



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ  
ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Ε/Κ,  
ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ**

*Διπλωματική Εργασία*

**Αντώνιος Χ. Παύλου**

**Κωδ.: 08104033**

**Τριμελής Επιτροπή:**

**Α. Παπανικολάου – Καθηγητής Ε.Μ.Π. - Επιβλέπων**

**Κ. Σπύρου – Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Γ. Ζαραφωνίτης – Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

*Νοέμβριος 2011, Αθήνα*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011 στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου της Αθήνας. Αφορμή για το θέμα της εργασίας αποτέλεσε η στροφή της Παγκόσμιας Ναυτιλίας σε πιο οικονομικά βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία, τα οποία θα κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και με πολύ μεγαλύτερη απόδοση στη μεταφορική ικανότητα και την κατανάλωση ενέργειας. Η παρούσα διπλωματική αποτέλεσε εν μέρει έμπνευση για την μελέτη που εκπονήθηκε σε συνεργασία με τον Κουτρούκη Γεώργιο, για την συμμετοχή του Ε.Μ.Π. στον διαγωνισμό Ευρωπαϊκών Πανεπιστημίων EU STUDENT COMPETITION 2011 "Visionary Concepts for ships and floating structures-VISIONS OLYMPICS" που διοργάνωσαν οι οργανισμοί WEGEMT και CESA (Community of European Shipyards Association). Με την καθοδήγηση και την επίβλεψη του υπεύθυνου Καθηγητή Α. Παπανικολάου, του Δρ.-Μηχ. Ε. Μπουλουγούρη και του Υποψ. Διδάκτορα Γ. Παπατζανάκη η μελέτη που εκπονήθηκε αξιολογήθηκε αρχικά και προκρίθηκε από τους αρμόδιους του διαγωνισμού στις πέντε καλύτερες. Ακολούθησε περαιτέρω αξιολόγηση από ειδικούς και πρόκριση στις τρεις καλύτερες. Η τελική κατάταξη θα γίνει γνωστή σε συνέδριο όλων των φορέων των μεταφορών που θα λάβει χώρα στις 23 Απριλίου στην Αθήνα. Στο συνέδριο αυτό θα λάβουν μέρος δύο χιλιάδες σύνεδροι από όλους τους τομείς της Βιομηχανίας Μεταφορών.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον εμπνευστή της παραπάνω ιδέας Καθηγητή Απόστολο Παπανικολάου αφενός για τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση του, αφετέρου για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω και να διακριθώ σε έναν Ευρωπαϊκό Διαγωνισμό καθώς και τους, Διδάκτορα της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και Επίκουρο Καθηγητή στο Τεχνικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθηνών Μπουλουγούρη Ευάγγελο και τον Διπλωματούχο Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό, MSc και Υποψήφιο Διδάκτορα Παπατζανάκη Γεώργιο για την αμέριστη βοήθεια που μου πρόσφεραν σε οποιαδήποτε δυσκολία αντιμετώπισα κατά την εκπόνηση της μελέτης. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον συνάδελφο και φίλο Κουτρούκη Γεώργιο για την αποδοτική συνεργασία μας με αφορμή την συμμετοχή μας στον διαγωνισμό και για τη βοήθεια που μου πρόσφερε σε πολλές δυσκολίες που αντιμετώπισα όλο αυτό τον καιρό.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου απέναντι τους καθώς σε εκείνους οφείλεται η μέχρι τώρα πορεία μου.

Νοέβριος 2011, Αθήνα



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : Βιβλιογραφική Έρευνα.....	3
1.1. Πλοία μεταφοράς Ε/Κ( <i>Containerships</i> ).....	3
1.2. Οι τιμές των καυσίμων από το 1998.....	6
1.3. Περιβαλλοντικά θέματα.....	8
1.3.1. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης - <i>EEDI</i> ( <i>Energy Efficiency Design Index</i> ).14	
1.4. ‘Αργή Πλεύση’ ( <i>Slow Steaming</i> ).....	17
1.5. Νέες σχεδιαστικές μελέτες με βάση τις μελλοντικές απαιτήσεις.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Καθορισμός Κύριων Διαστάσεων & Προμελέτη.....	25
2.1. Καθορισμός κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής.....	25
2.2. Προκαταρκτική προσέγγιση ισχύος πρόωσης.....	27
2.3. Προϋπολογισμός Βάρους Πλήρως Εξοπλισμένου αλλά Άφορτου Πλοίου- <i>Light Ship (L.S.)</i> .....	28
2.4. Προκαταρκτική Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους <i>DWT</i> .....	29
2.5. Υπολογισμός Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης - <i>EEDI</i> .....	33
2.6. Μελέτη Βιωσιμότητας – <i>Economic Feasibility Study</i> .....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών, Υδατοστεγής Διαμέριση & Υδροστατικοί Υπολογισμοί υπό Μελέτη Πλοίου.....	37
3.1. Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών υπό Μελέτη Πλοίου.....	37
3.2. Υδατοστεγής Διαμέριση υπό Μελέτη Πλοίου.....	40
3.2.1.Καθορισμός Θέσης Χώρων Φορτίου.....	43
3.3. Εφαρμογή Κανονισμού Καταμέτρησης – Οργανική Σύνθεση Πληρώματος.....	50
3.3.1. Υπολογισμός Ολικής Χωρητικότητας <i>GT</i> .....	50
3.3.2. Οργανική Σύνθεση Πληρώματος.....	50
3.4. Δείκτης Εξαρτισμού $E_N$ – <i>Equipment Number</i> .....	52
3.5. Υδροστατικοί Υπολογισμοί – Καταστάσεις Φόρτωσης.....	54
3.5.1. <i>Full Load Departure Condition</i> .....	56
3.5.2. <i>Full Load Arrival Condition</i> .....	57
3.5.3. <i>Water Ballast Departure Condition</i> .....	58
3.5.4. <i>Water Ballast Arrival Condition</i> .....	59

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: <i>Αναλυτικοί Υπολογισμοί L.S. &amp; Κέντρου Βάρους του, Έλεγχος Γραμμής Φόρτωσης, Ισχύος Πρόωσης &amp; Ελάχιστου Απαιτούμενου Έρματος σε Κατάσταση Ερματισμού υπό Μελέτη Πλοίου</i> .....	A1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: <i>Υδροστατικοί Υπολογισμοί – Καταστάσεις Φόρτωσης</i> .....	B1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: <i>Όμοιο Πλοίο</i> .....	Γ1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: <i>Energy efficiency parametric design tool in the framework of holistic ship design optimization</i> .....	Δ1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: <i>THE E<sup>4</sup> - CONTAINERSHIP</i> .....	E1

Επισυναπτόμενα Σχέδια:

- Capacity Plan & Deadweight Scale
- Cross Curves
- Floodable Lengths
- Hydrostatic Curves
- Lines Plan

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη στις μέρες μας. Η εξέλιξη του είναι εντυπωσιακή και το κίνητρο για καινοτόμες και πρωτοποριακές ιδέες στο σχεδιασμό τους είναι μεγάλο. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με την παγκόσμια οικονομική ύφεση που βιώνουν οι διεθνείς αγορές και με τη συνεχώς αυξανόμενη ανησυχία για τη μόλυνση του περιβάλλοντος, ωθούν τη ναυτιλιακή βιομηχανία στην αναζήτηση λύσεων για δημιουργία λιγότερο ενεργοβόρων και πιο φιλικών στο περιβάλλον πλοίων. Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και σχεδίαση πρωτοποριακού πλοίου μεταφοράς Ε/Κ χαμηλής ταχύτητας και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο, έγινε μία περιγραφή της εξέλιξης του στόλου των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ και έγινε λόγος για τις διακυμάνσεις στην τιμή των καυσίμων που επηρεάζουν άμεσα τη ναυτιλία. Στη συνέχεια αναφέραμε τον προβληματισμό που υπάρχει στον κόσμο γενικά και στη ναυτιλία ειδικά λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος και καταλήξαμε στο ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι της ναυτιλιακής βιομηχανίας πρέπει να συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος. Όπως αναφέρεται ακολούθως, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός είναι κοντά στην επιβολή ενός δείκτη ο οποίος θα αντικατοπτρίζει την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου. Επιπρόσθετα αναφέραμε μία τακτική που είναι ευρέως διαδεδομένη στη ναυτιλία, αυτή της ‘Αργής Πλεύσης’ ή αλλιώς ‘Slow Steaming’, η οποία συμβάλει στη μείωση των ρύπων και στην ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Τέλος αναφέραμε κάποιες νέες σχεδιαστικές μελέτες με βάση τις μελλοντικές απαιτήσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε αρχικά ο προσδιορισμός των κύριων διαστάσεων και των συντελεστών μορφής του υπό μελέτη πλοίου. Εν συνεχεία υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και έγινε προϋπολογισμός του βάρους πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου σκάφους(Light Ship). Ακολούθησε η προκαταρκτική ανάλυση του πρόσθετου βάρους DWT και υπολογίστηκε ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης(EEDI). Τέλος έγινε μια μελέτη βιωσιμότητας του υπό μελέτη πλοίου με βάση τα σημερινά δεδομένα ναύλων και τιμών των καυσίμων.

Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιήσαμε τη σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών και την υδατοστεγή διαμέριση στο εσωτερικό του υπό μελέτη πλοίου. Καθορίστηκαν κατά σειρά οι υδατοστεγείς φρακτές, η θέση του μηχανοστασίου, η θέση των δεξαμενών των αναλωσίμων, η θέση των δεξαμενών έρματος και τέλος η θέση των χώρων φορτίου. Στη συνέχεια κάναμε υπολογισμό της ολικής χωρητικότητας, βάση της οποίας κάναμε και την οργανική σύνθεση του πληρώματος, και υπολογίσαμε τον δείκτη εξαρτισμού ώστε να προσδιορίσουμε κάποια χρήσιμα στοιχεία του πλοίου(άγκυρες, κάβους κλπ.). Τέλος μελετήσαμε τέσσερις καταστάσεις φόρτωσης με βάση τους κανονισμούς για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και ελέγξαμε αν τα αποτελέσματα που εξάγαμε ικανοποιούν τους ισχύοντες κανονισμούς.





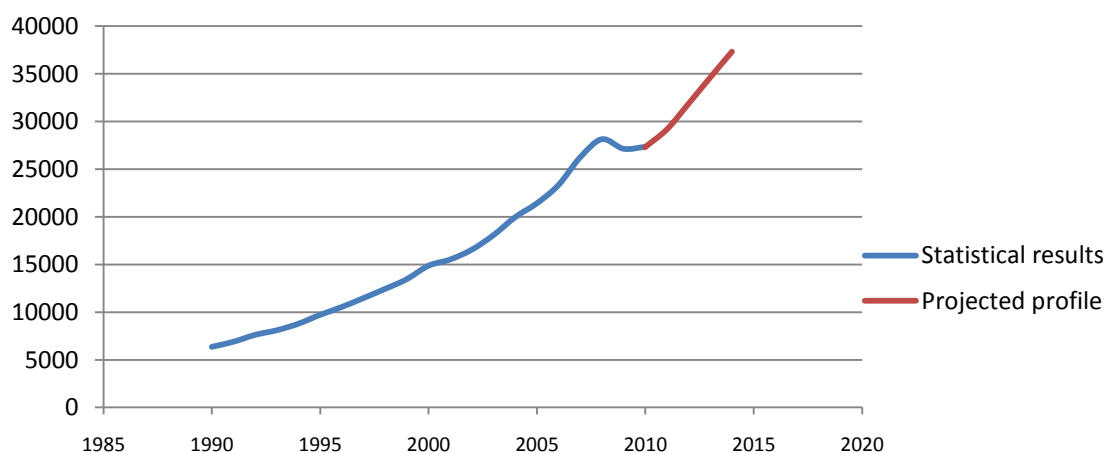
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Βιβλιογραφική Έρευνα

### **1.1. Πλοία μεταφοράς Ε/Κ(Containerships)**

Οι υπηρεσίες γραμμής (liner services) έχουν κεντρικό ρόλο στο παγκόσμιο δίκτυο εμπορίου, μεταφέροντας περίπου το 60% των αγαθών που μεταφέρονται διά μέσου θαλάσσης. Παρέχουν γρήγορη, συχνή και αξιόπιστη μεταφορά για σχεδόν οποιοδήποτε φορτίο σε σχεδόν κάθε προορισμό του κόσμου. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία και ονομάζονται πλοία γραμμής, έχουν δηλαδή κανονικά, τακτά δρομολόγια σε δεδομένες, προκαθορισμένες διαδρομές.

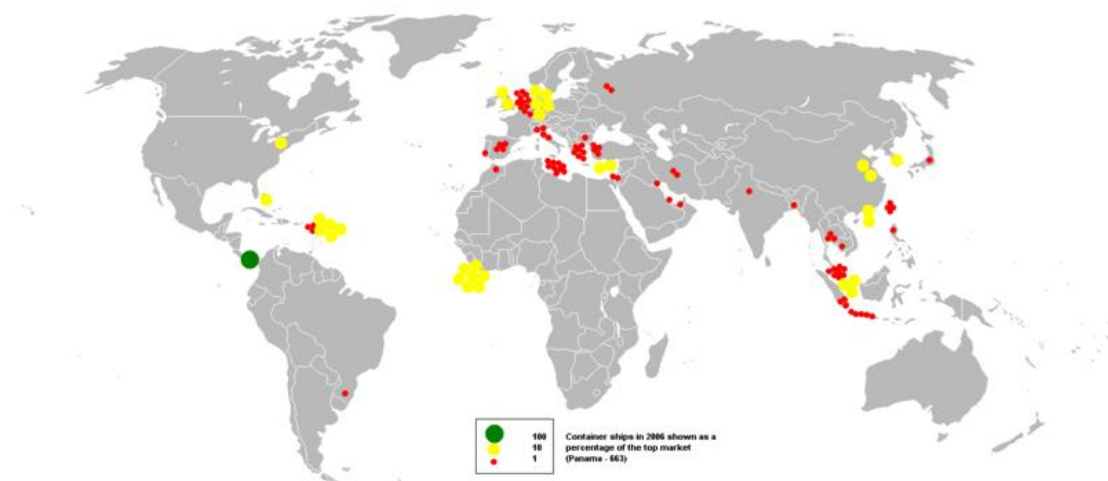
Η μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων διαδραματίζει τον πλέον σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο, κάτι που υποδηλώνεται από την συνεχιζόμενη ανάπτυξη του τομέα αν και βρισκόμαστε εν μέσω παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης. Δείγμα της ανάπτυξης αυτής είναι ότι ο στόλος των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ αυξήθηκε κατά περίπου 9% μέσα στο 2010.

Στις μέρες μας, το 13% περίπου της μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου στόλου απαρτίζεται από πλοία μεταφοράς Ε/Κ. Η συνολική μεταφορική ικανότητα των πλοίων αυτών, από την τιμή των 11 εκατομμυρίων τόνων το 1980 έφθασε σε αυτή των 169 εκατομμυρίων το 2010. Σε συνδυασμό με τα πλοία γενικού φορτίου, τα οποία μεταφέρουν πολλές φορές και εμπορευματοκιβώτια, αντιπροσωπεύουν το 21.3% του παγκοσμίου στόλου. Το 2009 η μέση ηλικία των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων παγκοσμίως ήταν 10.6 χρόνια, τιμή η οποία ήταν η χαμηλότερη από όλα τα γενικού τύπου πλοία, ακολουθούμενα από τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην με ηλικία 16.6 χρόνια, πετρελαιοφόρα με 17 χρόνια, πλοία γενικού φορτίου με 24.6 χρόνια και τα υπόλοιπα με 25.3 χρόνια. Στη συνέχεια παρατίθεται σχήμα που απεικονίζει τη μεταβολή του στόλου των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ από το 1990 έως και το 2014, βασιζόμενο σε στατιστικές εκτιμήσεις και προβλέψεις.



**Σχήμα 1. Παγκόσμιος στόλος πλοίων μεταφοράς Ε/Κ για την περίοδο 1990-2014 [1].**

Τα τελευταία χρόνια, η υπερπροσφορά των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ έχει σαν αποτέλεσμα οι τιμές για νεότευκτα ή μεταχειρισμένα πλοία αυτού του τύπου να έχουν πέσει. Για την ακρίβεια από το 2008 έως το 2009 οι τιμές των νεότευκτων πλοίων έπεσαν κατά 19-33%, ενώ για μεταχειρισμένα δεκαετίας έπεσαν κατά 47-69%. Το 2009 παραδόθηκαν από τα ναυπηγεία πλοία συνολικής μεταφορικής ικανότητας 11.669.000 τόνων. Πάνω από το 85% των πλοίων αυτών χτίστηκε από ναυπηγεία της Κορέας, της Κίνας και της Ιαπωνίας με την Κορέα να καταλαμβάνει το 57% του ποσοστού αυτού. Τα νεότευκτα πλοία αυτής της κατηγορίας αποτελούν το 15% της νέας συνολικής χωρητικότητας όλων των τύπων πλοίων αυτό το χρόνο, πίσω από τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην και τα πετρελαιοφόρα που αποτελούν το 28.9% και το 22.6% αντίστοιχα. Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται τα πλοία μεταφοράς Ε/Κ σαν ποσοστό του παγκόσμιου εμπορικού στόλου.



**Σχήμα 2. Πλοία μεταφοράς Ε/Κ σαν ποσοστό του παγκόσμιου εμπορικού στόλου [1].**

Η παγκόσμια οικονομική ύφεση του 2008-2009 είχε σαν αποτέλεσμα περισσότερα πλοία από ότι συνηθιζόταν να πωληθούν για άχρηστα μέταλλα. Το 2009, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που δόθηκαν για καταστροφή, αποτελούσαν το 22.6% της συνολικής χωρητικότητας όλων των πλοίων που καταστράφηκαν. Παρά την τάση αυτή, η συνολική παγκόσμια χωρητικότητα τους μειώθηκε μόνο κατά 3%. Ο μέσος όρος της ηλικίας των πλοίων που δόθηκαν για άχρηστα μέταλλα ήταν 27 χρόνια.

Οι ναυτιλιακές εταιρίες αντιμετωπίζουν την πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα τους με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα, στις αρχές του 2009 κάποιες εταιρίες έριξαν τους ναύλους τους πολύ χαμηλά στην γραμμή Ασία-Ευρώπη, χρεώνοντας τόσο ώστε να καλύψουν τα λειτουργικά τους έξοδα. Επίσης μείωσαν την πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα, ελαττώνοντας την ταχύτητα των πλοίων τους ή παροπλίζοντάς τα. Η τακτική αυτή επιμήκυνε σε μεγάλο βαθμό τον χρόνο ταξιδιού για τη γραμμή Ευρώπη-Ασία, φθάνοντας τις 40 μέρες.

Η παρούσα κατάσταση της αγοράς, με τη συνεχώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου, ώθησε τις περισσότερες ναυτιλιακές εταιρίες με πλοία μεταφοράς Ε/Κ να

μειώσουν τις ταχύτητες των πλοίων τους, τακτική που ονομάζεται ‘αργή πλεύση’(slow steaming), περίπου στους 21 κόμβους, σε αντίθεση με τις έως τώρα τιμές που κυμαίνονταν στους 25 και άνω κόμβους. Έτσι τα νεότευκτα πλοία θα εφοδιάζονται με μικρότερες μηχανές. Ενδεικτικά, μηχανή που είναι εγκαταστημένη σε σημερινό πλοίο με μεταφορική ικανότητα 14000 κιβωτίων θα είναι αρκετά μεγάλη για την ώθηση μελλοντικού πλοίου 20000 κιβωτίων.

Ο σχεδιασμός των πλοίων αυτών αποτελεί μια διαρκή πρόκληση καθώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, εξυπηρετούν το εμπόριο του 21<sup>ου</sup> αιώνα που απαιτεί γρήγορες και αξιόπιστες μεταφορές προϊόντων που είναι διαθέσιμα πια σε παγκόσμιο επίπεδο. Το υψηλό κόστος, η τεχνογνωσία που απαιτείται για την κατασκευή, το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός τέτοιου πλοίου αλλά και η επιλογή των χαρακτηριστικών του από το ναυλωτή/πλοιοκτήτη καθιστά τον τομέα αυτόν πολύ απαιτητικό για τους εμπλεκόμενους φορείς.

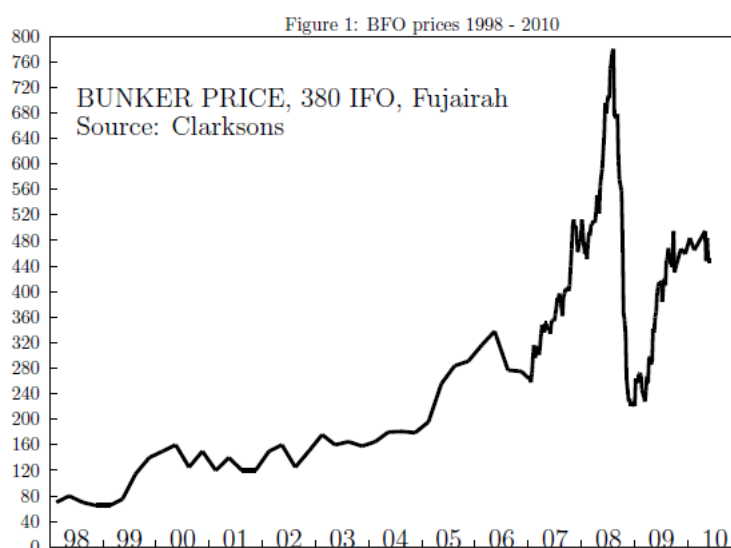
Τα containerships διακρίνονται σε επτά κύριες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος: μικρά τροφοδοτικά(small feeders), τροφοδοτικά(feeders), feedermax, panamax, post-panamax, new-panamax και Ultra-large Container Vessels. Στον πίνακα που ακολουθεί αναλύονται τα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας.

<b>Κατηγορίες Container Ship με βάση το μέγεθος</b>		
<b>Όνομα</b>	<b>Χωρητικότητα(TEUs)</b>	<b>Χαρακτηριστικά</b>
ULCV-Ultra large Container Vessel	14,501 TEUs και άνω	Με μήκος 397[m], πλάτος 56[m], βύθισμα 15,5[m], και χωρητικότητα πάνω από 15,000 TEUs, ανήκουν πλοία της κατηγορίας του Emma Maersk.
New panamax	10,000-14,500	Με πλάτος μέχρι 43[m], τα πλοία αυτής της κατηγορίας θα μπορούν να διέλθουν από τη διώρυγα του Παναμά όταν γίνει η επέκτασή της.
Post panamax	5,101-10,000	
Panamax	3,001-5,100	Το μέγεθος των πλοίων αυτών περιορίζεται από τα όρια της διώρυγας του Παναμά. Έχουν μέγιστο πλάτος 32,2[m] και μέγιστο βύθισμα 12,04[m]
Feedermax	2,001-3,000	Μικρά πλοία που επιχειρούν μεταξύ μικρών λιμανιών διακίνησης Ε/Κ ή μεταφέρουν τα Ε/Κ σε λιμάνια ώστε να φορτωθούν σε μεγαλύτερα πλοία. Συνήθως έχουν δικά τους φορτω-εκφορτωτικά μέσα.
Feeder	1,001-2,000	
Small feeder	Πάνω από 1,000	

**Πίνακας 1. Κατηγορίες Containership με βάση το μέγεθος[2].**

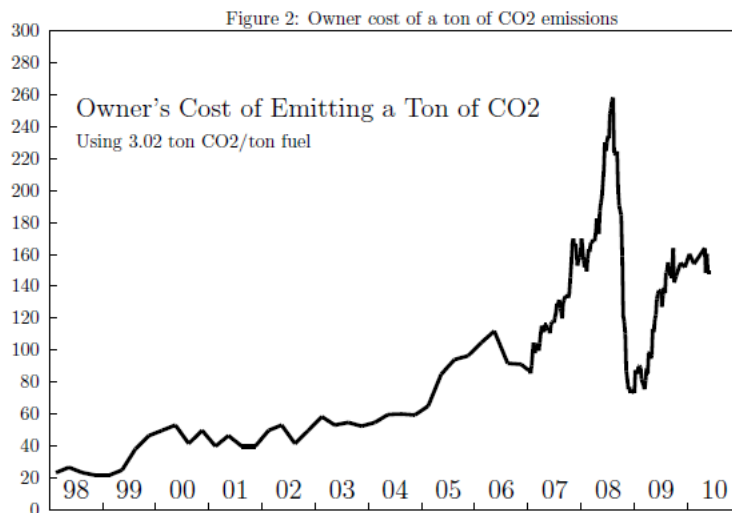
## 1.2. Οι τιμές των καυσίμων από το 1998

Η τιμή των καυσίμων είχε πολλές διακυμάνσεις από το 1998 μέχρι και τις μέρες μας. Το 1998 [3] η τιμή για το βαρύ πετρέλαιο(BFO) ήταν σε χαμηλά επίπεδα, της τάξεως των 50\$ ο τόνος. Από τα μέσα του 1999 μέχρι το 2005 η τιμή κυμαινόταν μεταξύ 120 και 180\$/ton. Η ραγδαία αύξηση των τιμών ξεκίνησε το 2005, φθάνοντας στα υψηλότερα επίπεδα που έχουν καταγραφεί περίπου στα μέσα το 2008, αγγίζοντας τα 800\$/ton. Στα τέλη του 2008 και λόγω της οικονομικής κρίσης, οι τιμές του BFO μειώθηκαν απότομα φθάνοντας τα 225\$/ton στις αρχές του 2009, από όπου και ξεκίνησε πάλι σταδιακή αύξηση για να φθάσει τα 450\$.ton. Ένας πολύ χονδρικός κανόνας είναι ότι η τιμή του BFO σε τόνους είναι περίπου πέντε ή έξι φορές η τιμή του αργού πετρελαίου σε βαρέλια. Στο σχήμα 3 που ακολουθεί φαίνεται η πορεία της τιμής του πετρελαίου από το 1998 έως το 2010.



