύομένου κεφαλαίου: $i=12\%$

- Αξία πλοίου στο τέλος της ζωής του: 2.5% του αρχικού κόστους κτήσεως

$$\Pi_{20} = 0.25 \cdot C_{T1} \Rightarrow \boxed{\Pi_{20} = 1,360,444 \$}$$

Η Καθαρά Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.) είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των καθαρών ταμιακών ροών (Κ.Τ.Ρ) της επένδυσης και του κεφαλαίου που απαιτείται για την απόκτησή τους (K_{Π}). Το κριτήριο ανάγει στο παρόν τις αξίες των μελλοντικών ροών βάσει της εξίσωσης:

$$K.Π.Α. = \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+i)^t} - K_{\Pi} = \sum_{t=1}^n \frac{E\sigma_t - E\xi_t}{(1+i)^t} - K_{\Pi}$$

Με άλλα λόγια:

$$\boxed{\text{Καθαρή Παρούσα Αξία} = \text{Παρούσα Αξία} - \text{Κόστος επένδυσης}}$$

- Κ.Π.Α.=0, μεταφράζεται στο ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή
- Κ.Π.Α.>0, μεταφράζεται στο ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα
- Κ.Π.Α.<0, μεταφράζεται στο ότι η επένδυση καταλήγει σε ζημιά

➤ **Παρούσα αξία εισροών**

Οι εισροές που προβλέπονται στο προαναφερθέν επενδυτικό σχέδιο είναι οι εξής:

- Τα **έσοδα από την εκποίηση** του πλοίου, Π_{20} , τα οποία ανάγονται βάσει της προσδοκώμενης απόδοσης 12%. Η ροή αυτή λαμβάνει χώρα μία μόνο φορά, στο τέλος του διαστήματος των 20 ετών.
- Τα **έσοδα από την μεταφορά ωφέλιμου φορτίου**, τέσσερις φορές ανά έτος (όσα και τα κυκλικά ταξίδια, $N=4$) με ναύλο ίσο με το ζητούμενο, RFR . Η ροή αυτή επαναλαμβάνεται στο τέλος κάθε έτους και ανάγεται βάσει της προσδοκώμενης απόδοσης 12%.

➤ **Παρούσα αξία εκροών**

Οι εκροές που προβλέπονται στο προαναφερθέν επενδυτικό σχέδιο είναι οι εξής:

- Το **ποσοστό του κόστους κήσεως**, K_{π} , το οποίο προέρχεται από ίδια κεφάλαια του επενδυτή. Η ροή αυτή λαμβάνει χώρα μία μόνο φορά, στην αρχή του διαστήματος των 20 ετών.
- Οι **δόσεις δανείου**, δ_{Δ} , που αντιστοιχούν στην αποπληρωμή του κεφαλαίου δανείου και των τόκων, στο τέλος της 20ετίας. Η ροή αυτή επαναλαμβάνεται στο τέλος κάθε έτους και ανάγεται βάσει της προσδοκώμενης απόδοσης 12%.
- Το **ετήσιο κόστος εκμετάλλευσης του δεξαμενόπλοιου**, C_{T2} . Η ροή αυτή επαναλαμβάνεται στο τέλος κάθε έτους και ανάγεται βάσει της προσδοκώμενης απόδοσης 12%.

Βάσει των ανωτέρω, η εξίσωση της Κ.Π.Α. παίρνει την εξής μορφή:

$$K.P.A = -K_{\pi} + \frac{\Pi_{20}}{(1+i)^{20}} + (N \cdot RFR \cdot Paylodad - C_{T2} - \delta_{\Delta}) \cdot \sum_{t=1}^{20} (1+i)^{-t}$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω μεγέθη και λύνοντας την εξίσωση, για ΚΠΑ=0, ως προς την μεταβλητή RFR, προκύπτει ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος, ώστε η επένδυση να είναι οικονομικά βιώσιμη:

$$KPA = -21,767,101 + \frac{1,360,444}{9.6463} + (4 \cdot RFR \cdot 76,938.65 - 11,812,684 - 3,325,541) \cdot 7,4694 = 0$$

$$\boxed{RFR = 58.60 \text{ \$/ton}}$$

8. Ανακεφαλαίωση

8.1. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης σχεδίασης του δεξαμενόπλοιου μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου “M.V.Julia”, μπορούμε συνοπτικά να παραθέσουμε τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα δεξαμενόπλοια αποτελούν, βάσει της μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου εμπορικού στόλου, την 2^η μεγαλύτερη κατηγορία εμπορικών πλοίων και είναι υπεύθυνα για την μεταφορά της κινητήριας δύναμης της παγκόσμιας βιομηχανίας, αυτής του πετρελαίου και των παραγώγων του.
2. Λόγω της φύσης και της υψίστης σημασίας του φορτίου τους είναι ειδικά σχεδιασμένα και εξοπλισμένα με πληθώρα συστημάτων αποθήκευσης, διαχείρισης και προστασίας αυτού. Η συμβολή των Διεθνών Οργανισμών/Ενώσεων της ναυτιλιακής βιομηχανίας, μέσω συμβάσεων και κανονιστικών πλαισίων, είναι τεράστια.
3. Όσον αφορά την Μελέτη Σχεδίασης, που αποτελεί και το θέμα της παρούσης εργασίας, διαπιστώνεται ικανοποιητική σχεδίαση του δεξαμενόπλοιου, βάσει των αρχικών απαιτήσεων. Καθοριστικό ρόλο έχει η λεπτομερής μοντελοποίηση της γάστρας και των δεξαμενών πάσης φύσεως βάσει των αποτελεσμάτων της Προμελέτης. Απώροια αυτού είναι τόσο η ικανοποιητική απόκριση της γάστρας στις φορτώσεις όσο και η συμφωνία της σχεδίασης με τους Κανονισμούς που εξετάστηκαν.
4. Παρατηρείται συμμόρφωση των καταστάσεων φόρτωσης με τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας του IS-Code καθώς και με το κριτήριο καιρού. Επιπροσθέτως, οι ερματισμένες καταστάσεις NBD και NBA τηρούν τις απαιτήσεις του Κανονισμού 18 του Παραρτήματος I της MARPOL, σχετικά με το βύθισμα στο μέσο, την διαγωγή και την βύθιση της έλικας. Ακόμη, για την κατάσταση FLD επετεύχθη ταύτιση του εκτοπίσματος με το εκτιμώμενο στην φάση της Προμελέτης για το βύθισμα σχεδίασης. Σε αυτό συντέλεσε προφανώς η λεπτομερής μοντελοποίηση της γάστρας και όλων των δεξαμενών, βάσει των βαρών που κλήθηκαν να μεταφέρουν στο στάδιο της Προμελέτης. Τέλος, η κατάσταση πληροί τα κριτήρια των CSR σχετικά με τις τιμές των διαμήκων κατανομών των καμπιτικών ροπών και των διαμητικών δυνάμεων που οφείλονται καθαρά σε κυματισμό.
5. Βάσει των υπολογισμών μας για την απόδοση ακούσιας εκροής πετρελαίου, η σχεδίαση των δεξαμενών φορτίου του δεξαμενόπλοιου ικανοποιεί το κριτήριο της παραμέτρου μέσης εκροής του Κανονισμού 23 του Παραρτήματος I της MARPOL. Επιπλέον, εξετάζοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας, παρατηρείται πως στην περίπτωση της βλάβης πυθμένα, η πιθανότητα ρήξης από την εν λόγω βλάβη αυξάνεται κατά μήκος του πλοίου, λαμβάνοντας τις μεγαλύτερες τιμές στις πρωραίες δεξαμενές. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της πλευρικής βλάβης, η πιθανότητα ρήξης εξαρτάται περισσότερο από την απόσταση των διπλών τοιχωμάτων από το περίβλημα της γάστρας και λιγότερο από τα διαμήκη και κατακόρυφα όρια των δεξαμενών. Και στις δυο περιπτώσεις πάντως καθοριστικός παράγοντας της πιθανότητας ρήξης είναι το μέγεθος της δεξαμενής, με τις μεγαλύτερες να εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα έναντι των μικρότερων.
6. Σχετικά με την προστασία των δεξαμενών καυσίμου, όπως αυτή περιγράφεται στις Παραγράφους του Κανονισμού 12A του Παραρτήματος I της MARPOL, η σχεδίαση πληροί τα κριτήρια του Κανονισμού, τόσο για τα όρια της χωρητικότητας όσο και για τις ελάχιστες αποστάσεις από το περίβλημα της γάστρας. Η παράμετρος μέσης εκροής, η οποία εξήχθη από τους δικούς μας υπολογισμούς, βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων. Οι πίνακες εξαγωγής των πιθανοτήτων ρήξης πυθμένα και πλευράς, είναι ακριβώς οι ίδιοι μεταξύ του

Κανονισμού 12Α και 23. Επομένως, τα συμπεράσματα που εξαγάγαμε προηγουμένως για τις δεξαμενές φορτίου, σχετικά με την σημασία της θέσης της δεξαμενής, της απόστασης της από το περίβλημα και του μεγέθους της, ισχύουν και για τις δεξαμενές καυσίμου.

7. Η απόκλιση μεταξύ των αναλυτικών υπολογισμών που εκπονήθηκαν από εμάς και αυτών του προγράμματος “Hydrostatics & Hydrodynamics”, σχετικά με την παράμετρο μέσης εκροής, ανέρχεται στο 0.85% για τις δεξαμενές φορτίου και στο 1.60% για τις δεξαμενές καυσίμου. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί πως ελλείπει της ανάλυσης της μέσης πλευρικής εκροής σε εκροή εκ δεξιών και εξ αριστερών, τα ποσοστά αυτά ανέρχονται στο 55.2% και στο 74.6% αντίστοιχα, μιας και το πρόγραμμα, λόγω παραλείψεως από μεριάς μας κατά την μοντελοποίηση των δεξαμενών, υπολογίζει την μέση πλευρική εκροή αθροίζοντας την συμβολή των δυο πλευρών.
8. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της τεchnοοικονομικής μελέτης του δεξαμενόπλοιου, σχετικά με την βιωσιμότητα της επένδυσης απόκτησης του, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση από το πραγματικό κόστος κτήσης ενός Product Carrier τάξεως Aframax, το οποίο εκτιμάται κοντά στα 40 εκ. δολάρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε αφορά παλαιότερες τεχνικές παραγωγής. Συνεπώς, λόγω της αυτοματοποίησης του κλάδου, στην πραγματικότητα αναμένονται χαμηλότερα κόστη, κυρίως εργατικών, αλλά και υλικών. Ακόμη, η ναυπήγηση ενός νεότευκτου πλοίου αποτελεί μια πολύπλοκη οικονομική συμφωνία μεταξύ του ναυπηγείου και του πλοιοκτήτη, στην οποία εμπλέκεται πληθώρα επιχειρηματικών και μη συμφερόντων, τα οποία καθορίζουν και την τιμή κτήσεως.

8.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στα ζητήματα που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία αλλά και σε παρεμφερή θέματα.

1. Μελέτη εκροής μιας πιο απλοποιημένης σχεδίασης (π.χ. Barge) με το ίδιο σχεδιαστικό πρόγραμμα, ώστε να διερευνηθούν οι διαφορές που προέκυψαν κατά τους υπολογισμούς της μέσης εκροής.
2. Μελέτη της συγκεκριμένης σχεδίασης ως προς την ευστάθεια κατόπιν βλάβης.
3. Στατιστική μελέτη εξάρτησης της παραμέτρου μέσης εκροής πετρελαίου από το μέγεθος του δεξαμενόπλοιου.
4. Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενόπλοιου και βελτιστοποίηση με σκοπό την μείωση της παραμέτρου μέσης εκροής πετρελαίου.
5. Πιθανοθεωρητική μελέτη διαρροών πετρελαίου από δεξαμενόπλοια και συνυπολογισμός κόστους.
6. Μελέτη της επίδρασης λειτουργικών παραμέτρων στη ρύπανση της γάστρας.
7. Μελέτη αντοχής μέσης τομής δεξαμενόπλοιου διπλής γάστρας σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Common Structural Rules του IACS.
8. Κατάρτιση ηλεκτρικού ισολογισμού σε σύγχρονα πλοία με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Βιβλιογραφία

Aalbers, A. (2000). Evaluation of Ship Design Alternatives. In *Developments in the Design of Propulsors and Propulsion Systems, 34th WEGEMT School, 3-6 June 2000*.

Deltamarin Ltd. (1999). *The Future of Ship Design, Part I*. London: RINA.

Emi, H., Fujitani, T. & Abe, A. (2003). Liquefied Gas Carriers. In T. Lamb (Ed.), *Ship Design and Construction* (pp. 806-825) [Online]. Retrieved March 11, 2021 from: <https://vdoc.pub/download/ship-design-and-construction-volumes-1-2-455h172hah80>

Ζυγομαλάς, Α. Ν. (2018). *Μεταφορά Φορτίων, Έκδοση Β'* [Online]. Retrieved April 2, 2021 from: https://www.eef.edu.gr/media/2557/metafora_fortion_pdf_site.pdf

International Association of Classification Societies (2012). Part 1:General Hull Requirements, Chapter 4: Loads, Section 4: Hull Girder Loads. In IACS (Ed.), *Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers, 2022 Version*, [Online]. Retrieved December 31, 2022 from: <https://iacs.org.uk/publications/common-structural-rules/csr-for-bulk-carriers-and-oil-tankers/csr-consolidated/>

International Maritime Organization (1969). *International Convention on Tonnage Measurement Of Ships*, [Online]. Retrieved February 2, 2022 from: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/fish_fleet_esms_an1.pdf

International Maritime Organization (1997). *MARPOL Consolidated Edition 2017*, 6th Edition, [Online]. Retrieved April 16, 2021 from: <https://seatracker.ru/viewtopic.php?t=21698>

International Maritime Organization (1998). *MARPOL-25 years*. London: IMO

International Maritime Organization (2003). *Resolution MSC.143(77) Amendments to the Protocol of 1988 Relating to the International Convention on Load Lines, 1966*, [Online]. Retrieved June 3, 2021 from: <https://www.samgongustofa.is/media/log-og-reglur/LOAD-LINES-Consolidated-2018.pdf>

International Maritime Organization (2004). *Resolution MEPC.122(52) Explanatory Notes on Matters Related to the Accidental Oil Outflow Performance Under Regulation 23 of the Revised MARPOL Annex I*, [Online]. Retrieved December 3, 2021 from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.122\(52\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.122(52).pdf)

International Maritime Organization (2008). *Resolution MSC. 267(85) Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code)*, [Online]. Retrieved March 7, 2022 from: <https://www.mpa.gov.sg/web/wcm/connect/www/2b4cb7ea-1cff-492c-ab2e19f625b386bb/msc-267-85-2008-is-code.pdf?MOD=AJPERES>

Καραγεώργος, Ε. (2015). *Μεθοδολογία Προμελέτης Πλοίων Μεταφοράς Υγρού Φορτίου* (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαυρουδής, Ε. (2015). *Μελέτη και Σχεδίαση Δεξαμενόπλοιου Aframax με χρήση του προγράμματος NAPA* (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Michel, R. K. & Osborne, M. (2003). Oil Tankers. In T. Lamb (Ed.), *Ship Design and Construction Vol 1-2* (pp. 713-733), [Online]. Retrieved March 11, 2021 from: <https://vdoc.pub/download/ship-design-and-construction-volumes-1-2-455h172hah80>
- Ονουφρίου, Ν. (201). *Συγκέντρωση Και Επεξεργασία Τεχνικών Στοιχείων Πλοίων Μεταφοράς Υγρού Φορτίου* (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Παπανικολάου, Α. (2004). *Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II (Γενική Διάταξη, Ενδιαίτηση και Εξοπλισμός), Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*, 3^η Έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Παπανικολάου, Α. & Αναστασόπουλος, Κ. (2007). *Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου I (Μεθοδολογία Προμελέτης), Συλλογή Βοηθημάτων*, 6^η Έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Παπανικολάου, Α. (2009). *Μελέτη Πλοίου-Μεθοδολογίες Προμελέτης*, Τεύχος 1 και Τεύχος 2. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.
- Papanikolaou, A., Elioroulou, E. & Mikelis, N. (2006). Impact of Hull Design on Tanker Pollution. In *9th International Marine Design Conference-IMDC06, 16-19 May 2006*.
- Papanikolaou, A. (2016). Tanker Design and Safety: Historical Developments and Future Trends. In S. Orszulik (Ed.), *Environmental Technology in the Oil Industry* (pp. 285-320). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-24334-4>.
- Σαμουηλίδης, Μ. Σ. (2010). *Σημειώσεις Αντοχής Πλοίου*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Σπυράι, Σ. (2018). *Μελέτη και Σχεδίαση Δεξαμενόπλοιου τύπου Aframax και Ανάλυση της Ευστάθειας Βλάβης* (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Σπύρου, Κ. (2011). *Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II: Στοιχεία Λεπτομερούς Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου, Μέρος Β', Σημειώσεις Διδάσκοντος*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Werner, M. R. (2003). Chemical Tankers. In T. Lamb (Ed.), *Ship Design and Construction* (pp. 763-805) [Online]. Retrieved March 11, 2021 from: <https://vdoc.pub/download/ship-design-and-construction-volumes-1-2-455h172hah80>
- Ψαραύτης, Ν. Χ. (2006). *Οικονομική Θαλάσσιων Μεταφορών*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.

