

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Πετρελαίου,
Μεταφορικής Ικανότητας 108,000t DWT»***

ΚΑΦΑΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΣΕΛΙΔΑ ΠΑΡΕΜΕΙΝΕ ΣΚΟΠΙΜΩΣ ΚΕΝΗ

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω των επιβλέποντά μου κ. Ζαραφωνίτη Γεώργιο, για την ανεύρεση και ανάθεση του θέματος της εργασίας, καθώς και για την συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Παπατζανάκη Γεώργιο για τη βοήθεια που μου προσέφερε όλους αυτούς τους μήνες. 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, την σύντροφό μου για την στήριξη, την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου προσέφεραν, ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου, και στους αγαπημένους μου φίλους.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη και σχεδίαση ενός δεξαμενόπλοιου. Ξεκινά με την εισαγωγή στα δεξαμενόπλοια, καλύπτοντας τη σημασία και το ρόλο τους στη διεθνή ναυτιλία, καθώς και τους σχετικούς διεθνείς οργανισμούς και ενώσεις όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), η Διεθνής Ένωση Νηογνομόνων (IACS), η Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιων (INTERTANKO) και η Διεθνής Σύμβαση MARPOL.

Στη συνέχεια, η εργασία προχωρά στην προκαταρκτική μελέτη σχεδίασης, περιλαμβάνοντας την επιλογή των κύριων διαστάσεων, τη μοντελοποίηση της γάστρας και το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών. Ακολουθούν οι υπολογισμοί υδροστατικής ευστάθειας και οι καταστάσεις φόρτωσης, εξετάζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου, την εσωτερική διαμερισματοποίηση της γάστρας, το πλάνο των δεξαμενών και το σχέδιο χωρητικότητας και γενικής διάταξης.

Η εργασία επίσης περιλαμβάνει τη μελέτη αντοχής της μέσης τομής με τη χρήση των Κοινών Κατασκευαστικών Κανόνων (CSR), καλύπτοντας τη διαμήκη αντοχή και τις απαιτήσεις τοπικής αντοχής. Αναλύονται επίσης οι κατανομές των τεμνουσών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών, εξετάζοντας την κατανομή άντωσης και τον έλεγχο διαμήκους αντοχής κατά IACS.

Τέλος, η εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη της απόδοσης ακούσιας εκροής πετρελαίου και καυσίμου πετρελαίου κατά MARPOL, με αναλυτικούς υπολογισμούς των παραμέτρων εκροής σε περίπτωση βλάβης. Η βιβλιογραφία παρουσιάζει όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, εξασφαλίζοντας την επιστημονική τεκμηρίωση και την αξιοπιστία της μελέτης.

Συνολικά, η εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση και τεκμηρίωση για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την περιβαλλοντική απόδοση ενός δεξαμενόπλοιου, καλύπτοντας όλες τις απαραίτητες τεχνικές και κανονιστικές απαιτήσεις.

Περιεχόμενα

1	Γενικά.....	6
1.1	Σκοπός Εργασίας.....	6
1.2	Δομή Εργασίας.....	7
2	Δεξαμενόπλοια και ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος.....	8
2.1	Διεθνείς Οργανισμοί, Ενώσεις και Συμβάσεις.....	11
2.1.1	Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO).....	11
2.1.2	Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (IACS).....	12
2.1.3	Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξ/πλοίων (INTERTANKO).....	13
2.1.4	Η Διεθνής Σύμβαση "MARPOL".....	13
2.1.5	Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιοι για Θέματα Ρύπανσης (ITOPF)....	15
3	Προκαταρκτική Μελέτη Σχεδίασης.....	16
3.1	Επιλογή κυρίων διαστάσεων και αποτελέσματα προμελέτης.....	18
3.2	Μοντελοποίηση Γάστρας.....	20
3.3	Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών.....	22
3.4	Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης.....	23
4	Υπολογισμοί Υδροστατικής Ευστάθειας και Καταστάσεις Φόρτωσης.....	25
4.1	Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.....	25
4.2	Εσωτερική διαμερισματοποίηση γάστρας & στοιχεία δεξαμενών.....	26
4.3	Πλάνο Δεξαμενών (Tankplan).....	30
4.4	Καταμέτρηση.....	32
4.5	Σχέδιο Χωρητικότητας και γενικής διάταξης.....	35
4.6	Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθιστης Γάστρας.....	36
4.7	Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας.....	37
4.8	Διάγραμμα Κατακλύσιμων Μηκών.....	38
4.9	Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale).....	38
4.10	Bonjean Curves – Sectional Area Curves (SACs).....	40
4.11	Καταστάσεις Φόρτωσης.....	42
4.11.1	Κατάσταση Full Load Departure (FLD-Payload s.g.=0.868 t/m ³).....	42
5	Υπολογισμός αντίστασης, επιλογή κύριας μηχανής, σχεδίαση και επιλογή έλικας.....	49
5.1	Υπολογισμός αντίστασης.....	49
5.1.1	Μέθοδος B.S.R.A.....	49
5.1.2	Μέθοδος LAP - KELLER.....	54
5.1.3	Μέθοδος FORMDATA.....	56
5.1.4	Αντίσταση πρόωσης R _T και ισχύς ρυμούλκησης E.H.P.....	61
5.2	Επιλογή έλικας.....	62
5.3	Επιλογή κύριας μηχανής.....	66
5.4	Σχεδίαση έλικας και αξονικού.....	71
6	Μελέτη Αντοχής Μέσης Τομής με χρήση των CSR.....	77

6.1	Διαστασιολόγηση Μέσης Τομής με χρήση των Κοινών Κατασκευαστικών Κανόνων CSR...	77
6.1.1	Βασικά Σημεία για την Εφαρμογή των Κανονισμών.....	79
6.1.2	Μοντελοποίηση Μέσης Τομής	80
6.2	Διαμήκης Αντοχή Μέσης Τομής (Hull Girder Strength)	85
6.2.1	Υπολογισμός Φορτίσεων της Γάστρας (Hull Girder Loads).....	85
6.2.2	Κριτήρια Διαμήκους Αντοχής	87
6.3	Απαιτήσεις τοπικής αντοχής	90
6.3.1	Κριτήρια Διαστασιολόγησης Ελασμάτων	90
6.3.2	Κριτήρια Διαστασιολόγησης Ενισχυτικών	97
6.3.3	Κριτήρια διαστασιολόγησης PSM.....	100
6.4	Σχέδιο Μέσης τομής υπό μελέτης δεξαμενοπλοίου	103
7	Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών	104
	Χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου	104
7.1	Κατανομή Άντωσης.....	105
7.2	Έλεγχος διαμήκους αντοχής κατά IACS	107
7.2.1	Διάγραμμα Καμπτικής ροπής Λόγω κυματισμών	108
7.2.2	Διάγραμμα Διατμητικών δυνάμεων λόγω κυματισμών	109
8	Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 23, Παράρτημα Ι) 110	
8.1	Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Πετρελαίου O_M	110
8.1.1	Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{MS}	112
8.1.2	Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}	115
8.2	Αποτελέσματα Υπολογισμού Παραμέτρου Μέσης Εκροής Πετρελαίου O_M	120
9	Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου κατά MARPOL (Κανονισμός 12Α, Παράρτημα Ι).....	121
9.1	Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου O_M	121
9.1.1	Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{MS}	122
9.2	Αποτελέσματα Υπολογισμού Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου O_M	124
10	Συμπεράσματα.....	125
11	Βιβλιογραφία	126

1 Γενικά

Πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου, ή αλλιώς δεξαμενόπλοια, ονομάζονται τα πλοία εκείνα τα οποία διαθέτουν κύτη 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 διύλισης 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 Ι της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL του IMO.

1.1 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 108,000 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.

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 διατμητικών δυνάμεων που οφείλονται καθαρά σε κυματισμούς.

1.2 Δομή Εργασίας

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε δέκα κεφάλαια, καθένα από τα οποία εμβαθύνει σε διαφορετικές πτυχές της μελέτης και σχεδίασης ενός. Το πρώτο κεφάλαιο "Γενικά" παρέχει μια εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας. Αναλύει τη σπουδαιότητα της μελέτης των δεξαμενόπλοιων και περιγράφει τον σκοπό της. Στο δεύτερο κεφάλαιο "Δεξαμενόπλοια και ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος" παρουσιάζεται μια λεπτομερής της θέσης των δεξαμενόπλοιων, στον παγκόσμιο εμπορικό στόλο σήμερα. Το τρίτο κεφάλαιο "Προκαταρκτική Μελέτη Σχεδίασης" επικεντρώνεται στην επιλογή των κύριων διαστάσεων του πλοίου και στα αποτελέσματα της προμελέτης. Συγκεκριμένα, καλύπτει τη μοντελοποίηση της γάστρας και το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών, παρέχοντας τις απαραίτητες τεχνικές λεπτομέρειες για την κατασκευή του πλοίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο "Υπολογισμοί Υδροστατικής Ευστάθειας και Καταστάσεις Φόρτωσης" εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου, η εσωτερική διαμερισματοποίηση της γάστρας και τα στοιχεία των δεξαμενών. Περιλαμβάνει επίσης την ανάλυση του πλάνου δεξαμενών, το σχέδιο χωρητικότητας και γενικής διάταξης, τα υδροστατικά διαγράμματα, τις παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας και τις καταστάσεις φόρτωσης. Το πέμπτο κεφάλαιο "Υπολογισμός αντίστασης, επιλογή κύριας μηχανής, σχεδίαση και επιλογή έλικας" εξετάζει τα κύρια θέματα που σχετίζονται με την αντίσταση του πλοίου στο νερό και την επιλογή της κατάλληλης κύριας μηχανής και έλικας.

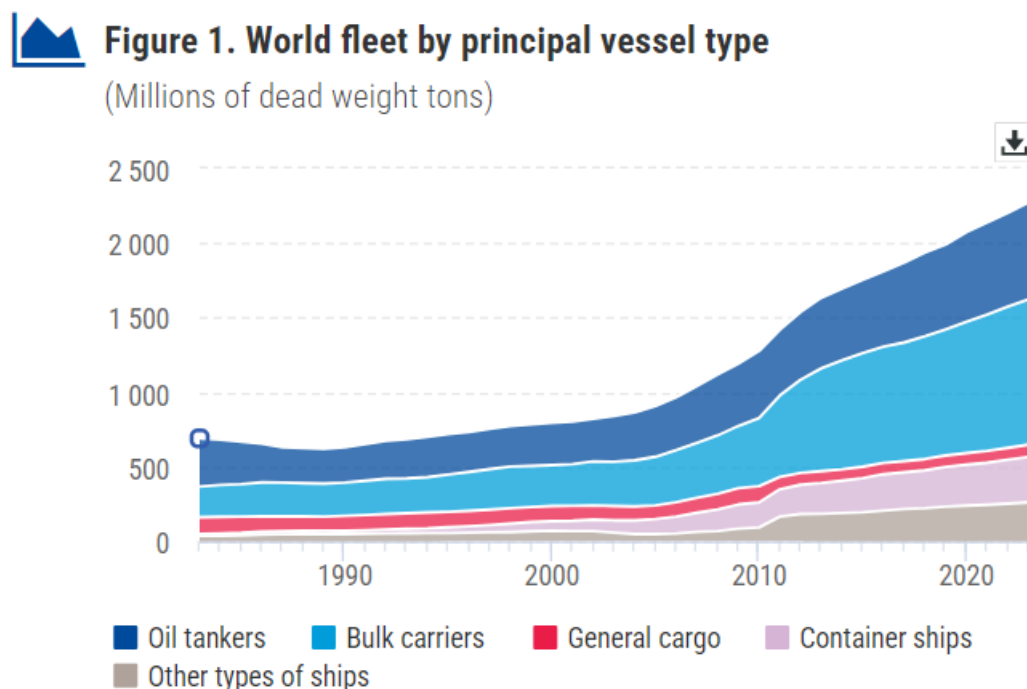
Το έκτο κεφάλαιο "Μελέτη Αντοχής Μέσης Τομής με χρήση των CSR" ασχολείται με τη διαστασιολόγηση της μέσης τομής του πλοίου σύμφωνα με τους Κοινούς Κατασκευαστικούς Κανόνες (CSR). Περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση της μέσης τομής, τον υπολογισμό των φορτίων της γάστρας, τα κριτήρια διαμήκους αντοχής και τις απαιτήσεις τοπικής αντοχής. Στο έβδομο κεφάλαιο, "Κατανομή Τεμνουσών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών" εξετάζεται η κατανομή της άντωσης και οι διανομές των καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων λόγω κυματισμών. Περιλαμβάνει τον έλεγχο της διαμήκους αντοχής κατά τα κριτήρια της IACS.

Το όγδοο και το ένατο κεφάλαιο, "Μελέτη Απόδοσης Ακούσιας Εκροής Πετρελαίου και Καυσίμου Πετρελαίου κατά MARPOL" περιλαμβάνει τον υπολογισμό της μέσης εκροής πετρελαίου και καυσίμου σε περίπτωση πλευρικής και πυθμενικής βλάβης, σύμφωνα με τους κανονισμούς της MARPOL. Τέλος, το δέκατο κεφάλαιο, "Συμπεράσματα" παρέχει μια συνοπτική ανασκόπηση των αποτελεσμάτων της μελέτης, καταλήγοντας στα τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες και βελτιώσεις.

2 Δεξαμενόπλοια και ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος

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 2,3 δισ. dwt, η χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου.



Διάγραμμα 1. Σύνοψη Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου ανά κατηγορία πλοίου βάσει της μεταφορικής του ικανότητας (DWT*10³)


(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))

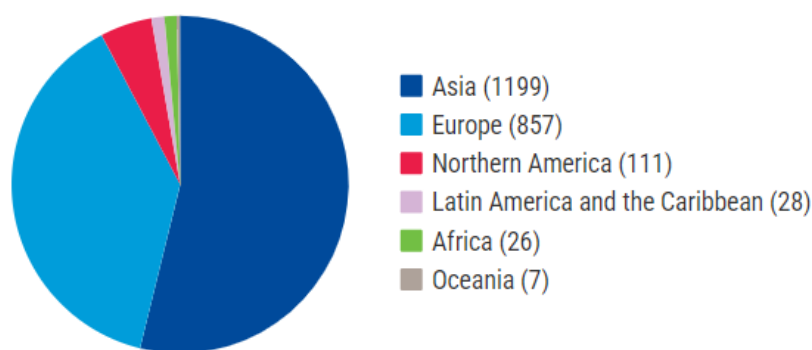
Τον Ιανουάριο του 2023, ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος αποτελούνταν από 105.500 πλοία τουλάχιστον 100 μικτών τόνων (gt), εκ των οποίων τα 56.500 πλοία ήταν άνω των 1.000 gt. Από τα πλοία που ναυπηγήθηκαν το 2022, σε όρους ολικής χωρητικότητας, το 93% ολοκληρώθηκε στην Κίνα, τη Δημοκρατία της Κορέας ή την Ιαπωνία. Η ανακύκλωση πλοίων έγινε κυρίως στην Ινδία, το Μπαγκλαντές ή το Πακιστάν. Αυτές οι οικονομίες αντιπροσώπευαν από κοινού το 86 τοις εκατό των πλοίων που ανακυκλώθηκαν (σε βάση gt).

Ο παγκόσμιος στόλος έφτασε σε μεταφορική ικανότητα 2,3 δισεκατομμυρίων τόνων νεκρού βάρους (dwt) τον Ιανουάριο του 2023, 70 εκατομμύρια dwt περισσότερο από ένα χρόνο πριν.

Τα πετρελαιοφόρα, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αντιπροσώπευαν το 85% της συνολικής χωρητικότητας. Η χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου έχει επεκταθεί με ποικίλους ρυθμούς με την πάροδο του χρόνου. Η ανάπτυξη σε dwt ήταν κατά μέσο όρο σταθερό ετήσιο 7,1 τοις εκατό μεταξύ 2005 και 2010. Αντικατοπτρίζοντας την ενοποίηση της ναυπηγικής ικανότητας και τη συρρίκνωση της αγοράς χρηματοδότησης πλοίων, η μέση ετήσια ανάπτυξη έχει επιβραδυνθεί στο 4,1 τοις εκατό ετησίως από το 2010. (UNCTAD, 2023b).

Επιπλέον, ο παγκόσμιος στόλος πετρελαιοφόρων απαρτίζεται από πλοία χωρητικότητας 651,3 εκατ. dwt, αφότου κατέγραψε άνοδο 3,4% το 2023. Τα πετρελαιοφόρα αποτελούν το 28,7% του παγκόσμιου στόλου το 2023 (έναντι 28,6% το 2022).

 **Figure 2. Fleet market by region of beneficial ownership, 2023**
(Millions of dead weight tons)



Διάγραμμα 2. Σύνοψη Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου βάσει περιοχής ιδιοκτησίας, 2023

(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))

Πάνω από το ήμισυ της παγκόσμιας χωρητικότητας ανήκε σε ασιατικές εταιρείες. Οι ιδιοκτήτες από την Ευρώπη αντιπροσώπευαν το 38 τοις εκατό και οι ιδιοκτήτες από τη Βόρεια Αμερική το 5 τοις εκατό.

Η Ελλάδα κατέλαβε την πρώτη θέση με ιδιόκτητη χωρητικότητα πλοίων που ξεπερνά τα 393 εκατομμύρια dwt, ακολουθούμενη από την Κίνα (302 εκατομμύρια dwt) και την Ιαπωνία (238 εκατομμύρια dwt). Το σύνολο των κατεχόμενων dwt ήταν επίσης πάνω από 100 εκατομμύρια τόσο στη Σιγκαπούρη όσο και στο Χονγκ Κονγκ (Κίνα). Οι πέντε πρώτες πλοιοκτήτριες οικονομίες μαζί αντιπροσώπευαν το 53 τοις εκατό της χωρητικότητας του παγκόσμιου στόλου (Πίνακας 1 και 2).

Economy of ownership (Ranked by number of ships owned)	Flag of registration (Ranked by number of ships registered)							
	Panama	China	Liberia	Marshall Islands	Indonesia	Singapore	China, Hong Kong SAR	World
China	855	5 997	303	182	6	77	889	8 839
Greece	426	0	1 321	1 171	2	19	11	4 936
Japan	1 914	0	308	278	8	187	46	4 023
Singapore	278	7	298	175	85	1 373	123	2 813
Indonesia	24	5	6	6	2 335	18	0	2 458
Germany	31	0	499	60	1	80	15	2 156
Norway	35	0	81	134	3	57	44	1 918
China, Hong Kong SAR	420	32	87	65	3	37	842	1 842
Russian Federation	46	0	89	0	0	2	3	1 841
Türkiye	372	0	139	150	0	11	8	1 766
World	6 888	6 098	4 766	4 086	2 501	2 453	2 251	56 591

Πίνακας 1. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου ανά περιοχή ιδιοκτησίας και σημαία νηολόγησης ως προς αριθμό πλοίων.

(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))

Economy of ownership (Ranked by tonnage owned)	Flag of registration (Ranked by tonnage registered)							
	Liberia	Panama	Marshall Islands	China, Hong Kong SAR	Singapore	China	Malta	World
Greece	120 061	23 019	89 276	658	1 185	0	58 279	393 033
China	25 900	37 513	12 762	84 767	5 813	121 810	2 531	301 997
Japan	29 820	120 706	17 183	2 477	10 883	0	853	237 673
Singapore	25 357	13 170	10 317	6 582	68 494	1 101	4 234	140 825
China, Hong Kong SAR	7 667	22 257	4 232	72 339	3 999	196	1 098	117 287
Korea, Republic of	5 919	41 284	28 992	862	818	2	119	97 144
Germany	30 037	663	3 502	1 125	4 222	0	3 164	76 981
China, Taiwan Province of	11 884	20 787	1 272	3 585	12 158	3	0	58 549
United Kingdom	19 881	2 999	9 098	96	261	0	3 998	58 024
Norway	4 913	1 486	5 821	7 984	3 677	0	997	55 519
World	378 323	364 519	299 144	199 989	134 763	123 423	108 968	2 253 539

Πίνακας 2. Σύνθεση Παγκόσμιου Εμπορικού Στόλου ανά περιοχή ιδιοκτησίας και σημαία νηολόγησης ως προς αριθμό μεταφορικής ικανότητας (dwt).

(Πηγή: UNCTADSTAT (<https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html>))

Η χώρα της σημαίας δεν συνδέεται απαραίτητα με την εθνικότητα του ιδιοκτήτη του πλοίου. Για παράδειγμα, στις αρχές του 2023, οι ξένες σημαίες αντιπροσώπευαν το 87 τοις εκατό της συνολικής χωρητικότητας dwt που κατείχαν ελληνικές οντότητες. Παρομοίως της χωρητικότητας που κατείχαν ιαπωνικές οντότητες, το 84 τοις εκατό ήταν εγγεγραμμένο σε ξένες σημαίες.

Η Λιβερία (378 εκατομμύρια dwt), ο Παναμάς (365 εκατομμύρια dwt) και οι Νήσοι Μάρσαλ (299 εκατομμύρια dwt) αντιπροσώπευαν τις κορυφαίες σημαίες εγγραφής. Ενώ το μέγεθος του μητρώου του Παναμά παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητο την τελευταία δεκαετία, οι Νήσοι Μάρσαλ και η Λιβερία έχουν φτάσει στα ύψη, με τις εγγραφές της Λιβερίας να εκτοξεύονται από το 2018.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως η UNCTAD επικαλείται δεδομένα της Clarksons την 1η Ιανουαρίου 2023 για 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 φορτηγίδες. 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.

2.1 Διεθνείς Οργανισμοί, Ενώσεις και Συμβάσεις

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.

Οι ρυθμιστικοί φορείς αναγνωρίζουν την ανάγκη για συνεχή βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και τις τελευταίες δύο δεκαετίες εισήχθησαν πολλοί νέοι κανονισμοί. Ορισμένες από τις πιο σημαντικές ρυθμιστικές δράσεις περιλαμβάνουν: (1) οι απαιτήσεις διπλού κύτους για τις δεξαμενές φορτίου και στη συνέχεια για τις δεξαμενές καυσίμων, (2) οι απαιτήσεις υποδιαίρεσης των δεξαμενών φορτίου που αποσκοπούν στον μετριασμό της εκροής σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης, (3) οι απαιτήσεις για την επίστρωση των δεξαμενών έρματος και των κορυφών/πυθμένων των δεξαμενών φορτίου για την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, (4) οι νέοι κανόνες δομικού σχεδιασμού που είναι κοινοί σε όλους τους νηογνώμονες και (5) οι απαιτήσεις για ενισχυμένες επιθεωρήσεις για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας.

Λόγω του υψηλού επιπέδου ναυπηγικής δραστηριότητας τα τελευταία χρόνια, ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου δεξαμενόπλοιων έχει σχεδιαστεί και συντηρείται σύμφωνα με αυτά τα αυξημένα πρότυπα. Πολλοί από αυτούς τους νέους κανονισμούς αποτέλεσαν de facto πρακτική του κλάδου πολύ πριν από την επίσημη έγκριση και εφαρμογή των κανονισμών του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Για παράδειγμα, οι διατάξεις μονής δεξαμενής-διασταυρούμενων δεξαμενών φορτίου δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δεξαμενόπλοια από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, παρόλο που ο κανονισμός για την τυχαία εκροή δεν είχε θεσπιστεί μέχρι το 2010. Ομοίως, οι κορυφές και οι πυθμένες των δεξαμενών φορτίου στα περισσότερα δεξαμενόπλοια διπλού κύτους είναι επικαλυμμένες, παρόλο που ο κανονισμός για την επικάλυψη των δεξαμενών φορτίου δεν έχει ακόμη τεθεί σε ισχύ. Ο λόγος για την έγκαιρη υιοθέτηση αυτών των πρακτικών είναι η επιθυμία των πλοιοκτητών να ανταποκριθούν στις προσδοκίες των μελλοντικών ναυλωτών, να ελέγξουν το κόστος συντήρησης και να μειώσουν τον κίνδυνο διαρροής πετρελαίου (IMO, 2010).

2.1.1 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.

2.1.2 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 Ιαπωνικός (NK), ο Κινέζικος (CCS), 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/>).

2.1.3 Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξ/πλοίων (INTERTANKO)

Διεθνής Ένωση Ανεξάρτητων Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιων (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 δεξαμενόπλοιων. 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 ανθρώπινων 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>).

2.1.4 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 λύματα, 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)

2.1.5 Διεθνής Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Δεξαμενόπλοιων 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 δεξαμενόπλοιων 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 θαλασσίου 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 συμβάλλει στην εξέλιξη της ναυπήγησης ασφαλέστερων δεξαμενόπλοιων και την επαύξηση της τεχνικής υποδομής εγκαταστάσεων πετρελαιοειδών (<https://www.itopf.org/about-us/>).

3 Προκαταρκτική Μελέτη Σχεδίασης

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 παρουσιάσθηκε από τον J.H.Evans το 1959, (Εικόνα 1), 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)

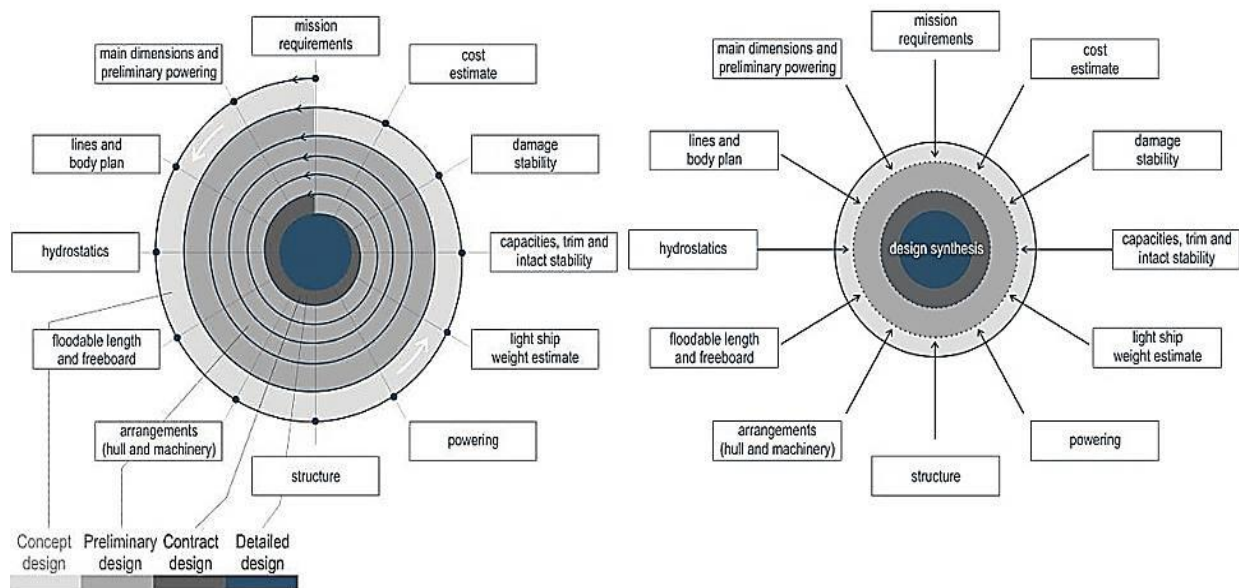
Έπεται της φάσης του Αρχικού Σχεδιασμού και αποτελεί μια πιο λεπτομερή μελέτη, όπου δημιουργείται μια σειρά σχεδίων, όπως το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών και τα σχέδια γενικής διάταξης και χωρητικότητας, ενώ διενεργείται σειρά υπολογισμών όπου καθορίζονται το βάρος του άφορτου σκάφους, η ευστάθεια της 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 1. 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 χωρισθεί 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 πετρελαίου (Crude Oil Carrier) τύπου Aframax, μεταφορικής ικανότητας 112,000 tn, στο βύθισμα αντοχής, ενώ το υπό μελέτη δεξαμενόπλοιο ανήκει στην κλάση Aframax, με μεταφορική ικανότητα 108,000 tn, στο βύθισμα σχεδίασης. Οι ναυπηγικές γραμμές του υπό μελέτη πλοίου, 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.

3.1 Επιλογή κυρίων διαστάσεων και αποτελέσματα προμελέτης

Η επιλογή των κυρίων διαστάσεων (**L, B, D, T**) και των συντελεστών μορφής (**CB, CP, CM, CWP**) του υπό σχεδίαση πλοίου έγινε σύμφωνα με υποθετικές απαιτήσεις του πλοιοκτήτη και το πατρικό πλοίο.

Στα παρακάτω παραρτήματα παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί της προμελέτης για τα παρακάτω.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I → Αναλυτικός υπολογισμός για το βάρος άφορτου πλοίου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II → Αναλυτικός Υπολογισμός DWT

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II → Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης

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

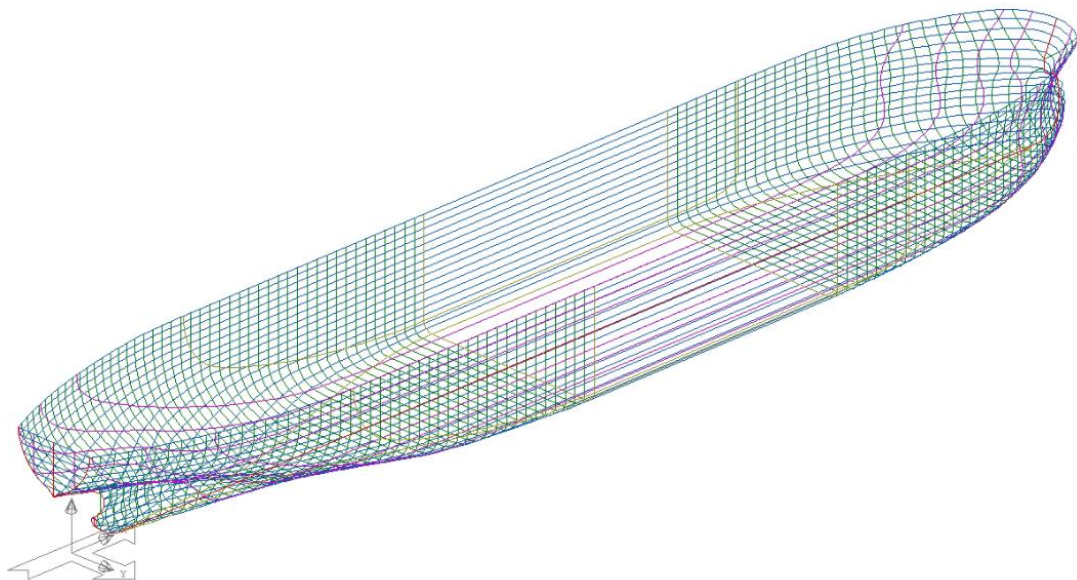
Κύριες Διαστάσεις	Ολικό Μήκος	L _{OA}	245	m
	Μήκος μεταξύ καθέτων	L _{BP}	240	m
	Πλάτος (moulded)	B	42	m
	Κοίλο (moulded)	D	21.20	m
	Βύθισμα Σχεδίασης (moulded)	T _d	15.20	m
Συντελεστές Μορφής/Λοιπά Μεγέθη @ T ^{design}	Συντελεστής Γάστρας	C _B	0.81	
	Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας (εκτίμηση)	C _{WP}	0.8733	
	Πρισματικός Συντελεστής (εκτίμηση)	C _P	0.8176	
	Συντελεστής Μέσης Τομής (εκτίμηση)	C _M	0.9907	
	Εκτόπισμα	Δ	184,894.05	t
	Πρόσθετο Βάρος	DWT	108,555.25	t
Κατασκευαστικά Στοιχεία	Βάρος Lightship	LS	18,900.54	t
	Ύψος Διπύθμενου	h _{DB}	2.5	m
	Απόσταση Διπλών Τοιχωμάτων	w _{DH}	2.4	m
	Κυρτότητα Κύριου Καταστρώματος	b	1.000	m
	Σιμότητα Κύριου Καταστρώματος	s	0.000	m
	Πρυμναίο Μήκος	L _{AFT}	11.20	m
	Μήκος Μηχανοστασίου	LER	34.40	m
	Μήκος Ωφέλιμου Φορτίου	L _{CARGO}	182	m
	Πρωραίο Μήκος	L _{FWD}	12.40	m
	Όγκος Δεξαμενών Φορτίου (εκτίμηση)	V _{CARGO}	122,638.60	m ³
	Όγκος Κύριων Δεξαμενών Έρματος (εκτίμηση)	V _{BALLAST}	35,363.40	m ³
	Μέγιστη Συνεχής Ισχύς Προωστήριας Εγκατ.	MCR	12,717.80	kW
Στοιχεία Εκτίμησης Καταστάσεων Φόρτωσης	FULL LOAD DEPARTURE (s.g. 0.8682 t/m³)			
	Εκτόπισμα	Δ _{FLD}	127,455.80	t
	Βύθισμα (moulded)	T _{FLD}	15.20	m
	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Βάρους	KG	12.252	m
	Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους	LCG	128.272	m
	Ανύψωση Κέντρου Βάρους (λόγω FSM)	GG _O	0.965	m
	Διορθωμένη Κατακόρυφη Θέση Βάρους	KG _O	13.217	m
	Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου	KM _T	17.570	m
	Μετακεντρικό Ύψος (με διόρθωση για FSM)	G _O M	4.353	m
	FULL LOAD ARRIVAL (s.g. 0.8682 t/m³)			
	Εκτόπισμα	Δ _{FLA}	123,943.35	t
	Βύθισμα (moulded)	T _{FLA}	14.811	m
	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Βάρους	KG	12.140	m
	Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους	LCG	130.907	m
	Ανύψωση Κέντρου Βάρους (λόγω FSM)	GG _O	0.993	m
	Διορθωμένη Κατακόρυφη Θέση Βάρους	KG _O	13.133	m
	Κατακόρυφη Θέση Μετάκεντρου	KM _T	17.594	m
	Μετακεντρικό Ύψος (με διόρθωση για FSM)	G _O M	4.462	m

Πίνακας 4. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Προμελέτης Δεξαμενόπλοιου

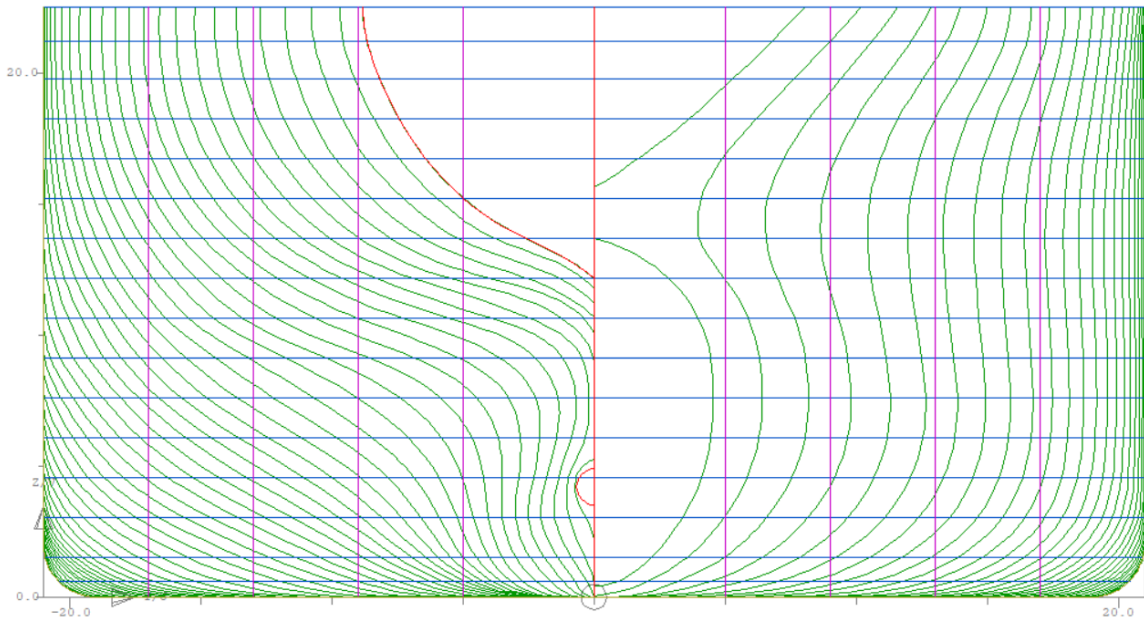
3.2 Μοντελοποίηση Γάστρας

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. Οι συντεταγμένες των σχεδιαστικών νομέων αποτυπώθηκαν μέσω των εγκάρσιων τομών από τα κατασκευαστικά σχέδια του πατρικού πλοίου με χρήση του προγράμματος «Graph Graber». Συγκεκριμένα η εξομάλυνση ολοκληρώθηκε με την προσέγγιση του συντελεστή γάστρας C_B στο βύθισμα σχεδίασης ($C_B=0.81$) και της διαμήκους θέσης κέντρου άντωσης LCB, σχετικά παραπλήσια με την διαμήκη θέση του κέντρου βάρους (LCG) των καταστάσεων φόρτωσης που εξετάσθηκαν στην Προμελέτη (LCB=128,031 m). Στις Εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της σχεδίασης της γάστρας.

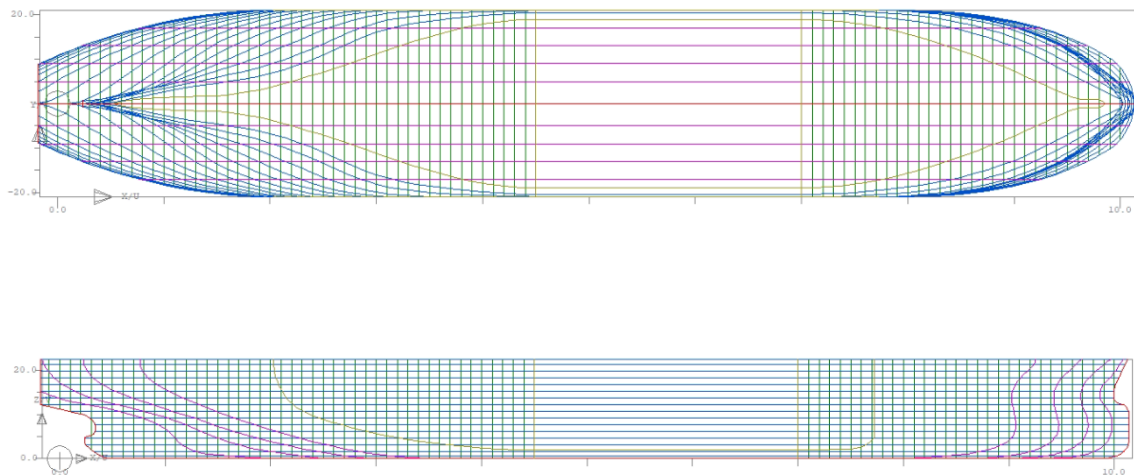


Εικόνα 2. Το παραχθέν πλέγμα του μοντέλου της γάστρας στο περιβάλλον του “Lines”



Εικόνα 3. 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.

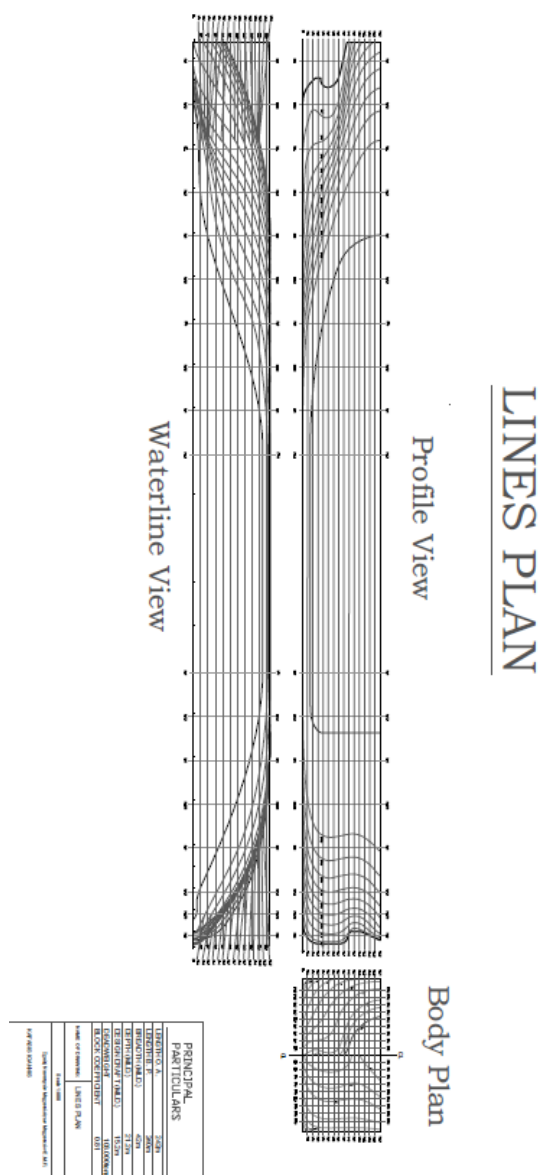


Εικόνα 4. Καμπύλες ισάλων σχεδίασης (Waterlines)

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 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.



Εικόνα 5. Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών Δεξαμενόπλοιου

3.4 Έλεγχος Κανονισμών Γραμμής Φόρτωσης

Βάσει των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης για τις Γραμμές Φόρτωσης, ο υπολογισμός της γραμμής φόρτωσης εκτελέσθηκε 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.

σελ 104 Μελέτη & Εξοπλισμός Πλοίου I (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ) ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΜΑΤΩΝ 2015

1. Τύπος Πλοίου: Κατηγορία “Α”
2. Πάχος Ελάσματος Υδρορροής Καταστρώματος: $t_y = 13,5 \text{ mm}$
3. Βασικό Ύψος Εξάλων: $y_{E1} = 2946 \text{ mm}$ για $L_{BP} = 240 \text{ m}$

Ισχύει ότι $D = 21,2 \text{ m}$ για τη γραμμή φόρτωσης, οπότε:

Διορθώσεις:

Για πλοία κατηγορίας “Α”: $y_{E2} = y_{E3} = 0$

Για καλύμματα στομίων κυτών, δεν εφαρμόζεται

Για πλοία κατηγορίας “Β” κάτω των 100 m : $y_{E4} = y_{E3}$

Για τον συντελεστή γάστρας:

$$C_{B,0.85-D} = C_B \cdot \left(\frac{0.85 \cdot D}{T} \right)^{\frac{C_{WL}-1}{C_B}} = 0.8209 > 0.68 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow y_{E5} = \frac{C_{B,0.85D} + 0.68}{1.36} = 1103,57 \text{ mm (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 30)}$$

Για το πλευρικό Ύψος:

$$D_F (=D + t_y = 21,2135 \text{ m}) > \frac{L_{BP}}{15} (=16 \text{ m})$$

Δεδομένου ότι $L_{BP} \geq 120 \text{ m} \Rightarrow R = 250$

Οπότε:

$$y_{E6} = \left(D_F - \frac{L_{BP}}{15} \right) \cdot R + y_{E5} = 1303,4 \text{ mm (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 31)}$$

Ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πλώρας:

Το ύψος πλώρας (Fb) δεν θα είναι μικρότερο από:

$$Fb = \left(6075 \cdot \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2.08 + 0.609 \cdot C_{B,0.85-D} - 1.603 \cdot C_{wf} - 0.0129 \cdot \left(\frac{L}{d1} \right) \right) = 5598,32 \text{ mm}$$

Πραγματικό ύψος πλώρας:

$$D_F - T = 6013,50 \text{ mm} > 5340,50 \text{ mm}$$

Για υπερκατασκευές και πυργωτά υπερκατασκευάσματα από το πατρικό έχουμε:

$$S = 24,8m < 0.6 \cdot L_{BP}(=144) \text{ (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 36)}$$

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν άλλες υπερκατασκευές και αφού $li < 0,6L_{BP}$ το υπερκατασκεύασμα δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του ύψους εξάλων, συνεπώς:

$$y_{E7} = 0$$

Διόρθωση για την σιμότητα:

Κανονική σιμότητα:

$$\begin{aligned} \text{Πρωραίο Ήμισυ} \quad M_{NF} &= 16.6750 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 1500,80mm \\ \text{Πρυμναίο Ήμισυ} \quad M_{NA} &= 8.3375 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 750,40mm \\ \text{ΜέσοΜέτρο} \quad M_N &= 12.5063 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 1125,6mm \end{aligned}$$

Πραγματική σιμότητα:

$$\begin{aligned} \text{Πρωραίο Ήμισυ} \quad M_{NF} &= 0 \text{ mm} \\ \text{Πρυμναίο Ήμισυ} \quad M_{NA} &= 0 \text{ mm} \\ \text{ΜέσοΜέτρο} \quad M_N &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Οπότε:

$$M_S = 0 \text{ mm}$$

$$\text{Άρα} \quad (M_N - M_S) \cdot \left(0.75 - \frac{S1}{2 \cdot L}\right)$$

Και

$$y_{E8} = (M_N - M_S) \cdot \left(0.75 - \frac{S1}{2 \cdot L}\right) + y_{E7} = 786,02 \text{ mm (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 38)}$$

Συνεπώς το ελάχιστο ύψος εξάλων σύμφωνα με τους κανονισμούς:

$$Fb = 5340,50 \text{ mm}$$

Και το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα:

$$T = D_F - Fb = 15,873m > 15,2 \text{ m}$$

σελ 71 Μελέτη & Εξοπλισμός Πλοίου I (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ) ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΜΑΤΩΝ 2015

Αποδεκτές τιμές σύμφωνα με τους κανονισμούς

Βυθίσματα Plimsoll Line	Βύθισμα (m)
Γραμμή Φόρτωσης Τροπική (T _T)	15.516
Γραμμή Φόρτωσης Θέρους (T _S)	15.2
Γραμμή Φόρτωσης Χειμώνα (T _w)	15.17

Πίνακας 5. Καθορισμός Βυθισμάτων Γραμμής Φόρτωσης

4 Υπολογισμοί Υδροστατικής Ευστάθειας και Καταστάσεις Φόρτωσης

Με δεδομένη πλέον την γεωμετρία της γάστρας, καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός των υδροστατικών μεγεθών αυτής, σε ισοβύθιστη κατάσταση. Με βάση τις ναυπηγικές γραμμές, όπως προέκυψαν σε προηγούμενο στάδιο της μελέτης, εν συνεχεία υπολογίζονται τα υδροστατικά μεγέθη που αφορούν τη μορφή της γάστρας καθώς και μελετώνται αναλυτικά και οι καταστάσεις φόρτωσης.