Σχήμα 3. Διακύμανση της τιμής του BFO σε \$ από το 1998 έως το 2010 [3].

Όταν ο ιδιοκτήτης αγοράζει ένα τόνο BFO, αγοράζει αναλογικά πάνω από τρεις τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα(CO<sub>2</sub>). Για τον πλοιοκτήτη, το κόστος ενός τόνου εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι περίπου το ένα τρίτο της τιμής του καυσίμου που αγοράζει. Το 1998, αυτό το κόστος ήταν λίγο πάνω από 20\$/ton CO<sub>2</sub> ενώ το 1999 ανέβηκε στα 50\$/ton. Ακολουθεί σχήμα στο οποίο φαίνεται το κόστος για κάθε τόνο CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται.



Σχήμα 4. Κόστος για κάθε τόνο εκπομπής CO2 [3].

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, 1998-2010, παροπλίστηκαν και τα τελευταία πλοία με στροβιλομηχανές που είχαν μείνει στην αγορά. Αυτά τα πλοία κατανάλωναν έως και 75% παραπάνω καύσιμο από ότι τα πλοία με κινητήρες πετρελαίου, για ίδιο μέγεθος και ίδια ταχύτητα. Ένα τυπικό δεξαμενόπλοιο με στροβιλομηχανή, κατασκευασμένο τη δεκαετία του 1970, είχε μέγιστη ταχύτητα φορτωμένο και σε ήρεμο νερό περίπου 16 κόμβους. Τα περισσότερα πλοία με μηχανές πετρελαίου, που αντικατέστησαν τα παλιότερα, έπιαναν το πολύ λίγο πάνω από 14 κόμβους για ήρεμες αλλά πραγματικές συνθήκες ταξιδιού. Σε βάθος χρόνου, η μείωση του μέσου όρου ταχύτητας των πλοίων κατά 2 κόμβους, επέφερε μείωση στη κατανάλωση καυσίμου κάθε πλοίου κατά περίπου 33% ενώ ταυτόχρονα αύξησε την απαίτηση για πλοία κατά 15% ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες για μεταφορές ανά τον κόσμο.

Παρά τις βελτιώσεις σε πολλούς τομείς των πλοίων όπως στον τρόπο λειτουργίας, στη μηχανολογική εγκατάσταση και στη σχεδίαση, η διεθνής ναυτιλία εξακολουθεί να επηρεάζεται άμεσα από τις τιμές των καυσίμων. Ενδεικτικά, για ένα πλοίο μεταφοράς Ε/Κ το κόστος των καυσίμων αποτελεί το 50-60% του συνολικού λειτουργικού κόστους όταν πριν από μερικά χρόνια ήταν στο 20%. Για τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην το ποσοστό αυτό μπορεί να φθάσει ακόμα και το 80%.

### **1.3. Περιβαλλοντικά θέματα**

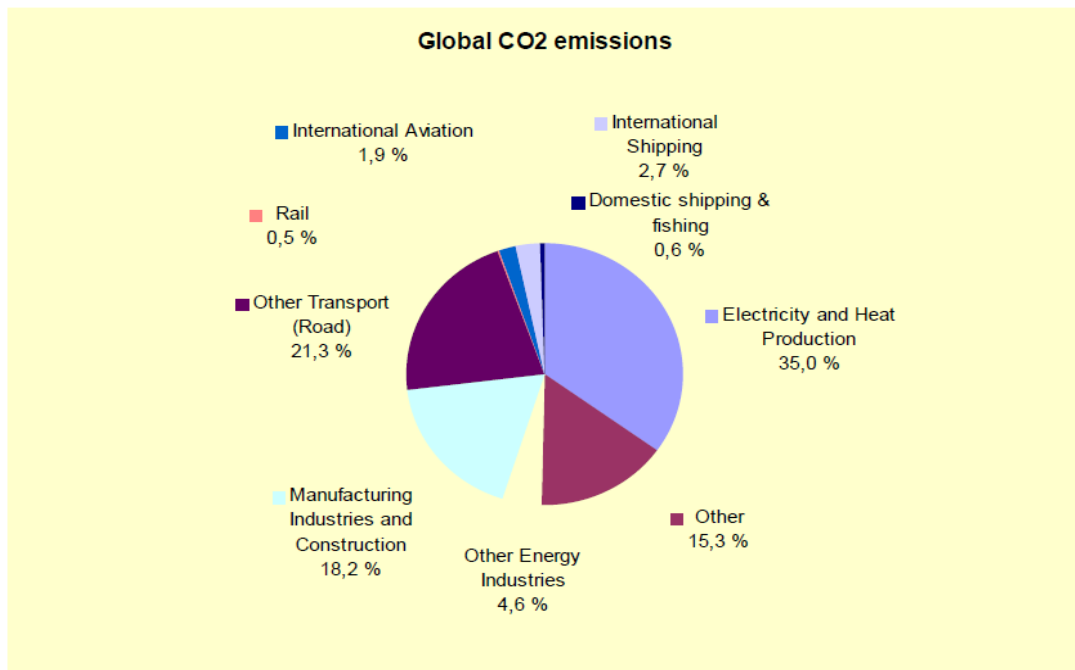
Επιστήμονες που ερευνούν τις μεταβολές του κλίματος, έχουν αποδείξει πως η αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας της Γης είναι αποτέλεσμα όχι φυσικών φαινομένων αλλά της ανθρώπινης δραστηριότητας. Για την ακρίβεια οφείλεται στις μεγάλου μεγέθους εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα μετά την Βιομηχανική Επανάσταση. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [4], η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας της γης είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην παρατηρούμενη αύξηση των ανθρωπογενών συγκεντρώσεων των λεγόμενων ‘αερίων του θερμοκηπίου’(Green House Gases-GHG).

Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης αυξήθηκε κατά  $0.74^{\circ}\text{C}$  [5]. Από το 1997 και μετά έχουν παρατηρηθεί οι δέκα πιο ζεστές χρονιές στα παγκόσμια χρονικά ενώ από τα μέσα τις δεκαετίας του 1970 και μετά η θερμοκρασία της γης αυξάνεται κατά μέσο όρο  $0.15^{\circ}\text{C}$  ανά δεκαετία. Με βάση τη τάση αυτή της θερμοκρασίας και αφήνοντας ανεξέλεγκτες τις εκπομπές αερίων που ευθύνονται για αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, εκφράζονται ακόμα και φόβοι για καταστροφικές συνέπειες στην ανθρώπινη ύπαρξη. Πιο συχνές και πιο σοβαρές φυσικές καταστροφές, έντονες ξηρασίες και πείνα που θα μαστίζει τους λαούς, αυξανόμενος κίνδυνος για καταστροφή των φυσικών πόρων και δραματική απώλεια της βιοποικιλότητας είναι μερικές μόνο από αυτές. Τα πιο επιβλαβή αέρια για την ατμόσφαιρα είναι κατά φθίνουσα σειρά το διοξείδιο του άνθρακα( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο και το όζον.

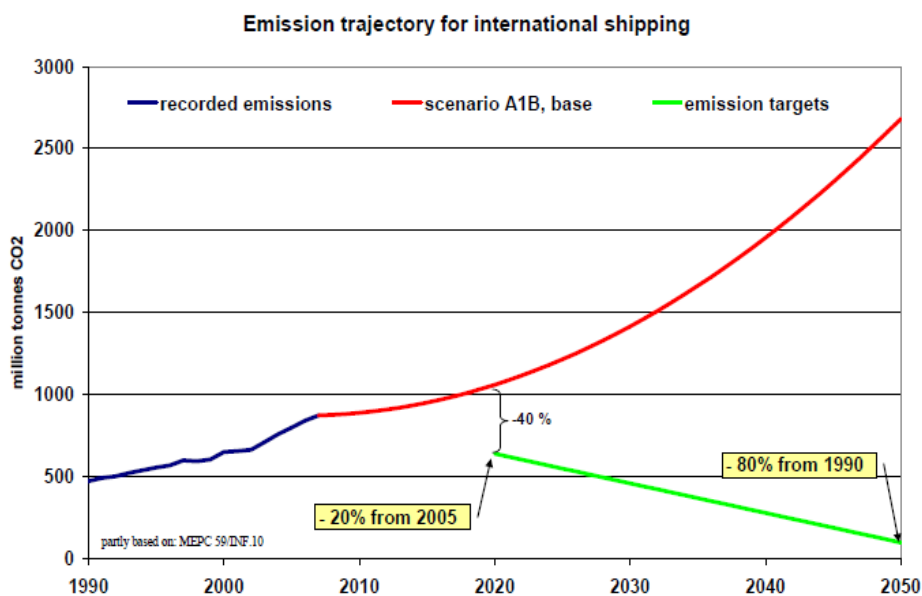
Σύμφωνα με έρευνες επιστημόνων, για να αποφευχθούν τα χειρότερα, όσον αφορά τις συνέπειες από την αύξηση της θερμοκρασίας, η θερμοκρασία θα πρέπει να περιοριστεί και να διατηρηθεί το πολύ στους  $2^{\circ}\text{C}$  άνω των θερμοκρασιών που επικρατούσαν πριν την βιομηχανική επανάσταση. Αυτό πρακτικά σημαίνει δραστική μείωση των εκπομπών των GHG. Ενδεικτικά, από τότε που η βιομηχανοποίηση ξεκίνησε, έχουν ελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα περίπου 500 δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα-τα μισά από το ένα τρισεκατομμύριο τόνους εκπομπών, τιμή πάνω από την οποία μερικοί επιστήμονες πιστεύουν ότι είναι πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $2^{\circ}\text{C}$ . Με την υπάρχουσα τάση αύξησης των εκπομπών, η αύξηση των  $2^{\circ}\text{C}$  στη μέση θερμοκρασία της Γης αναμένεται να γίνει πραγματικότητα μέχρι το 2040. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι χρειαζόμαστε 30 χρόνια για την εκπομπή του δεύτερου μισού του ενός τρισεκατομμυρίου, όταν για το πρώτο μισό χρειαστήκαμε 250 χρόνια.

Ένας από τους βασικούς συντελεστές των εκπομπών GHG λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων. Κατά τη διάρκεια του 2007 το σύνολο των εκπομπών  $\text{CO}_2$  από τη ναυτιλία[6], εγχώρια και διεθνή, αντιστοιχούσε στο 3.3% των παγκόσμιων εκπομπών από την κατανάλωση καυσίμου. Προβλέψεις από το Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας(International Maritime Organization, IMO) κάνουν λόγο για αύξηση των εκπομπών αερίων από τα πλοία μέχρι το 2050, σε περίπτωση που δε ληφθούν μέτρα για την καταπολέμηση του

προβλήματος, της τάξεως του 150-250% σε σχέση με τις τιμές για το 2007 λόγω της συνεχούς ανάπτυξης της ναυτιλίας. Εν συνεχεία παρατίθεται σχήμα που δείχνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που οφείλονται στη ναυτιλία σε σύγκριση με το σύνολο των εκπομπών παγκοσμίως. Ακολουθεί δεύτερο σχήμα που δείχνει την προβλεπόμενη αύξηση των εκπομπών έως το 2050 και την επιδιωκόμενη πορεία τους σε περίπτωση που παρθούν μέτρα για την αντιμετώπισή τους.



Σχήμα 5. Εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία σε σύγκριση με το σύνολο των εκπομπών παγκοσμίως[6]



Σχήμα 6. Πρόβλεψη εκπομπών CO<sub>2</sub> [7]

Η προοπτική για σταθεροποίηση του κλίματος σε όχι πάνω από 2 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με τα επίπεδα πριν την βιομηχανική ανάπτυξη, απαιτεί τη σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέχρι το 2050. Ανεξάρτητα λοιπόν από το γεγονός ότι τα πλοία αποτελούν το πιο φιλικό προς το περιβάλλον και το πιο αποδοτικό μέσο μεταφορών, οι συζητήσεις και οι λύσεις που προτείνονται για την αντιμετώπιση αυτού του πολύπλοκου τεχνοοικονομικού και πολιτικού προβλήματος απαιτούν την συνεργασία όλων των κύριων φορέων της ναυπηγικής και του εφοπλισμού καθώς επίσης και την ανάπτυξη κατάλληλου σχεδιασμού, επιχειρησιακής γνώσης και εργαλείων αξιολόγησης για τον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό και λειτουργία των πλοίων.

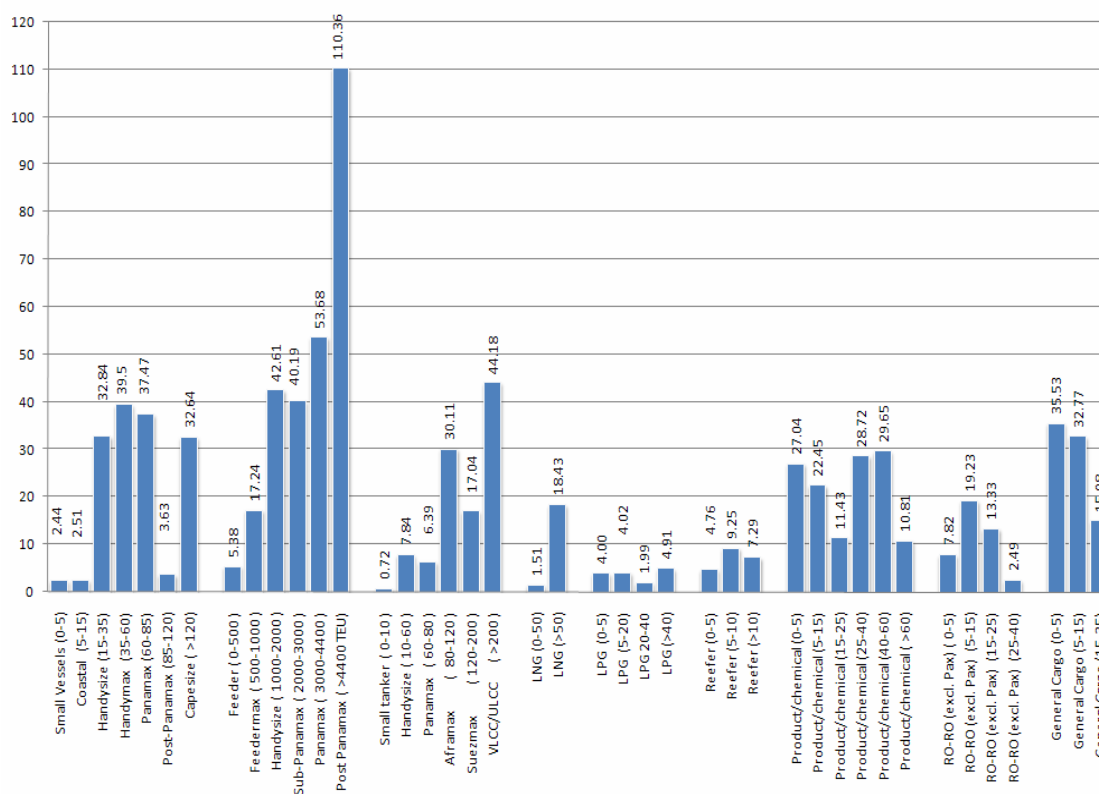
Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία λοιπόν, είναι στο επίκεντρο των συζητήσεων από την παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα τουλάχιστον κατά την τελευταία δεκαετία. Εξετάζοντας τις εξελίξεις στο επίπεδο του IMO, η μέχρι τώρα πρόοδος όσον αφορά το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία έχει αναμειχθεί και είναι μάλλον αργή. Καθώς ο στόχος για φιλική προς το περιβάλλον ναυτιλία είναι ψηλά στην ημερήσια διάταξη του IMO, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και πολλών μεμονωμένων παράκτιων κρατών, η μείωση των εκπομπών αερίων είναι ένας σημαντικός και πρωτεύων στόχος.

Μέχρι τώρα οι εκπομπές αερίων από την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία είναι ελεύθερες και δεν υπάρχουν κανονισμοί για τον περιορισμό τους [8]. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, από τους στόχους του οποίου έχει εξαιρεθεί η ναυτιλία, πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα από βιομηχανίες και άλλες δραστηριότητες για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO<sub>2</sub> που ευθύνεται σε μεγαλύτερο βαθμό για την ανάπτυξη του φαινομένου. Είναι σαφές λοιπόν ότι η περίοδος έλλειψης κανονισμών στη ναυτιλία είναι πολύ κοντά στο τέλος της, με την αναγκαστική λήψη μέτρων για τον περιορισμό της μελλοντικής ανάπτυξης των εκπομπών CO<sub>2</sub> να είναι προ των πυλών.

Σύμφωνα με έρευνα του IMO, οι τρεις κατηγορίες πλοίων με τη μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων και άρα τις μεγαλύτερες εκπομπές καυσαερίων είναι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μεταφορική ικανότητα μεταξύ 3,000 έως 5,000 κιβωτίων, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μεταφορική ικανότητα μεταξύ 5,000 έως 8,000 κιβωτίων και τέλος τα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία με ταχύτητα πλεύσης το λιγότερο 25 κόμβους. Η απάντηση στο γιατί αυτοί οι τύποι πλοίων παράγουν τα μεγαλύτερα ποσά καυσαερίων δεν είναι ο μεγάλος αριθμός τους. Κοινός παρονομαστής και των τριών τύπων είναι οι υψηλές ταχύτητες τους.



### CO2 emissions per vessel category (million tonnes)



Σχήμα 7. Εκπομπές CO<sub>2</sub>, Παγκόσμιος Στόλος [8]

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη των 4,400 κιβωτίων είναι συγκρίσιμες με εκείνες του συνόλου των δεξαμενοπλοίων, παρότι τα δεξαμενόπλοια είναι πολύ περισσότερα και πολύ μεγαλύτερου μεγέθους, λόγω της μεγάλης διαφοράς των ταχυτήτων.

Ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και την μείωση των εκπομπών, αλλάζοντας το σχεδιασμό των πλοίων και επεμβαίνοντας στον τρόπο λειτουργίας τους, παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω. Με δεδομένο ότι ο κύριος τρόπος για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αυτές οι μέθοδοι εφαρμόζονται γενικά σε όλες τις εκπομπές καυσαερίων από τα πλοία. Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με το εκτιμώμενο μέγεθος μείωσης των εκπομπών χρησιμοποιώντας πρακτικές και τεχνολογία που είναι γνωστή στις μέρες μας.

Σχέδιο (νεότευκτα πλοία)	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (τόνοι/μίλια)	Συνδυασμός	Συνδυασμός
Ιδέα, ταχύτητα και ικανότητα	2% έως 50% *	10% έως 50%	25% έως 75%
Γάστρα και υπερκατασκευή	2% έως 20%		
Ισχύς και συστήματα πρόωσης	5% έως 15%		
Χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα καύσιμα	1% έως 15% **		
Ανανεώσιμη ενέργεια	1% έως 10%		
Μείωση καυσαερίων CO <sub>2</sub>	0%		
<b>Λειτουργία(όλα τα πλοία)</b>			
Διαχείριση στόλου, logistics & κίνητρα	5% έως 50%	10% έως 50%	
Βελτιστοποίηση ταξιδιού	1% έως 10%	10% έως 50%	
Διαχείριση ενέργειας	1% έως 10%		

\* Μείωση αυτού του επιπέδου απαιτεί μείωση της επιχειρησιακής ταχύτητας

\*\* Οι τιμές αυτές βασίζονται στην χρησιμοποίηση Φυσικού Αερίου για καύσιμο

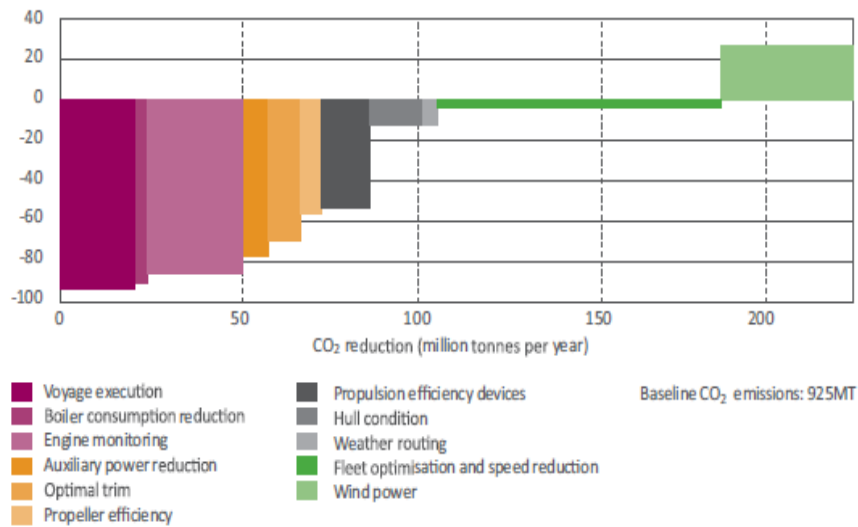
## Πίνακας 2. Εκτίμηση μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> χρησιμοποιώντας γνωστή τεχνολογία και πρακτικές[6]

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από ηλιακές κυψέλες, και ώθησης, που παράγεται από τον άνεμο, είναι τεχνικά εφικτές μόνο για μερική εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της ακανόνιστης έντασης και συνεπώς μέγιστης ισχύος του ανέμου και του ήλιου. Σε βάθος χρόνου ωστόσο, η χρήση τέτοιων μορφών ενέργειας συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην γενική προσπάθεια για περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και συνεπώς με χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι τα βιοκαύσιμα και το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Η χρησιμοποίηση βιοκαυσίμου στα πλοία είναι τεχνικά εφικτή. Ωστόσο, η χρήση βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς δημιουργεί ορισμένα τεχνικά προβλήματα και θα μπορούσε επίσης να αυξήσει το ρίσκο για απώλεια ισχύος. Οι προκλήσεις αυτές επισκιάζονται από την περιορισμένη διαθεσιμότητα και την απαγορευτική τιμή τους, λόγοι για τους οποίους η επιλογή τέτοιων καυσίμων φαίνεται απίθανο να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα στο εγγύς μέλλον. Ωστόσο, πιστεύεται ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα γίνει οικονομικά ελκυστικό κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχει διαθεσιμότητα οπότε και η τιμή του θα είναι προσιτή.

Σύμφωνα με τον Νορβηγικό Νηογνώμονα(Det Norske Veritas-DNV)[9], υπάρχει δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 15% με την ανάπτυξη

γνωστής τεχνολογίας και λειτουργίας αποδοτικών μεθόδων όπως βελτίωση προγραμματισμού ταξιδιού, βελτίωση κατάστασης της γάστρας, βελτιστοποίηση στόλου και μείωση της ταχύτητας. Εκτιμάται ότι ένα πακέτο 25 μέτρων, τεχνικών και λειτουργικών, που όλα βασίζονται στην υπάρχουσα τεχνολογία, μπορεί συνολικά να επιφέρουν μείωση των εκπομπών της τάξεως του 60% μέχρι το 2030. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η μείωση που μπορεί να επιφέρει η λήψη κάθε μέτρου ξεχωριστά.