Ιστοσελίδες

<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=17991>

<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/oil-tanker-ships/>

<https://www.icheme.org/media/9182/paper46-hazards-23.pdf>

https://www.isgintt.org/files/documents/isgintt062010_en.pdf

<https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>

<https://www.iacs.org.uk/about/>

<https://www.intertanko.com/about-us>

<https://www.itopf.org/about-us/>

https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78

<http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/intro/index.htm>

<https://shipandbunker.com/prices#IFO380>

<https://www.lme.com/en/Metals/Ferrous/LME-Steel-HRC-FOB-ChinaArgus#Trading+day+summary>

https://eeyem.eap.gr/wp-content/uploads/2016/09/APA_ver2.pdf?fbclid=IwAR3iOwfSMA759VW-NrcfpqcM8WUmsqWnDpWXKuZD4vVmRvSI6KqKShQLvIY

https://www.lib.auth.gr/sites/default/files/docs_files/APA_Guide.pdf

Παράρτημα Α. Προμελέτη Σχεδίασης

Στο παρόν Παράρτημα παρατίθεται η προκαταρκτική μελέτη σχεδίασης του υπό σχεδίαση δεξαμενόπλοιου μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου, “M.V. Julia”, μεταφορικής ικανότητας περί τους 80.000 tn στο βύθισμα της γραμμής θέρους.

Απαιτήσεις Πλοιοκότητη

Κατά την μελέτη του αρχικού σχεδιασμού, λαμβάνονται υπόψιν οι απαιτήσεις του πλοιοκότητη ως προς τον τύπο του μεταφερόμενου φορτίου, το ύψος της μεταφορικής ικανότητας και την ταχύτητα υπηρεσίας του υπό σχεδίαση πλοίου. Ακόμη τίθενται περιορισμοί ναυσιπλοΐας ως προς το μέγιστο μήκος, πλάτος και βύθισμα, λόγω της διέλευσης του πλοίου από ορισμένα θαλάσσια περάσματα, ενώ απαιτήσεις μπορούν να τεθούν και για τον όγκο του μεταφερόμενου φορτίου και την ακτίνα ενεργείας του πλοίου. Στον πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται όλα τα προαναφερθέντα, μαζί με τα κανονιστικά πλαίσια στα οποία θα πρέπει να υπάγεται η τελική σχεδίαση.

Κύρια Χαρακτηριστικά Υπό Σχεδίαση Πλοίου			
Τύπος Πλοίου	Product Carrier		
Μεταφορική Ικανότητα	DWT	80,000	tn
Ωφέλιμο φορτίο	V_C ή V_{LIQ}	---	m^3
Ακτίνα Ενέργειας	R	---	sm
Ταχύτητα Υπηρεσίας	V_S	15.2	kn
Περιορισμοί Ναυσιπλοΐας	L_{max}	225	m
	B_{max}	41	m
	T_{max}	14	m
Νηογνώμονας	IACS (εναρμόνιση με κανονισμούς CSR)		
Πρόσθετες Απαιτήσεις	MARPOL, RESOLUTION MSC.143(77) Load Line, Res.A749 (weather criterion), SOLAS, Resolution 14 (Water on Deck)		

Πίνακας 70. Απαιτήσεις Σχεδίασης Υπό Μελέτη Πλοίου

Επιλογή Κύριων Διαστάσεων/Υπολογισμός Βασικών Μεγεθών

Για τον καθορισμό των κύριων διαστάσεων και των συντελεστών μορφής του ‘M.V. Julia’ συλλέχθηκε ένα δείγμα 10 όμοιων πλοίων, συμπεριλαμβανομένου του πατρικού πλοίου. Τα κριτήρια για την επιλογή των όμοιων πλοίων είναι τα εξής:

- Εύρος DWT: $\pm 10\%$
- Εύρος ταχύτητας, V_S : ± 1.5 knot
- Αποκλεισμός αδελφών πλοία
- Νέες σχεδιάσεις (δεξαμενόπλοια διπλής γάστρας)
- Το δοθέν DWT των όμοιων θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο βύθισμα αντοχής $T_{scantling}$

Για τα πλοία αυτά υπολογίστηκαν οι λόγοι L/B, L/D, B/T, D/T, DWT/Δ, οι συντελεστές C_B , C_{WP} , C_M , C_P , W_{LS} και η σταθερά του Αγγλικού Ναυαρχείου, C_{AD} . Κατόπιν προσδιορίστηκαν οι μέγιστες, οι ελάχιστες και οι μέσες τιμές του δείγματος για τα ανωτέρω στοιχεία. Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα υπολογισθέντα μεγέθη.

Η προσέγγιση του C_B πραγματοποιήθηκε για συντελεστή $c\gamma=1.027 \text{ t/m}^3$ (c : εκτόπισμα περιβλήματος, πηδαλιού και λοιπών εξαρτημάτων γάστρας, γ : ειδικό βάρος θαλασσινού νερού, ίσο με 1.025 t/m^3), βάσει των ακαδημαϊκών συγγραμμάτων της σχολής των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Για τον υπολογισμό των λοιπών συντελεστών μορφής της γάστρας των όμοιων πλοίων στο δοθέν βύθισμα, το οποίο όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως θεωρήθηκε πως είναι το βύθισμα αντοχής, έγινε χρήση προσεγγιστικών τύπων, οι οποίοι βασίζονται στον συντελεστή γάστρας C_B στο συγκεκριμένο βύθισμα.

Οι τελικές διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου θα προκύψουν ύστερα από μια επαναληπτική διαδικασία, ώστε αφενός μεν να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του πλοιοκλήτη και οι λόγοι και οι συντελεστές του "M.V. Julia" να βρίσκονται εντός των ορίων που υπολογίστηκαν από τα όμοια πλοία (Πίνακας 83), αφετέρου δε το γεωμετρικό εκτόπισμα της γάστρας Δ_F να υπερβαίνει, σε αρχικό στάδιο, το πολύ κατά 0.5% το συνολικό της βάρος Δ_B .

Όρια λόγων – συντελεστών όμοιων πλοίων			
	Average	Min	Max
L_{BP} / B	6.509	5.234	6.857
L_{BP} / D	10.835	10.333	12.386
B/T	2.451	2.195	3.332
D/T	1.453	1.429	1.495
C_B	0.8422	0.8120	0.8520
C_{WP}	0.8948	0.8747	0.9013
C_P	0.8483	0.8195	0.8577
C_M	0.9928	0.9909	0.9933
DWT/ Δ_F	0.8387	0.8304	0.8473
W_{LS}	0.0950	0.0916	0.1029
C_{AD}	605.43	511.10	686.73

Πίνακας 71. Όρια λόγων – Συντελεστών Όμοιων Πλοίων

Υπό Σχεδίαση Πλοίο – M.V. Julia				
Κύριες Διαστάσεις	Μήκος μεταξύ καθέτων	L_{BP}	219.000	m
	Πλάτος (moulded)	B	36.000	m
	Βύθισμα Σχεδίασης (moulded)	T	14.000	m
	Κοίλο (moulded)	D	20.700	m
Συντελεστές Μορφής	Γάστρας	C_B	0.8440	
	Ισάλου Επιφάνειας (εκτίμηση)	C_{WP}	0.8960	
	Πρισματικός (εκτίμηση)	C_P	0.8500	
	Μέσης Τομής (εκτίμηση)	C_M	0.9929	
Εκτίμηση Βάρους και Εκτόπισμα	Συντελεστής Βάρους Lightship	W_{LS}	0.0950	t/m^3
	Εκτίμηση Βάρους Lightship	LS	15,503.88	t
	Εκτίμηση Μεταφορικής Ικανότητας	DWT	80,000.00	t
	Εκτίμηση Εκτοπίσματος Βάρους (DWT+LS)	Δ_B	95,503.88	t
	Γεωμετρικό Εκτόπισμα Γάστρας	Δ_F	95,672.59	t
	Απόκλιση Εκτοπισμάτων	$(\Delta_F - \Delta_B) / \Delta_F$	0.1763	%
Στοιχεία Πρόωσης	Ταχύτητα Υπηρεσίας	V_s	15.2	kn
	Συντελεστής Αγγλικού Ναυαρχείου	C_{AD}	605.43	
	Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης	P	12,134	kW
	Μέγιστη Συνεχής Ισχύς Προωστήριας Εγκατ.	MCR	14,880	kW
	Ισχύς Πέδης	P_B	12,988	kW

Πίνακας 72. Χαρακτηριστικά Σχεδίασης 'M.V. Julia'

Έλεγχος Λόγων - Συντελεστών			
Μέγεθος	M.V. Julia	Όμοια Πλοία	
		Min	Max
L_{BP} / B	6.083	5.234	6.857
L_{BP} / D	10.580	10.333	12.386
B/T	2.571	2.195	3.332
D/T	1.479	1.429	1.495
C_B	0.8440	0.8120	0.8520
C_{WP}	0.8960	0.8747	0.9013
C_P	0.8500	0.8195	0.8577
C_M	0.9929	0.9909	0.9933
DWT/ Δ_F	0.8362	0.8304	0.8473

Πίνακας 73. Όρια λόγων-συντελεστών

Για τον υπολογισμό του συνολικού βάρους του πλοίου έγινε χρήση της μέσης τιμής του συντελεστή W_{LS} , που προκύπτει από τα όμοια, για την αρχική προσέγγιση του βάρους του άφορτου πλοίου (LightShip).

Σε αυτό προστίθεται το βάρος του $DWT=80.000 \text{ t}$ και προκύπτει μια αρχική προσέγγιση του συνολικού εκτοπίσματος βαρών Δ_B . Η ακριβέστερη προσέγγιση του LightShip μέσω αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού, στην συνέχεια της εργασίας, επιφέρει την ανάγκη

επαναπροσδιορισμού του συνολικού βάρους και ελέγχου επάρκειας του γεωμετρικού εκτοπίσματος Δ_F.

Για την εκτίμηση της ισχύος πρόωσης (P) χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αγγλικού ναυαρχείου που εξήχθη από τα όμοια πλοία, η ταχύτητα υπηρεσίας και η εκτίμηση του εκτοπίσματος στο βύθισμα σχεδίασης. Δεδομένης της ισχύος πρόωσης, επιλέγουμε ως προωστήρια εγκατάσταση του υπό μελέτη πλοίου, το δίχρονο κινητήρα Diesel WinGD X52, ο οποίος αποδίδει μέγιστη συνεχή ισχύ (MCR) ίση με 14,480 kW στις 105 στροφές. Η ισχύς πέδης P_B ορίζεται ως το 85% της MCR.

Προκαταρκτικός Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης

Δεδομένων των κυρίων διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου και την εκτίμηση των συντελεστών μορφής της γάστρας, ακολουθεί ο προκαταρκτικός έλεγχος του Κανονισμού της Γραμμής Φόρτωσης (ILLC). Στο παρόν παρατίθεται ο Πίνακας 72 με τα αποτελέσματα της εφαρμογής, δηλαδή με το Βασικό Ύψος Εξάλων και τις επιμέρους διορθώσεις που υπόκεινται αυτό, λόγω των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών του υπό μελέτη πλοίου. Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να σημειωθούν τα εξής:

1. Λόγω της υψίστης σημασίας του Κανονισμού, πραγματοποιείται προκαταρκτικός έλεγχος της εναρμόνισης της σχεδίασης με αυτόν. Με το πέρας της σχεδίασης της γάστρας, καθίσταται εφικτός, μέσω του σχεδιαστικού πακέτου της Avena Marine, ο υπολογισμός γεωμετρικών συντελεστών μορφής απαραίτητων για την εφαρμογή του Κανονισμού. Εκεί θα επανεξετασθεί η συμμόρφωση της σχεδίασης με αυτόν, με την χρήση της αντίστοιχης καρτέλας (Freeboard Calculation) του προγράμματος Hydrostatics & Hydrodynamics.
2. Το πάχος του ελάσματος υδρορροής και οι υπερκατασκευές/υπερστεγάσματα του καταστρώματος εξάλων διατηρήθηκαν ίδια με αυτά του πατρικού πλοίου. Οι λοιποί γεωμετρικοί συντελεστές που επιδρούν στους υπολογισμούς τόσο του Ύψους Εξάλων όσο και του Ελαχίστου Απαιτούμενου Ύψους Πρώρας, προσεγγίστηκαν με την χρήση εμπειρικών τύπων, όπως παρουσιάζεται και στο Παράρτημα των υπολογισμών.

Ακολουθεί ο Πίνακας με την πορεία των υπολογισμών και τα αποτελέσματα αυτών.

Προκαταρκτικός Υπολογισμός Βυθίσματος Γραμμής Φόρτωσης / Ελάχιστου Απαιτούμενου Ύψους Πρώρας			
Βασικό Ύψος Εξάλων (Κανονισμός 28)	YE1	2783.50	mm
Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B-60 (ή B-100) (Κανονισμός 27)	YE2	0	mm
Διόρθωση για καλύμματα στομίων κυτών (Κανονισμός 27)	YE3	0	mm
Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B κάτω των 100m (Κανονισμός 29)	YE4	0	mm
Διόρθωση για τον συντελεστή γάστρας (Κανονισμός 30)	YE5	1.12939	
Διόρθωση για το πλευρικό ύψος (Κανονισμός 31)	YE6	1528.38	mm
Διόρθωση για υπερκατασκευές /υπερστεγάσματα (Κανονισμός 37)	YE7	0	mm
Διόρθωση για σιμότητα (Κανονισμός 38)	YE8	725.43	mm
Υπολογισμός ύψους εξάλων θέρους (Summer Freeboard) [FB _{SUMMER} = (YE1+YE2+YE3+YE4) * YE5 + YE6 + YE7 + YE8]	FB _{SUMMER}	5397.46	mm
Πλευρικό ύψος (D _F = D + t _{deck})	D _F	20713.50	mm
Βύθισμα Γραμμής Φόρτωσης θέρους [T _{ILLC} = (D _F - FB _{SUMMER})/1000]	T _{ILLC}	15.316	m
Ελάχιστο Απαιτούμενο Ύψος Πρώρας	EAYΠ	5429.48	mm
Πραγματικό Ύψος Πρώρας (ΠΥΠ= D _F – T)	ΠΥΠ	6713.50	mm

Πίνακας 74. Προκαταρκτικός Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης

Παρατηρείται η ικανοποίηση του Κανονισμού Γραμμής Φόρτωσης, καθώς το βύθισμα σχεδίασης ($T_d=14m$) είναι μικρότερο από το μέγιστο έμφορτο βύθισμα ($T_{ILLC}=15.263m$) και το πραγματικό ύψος πλώρας ($h_{F.P.}=6.713m$) μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο ($F_b=5.430m$).