Για τη μελέτη της υδροστατικής και ευστάθειας του πλοίου μέσω των σχεδιαστικών προγραμμάτων «AVEVA MARINE» και «Autocad», προκύπτουν τα εξής διαγράμματα-πίνακες:

- Υδροστατικό διάγραμμα – Hydrostatic Diagram
- Καμπύλες Ευστάθειας - Cross Curves Diagram
- Καμπύλες Εμβαδών Εγκαρσίων Τομών - Bonjean Curves Diagram
- Διάγραμμα Κατακλύσιμων Μηκών - Floodable Lengths Diagram

4.1 Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου

Main Dimensions

Length Overall	0.000	metres
Length B.P	240.000	metres
Length W.L.	244.264	metres
Breadth mld.	42.000	metres
Depth mld.	21.200	metres
Design Draft (moulded)	15.200	metres
Summer Load Draft	15.200	metres
Displacement at Load Draft	127452	tonnes
Lightship Weight	18900	tonnes
Deadweight at Load Draft	108552	tonnes
<hr/>		
Subdivision Length (Ls)	240.000	metres
Aft end of Ls aft of AP	0.000	metres
Subdivision Load Line (ds)	15.200	metres
Lightest Service Draft (d0)	10.640	metres

Sea Water Properties

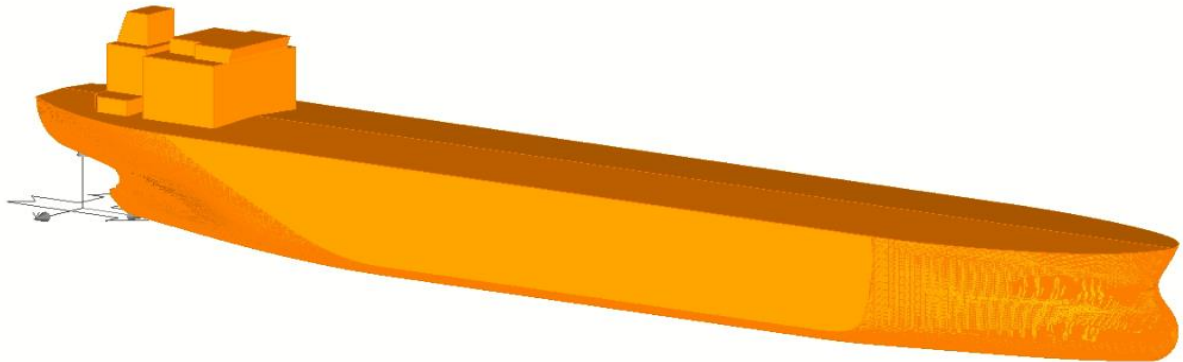
Sea water density	1.02700	tonnes/cu.m
Temperature	15.00	degs. C

Propeller data

Location fwd. of AP	5.700	metres
Diameter	4.185	metres
Shaft height	4.193	metres
Required immersion	100.00	%

4.2 Εσωτερική διαμερισματοποίηση γάστρας & στοιχεία δεξαμενών

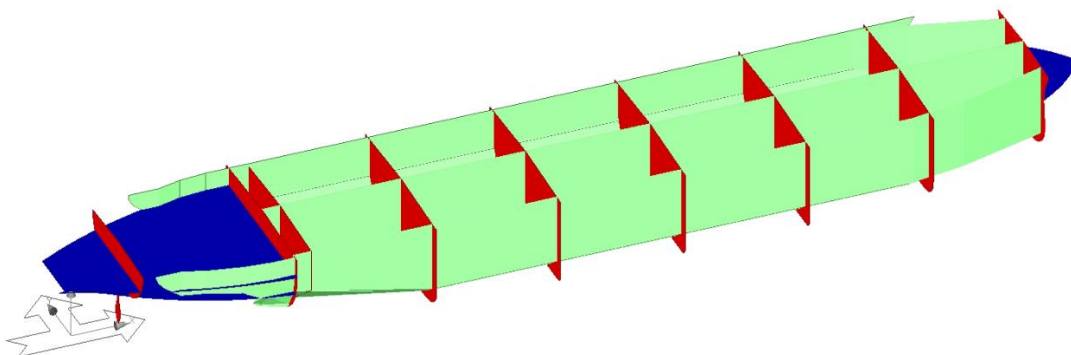
Επόμενο βήμα της σχεδίασης αποτελεί η διαμερισματοποίηση του υπό σχεδίαση πλοίου, κάνοντας χρήση του υποπρογράμματος “Surface & Compartment” της Avenα, με σκοπό την μοντελοποίηση όλων των δεξαμενών αυτού. Στην επόμενη Εικόνα παρουσιάζεται το μοντέλο της παραχθείσας γάστρας στο περιβάλλον του προγράμματος.



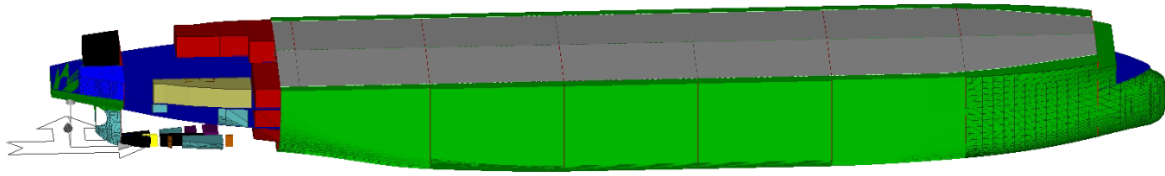
Εικόνα 6. Μοντέλο δεξαμενόπλοιου στο περιβάλλον του “Surface & Compartment”

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.

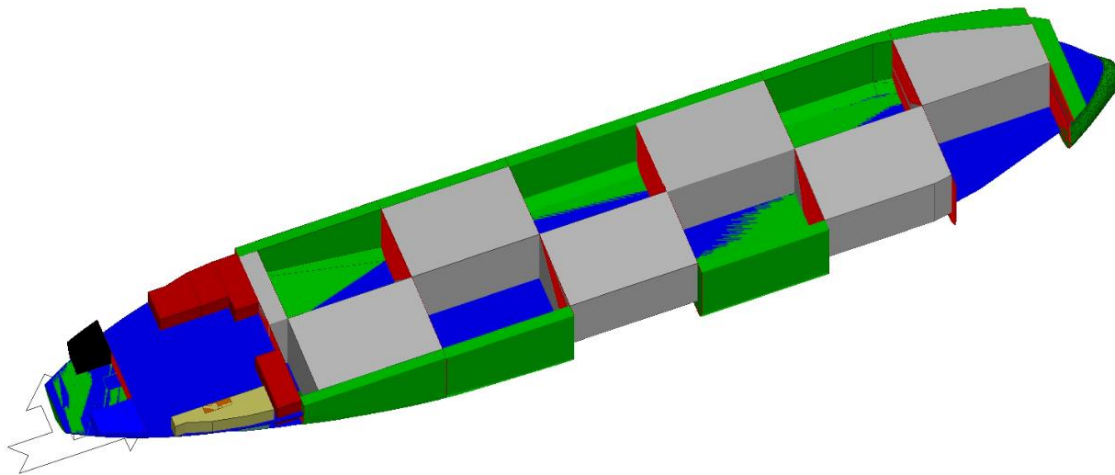
Παρακάτω γίνεται αναλυτική παρουσίαση των εσωτερικών διαμερισματοποιήσεων του πλοίου, που προκύπτουν μέσω εγκαρσίων στεγανών φρακτών, καθώς και πίνακες με τα στοιχεία των δεξαμενών του υπό σχεδίαση πλοίου.



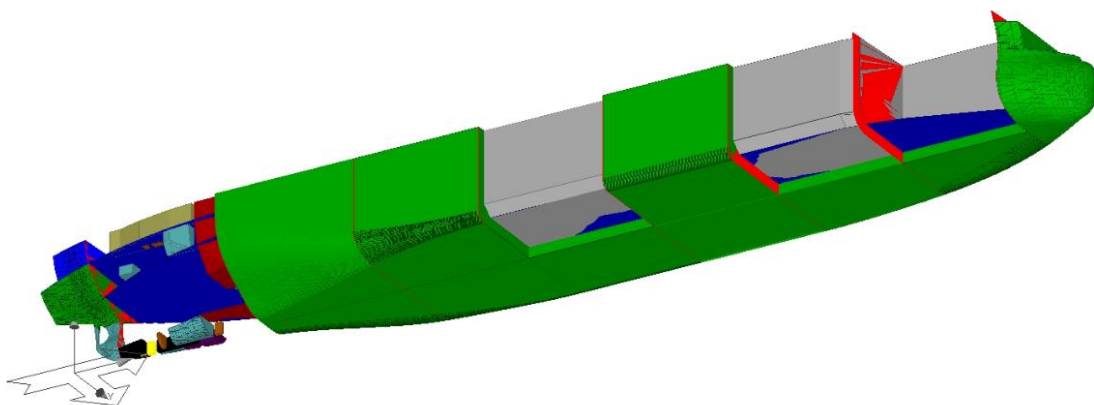
Εικόνα 7. Εσωτερικές Επιφάνειες/Ελάσματα Δεξαμενών Γάστρας



Εικόνα 8. Σύνοψη Παραγόμενων Δεξαμενών



Εικόνα 9. Σύνοψη Παραγόμενων Δεξαμενών



Εικόνα 10. Σύνοψη Παραγόμενων Δεξαμενών

Category CAT - PAYLOAD (SG = 0.868 tonnes/cu.m 100 % full)

Compartment	FramEs	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
COT1P : COT 1P	93-100	8326.350	7224.774	211.422	-7.371	12.284	8832
COT1S : COT 1S	93-100	8326.350	7224.774	211.422	7.371	12.284	8832
COT2P : COT2P	86-93	10554.267	9157.937	182.940	-9.145	12.195	15836
COT2S : COT 2S	86-93	10554.267	9157.937	182.940	9.145	12.195	15836
COT3P : COT3P	79-86	10581.565	9181.624	153.225	-9.169	12.193	15953
COT3S : COT3S	79-86	10581.565	9181.624	153.225	9.169	12.193	15953
COT4P : COT4P	72-79	10581.565	9181.624	123.475	-9.169	12.193	15953
COT4S : COT4S	72-79	10581.565	9181.624	123.475	9.169	12.193	15953
COT5P : COT5P	65-72	10581.565	9181.624	93.725	-9.169	12.193	15953
COT5S : COT5S	65-72	10581.565	9181.624	93.725	9.169	12.193	15953
COT6P : COT6P	58-65	9791.007	8495.657	64.691	-8.840	12.573	15524
COT6S : COT6S	58-65	9791.007	8495.657	64.691	8.840	12.573	15524
SLOP P : SLOP P	57-58	1314.778	1140.832	47.763	-8.292	13.269	2305
SLOP S : SLOP S	57-58	1314.778	1140.832	47.763	8.292	13.269	2305
Total		123462.240	107128.146	134.568	0.000	12.289	

Category WB - WB (SG = 1.025 tonnes/cu.m 100 % full)

Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
APT : APT	-5-14	1124.200	1152.305	4.759	0.108	14.556	12442
FPT : FPT	100-104	2872.890	2944.712	233.232	0.000	7.413	7361
WBT 1S : WBT 1S	93-100	2918.286	2991.243	212.207	12.945	8.024	12661
WBT 2P : WBT 2P	86-93	2894.841	2967.212	182.832	-14.697	6.211	22356
WBT 2S : WBT 2S	86-93	2894.841	2967.212	182.832	14.697	6.211	22356
WBT 3P : WBT 3P	79-86	2949.851	3023.597	153.225	-14.818	6.131	22959
WBT 3S : WBT 3S	79-86	2949.851	3023.597	153.225	14.818	6.131	22959
WBT 4P : WBT 4P	72-79	2949.851	3023.597	123.475	-14.818	6.131	22959
WBT 4S : WBT 4S	72-79	2949.851	3023.597	123.475	14.818	6.131	22959
WBT 5P : WBT 5P	65-72	2899.219	2971.699	93.852	-14.733	6.223	22638
WBT 5S : WBT 5S	65-72	2899.219	2971.699	93.852	14.733	6.223	22638
WBT 6P : WBT 6P	57-65	2954.848	3028.719	62.811	-14.110	7.097	13992
WBT 6S : WBT 6S	57-65	2954.848	3028.719	62.811	14.110	7.097	13992
WBT FWD : WBT FWD	100-101	535.429	548.815	229.642	0.000	16.816	5898
WBT1P : WBT 1P	93-100	2918.286	2991.243	212.207	-12.945	8.024	12661
Total		39666.320	40657.966	142.269	0.003	7.054	

Category FUEL - FUEL (SG = 0.850 tonnes/cu.m 100 % full)

Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
HFO 1P : HFO 1P	50-57	1004.217	853.584	42.812	-12.385	14.715	1122
HFO 1S : HFO 1S	50-57	1007.940	856.749	42.816	12.407	14.705	1122
HFO 2P : HFO 2P	42-50	555.005	471.754	36.849	-14.449	16.785	429
HFO SERV P : HFO SERV P	50-56	64.152	54.529	42.400	-9.350	14.305	7
HFO SETT P : HFO SETT P	50-56	64.152	54.529	42.400	-12.050	14.305	7
HFO3P : HFO 3P	30-42	671.548	570.816	29.031	-13.662	17.007	409
Total		3367.010	2861.962	39.066	-5.494	15.495	

Category DIESEL - DIESEL (SG = 0.900 tonnes/cu.m 100 % full)

Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
LSMGO SETT S : LSMGO SETT S	35-39	27.297	24.567	29.600	14.297	19.150	1
LSMGO STOR S : LSMGO STOR S	22-49	444.319	399.887	30.101	15.764	19.125	222
LSMGOSERVS : LSMGO SERV S	31-35	27.297	24.567	26.400	14.297	19.150	1
MDO SERV P : MDO SERV P	11-14	21.954	19.758	10.000	-7.097	19.321	1
MDO STOR P : MDO STOR P	4-14	270.100	243.090	7.491	-9.636	19.350	287
Total		790.970	711.870	21.677	6.355	19.209	

Category LUBE - LUBE (SG = 0.900 tonnes/cu.m 100 % full)

Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
ME CYL OIL 1 : ME CYL OIL 1	46-50	37.024	33.322	38.400	4.900	14.055	4
ME CYL OIL 2 : ME CYL OIL 2	46-50	63.938	57.544	38.400	1.355	14.055	24
ME SYS OIL SETT : ME SYS OIL SETT	46-50	49.840	44.856	38.400	-4.450	14.055	11
ME SYS OIL STOR : ME SYS OIL STOR	46-50	51.122	46.009	38.400	-0.905	14.055	12
ME SYS OIL SUMP : ME SYS OIL SUMP	25-37	25.200	22.680	24.800	0.000	1.250	0
Total		227.120	204.411	36.891	0.000	12.634	

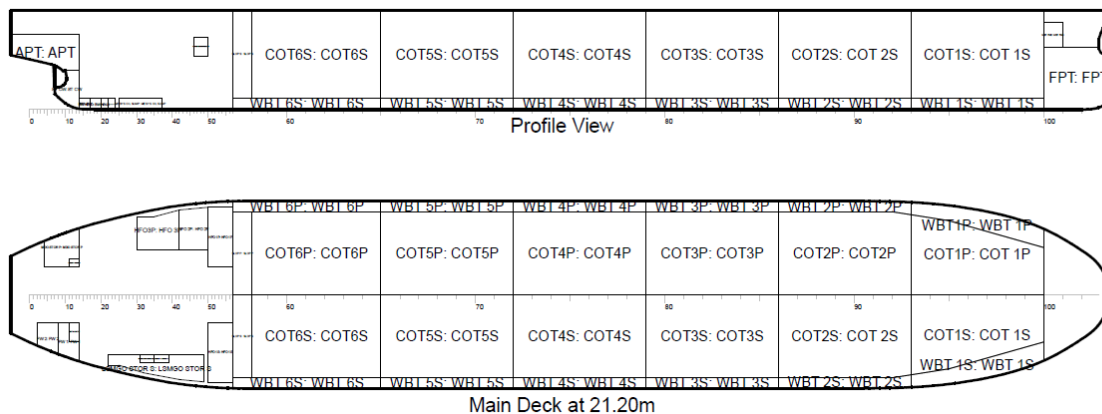
Category FW - FW (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)

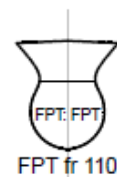
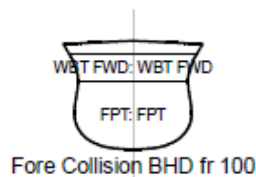
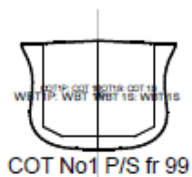
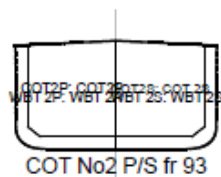
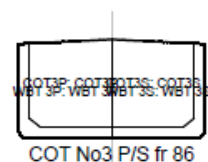
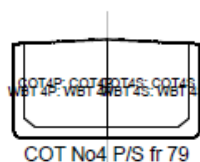
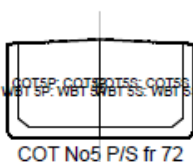
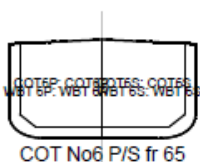
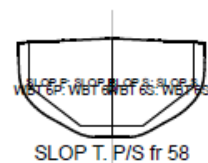
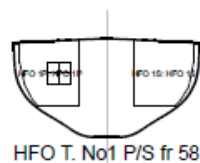
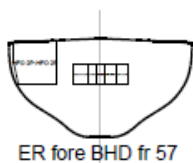
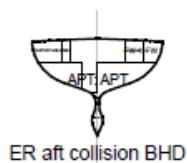
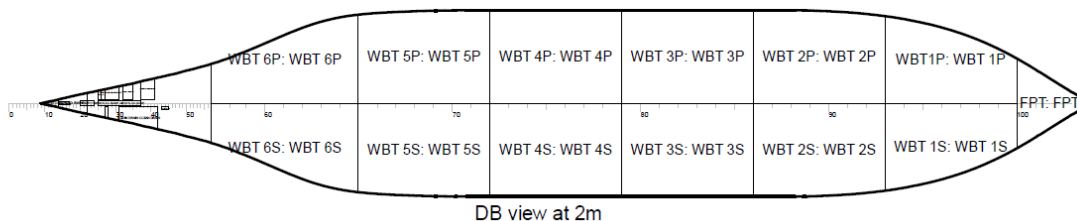
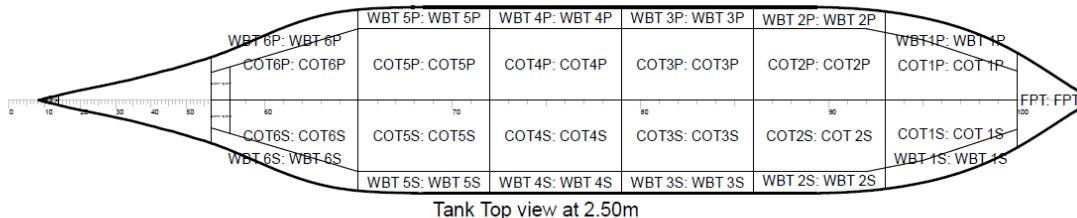
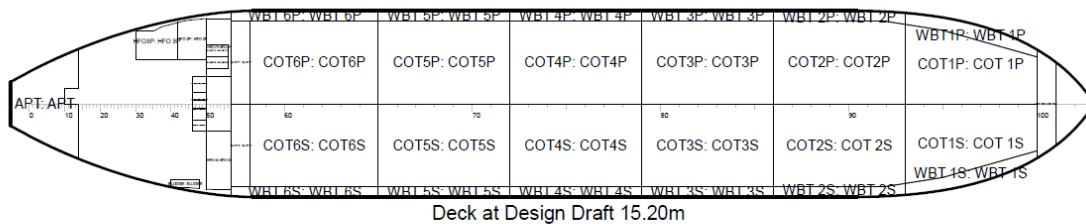
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
DIST W : DIST W	11-14	51.831	51.831	10.000	8.335	19.292	15
FW 1 : FW 1	8-14	176.336	176.336	8.891	9.897	19.331	205
FW 2 : FW 2	2-8	132.664	132.664	4.143	8.997	19.401	99
Total		360.830	360.831	7.305	9.342	19.351	

Η διαμερισματοποίηση παρουσιάζεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα, όπου αναγράφονται οι θέσεις των εγκαρσίων στεγανών φρακτών έτσι όπως αυτές υπολογίστηκαν σε προηγούμενο στάδιο της μελέτης του υπό σχεδίαση πλοίου. Τοποθετήθηκαν με τη σειρά στο πρυμναίο και στο πρωραίο τμήμα του μηχανοστασίου, μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και τέλος στην πλώρα του πλοίου τοποθετήθηκε η πρωραία φρακτή σύγκρουσης για την ικανοποίηση των αντίστοιχων κανονισμών της SOLAS.

Compartmentation - Υπο μελετη Πλοίο							
Compartment	F.S	No. Frames	Length	(%L _{BP})	Frame No.	Position (m)	
Aft	800	14	11.20	4.628%	14	11.20	
Engine Room	800	43	34.40	14.215%	57	45.60	
Cargo	Slop	4300	1	4.30	1.777%	58	49.90
	6	3450	1	3.45	1.426%	59	53.35
		4250	6	25.50	10.537%	65	78.85
	5	4250	7	29.75	12.293%	72	108.60
	4	4250	7	29.75	12.293%	79	138.35
	3	4250	7	29.75	12.293%	86	168.10
	2	4250	7	29.75	12.293%	93	197.85
1	4250	7	29.75	12.293%	100	227.60	
Forward	800	15.500000	12.40	5.124%	116	240.00	
L _{BP}			240.00	100.000%			

4.3 Πλάνο Δεξαμεμών (Tankplan)





4.4 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 εξαγονται από το πρόγραμμα “Hydrostatics & Hydrodynamics”.

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

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

$$GT = k_1 * V_{total}$$

όπου:

V: ο συνολικός όγκος όλων των περιφραγμένων χώρων του πλοίου, σε m³

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

Mainhull Compartments					
Compartment	Frames	Volume	LCG	TCG	VCG
		(m ³)	(m)	(m)	(m)
kafasis_2 : Envelope	-5-104	184894.049	125.186	0.000	11.414
Total		184894.050	125.186	0.000	11.414

Πίνακας 6. Προσέγγιση Συνολικού Όγκου Περιφραγμένων Χώρων Πλοίου

Επομένως υπολογίζεται ο συντελεστής K₁, ο οποίος ισούται με:

$$K_1 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V \Rightarrow K_1 = \mathbf{0.31}$$

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

$$GT = K_1 \cdot V \Rightarrow \boxed{GT = 57,401.65}$$

- **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 $V_C = 123462.24 \text{ m}^3$

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

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

D : κοίλο του πλοίου, ίσο με $D = 21.20 \text{ m}$

d_s : βύθισμα θερινής ισάλου πλεύσης, ίσο με $d_s = 15.2 \text{ m}$

N_1 : αριθμός επιβατών σε κοιτώνες με όχι περισσότερες από 8 κλίνες

N_2 : 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 περίπτωση μας, $N_1 + N_2 = 0$

Επομένως υπολογίζονται οι συντελεστές:

$$K_2 = 0.20 + 0.02 \cdot \log_{10} V_C \Rightarrow K_2 = \mathbf{0.21}$$

$$K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT + 10,000}{10,000} \Rightarrow K_3 = \mathbf{8.43}$$

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

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d_s}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) \Rightarrow \boxed{NT = 23,715}$$

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

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

$$\left(\frac{4 \cdot 14}{3 \cdot 20.7}\right)^2 = 0.91 < 1, \text{ άρα η απαίτηση ικανοποιείται.}$$

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

$23,715 > 14,350 = 0.25 \cdot GT$, η απαίτηση ικανοποιείται.

3η Απαίτηση: $NT > 0.3 \cdot GT$

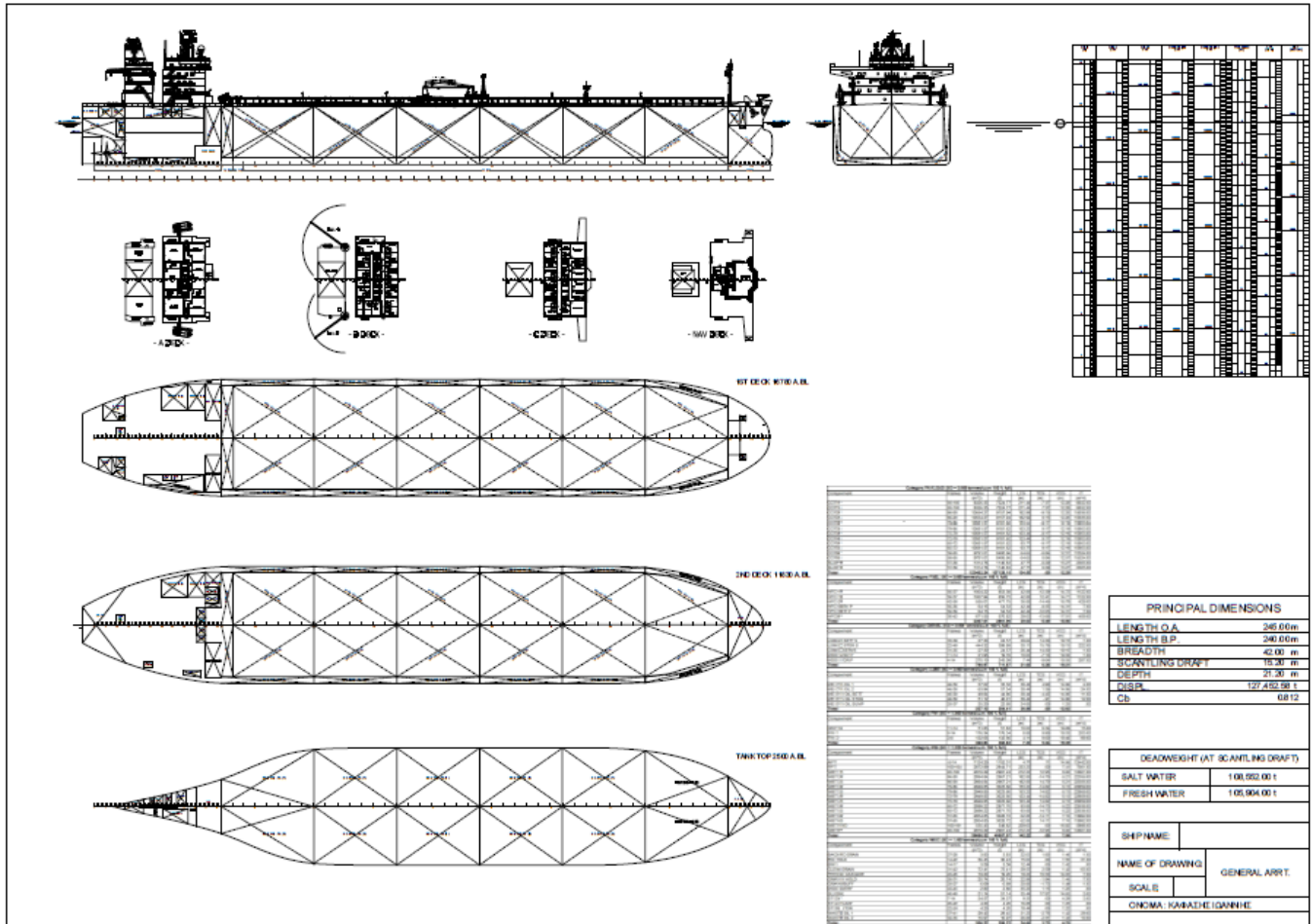
$23,715 > 17,220 = 0.3 \cdot GT$, άρα η απαίτηση ικανοποιείται.

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

- **Ολική Χωρητικότητα (GT – Gross Tonnage):** $GT = 57,401$
- **Καθαρή Χωρητικότητα (NT – Net Tonnage):** $NT = 23,715$

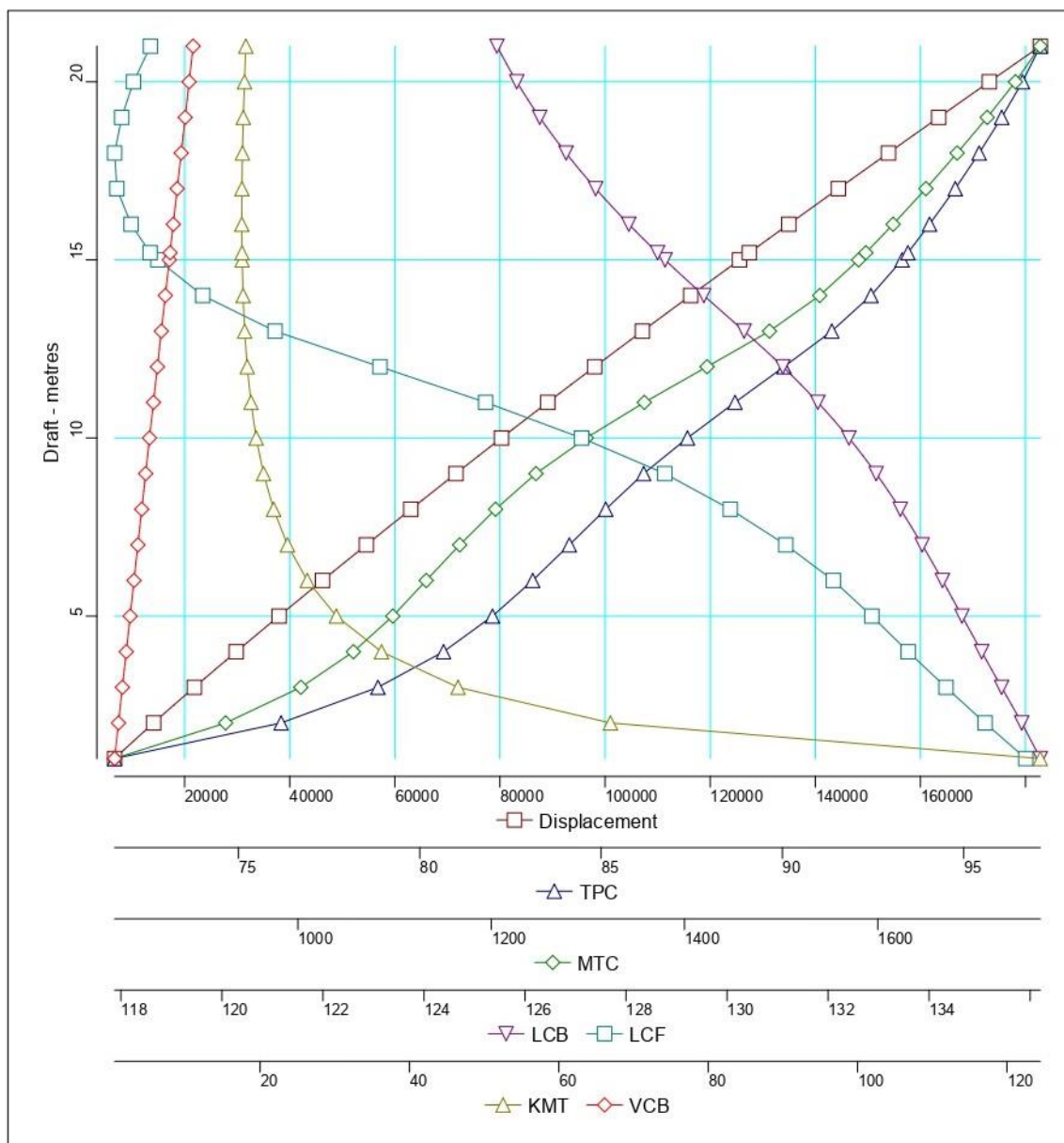
4.5 Σχέδιο Χωρητικότητας και γενικής διάταξης

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



4.6 Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθισης 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”.

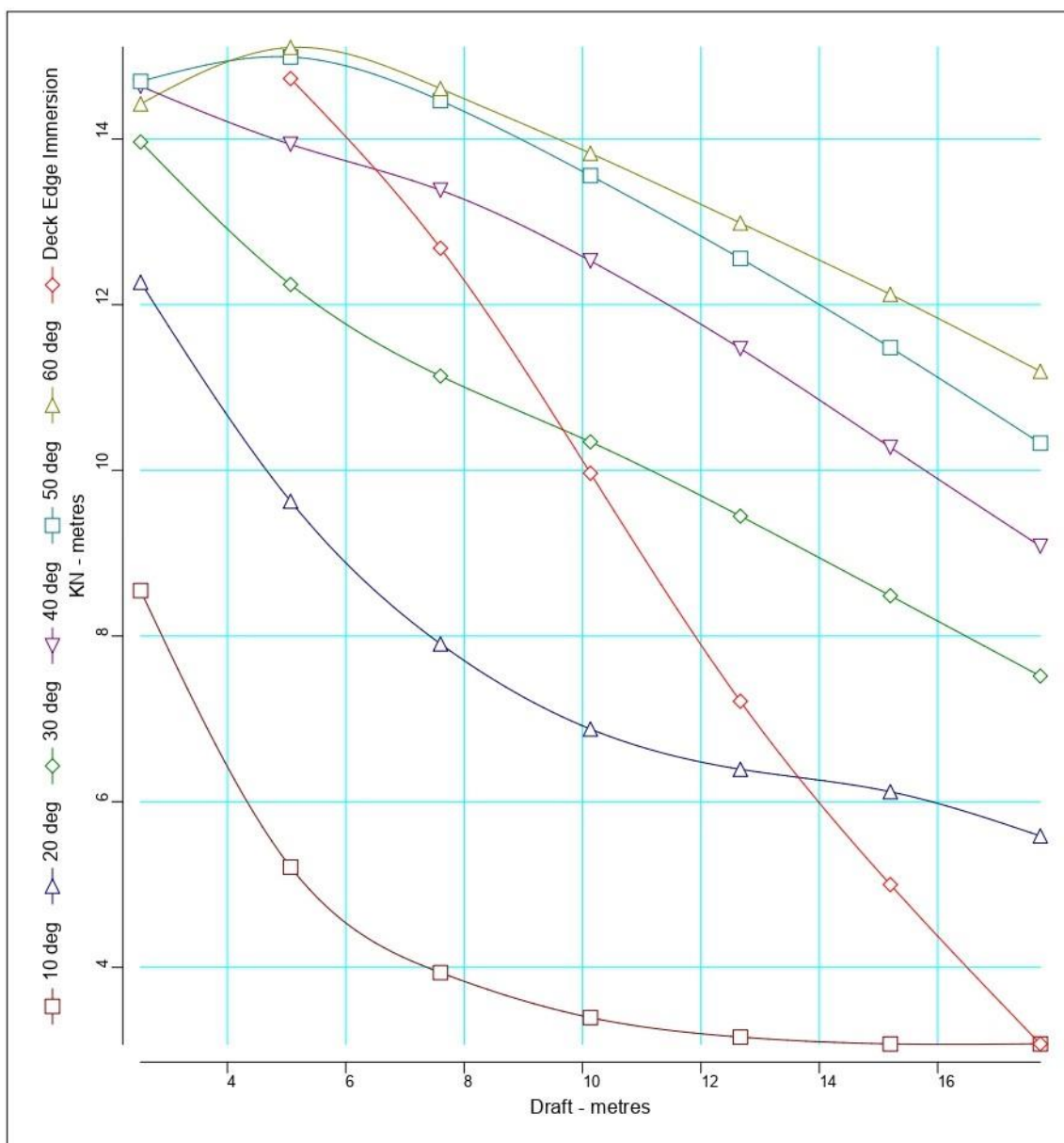


Διάγραμμα 3. Υδροστατικό Διάγραμμα Ισοβύθισης Γάστρας

4.7 Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας

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

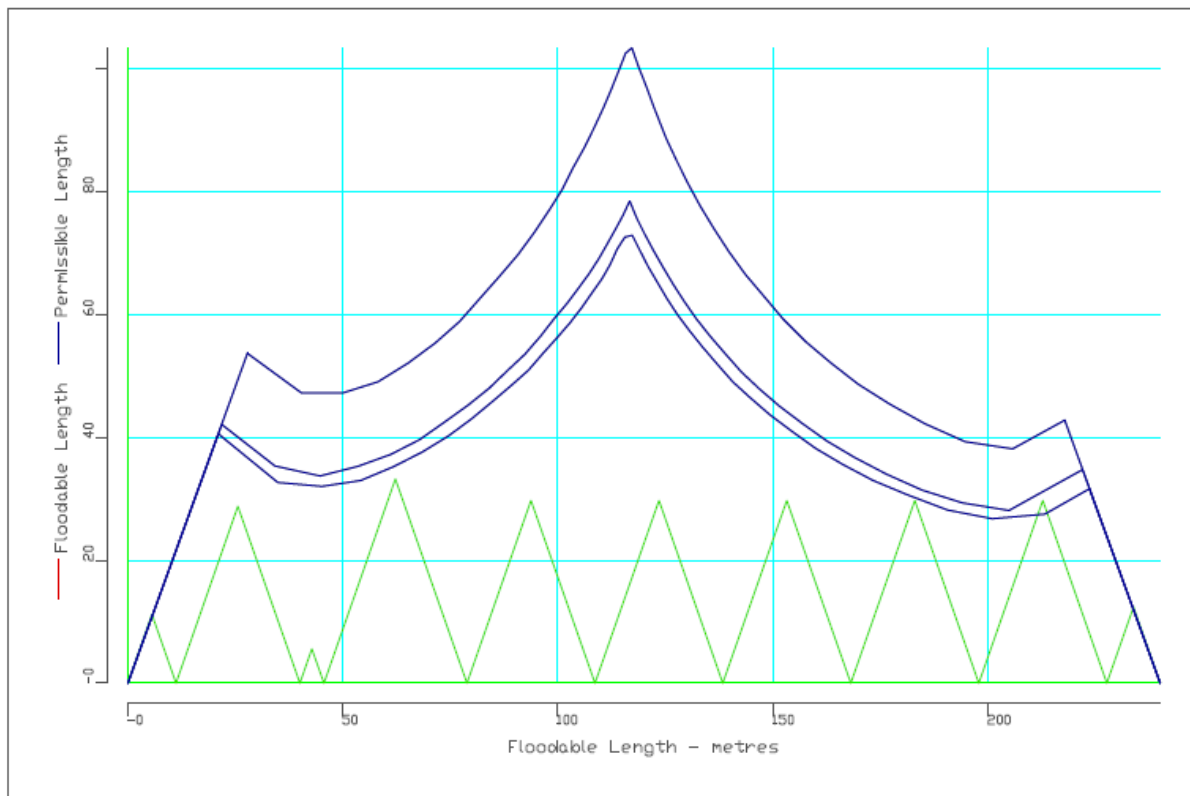
Ο μοχλοβραχίονας ευστάθειας KN υπολογίσθηκε για βυθίσματα από $T=2.0\text{m}$ έως $T=21.2\text{m}$ με βήμα 1m . Συμπεριλαμβανομένου και του βυθίσματος σχεδίασης $T=T_d=15.2\text{m}$, και για γωνίες εγκάρσιας κλίσης $\phi=10,12,20,30,40,45,50,60,70,80$ μοίρες.



Διάγραμμα 4. Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας

4.8 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 Avenia, ενώ η γραμμή ορίου βύθισης ορίστηκε στα 76mm κάτω από το κατάστρωμα αυτό.



Διάγραμμα 5. Διάγραμμα Καμπυλών Κατακλύσιμων Μηκών

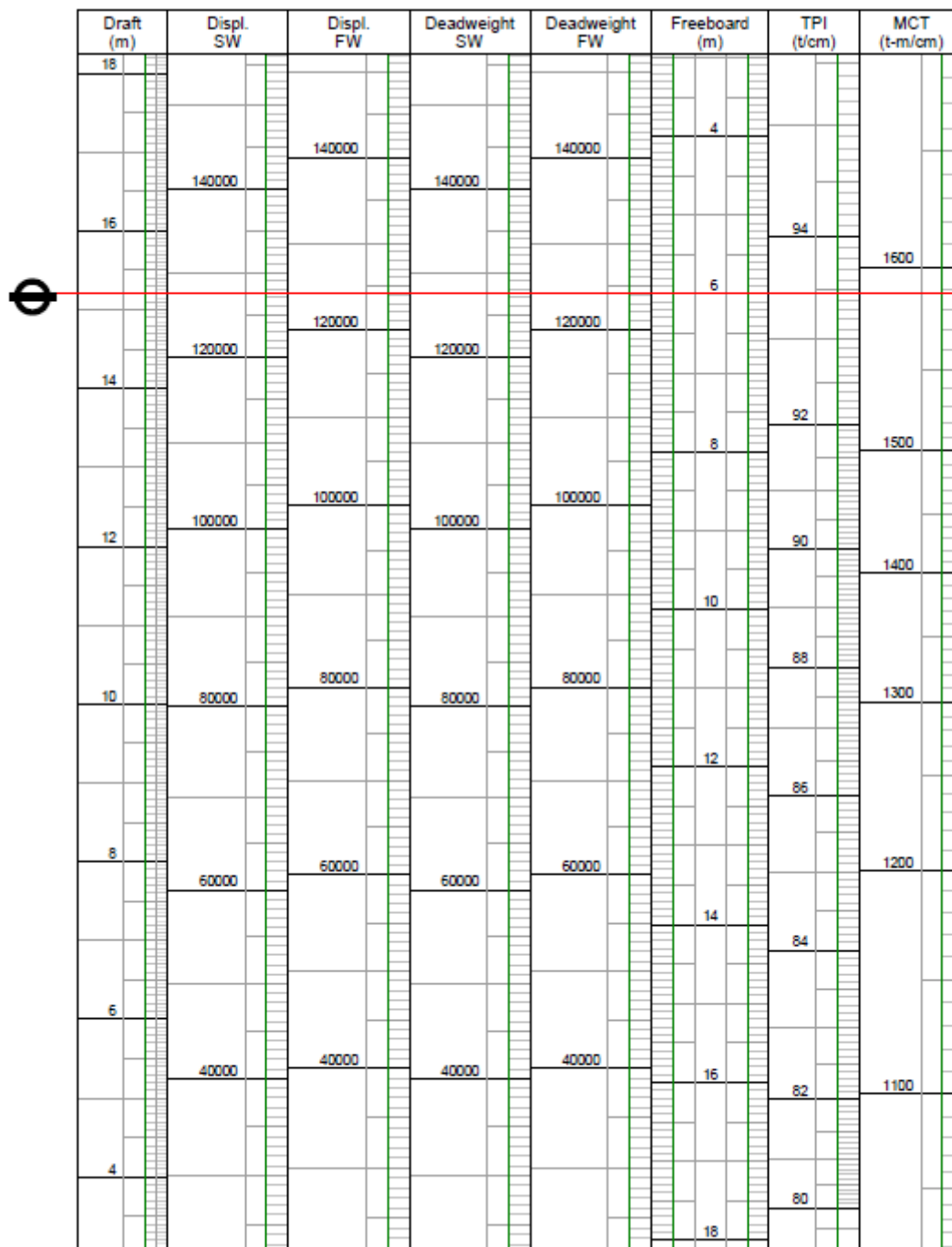
4.9 Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale)

Παρακάτω παρουσιάζεται η κλίμακα της μεταφορικής ικανότητας όπου υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος CALC&HYDRO του AVEVA MARINE. 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 ($\Delta_{@T=15.2} = 108555.25$). Ως αποτέλεσμα, η γάστρα του υπό σχεδίαση πλοίου βρίσκεται σε θέση να μεταφέρει στο βύθισμα σχεδίασης πρόσθετο βάρος ίσο με:

$$DWT_{@14m} = 108555.25 t$$

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

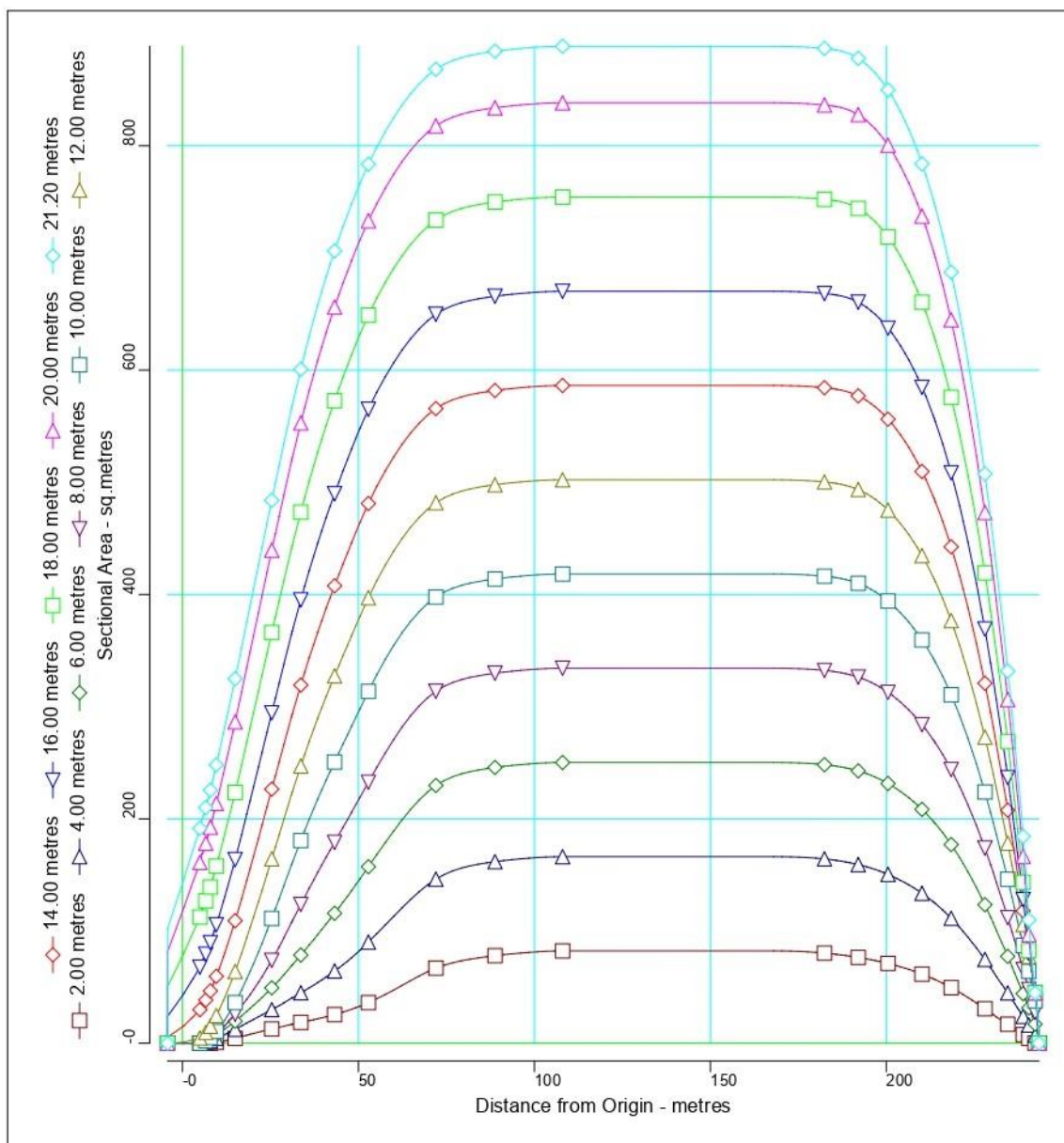
Freeboard Depth	21.2000	metres
Summer Freeboard	6.000	metres
Lightship weight	18,900.54	tonnes
Water density	1.0270	tonnes/cu.m



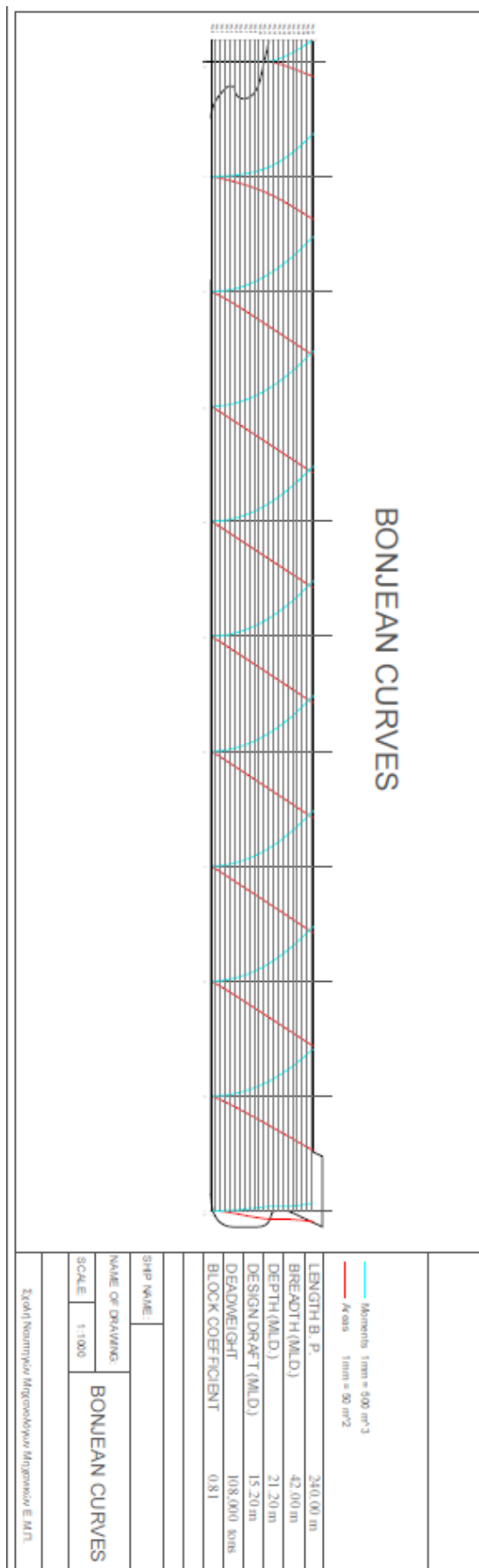
Διάγραμμα 6. Κλίμακα Μεταφορικής Ικανότητας (DWT Scale)

4.10 Bonjean Curves – Sectional Area Curves (SACs)

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι καμπύλες Bonjean για βυθίσματα εύρους από $T=2$ m έως $T=15.2$ m συμπεριλαμβανομένων των βυθισμάτων σχεδίασης $T=T_d=15.2$ m και κοίλου $T=D=21.2$ m. Φαίνονται οι επιφάνειες των νομέων για κάθε βύθισμα, και οι πρώτες ροπές των εγκάρσιων επιφανειών ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς.