**Σχήμα 8. Αποδοτικότητα των επιλογών για μείωση των εκπομπών [5]**

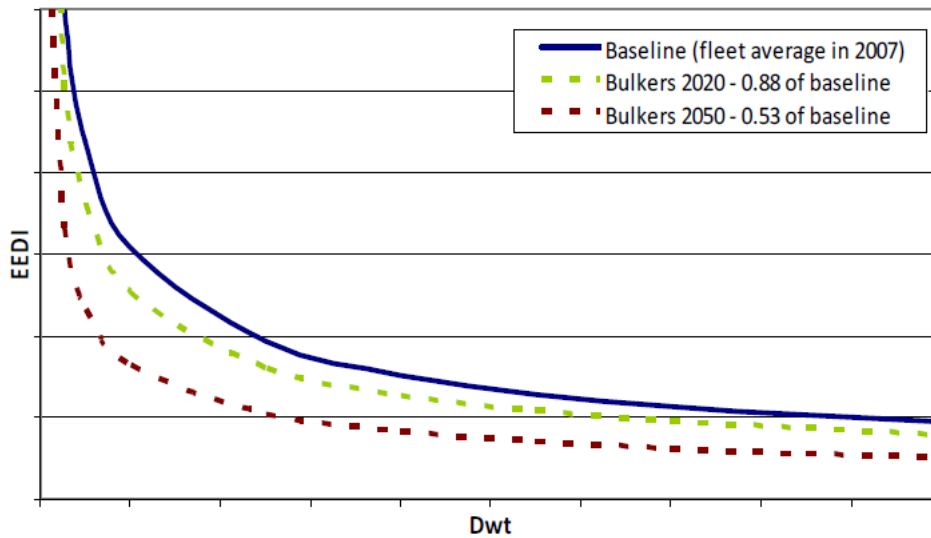
### 1.3.1. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης - EEDI(Energy Efficiency Design Index)

Ο IMO προσκλήθηκε το 2003 από το Συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή(United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) να αντιμετωπίσει τις εκπομπές των GHG [10]. Σαν αποτέλεσμα ανέπτυξε τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης(Energy Efficiency Design Index-EEDI) που αποτελεί ένα αποδοτικό, από την πλευρά του κόστους, τεχνικό μέτρο και προτείνεται ως βάση για έναν μελλοντικό υποχρεωτικό κανονισμό μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η εισαγωγή του έχει επιτρέψει την αξιολόγηση της φιλικότητας των πλοίων προς το περιβάλλον από μία ποσοτική άποψη ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι αποτελεί ένα πιλοτικό πρόγραμμα, είναι ακόμα εθελοντικό, που προτείνεται πρώτη φορά στον τομέα των μεταφορών.

Ο EEDI προορίζεται να παρέχει ένα μέτρο της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου και κύριος στόχος του είναι να ωθήσει την ναυτιλιακή βιομηχανία στον σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων τα οποία θα έχουν μικρότερη απαίτηση ενέργειας από τα ήδη υπάρχοντα και άρα θα εκπέμπουν λιγότερο CO<sub>2</sub>. Μια ολιστική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των εκπομπών απαιτείται [11], η οποία όσον αφορά τον EEDI θα στοχεύσει στην κατά το δυνατόν βέλτιστη σχεδίαση της γάστρας, του καλύτερου δυνατού συστήματος πρόωσης και άλλων τεχνολογιών που θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και που θα αποτρέψουν τη στρόφη σε πρακτικές που μπορεί να πετύχουν χαμηλές τιμές του EEDI στα χαρτιά αλλά να έχουν αρνητικές επιδράσεις όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για να στεφθεί με επιτυχία μία τέτοια προσέγγιση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η διαθεσιμότητα της τεχνολογίας, η ανάγκη για στρόφη σε καινοτόμες ιδέες σχεδιασμού και λειτουργίας του πλοίου καθώς και η οικονομία και κατάσταση του παγκόσμιου εμπορίου.

Για την εφαρμογή μέτρων που θα βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση και θα μειώνουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, συνδυάζοντας τεχνολογικές καινοτομίες και χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, θεωρείται ότι θα πρέπει να απαιτηθεί ένα υποχρεωτικό όριο του EEDI για τα νέα πλοία. Με την επιβολή του EEDI λοιπόν, κάτι που θα γίνει πιθανότατα το 2013 [7], ο επιτευχθέν δείκτης για ένα πλοίο θα πρέπει να είναι κάτω από μία ενδεικτική γραμμή, γραμμή αναφοράς, η οποία θα είναι διαφορετική για διαφορετικούς τύπους πλοίων. Το όριο αυτό θα καθοριστεί από τον IMO στο άμεσο μέλλον και θα βασίζεται σε δημόσια δεδομένα και υπολογισμούς που θα ορίζονται από μία κατευθυντήριο γραμμή. Τα όρια του EEDI μπορούν να τεθούν σταδιακά με βάση την τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς με την πάροδο των χρόνων θα υπάρχουν νέες τεχνολογίες και άλλα δεδομένα που θα καθορίζουν εκ νέου τα όρια του δείκτη. Για παράδειγμα, στο μέλλον η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας μπορεί να είναι τόσο διαδεδομένη ώστε να υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω μείωση των ορίων. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σταδιακής μείωσης του ορίου του EEDI με την πάροδο των χρόνων.

### Example of EEDI limit



Σχήμα 9. Παράδειγμα ορίων του EEDI και μεταβολή τους με την πάροδο των χρόνων[12]

Η σχέση που δίνει την τιμή του EEDI δίνεται παρακάτω(βλέπε εξίσωση [1])[13]. Είναι εύκολο να παρατηρήσουμε πως είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβολές της ταχύτητας υπηρεσίας καθώς η απαιτούμενη ισχύς είναι ανάλογη της ταχύτητας υψωμένης στην τρίτη δύναμη, σύμφωνα με τον τύπο του Αγγλικού Ναυαρχείου [14].

$$EEDI = \frac{C_f \cdot (P_{ME} \cdot SFC_{ME} + P_{AE} \cdot SFC_{AE})}{0.65 \cdot DWT \cdot V} \quad [1]$$

όπου:  $P_{ME}$  : ισχύς κύριας μηχανής στο ίσης με 75% του MCR

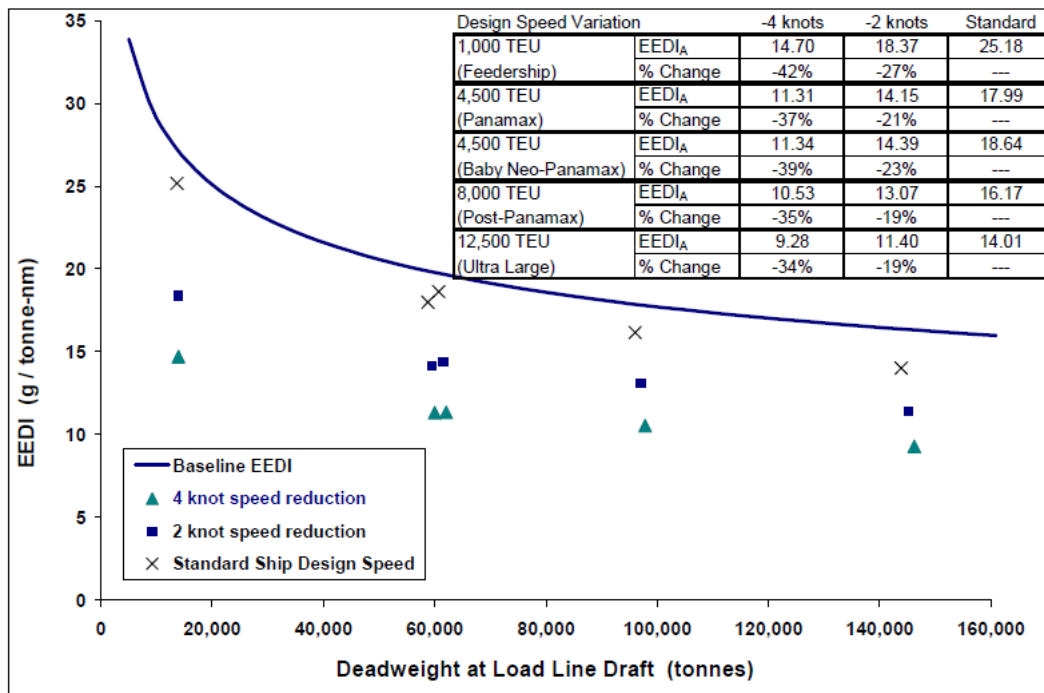
$P_{AE}$  : ισχύς βοηθητικών μηχανών ίση με  $0.025P_B + 250$

sfc: Ειδική κατανάλωση καυσίμου σε αυτή την ισχύ(specific fuel consumption)

$C_f$ : γραμμάρια CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται για κάθε γραμμάριο καυσίμου που καταναλώνεται.

$V$  : ταχύτητα του πλοίου

Ενδεικτικά, για πλοίο μεταφοράς Ε/Κ μείωση της ταχύτητας κατά 1 κόμβο επιφέρει μείωση του EEDI της τάξεως του 19-27% ενώ μείωση 4 κόμβων επιφέρει μείωση 34-42% όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Είναι σαφές λοιπόν ότι μέτρα τα οποία θα έχουν σαν άμεση συνέπεια τη μείωση της απαιτούμενης ισχύς, μειώνουν τον EEDI και άρα αυξάνουν την φιλικότητα προς το περιβάλλον. Τα μέτρα αυτά μπορούν να ληφθούν και στα υπάρχοντα πλοία, όχι μόνο στα νεότευκτα, κάνοντας εμφανή τα πρώτα αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση της ταχύτητας στην τιμή του EEDI ανάλογα με την μεταφορική ικανότητα.



Σχήμα 10. Τιμές του EEDI για δεδομένα πλοία μεταφοράς E/K [15]

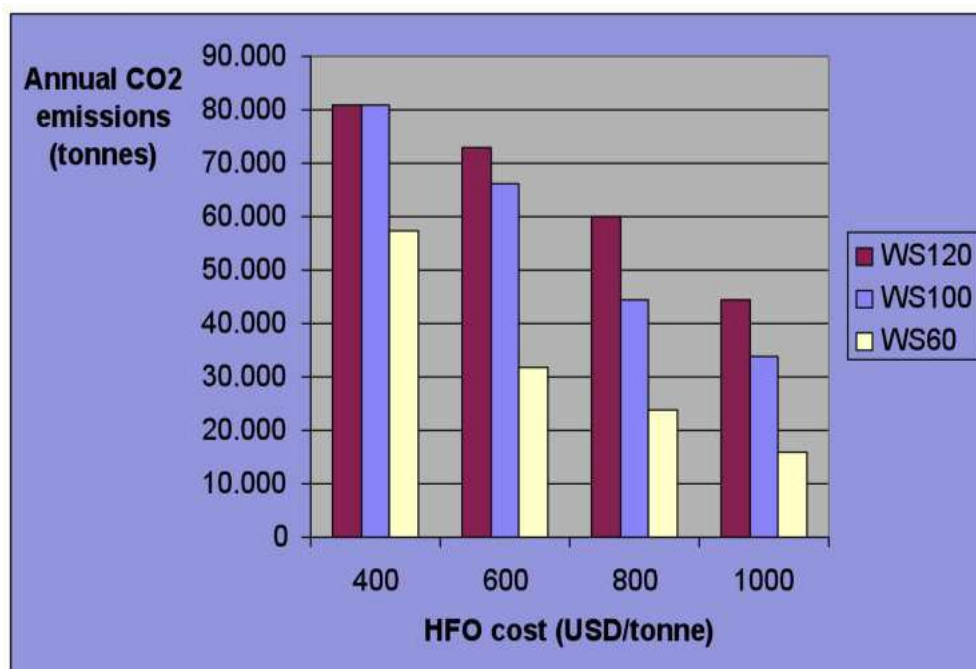
Σύμφωνα με τη γνώμη πολλών μελών της ναυτιλίας, το αν το κριτήριο που χρησιμοποιείται για το ποιο πλοίο είναι αποδοτικό ή όχι, βασίζεται σε μία εσφαλμένη φόρμουλα. Από τη σχέση που δίνει τον δείκτη παρατηρούμε ότι η βέλτιστη τιμή της ταχύτητας είναι μηδέν, καθώς αυτή θα πετύχει τη μικρότερη δυνατή τιμή του EEDI η οποία θα είναι και αυτή μηδέν. Αυτό όμως είναι πρακτικά αδύνατο καθώς δε θα μεταφέρεται εμπορεύματα. Θεωρητικά, μία αυθαίρετα χαμηλή τιμή της ταχύτητας δίνει μία ελάχιστη τιμή του δείκτη αλλά οι παρενέργειες από μία τέτοια κίνηση μπορεί να είναι σημαντικές [11].

Υπάρχει ο φόβος ότι η επιβολή μιας μέγιστης τιμής του δείκτη, μπορεί να μετατοπίσει το επίκεντρο της προσοχής από την σχεδίαση βέλτιστων μορφών γάστρας και συστημάτων πρόωσης σε εφαρμογή απλά χαμηλότερων ταχυτήτων ώστε να ικανοποιηθεί ο δείκτης. Η επιβολή ενός άνω ορίου ταχύτητας θα μετριάσει την κατασκευή πλοίων μειωμένης ισχύς τα οποία, στην προσπάθεια τους να διατηρήσουν την ταχύτητα τους σε δυσμενείς συνθήκες ταξιδιού, θα εκπέμπουν δυσανάλογα μεγάλες ποσότητες αερίων. Επίσης, κάθε απόπειρα μείωσης της ταχύτητας θα πρέπει να εφαρμόζεται με μεγάλη προσοχή καθώς μπορεί να υπάρχουν άλλες παρενέργειες όπως μείωση της δυνατότητας ελιγμών και της ασφάλειας ναυσιπλοΐας, αύξηση των ναύλων, αύξηση του αριθμού των πλοίων για κάλυψη των αναγκών του εμπορίου, αύξηση αποθεματικού κόστους ακόμα και στροφή σε άλλα μέσα μεταφορών όπως φορτηγά και τρένα που θα οδηγήσουν σε αύξηση των εκπομπών των GHG.

#### 1.4. 'Αργή Πλεύση' (Slow Steaming)

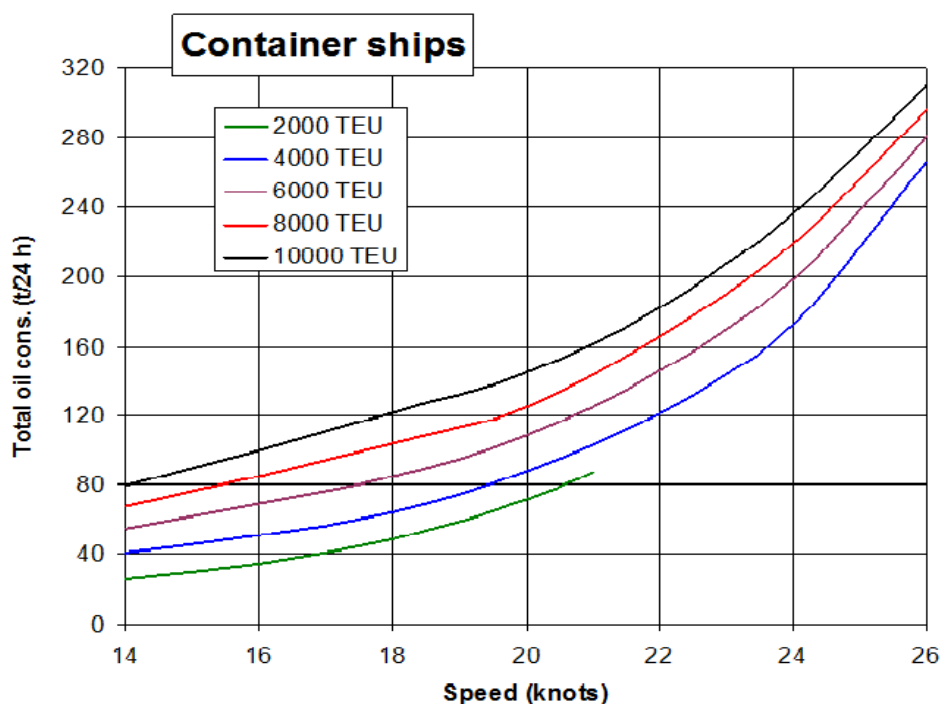
Η 'Αργή Πλεύση' ή 'Slow Steaming', όπως είναι η διεθνής ορολογία, είναι μια επιχειρησιακή στρατηγική κατά την οποία ένα πλοίο ταξιδεύει σε χαμηλότερες ταχύτητες του μέσου όρου, σε διάφορα σκέλη ενός ταξιδιού. Η τακτική αυτή συντελεί σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, κάτι που συνεπάγεται μείωση του λειτουργικού κόστους του πλοίου και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Αποτελεί έναν αποδεκτό τρόπο για τους σχεδιαστές και τους κατασκευαστές πλοίων όταν δουλεύουν προς την κατεύθυνση εκπλήρωσης και συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του EEDI. Σύμφωνα με την Maersk [16], τη μεγαλύτερη ναυτιλιακή εταιρία στον κόσμο, η εφαρμογή του slow steaming στα πλοία, τους βοηθάει στο να έχουν μεγαλύτερα οφέλη τόσο στον τομέα της αξιοπιστίας του προγράμματος παράδοσης-παραλαβής εμπορεύματος(δίνοντας τη δυνατότητα σε ένα πλοίο να επιταχύνει ή να επιβραδύνει όποτε χρειάζεται) όσο και στο περιβαλλοντικό κομμάτι.

Η τακτική του Slow Steaming ξεκίνησε το 2008, όταν η τιμή του πετρελαίου έφθασε σε επίπεδα ρεκόρ και τα λειτουργικά έξοδα των πλοίων εκτοξεύθηκαν στα ύψη. Σε αυτό ώθησε και η αυξανόμενη ανησυχία στην ναυτιλιακή κοινότητα για την μόλυνση του περιβάλλοντος και τις κλιματολογικές αλλαγές λόγω των εκπομπών αερίων που πάνε αναλογικά με την ποσότητα καυσίμου που καίγεται. Από εκείνη την περίοδο και μετά, πλοία που ταξίδευαν με ταχύτητες 22-25 κόμβους πλέον την έχουν μειώσει στους 18-20 κόμβους και σε κάποιες περιπτώσεις στους 8-12 κόμβους.



Σχήμα 11. Επίδραση της τιμής του πετρελαίου στις ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> [16]

Στην έκθεση της η Maersk [18] αναφέρει ότι την τριετία από το 2007 έως και το 2010 οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στα πλοία της μειώθηκαν κατά 14.5% ανά κιβώτιο βελτιώνοντας την λειτουργική αποδοτικότητά τους και κυρίως με την εφαρμογή του slow steaming, το οποίο από μόνο του ευθύνεται για μείωση των εκπομπών της τάξεως του 7% μέσα σε περίοδο 18 μηνών. Ένα παράδειγμα που φανερώνει το μέγεθος της ισχύς του slow steaming είναι ότι ένα πλοίο μεταφοράς Ε/Κ με χωρητικότητα 8000 Ε/Κ και ταχύτητα υπηρεσίας 21 κόμβους χρειάζεται 125 τόνους καυσίμου για να διανύσει 500 μίλια. Το ίδιο πλοίο χρειάζεται 80 τόνους καυσίμου για να διανύσει την ίδια απόσταση μειώνοντας την ταχύτητα του στους 15 κόμβους. Ο εκπρόσωπος της Maersk Cerup Simonsen δήλωσε [19] πως ‘τα οφέλη από την εφαρμογή του slow steaming είναι ξεκάθαρα. Όταν η ταχύτητα μειώνεται κατά 20% η κατανάλωση μειώνεται περίπου κατά 40% ανά μίλι. Η εισαγωγή του στη ναυτιλία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στις μέρες μας και ακόμα δεν έχουμε συνειδητοποιήσει τη δυναμική αυτού του εγχειρήματος’.



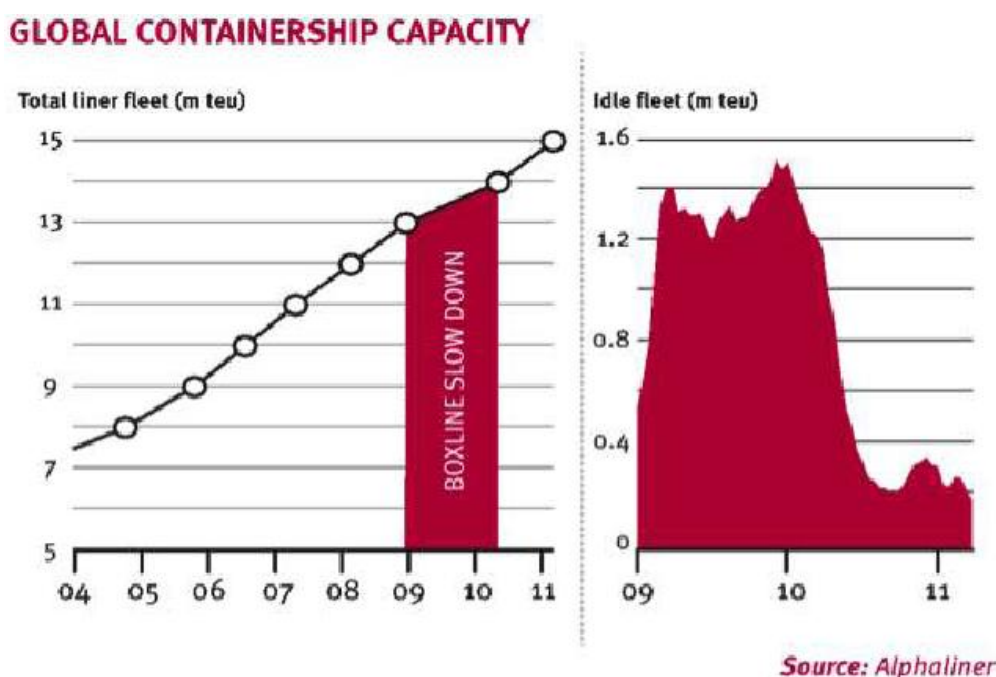
Σχήμα 12. Συνολική κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα [20]

Σύμφωνα με τον Νορβηγικό Νηογνώμονα [9] περίπου το 80% των διαδρομών από Ασία για Ευρώπη πραγματοποιείται από πλοία που εφαρμόζουν την τακτική του slow steaming. Αυτό απεικονίζει σε μεγάλο βαθμό ότι η βιομηχανία έχει αγκαλιάσει τη μέθοδο. Πλέον η πλειοψηφία των υπηρεσιών αυτής της διαδρομής γίνονται με ταχύτητες 17-19 κόμβους.

Σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε στην υιοθέτηση του Slow Steaming από τις ναυτιλιακές εταιρίες ήταν και η πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα στην



ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία συνέπεσε με τις φτωχές εμπορικές συνθήκες στις αγορές. Στα χρόνια της οικονομικής άνθησης και ευημερίας μέχρι το 2007, οι ναυτιλιακές εταιρίες αύξησαν σημαντικά την χωρητικότητά τους στον τομέα των Ε/Κ σε όλες τις κύριες διαδρομές ώστε η προσφορά των πλοίων να ισορροπήσει με τη ζήτηση. Αυτή η αυξανόμενη χωρητικότητα όμως αποδείχτηκε πως είναι δύσκολο να διαχειριστεί από τη στιγμή που συνέπεσε με τη μεγαλύτερη οικονομική ύφεση που γνώρισε ο κόσμος μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο. Αποτέλεσμα της πλεονάζουσας μεταφορικής ικανότητας ήταν πολλά πλοία να παραμείνουν παροπλισμένα. Σύμφωνα με το Συμβούλιο Βαλτικής και Διεθνούς Ναυτιλίας( Baltic and International Maritime Council-BIMCO) [21], υπολογιζόταν ότι περισσότερα από 300 πλοία θα αποσυρθούν προσωρινά από την αγορά ώστε η προσφορά να ισορροπήσει με τη ζήτηση και να αποτραπεί η περαιτέρω πτώση των ναύλων. Τελικά 140 πλοία παρέμειναν αδρανή με αποτέλεσμα οι ναύλοι να πέσουν 10-11% από τότε. Με την εφαρμογή του slow steaming λοιπόν ο αριθμός των αδρανών πλοίων μειώθηκε καθώς ο χρόνος ταξιδιού αυξήθηκε και απαιτούνται πλέον περισσότερα πλοία για την κάλυψη των αναγκών του εμπορίου, κάτι που απεικονίζεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 13. Χωρητικότητα πλοίων μεταφοράς Ε/Κ για την περίοδο 2004-2011 και μέγεθος παροπλισμένων πλοίων από το 2009 και μετά(σε εκατομμύρια Ε/Κ). [17]**

Όπως σε όλα τα θέματα, έτσι και για την εφαρμογή του slow steaming δεν συμφωνούν όλοι οι εμπλεκόμενοι. Κάποιοι δηλώνουν πως το slow steaming δεν είναι υπέρ των συμφερόντων των ιδιοκτητών των φορτίων καθώς η παράδοση τους καθυστερεί. Η Maersk απορρίπτει αυτές τις κριτικές [18] δηλώνοντας πως η χαμηλότερη ταχύτητα δεν συνεπάγεται απαραίτητα καθυστερημένη παράδοση. Αντίθετα βεβαιώνει πως με το slow steaming επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στο

χρόνο παράδοσης του φορτίου γιατί αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση εντός των λιμανιών και βελτιώνεται ο προγραμματισμός του ταξιδιού. Κάποιοι πάλι ισχυρίζονται πως τα οφέλη που σημειώθηκαν και θα σημειωθούν κατά την περίοδο εφαρμογής του slow steaming, θα διασφαλίσουν ότι οι φορείς της ναυτιλίας δε θα επιδιώξουν να επιστρέψουν στα προηγούμενα δεδομένα υψηλών ταχυτήτων όταν η αγορά ορθοποδήσει. Αντίθετα με αυτήν την άποψη, μερίδα ανθρώπων έχει την πεποίθηση ότι όταν η αγορά ανακάμψει και η πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα μειωθεί, θα επιστρέψουμε στις υψηλές ταχύτητες του παρελθόντος.