Προσέγγιση Βάρους Lightship

Στο παρόν προσεγγίζεται το βάρος του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου σκάφους (Lightship) του δεξαμενόπλοιου 'M.V. Julia'. Οι υπολογισμοί έχουν βασιστεί σε εμπειρικές προσεγγιστικές μεθόδους, μιας και ο τρόπος για να καθορισθεί επακριβώς το Lightship είναι μέσω του πειράματος ευστάθειας (Inclining Experiment), ύστερα από την κατασκευή του πλοίου. Για τις ανάγκες των υπολογισμών, θεωρείται πως το βάρος του Lightship συγκροτείται από τρεις υπό-ομάδες, ως εξής:

$$L.S. = W_{STEEL} + W_{MACHINERY} + W_{OUTFIT}$$

- W_{ST}: Βάρος μεταλλικής κατασκευής, το οποίο περιλαμβάνει το βάρος όλων των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου και αντιστοιχεί περίπου στο αντικείμενο εργασίας του ελασματοουργείου ενός ναυπηγείου.
- W_M: Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης, το οποίο περιλαμβάνει το βάρος της κύριας μηχανής, του ελικοφόρου άξονα και της έλικας, καθώς και των λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων.
- W_{OT}: Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού, το οποίο περιλαμβάνει το βάρος όλων των επί του γυμνού σκάφους εφαρμοσμένων/εγκατεστημένων και αποσυνδεδεμένων εξαρτημάτων του πλοίου χωρίς τη μηχανολογική εγκατάσταση (Παπανικολάου, 2009).

Οι προσεγγιστικές μέθοδοι εφαρμόζονται αρχικά στο πατρικό πλοίο, για το οποίο διαθέτουμε στοιχεία τόσο για το σύνολο του Lightship όσο και κατασκευαστικά σχέδια, από τα οποία αντλούμε πληροφορίες για την εφαρμογή των μεθόδων. Έχοντας προσεγγίσει το θεωρητικό βάρος του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου σκάφους του πατρικού, αθροίζοντας τις προσεγγίσεις των επιμέρους υπό-ομάδων, υπολογίζουμε την απόκλιση των υπολογισμών από το πραγματικό Lightship και εξάγουμε έναν συντελεστή συσχέτισης $\lambda_{LS} = \frac{L.S_{\text{θεωρητικό}}}{L.S_{\text{πραγματικό}}}$, ο οποίος θα πρέπει να βρίσκεται εντός του πεδίου 0.94-1.06.

Στην συνέχεια, λόγω της γεωμετρικής ομοιότητας αλλά και του γεγονότος πως πληθώρα κατασκευαστικών στοιχείων έχουν θεωρηθεί ίδια μεταξύ πατρικού και υπό σχεδίαση πλοίου, εφαρμόζονται οι ίδιες προσεγγιστικές μέθοδοι για τον υπολογισμό του θεωρητικού Lightship του 'M.V. Julia'. Ακολούθως, μέσω του συντελεστή λ_{LS} και των αποτελεσμάτων των μεθόδων, γίνεται η προσέγγιση του πραγματικού βάρους Lightship του υπό σχεδίαση πλοίου. Στους Πίνακες που ακολουθούν συνοψίζονται τα αποτελέσματα των μεθόδων τόσο για το πατρικό όσο και για το υπό σχεδίαση πλοίο, ενώ στην συνέχεια παρατίθενται τα πραγματικά βάρη του Lightship έπειτα από την επίδραση του συντελεστή συσχέτισης.

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ		
Υπό-Ομάδα	Μέθοδος	Αποτέλεσμα (t)
W _{STEEL}	Watson	11,330.90
	Schneekluth + Müller-Köster	11,973.62
W _{OUTFIT}	Ομάδες Βαρών Strohbusch	1,601.09
	Ομάδες Βαρών Schneekluth	1,158.68
	Προσέγγιση Watson-Gilfillan	1,619.69
W _{MACHINERY}	Watson-Gilfillan (1)	1,738.54
	Watson-Gilfillan (2)	1,858.61
	Ομάδες Βαρών Strohbusch	1,460.05

Πίνακας 75. Μέθοδοι Θεωρητικού Υπολογισμού L.S. Πατρικού Πλοίου

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ		
W _{STEEL}	10,953.13	t
W _{OUTFIT}	1,610.39	t
W _{MACHINERY}	1,798.58	t
L.S. θεωρητικό	14,362.09	t
L.S. πραγματικό	14,185.00	t
λ_{LS}	1.01248392	

Πίνακας 76. Θεωρητικό/Πραγματικό L.S. Πατρικού Πλοίου και Συντελεστής Συσχέτισης

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ – “M.V. Julia”		
Υπό-Ομάδα	Μέθοδος	Αποτέλεσμα (t)
W _{STEEL}	Watson	12,315.14
	Schneekluth + Müller-Köster	13,022.24
W _{OUTFIT}	Ομάδες Βαρών Strohbusch	1,770.71
	Ομάδες Βαρών Schneekluth	1,209.10
	Προσέγγιση Watson-Gilfillan	1,808.59
W _{MACHINERY}	Watson-Gilfillan (1)	1,725.10
	Watson-Gilfillan (2)	2,052.83
	Ομάδες Βαρών Strohbusch	1,531.94

Πίνακας 77. Μέθοδοι Θεωρητικού Υπολογισμού L.S. Υπό Σχεδίαση Πλοίου

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ – “M.V. Julia”		
W _{STEEL}	11,908.57	t
W _{OUTFIT}	1,789.65	t
W _{MACHINERY}	1,888.97	t
L.S. θεωρητικό	15,587.19	t
λ _{LS}	1.01248392	
L.S. πραγματικό	15,395.00	t

Πίνακας 78. Θεωρητικό/Πραγματικό L.S. Υπό Σχεδίαση Πλοίου και Συντελεστής Συσχέτισης

Για την εξαγωγή των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των μεθόδων υπολογισμού, εξαιρουμένων των επισημασμένων με κόκκινο μεθόδων, λόγω μεγάλης απόκλισης από τις υπόλοιπες. Στην υπό-ομάδα W_{STEEL} έγινε μείωση του υπολογιζόμενου βάρους κατά 6% για χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής.

Έχοντας προσεγγίσει το πραγματικό Lightship του υπό μελέτη πλοίου ‘M.V. Julia’, μέσω του συντελεστή λ_{LS}, εφαρμόζουμε αυτόν στις επιμέρους υπό-ομάδες, τόσο του υπό μελέτη όσο και του πατρικού, ώστε να προκύψουν οι ορθότερες προσεγγίσεις των βαρών. Το βήμα αυτό θα μας βοηθήσει στην συνέχεια της εργασίας, όπου θα πραγματοποιηθεί η προκαταρκτική μελέτη της ευστάθειας και θα χρειαστούμε τις τιμές των επιμέρους βαρών των πλήρως εξοπλισμένων αλλά άφορτων πλοίων. Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα πραγματικά βάρη του Lightship των δυο δεξαμενόπλοιων.

ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ “M.V. Julia”		
W _{STEEL}	11,761.74	t
W _{OUTFIT}	1,767.58	t
W _{MACHINERY}	1,865.68	t
L.S.	15,395.00	t

Πίνακας 79. Lightship Υπό Σχεδίαση Πλοίου M.V. Julia

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ		
W _{STEEL}	10,818.07	t
W _{OUTFIT}	1,590.53	t
W _{MACHINERY}	1,776.40	t
L.S.	14,185.00	t

Πίνακας 80. Lightship Πατρικού Πλοίου

• **Επανελέγχος απόκλισης γεωμετρικού εκτοπίσματος Δ_Γ και εκτοπίσματος βάρους Δ_Β**

Σε αυτό το στάδιο της μελέτης, λόγω του ακριβέστερου υπολογισμού του Lightship του υπό μελέτη πλοίου, το οποίο αρχικά είχε εκτιμηθεί μέσω του κυβικού συντελεστή βάρους W_{LS} που εξήχθη από τα όμοια πλοία, κρίνεται απαραίτητο να επαναπροσδιοριστεί η απόκλιση μεταξύ του γεωμετρικού εκτοπίσματος της γάστρας Δ_Γ και του εκτοπίσματος των βαρών Δ_Β.

Επομένως:

- $\Delta_{\Gamma} = c\gamma \cdot C_B \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T = 1.027 \cdot 0.844 \cdot 219 \cdot 36 \cdot 14 \Rightarrow \Delta_{\Gamma} = 95,672.59 \text{ t}$
- $\Delta_B = L.S. + DWT = 15,395.00 + 80,000.00 \Rightarrow \Delta_B = 95,395.00 \text{ t}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ισχύει πως Δ_Γ > Δ_Β και επιπλέον η απόκλιση μεταξύ τους υπολογίζεται:

$$\frac{\Delta_{\Gamma} - \Delta_B}{\Delta_{\Gamma}} \% = \frac{95,672.59 - 95,395.00}{95,672.59} \% = 0.29015\% < 0.5\%$$

η οποία βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων 0%-0.5%

Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους (DWT)

Προηγουμένως αναλύθηκε το βάρος του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου πλοίου του υπό σχεδίαση 'M.V. Julia'. Στο παρόν θα προσεγγισθεί το ολικό πρόσθετο βάρος (DWT) του πλοίου, το οποίο συνήθως εμπεριέχεται στις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη. Επίσης, από την στιγμή που έχει επαναπροσδιοριστεί το βάρος του άφορτου σκάφους, εξισώνοντας το γεωμετρικό εκτόπισμα της γάστρας Δ_G με το συνολικό βάρος Δ_B , προκύπτει το τελικό πρόσθετο βάρος (DWT), το οποίο δύναται να υποστηρίξει η γεωμετρία της γάστρας στο βύθισμα σχεδίασης, ως εξής:

- $\Delta_B = DWT_{FINAL} + L.S.$
- $\Delta_B = \Delta_G \Leftrightarrow DWT_{FINAL} + L.S. = \Delta_G \Leftrightarrow DWT_{FINAL} = \Delta_G - L.S. = 95,672.59 - 15,395.00$

$$DWT_{FINAL} = 80,277.59 t$$

Η ανάλυση του πρόσθετου βάρους σε επιμέρους βάρη είναι απαραίτητη τόσο για τον καθορισμό των κέντρων των βαρών και της επίδρασης αυτών στο συνολικό κέντρο βάρους του πλοίου όσο και στη διαρρύθμιση των χώρων του κύτους. Το πρόσθετο βάρος αναλύθηκε βάσει της διαδικασίας που παρουσιάζεται στο Trim and Stability Booklet του πατρικού πλοίου και ορίζεται, ομοίως, ως το άθροισμα των παρακάτω:

$$DWT = W_{PAYLOAD} + W_{HEAVY FUEL OIL} + W_{DIESEL OIL} + W_{FRESH WATER} + W_{MISCELLANEOUS} + W_{CONSTANTS} + W_{PROVISIONS} + W_{WATER BALLAST}$$

Το μεγαλύτερο μέρος του πρόσθετου βάρους DWT ενός δεξαμενόπλοιο αποτελεί, όπως είναι φυσικό, το βάρος του ωφέλιμου φορτίου ($W_{PAYLOAD}$), μιας και η ναυπήγηση του πλοίου προκύπτει από την απαίτηση του πλοιοκτήτη για την μεταφορά εμπορεύματος και την αποκόμιση κέρδους για την διαδικασία αυτή. Τα λοιπά βάρη απορρέουν από τις επιχειρησιακές ανάγκες του πλοίου και εξαρτώνται ευθέως από την κατανάλωση των κύριων και βοηθητικών μηχανών και μηχανημάτων, από τις προδιαγραφές εύρυθμης λειτουργίας τους, τις ανάγκες συντήρησης και ασφαλούς πλεύσης του πλοίου και από οποιαδήποτε άλλη καταναλωθείσα ποσότητα προς την ομαλή διεξαγωγή της μεταφοράς του ωφέλιμου φορτίου.

Στην ανάλυση που παρουσιάζεται προσεγγίσθηκαν τα βάρη των ομάδων του DWT του υπό σχεδίαση πλοίου 'M.V. Julia', με γνώμονα τα αντίστοιχα βάρη του πατρικού πλοίου, καθώς στο προκαταρκτικό στάδιο της μελέτης, δεν είναι γνωστά τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, όπως το μοντέλο της κύριας μηχανής, των βοηθητικών μηχανών, του λειτουργικού εξοπλισμού κ.α. Οι καταστάσεις φόρτωσης που μελετώνται για το υπό σχεδίαση πλοίο είναι η **Κατάσταση Πλήρους Ομογενούς Φόρτωσης-Αναχώρηση (Full Load Homogenous Condition-Departure)** και η **Κατάσταση Πλήρους Ομογενούς Φόρτωσης-Αφίξη (Full Load Homogenous Condition-Arrival)**.

- **Κατάσταση Πλήρους Ομογενούς Φόρτωσης – Αναχώρηση (Full Load Departure Condition/FLD)**

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης, το δεξαμενόπλοιο είναι πλήρως εφοδιασμένο με τα απαραίτητα αναλώσιμα και μη, ώστε να διανύσει την απόσταση παράδοσης του μέγιστου δυνατού ωφέλιμου φορτίου. Οι απαιτούμενες ποσότητες βαρέος καυσίμου και καυσίμου Diesel, οι οποίες αποτελούν τις μεγαλύτερες κατηγορίες βαρών μετά το ωφέλιμο φορτίο, προσεγγίζονται με χρήση του συντελεστή $\lambda_{LBD} = \frac{L_{BP} \cdot B \cdot D'}{L_{BP} \cdot B \cdot D}$, στον αριθμητή του οποίου βρίσκονται οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη και στον παρονομαστή του πατρικού και

αφορά την αναγωγή του βάρους των δεξαμενών του πατρικού, στο υπό μελέτη πλοίο με βάσει τις κύριες διαστάσεις τους.

➤ **Βάρος βαρέος καυσίμου ($W_{HEAVY FUEL OIL}$)**

Ο υπολογισμός του βάρους βαρέος καυσίμου W_{HFO}' , στις καταστάσεις αναχώρησης του υπό σχεδίαση πλοίου, εκτιμήθηκε με χρήση της εξίσωσης:

$$W_{HFO}' = \lambda_{LBD} \cdot W_{HFO}$$

Όπου :

W_{HFO} (t): το βάρος βαρέος καυσίμου του πατρικού, ίσο με **2,139.3 t**, στις καταστάσεις αναχώρησης, βάσει του Trim and Stability Booklet.

λ_{LBD} : συντελεστής αναλογίας ίσος με,

$$\lambda_{LBD} = \frac{L_{BP}' \cdot B' \cdot D'}{L_{BP} \cdot B \cdot D} = \frac{219 \cdot 36 \cdot 20.7}{219 \cdot 32.24 \cdot 20.9} \Rightarrow \lambda_{LBD} = 1.1059399$$

Επομένως:

$$W_{HFO}' = 2,365.94 \text{ t}$$

➤ **Βάρος καυσίμου Diesel ($W_{DIESEL OIL}$)**

Το βάρος του καυσίμου Diesel W_{DO}' , στις καταστάσεις αναχώρησης του υπό μελέτη πλοίου, εκτιμήθηκε με χρήση του συντελεστή $\lambda_{LBD} = \frac{L_{BP}' \cdot B' \cdot D'}{L_{BP} \cdot B \cdot D}$, ο οποίος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αφορά την αναγωγή του βάρους των δεξαμενών του πατρικού, στο υπό μελέτη πλοίο με βάσει τις διαστάσεις τους. Ο λόγος είναι η έλλειψη στοιχείων για την μελέτη των ενεργειακών αναγκών των συστημάτων που καταναλώνουν καύσιμο Diesel.

Με δεδομένη την ποσότητα που διαθέτει το πατρικό πλοίο κατά την αναχώρηση, ίση με $W_{DO} = 194.7 \text{ t}$, βάσει του Trim and Stability Booklet, αλλά και τις διαστάσεις των δυο πλοίων, υπολογίζεται:

$$W_{DO}' = \lambda_{LBD} \cdot W_{DO} = \frac{219 \cdot 36 \cdot 20.7}{219 \cdot 32.24 \cdot 20.9} \cdot 194.7 \Rightarrow W_{DO}' = 215.33 \text{ t}$$

➤ **Βάρος γλυκού νερού ($W_{FRESH WATER}$)**

Ο υπολογισμός του βάρους του γλυκού νερού W_{FW}' , περιλαμβάνει τόσο το μεταφερόμενο νερό στις δεξαμενές F.W. του υπό μελέτη πλοίου, όσο και το νερό ψύξης των διαφόρων λειτουργικών συστημάτων στην δεξαμενή C.W.T., κατά αναλογία με το πατρικό.