Διάγραμμα 7. Καμπύλες Επιφανειών Νομέων



Εικόνα.11 Σχέδιο Bonjean

4.11 Καταστάσεις Φόρτωσης

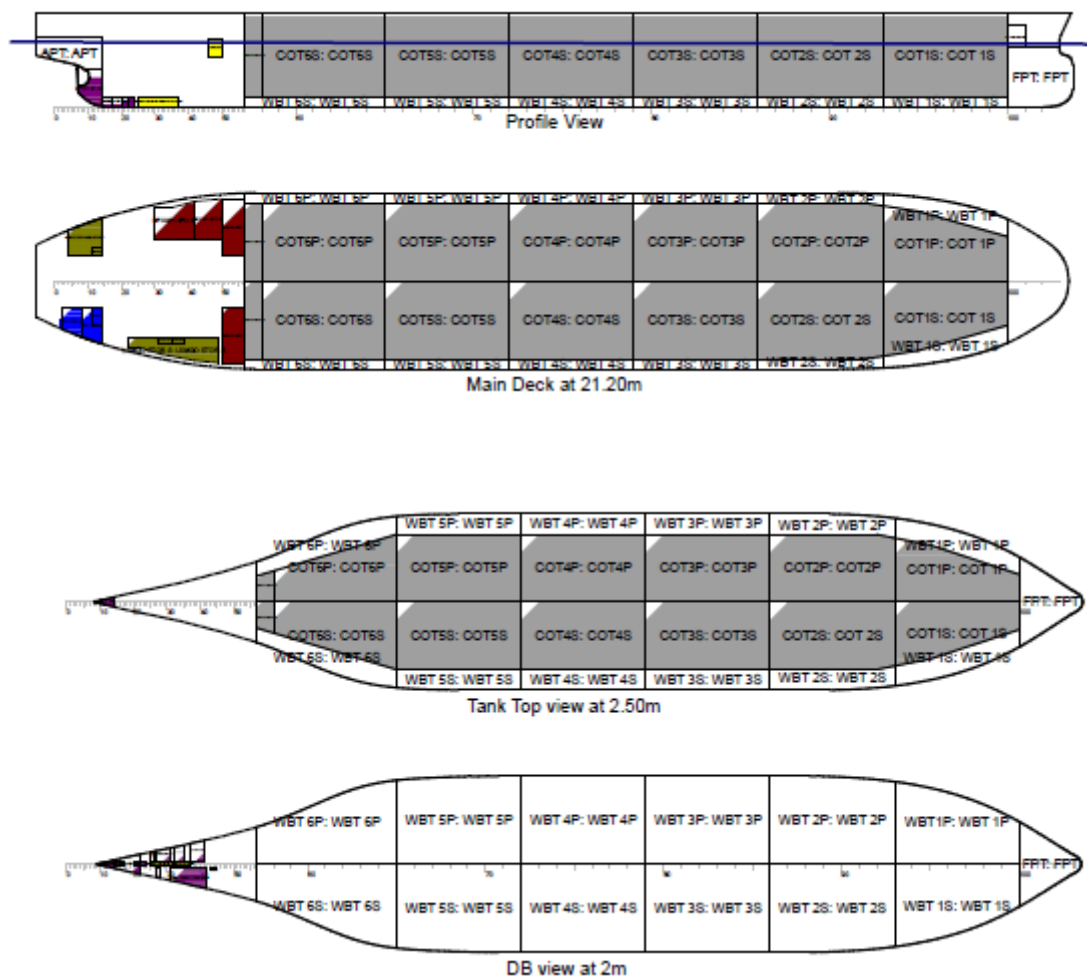
Για τους υπολογισμούς έγινε χρήση του υπολογιστικού υποπρογράμματος Hydrostatics & Hydrodynamics, ενώ οι καταστάσεις οι οποίες αναπτύχθηκαν είναι οι εξής:

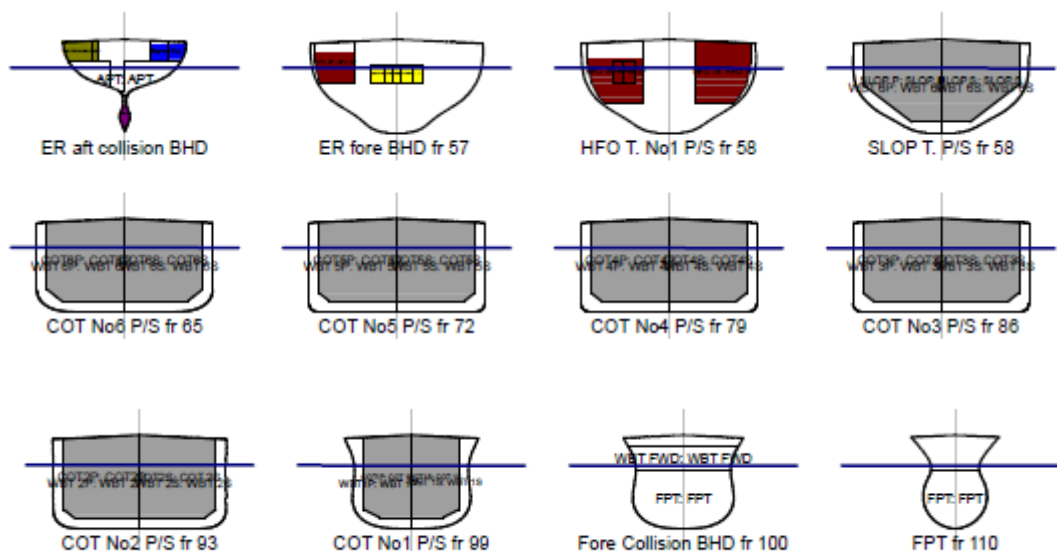
- Full Load Departure Condition (FLD-Payload s.g.=0.8677 t/m³)
- Full Load Arrival Condition (FLA-Payload s.g.=0.8677 t/m³)
- Ballast Departure Condition (BD)
- Ballast Arrival Condition (BA)

Τα αποτελέσματα των καταστάσεων BD και BA, συγκρίνονται με τις απαιτήσεις ασφαλούς πλεύσης (Κανονισμός 18, Παράρτημα Ι, MARPOL) ως προς το ελάχιστο βύθισμα στο μέσο του πλοίου, την μέγιστη έμπρυμη 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, με τα όρια του IACS (CSR). Η κατανομή του DWT πραγματοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα, μιας και έχουν ορισθεί οι θέσεις και οι χώροι των δεξαμενών, ενώ η αναλυτική κατανομή του Lightship παρουσιάζεται σε παρακάτω κεφάλαιο. FLA, BD και BA καταστάσεις παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV.

4.11.1 Κατάσταση Full Load Departure (FLD-Payload s.g.=0.868 t/m³)





Key	Name	Density (t/m ³)
	CONTENT_PL	0.8677
	CONTENT_FOT	0.8500
	CONTENT_DOT	0.9000
	CONTENT_LOT	0.9000
	CONTENT_FWT	1.0000
	CONTENT_MISC	1.0000

Εικόνα 12. Δεξαμενές Κατάστασης FLD

Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
PAYLOAD										
COT1P: COT 1P	93-100	TENT_PL	98.0	0.868	7080.3	211.400	-7.419	12.091	6428.0	
COT1S: COT 1S	93-100	TENT_PL	98.0	0.868	7080.3	211.400	7.419	12.091	6428.0	
COT2P: COT2P	86-93	TENT_PL	98.0	0.868	8974.8	182.939	-9.215	12.001	11066.5	
COT2S: COT 2S	86-93	TENT_PL	98.0	0.868	8974.8	182.939	9.215	12.001	11066.5	
COT3P: COT3P	79-86	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	153.225	-9.238	12.000	11109.5	
COT3S: COT3S	79-86	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	153.225	9.238	12.000	11109.5	
COT4P: COT4P	72-79	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	123.475	-9.238	12.000	11109.7	
COT4S: COT4S	72-79	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	123.475	9.238	12.000	11109.7	
COT5P: COT5P	65-72	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	93.725	-9.238	12.000	11109.5	
COT5S: COT5S	65-72	TENT_PL	98.0	0.868	8998.0	93.725	9.238	12.000	11109.5	
COT6P: COT6P	58-65	TENT_PL	98.0	0.868	8325.7	64.698	-8.905	12.387	10023.9	
COT6S: COT6S	58-65	TENT_PL	98.0	0.868	8325.7	64.698	8.905	12.387	10023.9	

SLOP P: SLOP P	57-58	TENT_PL	98.0	0.868	1118.0	47.764	-8.353	13.097	1280.1	
SLOP S: SLOP S	57-58	TENT_PL	98.0	0.868	1118.0	47.764	8.353	13.097	1280.1	
Total PAYLOA					104985.6	134.566	0.000	12.098	124254.4	

<i>FUEL</i>										
HFO 1P: HFO 1P	50-57	ENT_FOT	70.0	0.850	597.5	42.818	-12.240	12.629	954.4	
HFO 1S: HFO 1S	50-57	ENT_FOT	98.0	0.850	839.6	42.817	12.450	14.566	737.4	
HFO 2P: HFO 2P	42-50	ENT_FOT	70.0	0.850	330.2	36.856	-14.414	15.361	365.4	
HFO SERV P: HFO SERV P	50-56	ENT_FOT	95.0	0.850	51.8	42.400	-9.350	14.181	6.7	
HFO SETT P: HFO SETT P	50-56	ENT_FOT	95.0	0.850	51.8	42.400	-12.050	14.181	6.7	
HFO3P: HFO 3P	30-42	ENT_FOT	70.0	0.850	399.6	29.066	-13.565	15.633	348.3	
Total FUEL					2270.5	39.511	-3.589	14.342	2418.9	

<i>DIESEL</i>										
LSMGO SETT S: LSMGO SETT S	35-39	ENT_DOT	98.0	0.900	24.1	29.600	14.300	19.102	1.4	
LSMGO STOR S: LSMGO STOR S	22-49	ENT_DOT	98.0	0.900	391.9	30.129	15.785	19.078	102.1	
LSMGOS LSMGO SERV S	31-35	ENT_DOT	98.0	0.900	24.1	26.400	14.300	19.102	1.4	
MDO SERV P: MDO SERV P	11-14	ENT_DOT	98.0	0.900	19.4	10.000	-7.100	19.270	1.0	
MDO STOR P: MDO STOR P	4-14	ENT_DOT	98.0	0.900	238.2	7.497	-9.670	19.302	90.6	
Total DIESEL					697.7	21.695	6.355	19.161	196.5	

<i>LUBE</i>										
ME CYL OIL 1: ME CYL OIL 1	46-50	ENT_LOT	98.0	0.900	32.7	38.400	4.900	14.010	4.2	
ME CYL OIL 2: ME CYL OIL 2	46-50	ENT_LOT	98.0	0.900	56.4	38.400	1.355	14.010	21.7	

ME SYS OIL SETT: ME SYS OIL SETT	46-50	ENT_LOT	98.0	0.900	44.0	38.400	-4.450	14.010	10.3	
ME SYS OIL STOR: ME SYS OIL STOR	46-50	ENT_LOT	98.0	0.900	45.1	38.400	-0.905	14.010	11.1	
ME SYS OIL SUMP: ME SYS OIL SUMP	25-37	ENT_LOT	98.0	0.900	22.2	24.800	0.000	1.225	0.8	
Total LUBE					200.4	36.891	0.000	12.592	48.1	

<i>FW</i>										
DIST W: DIST W	11-14	ENT_FWT	85.0	1.000	44.1	10.000	8.350	18.915	15.9	
FW 1: FW 1	8-14	ENT_FWT	85.0	1.000	149.9	8.896	9.911	18.970	203.7	
FW 2: FW 2	2-8	ENT_FWT	85.0	1.000	112.8	4.151	8.984	19.044	97.2	
Total FW					306.8	7.310	9.346	18.989	316.8	

<i>MISC</i>										
BACK FO DRAIN: BACK FO DRAIN	27-28	NT_MISC	20.0	1.000	0.8	22.006	1.443	0.461	0.3	
BW HOLD: BW HOLD	14-20	NT_MISC	10.0	1.000	3.6	15.624	0.000	0.303	2.2	
BW1: BW	14-17	NT_MISC	10.0	1.000	0.4	12.547	0.000	0.380	0.0	
CLEAN DRAIN: CLEAN DRAIN	31-40	NT_MISC	80.0	1.000	57.9	29.574	2.498	1.201	56.5	
FEED W CASCAD FEED W CASCA D	22-26	NT_MISC	50.0	1.000	9.6	19.200	10.500	13.530	7.2	
GRAY W HOLD: GRAY W HOLD	26-30	NT_MISC	10.0	1.000	2.1	22.970	-1.395	0.272	1.2	
GRAYW GRAY W BUFF	25-27	NT_MISC	10.0	1.000	0.7	20.844	-1.243	0.290	0.2	

MGO OVERF: MGO OVERF	43-46	NT_MISC	10.0	1.000	0.3	35.200	1.150	0.125	0.0
SLUDGE SLUDGE	40-48	NT_MISC	10.0	1.000	5.1	36.048	17.599	12.272	1.3
ST CW: ST CW	7-14	NT_MISC	90.0	1.000	31.1	9.332	0.000	3.887	0.1
ST LO SUMP: ST LO SUMP	20-20	NT_MISC	50.0	1.000	2.1	16.800	0.000	0.625	0.2
ST OIL STOR: ST OIL STOR	22-22	CONTENT_MISC	80.0	1.000	3.4	18.400	0.000	1.000	0.2
WASTE OIL 1: WASTE OIL 1	37-40	NT_MISC	10.0	1.000	2.9	31.244	-1.918	0.247	5.7
WASTE OIL 2: WASTE OIL 2	32-35	NT_MISC	10.0	1.000	1.7	26.833	-1.643	0.258	1.9
Total MISC					121.7	22.661	2.670	3.217	77.0

Lightweight					18900.5	109.962	0.000	12.059	0.0
Deadweight					108582.4	131.188	-0.005	12.200	127311.9
Total Displacement					127482.9	128.041	-0.004	12.179	127311.9
Buoyancy					127474.4	128.031	-0.009	7.948	1229557.8
Total Buoyancy					127474.4	128.031	-0.009	7.948	1229557.8

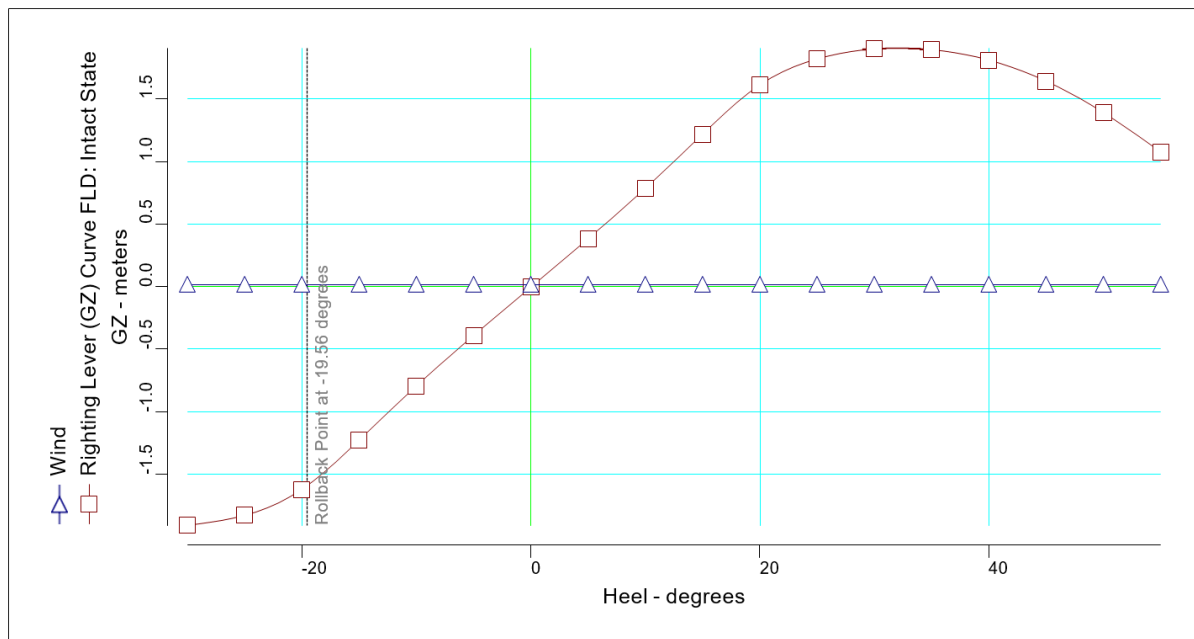
Πίνακας 7. Ανάλυση Εκτοπίσματος Κατάστασης FLD

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel to port	0.05	degrees
Trim by the stern	0.474	metres
KG	12.179	metres
FSC	0.999	metres
KGf	13.178	metres
GMt	4.415	metres
BMt	9.646	metres
BMI	299.950	metres
Waterplane area	9111.67	sq.metres
LCG	128.041	metres
LCB	128.031	metres
TCB	-0.009	metres
LCF	118.389	metres
TCF	-0.015	metres
TPC	93.577	tonnes/cm
MTC	1593.164	tonnes-m/cm

Πίνακας 8. Υδροστατικά Στοιχεία Κατάστασης FLD

Draft at LCF	15.202	metres
Draft aft at marks	15.436	metres
Draft fwd at marks	14.962	metres
Draft at AP	15.436	metres
Draft at FP	14.962	metres
Mean draft at midships	15.199	metres

Πίνακας 9. Βυθίσματα Κατάστασης FLD



Διάγραμμα 8: Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς Κατάστασης FLD

IMO 749 Intact Stability Criteria non -
passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.594	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.329	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.923	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	4.415	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	1.909	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	31.864	30.000
7	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel)	0.213	12.867
8	IMO Weather Criterion (Areas)	4.308	1.000

Πίνακας 10. Έλεγχος Κριτηρίων Άθικτης Ευστάθειας Κατάστασης FLD

5 Υπολογισμός αντίστασης, επιλογή κύριας μηχανής, σχεδίαση και επιλογή έλικας

5.1 Υπολογισμός αντίστασης

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς για την εκτίμηση της αντίστασης του υπό σχεδίαση σκάφους. Η απαίτηση του πλοιοκτήτη είναι μια ταχύτητα υπηρεσίας 14.5 κόμβων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι απαραίτητο να εκτιμήσουμε την αντίσταση που πρέπει να υπερνικήσει το σκάφος για ένα εύρος ταχυτήτων, τα χαρακτηριστικά της προωστήριας εγκατάστασης καθώς και την ισχύ που αυτή θα πρέπει να απορροφήσει.

Στο παρόν στάδιο σχεδιασμού έχουμε διαθέσιμα λεπτομερή υδροστατικά στοιχεία για τη γάστρα του υπό μελέτη σκάφους και τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε συστηματικές σειρές για να λάβουμε μια εκτίμηση της αντίστασης του. Συγκεκριμένα, γίνεται χρήση των παρακάτω μεθόδων για ένα εύρος ταχυτήτων που εκτείνεται από $V_s - 4 \text{ kn} = 10.5 \text{ kn}$, έως $V_s + 1 \text{ kn} = 15.5 \text{ kn}$:

- FORMDATA
- B.S.R.A.
- LAP-KELLER

5.1.1 Μέθοδος B.S.R.A.

Σύμφωνα με το φυλλάδιο Νο.4 “ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΣ ΜΕΘΟΔΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ B.S.R.A. ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ ΠΡΟΩΣΕΩΣ”, η, κατά B.S.R.A., εκτίμηση της αντίστασης του υπό μελέτη σκάφους περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συντελεστή αντίστασης © ενός πλοίου αναφοράς με συγκεκριμένη μορφή και την προσαρμογή/διόρθωση των αποτελεσμάτων για μια σειρά αποκλίσεων που αυτή η μορφή παρουσιάζει σε σχέση με το υπό μελέτη πλοίο. Οι διορθώσεις αυτές είναι πέντε στον αριθμό (δ1 έως δ5). Οι πρώτοι τρεις (δ1 έως δ3) αποτελούν συντελεστές με τους οποίους πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την αρχική μας εκτίμηση για τον συντελεστή ©, ενώ οι ακόλουθοι δύο προστίθενται στο παραπάνω γινόμενο.

Τα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος του υπό μελέτη πλοίου είναι τα παρακάτω:

- Βύθισμα σχεδίασης, $T_d = 15.2 \text{ m}$
- Συντελεστής Γάστρας, $CB = 0.81 (> 0.725)$

Σύμφωνα με τα παραπάνω το πλοίο αναφοράς θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μήκος μεταξύ καθέτων, $L_{pp} = 121.92 \text{ m}$
- Πλάτος, $B = 16.76 \text{ m}$
- Βύθισμα, $T = 6.71 \text{ m}$
- $LCB = +2\% \cdot L_{pp}$
- Βολβοειδής Πλώρη

Υπολογισμός συντελεστή ©

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα αναζητήσουμε την τιμή του συντελεστή © στα διαγράμματα 7α, 7β και 7γ για τιμή συντελεστή γάστρας $CB = 0.81$ και για το εύρος ταχυτήτων που έχουμε προδιαγράψει στην εισαγωγή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η ταχύτητα του πλοίου αναφοράς συνδέεται με την ταχύτητα του υπό μελέτη του πλοίου με τέτοιον τρόπο ώστε να υπάρχει ισότητα του συντελεστή Froude μεταξύ των δύο σκαφών σε κάθε ταχύτητα. Αυτό συνεπάγεται ότι οι ταχύτητες ενδιαφέροντος του πλοίου αναφοράς είναι ίσες με τις ταχύτητες του υπό μελέτη πλοίου επί τη τετραγωνική ρίζα του λόγου των μηκών των δύο πλοίων. Ο πίνακας 11 καταγράφει τις τιμές των ταχυτήτων των δύο πλοίων καθώς και τις τιμές του συντελεστή © όπως αυτές εκτιμήθηκαν από τα σχετικά διαγράμματα.

$V_{M/T}$ [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
$V_{\text{πλοίου}}$ [kn]	7.484	8.197	8.909	9.622	10.335	11.047
© πλοίου αναφοράς	0.698	0.7	0.69	0.688	0.685	0.692

Πίνακας 11: Ταχύτητες ενδιαφέροντος και συντελεστές ©

1. Διόρθωση διαφοράς λόγων B/T (δ_1)

Η παρούσα διόρθωση γίνεται καθώς η μέθοδος προδιαγράφει ότι αν το πλοίο αναφοράς και το υπό μελέτη πλοίο έχουν διαφορετικούς λόγους B/T πρέπει να υπάρξει μια προσαρμογή. Σύμφωνα, λοιπόν με το διάγραμμα 12 του σχετικού φυλλαδίου, τον συντελεστή γάστρας και τον λόγο B/T (2.7632) του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές διόρθωσης για όλες τις ταχύτητες:

δ_1	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
$\delta_1 \cdot \text{©}$	0.7189	0.7210	0.7107	0.7086	0.7056	0.7128

Πίνακας 12: Διόρθωση διαφοράς λόγων B/T για κάθε συντελεστή ©

2. Διόρθωση διαφοράς λόγων $L/\nabla^{1/3}$ (δ_2)

Η παρούσα διόρθωση γίνεται καθώς η μέθοδος προδιαγράφει ότι αν το πλοίο αναφοράς και το υπό μελέτη πλοίο έχουν διαφορετικούς λόγους $L/\nabla^{1/3}$ πρέπει να υπάρξει μια προσαρμογή.

Σύμφωνα, λοιπόν με το διάγραμμα 14 του σχετικού φυλλαδίου, τον συντελεστή γάστρας και τον λόγο $L/\nabla^{1/3}$ (4,8115) του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές διόρθωσης για όλες τις ταχύτητες:

δ_2	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
$\delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \text{©}$	0.7477	0.7498	0.7391	0.7370	0.7338	0.7413

Πίνακας 13: Διόρθωση διαφοράς λόγων $L/\nabla^{1/3}$ για κάθε συντελεστή ©

3. Διόρθωση διαφοράς διαμήκους κέντρου άντωσης (LCB) (δ_3)

Η παρούσα διόρθωση γίνεται καθώς η μέθοδος προδιαγράφει ότι αν το πλοίο αναφοράς και το υπό μελέτη πλοίο έχουν διαφορετικά διαμήκη κέντρα άντωσης (LCB), ως ποσοστά του μήκους μεταξύ καθέτων, πρέπει να υπάρξει μια προσαρμογή. Σύμφωνα, λοιπόν με τα διαγράμματα 19 και 20 του σχετικού φυλλαδίου, τον συντελεστή γάστρας και το LCB ($\delta_{LCB} = 3.671\% - 2.0\% = 1.671\%$) του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές διόρθωσης για όλες τις ταχύτητες:

δ_3	1.05	1.1	1.055	1.045	1.02	0.9
$\text{C}' = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot \text{C}$	0.7851	0.8248	0.7798	0.7701	0.7484	0.6671

Πίνακας 14: Διόρθωση διαφοράς LCB για κάθε συντελεστή ©

4. Διόρθωση διαφοράς μήκους μεταξύ καθέτων (LPP) (δ4)

Η παρούσα διόρθωση γίνεται καθώς η μέθοδος προδιαγράφει ότι αν το πλοίο αναφοράς και το υπό μελέτη πλοίο έχουν διαφορετικά μήκη μεταξύ καθέτων (LPP), πρέπει να υπάρξει μια προσαρμογή.

Σύμφωνα, λοιπόν με τα διαγράμματα 29 του σχετικού φυλλαδίου, τον συντελεστή βρεχόμενης επιφάνειας S και το LPP (LPP = 240 m) του υπό μελέτη πλοίου, λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές διόρθωσης για όλες τις ταχύτητες:

δ_4	-0.040	-0.036	-0.032	-0.028	-0.024	-0.020
$\text{C}'' = \text{C}' + \delta_4$	0.7451	0.7888	0.7478	0.7421	0.7244	0.6471

Πίνακας 15: Διόρθωση διαφοράς LPP για κάθε συντελεστή ©

Ο συντελεστής βρεχόμενης επιφάνειας S υπολογίζεται ως:

$$S = 1.88 + 0.941 CB + 0.766 (L/\nabla^{1/3}) - 0.086 (L/B) = 5.8364$$

5. Διόρθωση διαφοράς © κατά Froude και γραμμών I.T.T.C. (δ5)

Η παρούσα διόρθωση γίνεται καθώς η μέθοδος προδιαγράφει ότι υπάρχει διαφορά της τιμής του συντελεστή © κατά Froude και των γραμμών της I.T.T.C, και πρέπει να υπάρξει μια προσαρμογή.

Σύμφωνα, λοιπόν με τα διαγράμματα 30 του σχετικού φυλλαδίου, τον συντελεστή βρεχόμενης επιφάνειας S και την ταχύτητα V του πλοίου αναφοράς, λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές διόρθωσης για όλες τις ταχύτητες:

δ_5	-0.131	-0.1278	-0.1246	-0.1214	-0.1182	-0.115
$\text{C}''' = \text{C}'' + \delta_5$	0.6141	0.6610	0.6232	0.6207	0.6062	0.5321
$\text{C}_{M/T}$	0.6141	0.6610	0.6232	0.6207	0.6062	0.5321

Πίνακας 16: Διόρθωση διαφοράς Froude-ITTC για κάθε συντελεστή ©

Συνολική εκτίμηση © και αντίστασης κατά B.S.R.A

Η συνολική εκτίμηση για τον συντελεστή αντίστασης Froude κατά B.S.R.A δίνεται αν συνδυάσουμε την αρχική μας εκτίμηση με τις πέντε διορθώσεις που λάβαμε για τις διάφορες αποκλίσεις που ορίζει η μέθοδος.

$$C_{final} = (C_{\delta 1} \delta 2 \delta 3) + \delta 4 + \delta 5$$

V_{M/T} [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
C_{M/T}	0.6141	0.6610	0.6232	0.6207	0.6062	0.5321

Πίνακας 17: Τελική εκτίμηση συντελεστή αντίστασης C κατά B.S.R.A

Ο συντελεστής αυτός συνδέεται με την αντίσταση πρόωσης R_T [kp] όπως ορίζει η ακόλουθη σχέση:

$$R_T = C \cdot \frac{\pi}{250} \cdot \rho_{sw,15^\circ C} \cdot V_s^2 \cdot \nabla^{2/3}$$

Όπου:

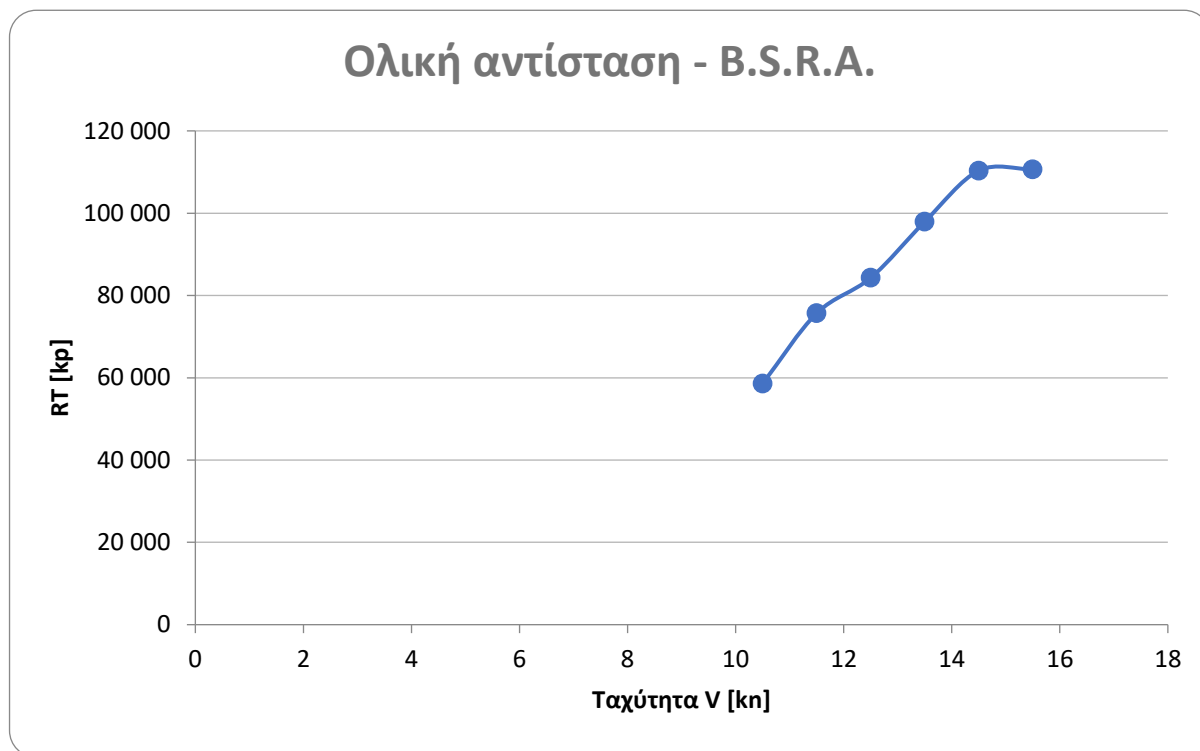
- ρ_{sw,15°C}, είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού στους 15°C
- V_S, είναι η ταχύτητα υπηρεσίας του υπό μελέτη πλοίου σε m/s
- Όλα τα παραπάνω μεγέθη λαμβάνουν τιμές στο ίδιο σύστημα μονάδων. Αντίστοιχα η ισχύς ρυμούλκησης του υπό μελέτη σκάφους υπολογίζεται σε ίππους [PS], είναι ίση με:

$$E.H.P. = \frac{R_T \cdot V_s}{75}$$

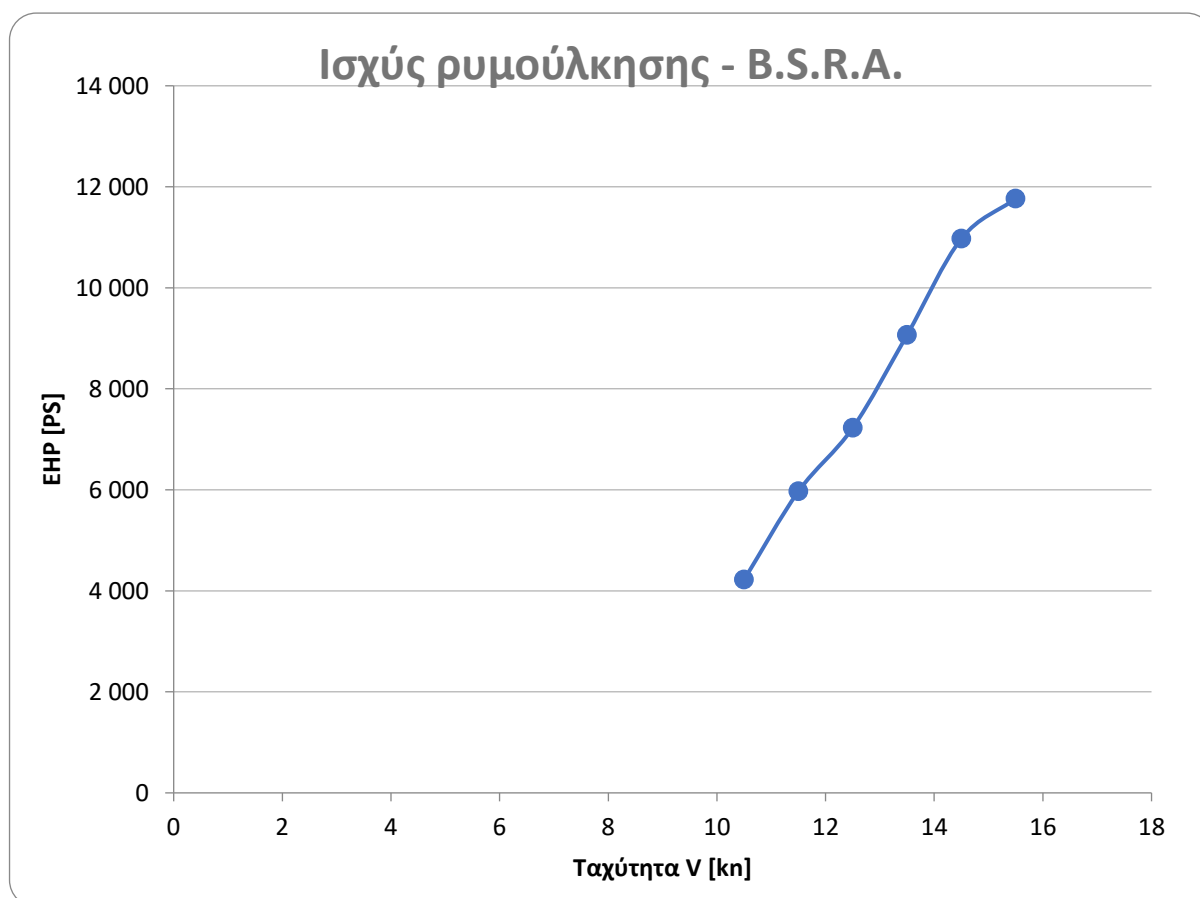
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το εύρος των ταχυτήτων που εξετάζεται στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται στον πίνακα 8 καθώς και στα διαγράμματα 1 και 2.

V_{M/T} [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
C_{M/T}	0.6141	0.6610	0.6232	0.6207	0.6062	0.5321
R_T [kp]=	58 604	75 672	84 286	97 928	110 334	110 666
EHP [PS]=	4 221	5 969	7 227	9 068	10 974	11 766
EHP [kW]=	3 104	4 390	5 315	6 670	8 071	8 654

Πίνακας 18: Τελική εκτίμηση αντίστασης πρόωσης και ισχύος ρυμούλκησης κατά B.S.R.A



Διάγραμμα 9: Τελική εκτίμηση αντίστασης πρόωσης κατά B.S.R.A



Διάγραμμα 10: Τελική εκτίμηση ισχύος ρυμούλκησης κατά B.S.R.A

5.1.2 Μέθοδος LAP- KELLER

Σύμφωνα με τη μέθοδο LAP-KELLER, η συνολική αντίσταση του πλοίου αποτελείται από τη αντίσταση τριβής R_F , και τις υπόλοιπες αντιστάσεις R_R . Οι δύο παραπάνω συνιστώσες της αντίστασης λαμβάνονται για το υπό μελέτη πλοίο αφού πρώτα διορθωθούν με βάση κάποιους συντελεστές, η χρήση των οποίων γίνεται για την διόρθωση τις επίδρασης κάποιων γεωμετρικών λόγων του σκάφους.

Η αντίσταση τριβής ορίζεται ως εξής:

$$R_F = (C_F + C_A) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{sw,15^\circ C} \cdot V_S^2 \cdot S$$

Όπου:

- C_F , είναι ο συντελεστής τριβής κατά Lap-Keller και λαμβάνεται ως συνάρτηση του γινομένου V επί L_d , με L_d , ίσο είτε με το $1.01 \text{ LBP} = 242.4 \text{ m}$, είτε με LWL . Εν προκειμένω, έχουμε $L_d = 1.01 \text{ LBP} = 246.642 \text{ m}$.
- C_A , είναι ο συντελεστής συσχέτισης, οποίος λαμβάνεται σα συνάρτηση του μήκους του υπό μελέτη σκάφους.
- $\rho_{sw,15^\circ C}$, είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού στους $15^\circ C$.
- V_S , είναι η ταχύτητα υπηρεσίας του σκάφους.
- S , είναι η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου υπολογιζόμενη σύμφωνα με τη μέθοδο από τον παρακάτω τύπο:

$$S = (3.4 \nabla^{1/3} + 0.5 L_d) \nabla^{1/3}$$

Αντίστοιχα, οι λοιπές αντιστάσεις ορίζονται ως εξής:

$$R_R = \zeta_r \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{sw,15^\circ C} \cdot V_S^2 \cdot A_M$$

Όπου:

- A_M , είναι η επιφάνεια της μέσης τομής του σκάφους σε τετραγωνικά μέτρα (m^2).
- ζ_r , είναι ο συντελεστής υπολοίπων αντιστάσεων.
- C_{pd} , είναι ο πρισματικός συντελεστής, ορισμένος με βάση το μήκος L_d , αντί του L_{BP} .

Αντίσταση Τριβής R_F

Για τον υπολογισμό της αντίστασης τριβής κατά LAP-KELLER, είναι απαραίτητη η εκτίμηση των συντελεστών C_F , C_A καθώς και της βρεχόμενης επιφάνειας S . Ο συντελεστής C_F λαμβάνεται από το διάγραμμα 8 του σχετικού φυλλαδίου για μια σειρά από γινόμενα V (σε κόμβους) επί L_d (σε μέτρα):

$V [kn] \cdot L_d \cdot 10^{-3}$	2.545	2.788	3.030	3.272	3.515	3.757
$10^3 \cdot C_F =$	1.51	1.496	1.482	1.468	1.454	1.44

Πίνακας 19: Εκτίμηση συντελεστή αντίστασης τριβής C_F

Ο συντελεστής C_d λαμβάνει τιμή ίση με 0.0001 από τον πίνακα 1 του σχετικού φυλλαδίου για μήκος πλοίου $210 \text{ m} < L < 260 \text{ m}$

Τέλος, η κατά LAP-KELLER βρεχόμενη επιφάνεια, υπολογίζεται ως:

$$S = (3.4 \nabla^{1/3} + 0.5 L_d) \nabla^{1/3} = 14504.878 \text{ m}^2$$

Σε αντιδιαστολή, η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας τους υπό σχεδίαση σκάφους όπως αυτή υπολογίσθηκε στο 7ο ερώτημα του μαθήματος, είναι ίση με:

$$WSA = 15225.460 \text{ m}^2$$

Η συνολική αντίσταση τριβής για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 10):

$V_{M/T}$ [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
RF =	35640.4	42380.5	49632.3	57378.8	65603.2	74288.6

Πίνακας 20: Συνολική εκτίμηση αντίστασης τριβής RF

Υπόλοιπες Αντιστάσεις R_R

Για τον υπολογισμό των υπολοίπων αντιστάσεων κατά LAP-KELLER, είναι απαραίτητη η εκτίμηση των συντελεστών ζ καθώς και CPD. Ο συντελεστής ζ λαμβάνεται από το διάγραμμα 2 του σχετικού φυλλαδίου, καθώς το πλοίο μας είναι κατηγορίας A, για μια σειρά από ταχύτητες V και συντελεστή CP = 0.8175:

$V/((C_{pd} \cdot L_d)^{1/2}) =$	0.385	0.422	0.459	0.496	0.532	0.569
$\zeta_R =$	0.021	0.0215	0.022	0.0225	0.025	0.026

Πίνακας 21: Εκτίμηση συντελεστή αντίστασης τριβής CF

Η επιφάνεια μέσης τομής AM του υπό μελέτη σκάφους υπολογίζεται ίση με 632.016 m².

Συνολική Εκτίμηση Αντίστασης, R_T , κατά LAP-KELLER

Η συνολική αντίσταση του υπό μελέτη σκάφους υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_T = (R_F + R_R \cdot k_1) \cdot k_2$$

Όπου:

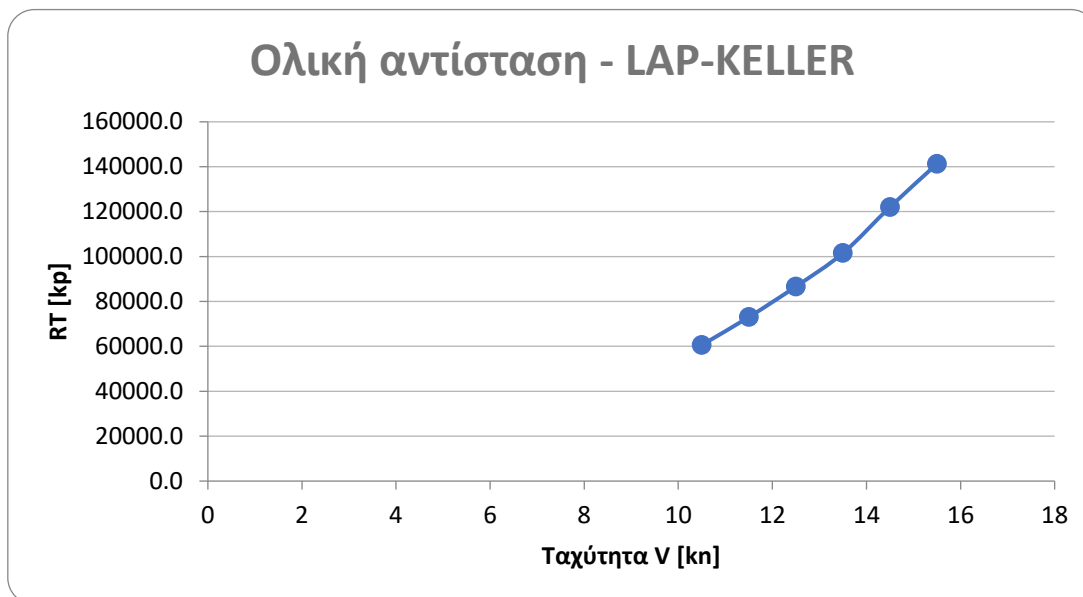
- k_1 , συντελεστής διόρθωσης για την επίδραση του λόγου L/B, στην περίπτωση μας ίσος με 1.1800. Η τιμή του εν λόγω συντελεστή λαμβάνεται από το σχήμα 7 του σχετικού φυλλαδίου σύμφωνα με το λόγο L/B του υπό μελέτη σκάφους.
- k_2 , συντελεστής διόρθωσης για την επίδραση του λόγου B/H, η τιμή του οποίου λαμβάνεται από τον ακόλουθο τύπο: $k_2 = 1.0 + 0.05 (B/T - 2.4)$. Στην περίπτωση μας υπολογίζεται ίσος με 1.018.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω και με τις οδηγίες της μεθόδου, οι τιμές που λαμβάνει η συνολική αντίσταση για το εύρος των ταχυτήτων ενδιαφέροντος αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 22).

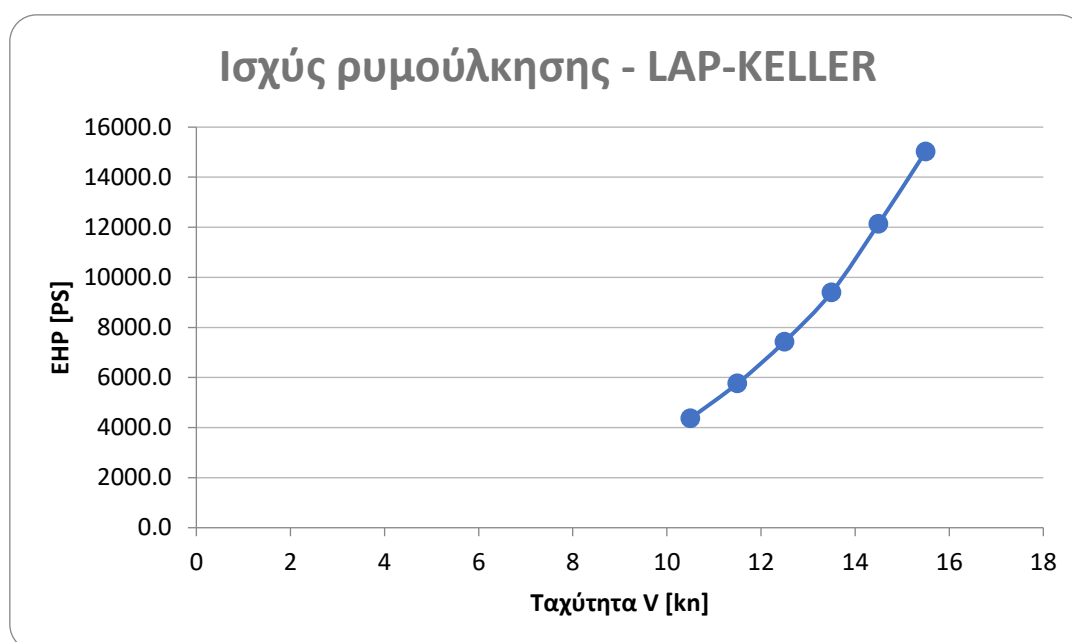
$V_{M/T}$ [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Υπολογισμός ολικής αντίστασης τριβής R_T						
R_T [kP] =	60623.4	73037.1	86665.5	101522.9	122043.5	141295.2
Υπολογισμός ισχύος ρυμούλκησης EHP						
EHP [PS]=	4366.2	5761.2	7430.7	9400.9	12138.3	15022.2
EHP [kW]=	3211.3	4237.4	5465.3	6914.4	8927.7	11048.8

Πίνακας 22: Εκτίμηση συνολικής αντίστασης και ισχύος ρυμούλκησης κατά LAP-KELLER

Διάγραμμα 11: Τελική εκτίμηση αντίστασης πρόωσης κατά LAP-KELLER



Διάγραμμα 12: Τελική εκτίμηση ισχύος ρυμούλκησης κατά LAP-KELLER



5.1.3 Μέθοδος FORMDATA

Σύμφωνα με τη μέθοδο FORMDATA, η συνολική αντίσταση του πλοίου υπολογίζεται με βάση τον συντελεστή ολικής αντίστασης CT. Ο συντελεστής αυτός συντίθεται από τον συντελεστή αντίστασης τριβής CF, ο οποίος υπολογίζεται από τη γραμμή της I.T.T.C. του 1957 και τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR ο οποίος λαμβάνεται από διαγράμματα πειραματικών δεδομένων. Οι δύο παραπάνω συνιστώσες της αντίστασης λαμβάνονται για το υπό μελέτη πλοίο αφού πρώτα διορθωθούν με βάση κάποιους συντελεστές, η χρήση των οποίων γίνεται για την διόρθωση της επίδρασης κάποιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σκάφους.

Συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης CR

Για την αρχική εκτίμηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR, γίνεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 1 έως 9 του σχετικού φυλλαδίου και με βάση τα παρακάτω στοιχεία:

- Τον λόγο $L / \nabla^{1/3}$ του υπό μελέτη σκάφους. Στην περίπτωση μας λαμβάνει την τιμή 4.8115.
- Τον πρισματικό συντελεστή CP του υπό μελέτη σκάφους, ίσος με 0.8175.
- Τον αριθμό Froude $F_n = V / (g L)^{1/2}$ για ένα εύρος ταχυτήτων ενδιαφέροντος. Οι τιμές του αριθμού Froude για τις ταχύτητες που εξετάζονται στην παρούσα αναφορά αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 23):

$V_{M/T}$ [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644

Πίνακας 23: Τιμές αριθμού Froude

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω στοιχεία η αρχική μας εκτίμηση για τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR για κάθε μια από τις ταχύτητες ενδιαφέροντος αναγράφεται στον πίνακα 14:

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$[10^3 \cdot C_R]_1 =$	0.62	0.65	0.7	0.75	0.91	0.92

Πίνακας 24: Αρχική εκτίμηση συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR

Η αρχική αυτή εκτίμηση αντιστοιχεί στον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης πλοίου με πρότυπα χαρακτηριστικά (LCB, B/H, μη ύπαρξη βολβού κ.λ.π.). Στην περίπτωση του υπό σχεδίαση σκάφους, παρουσιάζονται κάποιες αποκλίσεις από την πρότυπη μορφή σκάφους της μεθόδου. Για το λόγο αυτό, πρέπει να γίνουν κάποιες διορθώσεις στην αρχική εκτίμηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.

1. Διόρθωση για διαφορετικό λόγο B / H (δ_1)

Η μέθοδος ορίζει ότι για πλοία των οποίων η τιμή του λόγου B / H λαμβάνει τιμές διάφορες του 2.5 πρέπει να γίνει μια διόρθωση του συντελεστή ίση με:

$$\delta_1 = 0.16 (B/H - 2.5) = 0.0421$$

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$[10^3 \cdot C_R]_2 =$	0.6621	0.6921	0.7421	0.7921	0.9521	0.9621

Πίνακας 25: Διόρθωση συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR για διαφορετικό λόγο B/H

2. Διόρθωση για διαφορετική θέση LCB (δ2)

Για θέση του LCB διαφορετική από την πρότυπη ($LCB_{standard}$), ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης διορθώνεται περαιτέρω κατά δ_2 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$10^3 \cdot C_R = 10^3 \cdot C_{R(standard)} + \frac{\partial 10^3 C_R}{\partial LCB} \cdot \Delta LCB$$

Όπου:

- ΔLCB είναι η διαφορά ανάμεσα στη πρότυπη θέση του LCB ($LCB_{standard}$) και την πραγματική του θέση ως ποσοστό του μήκους ισάλου L.
- $LCB_{standard}$ είναι η πρότυπη θέση του LCB και λαμβάνεται σαν συνάρτηση του αριθμού Froude από το διάγραμμα 10 του σχετικού φυλλαδίου.
- $\partial 10^3 \cdot C_R / \partial LCB$, είναι ένας παράγοντας που λαμβάνεται από το διάγραμμα 11 του σχετικού φυλλαδίου σαν συνάρτηση του αριθμού Froude και του C_p .

Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 16):

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$LCB_{standard} =$	3.50	3.10	2.70	2.30	1.90	1.50
$\partial 10^3 \cdot C_R / \partial LCB =$	0.0250	0.0280	0.0310	0.0340	0.0370	0.0400
$[10^3 \cdot C_R]_3 =$	0.6667	0.7085	0.7727	0.8392	1.0182	1.0495

Πίνακας 26: Διόρθωση συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR για διαφορά στο LCB

3. Διόρθωση λόγω βολβοειδούς πλώρης (δ3)

Η διόρθωση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για την ύπαρξη βολβού στην μορφή της πλώρης σχετίζεται με την επιφάνεια του βολβού στην πρωραία κάθετο $ABT = 224 \text{ m}^2$. Ο λόγος της επιφάνειας αυτής προς την επιφάνεια της μέσης τομής του υπό μελέτη σκάφους, ξεπερνά το όριο που θέτει η μέθοδος FORMDATA καθώς $ABT / AM = 0.354$. Κατά συνέπεια, η διόρθωση δεν είναι ανάλογη του λόγου αυτού, αλλά λαμβάνεται από τον πίνακα της σελίδας 3 του σχετικού φυλλαδίου. Οι τιμές της διόρθωσης λήφθηκαν μέσω γραμμικής παρεμβολής από τα στοιχεία του πίνακα.

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$\delta(103 \cdot CR) =$	0.234	0.200	0.165353	0.131129	0.0984	0.0445
$[103 \cdot CR]_4 =$	0.9005	0.9081	0.9380	0.9703	1.1166	1.0940

Πίνακας 27: Διόρθωση συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης CR λόγω βολβοειδούς πλώρης

4. Διόρθωση λόγω αντίστασης αέρα και πηδαλιουχίσεως (δ4)

Η διόρθωση που προτείνεται, από τη μέθοδο, για την αντίσταση αέρα είναι η προσαύξηση του συντελεστή CR ($\times 103$) κατά 0.07. Η αντίστοιχη προσαύξηση της διόρθωσης λόγω αντίστασης πηδαλιουχίσεως είναι ίση με 0.04.

Συντελεστής Αντίστασης Τριβής C_F

Ο συντελεστής αντίστασης τριβής C_F υπολογίζεται από τη γραμμή της I.T.T.C. του 1957

σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

Κατά συνέπεια, οι τιμές του συντελεστή για το εύρος των ταχυτήτων που εξετάζουμε είναι οι ακόλουθες:

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$Rn =$	1.09E-03	1.19E-03	1.30E-03	1.40E-03	1.51E-03	1.61E-03
$[10^3 \cdot C_F]_1 =$	3.0459	3.0950	3.1410	3.1844	3.2256	3.2647

Πίνακας 28: Αρχική εκτίμηση συντελεστή αντίστασης τριβής C_F

Ο συντελεστής αυτός, σύμφωνα με τη μέθοδο, πρέπει να διορθωθεί και αυτός κατά έναν συντελεστή συσχέτισης C_A , ο οποίος λαμβάνεται μέσω γραμμικής παρεμβολής από τα στοιχεία του σχετικού φυλλαδίου για μήκος ισάλου ίσο με $L_{WL} = 244,2$ m και προστίθεται στην αρχική εκτίμηση μας. Η τιμή του συντελεστή αυτού είναι ίση με $C_A = -0.2220$.

Τέλος ο συντελεστής αυτός διορθώνεται με έναν παράγοντα που εκφράζει την προσαύξηση της βρεχόμενης επιφάνειας λόγω ύπαρξης παρελκομένων. Ο παράγοντας αυτός είναι ίσος με το λόγο S_1 / S , όπου S είναι η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας του σκάφους, ενώ S_1 είναι η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας και των παρελκομένων. Για την περίπτωση μας $S_1 / S = 1.006$.

Ο τελικός συντελεστής αντίστασης τριβής κατά FORMDATA λαμβάνει την παρακάτω τιμή:

$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$10^3 \cdot C_A =$	-0.2220	-0.2220	-0.2220	-0.2220	-0.2220	-0.2220
$[10^3 \cdot C_F]_2 =$	2.8239	2.8730	2.9190	2.9624	3.0036	3.0427

Πίνακας 29: Αρχική εκτίμηση συντελεστή αντίστασης τριβής C_F

Συνολική Εκτίμηση Αντίστασης, R_T , κατά FORMDATA

Η συνολική εκτίμηση της μεθόδου για τον συντελεστή αντίστασης C_T , προκύπτει από το άθροισμα των δύο επιμέρους συντελεστών C_R και C_F . Αντίστοιχα, η εκτίμηση της δύναμης αντίστασης και της ισχύος ρυμούλκησης κατά FORMDATA, προκύπτει από τους παρακάτω τύπους:

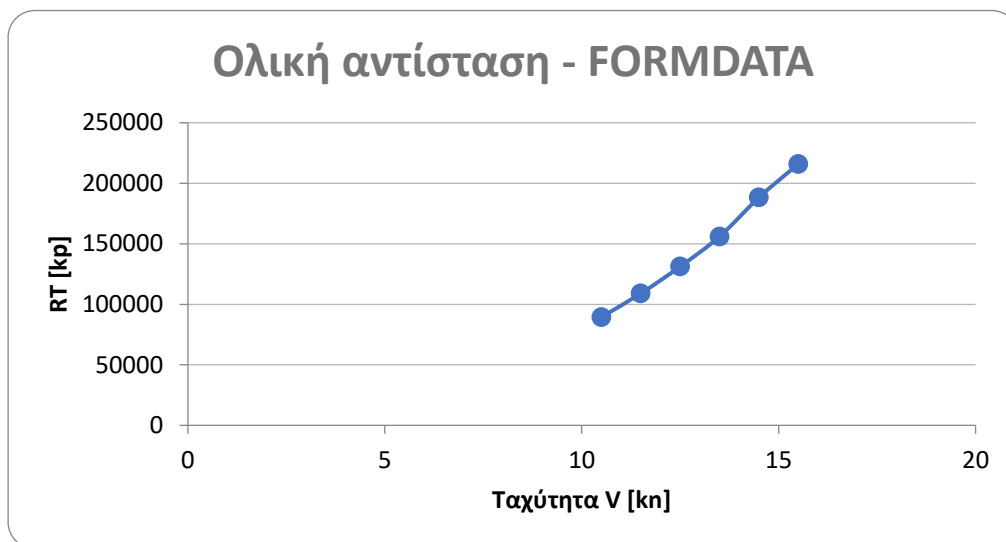
$$R_T = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{sw,15^\circ C} \cdot V_s^2 \cdot S$$

$$E.H.P. = \frac{R_T \cdot V_s}{75}$$

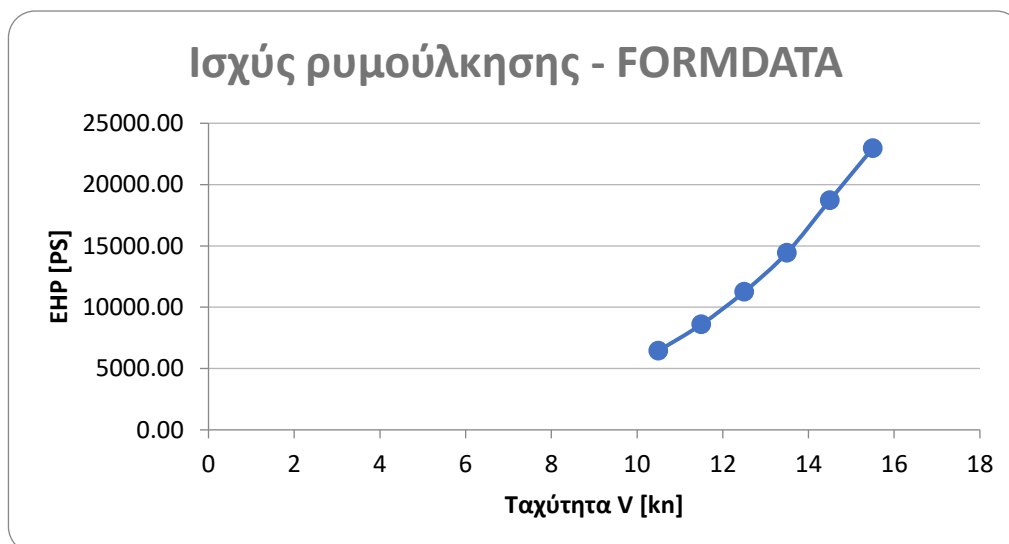
Κατά συνέπεια, η εκτίμηση της μεθόδου για τα παραπάνω μεγέθη συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 30) και τα αντίστοιχα διαγράμματα (διαγράμματα 5 κ 6).

$V_{M/T}$ [kn]	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
$F_n =$	0.1113	0.1219	0.1325	0.1432	0.1538	0.1644
$[103 \cdot CT]^2 =$	3.8523	3.9092	3.9855	4.0615	4.2491	4.2659
RT [kp]=	89514	108963	131248	156008	188289	216007
EHP [PS]=	6446.91	8595.05	11253.20	14446.19	18726.97	22965.31
EHP [kW]=	4741.70	6321.65	8276.72	10625.16	13773.66	16890.96

Πίνακας 30: Τελική εκτίμηση αντίστασης κατά FORMDATA



Διάγραμμα 13: Τελική εκτίμηση αντίστασης πρόωσης κατά FORMDATA



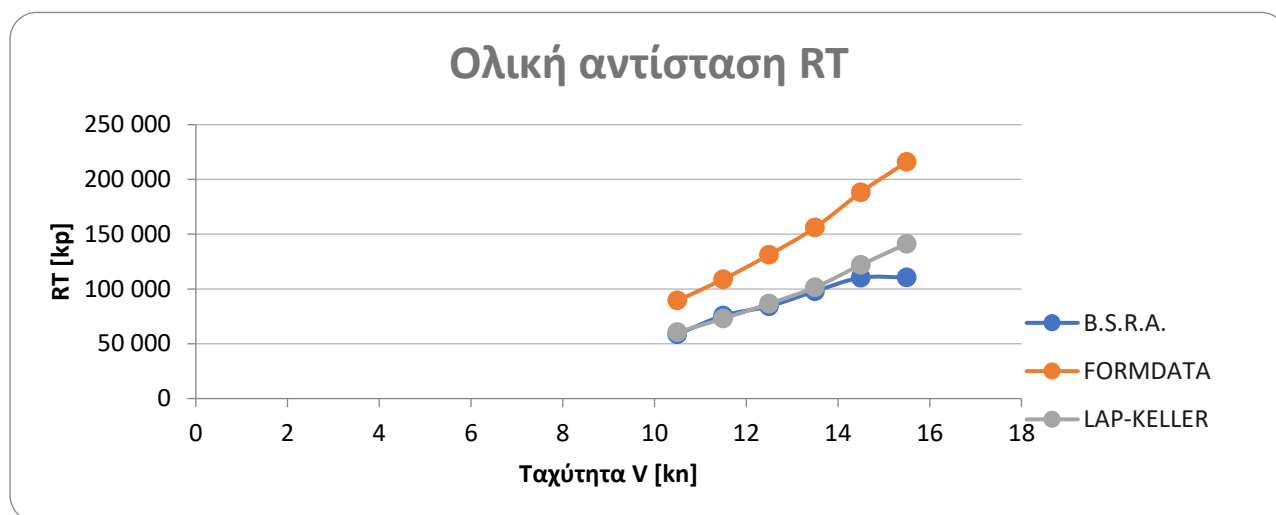
Διάγραμμα 14: Τελική εκτίμηση ισχύος ρυμούλκησης κατά FORMDATA

5.1.4 Αντίσταση πρόωσης R_T και ισχύς ρυμούλκησης E.H.P.

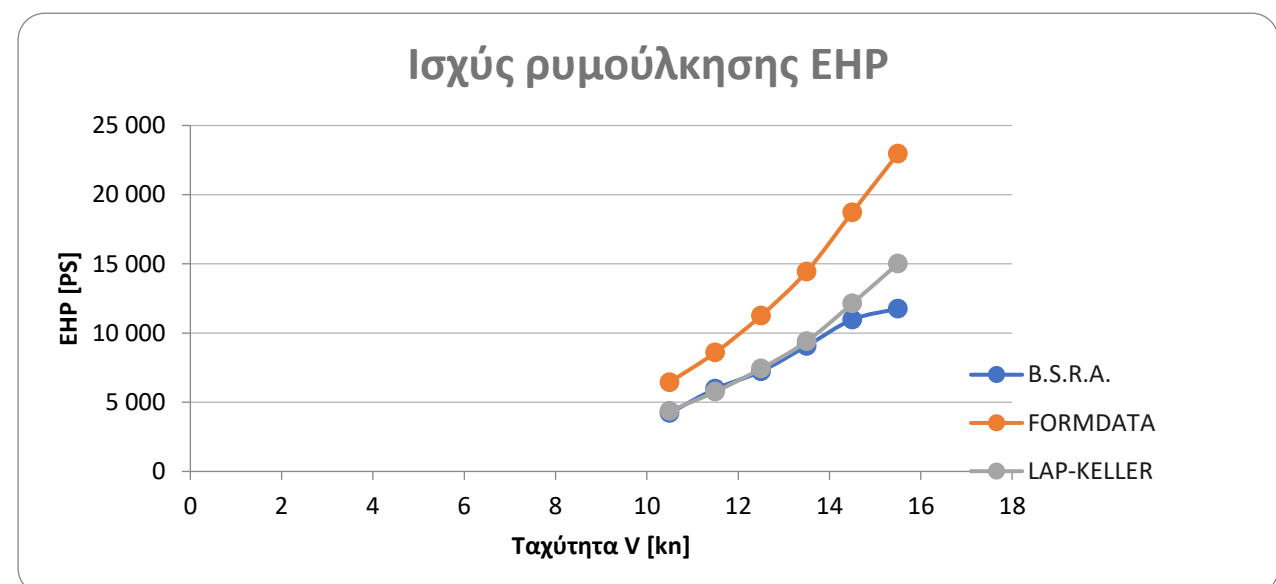
Η εκτίμηση της αντίστασης πρόωσης του υπό μελέτη σκάφους έγινε με βάση τρεις ξεχωριστές μεθόδους στο προηγούμενο μέρος της παρούσας έκθεσης. Τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών συνοψίζονται στον πίνακα 22 καθώς και στα διαγράμματα 7 και 8.

V [kn]	R_T [kP]			EHP [PS]		
	FORMDATA	LAP-KELLER	B.S.R.A.	FORMDATA	LAP-KELLER	B.S.R.A.
10.5	89 514	60 623	58 604	6 447	4 366	4 221
11.5	108 963	73 037	75 672	8 595	5 761	5 969
12.5	131 248	86 666	84 286	11 253	7 431	7 227
13.5	156 008	101 523	97 928	14 446	9 401	9 068
14.5	188 289	122 043	110 334	18 727	12 138	10 974
15.5	216 007	141 295	110 666	22 965	15 022	11 766

Πίνακας 31: Εκτίμηση αντίστασης πρόωσης και ισχύος ρυμούλκησης



Διάγραμμα 15: Εκτίμηση αντίστασης πρόωσης των τριών μεθόδων



Διάγραμμα 16: Εκτίμηση ισχύος ρυμούλκησης των τριών μεθόδων

Από τα διαγράμματα σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων εκτίμησης της αντίστασης γίνεται σαφές ότι η μέθοδος FORMDATA υπερεκτιμά την αντίσταση του υπό μελέτη σκάφους, ειδικά στο άνω άκρο του διαστήματος των ταχυτήτων που εξετάζονται στην παρούσα έκθεση, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας υπηρεσίας. Ως εκ τούτου, επιλέγουμε να αγνοήσουμε τα αποτελέσματα της εν λόγω μεθόδου και να λάβουμε ως μέτρο για την αντίσταση τον μέσο όρο μόνο των άλλων δύο μεθόδων (πίνακας 32).

5.2 Επιλογή έλικας

Σε αυτή τη φάση της μελέτης της πρόωσης του υπό σχεδίαση πλοίου, θα γίνει εκτίμηση της/ώσης που πρέπει να παράξει η έλικα του, θα υπολογισθούν οι κύριες διαστάσεις και τα λοιπά χαρακτηριστικά της έλικας και του αξονικού συστήματος, καθώς και θα γίνει επιλογή κύριας μηχανής.

1. Διάμετρος και αριθμός πτερυγίων Έλικας

Από όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της έλικας του πλοίου μπορούμε να θέσουμε κάποιους αρχικούς περιορισμούς στη διάμετρο. Οι περιορισμοί της MARPOL ορίζουν ότι η έλικα ενός πλοίου μεταφοράς αργού πετρελαίου πρέπει να είναι πλήρως βυθισμένη σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Από τις καταστάσεις που έχουμε ήδη μελετήσει, το μικρότερο βύθισμα παρουσιάζεται στην κατάσταση Ballast Arrival.

Το βύθισμα του σκάφους στο πρυμναίο άκρο, σε αυτή την κατάσταση είναι ίσο με $TAP, BA = 8.5$ m. Αντίστοιχα η διάμετρος της έλικας του πατρικού σκάφους είναι ίση με 8.2 m. Κατά συνέπεια επιλέγεται για το υπό σχεδίαση σκάφος έλικα διαμέτρου **DP = 8.146 m**.

Ελλείψει άλλων περιορισμών για τον αριθμό των πτερυγίων της έλικας, επιλέγεται αριθμός ίσος με αυτόν του πατρικού. Συνεπώς **z = 4**.

2. Ποσοστό ομόρου W

Με βάση εμπειρικές σχέσης της σχετικής βιβλιογραφίας (Kruger, Hecksher, Troost), υπολογίζεται το ποσοστό ομόρου ως:

- Kruger: $w = 0.75 CB - 0.24 = 0.3675$
- Hecksher: $w = 0.7 CP - 0.18 = 0.3923$
- Troost: $w = 0.25 + 2.5 (CB - 0.6)^2 = 0.3603$

Σαν εκτίμηση για το ποσοστό ομόρου λαμβάνουμε το μέσο όρο των τριών παραπάνω τιμών. Συνεπώς **w = 0.3733**

3. Συντελεστής μείωσης ώσης t

Με βάση εμπειρικές σχέσης της σχετικής βιβλιογραφίας (S.S.P.A., Hecksher, Danckwardt), υπολογίζεται ο συντελεστής μείωσης ώσης ως:

- S.S.P.A.: $t = w (1.57 - CB (2.3 - 1.5 CWL) / (CWL)) = 0.2959$
- Hecksher: $t = 0.5 CP - 0.12 = 0.2888$
- Danckwardt: $t = 0.5 CB - 0.15 = 0.2550$

Σαν εκτίμηση για τον συντελεστή μείωσης ώσης λαμβάνουμε το μέσο όρο των τριών παραπάνω τιμών. Συνεπώς **t = 0.2798**

4. Βαθμός απόδοσης αξονικού συστήματος η_S

Η μετάδοση ισχύος από την κύρια μηχανή έως την έλικα του σκάφους γίνεται μέσω του άξονα. Η στήριξη του άξονα σε διάφορα έδρανα κατά το μήκος του και οι τριβή που λαμβάνει χώρα σε αυτά εισάγουν κάποιες απώλειες στη μετάδοση της ισχύος. Μια ευρέως διαδεδομένη εκτίμηση για το βαθμό απόδοσης του αξονικού συστήματος είναι η παρακάτω:

$$\eta_S = 0.99$$

5. Βαθμός απόδοσης γάστρας

Ο βαθμός απόδοσης της γάστρας συναρτήσεται του συντελεστή μείωσης ώσης και του ποσοστού ομόρου υπολογίζεται ακολούθως:

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

$$\eta_H = 1.1491$$

6. Ταχύτητα προχώρησης V_A

Η έλικα αντιλαμβάνεται την επερχόμενη ροή με μια ταχύτητα διαφορετική από την ταχύτητα υπηρεσίας. Η ταχύτητα πρόσπτωσης της επερχόμενης ροής όπως την αντιλαμβάνεται η έλικα ονομάζεται ταχύτητα προχώρησης V_A και υπολογίζεται ως:

$$V_A = V_S(1 - w) = 4.4645 \text{ m / sec}$$

7. Αναπτυσσόμενη ώση έλικας T

Η ώση που καλείται να αναπτύξει η έλικα, με βάση την εκτίμηση μας για την αντίσταση ρυμούγκησης R_T στην ταχύτητα υπηρεσίας και τον συντελεστή μείωσης ώσης, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$T = \frac{R_T}{1 - t}$$

Κατά συνέπεια $T = 194,718.2 \text{ kp}$

8. Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας έλικας A_E / A_0

Με βάση τη σχέση του Keller, υπολογίζεται ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας της έλικας, ως:

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot z) \cdot T}{(p_0 - p_{v(s.w.15^\circ C)}) \cdot D^2} + k$$

Όπου:

- p_0 , είναι η ολική πίεση στο βύθισμα του άξονα και είναι ίση με $p_a + \rho g h$, για p_a ατμοσφαιρική πίεση και h απόσταση του κέντρου του άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας.
- $p_v (s.w.15^\circ C)$, είναι η πίεση ατμοποίησης του θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία $15^\circ C$
- k , είναι μια σταθερά που λαμβάνει τιμές μεταξύ του 0 (για πολεμικά πλοία με πρύμνη άβακος) και 2 (για γρήγορα μονέλικα πλοία).

Η τιμή που λαμβάνουμε με βάση τον παραπάνω τύπο είναι ίση με $0.3421 + k$. Τα κριτήρια επιλογής τιμής λόγω εκτεταμένης επιφάνειας σχετίζονται με την αύξηση του βαθμού απόδοσης και την μείωση της έκτασης της σπηλαίωσης. Ένας συμβιβασμός ανάμεσα σε αυτές τις αντικρουόμενες απαιτήσεις είναι αναγκαίος.

Επιλέγουμε μια προτυποποιημένη τιμή από τις συστηματικές σειρές ελίκων Wagenigen-B για τον λόγο εκτεταμένης επιφάνειας:

$$A_E / A_0 = 0.40$$

9. Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R

Για μονέλικο πλοία, ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 \cdot \frac{A_E}{A_0} + 0.07424 \cdot \left[C_P - 0.0225 \cdot \left(LCB - \frac{L_{BP}}{2} \right) \right]$$

$$\eta_R = 1.0148$$

10. Υπολογισμός λοιπων χαρακτηριστικών έλικας

Προκειμένου να επιτευχθεί ο μέγιστος δυνατός βαθμός απόδοσης και αντίστοιχα να ελαχιστοποιηθεί η αποροφώμενη, από το αξονικό σύστημα, ισχύς, αξιοποιούμε τον κώδικα GRID.F95 για να επιλέξουμε, από το πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών που εξάγει, τις παραμέτρους σχεδίασης της έλικας που υπολείπονται.

Ο κώδικας εκτελείται με βάση τα παρακάτω δεδομένα:

D_P	8.146
z	4
A_E / A₀	0.40
V_S	14.5 kn
w	0.3733
t	0.2798
R_T	194,718.2 kp
η_R	1.0148

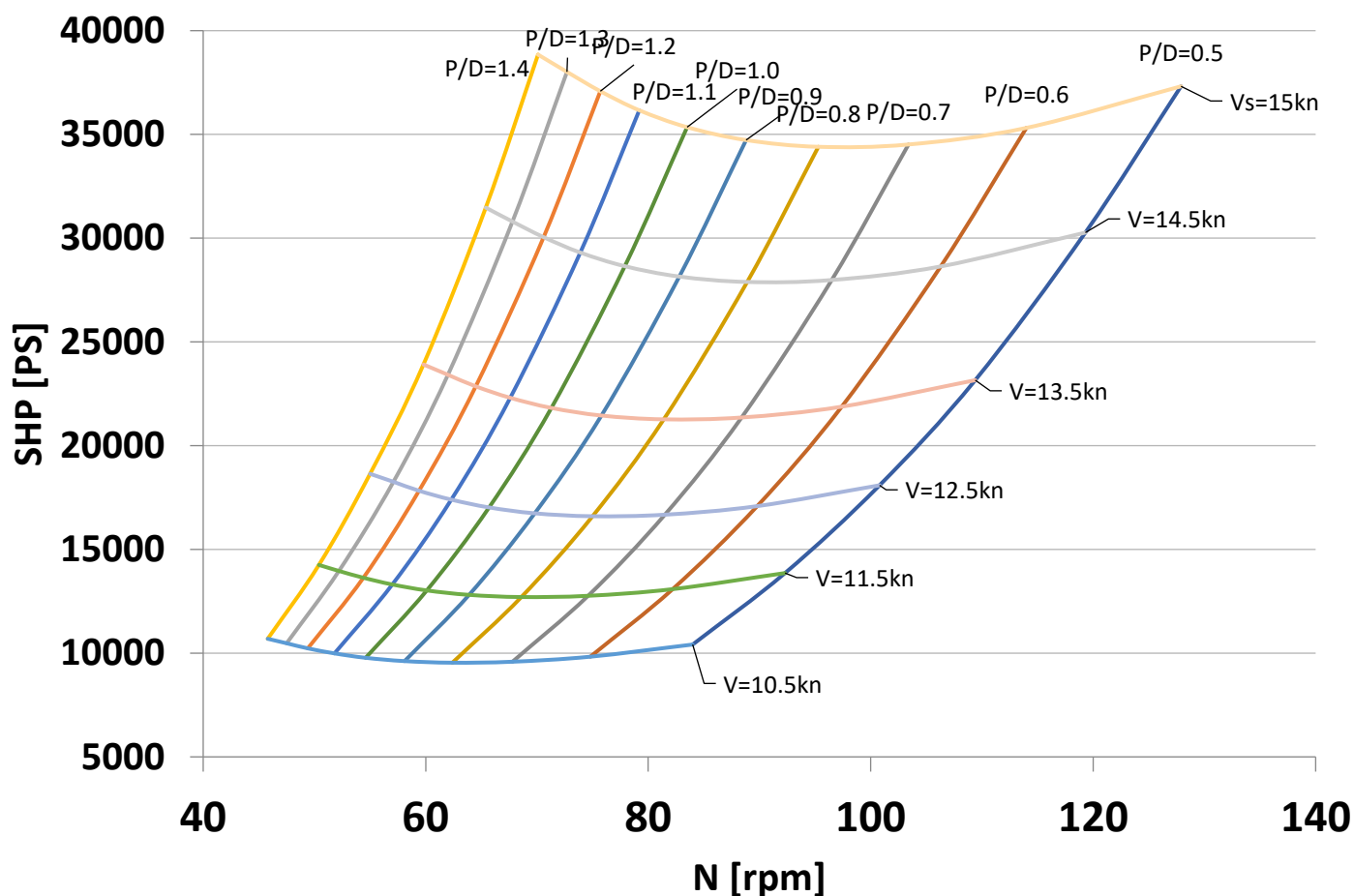
Πίνακας 33: Δεδομένα προγράμματος GRID.F95

Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 34) και το ακόλουθο διάγραμμα (διάγραμμα 9) η τιμή P/D που μεγιστοποιεί τον συντελεστή πρόωσης (P.C.) και παράλληλα ελαχιστοποιεί την απαίτηση της έλικας σε ισχύ, είναι ίση με 0.8 για 88.9 στροφές το λεπτό.

V (knots) =		14.5				
rpm	P/D	T (kp)	Q (kp*m)	DHP (PS)	SHP (PS)	P.C.
119.3	0.5	215479.1	179894.4	29965.5	30268.2	0.51
106.3	0.6	215479.1	190974.9	28350.9	28637.3	0.539
96.5	0.7	215479.1	205606.9	27703.2	27983	0.552
88.9	0.8	215479.1	222529.8	27609.5	27888.3	0.553
82.8	0.9	215479.1	241075.3	27867.6	28149.1	0.548
77.9	1	215479.1	260790.4	28362.1	28648.6	0.539
73.9	1.1	215479.1	281253	29012.2	29305.2	0.527
70.6	1.2	215479.2	301960.2	29747.1	30047.6	0.514
67.8	1.3	215479	322244.3	30491.5	30799.5	0.501
65.4	1.4	215479.1	341198.6	31155.8	31470.5	0.49

Πίνακας 34: Αποτελέσματα προγράμματος GRID.F95 για ταχύτητα υπηρεσίας 14.5 κόμβων

Wagenigen B-series 4-40



Διάγραμμα 17: Πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών για την υπό σχεδίαση έλικα

11. Έλεγχος Σπηλαιώσης

Για τον περιορισμό του φαινομένου της σπηλαιώσης είναι απαραίτητο να γίνει έλεγχος για το βαθμό στον οποίο αυτό αναπτύσσεται στην παρούσα σχεδίαση της έλικας. Το κριτήριο Burrill, ορίζει ότι ένα αποδεκτό επίπεδο σπηλαιώσης, για αργόπλοια πλοία, είναι η εμφάνιση σπηλαιώσης πίσω όψης μικρότερης του 10%.

Για τον έλεγχο του κριτηρίου είναι απαραίτητο να υπολογισθούν οι αδιάστατοι παράγοντες $\sigma_{0.7R}$ και τ_C συναρτήσει των οποίων μπορεί να υπολογισθεί το ποσοστό σπηλαιώσης πίσω όψης με

$$\sigma_{0.7R} = \frac{p_o - p_{v(s.w.15^\circ C)}}{q_{0.7R}}$$

βάση το διάγραμμα Burrill. Τα αδιάστατα αυτά μεγέθη είναι ίσα με:

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

Όπου,

- p_v , (s.w. 15°C), η πίεση ατμοποίησης του θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία 15°C, ίση με

(173.35 kPa/m²),

- $q_{0.7R} = (1/2) \rho_{s.w. 15^\circ C} V_{R2}$, όπου $V_{R2} = V_{A2} + (0.7 \pi n DP)$ και n η ταχύτητα περιστροφής της έλικας σε RPS,
- T , είναι η ώση που αναπτύσσει η έλικα στην ταχύτητα υπηρεσίας, ίση με 194718,2 kN,
- $A_p \approx A_D (1.067 - 0.229 P / DP) = 18,4243 \text{ m}^2$ η προβεβλημένη επιφάνεια της έλικας, με την ανεπτυγμένη επιφάνεια A_D της έλικας να θεωρείται ίση με την εκτεταμένη επιφάνεια A_E , δηλαδή $AD \approx AE \approx AO (AE / AO) = 52,117$.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω:

$$\sigma_{0.7R} = 0.496$$

$$\tau_C = 0.2425$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές λαμβάνουμε από το διάγραμμα Burrill τιμή για το ποσοστό σπηλαιώσης πίσω όψης μικρότερο του 10%. Κατά συνέπεια, η παρούσα σχεδίαση της έλικας είναι αποδεκτή από άποψη αναπτυσσόμενων επιπέδων σπηλαιώσης.

5.3 Επιλογή κύριας μηχανής

Έχοντας υπολογίσει την ισχύ που πρέπει να απορροφήσει η έλικα προκειμένου να παράξει την επιθυμητή ώση, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε την κύρια μηχανή του υπό μελέτη πλοίου ανάμεσα στις ήδη υπάρχουσες λύσεις πρόωσης της αγοράς. Προκειμένου να είμαστε εξασφαλισμένοι για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του σκάφους ακόμα και σε βάθος χρόνου, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ισχύ που πρέπει να απορροφήσει η έλικα προκειμένου να παράξει ώση ικανή να υπερνικήσει την αυξημένη αντίσταση της γάστρας λόγω ρύπανσης (Fouled Hull) και την ακόμα πιο μεγάλη αντίσταση που θα εμφανισθεί σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών και

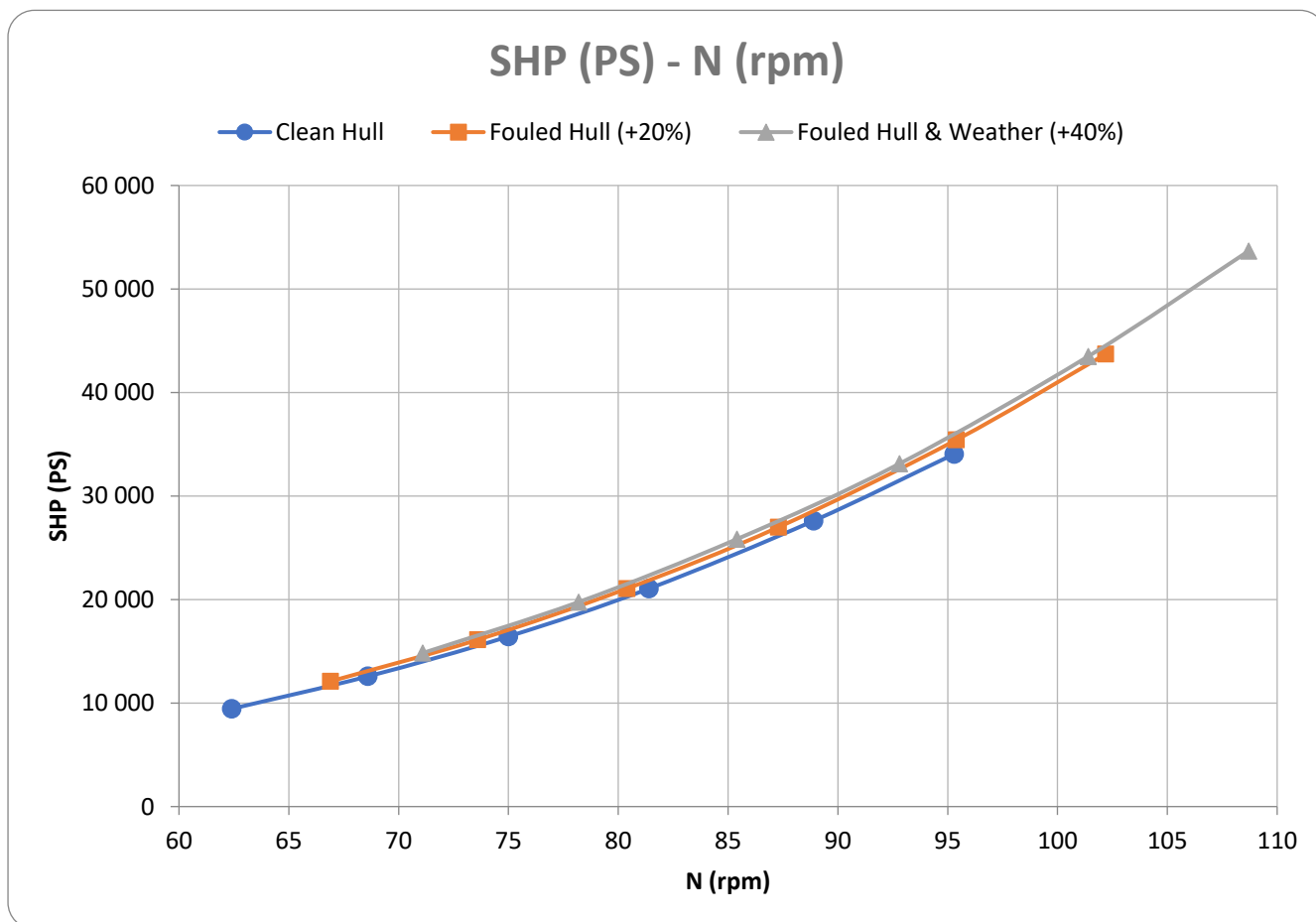
ρυπασμένης γάστρας ταυτόχρονα. Η προσαύξηση της αντίστασης για την περίπτωση της ρυπασμένης γάστρας εκτιμάται ότι είναι ίση με 20%, ενώ αντίστοιχα η προσαύξηση της αντίστασης για το συνδυασμό ρύπανσης και δυσμενών καιρικών συνθηκών εκτιμάται στο 40%.

Για τον υπολογισμό της ισχύος που πρέπει να απορροφήσει η έλικα για να υπερνικήσει την αυξημένη αντίσταση είναι απαραίτητο να εκτελέσουμε τον κώδικα GRID.F95 για τα παραπάνω δεδομένα. Ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 35) συνοψίζει τα αποτελέσματα του κώδικα για ένα εύρος ταχυτήτων:

Clean Hull				Fouled Hull (+20%)				Fouled Hull & Weather (+40%)			
V (kn)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)	V (kn)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)	V (kn)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)
10.50	62.40	9443.20	6945.47	10.50	66.90	12097.80	8897.93	10.50	71.10	14831.20	10908.35
11.50	68.60	12576.30	9249.87	11.50	73.60	16115.20	11852.73	11.50	78.20	19761.40	14534.51
12.50	75.00	16431.90	12085.66	12.50	80.40	21061.40	15490.66	12.50	85.40	25832.30	18999.66
13.50	81.40	21054.50	15485.58	13.50	87.30	26993.70	19853.87	13.50	92.80	33115.30	24356.30
14.50	88.90	27609.50	20306.79	14.50	95.40	35428.90	26057.96	14.50	101.40	43493.40	31989.40
15.50	95.30	34058.20	25049.81	15.50	102.20	43710.60	32149.15	15.50	108.70	53666.50	39471.71

Πίνακας 35: Αντίσταση και ισχύς έλικας για προσαυξημένη αντίσταση

Η επιθυμητή ταχύτητα υπηρεσίας είναι ίση με $V_s = 14.5 \text{ kn}$ και με βάση τον παραπάνω πίνακα (πίνακας 35) αντιστοιχεί σε ένα εύρος ισχύος από **20306.79 kW** έως **31989.40 kW** και στροφών από **88.9 RPM**, έως **101.4 RPM**.



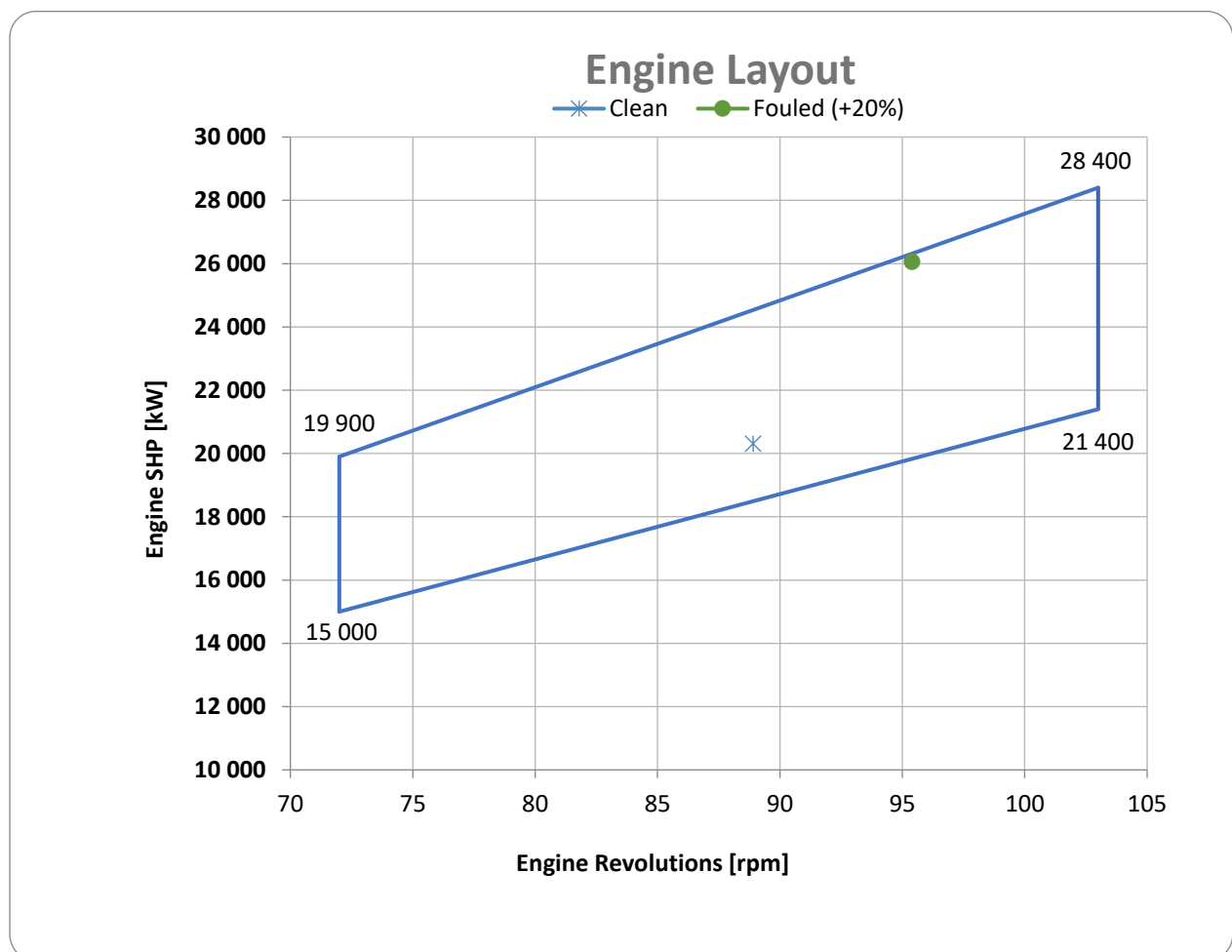
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα Ισχύος-Στροφών έλικας για την περιοχή της ταχύτητας υπηρεσίας.

Με βάση αυτά τα στοιχεία αυτά θα γίνει η επιλογή του κινητήρα του υπό σχεδίαση πλοίου ώστε να είναι σε θέση να ταξιδεύει με την ταχύτητα υπηρεσίας σε συνθήκες καθαρής και ρυπασμένης γάστρας (nominal, nominal +20%). Καθώς το εύρος των στροφών εμπίπτει στην χαμηλότερη κατηγορία θα προσπαθήσουμε να βρούμε στο εμπόριο έναν αργόστροφο δίχρονο κινητήρα Diesel, προκειμένου να αποφύγουμε την παρεμβολή κάποιου μειωτήρα στροφών ανάμεσα στην κύρια μηχανή και τον ελικοφόρο άξονα.