Είναι σαφές ότι οι εφοπλιστές έχουν τεράστια οφέλη με την εφαρμογή του slow steaming καθώς η εξοικονόμηση στα καύσιμα είναι μεγαλύτερη από το πρόσθετο κόστος λόγω της χρησιμοποίησης επιπλέον πλοίων [9]. Είναι απίθανο, καθώς φαίνεται, η τιμή του πετρελαίου να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου σε τέτοιο βαθμό ώστε το slow steaming να είναι αντιοικονομικό για αυτούς. Για τους φορτωτές τα πράγματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα. Όταν η τιμή του εμπορεύματος είναι χαμηλή, η εφαρμογή του slow steaming ,αλλά όχι σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, μπορεί να επιφέρει χαμηλότερο συνολικό κόστος ανά TEU όταν περιλαμβάνεται και το αποθεματικό κόστος. Αντίθετα, όταν το κόστος του εμπορεύματος είναι μεγάλο, το συνολικό κόστος αυξάνεται στις πολύ χαμηλές ταχύτητες. Για τους ιδιοκτήτες των φορτίων, το κυριότερο θέμα είναι ότι το χαμηλό κόστος μεταφοράς δεν αντικατοπτρίζεται απαραίτητα στο ναύλο που πρέπει να πληρώσουν καθώς ο ναύλος καθορίζεται από την προσφορά και τη ζήτηση, και με το να επιβραδύνουν ελαττώνουν την προσφορά. Από την άλλη, το slow steaming είναι ευεργετικό για τους liner operators όσο η ζήτηση είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από την προσφορά. Όταν οι ναύλοι φθάσουν σε ένα ορισμένο επίπεδο, θα είναι επικερδές για τους liner operators η αύξηση της ταχύτητας για όσο καιρό τα πλοία μπορούν να βρύνουν εμπόρευμα να μεταφέρουν.

Υπάρχει ένα νεκρό σημείο στην τιμή του πετρελαίου [22], κάτω από την οποία η στρατηγική του slow steaming δεν είναι βιώσιμη σε βάθος χρόνου. Η μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> στα επίπεδα που έχουν φθάσει σήμερα, μπορεί να διατηρηθεί για τιμή καυσίμου που κυμαίνεται στα 350-400\$/ton. Έτσι εάν οι τιμές των καυσίμων πέσουν ενώ οι ναύλοι και το αποθεματικό κόστος αυξηθούν, το κίνητρο για να ταξιδεύει ένα πλοίο σε μέγιστη ταχύτητα θα αυξηθεί. Όσο οι ναύλοι πέφτουν, το slow steaming θα παραμείνει βιώσιμο εάν οι τιμές των καυσίμων παραμείνουν υψηλές ή εάν εφαρμοστούν δυναμικές λύσεις όπως η επιβολή φορολογικών εισφορών και ορίων εκπομπών ρύπων.

Από τη ναυτιλιακή εταιρία Maersk [23] και διά στόματος του διευθύνοντα σύμβουλου της Eivind Kolding, δηλώνεται ότι το slow steaming θα παραμείνει σαν στρατηγική στο στόλο της για όσο διάστημα είναι λογικό για όλους τους εμπλεκόμενους, καθώς είναι καλύτερο για τον πελάτη, για τον πλανήτη και για τις επιχειρήσεις τους.

### 1.5. Νέες σχεδιαστικές μελέτες με βάση τις μελλοντικές απαιτήσεις

Η ανάγκη για βελτίωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των πλοίων ωθεί την ναυτιλιακή βιομηχανία στην ανάπτυξη μιας νέας γενιάς πλοίων τα οποία θα συμβαδίζουν με τις μελλοντικές απαιτήσεις και θα ικανοποιούν τη νομοθεσία. Νέες ιδέες διερευνώνται και κατασκευαστικές καινοτομίες προτείνονται ώστε τα επόμενα πλοία που θα κατασκευαστούν να πληρούν τις προδιαγραφές και να είναι ικανά να ταξιδεύουν για τα επόμενα 25-30 χρόνια. Είναι στο χέρι των πλοιοκτητών και των ναυπηγείων να αναπτυχθούν οι λεπτομερείς προδιαγραφές που χρειάζονται για να προχωρήσει όλη η βιομηχανία ένα βήμα μπροστά.

- **QUANTUM**

Μία καινοτόμος ιδέα πλοίου μεταφοράς E/K, που αναπτύχθηκε από τον DNV, είναι το Quantum [24]. Η γενική ιδέα ξεκίνησε με μια έρευνα ώστε να διευκρινιστούν οι βασικές μελλοντικές ανάγκες της βιομηχανίας. Τα αποτελέσματα αυτής έδειξαν πως για τους πλοιοκτήτες οι πέντε σημαντικότεροι παράγοντες όταν χτίζουν ένα καινούριο πλοίο είναι: οικονομία καυσίμου, αξιοπιστία προγράμματος, συμμόρφωση με τους μελλοντικούς κανονισμούς, μείωση επιχειρησιακού κόστους και περιβαλλοντικός αντίκτυπος. Με βάση αυτήν την έρευνα, η ομάδα του DNV επέλεξε να αναπτύξει το σχέδιο ενός πλοίου μεταφοράς E/K με χωρητικότητα 6,000 και 9,000 κιβώτια, το οποίο θα καλύπτει συναλλαγές μεταξύ Ευρώπης και ανατολικής ακτής της Νότιας Αμερικής.

Το Quantum με χωρητικότητα 6000 E/K εφοδιάζεται με τέσσερις μηχανές που μπορούν να λειτουργούν με δύο ειδών καύσιμα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, παρέχοντας ένα μηχανολογικό σύστημα που έχει τη δυνατότητα να παράγει ισχύ για ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων. Η ταχύτητα υπηρεσίας του είναι 21 κόμβοι με δυνατότητα ώθησης αρκετών κόμβων παραπάνω σε περίπτωση που χρειαστεί, αλλά και δυνατότητα για slow steaming σε λιγότερο από 10 κόμβους. Με την καύση φυσικού αερίου στις παράκτιες περιοχές, οι απαιτήσεις στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών (Emission Control Areas-ECAs) ικανοποιούνται. Για την πρόωση του πλοίου χρησιμοποιούνται δύο προπέλες τοποθετημένες σε λοβούς, οι οποίοι μπορούν να στρέφονται προς κάθε οριζόντια κατεύθυνση, εξαλείφοντας την ανάγκη για πηδάλιο και προπέλα ελιγμών στην πρύμνη. Αυξάνεται με τον τρόπο αυτό η δυνατότητα ελιγμών σε λιμάνια που έχουν αυξημένη κίνηση και επιτυγχάνεται μειωμένος χρόνος παραμονής εντός των λιμένων.

Το διευρυμένο πλάτος του πλοίου, 42.5 μέτρα στην ίσαλο πλευσης, βελτιώνει την ευστάθεια και εξαλείφει την ανάγκη για έρμα. Με την αύξηση του πλάτους στο ύψος του καταστρώματος στα 49 μέτρα, αυξάνεται η χωρητικότητα σε κιβώτια χωρίς να αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου. Το βύθισμα του πλοίου είναι στα 12 μέτρα επιτρέποντας του να ταξιδεύει σε ρηγά νερά. Η ξεχωριστή μορφή της πλώρης με τον αεροδυναμικό κυματοθραύστη μειώνει την αντίσταση του αέρα ενώ η χρησιμοποίηση

συνθετικών υλικών τύπου σάντουιτς για την κατασκευή της γάστρας μειώνει το βάρος της μεταλλικής κατασκευής κατά 1,000 τόνους.

Ο DNV στη συνέχεια παρουσίασε μια εξελιγμένη έκδοση του Quantum 6000, το Quantum 9000 [25]. Η βασική διαφορά έχει να κάνει με το σύστημα πρόωσης καθώς έχει τον συμβατικό ελικοφόρο άξονα, ενώ η κύρια μηχανή χρησιμοποιεί και Φυσικό Αέριο για καύσιμο. Σε αυτό συνέβαλε η εταιρία MAN Diesel & Turbo, με την ανάπτυξη τεχνογνωσίας για κατασκευή μηχανών που καίνε είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο επιτυγχάνοντας μείωση των εκπομπών. Σε αυτό προστέθηκαν κάποιες αλλαγές στα χαρακτηριστικά της γάστρας και στην χρησιμοποίηση των χώρων τα οποία συμβάλουν στην αύξηση της χωρητικότητας κατά 3000 E/K και στη φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά του Quantum είναι δύσκολο να παρουσιαστούν και να εφαρμοστούν στο σύνολο τους σε ένα πλοίο, κάποια όμως από αυτά είναι βέβαιο ότι θα βρεθούν στα μελλοντικά σχέδια πλοίων. Μπορεί η κεφαλαιουχική δαπάνη για κάποιες από αυτές τις καινοτομίες να είναι μεγάλη ωστόσο θα αντισταθμιστεί από το βελτιωμένο επιχειρησιακό κόστος και την ευελιξία στη διακίνηση εμπορευμάτων.

- **VISIONS NTUA-E<sup>4</sup>**

Το E<sup>4</sup> είναι μια καινοτόμος ιδέα πλοίου μεταφοράς E/K η οποία παρουσιάστηκε στα πλαίσια του διαγωνισμού Ευρωπαϊκών Πανεπιστημίων EU STUDENT COMPETITION 2011 "Visionary Concepts for ships and floating structures-VISIONS OLYMPICS" που διοργάνωσαν οι οργανισμοί WEGEMT και CESA (Community of European Shipyards Association). Έγινε σε συνεργασία με έναν ακόμα προπτυχιακό φοιτητή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, τον Κουτρούκη Γεώργιο, έχοντας την επίβλεψη του υπεύθυνου καθηγητή Α.Παπανικολάου και την αμέριστη βοήθεια του Μπουλουγούρη Ευάγγελου. Η μελέτη που εκπονήθηκε αξιολογήθηκε από τους αρμόδιους του διαγωνισμού και προκρίθηκε αρχικά στις τρεις καλύτερες, με την τελική κατάταξη να γίνεται γνωστή τον Απρίλη σε συνέδριο όλων των φορέων της Βιομηχανίας Μεταφορών.

Η ιδέα του E<sup>4</sup> είναι μια απάντηση στη ζήτηση για slow steaming. Σε βάθος χρόνου η τιμή του πετρελαίου αναμένεται να παραμείνει υψηλή και η περιβαλλοντική ανησυχία θα αυξάνεται σταδιακά. Όλα συνηγορούν στο γεγονός ότι ένας φόρος στις εκπομπές άνθρακα πιθανόν να εφαρμοστεί. Με την ραγδαία ανάπτυξη μεγάλων αγορών όπως της Κίνας και της Ινδίας, μεγαλύτερη ζήτηση για τις μεταφορές των αγαθών έρχεται από την ανατολή. Μετά την αναγνώριση όλων αυτών των δεδομένων που προσδιορίζουν την σημερινή κατάσταση και προβλέποντας την επόμενη μέρα σχεδιάσαμε το E<sup>4</sup> το οποίο είναι ενδεχομένως μία καλή λύση και μπορεί να παρέχει μία καλή απάντηση για τις μελλοντικές απαιτήσεις. Σε ένα κόσμο αβεβαιότητας είναι

συνετή στρατηγική να είμαστε πλήρως προετοιμασμένοι να προσαρμοστούμε στις αλλαγές της αγοράς και την περιβαλλοντική νομοθεσία.

Το E<sup>4</sup> είναι πρωτοπόρο για την κλάση του καθώς η όλη σχεδιαστική ιδέα του συντονίζεται γύρω από μία χαμηλότερη ταχύτητα της τάξεως των 16 κόμβων( Αυτή η τιμή της ταχύτητας μπορεί να αλλάξει σε κάποιο βαθμό, σε ένα εύρος +/- 10 με 15%, χωρίς απώλεια της γενικότητας για τα επιτευχθέντα αποτελέσματα και ευρήματα.), η οποία ταιριάζει απόλυτα με τις απαιτήσεις της εποχής για μειωμένη ταχύτητα. Υιοθετώντας στοιχεία από τις παραδοσιακές λεπτόγραμμες γάστρες και από τις πιο πλήρεις μορφές των πλοίων μεταφοράς φορτίων χύδην και των τάνκερ, το E<sup>4</sup> είναι μοναδικό σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο πλοίο μεταφοράς E/K. Ο κύριος στόχος του E<sup>4</sup> είναι να αυξήσει την αποδοτικότητά του μέσω βελτιστοποίησης της γάστρας. Μια σειρά καινοτόμων χαρακτηριστικών στο σχεδιασμό παρέχουν τη δυνατότητα στο πλοίο να μεταφέρει περισσότερο εμπόρευμα ενώ καταναλώνει λιγότερο καύσιμο, κάνοντας το έτσι πιο φιλικό στο περιβάλλον.

Το όνομα E<sup>4</sup> εμπνεύστηκε από τις λέξεις:

**-Ελλειπτικό(Elliptic).** Το κυρίως χαρακτηριστικό της γάστρας είναι η ελλειψοειδής μέση τομή που είναι κυρίαρχη σε όλο το σχέδιο και παρέχει στο πλοίο πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά το περιβαλλοντικό κομμάτι.

**-Αποδοτικότητα(Efficiency).** Αυτό το πλοίο σχεδιάστηκε για να μεταφέρει περισσότερα E/K σε σχέση με τα άλλα συμβατικά πλοία, με χαμηλό ναύλο.

**-Εξοικονόμηση ενέργειας(Energy saving).** Είναι ενεργειακά οικονομικό γιατί σχεδιάστηκε να ταξιδεύει με χαμηλότερη ταχύτητα και η σημαντικότερη πρόθεση του είναι να μειωθεί η απαιτούμενη ισχύς μέσω της βελτιστοποίησης της γάστρας.

**-Φιλικό προς το περιβάλλον(Environmental friendly).** Λόγω του εκλεπτυσμένου σχεδιασμού έχει πολύ μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο που αποτυπώνεται στον πολύ χαμηλό EEDI και έχει ελάχιστη απαίτηση για έρμα.

Το E<sup>4</sup> είναι ένα πλοίο με χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να χτιστούν με βάση την υπάρχουσα τεχνολογία. Η έξυπνη διάταξη των χώρων του επιτρέπουν την μελλοντική εγκατάσταση συστημάτων ενέργειας που βασίζονται σε νέες τεχνολογίες όπως χρησιμοποίηση φυσικού αερίου ή κελιών καυσίμου χωρίς να απαιτείται επανασχεδιασμός του μηχανοστασίου.

#### • ΠΛΟΙΟ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αφορμή για την παρούσα προκαταρκτική μελέτη ενός πρωτοποριακού πλοίου μεταφοράς E/K στάθηκε η στροφή της Παγκόσμιας Ναυτιλίας σε πιο οικονομικά βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία, τα οποία θα κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και με πολύ μεγαλύτερη απόδοση στη μεταφορική ικανότητα και την κατανάλωση ενέργειας. Η παρούσα μελέτη προηγήθηκε της μελέτης για το VISIONS NTUA-E<sup>4</sup>, το οποίο αποτελεί την εξέλιξη κατά κάποιο τρόπο της ιδέας για ένα καινοτόμο πλοίο μεταφοράς E/K.

Η όλη σχεδιαστική ιδέα βασίζεται και εδώ γύρω από μία ταχύτητα της τάξεως των 16 κόμβων. Η επιλογή της ταχύτητας αυτής έγινε με βάση τις απαιτήσεις της εποχής για μειωμένη κατανάλωση και περιβαλλοντική επιβάρυνση. Αντίθετα όμως από τα υπόλοιπα πλοία μεταφοράς Ε/Κ, τα οποία χαρακτηρίζει η λεπτόγραμμη γάστρα, αποφασίστηκε με τον επιβλέποντα Καθηγητή Α. Παπανικολάου να κινηθούμε στη σχεδίαση ενός πλοίου στα πρότυπα των φορτηγών πλοίων και των δεξαμενόπλοιων, με πιο πλήρη μορφή γάστρας, με σκοπό να αυξηθεί η αποδοτικότητα μέσω της αύξησης της μεταφορικής ικανότητας. Το χαρακτηριστικό αυτό το καθιστά μοναδικό μεταξύ των πλοίων αυτού του τύπου.

Η μελέτη και σχεδίαση του υπό μελέτη πλοίου είναι μία απάντηση στην προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης για ενεργειακά αποδοτικά πλοία, τα οποία θα συμβαδίζουν με τους διεθνείς κανονισμούς για την προστασία του περιβάλλοντος και παράλληλα θα είναι κερδοφόρα για τον ιδιοκτήτη τους. Η κατασκευή του βασίζεται σε υπάρχουσα τεχνογνωσία ενώ επιτρέπεται και η εγκατάσταση νέων τεχνολογιών χωρίς πιθανός να χρειάζεται αλλαγές στη διάταξη του μηχανοστασίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: Καθορισμός Κύριων Διαστάσεων & Προμελέτη

### 2.1. Καθορισμός κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής

Η αρχική ιδέα είχε σαν στόχο το σχεδιασμό ενός containership το οποίο θα είναι σε θέση να μεταφέρει περίπου 5.000 TEUs(Post-panamax class), να ταξιδεύει με 16 κόμβους και να έχει μέγιστο πλάτος 44m. Πλοίο με τέτοια χαρακτηριστικά δεν έχει κατασκευαστεί οπότε δεν υπάρχει βάση δεδομένων με λόγους κύριων διαστάσεων που θα βοηθούσαν στην πρώτη εκτίμηση των διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου. Ωστόσο για σύγκριση τιμών, περισσότερο για την ανάλυση του νεκρού βάρους και τον υπολογισμό του βάρους πλήρους εξοπλισμένου αλλά άφορτου σκάφους(Lightship-LS), χρησιμοποιήσαμε όμοιο πλοίο με συνολική χωρητικότητα έως και 5388 TEUs, περαιτέρω στοιχεία του οποίου δίνονται στο Παράρτημα Γ.

Το πρώτο βήμα για την επιλογή των κυρίων διαστάσεων ήταν η δημιουργία δύο σκαριφημάτων, μέσης τομής και πλάγιας όψης, με σκοπό να γίνει μία προκαταρκτική εκτίμηση του μήκους και του κοίλου έτσι ώστε να επιτύχουμε την απαιτούμενη μεταφορική ικανότητα. Εκτιμήθηκε ότι το υπό μελέτη πλοίο θα μπορούσε να έχει μήκος γύρω στα 230 [m] και κοίλο περίπου 19.8 [m] ώστε να μπορεί να μεταφέρει κοντά στα 5.000 TEUs. Το βύθισμα σχεδίασης επιλέχτηκε στα 10.5 [m] μετά από κυκλικούς ελέγχους ώστε να επιτύχουμε βέλτιστη αντίσταση, ευστάθεια και ικανοποιητική μεταφορική ικανότητα ανά TEU.

Το επόμενο βήμα ήταν η εξαγωγή των συντελεστών μορφής μέσω του υπολογισμού του αδιάστατου αριθμού Froude [26], για δεδομένη ταχύτητα και δεδομένο μήκος.

Αριθμός Froude

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{8.2304 \text{ m/s}}{\sqrt{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 230 \text{ m}}} \Rightarrow \quad Fr = 0.17327$$

Συντελεστής γάστρας

$$C_B = K_1 - K_2 \cdot F_n - K_3 \cdot F_n^2 = 1.08 - 1.68 \cdot 0.17327 - 0.244 \cdot 0.17327^2 \Rightarrow \quad C_B = 0.76$$

Συντελεστής μέσης τομής

$$C_M = 1/(1 + (1 - C_B)^{3.5}) = 1/(1 + (1 - 0.76)^{3.5}) \Rightarrow \quad C_M = 0.993$$

Πρισματικός συντελεστής

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0.76}{0.993} \Rightarrow \quad C_P = 0.765$$

Οι κύριες λοιπόν διαστάσεις και οι συντελεστές γάστρας του υπό μελέτη Post-Panamax Containership είναι οι ακόλουθες :

$$L_{BP} = 230 \text{ [m]} \quad B = 44 \text{ [m]} \quad T_d = 10.5 \text{ [m]} \quad D = 19.8 \text{ [m]} \quad C_B = 0.76 \quad C_M = 0.993$$

$$C_P = 0.765 \quad L_{BP} / B = 5.23 \quad B / T = 4.2$$

Παρατήρηση: Οι λόγοι  $L_{BP}/B$  και  $B/T$  του υπό μελέτη πλοίου δεν ανήκουν στα όρια των τιμών που αντιπροσωπεύουν τα συμβατικά containership [26], κάτι που καταδεικνύει την μοναδικότητά του μεταξύ των άλλων πλοίων της ίδιας κατηγορίας.



## 2.2. Προκαταρκτική προσέγγιση ισχύος πρόωσης

Για την προκαταρκτική προσέγγιση της ισχύος πρόωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Holtrop [29]. Λόγω της έλλειψης όμοιων πλοίων για χρήση λόγων και μέσο όρων που θα βοηθούσαν στην εκτίμηση της ισχύος, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο αυτή που δίνει μια ικανοποιητική εκτίμηση της ολικής αντίστασης και κατ' επέκταση της απαιτούμενης ισχύος. Για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από επόμενα ερωτήματα, τα οποία σε αυτό το στάδιο της προμελέτης ήταν δυνατόν να υπολογισθούν μόνο κατά προσέγγιση. Για παράδειγμα αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκε η σχέση που δίνει η μέθοδος για τον υπολογισμό της βρεχόμενης επιφάνειας, στοιχείο σημαντικό για τον υπολογισμό της αντίστασης, στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η τιμή που βγήκε από τους υδροστατικούς υπολογισμούς με χρήση του ναυπηγικού προγράμματος AVEVA M12 INITIAL DESIGN – Calc & Hydro.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές για τις διάφορες αντιστάσεις που επιδρούν στο πλοίο καθώς και οι τιμές Ισχύος όπως υπολογίστηκαν από τη μέθοδο. Αναλυτική περιγραφή των υπολογισμών παρατίθεται στο Παράρτημα Α.

<u>Αντίσταση Τριβής:</u>	$R_f = 609 [kN]$
<u>Αντίσταση Παρελκόμενων:</u>	$R_{APP} = 16.5 [kN]$
<u>Αντίσταση Κυματισμού:</u>	$R_W = 72 [kN]$
<u>Πρόσθετη Αντίσταση λόγω ύπαρξης βολβού:</u>	$R_B = 9.0 [kN]$
<u>Αντίσταση Συσχετίσεως:</u>	$R_A = 133 [kN]$
<u>Ολική Αντίσταση:</u>	$R_{total} = 1003 [kN]$
<u>Ισχύς Ρυμούλκησης:</u>	$P_e = 8373 [kW] \text{ ή } P_e = 11228 [PS]$
<u>Ισχύς στον άξονα της μηχανής:</u>	$SHP = 11162 [kW] \text{ ή } SHP = 15176 [PS]$
<u>Μέγιστη Ονομαστική Ισχύς:</u>	$MCR = 14445 [kW] \text{ ή } MCR = 19640 [PS]$

### 2.3. Προϋπολογισμός Βάρους Πλήρως Εξοπλισμένου αλλά Αφορτου Πλοίου-Light Ship (L.S.)

Για τον υπολογισμό των βαρών της μεταλλικής κατασκευής ( $W_{ST}$  - Steel Weight), της ενδιαίτησης και εξοπλισμού ( $W_{OT}$  - Outfit Weight) και της μηχανολογικής εγκατάστασης ( $W_M$  - Machinery Weight) του υπό μελέτη πλοίου χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι προμελέτης [26]. Η διαδικασία υπολογισμού του L.S. και του κέντρου βάρους του πραγματοποιήθηκε αρχικά για το όμοιο πλοίο, ώστε να έχουμε ενδεικτικές τιμές και ένα συντελεστή συσχέτισης (διορθωτικό συντελεστή) που χρησιμοποιήσαμε στο υπό μελέτη πλοίο για μεγαλύτερη ακρίβεια των τελικών τιμών. Αναλυτική περιγραφή των υπολογισμών για το υπό μελέτη πλοίο και για το όμοιο παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α και Γ αντίστοιχα. Ακολουθεί πίνακας στον οποίο αναλύεται το βάρος του κενού σκάφους με τις πραγματικές τιμές κάθε ομάδας βάρους, μετά την εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης και τέλος οι πραγματικές τιμές του κέντρου βάρους του.