Οι δεξαμενές F.W. καλύπτουν τις ανάγκες του πληρώματος (πόση, λουτρό, κ.α.) καθώς και λοιπές επιχειρησιακές ανάγκες του πλοίου. Το πλήρωμα του πατρικού πλοίου αποτελείται από 27 άτομα, αριθμός που θα διατηρηθεί και στο υπό μελέτη. Βάσει της βιβλιογραφίας (Παπανικολάου, 2009), διακρίνονται οι εξής καταναλώσεις για τις ανάγκες του πληρώματος:

Πόσιμο νερό: 20 kg/ανθρωποημέρα

Νερό καθαριότητας: 200 kg/ανθρωποημέρα, για ενδαιτήσεις με λουτρές

$$W_{FW}' = \frac{F \cdot W \cdot consumption}{1000 \text{ kg/t}} \cdot N_{crew} \cdot \frac{t_1'}{24 \text{ hrs/day}} = \frac{20 + 200}{1000} \cdot 27 \cdot \frac{950.24}{24} \Rightarrow W_{FW}' = 235.18 \text{ t}$$

Το νερό στις δεξαμενές F.W. του πατρικού πλοίου ανέρχεται στους **332,8 t**, γεγονός που οδηγεί στον επαναπροσδιορισμό της ποσότητας του γλυκού νερού, μιας και η υπολογιζόμενη ποσότητα είναι αρκετά μικρότερη. Με χρήση του συντελεστή λ_{LBD} καθώς και της συνολικής ποσότητας γλυκού νερού του πατρικού, ίση με $W_{FW} = 366.4 \text{ t}$, υπολογίζεται:

$$W_{FW}' = \lambda_{LBD} \cdot W_{FW} = \frac{219 \cdot 36 \cdot 20.7}{219 \cdot 32.24 \cdot 20.9} \cdot 366.4 \Rightarrow W_{FW}' = 405.22 \text{ t}$$

➤ **Λοιπά Βάρη ($W_{MISCELLANEOUS}$)**

Σε αυτή την κατηγορία, βάσει του Trim and Stability Booklet του πατρικού, υπάγονται τα βάρη των δεξαμενών λιπαντικών, 2 δεξαμενών βαρέος καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, 2 δεξαμενών υπηρεσίας Diesel καυσίμου καθώς και 3 δεξαμενών συλλογής ελαίων / υπολειμμάτων. Μιας και στο στάδιο της προμελέτης δεν καθορίζονται τα λειτουργικά συστήματα του υπό μελέτη πλοίου και οι ανάγκες αυτών σε αναλώσιμα, θεωρήθηκε πως οι αποθηκευμένες ποσότητες αυτής της κατηγορίας παραμένουν ίδιες μεταξύ των δύο.

Επομένως:

$$W_{MISCELLANEOUS}' = 235.50 t$$

Miscellaneous Tanks			
Item		Filling	Weight (t)
Fuel Oil Tanks	L.S.H.F.O. SETT. T. (P)	70%	27.9
	L.S.H.F.O. SERV. T. (P)	70%	30.6
Diesel Oil Tanks	D.O. SERV. T. (S)	70%	8.2
	M.G.O SERV. T. (S)	70%	8.2
Lubricant Oil Tanks	M/E L.O. STOR.T. (S)	70%	14.4
	M/E L.O. SETT.T. (S)	70%	11.8
	G/E L.O. STOR.T. (S)	70%	4.1
	G/E L.O. SETT.T. (S)	70%	4.8
	NO.1 CYL.OIL STOR.T. (S)	70%	18.9
	NO.2 CYL.OIL STOR.T. (S)	70%	16.8
	M/E L.O. SUMP.T. (C)	70%	19.0
Other Tanks	S.T.L.O. SUMP.T. (C)	70%	1.6
	F.O. OVERF. T. (C)	70%	29.4
	WASTE OIL T. (P)	70%	11.1
	BILGE HOLDING T. (C)	70%	28.6
Total			235.5

Πίνακας 81. Ποικίλα Βάρη Υπό Σχεδίαση Πλοίου

➤ **Μόνιμα Βάρη και Βάρη Προμηθειών ($W_{CONSTANTS}$ / $W_{PROVISIONS}$)**

Σε αυτές τις κατηγορίες βαρών υπάγονται τα σταθερά, μόνιμα βάρη του δεξαμενόπλοιο, τα οποία εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος της μεταφορικής του ικανότητας (DWT) καθώς και τα βάρη των προμηθειών για τις ανάγκες του πληρώματος. Μιας και η μεταφορική ικανότητα των δύο πλοίων είναι παραπλήσια και ο αριθμός του πληρώματος ίδιος, θεωρείται πως τα βάρη των κατηγοριών είναι ίδια μεταξύ πατρικού και υπό μελέτη.

Επομένως:

$$W_{CONSTANTS}' = 111.35 t$$

$$W_{PROVISIONS}' = 5.61 t$$

Constants and Provisions	
Item	Weight (t)
Crew & Effect	4.35
Stores	90.00
Sea water, Fire & Wash	12.00
System Oil & Water E/R	5.00
Provisions	5.61
Total	116.96

Πίνακας 82. Μόνιμα Βάρη και Βάρη Προμηθειών Υπό Σχεδίαση Πλοίου

➤ **Βάρος έρματος ($W_{WATER BALLAST}$)**

Πρέπει να θεωρηθεί ότι για ένα καλομελετημένο δεξαμενόπλοιο, σε πλήρη φόρτωση, δεν απαιτείται θαλάσσιο έρμα, άρα θεωρείται πως δεν απαιτείται πλήρωση των δεξαμενών έρματος.

Επομένως :

$$W_{WATER BALLAST}' = 0 t$$

➤ **Βάρος ωφέλιμου φορτίου ($W_{PAYLOAD}$)**

Με δεδομένο το εκτόπισμα του υπό μελέτη πλοίου και έχοντας υπολογίσει τα επιμέρους βάρη, προκύπτει το βάρος του ωφέλιμου φορτίου ως εξής:

$$W_{PAYLOAD} = DWT - (W_{HFO} + W_{DO} + W_{FW} + W_{MISC} + W_{CONS} + W_{PROV} + W_{WB}) \Rightarrow$$

$$W_{PAYLOAD} = 76,938.64 t$$

• Κατάσταση Πλήρους Ομογενούς Φόρτωσης – Άφιξη (Full Load Arrival Condition/FLA)

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης, το δεξαμενόπλοιο προσεγγίζει τον λιμένα εκφόρτωσης, έχοντας καταναλώσει το μεγαλύτερο μέρος των αναλώσιμων ποσοτήτων (Heavy Fuel Oil, Diesel Oil, Fresh Water, Provisions). Η ποσότητα του ωφέλιμου φορτίου, όπως και τα σταθερά και τα ποικίλα βάρη (Constants, Miscellaneous), παραμένουν αναλλοίωτα.

Για τον υπολογισμό των εναπομένουσών ποσοτήτων χρησιμοποιήθηκε η ποσοστιαία μεταβολή των βαρών των αναλώσιμων του πατρικού. Σημειώνεται πως ορισμένες δεξαμενές αναλώσιμων διατηρούν τις μεταφερόμενες ποσότητες, γεγονός το οποίο θα πρέπει να ισχύσει και στο υπό μελέτη. Για τον σκοπό αυτό γίνεται μια ενδεικτική κατανομή των συνολικών βαρών στις επιμέρους δεξαμενές, χρησιμοποιώντας την ποσοστιαία κατανομή των δεξαμενών του πατρικού. Στον Πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται όσα περιεγράφηκαν παραπάνω.

Tank ID (Filling %)	ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ				ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"			
	FULL LOAD DEPARTURE		FULL LOAD ARRIVAL		FULL LOAD DEPARTURE		FULL LOAD ARRIVAL	
	Weight (t)	% Of Total	Weight (t)	Decrease %	Weight (t)	% Of Total	Weight (t)	Decrease %
NO.1H.F.O.T.(P&S:98%)	1,629.7	76.18%	163.0	-90.00%	1,802.35	76.18%	180.27	-90.00%
NO.2 H.F.O.T. (P:98%)	263.5	12.32%	26.4	-89.98%	291.42	12.32%	29.20	-89.98%
NO.2 H.F.O.T. (S:98%)	181.4	8.48%	18.1	-90.02%	200.62	8.48%	20.02	-90.02%
H.F.O. SERV.T. (P:70%)	31.2	1.46%	31.2	0.00%	34.50	1.46%	34.50	0.00%
H.F.O. SETT.T. (P:70%)	33.5	1.57%	33.5	0.00%	37.05	1.57%	37.05	0.00%
TOTAL FUEL OIL	2,139.3	100.00%	272.1	-87.28%	2,365.94	100.00%	301.04	-87.28%
D.O. STOR. T. (S:98%)	109.5	56.21%	10.9	-90.05%	121.04	56.21%	12.05	-90.05%
M.G.O. STOR. T. (S:98%)	85.3	43.79%	8.6	-89.92%	94.29	43.79%	9.50	-89.92%
TOTAL DIESEL OIL	194.8	100.00%	19.5	-89.99%	215.33	100.00%	21.55	-89.99%
F.W.T. (P&S:100%)	332.8	90.83%	33.3	-89.99%	368.06	90.83%	36.83	-89.99%
C.W.T. (C:100%)	33.6	9.17%	33.6	0.00%	37.16	9.17%	37.16	0.00%
TOTAL FRESH WATER	366.4	100%	66.9	-81.74%	405.22	100.00%	73.99	-81.74%
MISC. TANKS (70%)	235.5	100%	235.5	0.00%	235.5	100%	235.5	0.00%
TOTAL E/R MISC. TANKS	235.5	100%	235.5	0.00%	235.5	100%	235.5	0.00%
DWT CONSTANT	111.35	95.20%	111.35	0.00%	111.35	95.20%	111.35	0.00%
PROVISIONS	5.612	4.80%	0.56	-90.00%	5.61	4.80%	0.56	-90.00%
TOTAL DWT CONSTANT	116.96	100.00%	111.91	-4.32%	116.96	100.00%	111.91	-4.32%

Πίνακας 83. Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους Υπό Σχεδίαση Πλοίου στην FLA

Καθορισμός Κατασκευαστικών Νομέων, Κύριων Υδατοστεγών Φρακτών, Διπύθμενου και Διπλών Τοιχωμάτων

Στο παρόν πραγματοποιείται η κατασκευαστική προσέγγιση του υπό σχεδίαση πλοίου, μέσω του καθορισμού της απόστασης των κατασκευαστικών νομέων (Frame Spacing), της θέσης των εγκάρσιων και διαμήκων υδατοστεγών φρακτών (Bulkheads) και της απόστασης του διπύθμενου και των διπλών τοιχωμάτων από το περίβλημα της γάστρας, βάσει των ισχυόντων κατασκευαστικών κανονισμών και κανονισμών ασφαλείας. Καθαυτό τον τρόπο, η γάστρα του πλοίου υποδιαιρείται σε επιμέρους χώρους και δεξαμενές, παρέχοντας στοιχεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για τον προκαταρκτικό έλεγχο της ευστάθειας της κατασκευής.

- **Ανάλυση μήκους μεταξύ καθέτων L_{BP} σε επιμέρους μήκη L_i**

Η στεγανή υποδιάρθρωση του πλοίου επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση εγκάρσιων και διαμήκων φρακτών, οι οποίες ορίζουν υδατοστεγή διαμερίσματα κατά μήκος του πλοίου.

Βάσει των κοινών κατασκευαστικών κανονισμών (CSR) του IACS, το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου, υποδιαιρείται στα εξής μήκη:

$$L_{BP} = L_{AFT} + L_{ER} + L_{CARGO} + L_{FWD}$$

Η υποδιάρθρωση του υπό σχεδίαση πλοίου επιλέχθηκε να είναι όμοια με αυτή του πατρικού, μιας και το μήκος των δυο είναι ίδιο. Από το General Arrangement Plan του πατρικού πλοίου, προκύπτουν οι Πίνακες που παρουσιάζονται στην συνέχεια, με την ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων και την θέση των εγκάρσιων φρακτών. Ακόμη, ο χώρος φορτίου του υπό μελέτη πλοίου διατρέχεται στο μέσο του από μια διαμήκη φρακτή καθ' όλο το μήκος του. Στην συνέχεια ελέγχεται η συμμόρφωση της θέσης της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης με τους κανονισμούς της SOLAS.

Compartmentation – Υπό Σχεδίαση Πλοίου “M.V. JULIA”				
Compartment	F.S. (mm)	No. Frames	Li (m)	
Aft	800	12	9.60	
Engine Room	800	37	29.60	
Cargo	Slop	800	2	1.60
		3820	2	7.64
	6	3820	7	26.74
	5	3820	7	26.74
	4	3820	7	26.74
	3	3820	7	26.74
	2	3820	7	26.74
1	3820	7	26.74	
Forward	800	12.65	10.12	
L_{BP}	-	-	219.00	

Πίνακας 84. Υποδιάρθρωση Μήκους Υπό Σχεδίαση Πλοίου

Θέσεις Εγκάρσιων Φρακτών		
Bulkhead ID	Frame ID Number	
E/R	Aft (COLLISION)	12
	Fore	44
	H.F.O.T.	49
Cargo	Slop	53
	6	60
	5	67
	4	74
	3	81
	2	88
	1 (COLLISION)	95

Πίνακας 85. Θέση Εγκάρσιων Φρακτών

Επιμέρους Μήκη L_i (m)	
L_{AFT}	9.60
L_{ER}	29.60
L_{CARGO}	169.68
L_{FWD}	10.12
L_{BP}	219.00

Πίνακας 86. Επιμέρους Μήκη Υπό Σχεδίαση Πλοίου

- **Έλεγχος Θέσης Πρωραίας Φρακτής Σύγκρουσης**

Σύμφωνα με την Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα, SOLAS (Κανονισμός 12.1, Κεφάλαιο II-1), η απόσταση d της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης από την πρωραία κάθετο, θα πρέπει να βρίσκεται εντός των παρακάτω ορίων:

$$\min \left\{ \begin{matrix} 5\% L_{BP} \\ 10 m \end{matrix} \right\} \leq d \leq \max \left\{ \begin{matrix} 8\% L_{BP} \\ 5\% L_{BP} + 3 m \end{matrix} \right\} \Rightarrow \min \left\{ \begin{matrix} 10.95 m \\ 10 m \end{matrix} \right\} \leq d \leq \max \left\{ \begin{matrix} 17.52 m \\ 13.95 m \end{matrix} \right\}$$

$$10 m \leq d \leq 17.52 m$$

Σε περίπτωση ύπαρξης βολβοειδούς πλώρης, η απόσταση d της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης, μετράται από το σημείο a όπου:

$$a = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Μέσο του βολβού} \\ 1,5\% L_{BP} \text{ πρώραθεν της } F.P. \\ 3m \text{ πρώραθεν της } F.P. \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.35 m \\ 3.285 m \\ 3m \end{array} \right. \Rightarrow a = 2.35 m \text{ (Μέσο βολβού)}$$

Επομένως η απόσταση d της φρακτής από το σημείο a ισούται με:

$$d = 10.12 + 2.35 \Rightarrow \boxed{d = 12.47 m \in (10 m, 17.52 m)}$$

• Καθορισμός Ύψους Διπύθμενου

Έχοντας διαμερισματοποιήσει τον χώρο φορτίου, σειρά έχει ο καθορισμός του ύψους του διπύθμενου. Βάσει του Κανονισμού 18 του Παραρτήματος Ι της MARPOL, το ελάχιστο ύψος $h_{DBmin.}$ του διπύθμενου θα πρέπει να είναι:

- Για DWT $\geq 5,000$ t

$$h_{DBmin.} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{B}{15} \\ 2 m \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.4 m \\ 2 m \end{array} \right. \Rightarrow h_{DBmin.} = 2 m, \text{ όχι μικρότερο από } 1m.$$

Για το υπό σχεδίαση πλοίο επιλέχθηκε:

$$\boxed{h_{DB} = 2.45 m}$$

• Καθορισμός Απόστασης Διπλών Τοιχωμάτων

Σε συνέχεια της διαμερισματοποίησης του χώρου φορτίου, προχωράμε στην διαμόρφωση της διάταξης της διπλής γάστρας, με τον καθορισμό της απόστασης των διπλών τοιχωμάτων από το περίβλημα της γάστρας. Και εδώ, βάσει του Κανονισμού 18 του Παραρτήματος Ι της MARPOL, η ελάχιστη απόσταση $w_{DHmin.}$ θα πρέπει να είναι:

- Για DWT $\geq 5,000$ t

$$w_{DHmin.} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.5 + \frac{DWT}{20,000} \\ 2 m \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 4.52 m \\ 2 m \end{array} \right. \Rightarrow w_{DHmin.} = 2 m, \text{ όχι μικρότερη από } 1m.$$

Για το υπό σχεδίαση πλοίο επιλέχθηκε:

$$\boxed{w_{DH} = 2.45 m}$$

Προκαταρκτικός Έλεγχος Ευστάθειας

Ένα από τα βασικότερα στάδια κατά την προκαταρκτική μελέτη είναι ο έλεγχος της ευστάθειας του υπό σχεδίαση πλοίου. Σε αυτή την φάση αρκεί η εξέταση της ευστάθειας μικρών κλίσεων, δηλαδή ο έλεγχος επάρκειας του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους GM :

$$GM = KM - KG = KB + BM - KG$$

Όπου :

KM (m): η κατακόρυφη θέση του μετάκεντρου

KB (m): η κατακόρυφη θέση του κέντρου άντωσης του πλοίου

BM (m): η εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα

KG (m): η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου

Η γενική φιλοσοφία του υπολογισμού είναι η χρήση εμπειρικών σχέσεων για την προσέγγιση των συντεταγμένων των κέντρων βάρους των δυο μεγαλύτερων υπό-ομάδων του εκτοπίσματος (Lightship και Payload), τόσο στο πατρικό όσο και στο υπό μελέτη πλοίο, και η μετάβαση στις πραγματικές τιμές των συντεταγμένων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω συντελεστών διόρθωσης που προκύπτουν από τις πραγματικές τιμές του πατρικού, οι οποίες αντλούνται από το Trim and Stability Booklet αυτού. Για την προσέγγιση των συντεταγμένων των κέντρων βάρους των μικρότερων υπό-ομάδων, πραγματοποιείται αναγωγή των συντεταγμένων από το πατρικό στις διαστάσεις του υπό μελέτη, λόγω της υπόθεσης της γεωμετρικής και κατασκευαστικής τους ομοιότητας.

Οι υπολογισμοί για τα την κατακόρυφη θέση του κέντρου άντωσης KB και της εγκάρσιας μετακεντρικής ακτίνας BM γίνονται με χρήση εμπειρικών τύπων, συναρτήσεων των ήδη γνωστών κυρίων διαστάσεων και συντελεστών μορφής της γάστρας (Σελ. 302-303 Μ.Π.-I, Βοηθήματα), μιας και για τον επακριβή καθορισμό τους χρειάζεται η πλήρως μοντελοποιημένη μορφή αυτής.

Οι κανονισμοί ευστάθειας σε άθικτη κατάσταση (IMO A 167, IMO 749) απαιτούν το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος $GM > 0.15 m$. Καθώς όμως σε αυτή την φάση δεν μπορούμε να εξετάσουμε την ευστάθεια μεγάλων κλίσεων (μέσω των καμπυλών ευστάθειας), αφού απαιτείται επακριβής γνώση της γάστρας του πλοίου, θα αρκεστούμε στην σύγκριση του προκύπτοντος GM με τις ενδεικτικές τιμές του Πίνακα 2.23 (Σελ. 309 Μ.Π.-I, Βοηθήματα), όπου $GM \in (1.0 - 6.0 m)$ για δεξαμενόπλοια.

Έχοντας προσεγγίσει προηγουμένως το βάρος των υπό-ομάδων που συγκροτούν το σύνολο του βάρους του υπό μελέτη πλοίου, (πλήρως εξοπλισμένο αλλά άφορτο πλοίο (Lightship) και μέγιστο δυνατό πρόσθετο βάρος αυτού (DWT)), θα πραγματοποιηθεί ο προκαταρκτικός έλεγχος ευστάθειας για τις καταστάσεις Πλήρους Ομογενούς Φόρτωσης κατά την Αναχώρηση (Full Load Homogenous Condition-Departure) και κατά την Αφιξη (Full Load Homogenous Condition-Arrival).

• Κέντρο Βάρους Lightship

Ο υπολογισμός των πραγματικών συντεταγμένων ($LCG_{LS\text{πραγματικό}}, KG_{LS\text{πραγματικό}}$) του κέντρου βάρους του Lightship του υπό μελέτη πλοίου, βασίζεται στην θεωρητική προσέγγιση των συντεταγμένων ($LCG_{LS\text{θεωρητικό}}, KG_{LS\text{θεωρητικό}}$) του Lightship τόσο του πατρικού, όσο και του υπό μελέτη πλοίου. Με δεδομένες τις θεωρητικές και τις πραγματικές συντεταγμένες του πατρικού, εξάγονται οι συντελεστές $\lambda_{LCG_{LS}} = \frac{LCG_{LS\text{θεωρητικό}}}{LCG_{LS\text{πραγματικό}}}$ και $\lambda_{KG_{LS}} = \frac{KG_{LS\text{θεωρητικό}}}{KG_{LS\text{πραγματικό}}}$, τους οποίους εφαρμόζουμε στις θεωρητικές τιμές προκειμένου να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις πραγματικές συντεταγμένες του κέντρου βάρους του Lightship του υπό μελέτη πλοίου.

Η θεωρητική προσέγγιση βασίζεται στους Πίνακες του ακαδημαϊκού συγγράμματος της σχολής (Σελ. 101-102 Μ.Π.-I, Συλλογή Βοηθημάτων) στους οποίους παρατίθενται ενδεικτικές τιμές των συντελεστών LCG/L και KG/D , των υπό-ομάδων του Lightship, όπως αυτές ορίστηκαν. Λαμβάνοντας ίδιες τιμές συντελεστών για το πατρικό και το υπό μελέτη, με δεδομένο το κοίλο D των πλοίων, υπολογίζονται οι θεωρητικές τιμές των συντεταγμένων των ομάδων και του συνολικού Lightship. Για τον υπολογισμό του $LCG_{\text{θεωρητικό}}$ της μηχανολογικής εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση $LCG_{\text{MACHINERY}} = L_{\text{AFT}} + 0.5L_{\text{E/R}}$. Εν συνεχεία εξάγονται οι διορθωτικοί συντελεστές και εφαρμόζονται στο σύνολο των υπό-ομάδων ώστε να προκύψουν οι πραγματικές συντεταγμένες του κέντρου βάρους του Lightship του υπό μελέτη πλοίου. Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται όσα περιεγράφηκαν παραπάνω.

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ							
Item	Weight (t)	KG/D	KG _{θεωρητικό} (m)	M _T (t·m)	LCG/L	LCG _{θεωρητικό} (m)	M _L (t·m)
W _{STEEL}	10,818.07	0.630	13.167	142,441.51	0.475	104.025	1,125,349.60
W _{OUTFIT}	1,590.53	0.800	16.720	26,593.72	0.420	91.980	146,297.25
W _{MACHINERY}	1,776.40	0.500	10.450	18,563.36	-	22.400	39,791.31
L.S.	14,185.00	-	13.225	187,598.59	-	92.452	1,311,438.17
		KG _{πραγματικό}	11.200			LCG _{πραγματικό}	98.100
		λ _{KG_{LS}}	1.1808			λ _{LCG_{LS}}	0.9424

Πίνακας 87. Θεωρητικές/Πραγματικές Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους L.S. Πατρικού Πλοίου και Συντελεστές Διόρθωσης

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ “M.V. JULIA”							
Item	Weight (t)	KG/D	KG _{θεωρητικό} (m)	M _T (t·m)	LCG/L	LCG _{θεωρητικό} (m)	M _L (t·m)
W _{STEEL}	11,761.74	0.630	13.041	153,384.75	0.475	104.025	1,223,514.21
W _{OUTFIT}	1,767.58	0.800	16.560	29,271.14	0.420	91.980	162,582.11
W _{MACHINERY}	1,865.68	0.500	10.350	19,309.74	-	22.400	41,791.12
L.S.	15,395.00	-	13.119	201,956.63	-	92.750	1,427,887.45
		λ _{KG_{LS}}	1.1808			λ _{LCG_{LS}}	0.9424
		KG _{πραγματικό}	11.110			LCG _{πραγματικό}	98.416

Πίνακας 88. Θεωρητικές Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους L.S. Υπό Σχεδίαση Πλοίου και Προσέγγιση Πραγματικών μέσω των Συντελεστών Διόρθωσης

Έχοντας υπολογίσει τους απαραίτητους συντελεστές διόρθωσης των συντεταγμένων, διαιρούμε τις θεωρητικές τιμές με αυτούς και εξάγουμε τις πραγματικές συντεταγμένες του κέντρου βάρους του Lightship του υπό σχεδίαση πλοίου. Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τελικές, πραγματικές συντεταγμένες των επιμέρους ομάδων και του συνόλου του Lightship.

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ “M.V. JULIA”					
Item	Weight (t)	KG (m)	M _T (t·m)	LCG (m)	M _L (t·m)
W _{STEEL}	11,761.74	11.044	129,879.26	110.379	1,298,253.63
W _{OUTFIT}	1,767.58	14.024	24,788.91	97.599	172,513.58
W _{MACHINERY}	1,865.68	8.765	16,352.88	23.768	44,343.97
L.S.	15,395.00	11.110	171,039.05	98.416	1,515,111.18

Πίνακας 89. Πραγματικές Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους L.S. Υπό Σχεδίαση Πλοίου

• **Κέντρο Πρόσθετου Βάρους (DWT)**

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων του κέντρου του πρόσθετου βάρους (DWT) για το υπό μελέτη πλοίο, τόσο στην κατάσταση φόρτωσης FLD όσο και στην κατάσταση FLA, χρησιμοποιείται παρόμοια θεωρητική προσέγγιση με αυτήν που πραγματοποιήθηκε για το βάρος του Lightship προηγουμένως.

Συγκεκριμένα, για την θεωρητική προσέγγιση των συντεταγμένων του κέντρου βάρους του ωφέλιμου φορτίου (Payload) και των δυο δεξαμενόπλοιων, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις (ABS), οι οποίες περιέχουν όρους που υπολογίσαμε προηγουμένως:

$$LCG_{PL\text{θεωρητικό}} = L_{AFT} + L_{ER} + 0.48 \cdot L_{CARGO} \quad KG_{PL\text{θεωρητικό}} = h_{DB} + 0.52 \cdot (D - h_{DB})$$

Και σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένων των θεωρητικών και των πραγματικών ($LCG_{PLπραγματικό}$, $KG_{PLπραγματικό}$) συντεταγμένων του κέντρου βάρους του ωφέλιμου φορτίου του πατρικού, εξάγονται οι συντελεστές $\lambda_{LCG_{PL}} = \frac{LCG_{PLθεωρητικό}}{LCG_{PLπραγματικό}}$ και $\lambda_{KG_{PL}} = \frac{KG_{PLθεωρητικό}}{KG_{PLπραγματικό}}$, τους οποίους εφαρμόζουμε στις θεωρητικές τιμές του υπό σχεδίαση, ώστε να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις πραγματικές συντεταγμένες του κέντρου βάρους του ωφέλιμου φορτίου αυτού. Στον Πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται όσα περιεγράφηκαν προηγουμένως:

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ "M.V. CENTAUR"				ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"			
Item	Τιμή (m)	Item	Τιμή (m)	Item	Τιμή (m)	Item	Τιμή (m)
L _{AFT}	9.60	D	20.90	L _{AFT}	9.60	D	20.70
L _{ER}	29.60	h _{DB}	2.05	L _{ER}	29.60	h _{DB}	2.45
L _{CARGO}	169.68	-	-	L _{CARGO}	169.68	-	-
LCG_{PLθεωρητικό}	120.646	KG_{PLθεωρητικό}	11.852	LCG_{PLθεωρητικό}	120.646	KG_{PLθεωρητικό}	11.940
LCG_{PLπραγματικό}	121.612	KG_{PLπραγματικό}	11.765	$\lambda_{LCG_{PL}}$	0.992059	$\lambda_{KG_{PL}}$	1.007394
$\lambda_{LCG_{PL}}$	0.992059	$\lambda_{KG_{PL}}$	1.007394	LCG_{PLπραγματικό}	121.612	KG_{PLπραγματικό}	11.852

Πίνακας 90. Πραγματικές Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους Payload Υπό Σχεδίαση Πλοίου

Έχοντας προσεγγίσει το κέντρο βάρους του Payload του υπό σχεδίαση πλοίου, σειρά έχει ο καθορισμός των συντεταγμένων του κέντρου βάρους των υπολοίπων υπό-ομάδων του πρόσθετου βάρους, όπως αυτές ορίστηκαν, τόσο στην κατάσταση φόρτωσης FLD όσο και στην FLA. Για τον σκοπό αυτό, γίνεται χρήση των συντεταγμένων των αντίστοιχων βαρών του πατρικού πλοίου στις δυο καταστάσεις φόρτωσης.

Η προσέγγιση βασίζεται στην γεωμετρική ομοιότητα των δυο δεξαμενόπλοιων και πραγματοποιείται με την αναγωγή των συντεταγμένων των κέντρων των βαρών του πατρικού, στις διαστάσεις του υπό μελέτη. Με δεδομένα τα κέντρα των επιμέρους ομάδων του πατρικού, εξάγονται οι συντελεστές LCG/L και KG/D , οι οποίοι εφαρμόζονται αυτούσιοι στις διαστάσεις του υπό σχεδίαση.

Στους Πίνακες της επόμενης σελίδας συγκεντρώνονται όσα περιεγράφηκαν παραπάνω και συμπληρώνονται με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για το κέντρο βάρους του ωφέλιμου φορτίου, προς εξαγωγή του κέντρου βάρους του συνολικού DWT στις δυο καταστάσεις φόρτωσης. Η διαδικασία υπολογισμού του κέντρου βάρους του συνολικού DWT γίνεται και για το πατρικό, ώστε να επαληθεύσουμε την ορθότητα των υπολογισμών.