Σύμφωνα με τα φυλλάδια των μεγάλων κατασκευαστών και με βάση το εύρος ισχύος και στροφών, επιλέγουμε τον κινητήρα MAN 10G60ME-C10_5 με 10 κυλίνδρους. Η περιοχή ρύθμισης λειτουργίας του παραπάνω κινητήρα βρίσκεται ανάμεσα στα τέσσερα σημεία που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 36) και στο ακόλουθο διάγραμμα (διάγραμμα 19):

	R1	R2	R3	R4
speed [rpm]	103	103	72	72
power/cyl	2 840	2 140	1 990	1 500
power [kW]	28 400	21 400	19 900	15 000

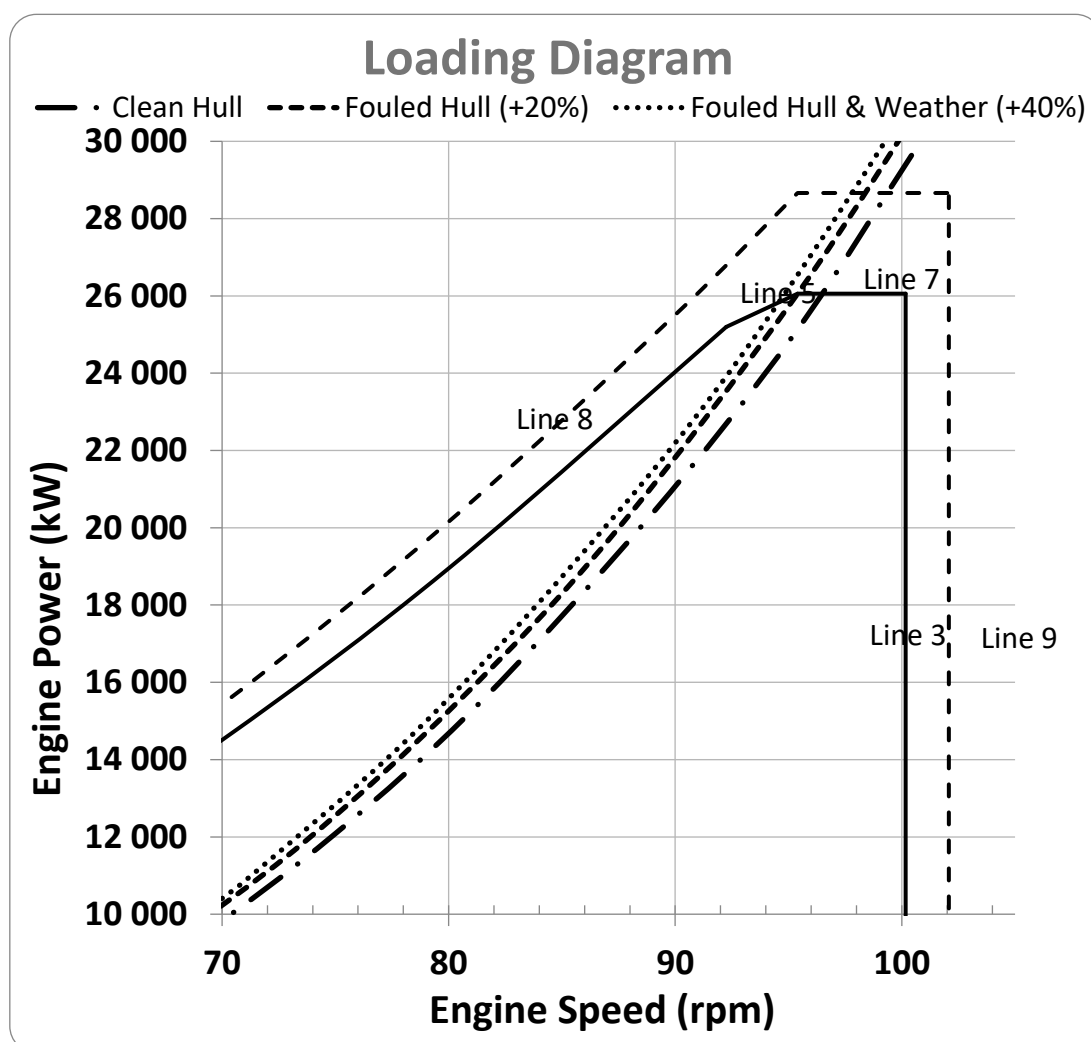
Πίνακας 36: Περιοχή ρύθμισης του κινητήρα



Διάγραμμα 19: Περιοχή ρύθμισης του κινητήρα σε σχέση με τα επιθυμητά σημεία λειτουργίας

Στη συνέχεια γίνεται η σχεδίαση του Διαγράμματος Φόρτισης (Loading Diagram Διάγραμμα 20) του κινητήρα που επιλέχθηκε σε συνδυασμό με τις τρεις χαρακτηριστικές αντίστασης, που αντιστοιχούν στις τρεις καταστάσεις πλεύσης που έχουν εξεταστεί. Ο κινητήρας έχει ρυθμισθεί έτσι ώστε το MCR να βρίσκεται στο σημείο ισχύος-στροφών που αντιστοιχεί στην ταχύτητα υπηρεσίας για κατάσταση ρυπασμένης γάστρας. Τα όρια φόρτισης (και υπερφόρτισης) του κινητήρα υπολογίστηκαν ως εξής:

- Το όριο στροφών του κινητήρα (Line 3: Speed Limit) είναι ίσο με: 100.17 RPM (+5%),
- Το όριο ισχύος συνεχούς λειτουργίας (Line 7: Power Limit for Continuous Running) είναι ίσο με 26058 kW στις 95.4 RPM,
- Το όριο μέσης ενδεικνύμενης πίεσης (Line 5: Mean Effective Pressure Limit) είναι το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζεται από τα σημεία (25198 kW, 928.25 RPM) και (26058 kW, 95.4 RPM),
- Το όριο στροφών υπερφόρτισης του κινητήρα (Line 9: Speed Limit Overload) είναι ίσο με 102.078 RPM
- Το όριο ροπής του κινητήρα (Line 4: Torque/Speed Limit) είναι μία δευτεροβάθμια καμπύλη που ενώνει την αρχή των αξόνων με το όριο μέσης ενδεικνύμενης πίεσης
- Το όριο υπερφόρτισης του κινητήρα (Line 8: Overload Limit) είναι δευτεροβάθμια καμπύλη μέχρι τις στροφές του MCR και ευθύγραμμο τμήμα παράλληλο στον οριζόντιο άξονα στο ύψος του 110% της ισχύος MCR, μέχρι το όριο στροφών υπερφόρτισης του κινητήρα.

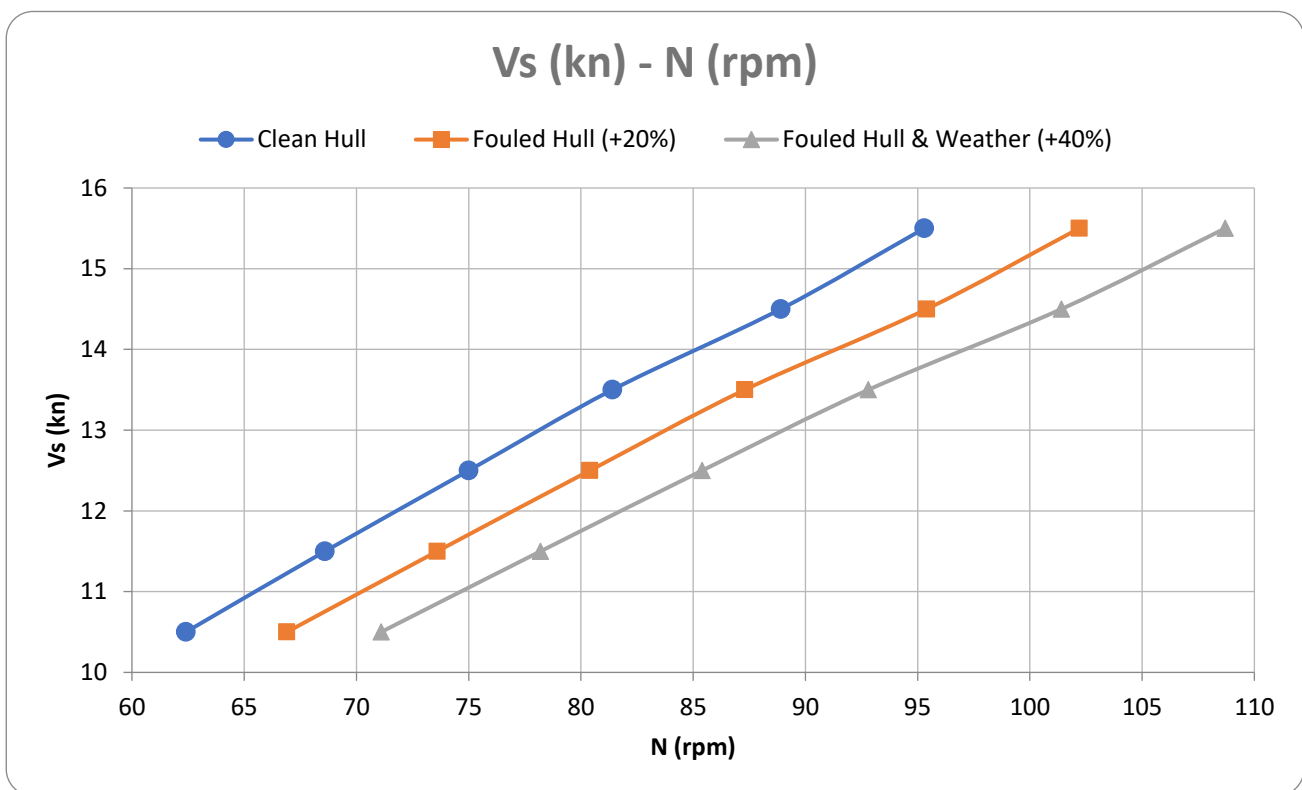


Διάγραμμα 20: Διάγραμμα φόρτισης του κινητήρα

Η ταχύτητα πλεύσης του πλοίου υπολογίζεται από τα σημεία λειτουργίας που αποτελούν την τομή των τριών χαρακτηριστικών αντίστασης του πλοίου, που αντιστοιχούν στις τρεις καταστάσεις πλεύσης που έχουν εξεταστεί, με το διάγραμμα φόρτισης του κινητήρα. Από τα σημεία τομής του διαγράμματος φόρτισης (Διάγραμμα 20), λαμβάνεται η τιμή των στροφών που αντιστοιχεί σε αυτά τα σημεία. Στη συνέχεια για αυτές τις τιμές στροφών, από το διάγραμμα ταχύτητας πλεύσης (Διάγραμμα 21) και στροφών περιστροφής της έλικας, υπολογίζεται η ζητούμενη ταχύτητα πλεύσης του πλοίου για τις τρεις καταστάσεις αντίστασης που έχουν εξεταστεί. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 37).

Μέγιστη ταχύτητα πλεύσης				
Κατάσταση Πλεύσης	SHP		N (rpm)	V (kn)
	(kW)	(PS)		
Clean Hull	26 058.0	35 428.9	95.4	15.6
Fouled Hull	26 058.0	35 428.9	100.17	15.2
Fouled Hull & Weather	28 663.8	38 971.8	102.078	14.4

Πίνακας 37: Αντιστοιχία στροφών κινητήρα - μέγιστης ταχύτητας πλεύσης σκάφους

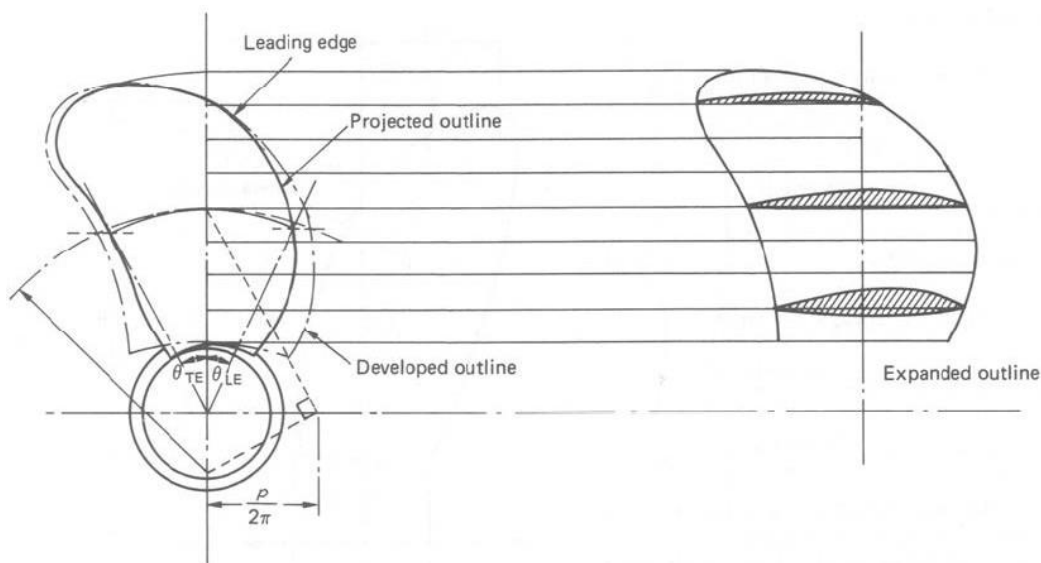


Διάγραμμα 21: Διάγραμμα Στροφών έλικας και της ταχύτητας πλεύσης.

5.4 Σχεδίαση έλικας και αξονικού

Η σχεδίαση της έλικας με βάση τα στοιχεία που υπολογίσθηκαν περιλαμβάνει την επιλογή κάποιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών τα οποία παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχέδια που συνοδεύουν την παρούσα έκθεση:

- Το αναπτυγμένο περίγραμμα των πτερυγίων (Developed Outline),
- Το εκτεταμένο περίγραμμα των πτερυγίων (Expanded Outline),
- Τα προβεβλημένα περιγράμματα των πτερυγίων στα επίπεδα ΧΖ και ΥΖ.



Διάγραμμα 22: Περιγραφή σχεδίων πτέρυγας έλικας

Αναπτυγμένο περίγραμμα πτερυγίου

Το αναπτυγμένο περίγραμμα ενός πτερυγίου κατασκευάζεται τοποθετώντας σε κάθε ακτίνα του πτερυγίου το μήκος της χορδής της πτερυγοτομής ακολουθώντας ένα τόξο με ακτίνα καμπυλότητας ίση με την ακτίνα καμπυλότητας της ελικοειδούς γραμμής που δίνεται από τη σχέση:

$$r_1 = \frac{r}{\cos^2\varphi}$$

όπου:

φ η γωνία του βήματος στην ακτίνα.

Το αναπτυγμένο περίγραμμα δημιουργείται ενώνοντας τα άκρα των τόξων σε κάθε ακτίνα, που δημιουργήθηκαν με την παραπάνω διαδικασία.

Εκτεταμένο περίγραμμα πτερυγίου

Το εκτεταμένο περίγραμμα ενός πτερυγίου κατασκευάζεται προβάλλοντας σε κάθε ακτίνα του πτερυγίου το μήκος της χορδής της πτερυγοτομής. Το περίγραμμα δημιουργείται ενώνοντας τα άκρα των χορδών. Η κατανομή των χορδών (εκτεταμένες χορδές), της απόστασης του χείλους πρόσπτωσης (Leading Edge - LE), της θέσης και της τιμής του μέγιστου πάχους των πτερυγοτομών του κάθε πτερυγίου δίνονται από αδιάστατες σχέσεις σε πινακοποιημένη μορφή. Για έλικες 4-7 πτερυγίων της σειράς Wageningen-B ισχύουν οι κατανομές που αναγράφονται στον ακόλουθο

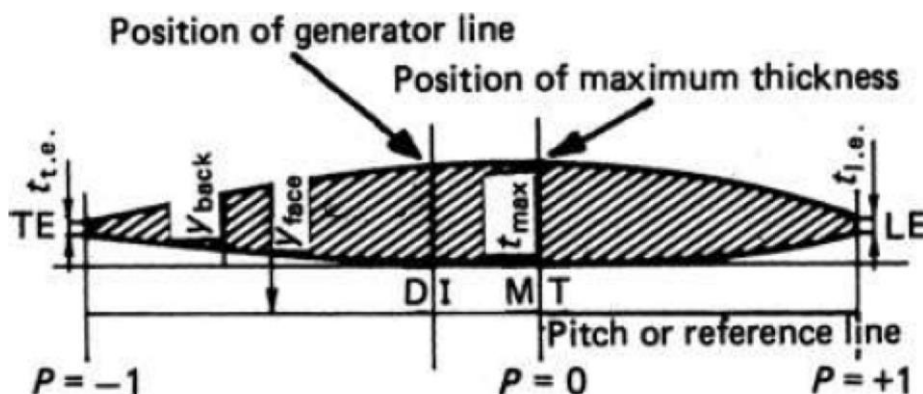
πίνακα (πίνακας 26), με για την τετράπτερη έλικα που επιλέχθηκε για το υπό μελέτη και σχεδίαση πλοίο.

Dimensions of four-, five-, six- and seven-bladed propellers

r/R	$\frac{c}{D} \cdot \frac{Z}{A_E/A_O}$	a/c	b/c	$t/D = A_r - B_r Z$	
				A_r	B_r
0.2	1.662	0.617	0.350	0.0526	0.0040
0.3	1.882	0.613	0.350	0.0464	0.0035
0.4	2.050	0.601	0.351	0.0402	0.0030
0.5	2.152	0.586	0.355	0.0340	0.0025
0.6	2.187	0.561	0.389	0.0278	0.0020
0.7	2.144	0.524	0.443	0.0216	0.0015
0.8	1.970	0.463	0.479	0.0154	0.0010
0.9	1.582	0.351	0.500	0.0092	0.0005
1.0	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000

Πίνακας 38: Κατανομή χαρακτηριστικών πτερυγίων σειράς Wagenigen B

Ένα παράδειγμα εκτεταμένης τομής για κάποια ακτίνα r του πτερυγίου της έλικας απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα 23:



Διάγραμμα 23: Εκτεταμένη τομή πτέρυγας σε τυχαία ακτίνα r

Όπου

- LE (Leading Edge), το χείλος πρόσπτωσης
- TE (Trailing Edge), το χείλος εκφυγής
- MT, η θέση του μέγιστου πάχους
- DI, η θέση της γενέτειρας γραμμής

Οι κατακόρυφες συντεταγμένες των σημείων του περιγράμματος της πτερυγοτομής y_{face}

και y_{back} σε σχέση με γραμμή του βήματος δίνονται από τις σχέσεις:

- Για $P \leq 0$
- $y_{face} = V_1 (t_{max} - t_{t.e.})$
- $y_{back} = (V_1 + V_2) (t_{max} - t_{t.e.}) + t_{t.e.}$
- Για $P \geq 0$
- $y_{face} = V_1 (t_{max} - t_{l.e.})$
- $y_{back} = (V_1 + V_2) (t_{max} - t_{l.e.}) + t_{l.e.}$

Όπου,

- t_{max} , το μέγιστο πάχος της πτερυγοτομής,
- $t_{t.e.}$ και $t_{l.e.}$, το πάχος της πτερυγοτομής στο χείλος εκφυγής και πρόσπτωσης,
- V_1 και V_2 σταθερές που οι τις τιμές τους δίνονται σε πίνακες συναρτήσεως της αδιάστατης ακτίνας r / R και του βήματος P ,
- P αδιάστατη μεταβλητή κατά μήκος της γραμμής του βήματος (pitch line), από τη θέση του μέγιστου πάχους μέχρι το χείλος πρόσπτωσης όπου $P = 1$ και από τη θέση του μέγιστου πάχους μέχρι το χείλος εκφυγής όπου $P = -1$.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ο πίνακας με το μέγιστο πάχος του πτερυγίου συναρτήσεως της ακτίνας R .

r/R	c	a	b	t
0.20	1.3539	0.8353	0.4739	0.2981
<u>0.25</u>	<u>1.4435</u>	<u>0.8876</u>	<u>0.5052</u>	<u>0.2810</u>
0.30	1.5331	0.9398	0.5366	0.2639
0.40	1.6699	1.0036	0.5861	0.2297
0.50	1.7530	1.0273	0.6223	0.1955
0.60	1.7815	0.9994	0.6930	0.1613
0.70	1.7465	0.9152	0.7737	0.1271
0.80	1.6048	0.7430	0.7687	0.0929
0.90	1.2887	0.4523	0.6443	0.0587
1.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0244

Προβεβλημένο περίγραμμα πτερυγίου

Το προβεβλημένο περίγραμμα περικλείει την επιφάνεια του πτερυγίου έξω από την πλήρη προβεβλημένη σε ένα επίπεδο ($ZX ZY$) κάθετο στον ελικοφόρο άξονα. Κατασκευάζεται παίρνοντας τα ακραία σημεία των πτερυγοτομών σε κάθε ακτίνα του πτερυγίου, όπως αυτά ορίζονται σε μία προβολή σε ένα επίπεδο κάθετο στον ελικοφόρο άξονα. Η ένωση των σημείων αυτών αποτελεί το προβεβλημένο περίγραμμα.

Έλεγχος Πάχους Πτερυγίου Έλικας

Το ελάχιστο πάχος του πτερυγίου της έλικας ελέγχεται από τους κανονισμούς του Αγγλικού νηογνώμονα (L.R.) στο 25% της ακτίνας του. Πιο συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή που πρέπει να λαμβάνει είναι ίση με:

$$\text{MIN} \left(t_{0.25R(\text{min})} = S \cdot \left[K_f \cdot \sqrt{\frac{A \cdot H}{C \cdot C_n \cdot R \cdot N}} \pm \left(\frac{C_s}{C_n} \right) \cdot \left(\frac{B \cdot K}{4 \cdot C} \right) \right] \right)$$

Όπου:

$$S = \sqrt{\frac{D_{PR} + 24}{30.1}} \quad B = \frac{4300 \cdot \omega \cdot \alpha}{n} \left(\frac{R}{100} \right)^2 \cdot \left(\frac{DPR}{20} \right)^3 \quad A = 1.0 + \frac{6}{P_{0.7}} + 4.3 \cdot P_{0.25}$$

$$C_n = \frac{I_0}{U_f \cdot W \cdot T^2} \quad C_s = \frac{\alpha_s}{W \cdot T} =$$

$$C = (1 + 1.5 P_{0.25}) (W \text{ f-B}) \quad K = 500 \cdot D_{PR} \cdot \tan \varepsilon$$

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις τιμές των υπολύπων παραμέτρων πολλές από τις οποίες αντλήθηκαν από το σχέδιο της έλικας που συνοδεύει αυτή την έκθεση:

P_{0.25} =	0.6836	Το βήμα στο 25% της ακτίνας προς την ολική διάμετρο
P_{0.7} =	0.8000	Το βήμα στο 70% της ακτίνας προς την ολική διάμετρο
a =	0.4000	Ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας της έλικας
w =	7.5000	Σταθερά του υλικού της έλικας (Ni - Al - Bronze)
f =	2.62	Σταθερά του υλικού της έλικας (Ni - Al - Bronze)
N =	4	Ο αριθμός των πτερυγίων της έλικας
R =	95.4	Ο ρυθμός περιστροφής της έλικας
D =	8.1	Διάμετρος έλικας
W =	1443.4712	Το πλάτος της έλικας στο 0.25•R
a_s =	434000	Η επιφάνεια μιας κυλινδρικής τομής της έλικας στο 0.25R
T =	281.04	Το μέγιστο πάχος πάχος μιας τομής στο 0.25•R
I₀ =	2.166E+11	
U_f =	1500	
A =	11.439	
B =	198.321	
C =	7258.16894	
S =	1.033	
K₁ =	337	Σταθερά για χρήση μονάδων S.I.
H =	26 057.9	
C_n =	0.125	
C_s =	1.070	
K =	718.18	
ε	10	Rake angle
+	366.546	
-	279.763	
t_{0.25} =	279.763	

Κατά συνέπεια το πραγματικό πάχος του πτερυγίου στο 25% του R, είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστοι απαιτούμενο πάχος που προδιαγράφουν οι κανονισμοί των νηογνωμόνων.

Πλήμνη και ελικοφόρος άξονας

Η διάμετρος της πλήμνης ορίζεται από τις προδιαγραφές της συστηματικής σειράς Wagenigen-B, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$DB = 0.167 DP = 1.3603 \text{ m}$$

Η διάμετρος του ελικοφόρου άξονα, σύμφωνα με τους ενοποιημένους κανονισμούς των νηογνωμόνων, εξαρτάται από τη μέγιστη ισχύ που θα κληθεί να μεταδώσει από την κύρια μηχανή καθώς και την αντοχή του υλικού που επιλέγουμε για την κατασκευή του άξονα.

$$D_S = 100 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{R} \cdot \frac{c_1}{U + c_2}}$$

Όπου,

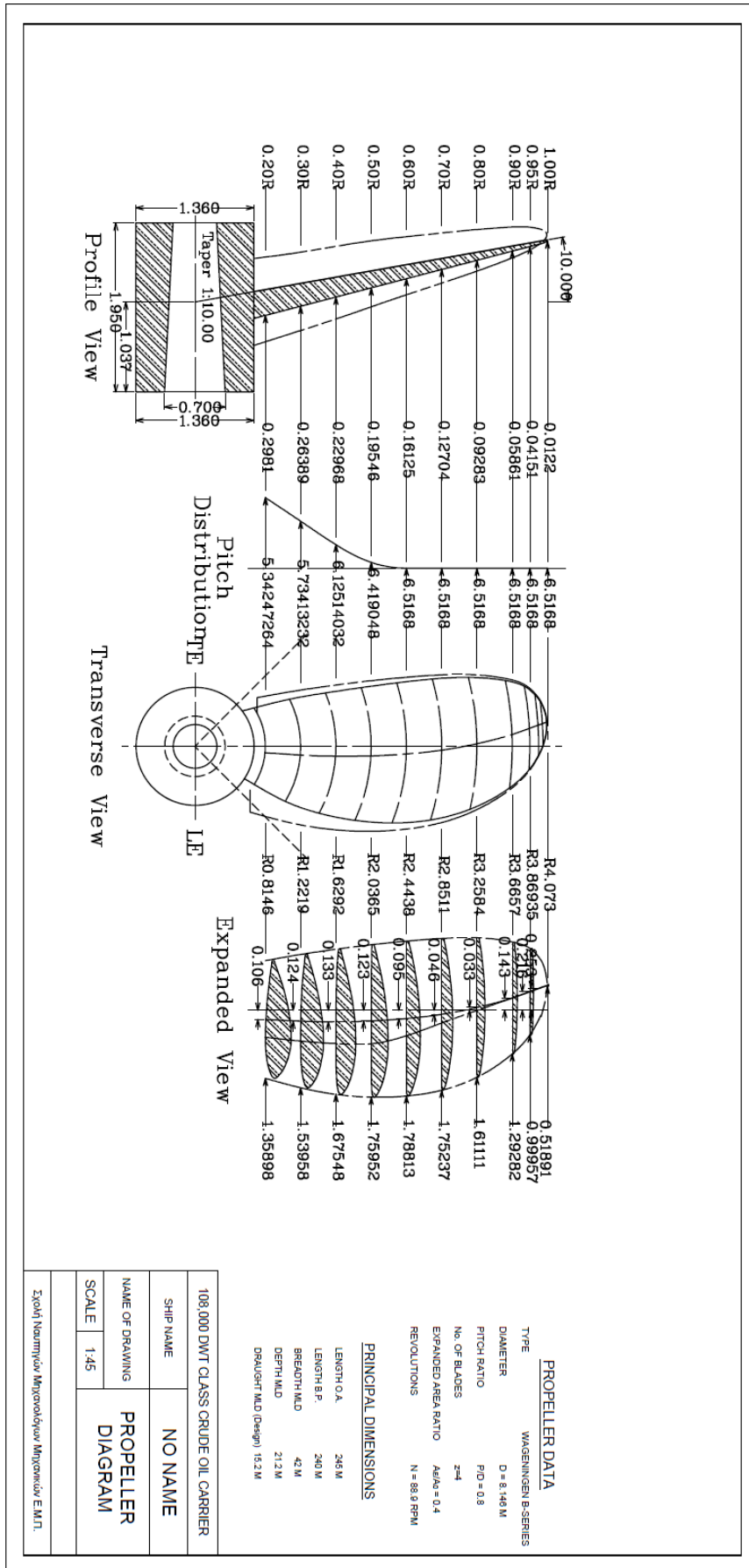
- K, ένας παράγοντας σχεδίασης άξονα, με τιμή 1.22, για ελαιολιπαινόμενα έδρανα και σύνδεση με την έλικα με ψυχρή σύσφιξη,
- H, είναι η μέγιστη συνεχής ισχύς (MCR) της κύριας μηχανής, όπως υπολογίστηκε στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας έκθεσης,
- R, είναι οι στροφές του άξονα για λειτουργία στο σημείο (MCR) μέγιστης συνεχούς ισχύος σε RPM,
- $c_1 = 560$ και $c_2 = 160$ για μετατροπή των μονάδων στο SI,
- $U = 600 \text{ MPa}$, η τάση μέγιστης αντοχής του υλικού κατασκευής του ελικοφόρου άξονα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$DS \approx 0.699 \text{ mm}$$

Οι κανονισμοί των νηογνωμόνων προβλέπουν, επι πρόσθετα ότι ο λόγος της διαμέτρου της πλήμνης προς τη διάμετρο του ελικοφόρου άξονα πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων του διαστήματος (1.8,2.4):

$$1.8 < (DB / DS) = 1.9436 \text{ m} < 2.4$$



Εικόνα 13. Σχέδιο Προπέλλας

6 Μελέτη Αντοχής Μέσης Τομής με χρήση των CSR

6.1 Διαστασιολόγηση Μέσης Τομής με χρήση των Κοινών Κατασκευαστικών Κανόνων CSR

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη και διαστασιολόγηση των κατασκευαστικών στοιχείων της μέσης τομής του υπό σχεδίαση πλοίου.

Οι σύγχρονες σχεδιάσεις της μεταλλικής κατασκευής δεξαμενόπλοιων και φορτηγών πλοίων, πραγματοποιούνται πλέον με τη χρήση των εναρμονισμένων κοινών κατασκευαστικών κανόνων (Common Structural Rules – CSR).

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται διαστασιολόγηση ελασμάτων, ενισχυτικών και λοιπών κατασκευαστικών στοιχείων της μέσης τομής. Πραγματοποιείται επίσης έλεγχος ως προς τις απαιτήσεις διαμήκους αντοχής της μέσης τομής όπως αυτή προέκυψε από τη διαστασιολόγηση των διαφόρων κατασκευαστικών στοιχείων.

Ο έλεγχος της αντοχής και η επιλογή των κατασκευαστικών στοιχείων γίνεται με βάση τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στους τελευταίους ενοποιημένους κανονισμούς CSR Harmonized. Τέλος, η διπλωματική εργασία συνοδεύεται από το αναλυτικό κατασκευαστικό σχέδιο της μέσης τομής του υπό μελέτη πλοίου.

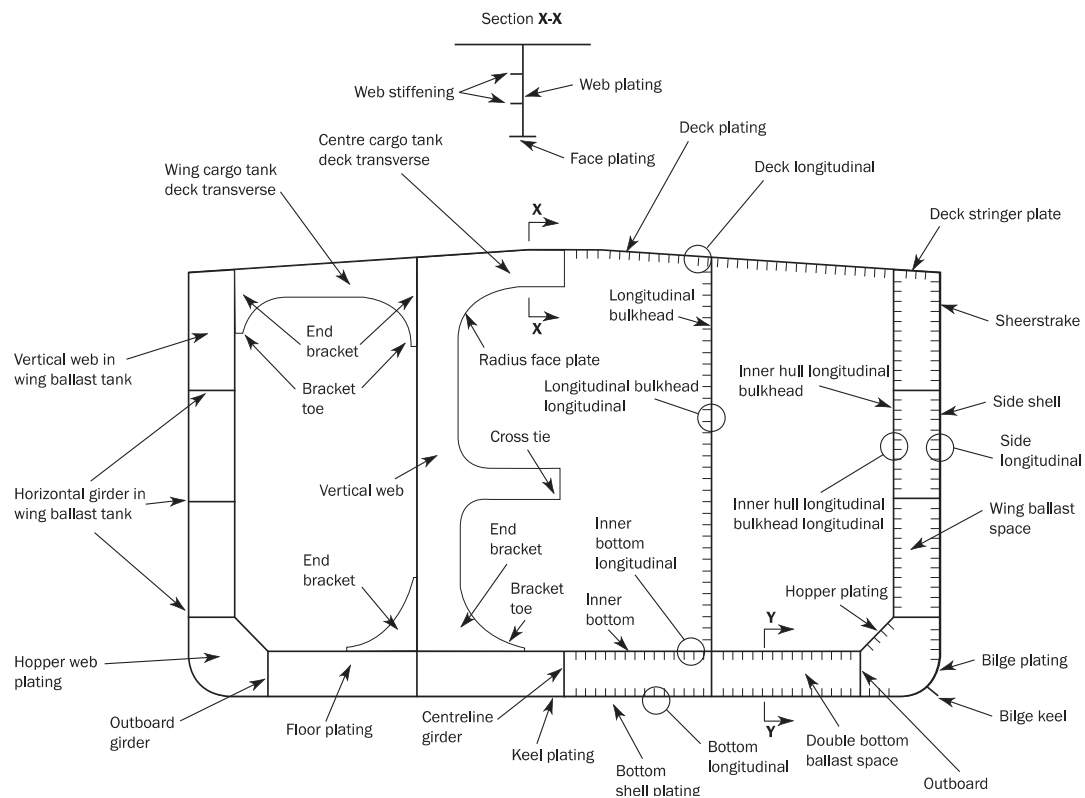
Η μοντελοποίηση της μέσης τομής, μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πρώτο στάδιο σε εξειδικευμένα προγράμματα, όπως το MARS2000 του Γαλλικού Νηογνώμονα (*Bureau Veritas*). Σημειώνεται ότι η διαστασιολόγηση της μέσης τομής είναι μια επίπονη επαναληπτική διαδικασία με πολλούς κύκλους σχεδίασης. Το παραπάνω πρόγραμμα επιτρέπει την γρήγορη και ευέλικτη σχεδίαση των κατασκευαστικών στοιχείων, με αποτέλεσμα να δίνει σχετικά εύκολα μια πραγματική μέση τομή που ικανοποιεί όλες τις κατασκευαστικές απαιτήσεις των κανονισμών, από πλευράς τοπικής αλλά και διαμήκους αντοχής.

Το υπό μελέτη πλοίο είναι δεξαμενόπλοιο Crude Oil Tanker 108555 DWT διπλού τοιχώματος με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, όπως και το πατρικό.

Μια τυπική μέση τομή ενός Oil Tanker διπλού τοιχώματος με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης και ανά διαστήματα ενισχυμένους νομείς παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

Τα κριτήρια που θα παρουσιαστούν παρακάτω θα χρησιμοποιηθούν για την διαστασιολόγηση εξής ελασμάτων:

- Πλευρικό Εξωτερικό Έλασμα (Side Shell Plating)
- Έλασμα Εξωτερικού Πυθμένα (Bottom Shell Plating)
- Έλασμα Καταστρώματος (Deck Plating)
- Έλασμα Εσωτερικού Πυθμένα (Inner Bottom Plating)
- Έλασμα Εσωτερικού Τοιχώματος (Inner Hull Plating)
- Έλασμα Διαμήκους Φρακτής (Longitudinal Bulkhead Plating)
- Έλασμα σεντίνας (Bilge Plate)
- Έλασμα τρόπιδας (Keel Plate)
- Κεκλιμμένο έλασμα εσωτερικού πυθμένα (Hopper Plating)
- Σταθμίδες διπλού πυθμένα (Double Bottom girders)
- και Ζυγά διπλού τοιχώματος (Double Hull stringers)



Στα πλαίσια της παρούσας τεχνικής έκθεσης, πραγματοποιείται διαστασιολόγηση και μελέτη αντοχής της μεταλλικής κατασκευής σε πρώιμο στάδιο, πάντοτε στα πλαίσια όμως που ορίζουν οι απαιτήσεις των κανόνων CSR. Πιο συγκεκριμένα, η διαστασιολόγηση της μέση τομής πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα.

(1) Έλεγχος διαμήκουσ αντοχής (Hull Girder Yielding Strength) σύμφωνα με τον οποίο το πλοίο εξετάζεται ως δοκάρι, σε επίπεδο πρωτευουσών τάσεων με κριτήριο την αποφυγή διαρροής, κριτήριο που εφαρμόζεται κατά μήκος όλου του πλοίου.

(2) Έλεγχος τοπικής αντοχής (Local Strength Analysis) που αφορά την ανάλυση της κατασκευής σε επιμέρους κατασκευαστικά στοιχεία. Ο έλεγχος αντοχής πραγματοποιείται σε επίπεδο δευτερευουσών και τριτευουσών τάσεων με κριτήριο την αποφυγή λυγισμού αλλά και διαρροής. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τις περιγραφικές απαιτήσεις (*Prescriptive Requirements*), οι οποίες προδιαγράφουν ελάχιστα απαιτούμενα πάχη και γεωμετρικές ιδιότητες για τα εξής κατασκευαστικά στοιχεία:

- Ελάσματα (**Plates**)
- Διαμήκη Ενισχυτικά (**Stiffeners**)
- Εγκάρσια Στοιχεία Στήριξης των παραπάνω (**Primary Supporting Members**)

Τέλος, όσον αφορά τα κατασκευαστικά στοιχεία της μέση τομής που συνεισφέρουν στην διαμήκη αντοχή της κατασκευής, θεωρούμε ότι μοντελοποιούνται σύμφωνα με την προσέγγιση καθαρού πάχους (**net scantling approach**), δηλαδή με πάχος ίσο με $0.5t_c$, όπου t_c το πάχος συμπεριλαμβανομένης και της προσαύξεσης διάβρωσης.

Η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Mars2000.

6.1.1 Βασικά Σημεία για την Εφαρμογή των Κανονισμών

Για την εφαρμογή των κανονισμών είναι απαραίτητο να ορίσουν ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται εκτενώς στην πορεία και αφορούν τη γεωμετρία του πλοίου.

- **Βύθισμα Αντοχής (Scantling Draft) :** Ως βύθισμα αντοχής λαμβάνεται το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα που προκύπτει από τον κανονισμό της Γραμμής Φόρτωσης (ILLC) και την προμελέτη του πλοίου.

$$T_{sc} = 15.2m$$

- **Μήκος Κανονισμού (Rule Length)**

Σύμφωνα με τον κανονισμό, είναι το μήκος της ισάλου στο βύθισμα αντοχής, μετρούμενο από την πρυμναία κάθετο μέχρι το πρωραίο άκρο του πλοίου. 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. Από το σχέδιο γενικής διάταξης έχουμε $LWL = 244.2 \text{ m}$, οπότε $LR = 0.97 \text{ LWL} = 236.9\text{m}$.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τα υλικά που επιλέχθηκαν για την κατασκευή του πλοίου, το όριο διαρροής τους, καθώς και τον αντίστοιχο συντελεστή υλικού με βάση τους κανονισμούς.

Πίνακας. 39 Επιλογή Υλικών

	Όριο Διαρροής σ_0 [Mpa]	Συν/στής Υλικού k
Χάλυβας Υψηλής Αντοχής "Grade AH32"	315	0.78

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα βασικά στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου που χρησιμοποιούνται στους κανονισμούς.

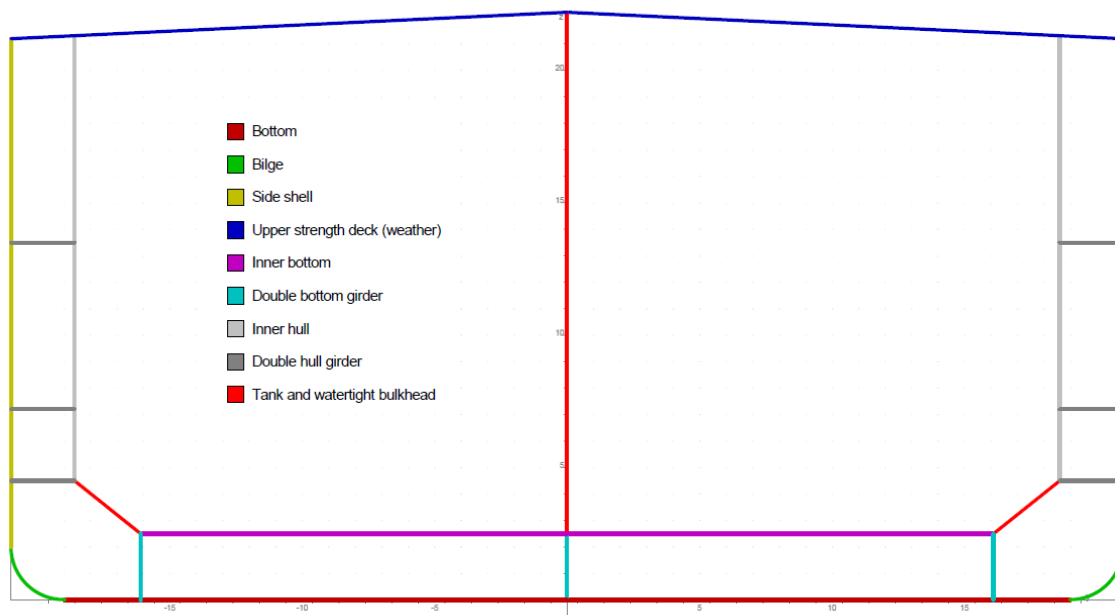
Πίνακας. 40 Χαρακτηριστικά Μεγέθη CSR

Basic Ship Data		
Type	CSR Harmonized Oil Tanker	
Scantling (Full Load) Draft	TSC [m]	15.2
Scantling (Rule) Length	L [m]	236.9
Breadth Moulded	B [m]	42.0
Displacement at Full Load	Δ [t]	127452
Block Coefficient	CB	0.81
Depth at Strength Deck	D [m]	21.2
Service speed	V [kn]	14.5
Minimum (Ballast) Draft	TBAL [m]	7.631

6.1.2 Μοντελοποίηση Μέσης Τομής

Το υπό μελέτη πλοίο είναι κατασκευασμένο με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης και μία κεντρική διαμήκη φρακτή. Διαθέτει διπλά τοιχώματα στο χώρο του φορτίου, όπως προδιαγράφουν οι κανονισμοί για δεξαμενόπλοια. Η περιοχή αυτή των διπλών τοιχωμάτων οριοθετεί δεξαμενές έρματος (*Water Ballast Tanks*). Οι εγκάρσιες ενισχύσεις είναι τοποθετημένες ανά 4,250mm (*Web Frame Spacing*). Τα διαμήκη ενισχυτικά της μέσης τομής είναι κυρίως γωνιές (*angle Bars*) και λάμες με φλάντζα (*T Bars*).

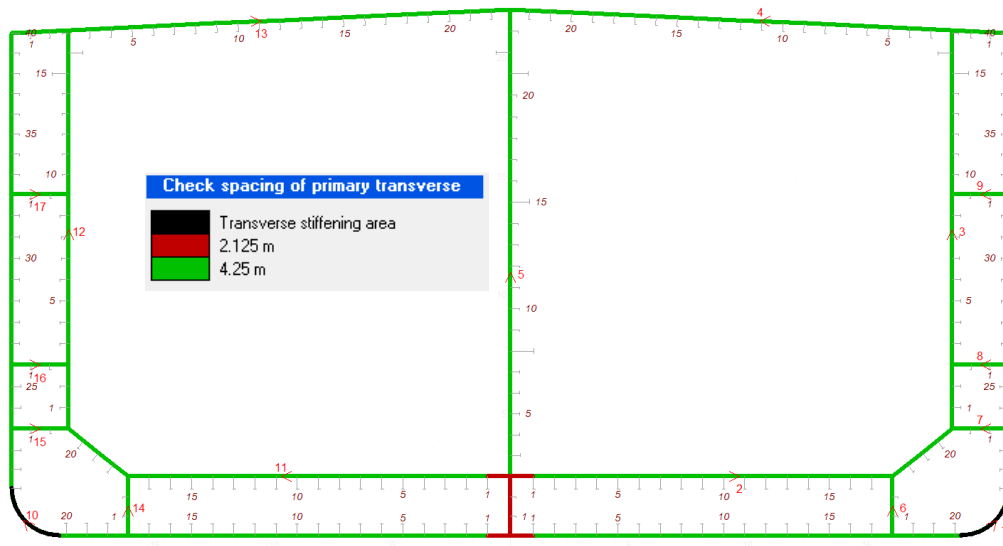
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η μέση τομή με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της, όπως αυτή μοντελοποιήθηκε στο πρόγραμμα Mars2000.



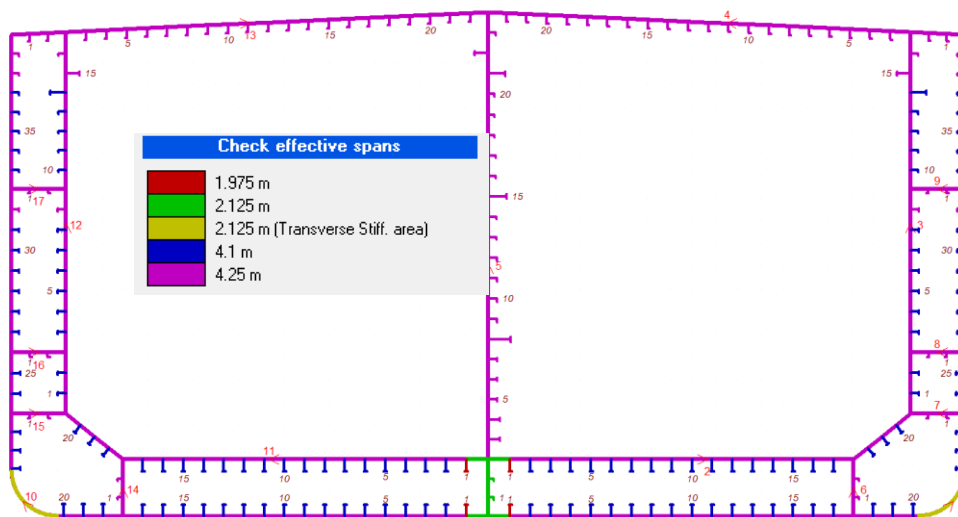
Εικόνα 14. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά μέσης τομής

Επίσης για την αποφυγή του λυγισμού σε ορισμένες περιοχές που είτε δεν χρησιμοποιούν διαμήκη ενίσχυση, είτε είναι επιθυμητή η μείωση του ανυποστήρικτου πλάτους ελάσματος μεταξύ δύο διαδοχικών διαμήκων ενισχύσεων, τοποθετούνται εγκάρσια μπρακέτα ή ενισχυτικά με ισαπόσταση όση των κατασκευαστικών νομών (*Frame Spacing*).

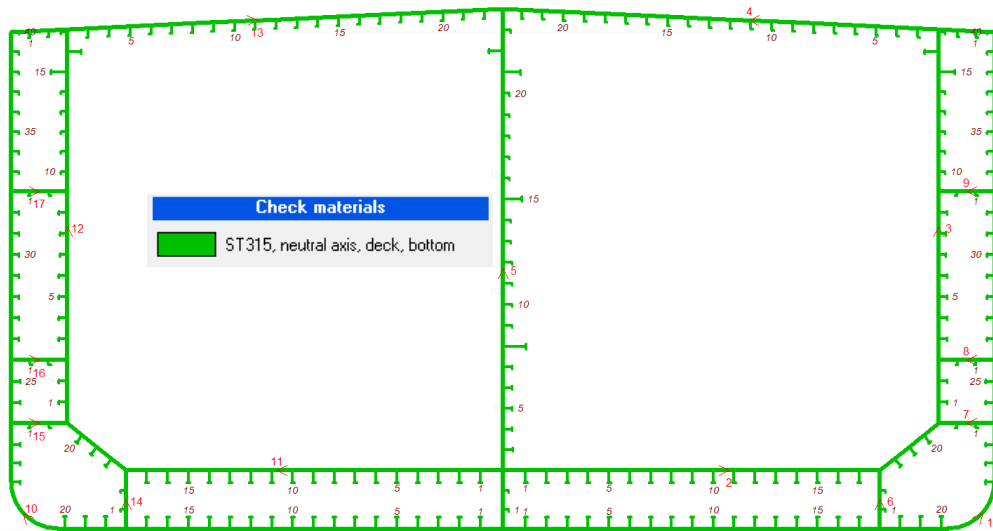
Στην παρούσα σχεδίαση χρησιμοποιείται χάλυβας υψηλής αντοχής (AH32) στην περιοχή του καταστρώματος, στα ελάσματα άνω και κάτω πλευρικής δεξαμενής έρματος (*hopper & topside plating*) και στον εσωτερικό πυθμένα. Χάλυβας υψηλής αντοχής χρησιμοποιείται επίσης και στις σταθμίδες (*girders*) στις περιοχές του διπύθμενου και του διπλού τοιχώματος.