Πίνακας 3.

<i>BAPH</i>	<i>W [t]</i>	<i>KG [m]</i>	<i>M<sub>T</sub> [t x m]</i>	<i>LCG [m]</i>	<i>M<sub>L</sub> [t x m]</i>
<b>W<sub>ST</sub></b>	15380	11.82	181785.6	108.99	1676211
<b>W<sub>OT</sub></b>	3428	17.98	61639.96	106.68	365725.9
<b>W<sub>M</sub></b>	1206	9.59	11568.81	63.22	76264.89
<b>L.S.</b>	<b>20014</b>	<b>12.74</b>	<b>254994.4</b>	<b>105.84</b>	<b>2118202</b>

Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής:

$$W_{ST} = 15380 \text{ [tons]}$$

Βάρος ενδιαίτησης και Εξοπλισμού:

$$W_{OT} = 3428 \text{ [tons]}$$

Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης:

$$W_M = 1206 \text{ [tons]}$$

Καθ' Ύψος Θέση Κέντρου Βάρους L.S.:

$$KG_{L.S.} = 12.74 \text{ [m]}$$

Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους L.S.:

$$LCG_{L.S.} = 105.84 \text{ [m]}$$

## 2.4. Προκαταρκτική Ανάλυση Πρόσθετου Βάρους DWT

### Βάρος Καυσίμου – Heavy Fuel Oil

Αρχική απαίτηση για την ακτίνα ενέργειας του υπό μελέτη πλοίου δεν είχαμε. Για το λόγο αυτό τη θεωρήσαμε ίση με αυτή του πατρικού πλοίου. Μετά από υπολογισμούς για το πατρικό πλοίο, που παρουσιάζονται σε παράρτημα στη συνέχεια, βρέθηκε ότι η Ακτίνα Ενέργειας του είναι 18792 [sm] και ο χρόνος αυτοδυναμίας του 783 [hours] ή 32.625 [days]. Έτσι για το υπό μελέτη πλοίο θεωρούμε A.R. = 18000 [sm] και έχουμε:

Χρόνος αυτοδυναμίας:

$$A.R. = t \times V_S \Rightarrow t = \frac{A.R.}{V_S} = \frac{18000}{16} \Rightarrow t = 1125 \text{ [hours]} \text{ ή } t = 47 \text{ [days]}$$

Όπου  $V_S$ : ταχύτητα υπηρεσίας σε [knots]

Με βάση το χρόνο πλεύσης του πλοίου και γνωρίζοντας την ισχύ πέδης της κύριας μηχανής, μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Μέσα σε αυτά πρέπει να συνυπολογίσουμε και ένα συντελεστή εφεδρείας για υπερκατανάλωση λόγω αλλαγής πορείας, απρόβλεπτης αναμονής, αρωγή σε περίπτωση ανάγκης και καταλοίπων στις δεξαμενές, ο οποίος επιλέγεται μεταξύ των ορίων [1.2 – 1.4] [26].

Ισχύς Πέδης:

$$P_B = 11162 \text{ [kW]} \text{ ή } P_B = 15176 \text{ [PS]}$$

Συντελεστής εφεδρείας:

$$C=1.2$$

Ειδική κατανάλωση αργόστροφων μηχανών:

$$b_I = 170 \text{ [gr/kWh]}$$

Έτσι έχουμε :

$$W_{F.O.} = P_B \times b_e \times t \times C \times 10^{-6} = 11162 \times 170 \times 1125 \times 1.2 \times 10^{-6} \Rightarrow$$

$$\underline{W_{F.O.} = 2562 \text{ [tons]}}$$

### Βάρος καυσίμου – Diesel Oil

Για τον υπολογισμό του βάρους του Diesel Oil θα πρέπει αρχικά να καθορίσουμε την ισχύ των ηλεκτρογεννητριών. Αυτό θα γίνει για κάθε μία ξεχωριστά σύμφωνα με τη σχέση που ακολουθεί :

$$P_e = 100 + 0.55 \times P_B^{0.7} = 100 + 0.55 \times 11162^{0.7} \Rightarrow P_e = 475 \text{ [kW]}$$

Με βάση τη τιμή αυτή, επιλέγουμε τρεις όμοιες ηλεκτρογεννήτριες, δύο σε λειτουργία και μία εφεδρική, με 500 [kW] ισχύ η καθεμία. Θεωρούμε βαθμό απόδοσης των ηλεκτρογεννητριών ίσο με :

$$n_G = 0.98$$

Ειδική κατανάλωση ηλεκτρογεννητριών:

$$b_2 = 181 \text{ [gr/kWh]}$$

Το βάρος του Diesel Oil για τις ηλεκτρογεννήτριες ισούται με:

$$W_{D.O.(G)} = \frac{P_e \times b_2 \times t \times C \times 10^{-6}}{n_G} = \frac{2 \times 500 \times 181 \times 1125 \times 1.2 \times 10^{-6}}{0.98} \Rightarrow$$

$$W_{D.O.(G)} = 299 \text{ [tons]}$$

Πέρα από την ποσότητα που απαιτείται για τις ηλεκτρογεννήτριες, χρησιμοποιείται πρόσθετο Diesel Oil, για την εκκίνηση της Κύριας Μηχανής και για ελιγμούς, ίσο με 5 – 7 % του βάρους του Fuel Oil. Επομένως έχουμε:

$$W_{D.O.(M.E.)} = 0.05 \times W_{F.O.} = 0.05 \times 2562 \Rightarrow W_{D.O.(M.E.)} = 128 \text{ [tons]}$$

Συνολικά το Diesel Oil του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$W_{D.O.} = W_{D.O.(G)} + W_{D.O.(M.E.)} = 299 + 128 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{D.O.} = 427 \text{ [tons]}}$$

#### Βάρος Λιπαντικών - Lubricating Oil

Το βάρος των λιπαντικών ισούται με το 5 – 7 % των απαιτούμενων καυσίμων για τη μηχανή πρόωσης και τις ηλεκτρογεννήτριες. Επομένως:

$$W_{L.O.} = 0.05 \times (W_{F.O.} + W_{D.O.}) = 0.05 \times (2562 + 427) \Rightarrow \underline{W_{L.O.} = 150 \text{ [tons]}}$$

#### Βάρος Φρέσκου Νερού – Fresh Water

Για τον υπολογισμό του βάρους του φρέσκου νερού χρειάζεται να γνωρίζουμε τον αριθμό του πληρώματος. Σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υπολογισμοί καταμέτρησης οι οποίοι έδωσαν τον ακριβή αριθμό του πληρώματος, το οποίο αποτελείται από 25 άτομα. Έτσι απαιτείται :

I) Πόσιμο Νερό (10 – 20 kg/ανθρωποημέρα) [26]

II) Νερό Καθαριότητας (200 kg/ ανθρωποημέρα, για ενδειατήσεις με λουτήρες)[26]

Με βάση αυτά έχουμε:

$$W_{F.W.} = F.W. \times Days \times Crew = 0.020 \times 47 \times 25 + 0.20 \times 47 \times 25 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{F.W.} = 259 \text{ [tons]}}$$

### Βάρος Εφοδίων & Τροφίμων - Provisions

Το βάρος των εφοδίων υπολογίζεται σε 7 – 16 kg/ανθρωποημέρα. Σε αυτό συνυπολογίζεται με την ημερήσια κατανάλωση και οι εφεδρείες που χρειάζονται σε περίπτωση καθυστέρησης του ταξιδιού, αλλοιώσεις τροφίμων, καθυστερήσεις ανεφοδιασμού [26]. Θεωρούμε ημερήσια ατομική κατανάλωση 16kg/ανθρωποημέρα. Επομένως :

$$W_{PR.} = Provisions \times Days \times Crew = 0.016 \times 47 \times 25 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{PR.} = 18.8 [tons]}$$

### Βάρος Πληρώματος & Αποσκευών

Θεωρούμε :

I) Επιβάτες: 75 kg/επιβάτη

II) Αποσκευές: 60 kg/επιβάτη

$$\text{Άρα: } W_{CR} = \text{Συνολικό} \frac{\text{βάρος}}{\text{Επιβ} \text{ άτη}} \times Crew = (0.075 + 0.060) \times 25 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{CR} = 3.375 [tons]}$$

### Βάρος Stores

Θεωρούμε βάρος stores ίσο με :

$$\underline{W_{st} = 30 [tons]}$$

### Βάρος Διαφόρων - Miscellaneous

Θεωρούμε βάρος miscellaneous(απόβλητα κλπ), που δε συμπεριλαμβάνονται στις άλλες κατηγορίες, ίσο με αυτό του πατρικού πλοίου:

$$\underline{W_{MISC.} = 683 [tons]}$$

### Βάρος Ωφέλιμου Φορτίου - Payload

Γνωρίζοντας το Light Ship του υπό μελέτη πλοίου, αρκεί να υπολογίσουμε το εκτόπισμα ώστε να βρούμε το Πρόσθετο Βάρος(DWT) και εν συνεχεία το payload. Έτσι έχουμε:

$$\Delta = C_{\gamma} \times C_B \times L \times B \times T = 1.027 \times 0.76 \times 230 \times 44 \times 10.5 \Rightarrow$$

$$\underline{\Delta = 82938 [tons]}$$

Ισχύει όμως:

$$\Delta = DWT + LS \Rightarrow DWT = \Delta - LS = 82938 - 20014 \Rightarrow$$

$$***DWT = 62924 [tons]***$$

Άρα τελικά :

$$DWT = Payload + W_{F.O.} + W_{D.O.} + W_{L.O.} + W_{F.W.} + W_{PR.} + W_{CR} + W_{st} + W_{MISC} \Rightarrow$$

$$Payload = DWT - W_{F.O.} - W_{D.O.} - W_{L.O.} - W_{F.W.} - W_{PR.} - W_{CR} - W_{st} - W_{MISC} \Rightarrow$$

$$= 62924 - 2562 - 427 - 150 - 259 - 18.8 - 3.375 - 30 - 683 \Rightarrow$$

$$**Payload = 58791 [tons]**$$

Έχοντας την προκαταρκτική εκτίμηση του DWT και την απαιτούμενη μεταφορική ικανότητα μπορούμε να κάνουμε μία εκτίμηση για το Πρόσθετο Βάρος ανά TEU, το DWT/TEU, το οποίο είναι ίσο με :

$$DWT/TEU = 62924/5000 \Rightarrow$$

$$**DWT/TEU = 12.59 [tons/TEU]**$$

Αλλά και για το Payload/TEU:

$$Payload/TEU = 58791/5000 \Rightarrow$$

$$**Payload/TEU = 11.76 [tons/TEU]**$$

## 2.5. Υπολογισμός Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης - EEDI

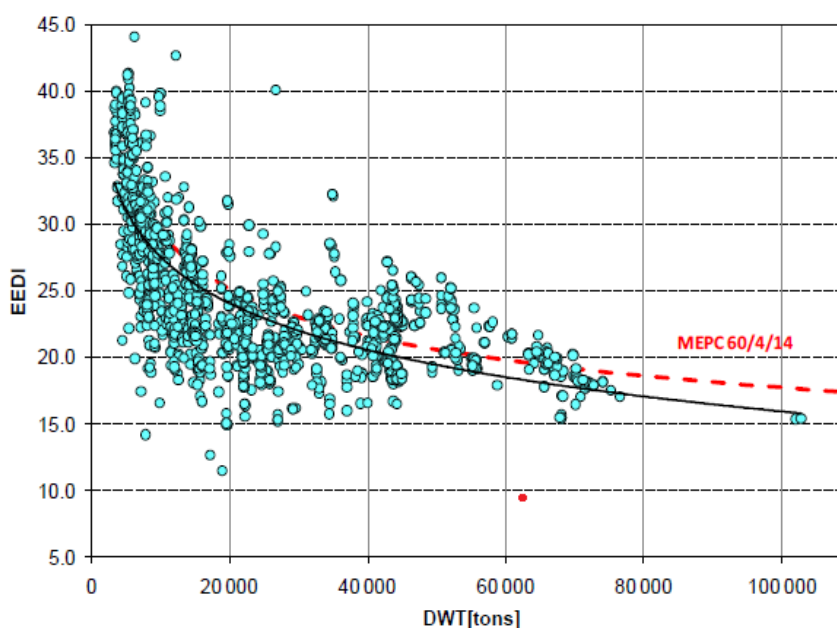
Χρησιμοποιώντας τη σχέση που παρατίθεται στο Κεφάλαιο 1.3.1 για τον υπολογισμό του EEDI και την τιμή του DWT όπως την πήραμε από τις καταστάσεις φόρτωσης στο Παράρτημα Β, έχουμε :

$$EEDI = \frac{C_f \cdot (0.75 \cdot MCR_{propulsion} \cdot SFC_{ME} + (0.025 \cdot MCR_{propulsion} + 250) \cdot SFC_{AE})}{0.65 \cdot DWT \cdot V} \Rightarrow$$

$$EEDI = \frac{170 \cdot 3.1144 \cdot (0.75 \cdot 14445 + (0.025 \cdot 14445 + 250))}{0.65 \cdot 62986 \cdot 16} \Rightarrow$$

$$\underline{\underline{EEDI = 9.236}}$$

Όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 1.3.1, ο EEDI αποτελεί ένα μέτρο της φιλικότητας προς το περιβάλλον του κάθε πλοίου. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης, τόσο πιο φιλικό προς το περιβάλλον είναι το πλοίο. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται ο EEDI για Containerships ανάλογα με το DWT τους. Είναι φανερό πως για δεδομένη απαίτηση DWT ο EEDI μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου.

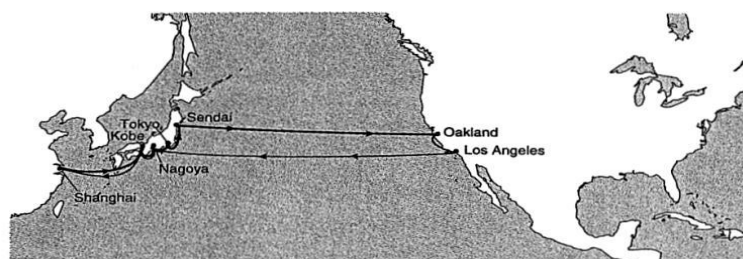


Σχήμα 14. EEDI για Containerships [27]

Όπως μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε, το υπό μελέτη πλοίο έχει σημαντικά μικρότερο EEDI από τα συμβατικά Containership τα οποία για ίδιο DWT έχουν EEDI άνω του 18(με κόκκινη βούλα σημείο για υπό μελέτη πλοίο). Αυτό οφείλεται στην χαμηλή ταχύτητα και στη χαμηλή Ισχύ Πρόωσης.

## 2.6. Μελέτη Βιωσιμότητας – Economic Feasibility Study

Σε αυτό το στάδιο αναπτύχθηκε ένα οικονομικό μοντέλο για τις υπηρεσίες γραμμής των containerships, με σκοπό να εξετάσουμε τον οικονομικό αντίκτυπο του υπό μελέτη πλοίου. Για τις ανάγκες της μελέτης επιλέξαμε την διαδρομή μεταξύ της δυτικής ακτής των Η.Π.Α και της ανατολικής Ασίας μέσω του Ειρηνικού ωκεανού. Η συχνότητα των υπηρεσιών είναι εβδομαδιαία και υπάρχουν επτά λιμάνια στα οποία σταματάει το πλοίο σε ένα κυκλικό ταξίδι ξεκινώντας από το Σεντάι της Ιαπωνίας, με προορισμό τα λιμάνια: Oakland και Long Beach στην Καλιφόρνια, Nagoya και Kobe στην Ιαπωνία, Shanghai στην Κίνα και Τόκυο στην Ιαπωνία.



Load	Discharge	Distance*	Sea days	Port days	Total
Sendai	Oakland	4,800	9.3	1	10.3
Oakland	Long Beach	450	0.9	1	1.9
Long Beach	Oakland	450	0.9	1	1.9
Oakland	Nagoya	4,800	9.3	1	10.3
Nagoya	Kobe	450	0.9	0.5	1.4
Kobe	Shanghai	783	1.5	0.5	2.0
Shanghai	Kobe	783	1.5	1	2.5
Kobe	Nagoya	450	0.9	0.5	1.4
Nagoya	Tokyo	400	0.8	0.5	1.3
Tokyo	Sendai	600	1.2	1	2.2
<b>Total</b>		<b>13,966</b>	<b>27.1</b>	<b>8.0</b>	<b>35.1</b>

Av. speed (knots) 21.5 \*distance in nautical miles

Σχήμα 15. Περιγραφή της διαδρομής [28]

Οι έξι κύριες συνιστώσες του κόστους των υπηρεσιών γραμμής είναι:

- Πρόγραμμα υπηρεσιών
- Κόστος πλοίου
- Λιμενικά τέλη συμπεριλαμβανομένου του φόρτου εργασίας
- Λειτουργία των container
- Κόστος των container
- Διαχείριση

Αυτό δεν είναι μία ταξινόμηση η οποία εμφανίζεται στους λογαριασμούς των Ναυτιλιακών Εταιριών Γραμμής, αλλά είναι ένας επωφελής τρόπος για την κατηγοριοποίηση των διαφόρων εξόδων ώστε να γνωρίζουμε τη βαρύτητά τους στην επιχείρηση. Σύμφωνα λοιπόν με όλα αυτά που είπαμε και για ακτίνα ενέργειας 14000 μιλίων καταλήξαμε στα εξής :



- 6.9 πλοία απαιτούνται σε εβδομαδιαία βάση για την τήρηση του προγράμματος.
- Για αυτή τη γραμμή, η πληρότητα του πλοίου είναι 90% κατευθυνόμενο ανατολικά και 40% κατευθυνόμενο δυτικά.
- Όλα αυτά αντιπροσωπεύουν ετήσια μεταφορική ικανότητα ανά πλοίο περίπου 49132 TEUs.
- Λειτουργικά έξοδα θεωρήθηκαν 7700 \$/day.
- Κόστος διαχείρισης ανά ταξίδι εκτιμάται περίπου 611205 \$.
- Το συνολικό κόστος του πλοίου ανά ταξίδι είναι 2579055 \$.
- Το συνολικό κόστος των containers ανά ταξίδι είναι 306249 \$.
- Το μέσο κόστος ανά TEU είναι 1049 \$.
- Θεωρώντας ναύλο 1750\$/TEU όταν κατευθύνεται ανατολικά και 750\$/TEU όταν κατευθύνεται δυτικά, τα συνολικά έσοδα του ταξιδιού είναι 9375000\$.
- Τελικά, το καθαρό κέρδος από το ταξίδι είναι 2557490\$ (το 27% περίπου των συνολικών εσόδων).

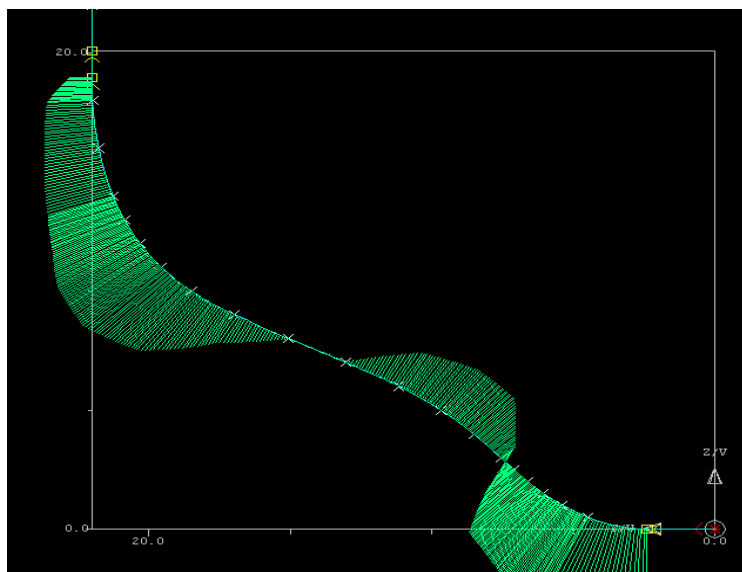


## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών, Υδατοστεγής Διαμέριση & Υδροστατικοί Υπολογισμοί υπό Μελέτη Πλοίου**

### **3.1. Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών υπό Μελέτη Πλοίου**

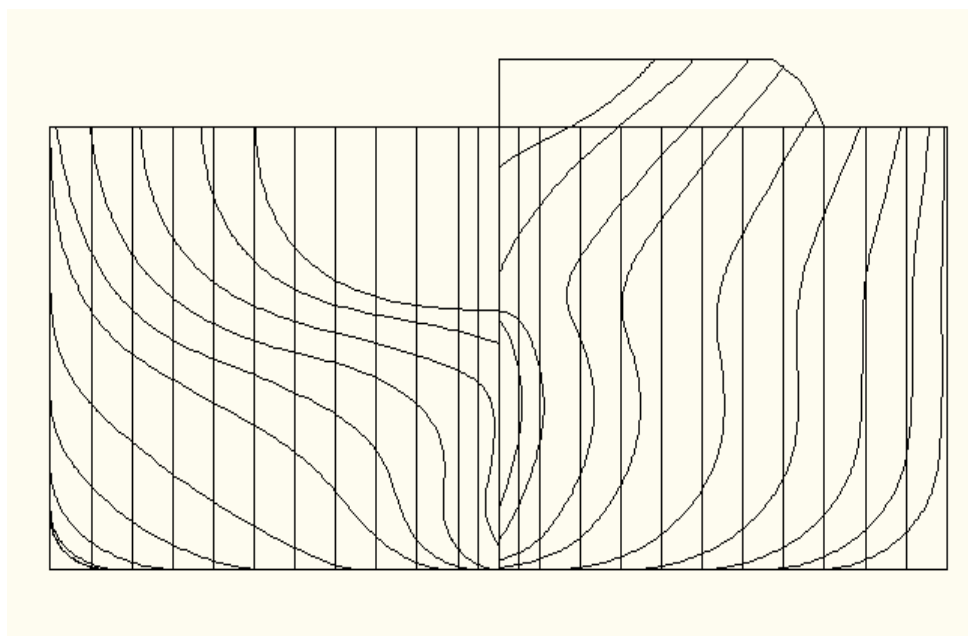
Η σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών του υπό μελέτη πλοίου έγινε μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *AVEVA M12 INITIAL DESIGN – Lines*. Με δεδομένο ότι δεν έχει κατασκευαστεί Containership με αυτά τα χαρακτηριστικά που θέλουμε για το υπό μελέτη πλοίο επιλέξαμε γραμμές, που τις είχαμε περασμένες στο παραπάνω λογισμικό, ενός φορτηγού πλοίου καθώς η μορφή που θέλουμε για το πλοίο μας πλησιάζει αρκετά την μορφή των φορτηγών. Αυτό που προσέξαμε ήταν να έχουν κοντινό συντελεστή γάστρας και κοντινή τιμή της διαμήκης θέσης του κέντρου άντωσης (LCB) με τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του εκτοπίσματος στην Full Load Departure Condition. Έχοντας λοιπόν τις ναυπηγικές γραμμές ενός φορτηγού πλοίου, κάναμε μέσω του προγράμματος scale (αλλαγή κλίμακας) με σκοπό να προκύψει μία γάστρα με τιμές κύριων διαστάσεων και συντελεστών μορφής ίσων με αυτές που υπολογίστηκαν στην παράγραφο 2.1. Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε το LCB της γάστρας, έτσι ώστε στη Full Load Departure Condition που θα κάνουμε στη συνέχεια να μην έχουμε μεγάλη διαμήκη κλίση(διαγωγή).

Έχοντας λοιπόν την αρχική μορφή των ναυπηγικών γραμμών του υπό μελέτη πλοίου προχωρήσαμε στην εξομάλυνση τους καθώς μετά το scale η μορφή τους αλλοιώθηκε. Το σχεδιαστικό πρόγραμμα μας παρέχει τη δυνατότητα , επιλέγοντας μία ίσαλο ή ένα νομέα, να βλέπουμε την καμπυλότητα τους μέσω ενός πλέγματος διανυσμάτων. Έτσι μπορούμε να βελτιώσουμε την καμπυλότητα μέχρι ένα ικανοποιητικό σημείο, μετακινώντας απλά τα σημεία που χρειάζεται. Ακολουθεί σχήμα με παράδειγμα νομέα στο ενδιάμεσο στάδιο εξομάλυνσης.