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ														
FULL LOAD DEPARTURE							FULL LOAD ARRIVAL							
Item	Weight (t)	KG(m)	KG/D	M _T (t·m)	LCG (m)	LCG/L	M _L (t·m)	Weight (t)	KG(m)	KG/D	M _T (t·m)	LCG (m)	LCG/L	M _L (t·m)
HFO	2,139.30	13.900	0.6651	29,736.27	35.554	0.1623	76,060.67	272.10	7.727	0.3697	2,102.52	34.779	0.1588	9,463.37
DO	194.80	17.409	0.8330	3,391.27	26.417	0.1206	5,146.03	19.50	13.894	0.6648	270.93	26.540	0.1212	517.53
FW	366.40	17.357	0.8305	6,359.60	6.593	0.0301	2,415.68	66.90	9.736	0.4658	651.34	7.392	0.0338	494.52
MISC.	235.50	10.293	0.4925	2,424.00	21.335	0.0974	5,024.39	235.50	10.293	0.4925	2,424.00	21.335	0.0974	5,024.39
CONST.	111.35	14.249	0.6818	1,586.63	116.416	0.5316	12,962.92	111.35	14.249	0.6818	1,586.63	116.416	0.5316	12,962.92
PROV.	5.612	22.750	1.0885	127.67	24.800	0.1132	139.18	0.561	22.750	1.0885	12.76	24.800	0.1132	13.91
BALLAST	0.000	0.000	0.0000	0.00	0.000	0.0000	0.00	2,340.00	1.164	0.0557	2,723.76	57.099	0.2607	133,611.66
PAYLOAD	71,905.10	11.765	-	845,963.50	121.612	-	8,744,523.02	71,905.10	11.765	-	845,963.50	121.612	-	8,744,523.02
DWT	74,958.06	11.868	-	889,587.21	118.016	-	8,846,271.89	74,951.01	11.417	-	855,735.44	118.832	-	8,906,611.33

Πίνακας 91. Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους DWT Πατρικού Πλοίου στις καταστάσεις FLD και FLA

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ “M.V. JULIA”														
FULL LOAD DEPARTURE							FULL LOAD ARRIVAL							
Item	Weight (t)	KG/D	KG(m)	M _T (t·m)	LCG/L	LCG (m)	M _L (t·m)	Weight (t)	KG/D	KG(m)	M _T (t·m)	LCG/L	LCG (m)	M _L (t·m)
HFO	2,365.94	0.6651	13.767	32,571.82	0.1623	35.554	84,118.53	301.04	0.3697	7.653	2,303.85	0.1588	34.779	10,469.76
DO	215.33	0.8330	17.242	3,712.75	0.1206	26.417	5,688.28	21.55	0.6648	13.761	296.62	0.1212	26.540	572.06
FW	405.22	0.8305	17.191	6,966.04	0.0301	6.593	2,671.59	73.99	0.4658	9.643	713.45	0.0338	7.392	546.91
MISC.	235.50	0.4925	10.195	2,400.81	0.0974	21.335	5,024.39	235.50	0.4925	10.195	2,400.81	0.0974	21.335	5,024.39
CONST.	111.35	0.6818	14.113	1,571.44	0.5316	116.416	12,962.92	111.35	0.6818	14.113	1,571.44	0.5316	116.416	12,962.92
PROV.	5.61	1.0885	22.532	126.45	0.1132	24.800	139.18	0.56	1.0885	22.532	12.64	0.1132	24.800	13.91
BALLAST	0.000	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.000	0.0557	1.153	0.00	0.2607	0.000	0.00
PAYLOAD	76,938.64	-	11.852	911,904.00	-	121.612	9,356,661.89	76,938.64	-	11.852	911,904.00	-	121.612	9,356,661.89
DWT	80,277.59	-	11.949	959,253.31	-	117.932	9,467,266.78	77,682.64	-	11.833	919,202.81	-	120.828	9,386,251.85

Πίνακας 92. Συντεταγμένες Κέντρου Βάρους DWT Υπό Σχεδίαση Πλοίου στις καταστάσεις FLD και FLA

• **Κέντρο Βάρους Εκτοπίσματος/Έλεγχος Ευστάθειας**

Έχοντας προσεγγίσει τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους τόσο του Lightship όσο και του DWT, για τις καταστάσεις φόρτωσης FLD και FLA, σειρά έχει ο καθορισμός της θέσης του κέντρου βάρους του συνολικού εκτοπίσματος. Αφού εξαχθούν οι συντεταγμένες, σε αυτό το στάδιο της μελέτης λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών μόνο των δεξαμενών φορτίου και η κατακόρυφη απόσταση **KG** του εκτοπίσματος διορθώνεται μέσω της ποσότητας $GG_0 = \frac{\sum FSM_i}{\Delta} = \frac{\sum I_i \cdot s \cdot g}{\Delta}$,

όπου:

GG₀ (m): ανύψωση κέντρου βάρους λόγω της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών.

FSM_i (t·m): η ροπή της ελεύθερης επιφανείας κάθε δεξαμενής.

I_i (m⁴): η ροπή αδράνειας της ελεύθερης επιφανείας κάθε δεξαμενής.

s · g (t/m³): το ειδικό βάρος του μεταφερόμενου φορτίου.

Δ (t): το εκτόπισμα της κάθε κατάστασης φόρτωσης.

Μιας και στο στάδιο αυτό δεν γνωρίζουμε επακριβώς την γεωμετρία των δεξαμενών φορτίου, θεωρούμε πως οι ελεύθερες επιφάνειες αυτών είναι ορθογωνικές με ροπές αδράνειας $I_{\text{θεωρητικό}} = \frac{L \cdot B^3}{12}$. Με δεδομένες τις πραγματικές τιμές των ροπών **FSM_i** των επιφανειών των δεξαμενών του πατρικού και το ειδικό βάρος **s · g** του φορτίου (από Trim and Stability Booklet για τις καταστάσεις φόρτωσης που μελετώνται), προσεγγίζονται οι πραγματικές ροπές αδράνειας των ελεύθερων επιφανειών $I_{\text{πραγματικό}} = \frac{FSM_i}{s \cdot g}$ και εξάγουμε τους συντελεστές $\lambda_i = \frac{I_{\text{θεωρητικό}}}{I_{\text{πραγματικό}}}$ για την ακριβέστερη προσέγγιση των ροπών αδράνειας των δεξαμενών του υπό σχεδίαση, με σκοπό τον καθορισμό των ροπών των ελεύθερων επιφανειών των δεξαμενών φορτίου αυτού. Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται όσα περιεγράφηκαν παραπάνω.

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ								
Δεξαμενή Φορτίου		L (m)	B (m)	I _{θεωρητικό} (m ⁴)	FSM _i (t·m)	s·g (t/m ³)	I _{πραγματικό} (m ⁴)	λ _i
1	P	26.74	14.07	6,206.724	2,296	0.849	2,704.358	2.295
	S	26.74	14.07	6,206.724	2,296	0.849	2,704.358	2.295
2	P	26.74	14.07	6,206.724	4,291	0.849	5,054.181	1.228
	S	26.74	14.07	6,206.724	4,307	0.849	5,073.027	1.223
3	P	26.74	14.07	6,206.724	4,328	0.849	5,097.762	1.218
	S	26.74	14.07	6,206.724	4,299	0.849	5,063.604	1.226
4	P	26.74	14.07	6,206.724	4,312	0.849	5,078.916	1.222
	S	26.74	14.07	6,206.724	4,328	0.849	5,097.762	1.218
5	P	26.74	14.07	6,206.724	4,328	0.849	5,097.762	1.218
	S	26.74	14.07	6,206.724	4,299	0.849	5,063.604	1.226
6	P	26.74	14.07	6,206.724	4,264	0.849	5,022.379	1.236
	S	26.74	14.07	6,206.724	4,264	0.849	5,022.379	1.236
Slop	P	9.24	9.95	758.508	646	0.849	760.895	0.997
	S	9.24	14.07	2,144.732	1,220	0.849	1,436.985	1.493
Residual	P	9.24	4.12	53.850	26	0.849	30.624	1.758
Total				77,437.780	49,504	-	58,308.598	-

Πίνακας 93. Θεωρητικές/Πραγματικές Ροπές Αδράνειας Ελεύθερων Επιφανειών Δεξαμενών Φορτίου Πατρικού και Συντελεστές Διόρθωσης

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"								
Δεξαμενή Φορτίου		L (m)	B (m)	I _{θεωρητικό} (m ⁴)	λ _i	I _{πραγματικό} (m ⁴)	s.g. (t/m ³)	FSM _i (t-m)
1	P	26.74	15.55	8,378.598	2.295	3,650.674	0.849	3,099.402
	S	26.74	15.55	8,378.598	2.295	3,650.674	0.849	3,099.402
2	P	26.74	15.55	8,378.598	1.228	6,822.754	0.849	5,792.480
	S	26.74	15.55	8,378.598	1.223	6,848.194	0.849	5,814.079
3	P	26.74	15.55	8,378.598	1.218	6,881.585	0.849	5,842.427
	S	26.74	15.55	8,378.598	1.226	6,835.474	0.849	5,803.280
4	P	26.74	15.55	8,378.598	1.222	6,856.144	0.849	5,820.829
	S	26.74	15.55	8,378.598	1.218	6,881.585	0.849	5,842.427
5	P	26.74	15.55	8,378.598	1.218	6,881.585	0.849	5,842.427
	S	26.74	15.55	8,378.598	1.226	6,835.474	0.849	5,803.280
6	P	26.74	15.55	8,378.598	1.236	6,779.824	0.849	5,756.033
	S	26.74	15.55	8,378.598	1.236	6,779.824	0.849	5,756.033
Slop	P	9.24	10.95	1,010.958	0.997	1,014.140	0.849	860.999
	S	9.24	15.55	2,895.222	1.493	1,939.818	0.849	1,646.895
Residual	P	9.24	4.60	74.949	1.758	42.623	0.849	36.187
Total				104,524.301	-	78,700.372	-	66,816.180

Πίνακας 94. Θεωρητικές/Πραγματικές Ροπές Αδράνειας Ελεύθερων Επιφανειών Δεξαμενών Φορτίου Υπό Σχεδίαση Πλοίου και Πραγματική Ροπή Επιφάνειας

Έχοντας πραγματοποιήσει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς για τον καθορισμό της θέσης του κέντρου βάρους του εκτοπίσματος του υπό σχεδίαση πλοίου, για τις δυο καταστάσεις φόρτωσης που μελετώνται, σειρά έχει ο καθορισμός της κατακόρυφης θέσης του μετάνευρου **KM**. Για τον σκοπό αυτό θα γίνει η προσέγγιση της κατακόρυφης θέσης του κέντρου άντωσης του πλοίου **KB** και της εγκάρσιας μετακεντρικής ακτίνας **BM** μέσω των προσεγγιστικών τύπων που βρίσκονται στο βιβλίο "Μελέτη Πλοίου - Μεθοδολογίες Προμελέτης - Τεύχος 1", σ. 302:

$$\text{Normand I: } KB_1 = T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M)$$

$$\text{Schneekluth: } KB_2 = T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B)$$

$$\text{Normand II: } KB_3 = T \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WP}} \right)$$

$$KB = \frac{KB_1 + KB_2 + KB_3}{3}$$

$$\text{Normand: } C_1 = 0.096 + 0.89 \cdot C_{WP}^2$$

$$\text{Schneekluth: } C_2 = C_{WP}^{1.8}$$

$$\text{Bauer: } C_3 = 0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WP} + 1)^3$$

$$\text{Duzdus - Danckwardt: } C_4 = 0.13 \cdot C_{WP} + 0.78 \cdot C_{WP} \pm 0.005$$

$$C_{AVG} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{4}$$

$$BM = C_{AVG} \cdot \frac{B^2}{12 \cdot T \cdot C_B}$$

Οι προσεγγιστικοί τύποι εφαρμόζονται στο πατρικό και στο υπό μελέτη πλοίο για τον καθορισμό του $KM = KB + BM$ στις δυο καταστάσεις φόρτωσης FLD και FLA. Με δεδομένα τα πραγματικά μεγέθη του πατρικού, από το Trim and Stability Booklet, εξάγονται οι διορθωτικοί συντελεστές λ_{KM_FLD} και λ_{KM_FLA} , ώστε να προσεγγιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα αντίστοιχα μεγέθη του υπό μελέτη πλοίου. Τα υδροστατικά μεγέθη (T, C_B, C_M και C_{WP}) για τις FLA καταστάσεις των δυο πλοίων, δεδομένων των αντίστοιχων μεγεθών των FLD καταστάσεων, προσεγγίστηκαν μέσω των σχέσεων:

$$T_{FLA} = T_{FLD} \cdot \left(\frac{\Delta_{FLA}}{\Delta_{FLD}}\right)^{C_{B_FLD}/C_{WP_FLD}} \quad C_{B_FLA} = C_{B_FLD} \cdot \left(\frac{T_{FLA}}{T_{FLD}}\right)^{(C_{WP_FLD}/C_{B_FLD})^{-1}}$$

$$C_{WP_FLA} = \frac{1+2 \cdot C_{B_FLA}}{3} \quad C_{M_FLA} = \frac{1}{1+(1-C_{B_FLA})^{3.5}}$$

Στους Πίνακες που ακολουθούν συγκεντρώνονται τα στοιχεία για τους υπολογισμούς που περιγράφηκαν προηγουμένως.

ΠΑΤΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ					
FULL LOAD DEPARTURE			FULL LOAD ARRIVAL		
Δ	89,143.06 t		Δ	89,136.01 t	
T	14.450 m	C _{WP} 0.9005	T	14.449 m	C _{WP} 0.9004
C _B	0.8508	C _M 0.9933	C _B	0.8508	C _M 0.9933
KB		KB		KB	
Normand I	KB ₁	7.838 m	Normand I	KB ₁	7.837 m
Schneekluth	KB ₂	7.470 m	Schneekluth	KB ₂	7.469 m
Normand II	KB ₃	7.491 m	Normand II	KB ₃	7.491 m
	KB	7.600 m		KB	7.599 m
BM		BM		BM	
Normand I	C ₁	0.8177	Normand I	C ₁	0.8177
Schneekluth	C ₂	0.8281	Schneekluth	C ₂	0.8281
Bauer	C ₃	0.8175	Bauer	C ₃	0.8175
Danckwardt	C ₄	0.8176	Danckwardt	C ₄	0.8176
	C _{AVG}	0.8202		C _{AVG}	0.8202
	BM	5.779 m		BM	5.780 m
KM		KM		KM	
KB _{θεωρητικό}	7.600 m	KB _{θεωρητικό}	7.599 m	KB _{θεωρητικό}	7.599 m
BM _{θεωρητικό}	5.779 m	BM _{θεωρητικό}	5.780 m	BM _{θεωρητικό}	5.780 m
KM _{θεωρητικό}	13.379 m	KM _{θεωρητικό}	13.379 m	KM _{θεωρητικό}	13.379 m
KM _{πραγματικό}	13.501 m	KM _{πραγματικό}	13.494 m	KM _{πραγματικό}	13.494 m
λ _{KM_FLD}	0.9909436	λ _{KM_FLA}	0.9914476	λ _{KM_FLA}	0.9914476

Πίνακας 95. Θεωρητική/Πραγματική Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου Πατρικού στις FLD/FLA και Συντελεστές Διόρθωσης

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"					
FULL LOAD DEPARTURE			FULL LOAD ARRIVAL		
Δ	95,672.59 t		Δ	93,077.64 t	
T	14.000 m	C _{WP} 0.8960	T	13.642 m	C _{WP} 0.8951
C _B	0.8440	C _M 0.9929	C _B	0.8427	C _M 0.9928
KB		KB		KB	
Normand I	KB ₁	7.596 m	Normand I	KB ₁	7.402 m
Schneekluth	KB ₂	7.248 m	Schneekluth	KB ₂	7.065 m
Normand II	KB ₃	7.271 m	Normand II	KB ₃	7.087 m
	KB	7.372 m		KB	7.190 m
BM		BM		BM	
Normand I	C ₁	0.8105	Normand I	C ₁	0.8091
Schneekluth	C ₂	0.8206	Schneekluth	C ₂	0.8192
Bauer	C ₃	0.8096	Bauer	C ₃	0.8081
Danckwardt	C ₄	0.8149	Danckwardt	C ₄	0.8134
	C _{AVG}	0.8139		C _{AVG}	0.8124
	BM	7.439 m		BM	7.633 m
KM		KM		KM	
KB _{θεωρητικό}	7.372 m	KB _{θεωρητικό}	7.185 m	KB _{θεωρητικό}	7.185 m
BM _{θεωρητικό}	7.439 m	BM _{θεωρητικό}	7.633 m	BM _{θεωρητικό}	7.633 m
KM _{θεωρητικό}	14.811 m	KM _{θεωρητικό}	14.818 m	KM _{θεωρητικό}	14.818 m
λ _{KM_FLD}	0.9909436	λ _{KM_FLA}	0.9914476	λ _{KM_FLA}	0.9914476
KM _{πραγματικό}	14.946 m	KM _{πραγματικό}	14.945 m	KM _{πραγματικό}	14.945 m

Πίνακας 96. Πραγματική Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου Υπό Σχεδίαση στις FLD/FLA

Συγκεντρώνοντας τους υπολογισμούς του παρόντος Παραρτήματος, υπολογίζεται η θέση του κέντρου βάρους του εκτοπίσματος του υπό σχεδίαση πλοίου καθώς και το μετακεντρικό ύψος για τις δυο καταστάσεις φόρτωσης που μελετώνται, λαμβάνοντας υπόψιν την ανύψωση του κέντρου βάρους λόγω της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών των δεξαμενών φορτίου.