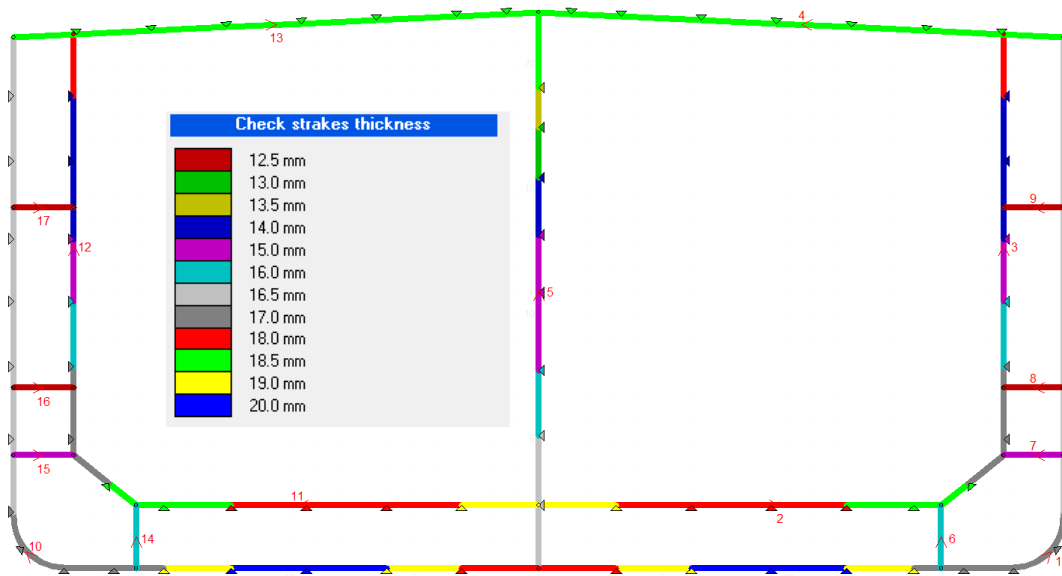
Εικόνα 15. Ισαπόσταση εγκάρσιων ενισχύσεων



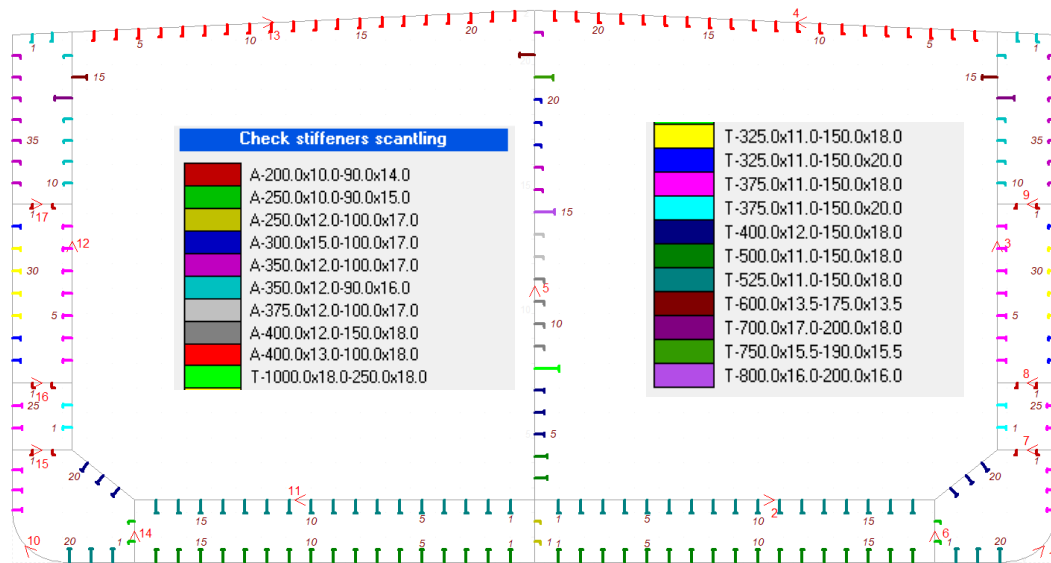
Εικόνα 16. Ενεργό μήκος διαμηκών ενισχυτικών και ελασμάτων



Εικόνα 17. Κατασκευαστικό υλικό μέσης τομής



Εικόνα 18. Πάχη ελασμάτων μέσης τομής



Εικόνα 19. Διαστασιολόγηση ενισχυτικών μέσης τομής

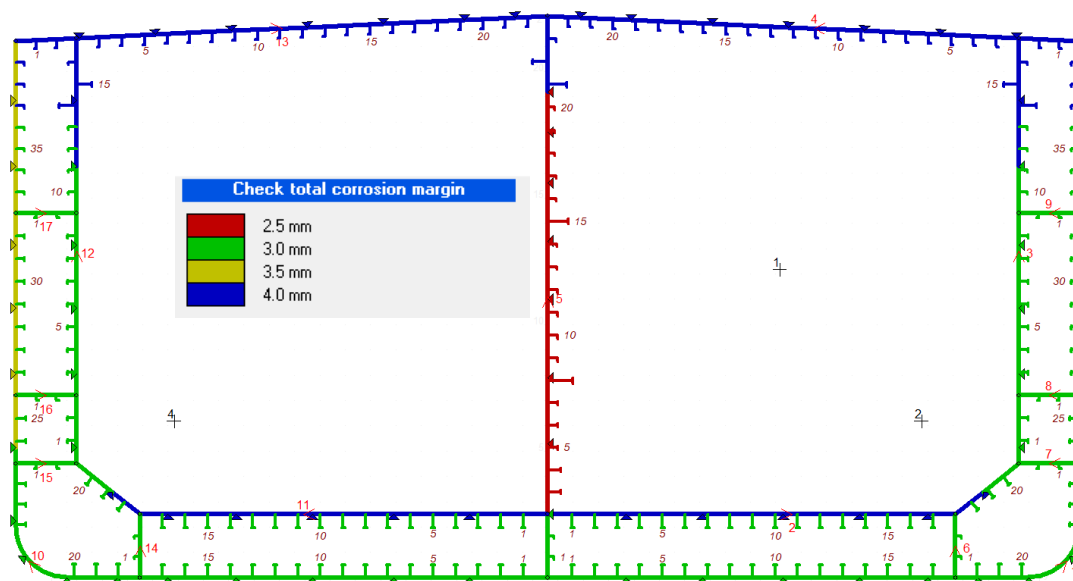
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μέση τομή είναι διαστασιολογημένη με πάχη ελασμάτων και ενισχυτικών gross. Σύμφωνα με τον κανονισμό, προδιαγράφεται ένα επιπλέον πάχος το οποίο συνυπολογίζει την ενδεχόμενη απώλεια υλικού λόγω διάβρωσης. Ανάλογα με το πού βρίσκεται το κάθε στοιχείο και πόσο διαβρωτικό είναι το περιβάλλον με το οποίο επικοινωνεί καθορίζονται τα αντίστοιχα επιπρόσθετα πάχη. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τα πρόσθετα πάχη t_{c1} , t_{c2} . Τέλος λαμβάνεται υπόψη και ένα περιθώριο ανοχής (reseve) της τάξης 0.5 mm.

Τελικά το ολικό πάχος του κάθε ελάσματος προκύπτει ως εξής:

$$t_{gross} = t_{net} + Round_{0.5}(t_{c1} + t_{c2}) + 0.5$$

Compartment type	Structural member		t_{c1} or t_{c2}		
			Oil tankers	BC-A or BC-B ships with $L \geq 150$ m	Other BC ships
Ballast water tank, bilge tank, drain storage tank, chain locker (a)	Face plate of PSM	Within 3m below top of tank (4)	2.0		
		Elsewhere	1.5		
	Other members (a)	Within 3m below top of tank (4)	1.7		
		Elsewhere	1.2		
Cargo oil tank	Face plate of PSM	Within 3m below top of tank (4)	1.7	N/A	
		Elsewhere	1.4		
	Inner-bottom plating/bottom of tank	Within 3m below top of tank (4)	2.1		
		Elsewhere	1.7		
Dry bulk cargo hold (a)	Transverse bulkhead	Upper part (6)	N/A	2.4	1.0
		Lower stool: sloping plate, vertical plate and top plate (7)		5.2	2.6
		Other parts		3.0	1.5
	Sloped plating of hopper tank, inner bottom plating			3.7	2.4
	Other members	Upper part (6)		1.8	1.0
		Webs and flanges of the upper end brackets of side frames of single side bulk carriers		2.2	1.2
Webs and flanges of lower brackets of side frames of single side bulk carriers		2.0	1.2		
Exposed to atmosphere	Weather deck plating		1.7		
	Other members		1.0		
Exposed to seawater	Shell plating between the minimum design ballast draught waterline and the scantling draught waterline		1.5		
	Shell plating elsewhere		1.0		

Πίνακας 41. Corrosion Addition for one side of a structural member



Εικόνα 19. Επιπλέον πάχος για ενδεχόμενη απώλεια λόγω διάβρωσης

Παρακάτω ακολουθεί η εισαγωγή των στοιχείων των διαφόρων δεξαμενών της μέσης τομής. Συγκεκριμένα έχουμε μια δεξαμενή φορτίου και μια έρματος.

Compartment loading

n°	Type	Load test Height (m/BL)	A _{int} /O _{ventlow} pipe (m/BL)	Liquid Density	Setting press. (bar)	Load in hold (t)	Bulk Density	Repose angle (deg)
1	Liquid cargo	0.000	21.940	1.025	0.200			
2	Ballast	0.000	21.200	1.025	0.000			

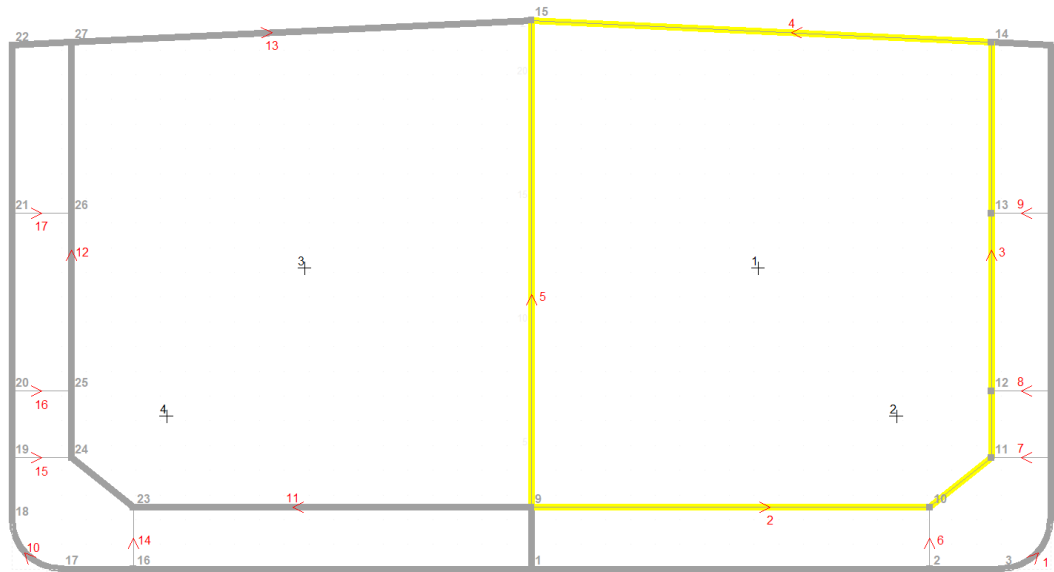
Compartments

n°	Name	Node Circuit 1 Node Circuit 2	Main destination Type
1	COT	9 10 11 12 13 14 15 9	Cargo oil tank Tank
2	WBT	1 2 3 4 5 6 7 8 14 13 12 11 10 9 1	Ballast Tank

Compartment dimensions (m) (italic values are computed)

n°	Len.	Breadth	Height	X _{start} from AE	X _G	Y _G	Z _G	Z _{min} /BL	Z _{top}
1	29.750	18.600	19.670	105.500	120.375	9.169	12.193	2.500	22.200
2	29.750	21.000	21.310	105.500	120.375	14.755	6.192	0.000	21.314

Πίνακας 42. Ελάσματα Δεξαμενών Μέσης Τομής



Εικόνα 21. Ελάσματα Δεξαμενών Μέσης Τομής

6.2 Διαμήκης Αντοχή Μέσης Τομής (Hull Girder Strength)

Η παρακάτω ανάλυση αφορά κριτήρια και ελάχιστες εμπειρικές απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιεί η μέση τομή του υπό μελέτη πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, ο έλεγχος αντοχής έναντι διαρροής πραγματοποιείται, θεωρώντας το πλοίο ως ένα δοκάρι, το οποίο υπόκειται σε κατακόρυφη κάμψη από εξωτερικές φορτίσεις, με συνέπεια την ανάπτυξη ορθών τάσεων στη διατομή του.

6.2.1 Υπολογισμός Φορτίσεων της Γάστρας (Hull Girder Loads)

Στο παρόν εδάφιο γίνεται ο υπολογισμός των καμπτικών ροπών που δέχεται το πλοίο ως αποτέλεσμα της κατάστασης φόρτωσης του αλλά και των κυματισμών.

- Κατακόρυφη Ροπή σε ήρεμο νερό (*Vertical Still Water Bending Moment*)
- Κατακόρυφη Ροπή λόγω κυματισμού (*Vertical Wave Bending Moment*)

6.2.1.1 Κατακόρυφη Ροπή Κάμψης λόγω κυματισμού

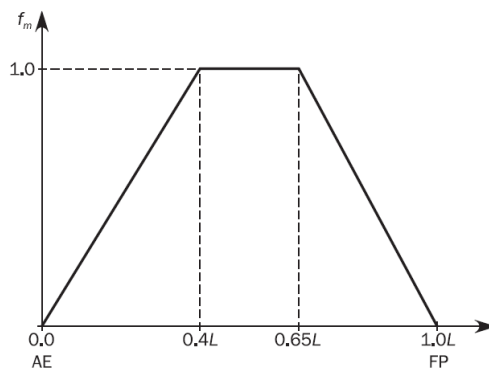
Σύμφωνα με τους κανονισμούς η κατακόρυφη καμπτική ροπή σχεδίασης λόγω κυματισμού σε κατάσταση hogging και sagging αντίστοιχα M_{wv-h} , M_{wv-s} σε kNm υπολογίζονται ως εξής:

$$M_{wv-h} = 0.19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

$$M_{wv-s} = -0.19 f_{nl-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Όπου:

- $f_{nl-vh} = 1$
- $f_{nl-vs} = 0.58(C_B + 0.7) / C_B$
- $f_p = f_{ps} = 1$
- $f_m = 1, (x / L) = 0.5$ συντελεστής κατανομής (Σχ. 2)



Σχήμα 1 Συντελεστής κατανομή fm

Οπότε: $M_{wv-h} = 3772908 \text{ kNm}$ και $M_{wv-s} = -4051791 \text{ kNm}$.

6.2.1.2 Κατακόρυφη Ροπή Κάμψης σε ήρεμο νερό

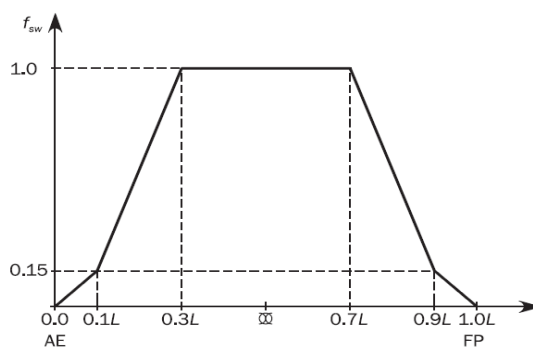
Η συγκεκριμένη ροπή κάμψης είναι αποτέλεσμα της κατάστασης φόρτωσης του πλοίου. Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες **κατακόρυφες ροπές σε ήρεμο νερό** (vertical still water bending moments) που θα ληφθούν υπόψη σε μελέτες διαμήκους αντοχής του υπο μελέτη πλοίου, για κατάσταση sagging και hogging $M_{sw-h-min}$, $M_{sw-s-min}$ σε kNm προδιαγράφονται από τους κανονισμούς {Pt1, Ch4, Sec4, [2.2.1]}. Για τον υπολογισμό των ροπών αυτών έχουμε:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

$$M_{sw-s-min} = -0.85 f_{sw} (171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-s-mid})$$

όπου

- $M_{wv-h-mid}$ = η κατακόρυφη ροπή κάμψης για κατάσταση hogging στο $0.5L$
- $M_{wv-s-mid}$ = η κατακόρυφη ροπή κάμψης για κατάσταση sagging στο $0.5L$
- f_{sw} = συντελεστής κατανομής κατά μήκος του πλοίου (Σχ. 2)
- $C_w = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1.5}$



Σχήμα 2 Συντελεστής κατανομή fsw

Οπότε $M_{sw-h-min} = 2514354 \text{ kNm}$, και $M_{sw-s-min} = -1900150 \text{ kNm}$.

Παρακάτω γίνεται και η επαλήθευση των υπολογισμών μέσω του προγράμματος Mars2000.

Vertical Bending Moment		
	Hogging (kNm)	Sagging (kNm)
S.W.B.M. Builder's proposal in Basic Ship Data	0.	0.
S.W.B.M. Builder's proposal at X = 120.35 m	-	-
S.W.B.M. minimum value at midship	2 514 354.	-1 900 150.
S.W.B.M. minimum value at X = 120.35 m	2 514 354.	-1 900 150.
Rule Vertical Wave Bending Moment at X = 120.35 m ...	3 772 908.	-4 051 791.

Design Hull Girder Loads at X = 120.35 m

6.2.2 Κριτήρια Διαμήκους Αντοχής

6.2.2.1 Ελάχιστη Απαιτούμενη Ροπή αδράνειας

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας της μέσης τομής I_{yR} (net moment of inertia) περί τον οριζόντια ουδέτερο άξονα (horizontal neutral axis) προκύπτει από τους κανονισμούς σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{yR} = 2.7C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

Για το υπο μελέτη πλοίο έχουμε $I_{yR} = 235.18 m^4$.

6.2.2.2 Ελάχιστη Απαιτούμενη Ροπή Αντίστασης

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης της μέσης τομής Z_R προκύπτει από τους κανονισμούς σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z_R = 0.9kC_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-6}$$

Η παραπάνω σχέση εξαρτάται από το συντελεστή υλικού k , δηλαδή από το υλικό που χρησιμοποιείται σε κάθε περιοχή.

- Η ελάχιστη ροπή αντίστασης στο κατάστρωμα ($k = 0.78$) είναι $Z_{RD} = 25.81 m^3$.
- Η ελάχιστη ροπή αντίστασης στον πυθμένα για ($k = 0.78$) είναι: $Z_{RB} = 25.81 m^3$.

6.2.2.3 Απαιτούμενη Ροπή Αντίστασης λόγω μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης

Επιπλέον, θα πρέπει να υπολογιστεί και η ροπή αντίστασης σε κατάστρωμα και πυθμένα με βάση την μέγιστη επιτρεπόμενη ορθή τάση που προδιαγράφουν οι κανονισμοί. Δηλαδή έτσι ώστε να ισχύει:

$$\sigma_L < \sigma_{perm}$$

Όπου:

- σ_L η προκύπτουσα ορθή τάση από την κάμψη του πλοίου, σε συγκεκριμένη διαμήκη θέση x/L
- σ_{perm} η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να λάβει εκείνη η περιοχή χωρίς να διαρρεύσει η ακραία ίνα της διατομής (κατάστρωμα/πυθμένας) και λαμβάνει τιμές ανάλογα με τη διαμήκη θέση x/L

Για τη μέση τομή ($x/L = 0.5$), σύμφωνα με τον Πίνακα 1 του εδαφίου {Part 1/Ch. 5/Section 1/[2.3]}, η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση προκύπτει:

$$\sigma_{perm} = 190 / k \quad (8)$$

Επιπλέον, από τον Πίνακα 2 του ίδιου εδαφίου λαμβάνουμε τις σχέσεις για την προκύπτουσα ορθή τάση σ_L για το κατάστρωμα και για τον πυθμένα με βάση τις εξωτερικές φορτίσεις (κατακόρυφες ροπές) που υπολογίστηκαν.

Στο κατάστρωμα σε (N / mm^2)

$$\sigma_{LD} = \frac{M_{sw} + f_{\beta} M_{wv}}{Z_{D-n50}} \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

Στον πυθμένα σε (N / mm^2)

$$\sigma_{LB} = \frac{M_{sw} + f_{\beta} M_{wv}}{Z_{B-n50}} \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

Στον παραπάνω υπολογισμό υπεισέρχεται και ένας συντελεστής f_{β}

Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει μέγιστη τιμή **1.05** (για κυματισμούς **HSM1-2**, **FSM1-2**), οπότε αυτή είναι και η χειρότερη κατάσταση στην οποία γίνεται ο υπολογισμός.

Για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης, επιλέγεται η χειρότερη κατάσταση μεταξύ των καταστάσεων hogging και sagging.

$$M_{total-hog} = M_{sw-hog} + 1.05 * M_{wv-hog} = 6475907.4 \text{ kN m} \quad (11)$$

$$M_{total-sag} = M_{sw-sag} + 1.05 * M_{wv-sag} = -6154530.55 \text{ kN m} \quad (12)$$

Επομένως, η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης στο κατάστρωμα και στον πυθμένα προκύπτουν:

$$Z_{DR} = \frac{M_{total-hog}}{\sigma_{PermD}} * 10^{-3} = \frac{6475907.4}{190/0.78} * 10^{-3} \Rightarrow Z_{DR} = 26.585 \text{ m}^3 \quad (13)$$

$$Z_{BR} = \frac{M_{total-hog}}{\sigma_{PermB}} * 10^{-3} = \frac{6475907.4}{190/0.78} * 10^{-3} \Rightarrow Z_{BR} = 26.585 \text{ m}^3 \quad (14)$$

Οι παραπάνω απαιτήσεις που αναφέρθηκαν αφορούν τη ροπή αδράνειας και τις ροπές αντίστασης διατομής I_{y-n50} , Z_{D-n50} και Z_{B-n50} για πάχη ελασμάτων και ενισχυτικών **n50: $t_{gross} - 50\% t_{corrosion}$** . Αυτές είναι και οι καθαρές (**net**) ιδιότητες της διατομής.

Cross Section Characteristics
Net scantling

Geometric Properties (For the whole cross-section)

Geometric Area of Cross-Section

	Steel (315)	Total Area
Strakes	3.671199	3.671199
Longitudinals	1.459158	1.459158
Total (m ²)	5.130353	5.130356

Geometric area of cross-section	5.130353	m ²
Effective area	5.085031	m ²
Single moment above neutral axis	(/ neutral axis) ..	19.367320 m ³
Single moment of half section	(/ centre line) ..	31.430810 m ³
Moment of inertia / G _v axis	(I _{Gv}) ..	355.431200 m ⁴
Moment of inertia / G _z axis	(I _{Gz}) ..	1057.340000 m ⁴

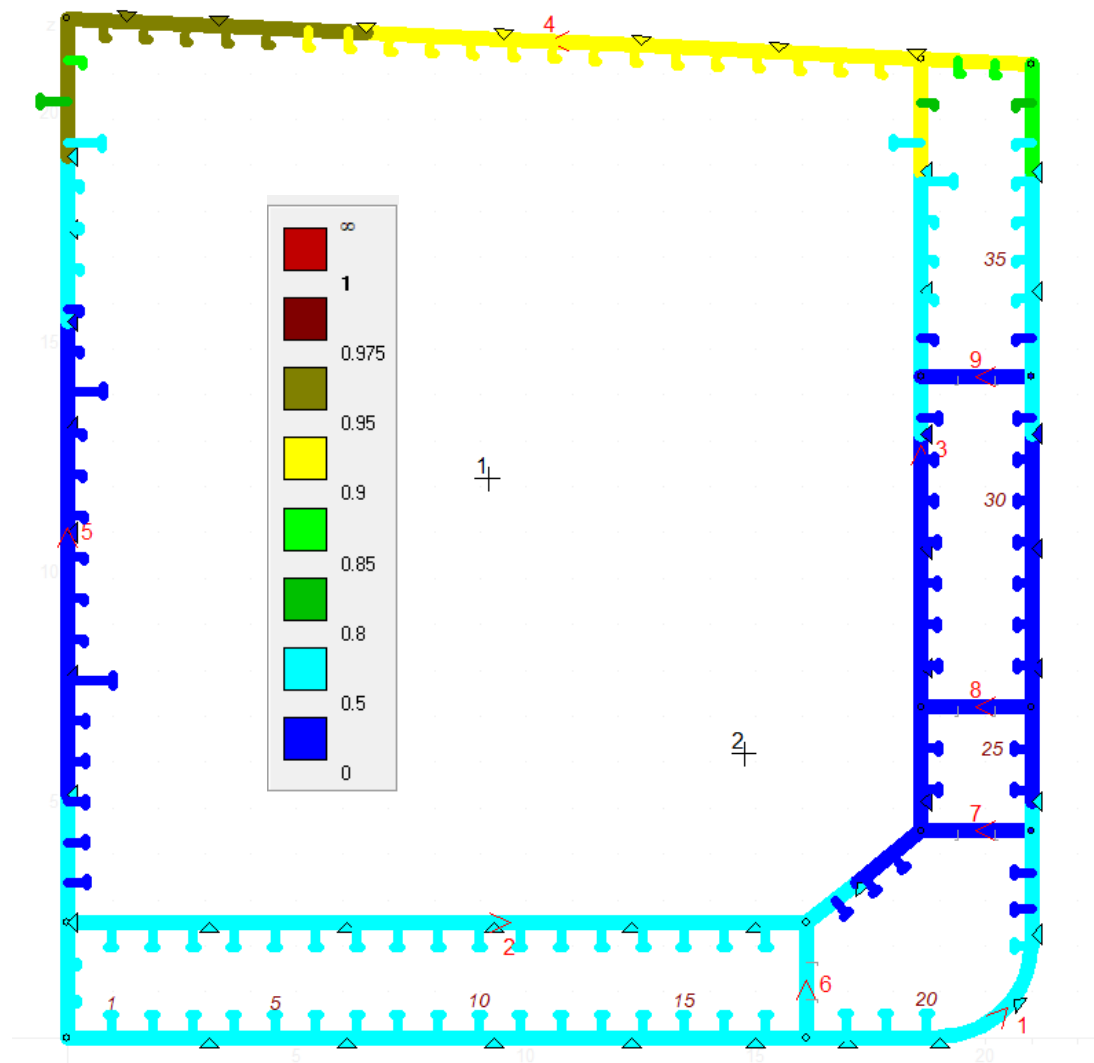
Position of neutral axis	(above base line) (N)	9.34765	m
Modulus at deck	(21.200 m) ... (Z _{AD}) ..	29.988230	m ³
Modulus at bottom	(0.000 m) ... (Z _{AB}) ..	38.023600	m ³
Transverse sectional area of deck flange		1.202051	m ²
Transverse sectional area of bottom flange		1.160079	m ²

These characteristic (except geometric area) are effective values assuming an homogeneous material of 206000 (N/mm²) as Young modulus.

Παρακάτω επαληθεύονται οι προαναφερθείσες απαιτήσεις σύμφωνα με το Mars2000.

Rule section moduli		
	Deck (m ³)	Bottom (m ³)
Minimum section modulus	25.8109	25.8109
Modulus based on design BM, Hog. (6 475 908.0 kNm)	26.5853	26.5853
Modulus based on design BM, Sag. (-6 154 531.0 kNm)	25.2660	25.2660
<i>Harbour</i>		
Modulus based on harbour SWBM, Hog. (3 142 943.0 kNm)	17.1433	17.1433
Modulus based on harbour SWBM, Sag. (-2 375 188.0 kNm)	12.9556	12.9556
Rule Modulus	26.5853	26.5853

Check of section moduli and inertia			
		Rule	Actual
Deck	(21.200 m k = 0.78)	26.5853	29.9882
Bottom	(0.000 m k = 0.78)	26.5853	38.0236
Inertia		235.1767	355.4312



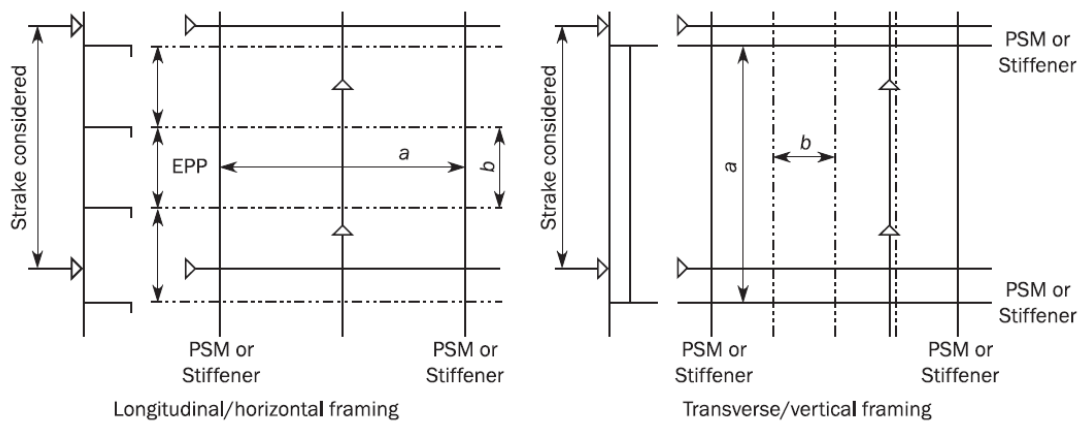
Εικόνα 22. Κατανομή ορθών τάσεων καθύψως της διατομής

6.3 Απαιτήσεις τοπικής αντοχής

6.3.1 Κριτήρια Διαστασιολόγησης Ελασμάτων

Τα κριτήρια για τη διαστασιολόγηση των ελασμάτων (**Strakes**) αφορούν τα στοιχειώδη ελάσματα (**Elementary Plate Panels**), τα οποία ορίζονται μεταξύ των διαμήκων ενισχυτικών και των εγκάρσιων στοιχείων στήριξης (PSM).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, το στοιχειώδες έλασμα (**EPP**) οριοθετείται από το ελάχιστο ανυποστήρικτο τμήμα μεταξύ διαμήκων και εγκαρσίων ενισχυτικών (**Stiffeners/PSM**), με a τη μεγαλύτερη διάσταση και b τη μικρότερη. Τα στοιχειώδη αυτά ελάσματα (**EPP's**) αποτελούν δομικά στοιχεία ενός μεγαλύτερου ενιαίου ελάσματος (**Strake**), το οποίο έχει σταθερό πάχος. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, το απαιτούμενο πάχος του λαμβάνεται ίσο με το μέγιστο απαιτούμενο πάχος μεταξύ των στοιχειωδών ελασμάτων που το συνθέτουν.



Σχήμα 3. Ορισμός Στοιχειώδους Ελάσματος EPP

6.3.1.1 Κριτήριο πάχους για ελάσματα που υπόκεινται σε κάθετες πιέσεις (Load Thickness Criteria)

Σύμφωνα με τους κανονισμούς για κάθε στοιχειώδες έλασμα που υπόκειται σε κάθετες πιέσεις απαιτείται ελάχιστο καθαρό πάχος $t_{net-Rule}$ που ορίζεται από τη σχέση:

$$t_{net} = 0.0158 * a_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{\chi * C_\alpha * R_{eH}}} \quad (15)$$

όπου

- $a_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 * a}$, διορθωτικός συντελεστής και δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μονάδα
- C_α , είναι ο συντελεστής επιτρεπόμενης καμπτικής καταπόνησης, ο οποίος συσχετίζεται με την ορθή τάση στο έλασμα και δίνεται από τη σχέση:

$$C_\alpha = \beta - \alpha * \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

και δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $C_{\alpha-max}$.

Acceptance criteria set	Structural member	β	α	$C_{\alpha-max}$	
AC-S	Longitudinal strength members	Longitudinally stiffened plating	0.9	0.5	0.8
		Transversely stiffened plating	0.9	1.0	0.8
	Other members		0.8	0	0.8
AC-SD	Longitudinal strength members	Longitudinally stiffened plating	1.05	0.5	0.95
		Transversely stiffened plating	1.05	1.0	0.95
	Other members		1.0	0	1.0

Πίνακας 43. Ορισμός β , α , $C_{\alpha-max}$

- $R_{eH} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, το όριο διαρροής του χρησιμοποιούμενου χάλυβα
- χ , συντελεστής που παίρνει τις εξής τιμές:
 - $\chi = 0.7$, για *Inner Bottom* και *Hopper Plate*
 - $\chi = 1$, για όλα τα υπόλοιπα
- $P \left[\frac{kN}{m^2} \right]$, η **κάθετη πίεση για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης**

$$P = P_{static} + P_{dynamic}$$

- $\sigma_{hg} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, η ορθή τάση που ασκείται στο έλασμα λόγω διαμήκουσ κατακόρυφης και οριζόντιας καμπτικής ροπής και δίνεται από τη σχέση

$$\sigma_{hg} = \left(\frac{M_{sw} + M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} (z - z_n) - \frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} y \right) * 10^{-3}$$

όπου

- $M_{sw} [kN m]$, η μέγιστη/ελάχιστη καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό (**S.W.B.M**) για την κατάσταση Hogging και Sagging αντίστοιχα, όπως υπολογίστηκε σε προηγούμενο εδάφιο (*Hull Girder Loads*).
- $M_{wv-LC} [kN m]$, η κατακόρυφη καμπτική ροπή κυματισμού, ανάλογα με την εκάστοτε δυναμική κατάσταση φόρτισης (**Dynamic Load Case**), η οποία προκύπτει σε συνδυασμό με τις κατακόρυφες καμπτικές ροπές κυματισμού M_{wv-h} , M_{wv-s} , σύμφωνα με τον πίνακα:

Table 1: Vertical wave bending moment for dynamic load cases

Load combination factor	M_{wv-LC}
$C_{wv} \geq 0$	$f_{\beta} C_{wv} M_{wv-h}$
$C_{wv} < 0$	$f_{\beta} C_{wv} M_{wv-s} $

- $M_{wh-LC} [kN m]$, η οριζόντια καμπτική ροπή κυματισμού ανάλογα με την εκάστοτε δυναμική κατάσταση φόρτισης (**Dynamic Load Case**), η οποία προκύπτει σε συνδυασμό με την οριζόντια ροπή κυματισμού M_{wh} , ως εξής:

$$M_{wh-LC} = f_{\beta} * C_{WH} * M_{wh}$$

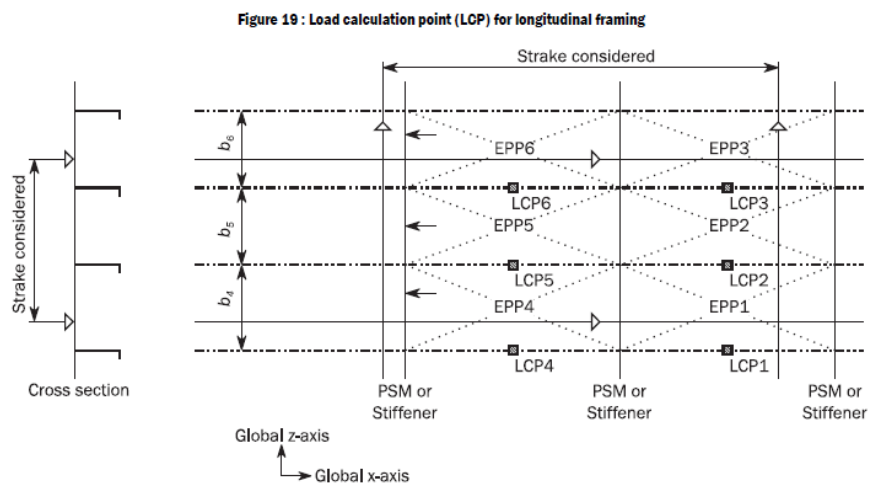
- z_n , η θέση του Ουδέτερου Άξονα (*Neutral Axis*) της διατομής **n50**.
- I_{y-n50} , I_{z-n50} , οι ροπές αδράνειας της διατομής **n50**.

Η ολική πίεση, στα πλαίσια της μελέτης, δίνεται από το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής συνιστώσας $P = P_{static} + P_{dynamic}$. Ο υπολογισμός των οποίων προβλέπεται από τους κανονισμούς, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται το εν λόγω έλασμα (External – Internal Load).

Σε κάθε στοιχειώδες έλασμα ορίζεται ένα σημείο υπολογισμού φορτίσεων (**Load Calculation Point**) το οποίο σύμφωνα με τους κανονισμούς, **λαμβάνεται στο άκρο του ελάσματος και συγκεκριμένα το πιο απομακρυσμένο από την Centeline και πιο κοντά στη Baseline**. Για τα ελάσματα, το σημείο υπολογισμού κάθετης πίεσης και ορθής τάσης συμπίπτουν.

LCP coordinates	General ⁽¹⁾		Horizontal plating		Vertical transverse structure and transverse stool plating	
	Longitudinal framing (Figure 19)	Transverse framing (Figure 20)	Longitudinal framing	Transverse framing	Horizontal framing (Figure 21)	Vertical framing (Figure 22)
x coordinate	Mid-length of the EPP		Mid-length of the EPP		Corresponding to y and z values	
y coordinate	Corresponding to x and z coordinates		Outboard y value of the EPP		Outboard y value of the EPP, taken at z level	
z coordinate	Lower edge of the EPP	The greater of lower edge of the EPP or lower edge of the strake	Corresponding to x and y values		Lower edge of the EPP	The greater of lower edge of the EPP or lower edge of the strake

(1) All structures other than horizontal platings or vertical transverse structures.



6.3.1.2 Απαιτήση Ελάχιστου Πάχους Ελάσματος (Minimum thickness criteria)

Πρόκειται για ελάχιστες εμπειρικές απαιτήσεις, που προδιαγράφουν το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος, ανάλογα με τη θέση του και το μήκος του πλοίου ($L = 236.9$ m).

Element	Location	Area	Net thickness
Shell	Keel	-	$7.5 + 0.03 L_2$
	Bottom Side shell Bilge	Fore Part	$6.5 + 0.03 L_2$
		Machinery space Aft part	$7.0 + 0.03 L_2$
		Elsewhere	$5.5 + 0.03 L_2$
Breasthook		Fore part	6.5
Deck	Weather deck, strength deck, internal tank boundary	-	$4.5 + 0.02 L_2$
		Machinery space	$2.8 + 0.0067 s$
	Platform deck	Elsewhere	6.5
Inner bottom ⁽⁴⁾	-	Machinery space	$6.6 + 0.024 L_2$
		Elsewhere	$5.5 + 0.03 L_2$
Longitudinal bulkheads of bulk carriers	Inner side, hopper tank top, top wing tank longitudinal bulkhead	Cargo hold region	$0.7 L_2^{1/2}$
Bulkheads	Internal tank boundary, Transverse/longitudinal watertight bulkhead	-	$4.5 + 0.02 L_2$
		-	$4.5 + 0.01 L_2$
	Non-tight bulkhead, Wash bulkhead, Bulkheads between dry spaces. Pillar bulkheads in fore and aft peaks	-	7.5
Other members	Diaphragms in lower/upper stool	-	$5.0 + 0.015 L_2$
	Engine casing (in the cargo hold region)	Cargo hold region	5.5
	Engine casing (in way of accommodation)	Accommodation	4.0
	Other plates in general	-	$4.5 + 0.01 L_2$

⁽⁴⁾ Applicable for both tight and non tight members

Ελάχιστες απαιτήσεις καθαρού πάχους ελάσματος

6.3.1.3 Ειδικές Απαιτήσεις Διαστασιολόγησης Ελασμάτων

Σύμφωνα με τους κανονισμούς παρουσιάζουμε ειδικές απαιτήσεις για τα παρακάτω ελάσματα που συναντώνται στην κατασκευή του υπό μελέτη πλοίου.

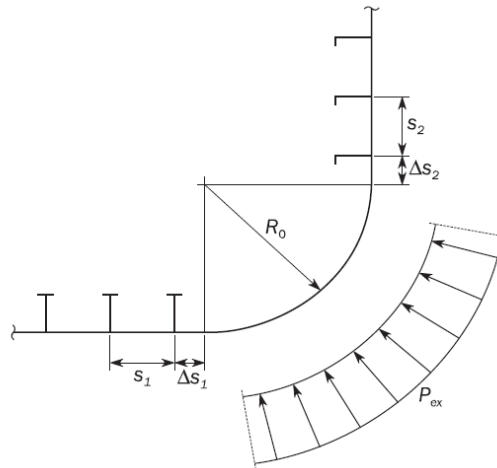
- Έλασμα Τρόπιδας (Keel Plate): εκτείνεται κατα μήκος του πυθμένα σε όλο το μήκος του πλοίου με πλάτος που θα πρέπει να ξεπερνά τα $0.8 + L/200$ [m] χωρίς να υπερβαίνει τα 2.3 m.
- Έλασμα ζωστήρα (sheer strake) πρέπει να έχει πλάτος χωρίς να ξεπερνά τα 1.8 m αλλά όχι μικρότερο του $0.8 + L/200$, όπως αυτό μετράται κατακόρυφα. Επιπλέον, το έλασμα του ζωστήρα δεν πρέπει να έχει μικρότερο καθαρό πάχος από το πάχος του παρακείμενου ελάσματος (Top Side Shell Plate).
- Για το bilge plate ισχύουν ειδικές απαιτήσεις, σύμφωνα με τις οποίες το καθαρό πάχος του ελάσματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το καθαρό πάχος των παρακείμενων ελασμάτων (Lower Side Shell Plate/Bottom Plate). Το καθαρό πάχος πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος που δίνεται από τη σχέση:

$$t_{\min} = 6.45 * 10^{-4} * (P_{\text{ex}} * S_b)^{0.4} * R^{0.6} \quad (16)$$

όπου

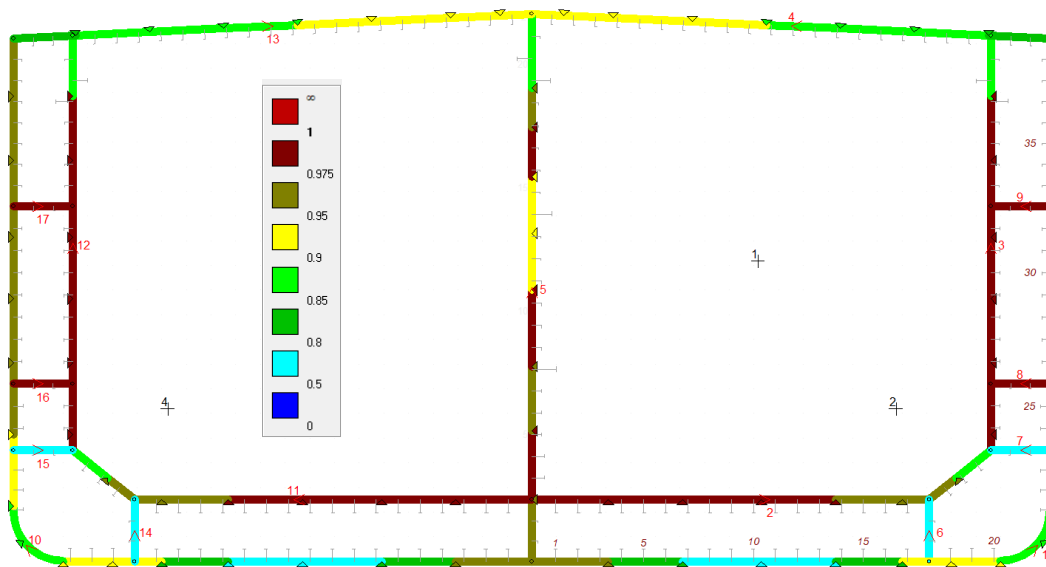
$R = R_0 + 0.5 * (\Delta S_1 + \Delta S_2)$ και $R_0 = 2100 \text{ mm}$

$S_b = 4250 \text{ mm}$ (Web Spacing) με $\Delta S_1 = 290 \text{ mm}$ και $\Delta S_2 = 0 \text{ mm}$

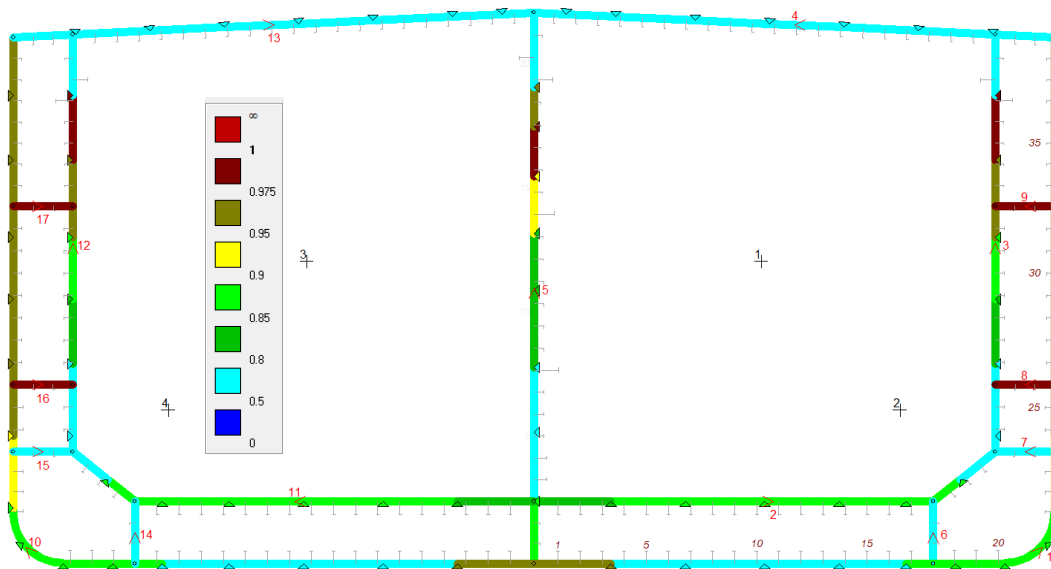


Εγκάρσια ενισχυμένο bilge plating

6.3.1.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα διαστασιολόγησης ελασμάτων (Prescriptive Requirements)



Εικόνα 23. Έλεγχος απαιτούμενου πάχους ελάσματος βασισμένο στις φορτίσεις μέσω του λόγου $ratio = t_{required}/t_{net-actual}$ (Load based thickness)



Εικόνα 24. Έλεγχος απαιτούμενου πάχους ελάσματος (εμπειρικό) μέσω του λόγου $ratio = t_{required}/t_{net-actual}$

6.3.2 Κριτήρια Διαστασιολόγησης Ενισχυτικών

6.3.2.1 Απαίτηση ελάχιστου πάχους κορμού ενισχυτικού (Minimum Thickness Criteria)

Σύμφωνα με τους κανονισμούς προδιαγράφεται το ελάχιστο καθαρό πάχος του κορμού των ενισχυτικών βάσει του παρακάτω πίνακα. Πρόσθετα, το πάχος του ενισχυτικού οφείλει να είναι μεγαλύτερο από το **40%** του καθαρού πάχους ελάσματος που ενώνεται και μικρότερο από το διπλάσιο καθαρό πάχος του ελάσματος αυτού.

Πίνακας 44. Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Watertight boundary	$3.5 + 0.015 L_2$
	Other structure	$3.0 + 0.015 L_2$
Cargo hold side frames webs of single side bulk carriers	Foremost hold ⁽¹⁾	$6.0 + 0.026 L$
	Other holds ⁽¹⁾	$5.2 + 0.023 L$
Tripping brackets		$5.0 + 0.015 L_2$
(1) L needs not to be taken greater than 200 m		

6.3.2.2 Κριτήρια για ενισχυτικά που υπόκειται σε κάθετες πιέσεις (Load-based Criteria)

6.3.2.2.1 Απαίτηση ροπής αντίστασης ενισχυτικού που υπόκεινται σε κάθετες πιέσεις (Load Modulus Criteria)

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για κάθε σύστημα ενισχυτικού – προσκείμενου ελάσματος που υπόκεινται σε κάθετες πιέσεις, προδιαγράφεται η ελάχιστη ροπή αντίστασης $Z_{net-Rule}$ με βάση την παρακάτω σχέση:

$$Z [cm^3] = \frac{|P| * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * \chi * C_s * R_{eH}} \quad (16)$$

όπου

- $s [mm]$, η απόσταση του ενισχυτικού από το επόμενο
- $f_{bdg} = 12$, παράγοντας καμπτικής ροπής
- $l_{bdg} [m]$, το ενεργό μήκος κάμψης ίσο με το μήκος εγκάρσιας ενίσχυσης νομέων (*Web Spacing*)
- C_s , ο συντελεστής επιτρεπόμενης καμπτικής καταπόνησης, ο οποίος δεν πρέπει να υπερβαίνει μία μέγιστη τιμή C_{s-max} και εξαρτάται από το πρόσημο της αναπτυσσόμενης τάσης, σύμφωνα με τον πίνακα:

Table 1 : Definition of C_s

Sign of hull girder bending stress, σ_{hg}	Lateral pressure acting on	Coefficient C_s
Tension (positive)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{ \sigma_{hg} }{R_{eH}}$ but not to be taken greater than C_{s-max}
Compression (negative)	Plate side	
Tension (positive)	Plate side	$C_s = C_{s-max}$
Compression (negative)	Stiffener side	

Table 2 : Definition of β_s , α_s and C_{s-max}

Acceptance criteria set	Structural member	β_s	α_s	C_{s-max}
AC-S	Longitudinal strength member	0.85	1.0	0.75
	Transverse or vertical member	0.75	0	0.75
AC-SD	Longitudinal strength member	1.0	1.0	0.9
	Transverse or vertical member	0.9	0	0.9

- $R_{eH} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, το όριο διαρροής του χρησιμοποιούμενου χάλυβα
- χ , συντελεστής που παίρνει τις εξής τιμές:
 - $\chi = 0.9$, για *Inner Bottom* και *Hopper Plate*
 - $\chi = 1$, για όλα τα υπόλοιπα
- $P \left[\frac{kN}{m^2} \right]$, η κάθετη πίεση σχεδίασης για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης ως άθροισμα της στατικής και της δυναμικής συνιστώσας.
- $\sigma_{hg} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, η ορθή τάση που ασκείται στο έλασμα λόγω διαμήκου κατακόρυφης και οριζόντιας καμπτικής ροπής.