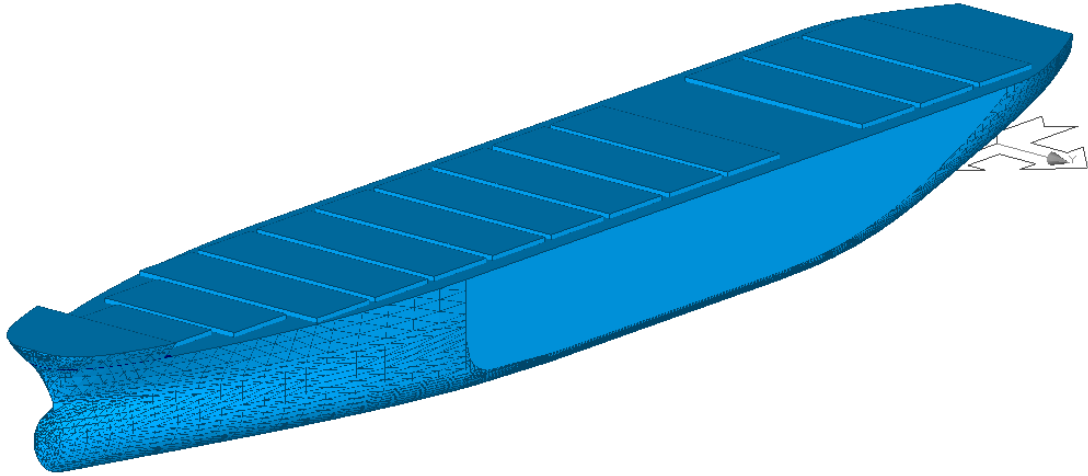
**Σχήμα 16. Διανύσματα Καμπυλότητας κατά το στάδιο εξομάλυνσης νομέα.**

Με αυτό τον τρόπο έγινε μία κυκλική διαδικασία εξομάλυνσης, μεταξύ νομέων και ισάλων, ώσπου τελικά φθάσαμε σε μια βέλτιστη κατάσταση η οποία δεν έπαιρνε άλλες διορθώσεις. Σε αυτό το σημείο σχεδιάσαμε και τις διαμήκεις τομές(buttocks), τις οποίες εξομαλύνουμε με τον ίδιο τρόπο. Κατά την εξομάλυνση τους πραγματοποιήθηκε πάλι κυκλική διαδικασία εξομάλυνσης, αυτή τη φορά αρκετά πιο σύντομη, μεταξύ νομέων-ισάλων-διαμήκων τομών. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το σχέδιο νομέων του υπό μελέτη πλοίου όπως προέκυψε μετά τις εξομαλύνσεις. Με μία πρώτη ματιά μεταξύ του σχεδίου νομέων του υπό μελέτη πλοίου με αυτό του όμοιου πλοίου, που παρουσιάζεται στο τέλος του παραρτήματος Γ, είναι εύκολο να παρατηρήσουμε την διαφορά της νοοτροπίας στη σχεδίαση καθώς το όμοιο πλοίο είναι αισθητά πιο λεπτόγραμμο.



**Σχήμα 17. Σχέδιο Νομέων υπό μελέτη πλοίου – Body Plan**

Το σχεδιαστικό πρόγραμμα, έχοντας τις ναυπηγικές γραμμές, δίνει τη δυνατότητα για σχεδίαση της επιφάνειας της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου την οποία θα χρησιμοποιήσουμε αρχικά για την Υδατοστεγή Διαμέριση(Διαμερισματοποίηση) στο Surface & Compartment και εν συνεχεία για τους υδροστατικούς υπολογισμούς και τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης στο Calc & Hydro. Ακολουθεί σχήμα που φαίνεται η μορφή της γάστρας όπως αυτή εξάχθηκε από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Lines και αφού περάστηκε στο Surface & Compartment. Ξεχωρίζουν στο κατάστρωμα το πρόστεγο και τα καλύμματα των στομιών κυτών ενώ παρατηρείται και η πληρότητα και το μεγάλο παράλληλο τμήμα της γάστρας σε αντίθεση με τα συμβατικά containerships.



**Σχήμα 18.** Άνω πλευρική όψη της επιφάνειας του πλοίου.

### 3.2. Υδατοστεγής Διαμέριση υπό Μελέτη Πλοίου

Η υδατοστεγής διαμέριση του υπό μελέτη πλοίου έγινε μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *AVEVA M12 INITIAL DESIGN – Surface & Compartment*, με στόχο την εσωτερική διάταξη των δεξαμενών, των διαμήκων και εγκάρσιων φρακτών, των καταστρωμάτων καθώς και των TEUs στα κύτη και στο κατάστρωμα. Αυτό έγινε και με τη βοήθεια του Σχεδίου Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών (Capacity Plan) και του Σχεδίου Γενικής Διάταξης (General Arrangement) του όμοιου πλοίου.

Το πρώτο βήμα ήταν ο καθορισμός των εγκάρσιων υδατοστεγών φρακτών (Transverse Bulkheads), η απόσταση των οποίων επιλέχθηκε έτσι ώστε μεταξύ δύο φρακτών να επιτρέπεται η στοιβασία τεσσάρων TEU (Twenty foot Equivalent Unit) ή δύο FEU (Forty foot Equivalent Unit) κατά το διάμηκες, εκτός από το πρυμναίο κύτος στο οποίο στοιβάζονται δύο TEUs ή ένα FEU. Συνολικά σχεδιάστηκαν εννιά εγκάρσιες φρακτές οι θέσεις των οποίων, μετρώντας από την πρυμναία κάθετο, είναι:

$$11.52[m], 25.8[m], 54.43[m], 74.66[m], 101.54[m], 130.1[m], 158.6[m], \\ 187.22[m], 215.49[m]$$

Στη συνέχεια καθορίστηκαν οι θέσεις των καταστρωμάτων (decks) που οριοθετούν τα διπύθμενα. Υπάρχει μία σχέση που καθορίζει το ελάχιστο ύψος του διπύθμενου με βάση τις απαιτήσεις των κανονισμών του Γερμανικού Νηογνώμονα, η οποία είναι [14]:

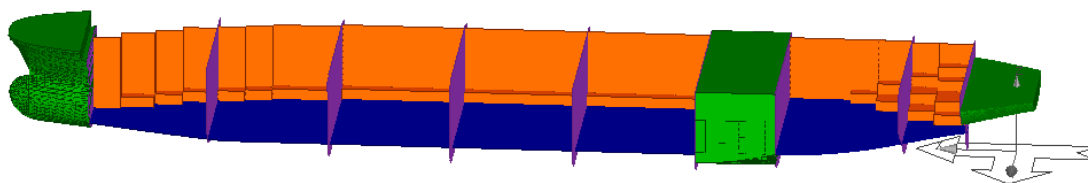
$$h_{DB} \geq 32 \cdot B + 190 \cdot \sqrt{T} \Rightarrow h_{DB} \geq 32 \cdot 44 + 190 \cdot \sqrt{10.5} \Rightarrow$$

$$h_{DB} \geq 2024 [mm]$$

Με βάση λοιπόν την απαίτηση για ελάχιστο ύψος διπύθμενου (Double Bottom), συνυπολογίζοντας και την ανάγκη για επαρκείς χώρους θαλάσσιου έρματος, επιλέξαμε ύψος διπύθμενου  $h_{DB1} = 2.5 [m]$  για το κομμάτι του μηχανοστασίου έως και την προραία φρακτή συγκρούσεως. Για το τμήμα πρύμνηθεν του μηχανοστασίου επιλέξαμε ύψος  $h_{DB2} = 5[m]$ . λόγω του ότι από κάτω πρέπει να υπάρχει επαρκής χώρος για τον ελικοφόρο άξονα.

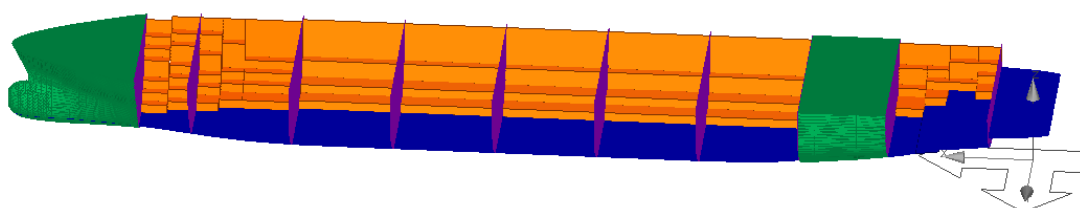
Επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση των στεγανών φρακτών κατά το διάμηκες (Longitudinal Bulkheads). Ορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε ικανοποιητικούς χώρους πλευρικών δεξαμενών, οι οποίες θα χρησίμευαν για δεξαμενές έρματος, σε συνδυασμό με την εύκολη και εργονομική στοιβασία των TEUs μέσα στα κύτη. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι διαμήκεις φρακτές του υπό μελέτη πλοίου είναι πιο απλές στην κατασκευή από αυτές των συμβατικών

Containerships, καθώς λόγω της πιο πλήρης μορφής της γάστρας και του μεγαλύτερου παράλληλου τμήματος είναι μεγαλύτερα τα κατακόρυφα τμήματα των φρακτών αποφεύγοντας τα 'σκαλοπάτια'(steps), με ότι αυτό συνεπάγεται για το χρόνο και το κόστος κατασκευής. Ακολουθεί σχήμα στο οποίο φαίνεται η διάταξη των εσωτερικών χώρων και η απλότητα της κατασκευής των διαμήκων φρακτών.



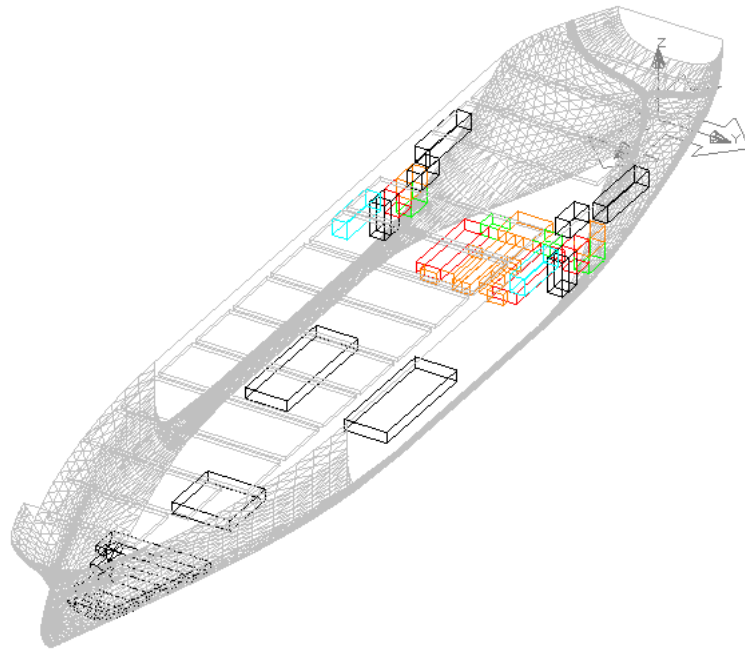
**Σχήμα 19. Εσωτερική διάταξη υπό Μελέτη Πλοίου.**

Για την άμεση σύγκριση όσον αφορά το θέμα της ευκολίας κατασκευής παρατίθεται και σχήμα με τους εσωτερικούς χώρους του πλοίου E<sup>4</sup>, όπου αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, το οποίο έχει σημαντικά μικρότερο συντελεστή γάστρας από το υπό μελέτη πλοίο. Η μεγάλη διαφορά εντοπίζεται στο προραίο τμήμα στο οποίο λόγω της λεπτής γραμμής του απαιτούνται πολλά steps για την στοιβασία των containers.



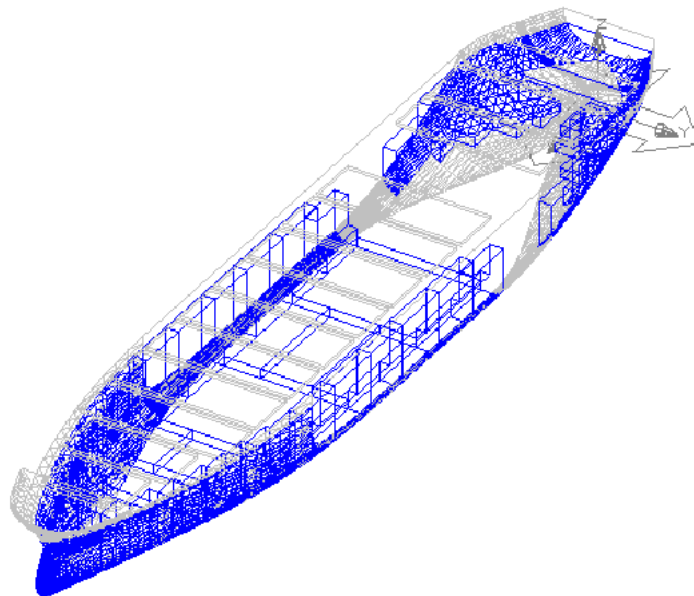
**Σχήμα 20. Εσωτερική διάταξη E<sup>4</sup>.**

Αφού ορίστηκαν οι εγκάρσιες φρακτές, οι διαμήκεις και τα καταστρώματα ξεκινήσαμε τη δημιουργία των δεξαμενών των αναλωσίμων, δηλαδή του Fuel Oil, του Diesel Oil, του Lubricating Oil, του Fresh Water και των Miscellaneous. Η τελική επιλογή της θέσης τους έγινε με στόχο την κατά το δυνατόν ευνοϊκότερη διαγωγή και κλίση στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης. Όσον αφορά το μέγεθος τους, αυτό επιλέχτηκε με βάση τις απαιτούμενες ποσότητες όπως αυτές υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 2.4, ώστε να έχουμε τον επιθυμητό όγκο. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι δεξαμενές των αναλωσίμων στη τελική τους μορφή. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δεξαμενών αυτών βρίσκεται στο χώρο του μηχανοστασίου και στο διπύθμενο αυτού.



**Σχήμα 21. Δεξαμενές Αναλωσίμων.**

Επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός των δεξαμενών έρματος(Ballast Water Tanks). Η κατασκευή τους έγινε με βάση τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο που χρειάζεται, όπως αυτός υπολογίστηκε στο Παράρτημα Α. Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζονται οι δεξαμενές έρματος όπως ορίστηκαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα.



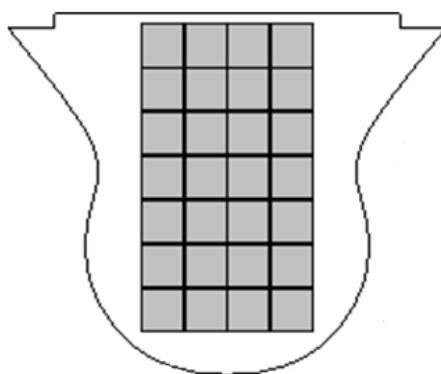
**Σχήμα 22. Δεξαμενές Έρματος.**



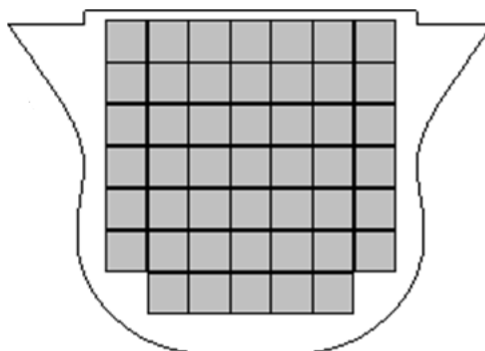
### 3.2.1.Καθορισμός Θέσης Χώρων Φορτίου

Τελευταίο μέρος της διαμερισματοποίησης ήταν ο καθορισμός της θέσης των χώρων φορτίου, δηλαδή των χώρων που θα στοιβαζόντουσαν τα containers, είτε μέσα στα κύτη(in holds) είτε στο κατάστρωμα(on deck). Χωρίσαμε τον όγκο που ήταν διαθέσιμος για το φορτίο σε 13 κύτη, τρία πρύμνηθεν του μηχανοστασίου και δέκα πλώραθεν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά κάθε χώρου φορτίου, από την πλήρη προς την πρύμνη.

**Hold 1:** Εκτείνεται από τον νομέα(frame) 250 έως τον νομέα 270 με συνολική μεταφορική ικανότητα 75 TEUs. Αποτελείται από δύο φράκτες(Bays) Ε/Κ. Σε αυτό το hold, όπως και σε όλα τα holds πλώραθεν του μηχανοστασίου, υπάρχουν επτά στρώσεις κιβωτίων καθ' ύψος. Το bay 1 αποτελείται από 28 TEUs και το bay 3 από 47 TEUs. Ακολουθούν εγκάρσιες τομές των δύο bays, που απεικονίζουν την διάταξη των κιβωτίων στο συγκεκριμένο κύτος φορτίου.



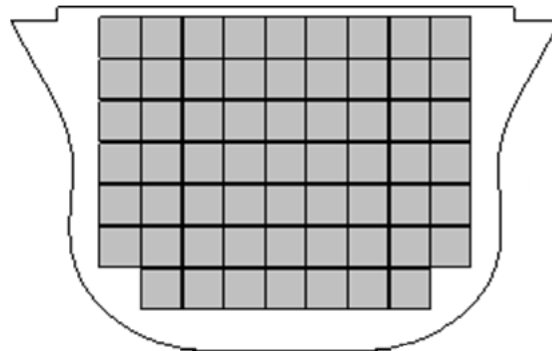
Σχήμα 23. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 270, Bay 1.



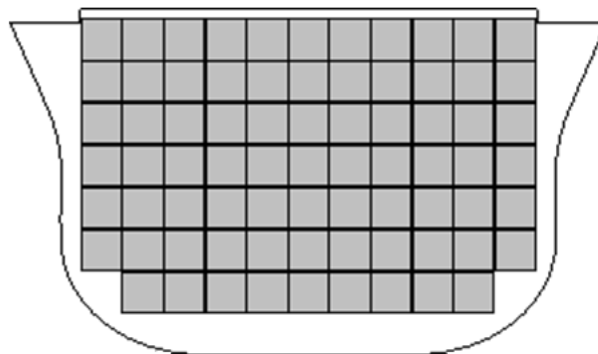
Σχήμα 24. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 261, Bay 3.

**Hold 2:** Εκτείνεται από το frame 230 έως το frame 250 με συνολική μεταφορική ικανότητα 135 TEUs. Το bay 5 αποτελείται από 60 TEUs ενώ το bay 7 από 75 TEUs.

Ακολουθούν εγκάρσιες τομές που απεικονίζουν την διάταξη και των δύο, στο frame 250 και στο frame 241 αντίστοιχα.

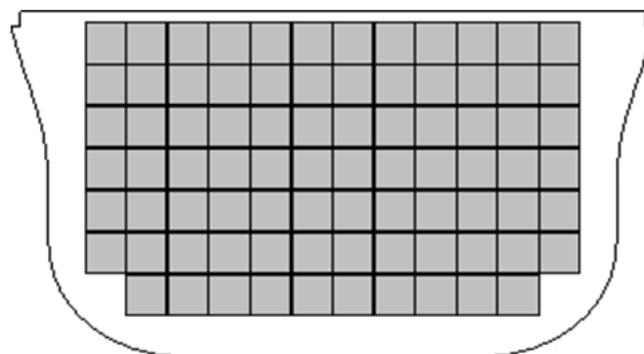


Σχήμα 25. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 250, Bay 5.

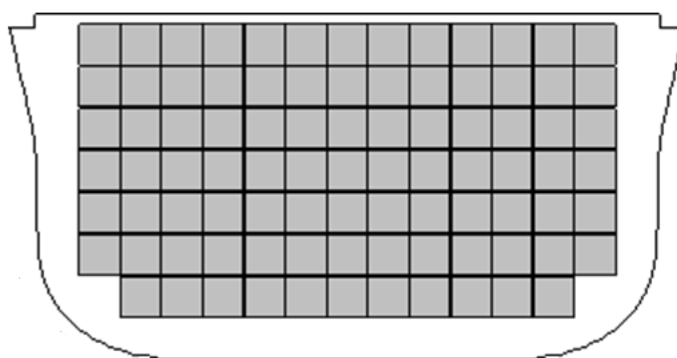


Σχήμα 26. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 241, Bay 7.

**Hold 3:** Εκτείνεται από το frame 213 έως το frame 230 με συνολική μεταφορική ικανότητα 171 TEUs. Το bay 9 αποτελείται από 82 TEUs ενώ το bay 11 από 89 TEUs. Ακολουθούν εγκάρσιες τομές που απεικονίζουν την διάταξη και των δύο, στο frame 230 και στο frame 222 αντίστοιχα.

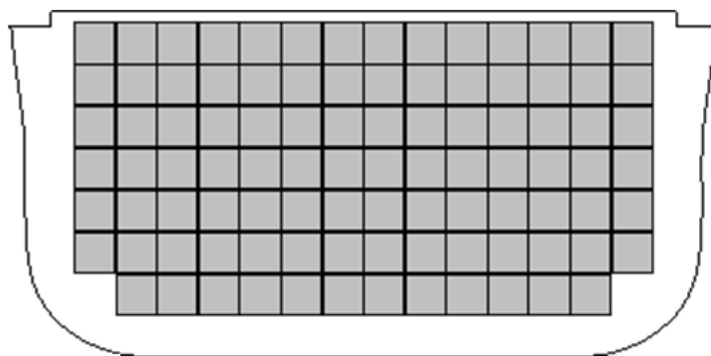


Σχήμα 27. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 230, Bay 9.

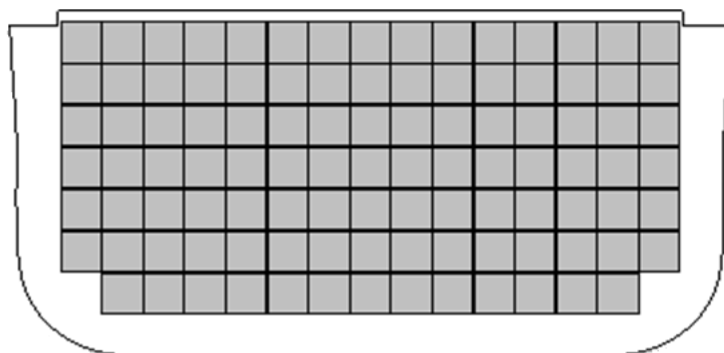


Σχήμα 28. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 222, Bay 11.

**Hold 4:** Εκτείνεται από το frame 196 έως το frame 213 με συνολική μεταφορική ικανότητα 199 TEUs. Το bay 13 αποτελείται από 96 TEUs ενώ το bay 15 από 103 TEUs. Ακολουθούν εγκάρσιες τομές που απεικονίζουν την διάταξη και των δύο, στο frame 213 και στο frame 205 αντίστοιχα.

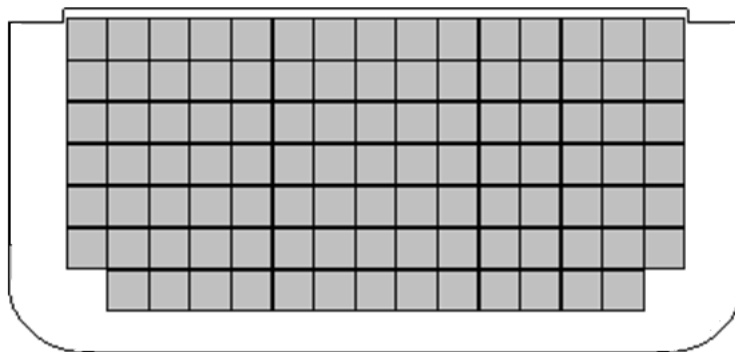


Σχήμα 29. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 213, Bay 13.



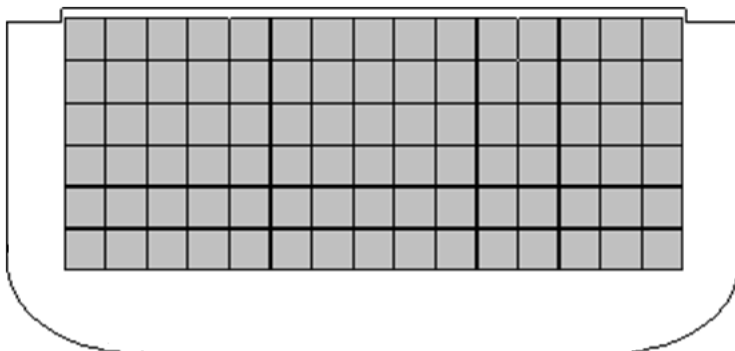
Σχήμα 30. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 205, Bay 15.

**Hold 5, 6, 7, 8, 9, 10:** Εκτείνονται από την προραία φρακτή του μηχανοστασίου, στον νομέα 96, έως το νομέα 196. Η κατανομή των κιβωτίων και στα έξι αυτά holds είναι ίδια, με συνολική μεταφορική ικανότητα 206 TEUs το καθένα. Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει την διάταξη των κιβωτίων σε αυτά τα holds.



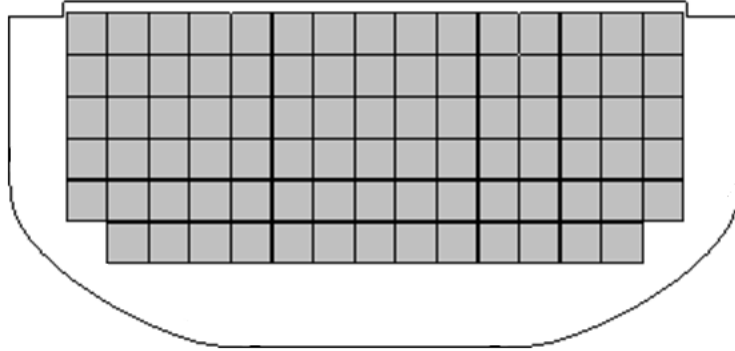
Σχήμα 31. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 196, Bay 17.