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"						
FULL LOAD DEPARTURE						
Item	Weight (t)	KG (m)	M _T (t-m)	LCG (m)	M _L (t-m)	FSM (t-m)
L.S.	15,395.00	11.110	171,039.18	98.416	1,515,112.30	-
DWT	80,277.59	11.949	959,253.40	117.932	9,467,267.71	66,816.18
Δ	95,672.59	11.814	1,130,292.58	114.791	10,982,380.01	66,816.18
	GG ₀	0.698	KM _T	14.946	∈ (1.0 – 6.0 m)	
	KG ₀	12.512	G ₀ M	2.434		

Πίνακας 97. Υδροστατικά Χαρακτηριστικά Υπό Σχεδίαση Πλοίου στην Κατάσταση FLD

ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟ "M.V. JULIA"						
FULL LOAD ARRIVAL						
Item	Weight (t)	KG (m)	M _T (t-m)	LCG (m)	M _L (t-m)	FSM (t-m)
L.S.	15,395.00	11.110	171,039.18	98.416	1,515,112.30	-
DWT	77,682.64	11.833	919,202.92	120.828	9,386,253.06	66,816.18
Δ	93,077.64	11.713	1,090,242.10	117.121	10,901,365.36	66,816.18
	GG ₀	0.718	KM _T	14.945	∈ (1.0 – 6.0 m)	
	KG ₀	12.431	G ₀ M	2.514		

Πίνακας 98. Υδροστατικά Χαρακτηριστικά Υπό Σχεδίαση Πλοίου στην Κατάσταση FLA

Παράρτημα Β. Τιμές Καμπτικών Ροπών-Διατμητικών Δυνάμεων Καταστάσεως FLD και Αντίστοιχα Όρια CSR

Καμπτικές Ροπές-Διατμητικές Δυνάμεις Καταστάσεως FLD

Distance from Origin (m)	Frame Number	Still Water		Hogging		Sagging	
		Shearing Force (kN)	Bending Moment (kNm)	Shearing Force (kN)	Bending Moment (kNm)	Shearing Force (kN)	Bending Moment (kNm)
-4	#-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-3.2	#-4	167.0	85.7	295.5	147.8	-100.5	-51.6
-2.4	#-3	316.7	278.2	593.0	498.7	-235.5	-187.6
-1.6	#-2	444.4	585.4	893.0	1,096.9	-412.3	-449.4
-0.8	#-1	547.8	990.2	1,195.4	1,951.6	-629.3	-862.8
0	#0	631.8	1,457.3	1,499.6	2,979.5	-889.2	-1,470.7
0.8	#1	689.2	1,990.5	1,811.4	4,335.1	-1,191.8	-2,305.1
1.6	#2	723.9	2,555.4	2,125.2	5,905.0	-1,532.9	-3,379.4
2.4	#3	733.6	3,139.8	2,441.1	7,704.1	-1,914.2	-4,716.6
3.2	#4	1,008.9	3,843.5	3,058.3	9,916.7	-2,047.2	-6,295.2
4	#5	1,286.0	4,754.8	3,705.7	12,604.7	-2,192.4	-7,975.3
4.8	#6	1,562.4	5,896.0	4,368.8	15,837.1	-2,352.8	-9,777.9
5.6	#7	1,834.9	7,261.6	5,037.7	19,612.3	-2,531.0	-11,716.0
6.4	#8	2,100.2	8,832.3	5,708.4	23,896.4	-2,727.7	-13,792.4
7.2	#9	2,353.0	10,615.3	6,377.7	28,725.6	-2,947.8	-16,033.7
8	#10	2,586.9	12,594.9	7,038.9	34,085.4	-3,196.7	-18,458.1
8.8	#11	2,797.6	14,749.8	7,686.8	39,959.6	-3,477.5	-21,084.7
9.6	#12	2,984.4	17,062.3	8,321.0	46,332.0	-3,790.3	-23,938.3
10.4	#13	2,922.6	19,430.1	8,716.4	53,120.3	-4,358.9	-27,138.9
11.2	#14	2,803.2	21,721.4	9,063.5	60,206.4	-4,990.8	-30,830.3
12	#15	2,648.4	23,905.6	9,382.8	67,537.7	-5,662.9	-35,016.8
12.8	#16	2,461.5	25,955.5	9,677.8	75,101.8	-6,371.5	-39,739.0
13.6	#17	2,223.1	27,839.2	9,928.6	82,872.7	-7,135.4	-45,032.5
14.4	#18	1,926.6	29,500.1	10,128.8	90,818.8	-7,960.7	-50,977.8
15.2	#19	1,574.8	30,912.7	10,280.2	98,886.9	-8,843.5	-57,567.6
16	#20	1,074.2	31,979.2	10,288.9	107,007.7	-9,875.9	-64,926.1
16.8	#21	492.4	32,613.0	10,221.2	115,089.6	-10,989.5	-73,131.2
17.6	#22	-139.4	32,761.6	10,108.0	123,083.0	-12,152.6	-82,234.7
18.4	#23	-901.3	32,312.5	9,868.9	130,904.4	-13,444.7	-92,375.4
19.2	#24	-1,728.7	31,275.9	9,567.7	138,509.7	-14,800.5	-103,483.2
20	#25	-2,676.7	29,571.8	9,148.9	145,830.8	-16,274.9	-115,647.3
20.8	#26	-3,713.8	27,024.7	8,643.9	152,736.5	-17,834.7	-129,083.8
21.6	#27	-4,386.1	23,766.1	8,505.5	159,356.1	-19,024.6	-143,653.5
22.4	#28	-5,083.4	20,011.2	8,342.5	165,846.0	-20,234.8	-159,079.4

Distance from Origin (m)	Frame Number	Still Water		Hogging		Sagging	
		Shearing Force	Bending Moment	Shearing Force	Bending Moment	Shearing Force	Bending Moment
		(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
23.2	#29	-5,801.7	15,665.0	8,158.7	172,168.8	-21,459.7	-175,508.5
24	#30	-6,570.7	10,724.0	7,923.7	178,301.1	-22,729.0	-192,920.9
24.8	#31	-7,373.5	5,150.5	7,654.2	184,206.3	-24,024.9	-211,350.5
25.6	#32	-8,210.3	-1,068.9	7,349.2	189,861.1	-25,347.5	-230,797.1
26.4	#33	-9,088.3	-7,978.2	7,001.3	195,227.7	-26,703.1	-251,305.9
27.2	#34	-10,005.5	-15,605.5	6,611.3	200,273.2	-28,088.4	-272,895.6
28	#35	-10,973.2	-23,987.5	6,166.7	204,956.8	-29,514.0	-295,594.8
28.8	#36	-11,969.2	-33,152.8	5,689.1	209,245.4	-30,957.2	-319,423.0
29.6	#37	-13,010.8	-43,133.2	5,160.6	213,103.2	-32,434.9	-344,404.0
30.4	#38	-14,098.2	-53,967.8	4,580.8	216,487.1	-33,946.7	-370,568.3
31.2	#39	-15,233.7	-65,755.6	3,946.2	219,317.4	-35,493.8	-398,026.1
32	#40	-16,407.1	-78,323.4	3,268.3	221,679.3	-37,068.2	-426,525.2
32.8	#41	-17,543.1	-91,944.5	2,619.4	223,400.7	-38,590.8	-456,418.0
33.6	#42	-18,715.7	-106,377.9	1,926.3	224,622.1	-40,138.4	-487,376.5
34.4	#43	-19,940.5	-122,068.3	1,168.7	225,038.4	-41,720.4	-519,952.5
35.2	#44	-21,185.0	-138,252.7	386.6	225,132.2	-43,314.9	-553,157.5
36	#45	-20,589.8	-154,949.2	1,431.5	225,128.9	-43,051.8	-587,195.9
36.8	#46	-19,993.1	-171,169.7	2,467.6	225,923.2	-42,772.3	-621,001.1
37.6	#47	-19,406.3	-186,797.8	3,480.0	227,700.3	-42,483.7	-654,501.5
38.4	#48	-18,817.6	-202,074.1	4,485.5	230,052.9	-42,184.8	-687,853.7
39.2	#49	-18,227.0	-216,995.2	5,484.3	232,986.0	-41,866.2	-720,922.6
40	#50	-18,129.7	-231,522.2	5,973.9	236,670.7	-42,024.4	-753,887.9
40.8	#51	-18,034.5	-245,962.3	6,446.1	240,748.5	-42,167.0	-786,970.1
44.62	#52	-17,579.5	-313,903.7	8,515.3	264,499.7	-42,639.4	-945,953.8
48.44	#53	-17,069.8	-380,034.1	10,315.9	294,773.2	-42,706.8	-1,105,645.7
52.26	#54	-16,482.8	-444,039.5	11,848.0	330,710.6	-42,346.2	-1,264,459.3
56.08	#55	-15,774.4	-505,585.5	13,163.4	371,279.7	-41,541.2	-1,420,778.5
59.9	#56	-14,966.8	-564,209.5	14,227.0	415,666.6	-40,319.1	-1,572,943.0
63.72	#57	-14,154.6	-619,662.7	14,940.4	462,762.0	-38,794.7	-1,719,518.5
67.54	#58	-13,364.8	-672,078.5	15,282.6	511,099.6	-37,012.2	-1,859,586.4
71.36	#59	-12,558.5	-721,454.7	15,292.2	559,348.9	-34,955.0	-1,992,125.5
75.18	#60	-11,708.8	-767,689.0	15,005.5	606,320.1	-32,618.1	-2,116,125.4
79	#61	-10,805.8	-800,323.7	14,372.9	650,305.5	-30,044.1	-2,230,402.7
82.82	#62	-9,902.8	-832,958.5	13,465.5	690,893.3	-27,224.0	-2,331,509.5
86.64	#63	-8,999.8	-865,593.3	12,297.4	726,598.8	-24,288.3	-2,424,837.9
90.46	#64	-8,096.7	-898,228.1	10,921.2	757,656.9	-21,195.5	-2,506,817.4
94.28	#65	-7,193.7	-930,862.8	9,301.1	781,637.2	-17,966.8	-2,576,553.5
98.1	#66	-6,290.7	-963,497.6	7,498.8	797,450.7	-14,618.3	-2,631,800.7
101.92	#67	-5,387.7	-996,132.4	5,601.0	808,316.7	-11,202.5	-2,675,117.1
105.74	#68	-4,408.1	-1,003,940.2	3,575.4	808,883.2	-7,733.5	-2,702,913.2
109.56	#69	-3,428.5	-1,010,948.0	1,509.2	799,419.3	-4,247.3	-2,719,968.4
113.38	#70	-2,448.9	-1,018,355.9	-541.2	782,950.5	-763.5	-2,721,978.2
117.2	#71	-1,469.2	-1,025,763.7	-2,552.2	758,977.1	2,683.1	-2,710,051.7
121.02	#72	-489.6	-1,033,171.5	-4,479.8	726,783.6	6,065.0	-2,684,678.1
124.84	#73	490.0	-1,040,579.3	-6,235.4	685,444.7	9,357.8	-2,646,289.2
128.66	#74	1,469.6	-1,047,987.2	-7,877.4	639,592.6	12,565.1	-2,597,709.3
132.48	#75	2,525.8	-1,028,119.9	-9,246.4	585,821.2	15,590.6	-2,532,904.4
136.3	#76	3,582.1	-1,008,252.6	-10,353.3	526,753.0	18,503.7	-2,459,875.2
140.12	#77	4,638.3	-988,385.4	-11,178.1	463,971.3	21,154.0	-2,371,543.2
143.94	#78	5,694.6	-968,518.1	-11,777.5	398,860.8	23,645.5	-2,276,176.6
147.76	#79	6,750.8	-948,650.8	-11,994.0	331,335.5	25,849.2	-2,168,605.3
151.58	#80	7,807.1	-928,783.5	-11,858.7	263,810.7	27,984.9	-2,058,825.4
155.4	#81	8,863.3	-908,916.2	-11,541.0	196,295.6	29,771.8	-1,937,722.7
159.22	#82	9,972.1	-869,968.5	-10,627.0	132,646.0	31,079.4	-1,805,888.8
163.04	#83	11,081.0	-831,020.8	-9,651.1	69,709.7	32,387.0	-1,674,054.9

Distance from Origin (m)	Frame Number	Still Water		Hogging		Sagging	
		Shearing Force	Bending Moment	Shearing Force	Bending Moment	Shearing Force	Bending Moment
		(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
166.86	#84	12,193.9	-787,270.0	-8,210.4	12,808.2	33,354.7	-1,536,857.8
170.68	#85	13,296.6	-738,212.9	-6,455.1	-37,961.2	33,920.0	-1,395,111.8
174.5	#86	14,420.8	-684,955.8	-4,370.1	-81,497.3	34,192.7	-1,251,338.4
178.32	#87	15,471.7	-627,424.9	-2,058.2	-116,390.7	34,071.3	-1,106,786.4
182.14	#88	16,455.9	-566,096.6	449.4	-141,906.6	33,584.6	-963,179.1
185.96	#89	17,358.4	-501,033.4	3,093.7	-156,901.5	32,756.7	-821,869.7
189.78	#90	17,979.4	-433,102.1	5,625.0	-161,350.8	31,436.0	-684,754.8
193.6	#91	18,436.9	-363,163.4	8,101.4	-155,498.7	29,804.3	-553,488.1
197.42	#92	18,773.1	-291,663.6	10,508.0	-139,281.1	27,965.8	-429,196.4
201.24	#93	18,701.4	-219,632.8	12,495.8	-113,579.9	25,708.7	-313,205.4
205.06	#94	18,310.0	-148,560.8	14,081.7	-79,849.2	23,204.1	-207,089.2
208.88	#95	17,835.6	-79,266.8	15,423.4	-39,045.1	20,790.8	-111,573.1
209.68	#96	15,886.4	-65,947.3	13,822.0	-30,547.1	18,470.4	-93,894.0
210.48	#97	14,001.7	-53,862.7	12,273.0	-22,971.8	16,226.1	-77,742.0
211.28	#98	12,200.5	-43,261.7	10,794.1	-16,546.0	14,080.5	-63,431.1
212.08	#99	10,493.6	-34,140.7	9,389.9	-11,210.6	12,046.5	-50,968.5
212.88	#100	8,881.7	-26,344.7	8,061.3	-6,853.7	10,125.8	-40,172.7
213.68	#101	7,376.9	-19,844.9	6,816.5	-3,440.8	8,333.7	-31,021.8
214.48	#102	6,005.7	-14,682.7	5,674.4	-981.5	6,703.3	-23,591.1
215.28	#103	4,723.6	-10,273.0	4,587.1	1,034.6	5,153.3	-16,927.4
216.08	#104	3,557.7	-6,783.4	3,611.8	2,247.2	3,801.2	-11,897.9
222.2	--	170.8	-83.2	173.6	201.9	166.1	-223.6
Maximum BM							
		@128.66	-1,047,987.2	@105.82	808,894.7	@113.51	-2,722,044.8
Maximum SF							
		@35.20	-21,185.0	@208.88	15,423.4	@35.20	-43,314.9

Πίνακας 99. Τιμές Καμπτικής Ροπής και Διατμητικής Δύναμης της Κατάστασης FLD σε Ήρεμο Νερό και Κυματισμούς

Όρια CSR για Καμπτικές Ροπές-Διατμητικές Δυνάμεις καθαρά λόγω Κυματισμών

Τα όρια που προδιαγράφουν οι κανονισμοί αφορούν τη ροπή και την δύναμη καθαρά λόγω κυματισμού σε κατάσταση *Hogging* και *Sagging* [Pt1/Ch4/Sec4/"Dynamic Hull Girder Loads"] ανάλογα με τον τύπο του πλοίου (Common Structural Rules – CSR για Oil Tankers). Αρχικά οι κανονισμοί ορίζουν τα παρακάτω μεγέθη, για τους διάφορους υπολογισμούς:

Μεγέθη Κανονισμών:

- Βύθισμα Αντοχής (Scantling Draft):** Είναι το μέγιστο βύθισμα, στο οποίο εμφανίζονται οι μέγιστες καταπονήσεις. Ως βύθισμα αντοχής λαμβάνεται το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα που προκύπτει από τον κανονισμό της Γραμμής Φόρτωσης (ILLC). Κατά συνέπεια:

$$T_{scant} = 14.00 \text{ m}$$

- Μήκος Κανονισμού (Rule Length):** Σύμφωνα με τον κανονισμό [Pt1/Ch1/Sec4/p.47], είναι το μήκος της ισάλου στο βύθισμα αντοχής, μετρούμενο από την πρωραία κάθετο μέχρι τον άξονα του πηδαλιού σε εκείνη την ίσαλο. Το μήκος αυτό δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 97% του συνολικού μήκους ισάλου για το εν λόγω βύθισμα, ούτε να είναι μικρότερο από το 96% αυτού.

$$\text{Από την σχεδίαση προκύπτει: } L = 219.00 \text{ m} \Rightarrow \begin{cases} 0.97 \cdot L_{WL} = 0.97 \cdot 223.00 = 216.31 \text{ m} \\ 0.96 \cdot L_{WL} = 0.96 \cdot 223.00 = 214.08 \text{ m} \end{cases}$$

Οπότε εκλέγεται:

$$L_R = 216.00 \text{ m}$$

• **Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Καμπτικών Ροπών λόγω Κυματισμών (CSR)**

Τα όρια που θέτουν οι κανονισμοί CSR για τις υπολογιζόμενες διαμήκεις κατανομές των καμπτικών ροπών που οφείλονται μόνο σε κυματισμούς (*hogging* και *sagging*) υπολογίζονται σύμφωνα παρακάτω:

Vertical Wave Bending Moment

– **Κατάσταση Hogging:**

$$M_{wv-h} = 0.19 \cdot f_{nl-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L_R^2 \cdot B \cdot C_B$$

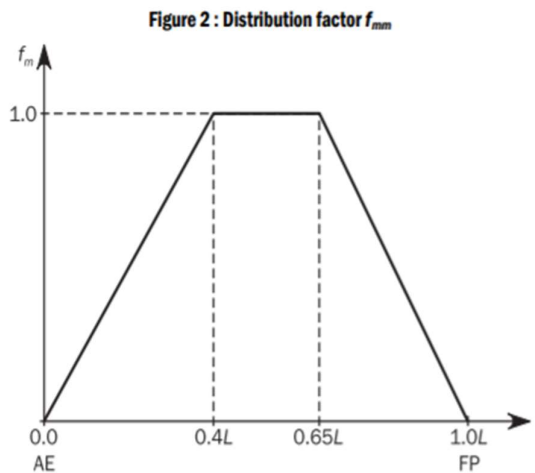
όπου:

- $C_W = 10.75 - \left(\frac{300-L_R}{100}\right)^{1.5}$, για πλοία με $90 < L_R < 300$
- $f_{nl-vh} = 1$
- $f_p = f_{ps} = 1$, extreme sea design load scenario
- C_B : ο συντελεστής γάστρας στο βύθισμα αντοχής
- B : το μέγιστο πλάτος του πλοίου στο βύθισμα αντοχής
- L_R : το μήκος κανόνα
- f_m : συντελεστής κατανομής κατά το διάμηκες, ο οποίος ισούται με:

$$f_m = 0.0 \text{ for } x \leq 0$$

$$f_m = 1.0 \text{ for } 0.4 L_R \leq x \leq 0.65 L_R$$

$$f_m = 0.0 \text{ for } x \geq L_R$$



Εικόνα 27. Συντελεστής Κατανομής Ορίων Καμπτικών Ροπών λόγω Κυματισμών (CSR)

– **Κατάσταση Sagging:**

$$M_{wv-s} = -0.19 \cdot f_{nl-vs} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L_R^2 \cdot B \cdot C_B$$

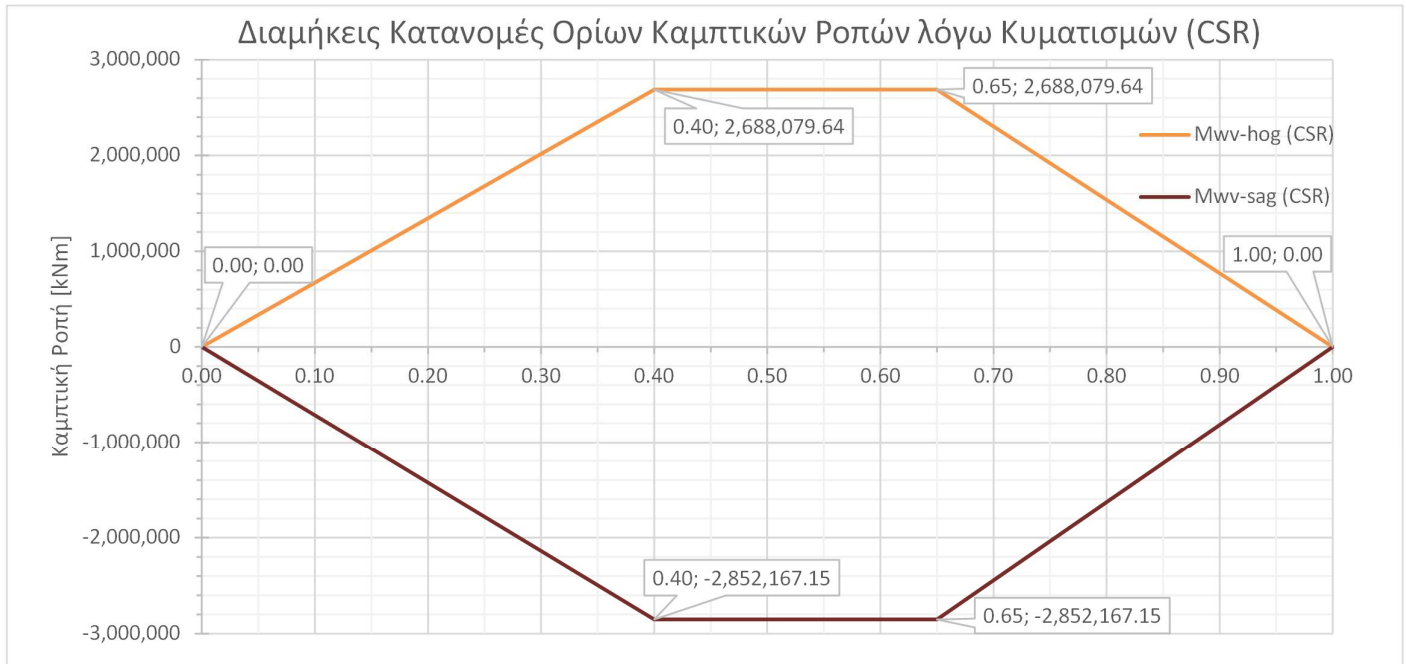
όπου:

- $f_{nl-vs} = 0.58 * \left(\frac{CB+0.7}{CB}\right)$,
- $f_p = f_{ps} = 1$, extreme sea design load scenario
- C_W, C_B, B, L_R, f_m : όπως προηγουμένως

Δεδομένων όσων προαναφέρθηκαν, υπολογίζονται τα όρια των διαμήκων κατανομών των καμπτικών ροπών λόγω κυματισμών βάσει CSR, στις καταστάσεις *Hogging* και *Sagging*:

VERTICAL WAVE BENDING MOMENTS		
x/L_R	Mwv-h (kNm)	Mwv-s (kNm)
0.00	0.00	0.00
0.40	2,688,079.64	-2,852,167.15
0.65	2,688,079.64	-2,852,167.15
1.00	0.00	0.00

Πίνακας 100. Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Καμπτικών Ροπών λόγω Κυματισμών (CSR)



Διάγραμμα 20. Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Καμπτικών Ροπών λόγω Κυματισμών (CSR)

• **Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Διατμητικών Δυνάμεων λόγω Κυματισμών (CSR)**

Αντίστοιχα υπολογίζονται τα όρια που θέτουν οι Κανονισμοί CSR για τις υπολογιζόμενες διαμήκεις κατανομές των διατμητικών δυνάμεων που οφείλονται καθαρά μόνο σε κυματισμούς.

Vertical Wave Shear Force

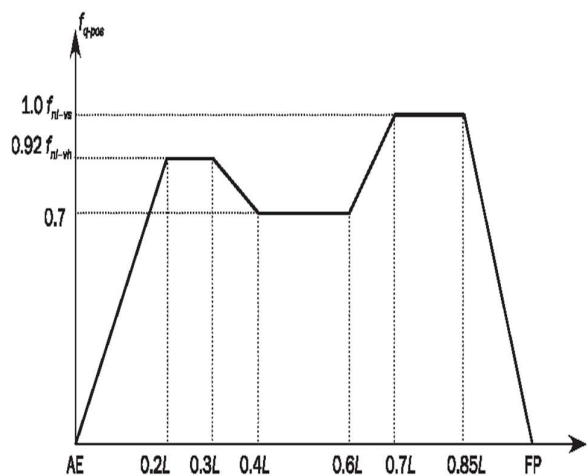
– **Μέγιστη Θετική Διατμητική Δύναμη:**

$$Q_{wv-pos} = 0.52 \cdot f_{q-pos} \cdot f_p \cdot C_W \cdot L_R \cdot B \cdot C_B$$

όπου:

- $C_W, C_B, B, L_R, f_p, f_{nl-vh}, f_{nl-v}$: όπως προηγουμένως
- f_{q-pos} : συντελεστής κατανομής κατά το διάμηκες, ίσος με:

$f_{q-pos} = 0.0$	for $x \leq 0$
$f_{q-pos} = 0.92 f_{nl-vh}$	for $0.2 L_R \leq x \leq 0.3 L_R$
$f_{q-pos} = 0.7$	for $0.4 L_R \leq x \leq 0.6 L_R$
$f_{q-pos} = 1.0 f_{nl-vs}$	for $0.7 L_R \leq x \leq 0.85 L_R$
$f_{q-pos} = 0.0$	for $x \geq L_R$



Εικόνα 28. Συντελεστής Κατανομής Ορίων Θετικής Διατμητικής Δύναμης λόγω Κυματισμών

– **Μέγιστη Αρνητική Διατμητική Δύναμη:**

$$Q_{wv-neg} = -0.52 \cdot f_{q-neg} \cdot f_p \cdot C_W \cdot L_R \cdot B \cdot C_B$$

όπου:

- $C_W, C_B, B, L_R, f_p, f_{nl-vh}, f_{nl-v}$: όπως προηγουμένως
- f_{q-ne} : συντελεστής κατανομής κατά το διάμηκες, ίσος με:

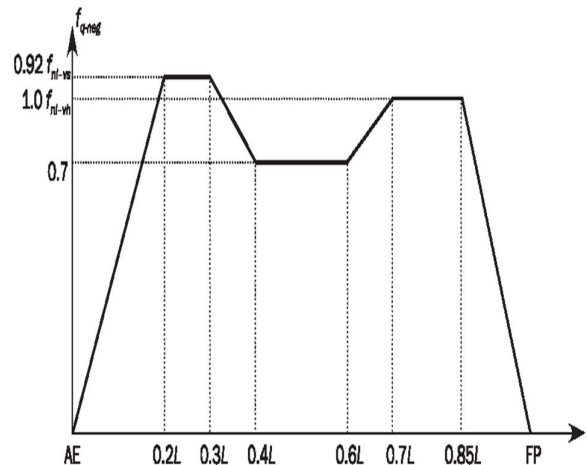
$$f_{q-neg} = 0.0 \quad \text{for } x \leq 0$$

$$f_{q-neg} = 0.92 f_{nl-vs} \quad \text{for } 0.2 L_R \leq x \leq 0.3 L_R$$

$$f_{q-n} = 0.7 \quad \text{for } 0.4 L_R \leq x \leq 0.6 L_R$$

$$f_{q-neg} = 1.0 f_{nl-vh} \quad \text{for } 0.7 L_R \leq x \leq 0.85 L_R$$

$$f_{q-neg} = 0.0 \quad \text{for } x \geq L_R$$

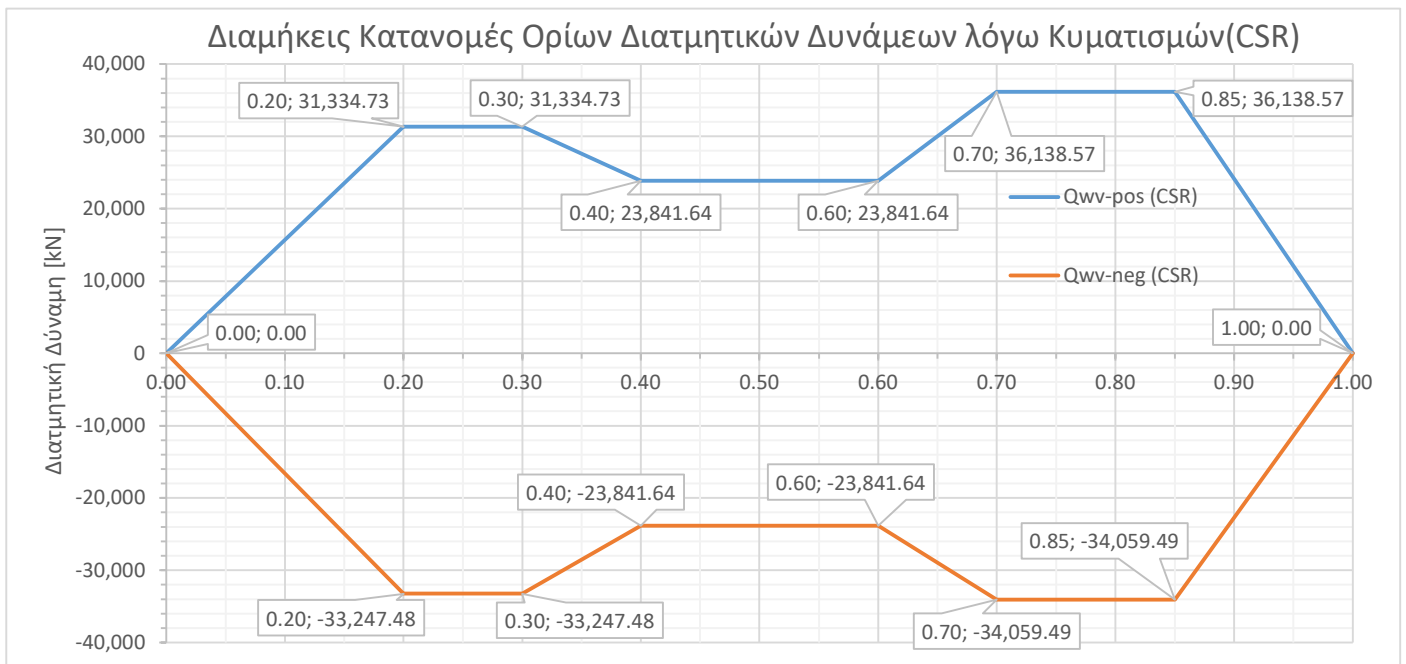


Εικόνα 31. Συντελεστής Κατανομής Ορίων Αρνητικής Διατμητικής Δυνάμεως λόγω Κυματισμών

Δεδομένων όσων αναφέρθηκαν, υπολογίζονται τα κάτωθι όρια:

VERTICAL WAVE SHEAR FORCES					
x/L_R	Q _{wv-pos} (kN)	Q _{wv-neg} (kN)	x/L_R	Q _{wv-pos} (kN)	Q _{wv-neg} (kN)
0.00	0.00	0.00	0.60	23,841.64	-23,841.64
0.20	31,334.73	-33,247.48	0.70	36,138.57	-34,059.49
0.30	31,334.73	-33,247.48	0.85	36,138.57	-34,059.49
0.40	23,841.64	-23,841.64	1.00	0.00	0.00

Πίνακας 101. Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Διατμητικών Δυνάμεων λόγω Κυματισμών (CSR)



Διάγραμμα 21. Διαμήκεις Κατανομές Ορίων Διατμητικών Δυνάμεων λόγω Κυματισμών (CSR)