6.3.2.2.2 Απαίτηση ελάχιστου πάχους κορμού ενισχυτικού που υπόκειται σε κάθετες πιέσεις (Load Web Thickness Criteria)

Αντίστοιχα προδιαγράφεται και ένα απαιτούμενο ελάχιστο καθαρό πάχος κορμού, για τον έλεγχο διαρροής σε ενισχυτικά που υπόκεινται σε κάθετες πιέσεις, σύμφωνα με τη σχέση:

$$t_w = \frac{f_{shr} * |P| * s * l_{shr}}{d_{shr} * \chi * C_t * \tau_{eH}} \quad (18)$$

όπου:

- $s \left[mm \right]$, η απόσταση του ενισχυτικού από το επόμενο
- $f_{shr} = 0.5$, παράγοντας κατανομής διατμητικής δύναμης
- $l_{shr} \left[m \right]$, το ενεργό μήκος διάτμησης: $l_{shr} = l_{bdg} - \frac{s}{2000}$
- C_t , ο συντελεστής επιτρεπόμενης διατμητικής καταπόνησης:
 - $C_t = 0.75$, για *Acceptance Criteria AC - S*

– $C_t = 0.9$, για *Acceptance Criteria AC – SD*

- $\tau_{eH} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, το όριο διάτμησης του χρησιμοποιούμενου χάλυβα, που ορίζεται ως εξής

$$\tau_{eH} = \frac{ReH}{\sqrt{3}}$$
- χ , συντελεστής που παίρνει τις τιμές:
 - $\chi = 0.9$, για *Inner Bottom* και *Hopper Plate*
 - $\chi = 1$, για όλα τα υπόλοιπα
- $d_{shr} [mm]$, το ενεργό βάθος διάτμησης του ενισχυτικού που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση $d_{shr} = (h_w + t_p) * \sin\varphi_w$ με και $\varphi_w = 90^\circ$ για ενισχυτικά που εδράζονται κάθετα στο προσκείμενο έλασμα.
- $P \left[\frac{kN}{m^2} \right]$, η κάθετη πίεση για τη δυσμενέστερη κατάσταση φόρτισης. Η ολική πίεση, στα πλαίσια της μελέτης, δίνεται από το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής συνιστώσας:

$$P = P_{static} + P_{dynamic}$$

Ο υπολογισμός των οποίων προβλέπεται από τους κανονισμούς, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται το εν λόγω έλασμα (*External – Internal Load*).

6.3.2.3 Απαίτηση Λυγηρότητας Ενισχυτικού

Για την αποφυγή τοπικού λυγισμού, προδιαγράφεται ελάχιστο πάχος κορμού και φλάντζας ενισχυτικού, τα οποία υπολογίζονται ως εξής:

- $t_{web-net} \geq \frac{h_w}{C_w} \sqrt{\frac{ReH}{235}}$
- $t_{f-net} \geq \frac{b_{f-out}}{C_f} \sqrt{\frac{ReH}{235}}$

Figure 1 : Stiffener scantling parameters

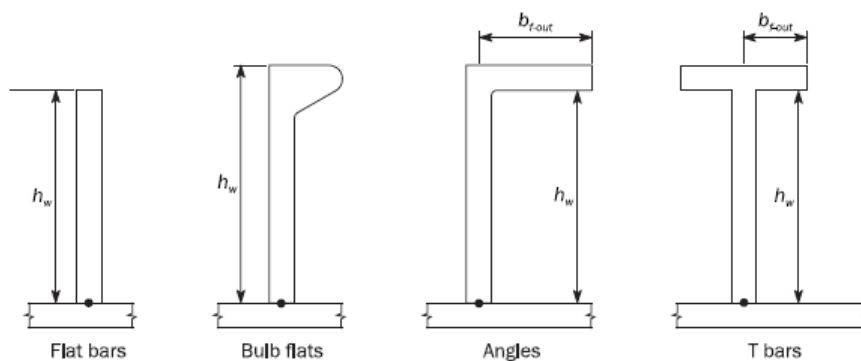


Table 1 : Slenderness coefficients

Type of Stiffener	C_w	C_f
Angle bars	75	12
T-bars	75	12
Bulb bars	45	-
Flat bars	22	-

6.3.3 Κριτήρια διαστασιολόγησης PSM

Τα κύρια στοιχεία πρωτεύουσας στήριξης (**Primary Support Members**) είναι τα παρακάτω:

- Σταθμίδες (*Girders*)
- Έδρες Πυθμένα (*Bottom Floors*)
- *Web Frames*

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για πλοία *Bulk Carriers* και *Oil Tankers* άνω των **150 m** η διαστασιολόγηση των στοιχείων αυτών εντός της περιοχής φορτίου (Μέση Τομή) απαιτεί ανάπτυξη πλήρους μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων (**FEM**), το οποίο περιλαμβάνει τις εκάστοτε φορτίσεις και δοκιμές για κάθε ενδεχόμενη κατάσταση πλευσης.

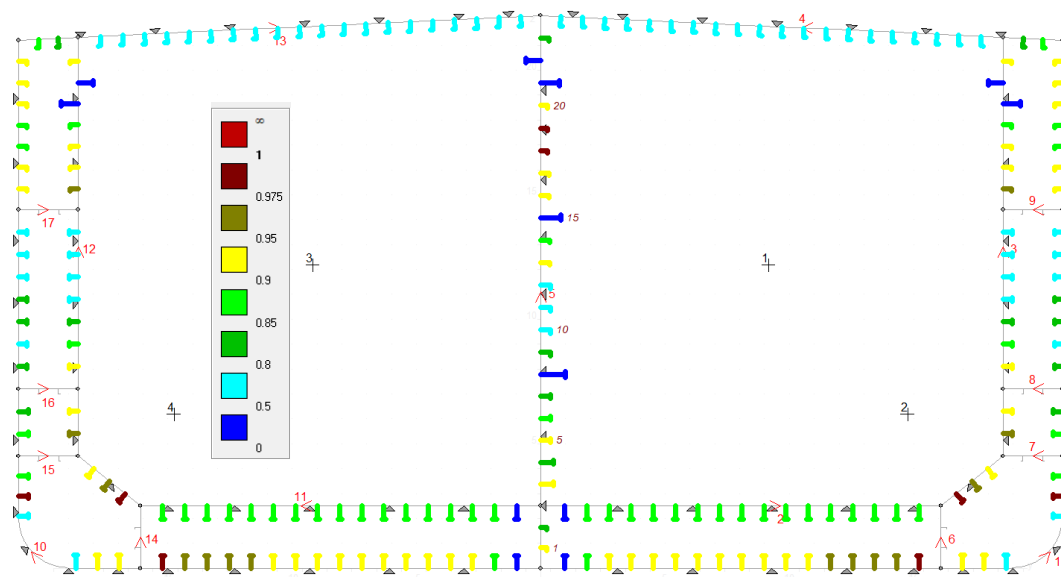
Παρόλα αυτά υπάρχουν και οι ελάχιστες, εμπειρικές απαιτήσεις, που προδιαγράφουν το ελάχιστο καθαρό πάχος του ελάσματος, ανάλογα με τη θέση του και το μήκος του πλοίου:

Table 3 : Minimum net thickness for primary supporting members

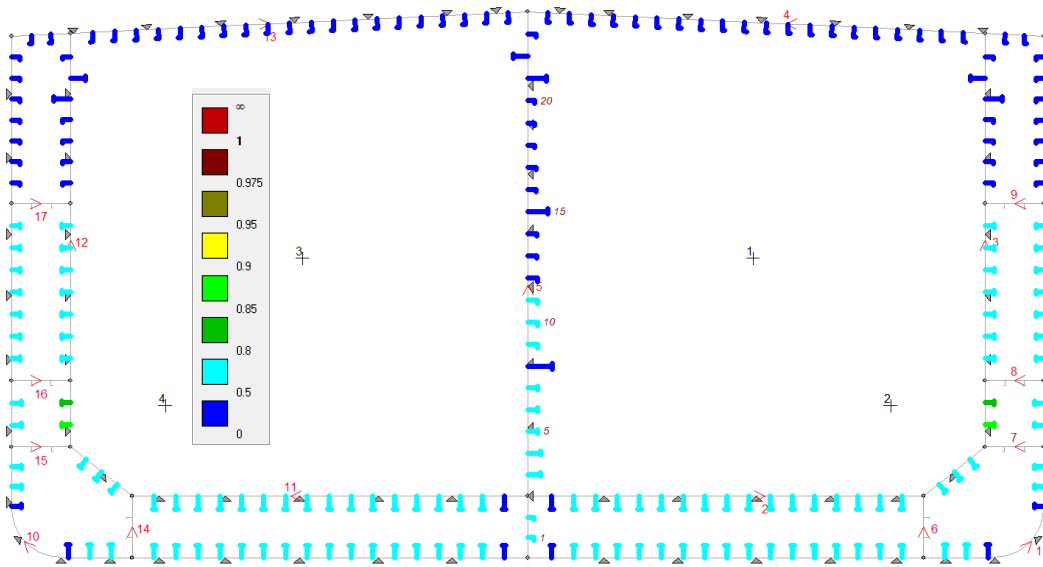
Element	Location		Net thickness
Double bottom centreline girder	Machinery space		$1.55 L_2^{1/3} + 3.5$
	Elsewhere		$5.5 + 0.025 L_2$
Other bottom girder	Machinery space		$1.7 L_2^{1/3} + 1.0$
	Fore part of ships with $L \geq 150 m$		$0.7 L_2^{1/2}$
	Elsewhere and fore part of ships with $L < 150 m$		$5.5 + 0.02 L_2$
Girders bounding a duct keel	Machinery space		$0.8 L_2^{1/2} + 2.5$
Bottom floor	Machinery space		$1.7 L_2^{1/3} + 1.0$
	Fore part		$0.7 L_2^{1/2}$
	Elsewhere		$0.6 L_2^{1/2}$
Aft peak floor	-		$0.7 L_2^{1/2}$
Other primary supporting member	Aft part / fore part		$0.7 L_2^{1/2}$
	Elsewhere	In oil cargo tanks	$5.5 + 0.015 L_2$
		For other cases	$0.6 L_2^{1/2}$

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη σχεδίαση του πατρικού και γίνεται επαλήθευση με βάση την παραπάνω απαίτηση ελάχιστου πάχους.

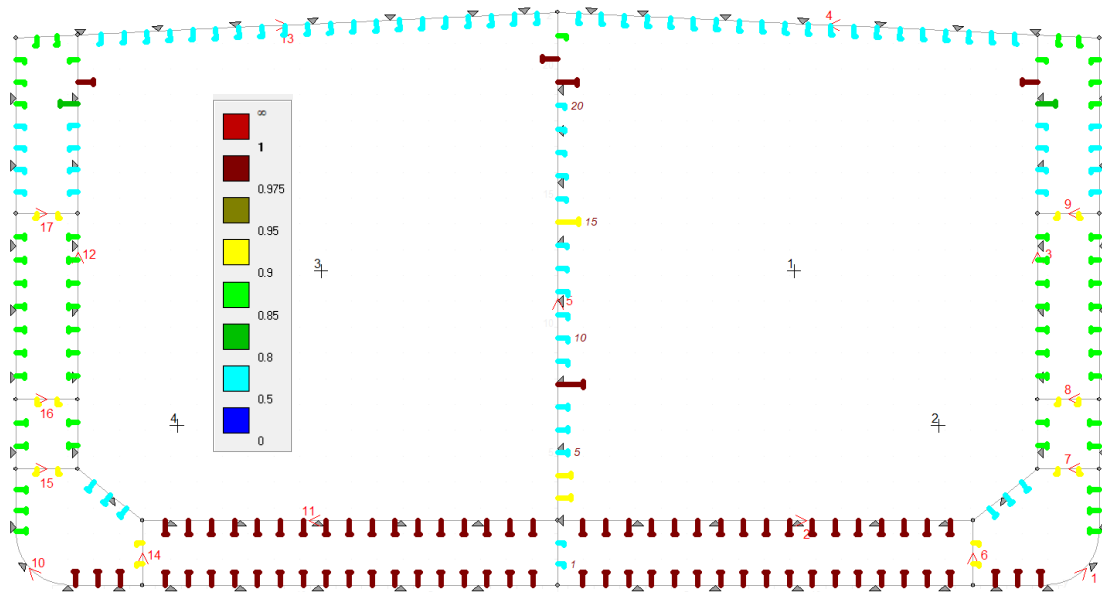
6.3.3.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα διαστασιολόγησης ενισχυτικών (Prescriptive Requirements)



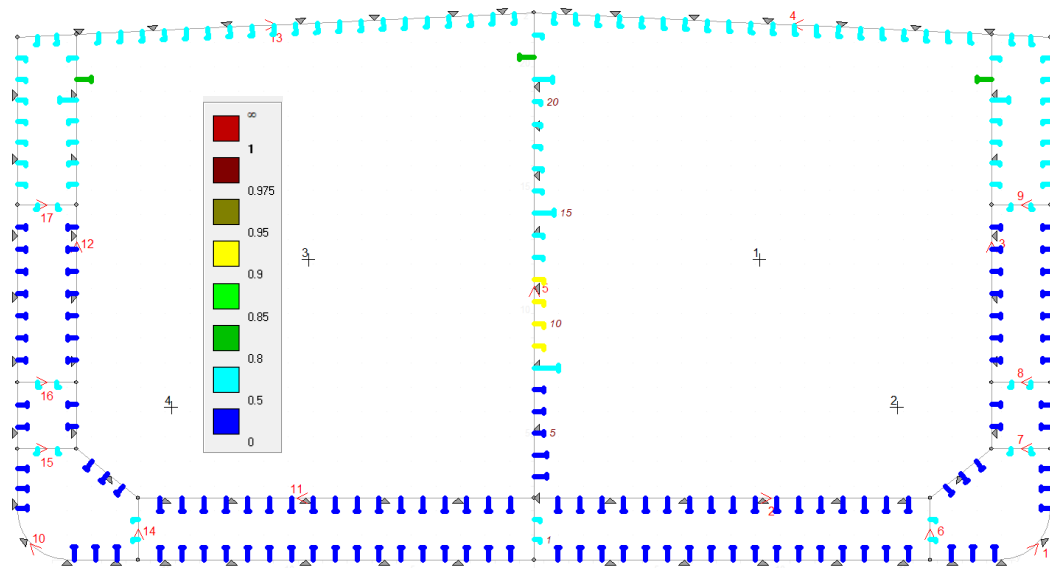
Εικόνα 25. Έλεγχος απαιτούμενης ροπής αντίστασης ενισχυτικών βασισμένο στις φορτίσεις μέσω του λόγου $ratio = Z_{required} / Z_{net-actual}$



Εικόνα 26. Έλεγχος απαιτούμενου πάχους κορμού ενισχυτικών βασισμένο στις φορτίσεις μέσω του λόγου $ratio = t_{webrequired} / t_{webnet-actual}$

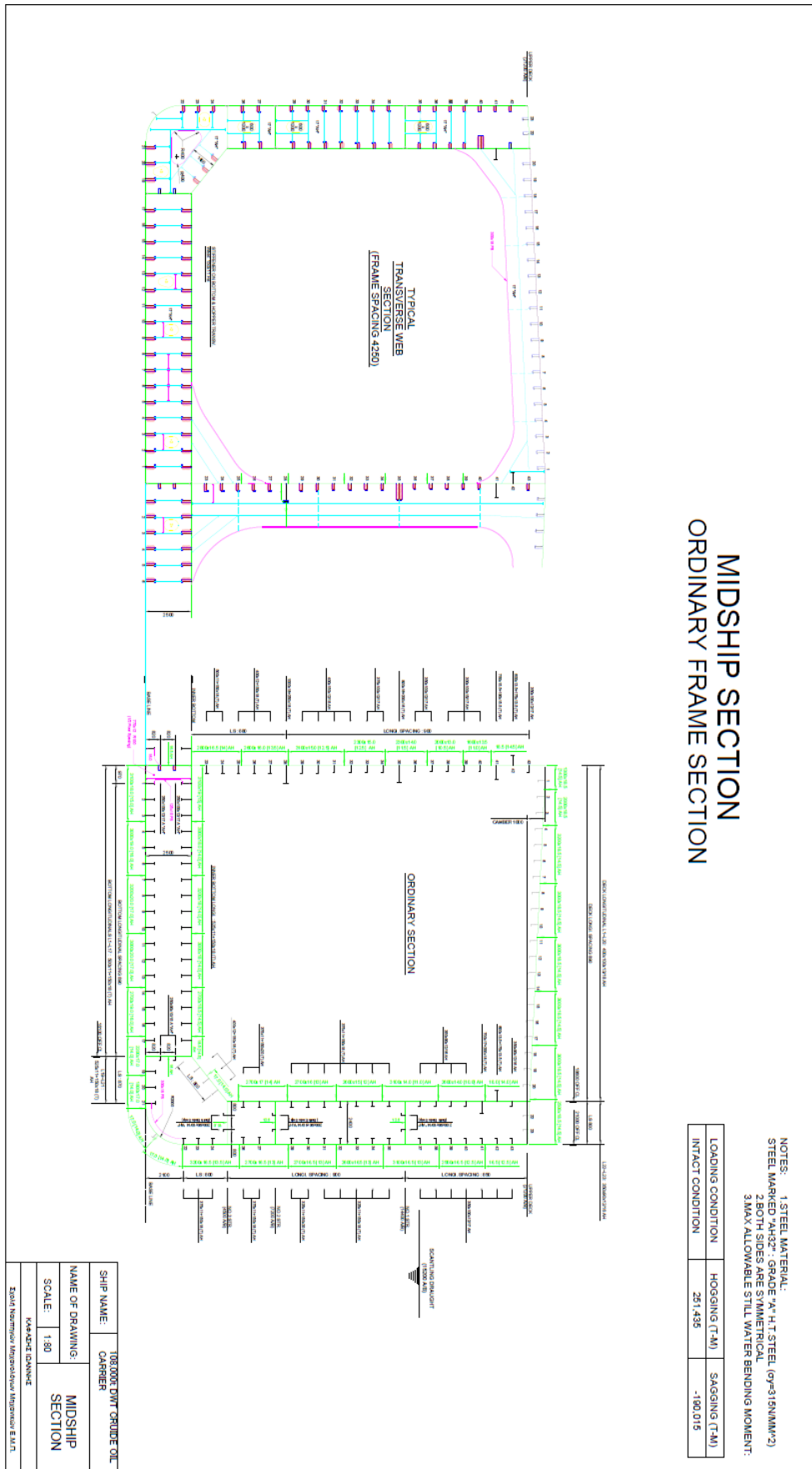


Εικόνα 27. Έλεγχος ελάχιστου απαιτούμενου πάχους κορμού ενισχυτικών (εμπειρικό) μέσω του λόγου $ratio = t_{required}/t_{net-actual}$



Εικόνα 28. Έλεγχος απαίτησης λυγηρότητας ενισχυτικών κορμού (εμπειρικό) μέσω του λόγου $ratio = t_{web-net}/t_{net-actual}$

6.4 Σχέδιο Μέσης τομής υπό μελέτης δεξαμενοπλοίου



7 Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών

Αντικείμενο του παρακάτω κεφαλαίου είναι η μελέτη της διαμήκουσ αντοχής του υπό μελέτη πλοίου, για την κατάσταση πλήρους φορτίου (Full Load Departure). Στα πλαίσια αυτής της μελέτης υπολογίζονται οι διαμήκεισ κατανομές των αναπτυσσόμενων καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων σε κατάσταση ήρεμου νερού και κυματισμών hogging και sagging.

Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν την εκτίμηση της κατανομής όλων των επιμέρους ομάδων βαρών του σκάφους (WST, WM, WOT-, WHFO, WFW WPAYLOAD, κ.λ.π.), με βάση τα ήδη γνωστά στοιχεία από τα προηγούμενα ερωτήματα του μαθήματος. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί αναλύονται στο **παράρτημα V**. Με βάση αυτή την εκτίμηση γίνεται υπολογισμός των διαμήκων καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων για όλες τις καταστάσεις θάλασσας που έχουμε προδιαγράψει, μέσω του υπολογιστικού πακέτου AVEVA Marine.

Τέλος, τα μεγέθη που περιγράφουν την διαμήκη καταπόνηση του σκάφους και υπολογίσθηκαν σταπροηγούμενα στάδια θα πρέπει να συγκριθούν με τα μέγιστα επιτρεπτά όρια τιμών που θέτουν από κοινού οι κύριοι νηογνώμονες στους ενοποιημένους κανονισμούς (IACS - CSR)

Χαρακτηριστικά υπό μελέτη πλοίου

ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	LOA	245.00	m
ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΘΕΤΩΝ	LBP	240.00	m
ΜΗΚΟΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	LPMB	60.00	m
ΑΡΧΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	x aft PMB	108.00	m
ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	x fore PMB	168.00	m
ΑΠΟΣΤΑΣΗ TRANSOM ΑΠΟ Α,Ρ	x transom	-4.40	m
ΠΛΑΤΟΣ	B	42.00	m
ΚΟΙΛΟ	D	21.20	m
ΒΥΘΙΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	T	15.20	m
ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ	Δ	184894.05	tons
ΒΑΡΟΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ	WLS	18900.54	tons
DEADWEIGHT	DWT	108555.25	tons
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ	CB	0.8100	-
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΑΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	CWL	0.9350	-
ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	CP	0.8175	-
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	CM	0.9900	-
ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	WST' + WSS	14893.75	tons
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	WM	1923.08	tons
ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗΣ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	WOT	2083.72	tons
Cargo Stowage Factor	S.F	0.0000	t/m3

7.1 Κατανομή Άντωσης

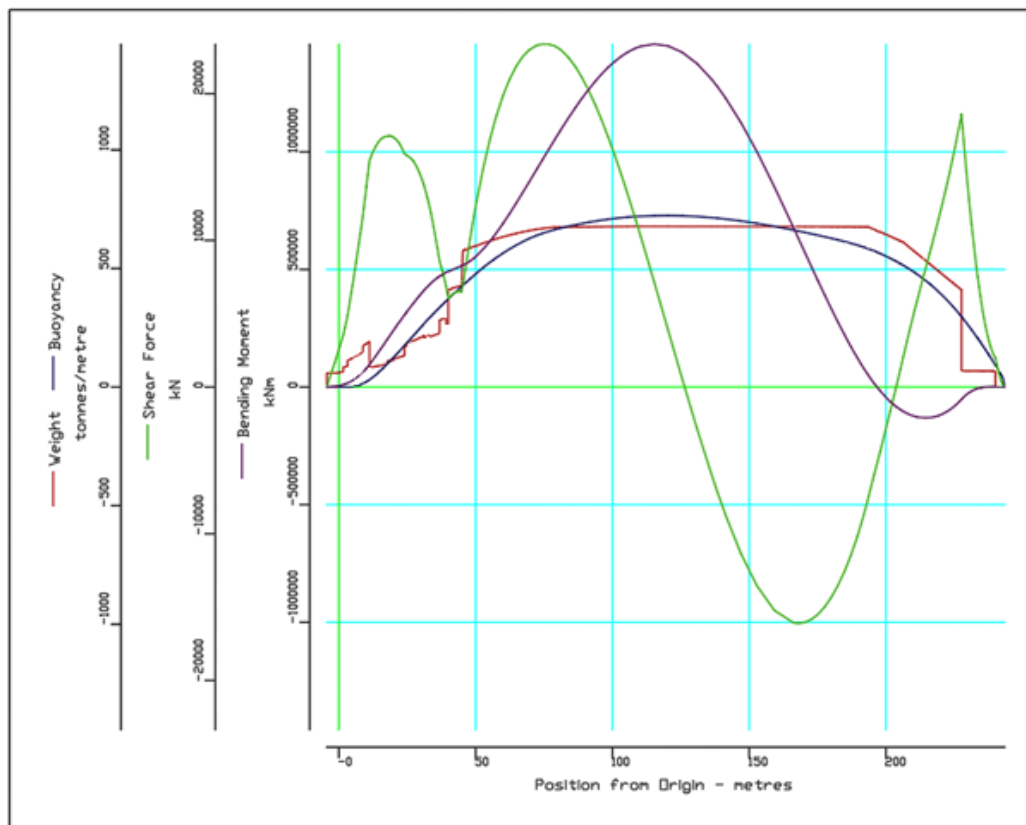
Η διαμήκης κατανομή της άντωσης είναι συνάρτηση της γεωμετρίας της γάστρας (υδροστατικά μεγέθη), της κατάστασης φόρτωσης και της κατάστασης της θάλασσας.

Η μορφή της γάστρας είναι δεδομένη και γνωστή με κάθε λεπτομέρεια από τα προηγούμενα ερωτήματα του μαθήματος. Η κατάσταση φόρτωσης που μελετάται στα πλαίσια της παρούσας έκθεσης είναι η κατάσταση πλήρους φορτίου (Full Load Departure - FLD). Οι καταστάσεις θάλασσας ενδιαφέροντος είναι οι ακόλουθες:

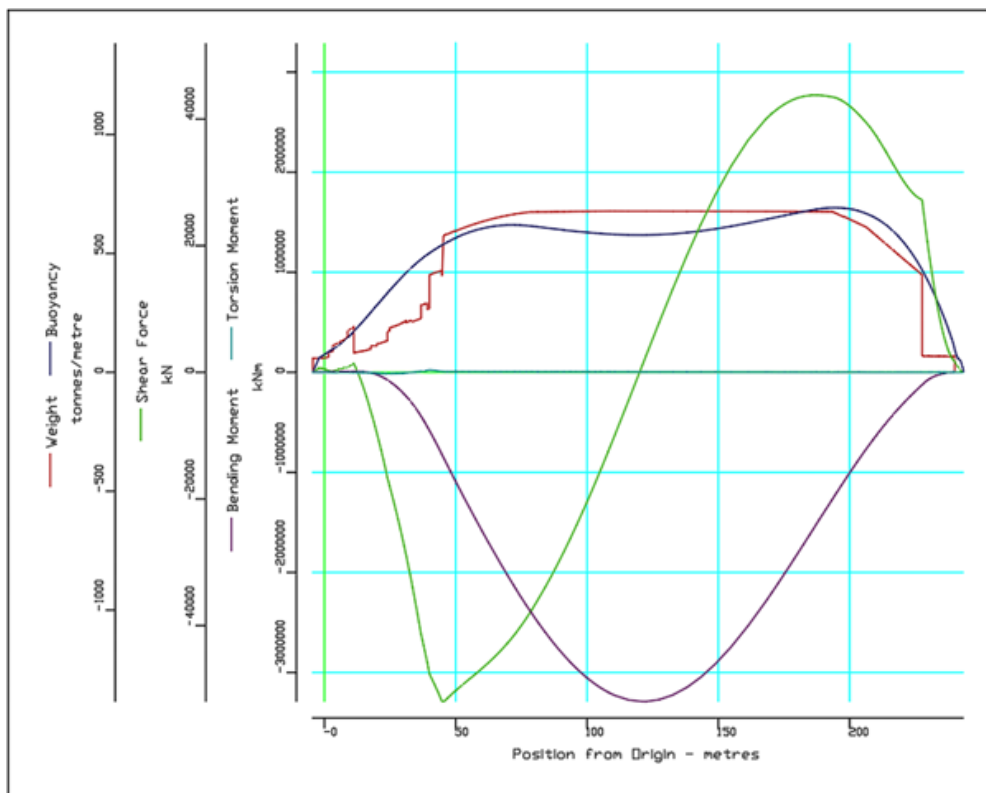
- Κατάσταση ήρεμου νερού (Still Water)
- Καταστάσεις κυματισμού:
 - Hogging: Το μέσο του πλοίου βρίσκεται στην κορυφή του κύματος,Sagging: Το μέσο του πλοίου βρίσκεται στην κοιλάδα του κύματος

Το κύμα που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς μας θεωρούμε ότι είναι τροχοειδούς μορφής με ύψος: $H_o = 0.607\sqrt{L\overline{OA}} = 9.50 \text{ m}$

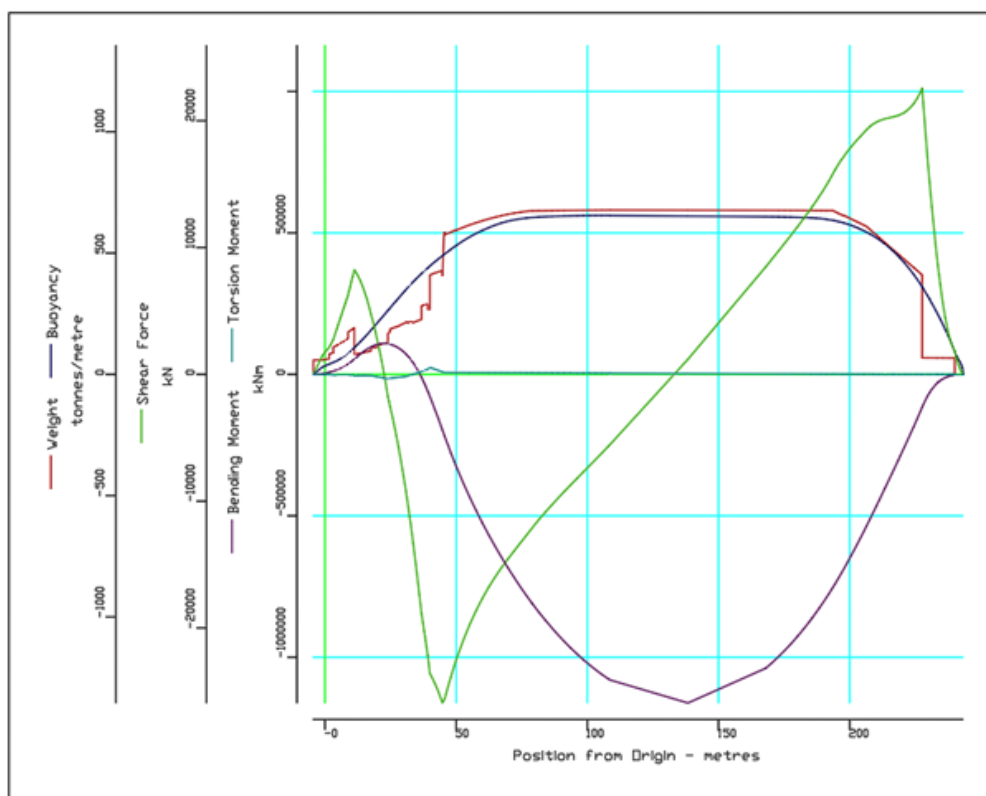
Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου AVEVA Marine γίνεται ο υπολογισμός της καμπύλης διαμήκους κατανομής της άντωσης για κάθε μια από τις καταστάσεις θάλασσας. Η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών,απεικονίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα(διαγράμματα 14,15 και 16):



Διάγραμμα 24: Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών hogging,(FLD)



Διάγραμμα 25: Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών sagging,(FLD)



Διάγραμμα 26: Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών still water,(FLD)

7.2 Έλεγχος διαμήκου αντοχής κατά IACS

Παρακάτω υπολογίζονται, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων στις περιπτώσεις Hogging και Sagging, για την κατάσταση Full Load Departure. Ακολουθώντας, συγκρίνονται με τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές και διαπιστώνεται η επάρκεια διαμήκου αντοχής του υπό σχεδίαση πλοίου.

Αρχικά υπολογίζεται το μήκος κανονισμών :

$$0.96 Lwl \leq L_{rule} \leq 0.97 Lwl$$

Επομένως επιλέγεται $L_{rule} = 236 \text{ m}$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη καμπτική ροπή σε κυματισμούς M_{wv} σε $\text{kN}\cdot\text{m}$ για τις καταστάσεις Hogging και Sagging δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

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

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

όπου :

- 1) $f_p = f_{ps} = 1$
- 2) $f_{nl-vh} = 1$
- 3) $f_{nl-vs} = 0.58 \cdot (C_B + 0.7) / C_B$
- 4) $C_w = 10.75 - \left(\frac{300 - L_{rule}}{100} \right)^{1.5}$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διατμητική δύναμη σε κυματισμούς Q_{wv} σε kN δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

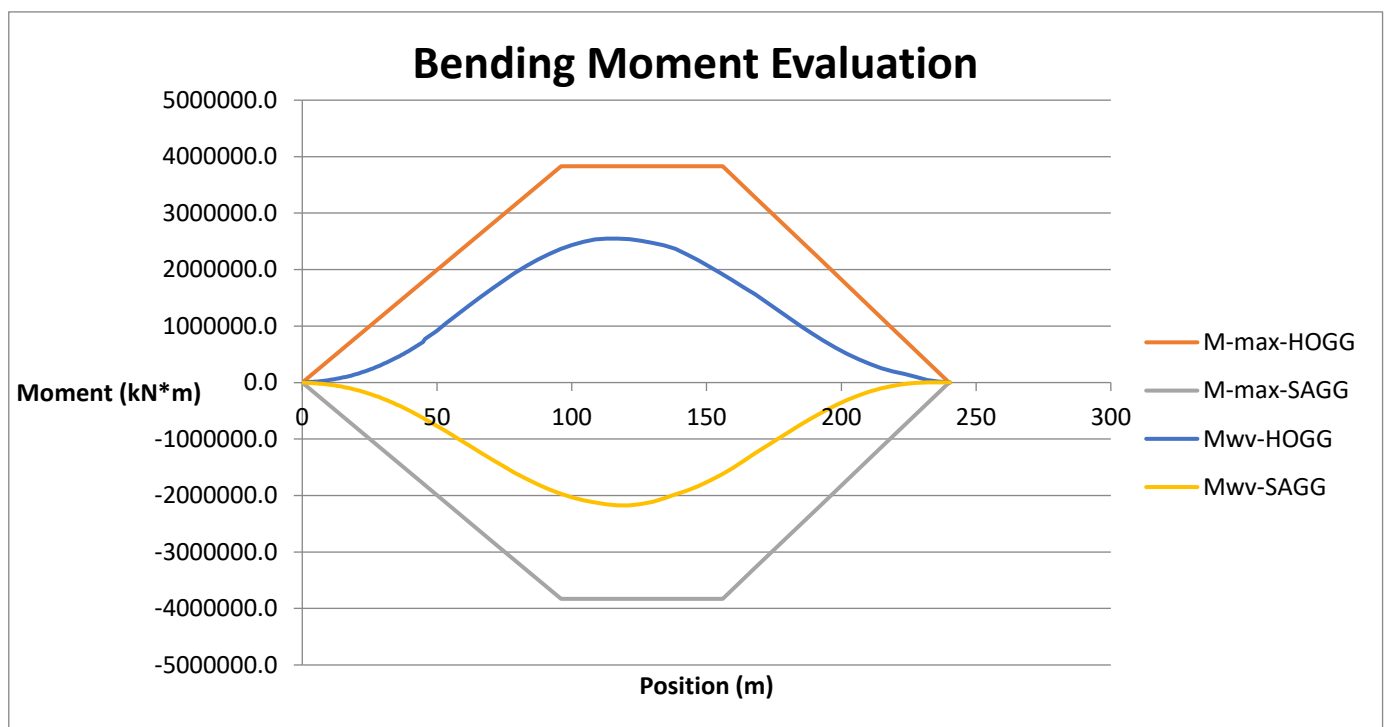
$$Q_{wv-pos} = 0.52 \cdot f_{q-pos} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$$

$$Q_{wv-neg} = -0.52 \cdot f_{q-neg} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$$

Στον ακόλουθο συγκεντρωτικό υπολογίζονται οι επιτρεπόμενες τιμές καμπτικής ροπής, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, σε διάφορες αποστάσεις από την πρυμναία κάθετο ($x = 0$), εκφρασμένες ως επί τοις εκατό ποσοστό του μήκους κανονισμών L_{RULE} .

% L bp	x from A.P (m)	fm	Mwv-MAX	Mwv-MIN	fq-pos	fq-neg	Qwv-Pos
0 x L	0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1 x L	24	0.250	957337.2	-957337.2	0.5	0.5	20087.3
0.2 x L	48	0.500	1914674.3	-1914674.3	0.9	1.0	40174.6
0.3 x L	72	0.750	2872011.5	-2872011.5	0.9	1.0	40174.6
0.4 x L	96	1.000	3829348.6	-3829348.6	0.7	0.7	30567.6
0.5 x L	120	1.000	3829348.6	-3829348.6	0.7	0.7	30567.6
0.6 x L	144	1.000	3829348.6	-3829348.6	0.7	0.7	30567.6
0.65 x L	156	1.000	3829348.6	-3829348.6	0.9	0.9	38891.5
0.7 x L	168	0.857	3282298.8	-3282298.8	1.1	1.0	47215.4
0.8 x L	192	0.571	2188199.2	-2188199.2	1.1	1.0	47215.4
0.85 x L	204	0.429	1641149.4	-1641149.4	1.1	1.0	47215.4
0.9 x L	216	0.286	1094099.6	-1094099.6	0.7	0.7	31476.9
1 x L	240	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

7.2.1 Διάγραμμα Καμπτικής ροπής Λόγω κυματισμών

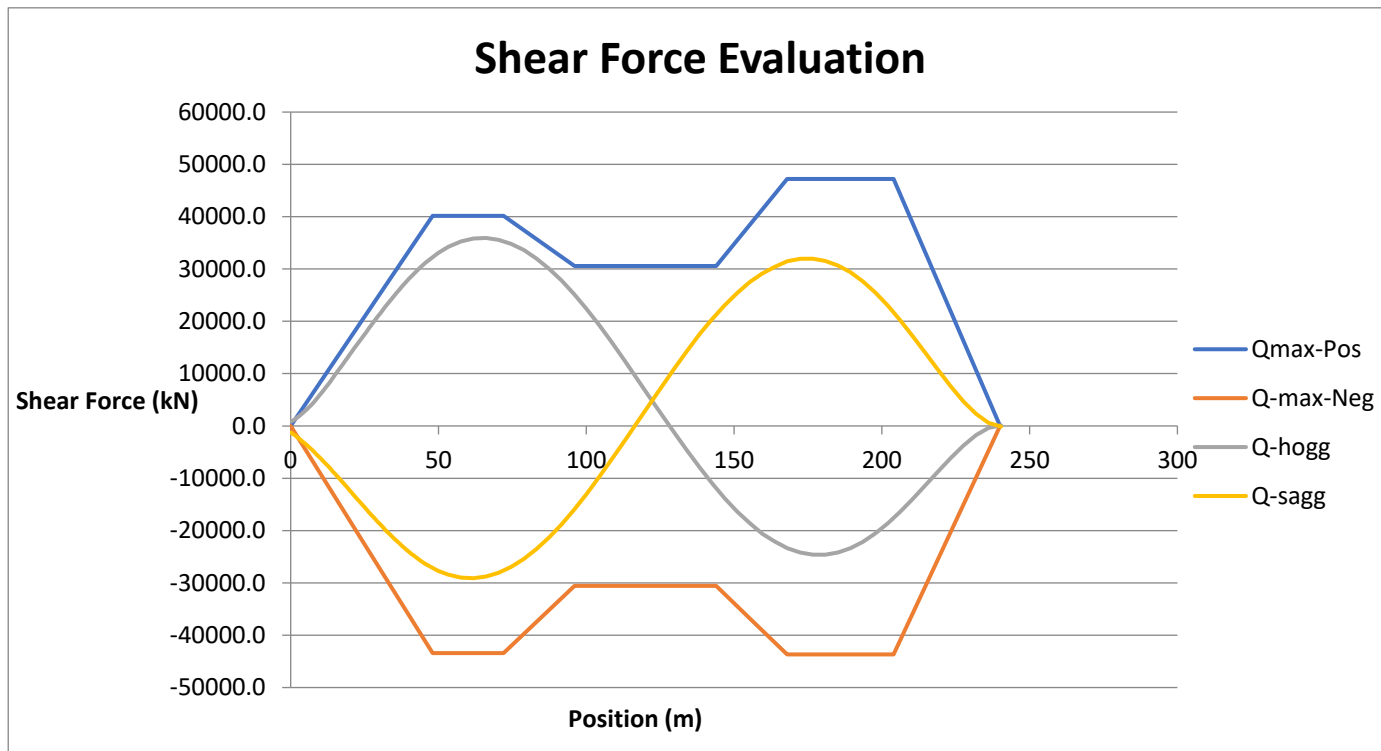


Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι η αναπτυσσόμενη καμπτική ροπή βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων. Οι αναπτυσσόμενες ροπές εισήχθησαν από το πρόγραμμα AVEVA ως η διαφορά :

$$M_{wv} = M_{total} - M_{sw}$$

7.2.2 Διάγραμμα Διατμητικών δυνάμεων λόγω κυματισμών

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο έλεγχος διατμητικής δύναμης κατά μήκος του υπό μελέτη πλοίου. Οι διατμητικές δυνάμεις λόγω κυματισμών βρίσκονται εντός επιτρεπτών ορίων.



Οι αναπτυσσόμενες διατμητικές δυνάμεις εισήχθησαν από το πρόγραμμα AVEVA ως η διαφορά :

$$Q_{wv} = Q_{\text{total}} - Q_{\text{sw}}$$

8 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, εκτελέσθηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Ο κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε πετρελαιοφόρα τα οποία παραδίδονται την ή μετά την 1^η Ιανουαρίου 2010, όπως καθορίζεται στον κανονισμό.

8.1 Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Πετρελαίου O_M

Για τον σκοπό του κανονισμού αυτού, εφαρμόζονται οι ακόλουθοι ορισμοί:

- 1 «Βύθισμα γραμμής φόρτωσης (d_s)» είναι η κατακόρυφη απόσταση, σε μέτρα, από την προβαλλόμενη γραμμή βάσης στο μέσο μήκος ως την ίσαλο γραμμή η οποία αντιστοιχεί στην θερινή γραμμή εξάλων η οποία έχει καθορισθεί στο πλοίο. Υπολογισμοί οι οποίοι πραγματοποιούνται βάσει του κανονισμού αυτού βασίζονται στο βύθισμα d_s , παρά το ότι τα καθορισμένα βυθίσματα είναι δυνατό να υπερβαίνουν το d_s , όπως η τροπική γραμμή φόρτωσης.
- 2 «Ίσαλος (d_B)» είναι η κατακόρυφη απόσταση, σε μέτρα, από την προβαλλόμενη γραμμή βάσης στο μέσο μήκος ως την ίσαλο γραμμή η οποία αντιστοιχεί σε 30% του βάθους D_s .
- 3 «Πλάτος (B_s)» είναι το μέγιστο προβαλλόμενο πλάτος του πλοίου, σε μέτρα, στην ή κάτω από την βαθύτερη γραμμή φόρτωσης d_s .
- 4 «Πλάτος (B_B)» είναι το μέγιστο προβαλλόμενο πλάτος του πλοίου, σε μέτρα, στην ή κάτω από την ίσαλο γραμμή d_B .
- 5 Βάθος (D_s) είναι το προβαλλόμενο βάθος, σε μέτρα, μετρούμενο στο μέσο μήκος έως το ανώτερο κατάστρωμα στην πλευρά.
- 6 «Μήκος (L)» και «νεκρό βάρος (DW)» του υπό μελέτη πλοίου.

Symbol	Description	Units	Value
L	Length on WL at 85% D_s	metres	240.899
SternOH	AP to after terminal of L	metres	4.264
B	Max. Breadth amidships	metres	42.000
D_s	Mld. Depth to Upper Deck	metres	21.200
d_s	Load Line Draft Mld.	metres	15.200
d_{ls}	Lightship Draft Mld.	metres	10.640
d_p	Partial Draft = $d_{ls} + 0.6(d_s - d_{ls})$	metres	13.376
B_s	Mld. Breadth at or below d_s	metres	42.000
B_B	Mld. Breadth at or below 30% D_s	metres	42.000
t_c	Tidal Change	metres	-2.500
DWT	Nominal Deadweight	tonnes	108552.0
LBhds	2 or more long. bulkheads?		No
ρ_{Cargo}	Cargo Oil Density	tonnes/cu.m	0.897
ρ_{Oil}	Fuel Oil Density	tonnes/cu.m	1.000

Πίνακας 45. Πρωταρχικά Μεγέθη Υπολογισμών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών φορτίων. Προσοχή απαιτείται στην θεώρηση της απόστασης “ γ ”, η οποία αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση της εκάστοτε δεξαμενής από την πλευρά της βλάβης.

Tanks	Capacity	X_a	X_f	Z_l	Z_u	Y_p	Y_s	z	I.G.(p)
	98% full								
	(m^3)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	kPa
No.1.C.O.T.(P)	8159.82	197.85	227.60	2.50	21.20	1.60	11.26	2.50	5.00
No.1.C.O.T.(S)	8159.82	197.85	227.60	2.50	21.20	11.26	1.60	2.50	5.00
No.2.C.O.T.(P)	10343.18	168.10	197.85	2.50	21.20	2.23	20.23	2.50	5.00
No.2.C.O.T.(S)	10343.18	168.10	197.85	2.50	21.20	20.23	2.23	2.50	5.00
No.3.C.O.T.(P)	10369.93	138.35	168.10	2.50	21.20	2.40	21.00	2.50	5.00
No.3.C.O.T.(S)	10369.93	138.35	168.10	2.50	21.20	21.00	2.40	2.50	5.00
No.4.C.O.T.(P)	10369.93	108.60	138.35	2.50	21.20	2.40	21.00	2.50	5.00
No.4.C.O.T.(S)	10369.93	108.60	138.35	2.50	21.20	21.00	2.40	2.50	5.00
No.5.C.O.T.(P)	10369.93	78.85	108.60	2.50	21.20	2.40	21.00	2.50	5.00
No.5.C.O.T.(S)	10369.93	78.85	108.60	2.50	21.20	21.00	2.40	2.50	5.00
No.6.C.O.T.(P)	9595.19	49.90	78.85	2.50	21.20	1.92	12.25	2.50	5.00
No.6.C.O.T.(S)	9595.19	49.90	78.85	2.50	21.20	12.25	1.92	2.50	5.00
SLOP T(S)	1288.48	45.60	49.90	2.50	21.20	10.53	1.53	2.50	5.00
SLOP T.(P)	1288.48	45.60	49.90	2.50	21.20	1.53	10.53	2.50	5.00
C	120993								

Πίνακας 46 . Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Φορτίου

Τα όρια των διαμερισμάτων X_a , X_f , Z_l , Z_u , Y_p , Y_s και Z αναπτύσσονται ως ακολούθως:

- X_a = η διαμήκης απόσταση από το πρυμναίο τερματικό του L έως το ακραίο πρυμναίο σημείο του εξεταζόμενου διαμερίσματος, σε μέτρα
- X_f = η επιμήκης απόσταση από το πρυμναίο τερματικό του L έως το ακραίο πρωραίο σημείο του εξεταζόμενου διαμερίσματος, σε μέτρα
- Z_l = η κάθετη απόσταση από την βασική γραμμή έως το κατώτατο σημείο του εξεταζόμενου διαμερίσματος, σε μέτρα
- Z_u = η κάθετη απόσταση από την βασική γραμμή έως το υψηλότερο σημείο του εξεταζόμενου διαμερίσματος, σε μέτρα. Το Z_u δεν μπορεί να λαμβάνεται μεγαλύτερο του D_s , και
- γ = η ελάχιστη οριζόντια απόσταση μετρούμενη σε κάθετες γωνίες προς την κεντρική γραμμή μεταξύ του διαμερίσματος υπό εξέταση και του πλευρικού περιβλήματος σε μέτρα⁹.
- Y_p = η εγκάρσια απόσταση από το αριστερότερο σημείο στο διαμέρισμα το οποίο ευρίσκεται στην ή κάτω από την γραμμή φορτίου d_B , σε μία κάθετη ευθεία η οποία ευρίσκεται στο $B_B/2$ προς τα δεξιά της κεντρικής γραμμής του πλοίου, σε μέτρα.
- Y_s = η εγκάρσια απόσταση από το δεξιότερο σημείο στο διαμέρισμα το οποίο ευρίσκεται στην ή κάτω από την γραμμή φορτίου d_B , σε μία κάθετη ευθεία η οποία ευρίσκεται στο B_B προς τα δεξιά της κεντρικής γραμμής του πλοίου, σε μέτρα.
- z = η ελάχιστη τιμή του ζ κατά μήκος του διαμερίσματος όπου, σε οποιαδήποτε δοθείσα επιμήκη θέση, το z είναι η απόσταση από το χαμηλότερο σημείο του περιβλήματος του πυθμένα σε εκείνη την επιμήκη θέση έως το χαμηλότερο σημείο του διαμερίσματος σε εκείνη την επιμήκη θέση, σε μέτρα.