**Hold 11:** Εκτείνεται από το frame 52 έως την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου, στο frame 70. Αποτελείται από δύο bays κιβωτίων με ίδια διάταξη και έχει συνολική μεταφορική ικανότητα 180 TEUs. Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει τη διάταξη των κιβωτίων σε αυτό το hold. Παρατηρούμε τη διαφορά στο ύψος του διπύθμενου ώστε να υπάρχει επαρκής χώρος για τον ελικοφόρο άξονα.

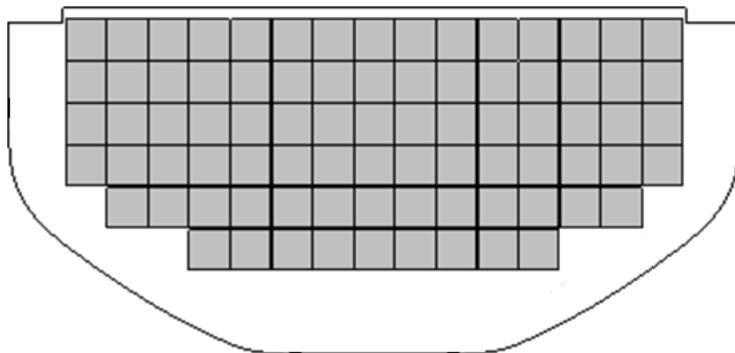


Σχήμα 32. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 70, Bay 41.

**Hold 12:** Εκτείνεται από το frame 35 έως το frame 52. Αποτελείται από δύο bays κιβωτίων και έχει συνολική μεταφορική ικανότητα 170 TEUs. Το bay 45 αποτελείται από 88 TEUs ενώ το bay 47 από 82 TEUs. Ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν τη διάταξη των δύο bays σε αυτό το hold.

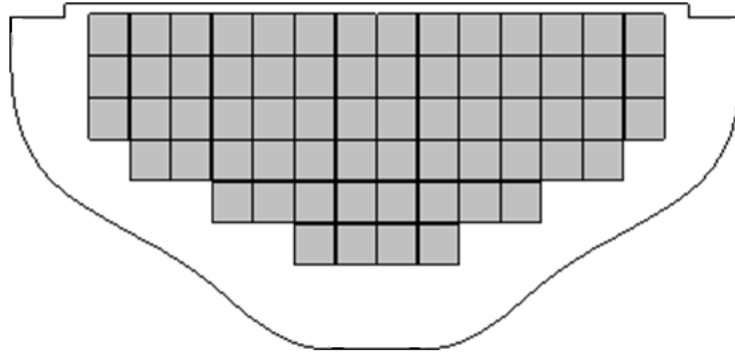


Σχήμα 33. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 52, Bay 45.

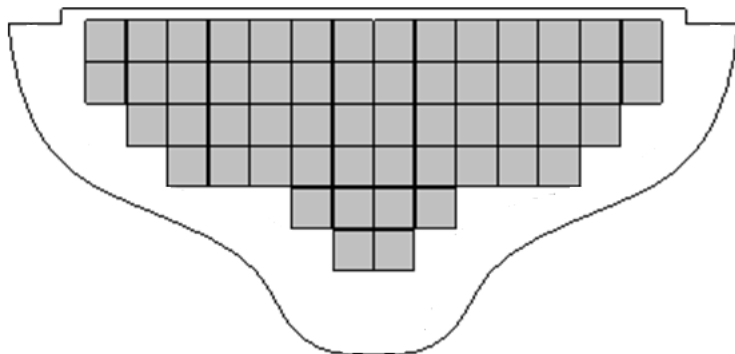


Σχήμα 34. Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 44, Bay 47.

**Hold 13:** Εκτείνεται από το frame 18 έως το frame 35. Αποτελείται από δύο bays κιβωτίων και έχει συνολική μεταφορική ικανότητα 122 TEUs. Το bay 49 αποτελείται από 66 TEUs ενώ το bay 51 από 56 TEUs. Ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν τη διάταξη των δύο bays σε αυτό το hold.

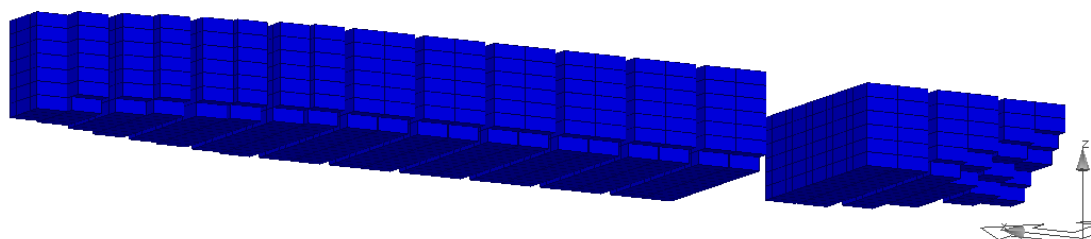


**Σχήμα 35.** Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 35, Bay 49.



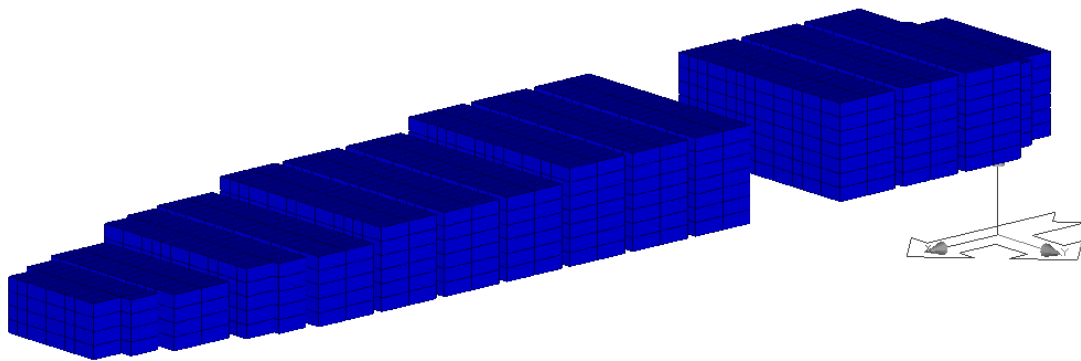
**Σχήμα 36.** Εγκάρσια τομή του πλοίου στο frame 22, Bay 51.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η συνολική κατανομή των κιβωτίων μέσα στα κύτη. Η συνολική μεταφορική ικανότητα των κυτών είναι 2286 TEUs.

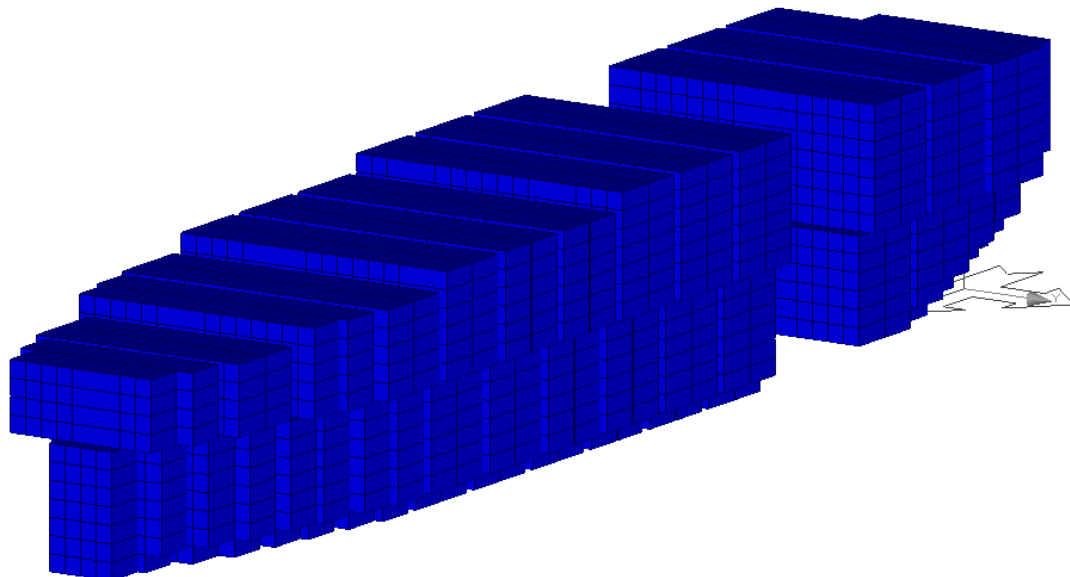


**Σχήμα 37.** Κατανομή των κιβωτίων in holds.

Για την κατανομή των κιβωτίων πάνω στο κατάστρωμα είχαμε περιορισμούς τόσο λόγω της απαιτούμενης Γραμμής Ορατότητας(Visibility Line) από την γέφυρα του πλοίου, όσο και από τους κανονισμούς ευστάθειας που πρέπει να πληρούνται. Έτσι, ενώ πρώραθεν των υπερκατασκευών η κατανομή ξεκινάει με επτά στρώσεις κιβωτίων, καταλήγει στο πιο προωαίο φράκτη(bay) κιβωτίων να έχουμε τέσσερις στρώσεις. Συνολικά στο κατάστρωμα στοιβάζονται 2693TEUs. Στη συνέχεια παρατίθενται σχήματα που φαίνεται η κατανομή των κιβωτίων on deck καθώς και η συνολική κατανομή των 4982 TEUs.



**Σχήμα 38. Κατανομή των κιβωτίων on deck.**



**Σχήμα 39. Συνολική κατανομή κιβωτίων στο υπό μελέτη πλοίο.**

### 3.3. Εφαρμογή Κανονισμού Καταμέτρησης – Οργανική Σύνθεση Πληρώματος

#### 3.3.1. Υπολογισμός Ολικής Χωρητικότητας GT

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς η ολική χωρητικότητα GT υπολογίζεται από την σχέση [14]:

$$GT = k_1 \times V$$

Οπου:

V: ο συνολικός όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου σε [m<sup>3</sup>]. Είναι το άθροισμα του όγκο όλων των κλειστών χώρων μέχρι το κοίλο, τιμή την οποία πήραμε από τους υδροστατικούς υπολογισμούς που παρουσιάζονται σε άλλο κεφάλαιο, με τον όγκο των υπερκατασκευών και του πρόστεγου όπως μετρήθηκαν από το σχέδιο Γενικής Διάταξης. Ο ζητούμενος λοιπόν όγκος υπολογίστηκε ίσος με:

$$V = 179384 [m^3]$$

και:

$$k_1 = 0.2 + 0.02 \times \log_{10} V = 0.2 + 0.02 \times \log_{10}(179384) \Rightarrow k_1 = 0.305$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση που δίνει την ολική χωρητικότητα έχουμε:

$$GT = k_1 \times V = 0.305 \times 179384 \Rightarrow$$

$$GT = 54712 [RT]$$

#### 3.3.2. Οργανική Σύνθεση Πληρώματος

Σύμφωνα με την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία ΠΔ 238/1987, η οργανική σύνθεση του πληρώματος φορτηγού πλοίου ολικής χωρητικότητας άνω των 3000 κόρων καθορίζεται συναρτήσει της ολικής χωρητικότητας GT (προσωπικό καταστρώματος) και της ισχύος της μηχανής BHP (προσωπικό μηχανής) ως ακολούθως [31]:

- **Προσωπικό Καταστρώματος:**

$$GT = 54712 [RT] \rightarrow \text{Κατηγορία: 40000 κόρους και άνω}$$

- **Προσωπικό Μηχανής**

$$BHP = 19640 [PS] \rightarrow \text{Κατηγορία : 15000 [PS] και άνω}$$

- **Προσωπικό Γενικών Υπηρεσιών:**

$$GT = 54712 [RT] \rightarrow \text{Κατηγορία : 40000 κόρους και άνω}$$



**Πίνακας 4:** Οργανική Σύνθεση Πληρώματος

<b><u>Προσωπικό Καταστρώματος</u></b>	
Πλοίαρχος Α	1
Πλοίαρχος Β	1
Πλοίαρχος Γ	2
Δόκιμος Πλοίαρχος	1
Ναύκληρος	1
Ναύτες	5
Ν/δες	1
<b>Σύνολο</b>	<b>12</b>
<b><u>Προσωπικό Μηχανής</u></b>	
Μηχανικός Α	1
Μηχανικός Β	1
Μηχανικός Γ	2
Δόκιμος Μηχανικός	1
Μηχαν/γος Α	1
Μηχαν/γος Β	1
Ηλεκτρολόγος	1
<b>Σύνολο</b>	<b>8</b>
<b><u>Προσωπικό Γενικών Υπηρεσιών</u></b>	
Μάγειρας	2
Θαλαμηπόλος	2
Ραδιοτηλεγραφετής Α	1
<b>Σύνολο</b>	<b>5</b>
<b>Συνολικός Αριθμός Πληρώματος</b>	<b>25</b>

### 3.4. Δείκτης Εξαρτισμού $E_N$ – Equipment Number

Ο δείκτης εξαρτισμού για μετρικές μονάδες, δίνεται από την σχέση[14]:

$$E_N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A$$

Όπου:

$\Delta$  : εκτόπισμα γάστρας σε μετρικούς τόνους στη θερινή έμφορτη ίσαλο,  $\Gamma = \Gamma_{\Gamma\Phi}$ (Βύθισμα Γραμμής Φόρτωσης), ίσο με  $A=113496$  [tons]

Την τιμή αυτή την πήραμε από το Υδροστατικό Διάγραμμα.

$B$  : Θεωρητικό πλάτος, ίσο με

$$B = 44$$
 [m]

$$h = a + h_1 + h_2 + \dots$$

$a$  : το ύψος εξάλων μέχρι τη θερινή έμφορτη ίσαλο,  $a = 5.84$  [m]

$h_i$  : ύψος στον κεντρικό διαμήκη άξονα κάθε ορόφου υπερστεγάσματος με πλάτος μεγαλύτερο από  $B/4 = 11$  [m], άρα

$$h = 23.24$$
 [m]

$A$  : εμβαδόν σε  $m^2$  της πάνω από την θερινή ίσαλο, πλευρικής επιφάνειας τους σκάφους, των υπερστεγασμάτων και των υπερκατασκευών καθώς και της επιφάνειας των εμπορευματοκιβωτίων που είναι στοιβαγμένα στο κατάστρωμα. Για τον υπολογισμό του  $A$  χρησιμοποιήσαμε το Σχέδιο Γενικής Διάταξης που παρατίθεται στο τέλος της διπλωματικής. Προσθέτοντας όλες αυτές τις επιφάνειες έχουμε :

$$A = 4320$$
 [m<sup>2</sup>]

Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στην σχέση του Δείκτη Εξαρτισμού προκύπτει:

$$E_N = 113496^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot 44 \cdot 23.24 + 0.1 \cdot 4320 \Rightarrow$$

$$\underline{E_N = 4821}$$

Σύμφωνα με τους πίνακες Εξαρτισμού Αυτοπροωθούμενων Ωκεανοπόρων Πλοίων [14] επιλέγουμε Δείκτη Εξαρτισμού **U49** με αριθμό εξαρτισμού  $E_N = 4800$ , δηλαδή τον αμέσως μικρότερο από αυτόν που υπολογίσαμε, και τα λοιπά μεγέθη που εξαρτώνται από αυτόν παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί :

**Πίνακας 5:** Δείκτης Εξαρτισμού

<b>EQUIPMENT NUMBER = <math>\Delta^{2/3} + 2Bh + A/10</math></b>			
$\Delta$	113496 [tons]	$\Delta^{(2/3)}$	2344
B	44 [m]	2Bh	2045
h	23.24 [m]	A/10	432
A	4320 [m <sup>2</sup> ]		
EQUIPMENT NUMBER CALC.			4821
TYPICAL EQUIPMENT NUMBER/LETTER			4800/U49
<b>STOCKLESS ANCHORS</b>			
Bower Anchors Number (one as spare)			
Three (3) High Hold Power Type			
Weight per Anchor			14700 [kg]
<b>CHAIN CABLE</b>			
Stud Link Bower Chain Length			742.5 [m]
Diameter (grade1)			122 [mm]
Diameter (grade2)			107 [mm]
<b>TOW LINE</b>			
Minimum Length			300 [m]
Breaking Strength			150000 [kg]
<b>MOORING PARTICULARS</b>			
Number of Mooring Lines			7
Minimum Length of Each			200 m
Minimum Breaking Strength			70000 [kg]

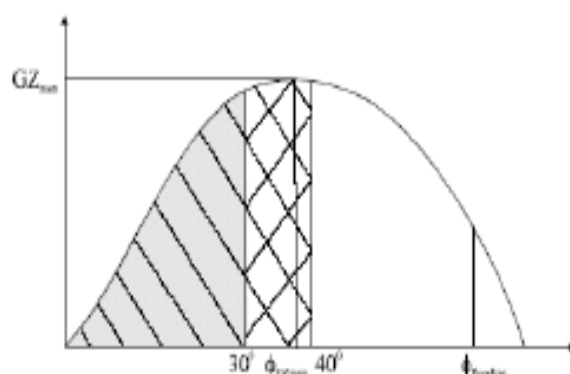
### 3.5. Υδροστατικοί Υπολογισμοί – Καταστάσεις Φόρτωσης

Αφού ολοκληρώσαμε τη διαδικασία της διαμερισματοποίησης του υπό μελέτη πλοίου και έχοντας πλέον ορίσει τις δεξαμενές των διαφόρων ομάδων βαρών καθώς και τις θέσεις των εμπορευματοκιβωτίων, περάσαμε τη γάστρα από το Surface & Compartment στο Calc & Hydro. Μέσω αυτού του λογισμικού κάναμε τους υδροστατικούς υπολογισμούς και τον έλεγχο για την άθικτη ευστάθεια του πλοίου στις τέσσερις βασικότερες καταστάσεις φόρτωσης, την Full Load Departure, την Full Load Arrival, την Water Ballast Departure και την Water Ballast Arrival.

Οι υδροστατικοί υπολογισμοί και οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β και έγιναν με βάση τους Κανονισμούς Ευστάθειας Άθικτου Πλοίου που ισχύουν για όλα τα πλοία, οι οποίοι έχουν οριστεί από τον IMO [29]. Ωστόσο για τα Containerships λόγω της φύσης τους να μεταφέρουν μεγάλο ποσοστό του εμπορεύματος πάνω από το κατάστρωμα, που έχει σαν συνέπεια το υψηλό κέντρο βάρους με ότι αυτό συνεπάγεται στα θέματα ευστάθειας, και λόγω της ύπαρξης μεγάλων ανοιγμάτων στο κυρίως κατάστρωμα, κάτι που καθιστά το εμπόρευμα εκτεθειμένο στον καιρό και διατρέχει μεγάλος κίνδυνος απώλειας του, υπάρχουν Κανονισμοί Ευστάθειας αποκλειστικά για τα πλοία αυτής της κατηγορίας. Οι κανονισμοί αυτοί όπως γίνεται αντιληπτό είναι αυστηρότεροι από τους αντίστοιχους που ισχύουν για όλα τα πλοία.

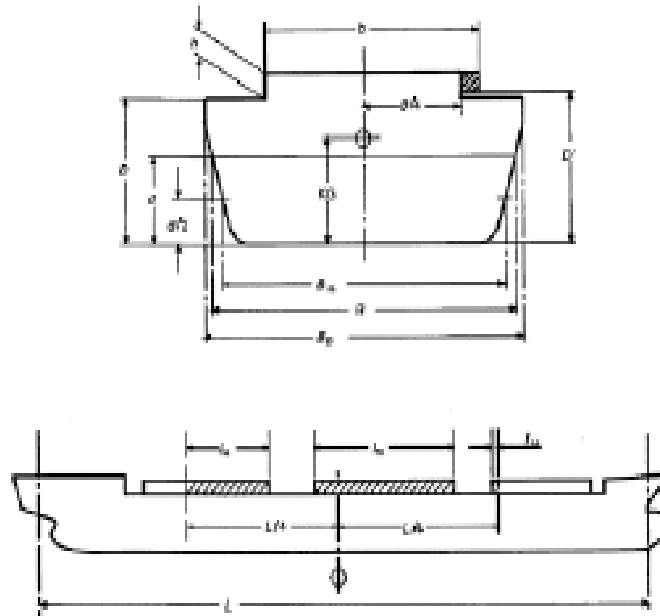
Στο σημείο αυτό θα γίνει έλεγχος της άθικτης ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης εφαρμόζοντας τα κριτήρια ευστάθειας που ισχύουν για τα Containerships, καθώς το σχεδιαστικό πρόγραμμα δε μας δίνει τη δυνατότητα να το κάνουμε αυτό. Στη συνέχεια παρατίθενται τα κριτήρια και ακολούθως ο έλεγχος τους.

Για Containerships άνω των 100 [m] πρέπει να ισχύει :



- $\overline{GZ_{max}} \geq \frac{0.042}{C}$
- $\overline{GZ_{\varphi}} \geq \frac{0.033}{C}, \varphi \geq 30^{\circ}$
- $(area)_{0 \rightarrow 30} \geq \frac{0.009}{C}$
- $(area)_{0 \rightarrow 40, \varphi_{flooding}} \geq \frac{0.016}{C}$

- $(area)_{30 \rightarrow 40, \varphi_{flooding}} \geq \frac{0.006}{C}$
- $(area)_{30 \rightarrow \varphi_{flooding}} \geq \frac{0.029}{C}$



$$C = \frac{dB}{B_m^2} \cdot \sqrt{\frac{d}{KG}} \cdot \left(\frac{C_B}{C_W}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100}{L}}$$

$d$  : μέσο βύθισμα [m]

$$D' = D + h \cdot \left(\frac{2b - B_D}{B_D}\right) \cdot \left(\frac{2 \sum l_H}{L}\right)$$

$D$  : Πλευρικό ύψος

$B$  : Πλάτος του πλοίου

$KG$  : Καθ' ύψος θέση του κέντρο βάρους

$C_B$  : Συντελεστής γάστρας

$C_W$  : Συντελεστής ισάλου επιφάνειας

### 3.5.1. Full Load Departure Condition

Από το Παράρτημα Γ, στους πίνακες για τη Full Load Departure και από το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών, παίρνουμε:

$$KG = 16.54 [m], d = 10.5 [m], C_B = 0.76, l_H = 88 [m], b = 37.46 [m],$$

$$B_m = B_D = 44 [m], C_W = 0.84, h = 0.8 [m]$$

Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές για τον υπολογισμό των σχέσεων που παρατέθηκαν παραπάνω προκύπτει:

$$C = 0.047186 \text{ και } D' = 20.23019$$

### Έλεγχος Κριτηρίων Ευστάθειας – IMO 749 Intact Stability Criteria for Containerships:

- $GZ_{max} = 2.256[m] \geq \frac{0.042}{C} = 0.89009 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $GZ_{\varphi} = 2.256[m] \geq \frac{0.033}{C} = 0.699356 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 30^\circ} = 0.587[m \times rad] \geq \frac{0.009}{C} = 0.190734 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 40^\circ} = 0.952[m \times rad] \geq \frac{0.016}{C} = 0.339082 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{30 \rightarrow 40^\circ} = 0.365[m \times rad] \geq \frac{0.006}{C} = 0.127156 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow \varphi_{flooding}} = 1.02[m \times rad] \geq \frac{0.029}{C} = 0.614586 \rightarrow \mathbf{O.K.}$

Παρατήρηση: Τα ειδικά αυτά κριτήρια για τα containerships άνω των 100 [m] δεν είναι απαραίτητα από τους κανονισμούς για τον έλεγχο της ευστάθειας ενός πλοίου και απλά αποτελούν έναν επιπλέον έλεγχο. Έχουν παρατηρηθεί μάλιστα πολλές περιπτώσεις στις οποίες υπάρχουντα πλοία αυτού του τύπου δεν συμμορφώνονται με τους κανονισμούς, ανεξαρτήτως της ποσότητας έρματος που έχουν στα διπύθμενα. Ωστόσο στο υπό μελέτη πλοίο παρατηρούμε ότι τα κριτήρια αυτά ικανοποιούνται χωρίς μεγάλη απαίτηση σε έρμα αναλογικά με το μέγεθος του, χαρακτηριστικό που οφείλεται στο μεγάλο του πλάτος και που συντελεί στην μεγαλύτερη αποδοτικότητά του(αύξηση της μεταφορικής του ικανότητας – Payload).