Για να παρέχεται επαρκής προστασία κατά της ρύπανσης από πετρελαιοειδή σε περίπτωση

σύγκρουσης ή προσάραξης πρέπει να υπάρχει συμμόρφωση με τον ακόλουθο έλεγχο.

$$O_M \leq 0.015$$

Όπου:

O_M = παράμετρος μέσης εκροής πετρελαίου

C = συνολικός όγκος φορτίου πετρελαίου, με 98% πλήρωση δεξαμενής

Η μέση εκροή πετρελαίου υπολογίζεται για βλάβη στα τοιχώματα του πλοίου και χωριστά για βλάβη του πυθμένα και κατόπιν συνδυάζεται στην μη διαστατική παράμετρο εκροής πετρελαίου O_M ως ακολούθως:

$$O_M = (0.4 O_{MS} + 0.6 O_{MB}) / C$$

όπου:

O_{MS} = μέση εκροή για βλάβη στα τοιχώματα πλοίου σε m^3 , και

O_{MB} = μέση εκροή για βλάβη πυθμένα, σε m^3 .

8.1.1 Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{MS}

Η μέση εκροή για βλάβη τοιχωμάτων O_{MS} υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$O_{MS} = C_3 \sum_i^n P_{s(i)} O_{s(i)} \quad (m^3)$$

όπου:

i = αντιπροσωπεύει εκάστη δεξαμενή φορτίου υπό εξέταση,

n = ολικός αριθμός δεξαμενών φορτίου,

$P_{s(i)}$ = η πιθανότητα διείσδυσης στην δεξαμενή φορτίου i από πλευρική βλάβη,

$O_{s(i)}$ = η εκροή, σε m^3 , από πλευρική βλάβη στην δεξαμενή φορτίου i , η οποία υποτίθεται ότι είναι ίση με τον συνολικό όγκο στην δεξαμενή φορτίου i με πληρότητα 98%,

$C_3 = 1$

Η πιθανότητα P_s παραβίασης ενός διαμερίσματος από βλάβη στα πλευρικά τοιχώματα υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$P_s = P_{SL} P_{SV} P_{ST}$$

όπου:

$P_{SL}=1-P_{Sf}-P_{Sa}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί εντός της διαμήκους ζώνης οριοθετούμενης από τα X_a και X_f .

$P_{SV}=1-P_{Su}-P_{Sl}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί εντός της κατακόρυφης ζώνης οριοθετούμενης από τα Z_l και Z_u .

$P_{ST}=1-P_{Sy}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί εγκάρσια πέραν του ορίου το οποίο καθορίζεται από το γ .

Τα P_{Sa} , P_{Sf} , P_{Sl} , P_{Su} και P_{Sy} καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή από τον πίνακα πιθανοτήτων για πλευρική βλάβη ο οποίος παρέχεται στον κανονισμού, όπου:

P_{Sa} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου πίσω από την θέση X_a/L .

P_{Sf} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου μπροστά από την θέση X_a/L .

P_{Sl} = η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου κάτω από την δεξαμενή.

P_{Su} = η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου επάνω από την δεξαμενή, και

P_{Sy} = η πιθανότητα η βλάβη να βρίσκεται εξ ολοκλήρου εκτός της δεξαμενής.

Πίνακας για τις πιθανότητες εκτός της P_{Sy}							
X_a/L	P_{Sa}	X_f/L	P_{Sf}	Z_l/D_s	P_{Sl}	Z_u/D_s	P_{Su}
0	0	0	0.967	0	0	0	0.968
0.05	0.023	0.05	0.917	0.05	0	0.05	0.952
0.1	0.068	0.1	0.867	0.1	0.001	0.1	0.931
0.15	0.117	0.15	0.817	0.15	0.003	0.15	0.905
0.2	0.167	0.2	0.767	0.2	0.007	0.2	0.873
0.25	0.217	0.25	0.717	0.25	0.013	0.25	0.836
0.3	0.267	0.3	0.667	0.3	0.021	0.3	0.789
0.35	0.317	0.35	0.617	0.35	0.034	0.35	0.733
0.4	0.367	0.4	0.567	0.4	0.055	0.4	0.67
0.45	0.417	0.45	0.517	0.45	0.085	0.45	0.599
0.5	0.467	0.5	0.467	0.5	0.123	0.5	0.525
0.55	0.517	0.55	0.417	0.55	0.172	0.55	0.452
0.6	0.567	0.6	0.367	0.6	0.226	0.6	0.383
0.65	0.617	0.65	0.317	0.65	0.285	0.65	0.317
0.7	0.667	0.7	0.267	0.7	0.347	0.7	0.255
0.75	0.717	0.75	0.217	0.75	0.413	0.75	0.197
0.8	0.767	0.8	0.167	0.8	0.482	0.8	0.143
0.85	0.817	0.85	0.117	0.85	0.553	0.85	0.092
0.9	0.867	0.9	0.068	0.9	0.626	0.9	0.046
0.95	0.917	0.95	0.023	0.95	0.7	0.95	0.013
1	0.967	1	0	1	0.775	1	0

Πίνακας 47. Πίνακας πιθανοτήτων κανονισμού.

Το P_{Sy} υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$P_{Sy} = (24.96-199.6\gamma/B_S) (\gamma/B_S) \quad \text{για } \gamma/B_S \leq 0.05$$

$$P_{Sy} = 0.749 + \{5-44.4 (\gamma/B_S - 0.05)\} (\gamma/B_S - 0.05) \quad \text{για } 0.05 < \gamma/B_S < 0.1$$

$$P_{Sy} = 0.888 + 0.56 (\gamma/B_S - 0.1) \quad \text{για } \gamma/B_S \geq 0.1$$

Το P_{Sy} δεν λαμβάνεται μεγαλύτερο του 1.

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

Cargo Tank	Xa (m)	Xf (m)	Zl (m)	Zu (m)	yp (m)	ys (m)	Xa/L	Xf/L	Zl/Ds	Zu/Ds	yp/BS	ys/BS
No.1.C.O.T.(P)	197.85	227.60	2.50	21.20	1.60	11.26	0.8213	0.9448	0.1179	1.0000	0.0381	0.2681
No.1.C.O.T.(S)	197.85	227.60	2.50	21.20	11.26	1.60	0.8213	0.9448	0.1179	1.0000	0.2681	0.0381
No.2.C.O.T.(P)	168.10	197.85	2.50	21.20	2.23	20.23	0.6978	0.8213	0.1179	1.0000	0.0531	0.4817
No.2.C.O.T.(S)	168.10	197.85	2.50	21.20	20.23	2.23	0.6978	0.8213	0.1179	1.0000	0.4817	0.0531
No.3.C.O.T.(P)	138.35	168.10	2.50	21.20	2.40	21.00	0.5743	0.6978	0.1179	1.0000	0.0571	0.5000
No.3.C.O.T.(S)	138.35	168.10	2.50	21.20	21.00	2.40	0.5743	0.6978	0.1179	1.0000	0.5000	0.0571
No.4.C.O.T.(P)	108.60	138.35	2.50	21.20	2.40	21.00	0.4508	0.5743	0.1179	1.0000	0.0571	0.5000
No.4.C.O.T.(S)	108.60	138.35	2.50	21.20	21.00	2.40	0.4508	0.5743	0.1179	1.0000	0.5000	0.0571
No.5.C.O.T.(P)	78.85	108.60	2.50	21.20	2.40	21.00	0.3273	0.4508	0.1179	1.0000	0.0571	0.5000
No.5.C.O.T.(S)	78.85	108.60	2.50	21.20	21.00	2.40	0.3273	0.4508	0.1179	1.0000	0.5000	0.0571
No.6.C.O.T.(P)	49.90	78.85	2.50	21.20	1.92	12.25	0.2071	0.3273	0.1179	1.0000	0.0457	0.2917
No.6.C.O.T.(S)	49.90	78.85	2.50	21.20	12.25	1.92	0.2071	0.3273	0.1179	1.0000	0.2917	0.0457
SLOP T(S)	45.60	49.90	2.50	21.20	10.53	1.53	0.1893	0.2071	0.1179	1.0000	0.2507	0.0364
SLOP T.(P)	45.60	49.90	2.50	21.20	1.53	10.53	0.1893	0.2071	0.1179	1.0000	0.0364	0.2507

Πίνακας 48. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Φορτίου

Cargo Tank	Psa	Psf	Pst	Psu	Psp	Psys	Psl	Psv	PstP	PstS	Psp	Pss
No.1.C.O.T.(P)	0.7883	0.0254	0.0017	0.0000	0.6832	1.0000	0.1863	0.9983	0.3168	0.0000	0.0589	0.0000
No.1.C.O.T.(S)	0.7883	0.0254	0.0017	0.0000	1.0000	0.6832	0.1863	0.9983	0.0000	0.3168	0.0000	0.0589
No.2.C.O.T.(P)	0.6648	0.1457	0.0017	0.0000	0.7641	1.0000	0.1895	0.9983	0.2359	0.0000	0.0446	0.0000
No.2.C.O.T.(S)	0.6648	0.1457	0.0017	0.0000	1.0000	0.7641	0.1895	0.9983	0.0000	0.2359	0.0000	0.0446
No.3.C.O.T.(P)	0.5413	0.2692	0.0017	0.0000	0.7824	1.0000	0.1895	0.9983	0.2176	0.0000	0.0412	0.0000
No.3.C.O.T.(S)	0.5413	0.2692	0.0017	0.0000	1.0000	0.7824	0.1895	0.9983	0.0000	0.2176	0.0000	0.0412
No.4.C.O.T.(P)	0.4178	0.3927	0.0017	0.0000	0.7824	1.0000	0.1895	0.9983	0.2176	0.0000	0.0412	0.0000
No.4.C.O.T.(S)	0.4178	0.3927	0.0017	0.0000	1.0000	0.7824	0.1895	0.9983	0.0000	0.2176	0.0000	0.0412
No.5.C.O.T.(P)	0.2943	0.5162	0.0017	0.0000	0.7824	1.0000	0.1895	0.9983	0.2176	0.0000	0.0412	0.0000
No.5.C.O.T.(S)	0.2943	0.5162	0.0017	0.0000	1.0000	0.7824	0.1895	0.9983	0.0000	0.2176	0.0000	0.0412
No.6.C.O.T.(P)	0.1741	0.6397	0.0017	0.0000	0.7268	1.0000	0.1862	0.9983	0.2732	0.0000	0.0508	0.0000
No.6.C.O.T.(S)	0.1741	0.6397	0.0017	0.0000	1.0000	0.7268	0.1862	0.9983	0.0000	0.2732	0.0000	0.0508
SLOP T(S)	0.1563	0.7599	0.0017	0.0000	1.0000	0.6730	0.0838	0.9983	0.0000	0.3270	0.0000	0.0274
SLOP T.(P)	0.1563	0.7599	0.0017	0.0000	0.6730	1.0000	0.0838	0.9983	0.3270	0.0000	0.0274	0.0000

Πίνακας 49. 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 παρακάτω πίνακα.

SIDE DAMAGE						
Cargo Tank	Psp(i)	Pss(i)	O _s	Psp(i)*Os	Pss(i)*Os	Ps(i)*Os
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)	0.0589	0.0000	8159.82	480.81	0.00	240.40
No.1.C.O.T.(S)	0.0000	0.0589	8159.82	0.00	480.81	240.40
No.2.C.O.T.(P)	0.0446	0.0000	10343.18	461.66	0.00	230.83
No.2.C.O.T.(S)	0.0000	0.0446	10343.18	0.00	461.66	230.83
No.3.C.O.T.(P)	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.3.C.O.T.(S)	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.4.C.O.T.(P)	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.4.C.O.T.(S)	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.5.C.O.T.(P)	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.5.C.O.T.(S)	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.6.C.O.T.(P)	0.0508	0.0000	9595.19	487.28	0.00	243.64
No.6.C.O.T.(S)	0.0000	0.0508	9595.19	0.00	487.28	243.64
SLOP T(S)	0.0000	0.0274	1288.48	0.00	35.27	17.64
SLOP T.(P)	0.0274	0.0000	1288.48	35.27	0.00	17.64
SUM				2745.32	2745.32	2745.32

Πίνακας 50. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

8.1.2 Μέση Εκροή Βλάβης Πυθμένα, O_{MB}

Ανεξάρτητοι υπολογισμοί για την μέση εκροή πετρελαίου από βλάβη πυθμένα πραγματοποιούνται για συνθήκες παλίρροιας 0 m και μείον 2.5 m, και κατόπιν συνδυάζονται ως ακολούθως:

$$O_{MB} = 0.7 O_{MB(0)} + 0.3 O_{MB(2.5)}$$

Όπου:

O_{MB(0)} = μέση εκροή για συνθήκη παλίρροιας 0 m, και

O_{MB(2.5)} = μέση εκροή για συνθήκη παλίρροιας μείον 2.5 m, σε m³

Η μέση εκροή από βλάβη πυθμένα υπολογίζεται για κάθε κατάσταση παλίρροιας ως ακολούθως:

1. O_{MB(0)}, μέση εκροή για συνθήκη παλίρροιας 0 m

$$O_{MB(0)} = \sum_i^n P_{B(i)} O_{B(i)} C_{DB(i)} \text{ (m}^3\text{)}$$

όπου:

i = αντιπροσωπεύει εκάστη δεξαμενή φορτίου υπό εξέταση,

n = ολικός αριθμός δεξαμενών φορτίου,

$P_{B(i)}$ = η πιθανότητα διείσδυσης στην δεξαμενή φορτίου i από βλάβη πυθμένα,

$O_{B(i)}$ = η εκροή από την δεξαμενή φορτίου i , σε m^3 ,

$C_{DB(i)}$ = 0.6 για δεξαμενές φορτίου οριοθετούμενες από το κάτω μέρος διαμερισμάτων χωρίς πετρέλαιο, συντελεστής ο οποίος υπολογίζει την συγκέντρωση πετρελαίου.

2. $O_{MB(2.5)}$, μέση εκροή για συνθήκη παλίρροιας μείον 2.5 m

$$O_{MB(2.5)} = \sum_i^n P_{B(i)} O_{B(i)} C_{DB(i)} (m^3)$$

όπου: i , n , $P_{B(i)}$ και $C_{DB(i)}$ = όπως καθορίζονται ανωτέρω,

$O_{B(i)}$ = η εκροή από την δεξαμενή φορτίου i , σε m^3 , μετά από αλλαγή της παλίρροιακής κατάστασης.

Η πιθανότητα P_B παραβίασης ενός διαμερίσματος από βλάβη πυθμένα υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$P_B = P_{BL} P_{BT} P_{BV}$$

όπου:

$P_{BL} = 1 - P_{Bf} - P_{Ba}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί εντός της διαμήκους ζώνης οριοθετούμενης από τα X_a και X_f .

$P_{BT} = 1 - P_{Bp} - P_{Bs}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί εντός της διαμήκους ζώνης οριοθετούμενης από τα Y_p και Y_s , και

$P_{BV} = 1 - P_{Bz}$ = πιθανότητα η βλάβη να επεκταθεί κατακόρυφα του ορίου το οποίο καθορίζεται από το z .

Τα P_{Ba} , P_{Bf} , P_{Bp} , P_{Bs} και P_{Bz} καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή από τον παρακάτω πίνακα πιθανοτήτων για βλάβη πυθμένα ο οποίος παρέχεται στον κανονισμό, όπου:

P_{Ba} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου πίσω από την θέση X_a/L .

P_{Bf} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου μπροστά από την θέση X_a/L .

P_{Bp} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου αριστερά της δεξαμενής.

P_{Bs} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου δεξιά της δεξαμενής, και

P_{Bz} = η πιθανότητα η βλάβη να είναι εξ ολοκλήρου εκτός της δεξαμενής.

Πίνακας για τις πιθανότητες εκτός της P_{Bz}							
X_a/L	P_{Ba}	X_f/L	P_{Bf}	Y_p/B_B	P_{Bp}	Y_s/B_B	P_{Bs}
0	0	0	0.969	0	0.844	0	0
0.05	0.002	0.05	0.953	0.05	0.794	0.05	0.009
0.1	0.008	0.1	0.936	0.1	0.744	0.1	0.032
0.15	0.017	0.15	0.916	0.15	0.694	0.15	0.063
0.2	0.029	0.2	0.894	0.2	0.644	0.2	0.097
0.25	0.042	0.25	0.87	0.25	0.594	0.25	0.133
0.3	0.058	0.3	0.842	0.3	0.544	0.3	0.171
0.35	0.076	0.35	0.81	0.35	0.494	0.35	0.211
0.4	0.096	0.4	0.775	0.4	0.444	0.4	0.253
0.45	0.119	0.45	0.734	0.45	0.394	0.45	0.297
0.5	0.143	0.5	0.687	0.5	0.344	0.5	0.344
0.55	0.171	0.55	0.63	0.55	0.297	0.55	0.394
0.6	0.203	0.6	0.563	0.6	0.253	0.6	0.444
0.65	0.242	0.65	0.489	0.65	0.211	0.65	0.494
0.7	0.289	0.7	0.413	0.7	0.171	0.7	0.544
0.75	0.344	0.75	0.333	0.75	0.133	0.75	0.594
0.8	0.409	0.8	0.252	0.8	0.097	0.8	0.644
0.85	0.482	0.85	0.17	0.85	0.063	0.85	0.694
0.9	0.565	0.9	0.089	0.9	0.032	0.9	0.744
0.95	0.658	0.95	0.026	0.95	0.009	0.95	0.794
1	0.761	1	0	1	0	1	0.844

Πίνακας 51. Πίνακας πιθανοτήτων κανονισμού.

Το P_{Bz} υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$P_{Bz} = (14.5 - 67 z/D_s) (z/D_s) \quad \text{για } z/D_s \leq 0.01$$

$$P_{Bz} = 0.78 + 1.1 (z/D_s - 0.1) \quad \text{για } z/D_s \geq 0.1$$

Το P_{Bz} δεν λαμβάνεται μεγαλύτερο του 1.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα δεδομένα των υπολογισμών της μέσης εκροής, για την περίπτωση βλάβης πυθμένα.

Cargo Tank	X_a (m)	X_f (m)	Y_p (m)	Y_s (m)	z (m)	X_a/L	X_f/L	Y_p/BB	Y_s/BB	z/D_s
No.1.C.O.T.(P)	197.85	227.60	38.93	21.00	2.50	0.8213	0.9448	0.9269	0.5000	0.1179
No.1.C.O.T.(S)	197.85	227.60	21.00	3.07	2.50	0.8213	0.9448	0.5000	0.0731	0.1179
No.2.C.O.T.(P)	168.10	197.85	39.60	21.00	2.50	0.6978	0.8213	0.9429	0.5000	0.1179
No.2.C.O.T.(S)	168.10	197.85	21.00	2.40	2.50	0.6978	0.8213	0.5000	0.0571	0.1179
No.3.C.O.T.(P)	138.35	168.10	39.60	21.00	2.50	0.5743	0.6978	0.9429	0.5000	0.1179
No.3.C.O.T.(S)	138.35	168.10	21.00	2.40	2.50	0.5743	0.6978	0.5000	0.0571	0.1179
No.4.C.O.T.(P)	108.60	138.35	39.60	21.00	2.50	0.4508	0.5743	0.9429	0.5000	0.1179
No.4.C.O.T.(S)	108.60	138.35	21.00	2.40	2.50	0.4508	0.5743	0.5000	0.0571	0.1179
No.5.C.O.T.(P)	78.85	108.60	39.60	21.00	2.50	0.3273	0.4508	0.9429	0.5000	0.1179
No.5.C.O.T.(S)	78.85	108.60	21.00	2.40	2.50	0.3273	0.4508	0.5000	0.0571	0.1179
No.6.C.O.T.(P)	49.90	78.85	39.60	21.00	2.50	0.2071	0.3273	0.9429	0.5000	0.1179
No.6.C.O.T.(S)	49.90	78.85	21.00	2.40	2.50	0.2071	0.3273	0.5000	0.0571	0.1179
SLOP T(S)	45.60	49.90	21.00	2.40	2.50	0.1893	0.2071	0.5000	0.0571	0.1179
SLOP T.(P)	45.60	49.90	39.60	21.00	2.50	0.1893	0.2071	0.9429	0.5000	0.1179

Πίνακας 52. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Φορτίου

Cargo Tank	PBa	PBf	PBp	PBs	PBz	PBL	PBT	PBV	PB(i)
No.1.C.O.T.(P)	0.4401	0.0326	0.0196	0.3440	0.7997	0.5273	0.6364	0.2003	0.0672
No.1.C.O.T.(S)	0.4401	0.0326	0.3440	0.0196	0.7997	0.5273	0.6364	0.2003	0.0672
No.2.C.O.T.(P)	0.2869	0.2171	0.0123	0.3440	0.7997	0.4960	0.6437	0.2003	0.0639
No.2.C.O.T.(S)	0.2869	0.2171	0.3440	0.0123	0.7997	0.4960	0.6437	0.2003	0.0639
No.3.C.O.T.(P)	0.1866	0.4163	0.0123	0.3440	0.7997	0.3971	0.6437	0.2003	0.0512
No.3.C.O.T.(S)	0.1866	0.4163	0.3440	0.0123	0.7997	0.3971	0.6437	0.2003	0.0512
No.4.C.O.T.(P)	0.1194	0.5974	0.0123	0.3440	0.7997	0.2832	0.6437	0.2003	0.0365
No.4.C.O.T.(S)	0.1194	0.5974	0.3440	0.0123	0.7997	0.2832	0.6437	0.2003	0.0365
No.5.C.O.T.(P)	0.0678	0.7332	0.0123	0.3440	0.7997	0.1989	0.6437	0.2003	0.0256
No.5.C.O.T.(S)	0.0678	0.7332	0.3440	0.0123	0.7997	0.1989	0.6437	0.2003	0.0256
No.6.C.O.T.(P)	0.0309	0.8245	0.0123	0.3440	0.7997	0.1446	0.6437	0.2003	0.0186
No.6.C.O.T.(S)	0.0309	0.8245	0.3440	0.0123	0.7997	0.1446	0.6437	0.2003	0.0186
SLOP T(S)	0.0264	0.8906	0.3440	0.0123	0.7997	0.0830	0.6437	0.2003	0.0107
SLOP T.(P)	0.0264	0.8906	0.0123	0.3440	0.7997	0.0830	0.6437	0.2003	0.0107

Πίνακας 53. Καθορισμός Πιθανοτήτων Διάτρησης Πυθμένα Δεξαμενών Φορτίου

Η εκροή πετρελαίου από κάθε δεξαμενή φορτίου πετρελαίου υπολογίζεται βασιζόμενη στις αρχές ισορροπίας πίεσης. Στα πλαίσια των υπολογισμών της περίπτωσης βλάβης πυθμένα, η ποσότητα πετρελαίου που εκρέει, $O_{B(i)}$, καθορίζεται από την τελική στάθμη ισορροπίας, h_c , του φορτίου, λόγω της υδροστατικής πίεσεως.

Το επίπεδο του φορτίου μετά την βλάβη πρέπει να υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$h_c = \{(d_s + t_c - Z_i) (\rho_s) - (1000 \rho) / g\} / \rho_n$$

όπου:

h_c = το ύψος του φορτίου πετρελαίου υπεράνω του Z_i , σε μέτρα

t_c = η παλιρροιακή αλλαγή, σε μέτρα. Μειώσεις στην παλίρροια θα εκφράζονται ως αρνητικές τιμές.

Z_i = ο ύψος του χαμηλότερου σημείου στην δεξαμενή φορτίου πάνω από τη βασική γραμμή, σε μέτρα.

ρ_s = πυκνότητα θαλασσίου νερού, να λαμβάνεται ως 1,025 kg/m³.

P = εάν έχει τοποθετηθεί ένα σύστημα αδρανών αερίων, η φυσιολογική υπερπίεση, σε kPa, να μην λαμβάνεται μικρότερη από 5 kPa.

G = η επιτάχυνση της βαρύτητας, να λαμβάνεται ως 9.81 m/s², και

ρ_n = ονομαστική πυκνότητα πετρελαίου φορτίου, όλες οι δεξαμενές φορτίου πετρελαίου θεωρούνται έμφορτες στο 98% της ογκομετρικής χωρητικότητας τους.

Η ονομαστική πυκνότητα του φορτίου πετρελαίου (ρ_n) υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\rho_n = 1000 (DWT)/C=897.176 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Δεδομένης λοιπόν της τελικής στάθμης ισορροπίας, h_c , στις δεξαμενές φορτίου, υπολογίζεται, μέσω του προγράμματος “Hydrostatics & Hydrodynamics” η εναπομένουσα ποσότητα φορτίου εντός των δεξαμενών, V_c , 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.

Cargo Tank	Capacity 98% (m3)	hc(0) (m)	Vc0 (m3) (Remaining)	Ob(0)*Cdb	hc (-2.5) (m)	Vc(-2.5) (m3)	Ob(-2.5)*Cdb
No.1.C.O.T.(P)	8159.82	13.9413	5972.37	2187.45	11.0851	4727.73	3432.09
No.1.C.O.T.(S)	8159.82	13.941	5972.37	2187.45	11.085	4727.73	3432.09
No.2.C.O.T.(P)	10343.18	13.941	7619.50	2723.68	11.085	6043.18	4300.00
No.2.C.O.T.(S)	10343.18	13.941	7619.50	2723.68	11.085	6043.18	4300.00
No.3.C.O.T.(P)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.3.C.O.T.(S)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.4.C.O.T.(P)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.4.C.O.T.(S)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.5.C.O.T.(P)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.5.C.O.T.(S)	10369.93	13.941	7639.88	2730.05	11.085	6059.51	4310.42
No.6.C.O.T.(P)	9595.19	13.941	6928.42	2666.77	11.085	5390.55	4204.64
No.6.C.O.T.(S)	9595.19	13.941	6928.42	2666.77	11.085	5390.55	4204.64
SLOP T(S)	1288.48	13.941	889.593	398.89	11.085	661.17	627.31
SLOP T.(P)	1288.48	13.941	889.593	398.89	11.085	661.17	627.31

Πίνακας 54. Υπολογισμός Εκροής Βλάβης Πυθμένα

Με δεδομένα λοιπόν τις ποσότητες εκροής (Πίνακας 54) και τις πιθανότητες διάτρησης (Πίνακας 53), για βλάβη πυθμένα, ακολουθεί ο υπολογισμός της μέσης εκροής για την εν λόγω περίπτωση.

BOTTOM DAMAGE							
Cargo Tank	PB(i)	Ob(0)	Ob(-2.5)	Cdb	OMB(0)	OMB(-2.5)	OMB
No.1.C.O.T.(P)	0.0672	2 187.45	3432.09	0.60	88.22	138.41	103.27
No.1.C.O.T.(S)	0.0672	2 187.45	3432.09	0.60	88.22	138.41	103.27
No.2.C.O.T.(P)	0.0639	2 723.68	4300.00	0.60	104.50	164.98	122.65
No.2.C.O.T.(S)	0.0639	2 723.68	4300.00	0.60	104.50	164.98	122.65
No.3.C.O.T.(P)	0.0512	2 730.05	4310.42	0.60	83.86	132.41	98.43
No.3.C.O.T.(S)	0.0512	2 730.05	4310.42	0.60	83.86	132.41	98.43
No.4.C.O.T.(P)	0.0365	2 730.05	4310.42	0.60	59.80	94.42	70.19
No.4.C.O.T.(S)	0.0365	2 730.05	4310.42	0.60	59.80	94.42	70.19
No.5.C.O.T.(P)	0.0256	2 730.05	4310.42	0.60	42.01	66.33	49.31
No.5.C.O.T.(S)	0.0256	2 730.05	4310.42	0.60	42.01	66.33	49.31
No.6.C.O.T.(P)	0.0186	2 666.77	4204.64	0.60	29.83	47.04	35.00
No.6.C.O.T.(S)	0.0186	2 666.77	4204.64	0.60	29.83	47.04	35.00
SLOP T(S)	0.0107	398.89	627.31	0.60	2.56	4.03	3.00
SLOP T.(P)	0.0107	398.89	627.31	0.60	2.56	4.03	3.00
SUM					821.57	1295.23	963.67

Πίνακας 55. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Βλάβης Πυθμένα

8.2 Αποτελέσματα Υπολογισμού Παραμέτρου Μέσης Εκροής Πετρελαίου O_M

Δεδομένων των υπολογισμών για τις περιπτώσεις βλάβης πλευράς και πυθμένα, ακολουθούν τα αποτελέσματα του υπολογισμού της παραμέτρου μέσης εκροής για την σχεδιάσή μας. Το σύνολο των υπολογισμών συγκεντρώνεται στον παρακάτω πίνακα συνεπώς το υπό σχεδίαση πλοίο συμμορφώνεται με τον κανονισμό.

SUMMARY TABLE														
BOTTOM DAMAGE									SIDE DAMAGE					
Cargo Tank	98% Capacity (m3)	PB(i)	Ob(0)	Ob(2.5)	Cdb	$O_{MB(0)}$	$O_{MB(2.5)}$	O_{MB}	$PSp(i)$	$PSs(i)$	O_s	$PSp(i)*O_s$	$PSs(i)*O_s$	$PS(i)*O_s$
No.1.C.O.T.(P)	5730.40	0.0672	2 187.45	3 432.09	0.60	88.22	138.41	103.27	0.0589	0.0000	8159.82	480.81	0.00	240.40
No.1.C.O.T.(S)	5730.40	0.0672	2 187.45	3 432.09	0.60	88.22	138.41	103.27	0.0000	0.0589	8159.82	0.00	480.81	240.40
No.2.C.O.T.(P)	7432.21	0.0639	2 723.68	4 300.00	0.60	104.50	164.98	122.65	0.0446	0.0000	10343.18	461.66	0.00	230.83
No.2.C.O.T.(S)	7432.21	0.0639	2 723.68	4 300.00	0.60	104.50	164.98	122.65	0.0000	0.0446	10343.18	0.00	461.66	230.83
No.3.C.O.T.(P)	7472.70	0.0512	2 730.05	4 310.42	0.60	83.86	132.41	98.43	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.3.C.O.T.(S)	7472.70	0.0512	2 730.05	4 310.42	0.60	83.86	132.41	98.43	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.4.C.O.T.(P)	7472.70	0.0365	2 730.05	4 310.42	0.60	59.80	94.42	70.19	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.4.C.O.T.(S)	7472.70	0.0365	2 730.05	4 310.42	0.60	59.80	94.42	70.19	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.5.C.O.T.(P)	7472.70	0.0256	2 730.05	4 310.42	0.60	42.01	66.33	49.31	0.0412	0.0000	10369.93	426.77	0.00	213.38
No.5.C.O.T.(S)	7472.70	0.0256	2 730.05	4 310.42	0.60	42.01	66.33	49.31	0.0000	0.0412	10369.93	0.00	426.77	213.38
No.6.C.O.T.(P)	7403.56	0.0186	2 666.77	4 204.64	0.60	29.83	47.04	35.00	0.0508	0.0000	9595.19	487.28	0.00	243.64
No.6.C.O.T.(S)	7403.56	0.0186	2 666.77	4 204.64	0.60	29.83	47.04	35.00	0.0000	0.0508	9595.19	0.00	487.28	243.64
SLOP T(S)	2327.05	0.0107	398.89	627.31	0.60	2.56	4.03	3.00	0.0000	0.0274	1288.48	0.00	35.27	17.64
SLOP T.(P)	2131.85	0.0107	398.89	627.31	0.60	2.56	4.03	3.00	0.0274	0.0000	1288.48	35.27	0.00	17.64
SUM (C)	120992.95					821.575	1295.231	963.672				2745.32	2745.32	2745.32

Πίνακας 56. Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμών Κανονισμού 23

BOTTOM DAMAGE			SIDE DAMAGE		
$O_{MB} = 0.7 O_{MB(0)} + 0.3 O_{MB(2.5)} =$	963.672	m3	$O_{MS} = \sum PS(i) O_s(i)$	2745.322	m3
$O_M = (0.4 O_{MS} + 0.6 O_{MB}) / C =$	0.013854787		C (Total Capacity 98% Volume) m3		
O_M (Required) =	< 0.0150		120992.95		

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

9 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. Για τις ανάγκες των υπολογισμών έγινε χρήση του υποπρογράμματος “Hydrostatics & Hydrodynamics”, μέσω της καρτέλας “Oil Outflow”. Ο Κανονισμός 12Α εμφανίζει βασικές ομοιότητες με τον Κανονισμό 23, ως προς τα μεγέθη που καθορίζουν τις θέσεις των δεξαμενών καυσίμου. Εκτελέστηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Ο κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε πετρελαιοφόρα τα οποία παραδίδονται την ή μετά την 1^η Αυγούστου 2010, όπως καθορίζεται στον κανονισμό.

9.1 Αναλυτικός Υπολογισμός Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου Πετρελαίου O_M

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών καυσίμου. Προσοχή απαιτείται στην θεώρηση της απόστασης “ y ”, η οποία αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση της εκάστοτε δεξαμενής από την πλευρά της βλάβης.

Η σχεδίαση των δεξαμενών δεν είναι συμμετρική. 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 παρακάτω Πίνακα.

Tanks	Capacity 98% (m ³)	Xa (m)	Xf (m)	Yp (m)	Ys (m)	Zl (m)	Zu (m)	yp (m)	ys (m)	z (m)
HFO 1P	974.16	40	45.6	-18.6	-5.2	7.05	21.200	1.510	20.490	7.050
HFO 1S	991.28	40	45.6	5.2	18.6	7.050	21.200	20.490	1.510	7.050
HFO 2P	546.68	33.6	40	-18.6	-9	11.800	21.200	1.360	26.430	11.800
HFO SERV P	62.87	40	44.8	-10.7	-8	11.830	16.780	8.350	27.050	11.830
HFO SETT P	62.87	40	44.8	-13.4	-10.7	11.830	16.780	5.650	29.750	11.830
HFO 3P	661.68	24	33.6	-18	-9	11.800	21.200	0.900	23.020	11.800
LSMGO SETT S	26.75	28	31.2	13.4	15.2	16.780	21.200	31.170	3.300	16.780
LSMGO STOR S	439.89	17.6	39.2	12.4	18.52	16.800	21.200	30.900	1.030	16.780
LSMGO SERV S	26.75	24.8	28	13.4	15.2	16.780	21.200	29.230	2.570	16.800
MDO SERV P	21.51	8.8	11.2	-8	-6.2	16.780	21.200	4.810	19.010	16.780
MDO STOR P	264.7	3.2	11.2	-14.96	-6.2	16.780	21.200	0.000	16.610	16.780
C	4079.15									

Πίνακας 57. Χαρακτηριστικά Δεξαμενών Καυσίμου

Για να παρέχεται επαρκής προστασία κατά της ρύπανσης από πετρελαιοειδή σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης πρέπει να υπάρχει συμμόρφωση με τον ακόλουθο έλεγχο.

$$OM < 0.0157 - 1.14E^{-6} \cdot C$$
$$OM < 0,011$$

Η μέση εκροή πετρελαίου υπολογίζεται για βλάβη στα τοιχώματα του πλοίου και χωριστά για βλάβη του πυθμένα και κατόπιν συνδυάζεται στην μη διαστατική παράμετρο εκροής πετρελαίου OM ως ακολούθως:

$$O_M = (0.4 O_{MS} + 0.6 O_{MB}) / C$$

όπου:

$$O_{MS} = \text{μέση εκροή για βλάβη στα τοιχώματα πλοίου σε m}^3, \text{ και}$$
$$O_{MB} = \text{μέση εκροή για βλάβη πυθμένα, σε m}^3.$$

Επειδή όλες οι δεξαμενές καυσίμου βρίσκονται στο 1^ο και 2^ο κατάστρωμα του μηχανοστασίου η μέση εκροή για βλάβη πυθμένα υπολογίστηκε μηδενική. Επόμενος θα αναλύσουμε τους υπολογισμούς για τη μέση εκροή για βλάβη στα τοιχώματα πλοίου.

9.1.1 Μέση Εκροή Πλευρικής Βλάβης, O_{MS}

Η μέση εκροή για βλάβη τοιχωμάτων O_{MS} υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$O_{MS} = C_3 \sum_i^n P_{s(i)} O_{s(i)} \quad (\text{m}^3)$$

όπου: i = αντιπροσωπεύει εκάστη δεξαμενή καυσίμου υπό εξέταση,

n = ολικός αριθμός δεξαμενών καυσίμου,

$P_s(i)$ = η πιθανότητα διείσδυσης στην δεξαμενή καυσίμου i από πλευρική βλάβη,

$O_{s(i)}$ = η εκροή, σε m^3 , από πλευρική βλάβη στην δεξαμενή καυσίμου i , η οποία υποτίθεται ότι είναι ίση με τον συνολικό όγκο στην δεξαμενή καυσίμου i με πληρότητα 98%,

$$C_3 = 1$$

Η πιθανότητα P_s παραβίασης ενός διαμερίσματος από βλάβη στα πλευρικά τοιχώματα υπολογίζεται όπως ορίζεται στον υπολογισμό της εκροής των δεξαμενών φορτίου.

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

Cargo Tank	Xa (m)	Xf (m)	Zl (m)	Zu (m)	yp (m)	ys (m)	Xa/L	Xf/L	Zl/Ds	Zu/Ds	yp/BS	ys/BS
HFO 1P	40.00	45.60	7.05	21.20	1.51	20.49	0.1660	0.1893	0.3325	1.0000	0.0360	0.4879
HFO 1S	40.00	45.60	7.05	21.20	20.49	1.51	0.1660	0.1893	0.3325	1.0000	0.4879	0.0360
HFO 2P	33.60	40.00	11.80	21.20	1.36	26.43	0.1395	0.1660	0.5566	1.0000	0.0324	0.6293
HFO SERV P	40.00	44.80	11.83	16.78	8.35	27.05	0.1660	0.1860	0.5580	0.7915	0.1988	0.6440
HFO SETT P	40.00	44.80	11.83	16.78	5.65	29.75	0.1660	0.1860	0.5580	0.7915	0.1345	0.7083
HFO 3P	24.00	33.60	11.80	21.20	0.90	23.02	0.0996	0.1395	0.5566	1.0000	0.0214	0.5481
LSMGO SETT S	28.00	31.20	16.78	21.20	31.17	3.30	0.1162	0.1295	0.7915	1.0000	0.7421	0.0786
LSMGO STOR S	17.60	39.20	16.80	21.20	30.90	1.03	0.0731	0.1627	0.7925	1.0000	0.7357	0.0245
LSMGO SERV S	24.80	28.00	16.78	21.20	29.23	2.57	0.1029	0.1162	0.7915	1.0000	0.6960	0.0612
MDO SERV P	8.80	11.20	16.78	21.20	4.81	19.01	0.0365	0.0465	0.7915	1.0000	0.1145	0.4526
MDO STOR P	3.20	11.20	16.78	21.20	0.00	16.61	0.0133	0.0465	0.7915	1.0000	0.0000	0.3955

Πίνακας 58. Αδιαστατοποίηση Χωροταξικών Δεδομένων Δεξαμενών Φορτίου

Cargo Tank	Psa	Psf	Psl	Psu	Psyp	Psys	PsL	Psv	PSTp	PSTs	Psp	Pss
HFO 1P	0.1336	0.7771	0.0295	0.0000	0.6394	1.0000	0.0893	0.9705	0.3606	0.0000	0.0313	0.0000
HFO 1S	0.1336	0.7771	0.0295	0.0000	1.0000	0.6394	0.0893	0.9705	0.0000	0.3606	0.0000	0.0313
HFO 2P	0.1071	0.8004	0.1791	0.0000	0.5989	1.0000	0.0925	0.8209	0.4011	0.0000	0.0304	0.0000
HFO SERV P	0.1336	0.7804	0.1807	0.1522	0.9433	1.0000	0.0860	0.6672	0.0567	0.0000	0.0033	0.0000
HFO SETT P	0.1336	0.7804	0.1807	0.1522	0.9073	1.0000	0.0860	0.6672	0.0927	0.0000	0.0053	0.0000
HFO 3P	0.0680	0.8271	0.1791	0.0000	0.4432	1.0000	0.1050	0.8209	0.5568	0.0000	0.0480	0.0000
LSMGO SETT S	0.0843	0.8370	0.4703	0.0000	1.0000	0.8556	0.0787	0.5297	0.0000	0.1444	0.0000	0.0060
LSMGO STOR S	0.0440	0.8037	0.4716	0.0000	1.0000	0.4921	0.1523	0.5284	0.0000	0.5079	0.0000	0.0409
LSMGO SERV S	0.0712	0.8504	0.4703	0.0000	1.0000	0.7994	0.0784	0.5297	0.0000	0.2006	0.0000	0.0083
MDO SERV P	0.0169	0.9204	0.4703	0.0000	0.8961	1.0855	0.0628	0.5297	0.1039	0.0000	0.0035	0.0000
MDO STOR P	0.0061	0.9204	0.4703	0.0000	0.0000	1.0000	0.0735	0.5297	1.0000	0.0000	0.0389	0.0000

Πίνακας 59. Καθορισμός Πιθανοτήτων Πλευρικής Διάτρησης Δεξαμενών Φορτίου

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 παρακάτω πίνακα.

SIDE DAMAGE						
Fuel Tank	Psp(i)	Pss(i)	O_s	Psp(i)* O_s	Pss(i)* O_s	Ps(i)* O_s
HFO 1P	0.0313	0.0000	974.16	30.46	0.00	15.23
HFO 1S	0.0000	0.0313	991.28	0.00	30.99	15.50
HFO 2P	0.0304	0.0000	546.68	16.64	0.00	8.32
HFO SERV P	0.0033	0.0000	62.87	0.20	0.00	0.10
HFO SETT P	0.0053	0.0000	62.87	0.33	0.00	0.17
HFO 3P	0.0480	0.0000	661.68	31.75	0.00	15.87
LSMGO SETT S	0.0000	0.0060	26.75	0.00	0.16	0.08
LSMGO STOR S	0.0000	0.0409	439.89	0.00	17.98	8.99
LSMGO SERV S	0.0000	0.0083	26.75	0.00	0.22	0.11
MDO SERV P	0.0035	0.0000	21.51	0.07	0.00	0.04
MDO STOR P	0.0389	0.0000	264.70	10.31	0.00	5.15
SUM				89.77	49.36	69.56

Πίνακας 60. Υπολογισμός Μέσης Εκροής Πλευρικής Βλάβης

9.2 Αποτελέσματα Υπολογισμού Παραμέτρου Μέσης Εκροής Καυσίμου O_M

Δεδομένων των υπολογισμών για τις περιπτώσεις βλάβης πλευράς και πυθμένα, ακολουθούν τα αποτελέσματα του υπολογισμού της παραμέτρου μέσης εκροής για την σχεδίασή μας. Το σύνολο των υπολογισμών συγκεντρώνεται στον παρακάτω πίνακα συνεπώς το υπό σχεδίαση πλοίο συμμορφώνεται με τον κανονισμό.

SUMMARY TABLE														
BOTTOM DAMAGE									SIDE DAMAGE					
Cargo Tank	98% Capacity (m ³)	PB(i)	Ob(0)	Ob(2.5)	Cdb	O _{MB(0)}	O _{MB(2.5)}	O _{MB}	P _{Sp(i)}	P _{Ss(i)}	O _s	P _{Sp(i)*O_s}	P _{Ss(i)*O_s}	P _{S(i)*O_s}
HFO 1P	974.16	0.0000	567.57	744.77	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0313	0.0000	974.16	30.46	0.00	15.23
HFO 1S	991.28	0.0000	584.69	760.59	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0313	991.28	0.00	30.99	15.50
HFO 2P	546.68	0.0000	463.47	546.68	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0304	0.0000	546.68	16.64	0.00	8.32
HFO SERV P	62.87	0.0000	42.33	62.87	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0033	0.0000	62.87	0.20	0.00	0.10
HFO SETT P	62.87	0.0000	42.33	62.87	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0053	0.0000	62.87	0.33	0.00	0.17
HFO 3P	661.68	0.0000	577.78	661.68	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0480	0.0000	661.68	31.75	0.00	15.87
LSMGO SETT S	26.75	0.0000	26.75	26.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0060	26.75	0.00	0.16	0.08
LSMGO STOR S	439.89	0.0000	439.89	439.89	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0409	439.89	0.00	17.98	8.99
LSMGO SERV S	26.75	0.0000	26.75	26.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0083	26.75	0.00	0.22	0.11
MDO SERV P	21.51	0.0000	21.51	21.51	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0035	0.0000	21.51	0.07	0.00	0.04
MDO STOR P	264.70	0.0000	264.70	264.70	0.60	0.00	0.00	0.00	0.0389	0.0000	264.70	10.31	0.00	5.15
SUM (C)	4079.150					0.000	0.000	0.000				89.766	49.356	69.561

Πίνακας 61. Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμών Κανονισμού 23

BOTTOM DAMAGE				SIDE DAMAGE		
$O_{MB} = 0.7 O_{MB(0)} + 0.3 O_{MB(2.5)} =$	0.000	m ³		$O_{MS} = \sum P_{S(i)} O_{S(i)}$	69.561	m ³
$O_M = (0.4 O_{MS} + 0.6 O_{MB}) / C =$	0.006821116	m ³		C (Total Capacity 98% Volume) m ³		
O_M (Required)	<	0.011049769		4079.15		

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

10 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσίασε μια εκτενή ανάλυση για τη μελέτη και σχεδίαση ενός δεξαμενόπλοιου μεταφορικής ικανότητας 108,000 τόνων.

Η προκαταρκτική μελέτη σχεδιασμού αποδεικνύει τη σημασία της ακριβούς προετοιμασίας και της κατάλληλης επιλογής των διαστάσεων και χαρακτηριστικών του πλοίου για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και ασφαλείας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Οι υπολογισμοί υδροστατικής ευστάθειας και οι καταστάσεις φόρτωσης παρέχουν κρίσιμες τεχνικές λεπτομέρειες για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου σε διάφορες συνθήκες. Η μελέτη αντοχής μέσης τομής, σε συνδυασμό με την ανάλυση της κατανομής των τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, ενισχύουν την κατανόηση των διαφορετικών κριτηρίων ασφάλειας και αντοχής του πλοίου. Επίσης διαπιστώθηκε ότι, η επιλογή κύριας μηχανής, σχεδίασης και επιλογής έλικας αποτελεί αναπόσπαστο στη σχεδίαση ενός πλοίου

Η εμβάθυνση στη μελέτη απόδοσης της ακούσιας εκροής πετρελαίου αποδεικνύει τη συνεχή πρόοδο προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της περιβαλλοντικής απόδοσης των πλοίων. Για να προχωρήσουμε προς τη βελτίωση της ναυτιλίας μέσω πλοίων, ένα σημαντικό επόμενο βήμα είναι η ενσωμάτωση πολλαπλών τεχνολογιών και πρωτοβουλιών.

Τα μελλοντικά βήματα περιλαμβάνουν την περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για πιο ακριβείς αναλύσεις, καθώς και την έρευνα σε νέες τεχνολογίες εναλλακτικών ενεργειών και καυσίμων για τη μείωση των εκπομπών CO₂, συμβάλλοντας έτσι στη βιωσιμότητα και την καινοτομία στον τομέα της ναυτιλίας και των μεταφορών μέσω πλοίου.

Εν τέλει, η ενσωμάτωση των παραπάνω στοιχείων κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός δεξαμενοπλοίου επιβεβαιώνει την ανάγκη για σφαιρική προσέγγιση και συνεχή βελτίωση των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι ασφάλειας, απόδοσης και περιβαλλοντικής αειφορίας στον τομέα της ναυτιλίας.

11 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.

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://wwwcd>

n.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/M
EPC.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 Συμείων.

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 Ευ-
στάθειας 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](https://vdoc.pub/download/ship-design-and-construction-volumes-1-2-455h172hah80)

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=IwAR3iOwfSMA7

[59VW-NrcfrqcM8WUmsqWnDpWXKuZD4vVmRvSi6KqKShQLvIY](https://www.lib.auth.gr/sites/default/files/docs_files/APA_Guide.pdf)

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