### 3.5.2. Full Load Arrival Condition

Αντίστοιχα με τη Full Load Departure, έτσι και στη Full Load Arrival από τους πίνακες στο Παράρτημα Γ και από το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών, παίρνουμε:

$$KG = 17.109 [m], d = 10.029 [m], C_B = 0.755, l_H = 88 [m], b = 37.46 [m],$$

$$B_m = B_D = 44 [m], C_W = 0.83, h = 0.8 [m]$$

Έτσι προκύπτει:

$$C = 0.043777 \text{ και } D' = 20.23019$$

Έλεγχος Κριτηρίων Ευστάθειας – IMO 749 Intact Stability Criteria for Containerships:

- $GZ_{max} = 2.174[m] \geq \frac{0.042}{c} = 0.959415 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $GZ_{\varphi} = 2.174[m] \geq \frac{0.033}{c} = 0.753826 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 30^\circ} = 0.567[m \times rad] \geq \frac{0.009}{c} = 0.205589 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 40^\circ} = 0.915[m \times rad] \geq \frac{0.016}{c} = 0.365492 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{30 \rightarrow 40^\circ} = 0.348[m \times rad] \geq \frac{0.006}{c} = 0.137059 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow \varphi_{flooding}} = 0.9405[m \times rad] \geq \frac{0.029}{c} = 0.662454 \rightarrow \mathbf{O.K.}$

### 3.5.3. Water Ballast Departure Condition

Στην κατάσταση αυτή τα πλοία ταξιδεύουν σε κατάσταση ερματισμού, χωρίς καθόλου φορτίο. Ωστόσο τα Containerships, που είναι κυρίως πλοία γραμμής, ταξιδεύουν σπανίως σε κατάσταση στην οποία δεν μεταφέρουν καθόλου φορτίο. Για το λόγο αυτό, κατά τον έλεγχο της Άθικτης Ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου στις δύο καταστάσεις ερματισμού, θεωρήσαμε πως μεταφέρει άδεια containers σε όλα τα κύπη του. Για να εφαρμόσουμε τα κριτήρια ευστάθειας που ισχύουν για τα containerships εργαζόμαστε όπως παραπάνω :

$$KG = 9.572 [m], d = 10.04 [m], C_B = 0.74, l_H = 88 [m], b = 37.46 [m],$$

$$B_m = B_D = 44 [m], C_W = 0.8267, h = 0.8 [m]$$

Έτσι προκύπτει:

$$C = 0.060713 \text{ και } D' = 20.23019$$

Έλεγχος Κριτηρίων Ευστάθειας – IMO 749 Intact Stability Criteria for Containerships:

- $GZ_{max} = 7.477[m] \geq \frac{0.042}{c} = 0.691781 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $GZ_{\varphi} = 7.477[m] \geq \frac{0.033}{c} = 0.543542 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 30^\circ} = 1.962[m \times rad] \geq \frac{0.009}{c} = 0.148239 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 40^\circ} = 3.232[m \times rad] \geq \frac{0.016}{c} = 0.263535 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{30 \rightarrow 40^\circ} = 1.269[m \times rad] \geq \frac{0.006}{c} = 0.098826 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow \varphi_{flooding}} = 5.1164[m \times rad] \geq \frac{0.029}{c} = 0.477658 \rightarrow \mathbf{O.K.}$



### 3.5.4. Water Ballast Arrival Condition

Αντίστοιχα με την Water Ballast Departure, έτσι και για την Water Ballast Arrival εργαζόμαστε με τον ίδιο τρόπο :

$$KG = 10.170 [m], d = 6.922 [m], C_B = 0.730, l_H = 88 [m], b = 37.46 [m],$$
$$B_m = B_D = 44 [m], C_W = 0.824, h = 0.8 [m]$$

Έτσι προκύπτει:

$$C = 0.030882 \text{ και } D' = 20.23019$$

Έλεγχος Κριτηρίων Ευστάθειας – IMO 749 Intact Stability Criteria for Containerships:

- $GZ_{max} = 7.619[m] \geq \frac{0.042}{c} = 1.3600005 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $GZ_{\varphi} = 7.619[m] \geq \frac{0.033}{c} = 1.068575 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 30^\circ} = 2.057[m \times rad] \geq \frac{0.009}{c} = 0.29143 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow 40^\circ} = 3.352[m \times rad] \geq \frac{0.016}{c} = 0.518097 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{30 \rightarrow 40^\circ} = 1.294[m \times rad] \geq \frac{0.006}{c} = 0.194286 \rightarrow \mathbf{O.K.}$
- $(area)_{0 \rightarrow \varphi_{flooding}} = 5.2158[m \times rad] \geq \frac{0.029}{c} = 0.939051 \rightarrow \mathbf{O.K.}$



## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η αγορά των Πλοίων Μεταφοράς Ε/Κ βρίσκεται σε συνεχή ανάπτυξη και αποτελεί ελκυστικό τρόπο μεταφοράς των αγαθών, κάτι που αναμένεται να συνεχιστεί και στο μέλλον. Το μέλλον ωστόσο είναι αβέβαιο λόγω της Παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης και της γενικής αστάθειας των αγορών. Για το λόγο αυτό η ναυτιλιακή βιομηχανία θα πρέπει να βρει τρόπους ώστε να είναι έτοιμη να ανταπεξέλθει σε οποιαδήποτε απροσδόκητη εξέλιξη. Οι παλιές καλές μέρες θα φαντάζονται ένα μακρινό και ουτοπικό σενάριο σε περίπτωση που οι κύριοι εμπλεκόμενοι συνεχίσουν τις άτολμες και διστακτικές κινήσεις, φοβούμενοι το μεγάλο βήμα. Η αυξανόμενη ανησυχία για τη μόλυνση του περιβάλλοντος ωθεί τους πλοιοκτήτες στη συμμόρφωση των πλοίων τους με όλο και πιο αυστηρούς νόμους ενώ η συνεχώς αυξανόμενη τιμή των καυσίμων κάνει την χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας να γίνεται επιτακτική ανάγκη, επένδυση ωστόσο η οποία παραμένει ακόμα σε απαγορευτικά επίπεδα τιμών. Οι νέες αναπτυσσόμενες αγορές της Ανατολής τείνουν να αλλάξουν τις ισορροπίες.

Το υπό μελέτη πλοίο μεταφοράς Ε/Κ αποτελεί μια πρόταση για πιο αποδοτικά και πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλοία με βασική παράμετρο ότι η κατασκευή του βασίζεται σε υπάρχουσα τεχνολογία. Ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης του, υποχρεωτικό όριο του οποίου αναμένεται να επιβληθεί σύντομα από τον ΙΜΟ, υπολογίστηκε περίπου 9.2 και αντικατοπτρίζει τον χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο του. Οι διάφορες ανάλογες έρευνες μεγάλων οργανισμών όπως ο Νορβηγικός και ο Γερμανικός Νηογνώμονας φανερώνουν τη σημαντικότητα των προσπαθειών για καινοτόμες λύσεις στον τομέα της ναυτιλίας και ειδικά στον κλάδο των containerships που αποτελούν τα πιο ενεργοβόρα πλοία.

Το υπό μελέτη πλοίο δύναται για περαιτέρω έρευνα και ανάλυση ώστε να γίνει ακόμα πιο αποδοτικό. Το E<sup>4</sup>, που αποτελεί ουσιαστικά εξέλιξη του υπό μελέτη πλοίου, εισάγει ορισμένα καινοτόμα χαρακτηριστικά που μπορούν να προσελκύσουν τους σχεδιαστές και μπορεί να αποτελέσει ένα αποφασιστικό βήμα στον τομέα της ναυτιλίας. Ελπίζουμε η παρούσα διπλωματική εργασία και η ιδέα του E<sup>4</sup> να αποτελέσουν έμπνευση για τους σχεδιαστές και εφαλτήριο για πιο αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/liner-ships/container-cargo-capacity>
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Container\\_ship#Size\\_categories](http://en.wikipedia.org/wiki/Container_ship#Size_categories)
3. Jack Devanney, Center for Tankship Excellence [djw1@c4tx.org](mailto:djw1@c4tx.org) and Sisuphus Beach, CO2 Emissions from Shipping: the Case for Taking our Time Version: 1.0, Florida 2010
4. Evangelos K. Boulougouris and Apostolos D. Papanikolaou, Energy efficiency parametric design tool in the frame of holistic ship design optimization
5. Norwegian Shipowners Association, Leadership Through Rough Seas-Piloting Shipping to low carbon growth
6. IMO MEPC 59/INF.10, Prevention of air pollution from ships, Second IMO GHG Study 2009, Update of the 2000 IMO GHG Study, Final Report covering Phase 1 and Phase 2, 9 April 2009
7. Germanischer Lloyd, Solutions for efficient and environmentally friendly container vessels, GL Container Vessel Forum, Athens, 2010-12-09
8. Harilaos N. Psaraftis and Christos A. Kontovas, CO2 Emissions for the World Commercial Fleet, Laboratory for Maritime Transport-School of Naval Architecture and Marine Engineering NTUA Greece, 2009
9. DNV, DNV Container Ship Update, No. 2, October 2010
10. Germanischer Lloyd, Energy Efficiency Design Index-Update, MARTECMAR-Conference Building for the Future, 6 April 2011, Ralf Plump, Head of Environmental Research Department RD-ER
11. IMO MEPC 60/4/15, Prevention Of Air Pollution From Ships, Comments on the EEDI Baseline Formula, Submitted by Greece, 15 January 2010
12. IMO MEPC 60/INF.18, Prevention Of Air Pollution From Ships, Assesment of IMO energy efficiency measures for the control of GHG emissions from ships, Note by the Secretariat
13. Jack Devanney, Center for Tankship Excellence [djw1@c4tx.org](mailto:djw1@c4tx.org), EEDI Absurdities, 2011-03-24
14. Απόστολος Δ. Παπανικολάου, Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι, Μεθοδολογία Προμελέτης, Συλλογή Βοηθημάτων
15. Climate Change and Ships: Increasing Energy Efficiency, a SNAME & Marine Board Symposium, Influence of Design Parameters on the Energy Efficiency Design Index, February 16 & 17, 2010
16. [http://www.maerskline.com/link/?page=news&path=/news/story\\_page/10/slow\\_steaming](http://www.maerskline.com/link/?page=news&path=/news/story_page/10/slow_steaming)
17. Harilaos N. Psaraftis, Slow steaming vs. speed limits, Laboratory for Maritime Transport-School of Naval Architecture and Marine Engineering NTUA Greece
18. <http://carbonpositive.net/viewarticle.aspx?articleID=2278>

19. <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/jul/25/slow-ships-cut-greenhouse-emissions>
20. BIMCO, Ship efficiency over time and slow steaming, Tripartite 2008, Beijing 8-9 November
21. [http://www.hellenicshippingnews.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8673:container-lines-slow-steaming-here-to-stay-as-freight-rates-not-expected-to-improve-soon&catid=45:top-story-a&Itemid=105](http://www.hellenicshippingnews.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8673:container-lines-slow-steaming-here-to-stay-as-freight-rates-not-expected-to-improve-soon&catid=45:top-story-a&Itemid=105)
22. Pierre Cariou, Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping?
23. <http://www.maersk.com/AboutMaersk/News/Pages/20100901-145240.aspx>
24. DNV Container Ship Update, Special Edition, Information from DNV to the Container Ship industry, April 2010
25. DNV Quantum 9000 Two Stroke LNG, By DNV and MAN Diesel & Turbo
26. Απόστολος Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου - Τόμος Α: Μεθοδολογία Προμελέτης
27. Apostolos Papanikolaou, Evangelos Boulougouris, George Papatzanakis, Shukui Liu, Co-Operation between DNV & NTUA, Ship Design Optimization, Piraeus Final Workshop, November 2010
28. Stopford M., Maritime Economics, 3rd edition, Routledge, 2009.
29. Κ. Σπύρου, Δυναμική Ευστάθεια Πλοίου & Υπόβαθρο Κανονισμών – Σημειώσεις Διδάσκοντος, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005
30. Holtrop, J. and Mennen, G. G. J., “An Approximate Power Prediction Method,” International Shipbuilding Progress, 29, 1982.
31. Απόστολος Δ. Παπανικολάου, Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II (Γενική Διάταξη, Ενδιαίτηση & Εξοπλισμός), Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα 2004

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αναλυτικοί Υπολογισμοί L.S. & Κέντρου Βάρους του, Έλεγχος Γραμμής Φόρτωσης, Ισχύος Πρόωσης & Ελάχιστου Απαιτούμενου Έρματος σε Κατάσταση Ερματισμού υπό Μελέτη Πλοίου**

**Ι) Βάρος Πλήρως Εξοπλισμένου αλλά Άφορτου Πλοίου L.S**

Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής ( $W_{ST}$ )

Αρχικά θα υπολογιστεί το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου. Για το σκοπό αυτό θα εφαρμοστούν οι μέθοδοι Schneekluth με Muller-Koster και Watson [26].

• **Μέθοδος Schneekluth**

Με τη μέθοδο αυτή θα υπολογίσουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος, στο οποίο θα προστεθεί μετά το βάρος των υπερκατασκευών που θα υπολογίσουμε με τη μέθοδο Muller-Koster.

Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος δίνεται από τη σχέση :

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

όπου :

$\nabla_D$ : όγκος μέχρι το κοίλο

$\nabla_S$ : αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

$\nabla_b$ : αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος

$\nabla_H$ : αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών

Είναι :

$$C_{BD} = C_B + C_1 \cdot \frac{D - T}{T} \cdot (1 - C_B) = 0.76 + 0.25 \cdot \frac{19.8 - 10.5}{10.5} \cdot (1 - 0.76) \Rightarrow$$

$$C_{BD} = 0.813143$$

όπου  $C_1 = 0.25$  για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω ισάλου.

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 230 \cdot 44 \cdot 19.8 \cdot 0.813143 \Rightarrow$$

$$\nabla_D = 162934 \text{ m}^3$$

Όπως και στο πατρικό πλοίο, έτσι και στο υπό μελέτη επιλέξαμε να μη βάλουμε σιμότητα καταστρώματος. Για το λόγο αυτό:

$$\nabla_S = 0 \text{ m}^3$$

Το ίδιο ισχύει και για την κυρτότητα. Έτσι έχουμε :

$$\nabla_b = 0 \text{ m}^3$$

Στο υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα και με το σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών, έχουμε δεκατρία στόμια εκ των οποίων τα έντεκα έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Ακολουθεί πίνακας με τις διαστάσεις των στομίων.

Στόμιο	Πλάτος [m]	Μήκος [m]	Ύψος [m]	Όγκος [m <sup>3</sup> ]
<b>Hatch 1</b>	19.9	12.65	0.8	251.735
<b>Hatch 2</b>	27.38	12.65	0.8	346.357
<b>Hatches 3 - 13</b>	37.46	12.65	0.8	473.869

Επομένως :  $\nabla_H = 251.735 + 346.357 + 11 \times 473.869 \Rightarrow$

$$\nabla_H = 4648.52 \text{ m}^3$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές για τους επί μέρους όγκους στη σχέση που δίνει το συνολικό όγκο έχουμε :

$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 162934 + 0 + 0 + 4649 \Rightarrow$

$$\nabla_U = 167583 \text{ m}^3$$

Έχοντας την τιμή για τον συνολικό όγκο κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος, υπολογίζουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής από τη σχέση:

$$W'_{ST.1} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \quad (1)$$

όπου :

$$C_1 = |1 + 0.002 \cdot (L - 120)^2 \cdot 10^{-3}| = |1 + 0.002 \cdot (230 - 120)^2 \cdot 10^{-3}| \Rightarrow$$

$$C_1 = 1.0242$$

$$C_2 = \left| 1 + 0.057 \cdot \left( \frac{L}{D} - 12 \right) \right| = \left| 1 + 0.057 \cdot \left( \frac{230}{19.8} - 12 \right) \right| \Rightarrow$$

$$C_2 = 0.97812121$$

$$C_3 = \left| (30 / (D + 14))^{1/2} \right| = \left| (30 / (19.8 + 14))^{1/2} \right| \Rightarrow$$

$$C_3 = 0.94211144$$

$$C_4 = |1 + 0.1 \cdot (B/D - 2.1)^2| = |1 + 0.1 \cdot (44/19.8 - 2.1)^2| \Rightarrow$$

$$C_4 = 1.00149383$$

$$C_5 = |1 + 0.2 \cdot (T/D - 0.85)| = |1 + 0.2 \cdot (10.5/19.8 - 0.85)| \Rightarrow$$



$$C_5 = 0.93606061$$

$$C_6 = |0.92 + (1 - C_{BD})^2| = |0.92 + (1 - 0.813143)^2| \Rightarrow$$

$$C_6 = 0.95491559$$

$$C'_{ST} = 0.090 \div 0.100 \text{ για containerships, επιλέγουμε } C'_{ST} = 0.090$$

Αντικαθιστώντας στην (1) έχουμε:

$$W'_{ST.1} = 167583 \cdot 0.090 \cdot 1.0242 \cdot 0.97812121 \cdot 0.94211144 \cdot 1.00149383 \\ \cdot 0.93606061 \cdot 0.95491559 \Rightarrow$$

$$W'_{ST.1} = 12743 [\text{tons}]$$

Στην τιμή αυτή έχουμε μία προσαύξηση 4% λόγω της βολβοειδούς πλώρης. Επίσης θεωρούμε σταθερές κυψέλες στοιβασίας για τα κιβώτια μέσα στα κύτη, το βάρος των οποίων είναι 0.7 [tons] η καθεμία. Άρα τελικά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μέχρι το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα είναι:

$$W'_{ST} = 0.004 \cdot W'_{ST.1} + 2289 \cdot 0.7 = 0.004 \cdot 12743 + 2289 \cdot 0.7 \Rightarrow$$

$$W'_{ST} = 14396 [\text{tons}]$$

- **Μέθοδος Muller-Koster**

Με τη μέθοδο αυτή θα υπολογίσουμε το βάρος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων. Για την εύρεση των διαστάσεων τους χρησιμοποιήσαμε το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών.

### Βάρος Πρόστεγου

Το ογκομετρικό βάρος ενός πρόστεγου είναι :

$$C_{BACK} = 100 \text{kp/m}^3 \text{ για } L \geq 140 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό του εμβαδού του πρόστεγου χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο Simpson. Με βάση αυτή προέκυψε:

$$E_{\text{Πρόστεγου}} = 241.82 \text{ m}^2$$

Ο όγκος του πρόστεγου είναι :

$$V_{\text{Πρόστεγου}} = h_{\text{Πρόστεγου}} \cdot E_{\text{Πρόστεγου}} = 3 \cdot 241.82 \Rightarrow$$

$$V_{\text{Πρόστεγου}} = 725.46 \text{ m}^3$$

Άρα τελικά το βάρος του πρόστεγου είναι:

$$W_{\text{Πρόστεγου}} = V_{\text{Πρόστεγου}} \cdot C_{\text{Πρόστεγου}} = 725.46 \cdot 100 \Rightarrow \underline{W_{\text{Πρόστεγου}}=72.55[\text{tons}]}$$

Βάρος υπερστεγασμάτων

Ο υπολογισμός του βάρους των υπερστεγασμάτων γίνεται μέσω του ακόλουθου πίνακα :

Θέση στεγάσματος	I	II	III	IV	V	VI	VII	ΟΙΑΚΙΣΤΗΡΙΟ
$A_0$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	519.5	513.5	511.4	511.4	483.4	148.3	107.84
$A_U$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	281.6	391.5	391.5	319.5	319.5	301.0	119.1
$A_0/A_U$	1	1.845	1.311	1.306	1.600	1.513	0.493	0.906
$A_m$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	400.5	452.5	451.4	415.4	401.5	224.7	113.5
$C_{DH}$ [kp/m <sup>3</sup> ]	0.057	0.081	0.065	0.065	0.073	0.065	0.053	0.04
$h$ [m]	3	3	3	2.8	2.8	2.8	3.6	2.6
$k_1$	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.002	1.02	1
$k_2$	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_3$	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
$W_{DH}$ [tons]	84.32	107.9	97.8	91.1	94.2	80.5	48.1	12.98
$\Sigma W_{DH}$ [tons]	<b>616.9</b>							

Αθροίζοντας τα βάρη που υπολογίστηκαν με τις μεθόδους Schneekluth και Muller-Koster έχουμε τελικά :

$$W_{ST.Schn} = W'_{ST} + W_{\text{Πρόστεγου}} + \Sigma W_{DH} = 14396 + 72.55 + 616.9 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{ST.Schn} = 15086 [\text{tons}]}$$

• **Μέθοδος Watson**

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  κατά Lloyds Register. Αρκεί να προσδιορίσουμε τον αριθμό, το μήκος και το ύψος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΕΡΣΤΕΓΑΣΜΑΤΩΝ

	Μήκος $l_{li}$ [m]	Ύψος $h_{li}$ [m]	$l_{li} \times h_{li}$ [m <sup>2</sup> ]
<b>Upper Deck</b>	17	3	51
<b>Deck A</b>	17	3	51
<b>Deck B</b>	17	3	51
<b>Deck C</b>	17	2.8	47.6
<b>Deck D</b>	17	2.8	47.6
<b>Deck E</b>	10	2.8	28
<b>Deck F</b>	10	3.6	36
<b>Nav. Bridge</b>	8	2.6	20.8
<b><math>\Sigma(l_{li} \times h_{li})</math></b>	<b>333 [m<sup>2</sup>]</b>		

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΕΡΚΑΣΤΑΣΚΕΥΩΝ

	Μήκος $l_{2i}$ [m]	Ύψος $h_{2i}$ [m]	$l_{2i} \times h_{2i}$ [m <sup>2</sup> ]
<b>Πρόστεγο</b>	19.2	3	57.6
<b><math>\Sigma(h_{2i} \times l_{2i})</math></b>	<b>57.6 [m<sup>2</sup>]</b>		

Ο δείκτης εξοπλισμού θα είναι :

$$E_N = L \cdot (B + T) + 0.8 \cdot L \cdot (D - T) + 0.85 \cdot \Sigma h_{li} \cdot l_{li} + 0.75 \cdot \Sigma h_{2i} \cdot l_{2i} \Rightarrow$$

$$E_N = 230 \cdot (44 + 10.5) + 0.8 \cdot 230 \cdot (19.8 - 10.5) + 0.85 \cdot 333 + 0.75 \cdot 57.6 \Rightarrow$$

$$E_N = 14573$$

Για την τιμή αυτή του δείκτη εξοπλισμού επιλέγεται:  $W_{ST}^* = 14100$  [tons]

Επίσης :

$$C_B^* = C_B + \frac{(1 - C_B) \cdot (0.8 \cdot D - T)}{3 \cdot T} = 0.76 + \frac{(1 - 0.76) \cdot (0.8 \cdot 19.8 - 10.5)}{3 \cdot 10.5} \Rightarrow$$

$$C_B^* = 0.8167$$

Η τελική τιμή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής σύμφωνα με τη μέθοδο Watson δίνεται από τη σχέση :

$$W_{ST.Watson} = W_{ST}^* \cdot [1 + 0.5 \cdot (C_B^* - 0.7)] = 14100 \cdot [1 + 0.5 \cdot (0.8167 - 0.7)] \Rightarrow$$

$$W_{ST.Watson} = 14923$$
 [tons]

Για την τελική τιμή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής θα πάρω το μέσο όρο των μεθόδων Schneekluth και Muller-Koster με την Watson.

$$W_{ST} = \frac{W_{ST.Schn} + W_{ST.Watson}}{2} = \frac{15086 + 14923}{2} \Rightarrow$$

$$\underline{W_{ST} = 15005 \text{ [tons]}}$$

Βάρος Εξοπλισμού (W<sub>OT</sub>)

Για τον υπολογισμό του βάρους εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος Ομάδων Βαρών κατά Schneekluth [26]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το βάρος εξοπλισμού χωρίζεται σε τέσσερις ομάδες : καλύμματα στομίων κυτών, φορτοεκφορτωτικά μέσα, ενδιαίτηση και λοιπά βάρη.

I) Καλύμματα στομίων κυτών.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο υπό μελέτη πλοίο υπάρχουν δεκατρία καλύμματα στομίων κυτών εκ των οποίων τα έντεκα είναι ίδια.

Στόμιο	Πλάτος [m]	Μήκος [m]	W <sub>H</sub> /L <sub>H</sub>	Βάρος W <sub>H</sub> [tons]
Hatch 1	19.9	12.65	5.68923	72
Hatch 2	27.38	12.65	9.43306	120
Hatch 3 - 13	37.46	12.65	15.27831	193.3
<b>TOTAL</b>				<b>2317.3</b>

Άρα:

$$W_I = 2318.3 \text{ [tons]}$$

II) Φορτοεκφορτωτικά μέσα.

Δεν υπάρχουν φορτοεκφορτωτικά μέσα στο υπό μελέτη πλοίο. Άρα :

$$W_{II} = 0 \text{ [tons]}$$

III) Ενδιαίτηση.

Για φορτηγά μικρού ή μεσαίου μεγέθους το ειδικό βάρος είναι 160-170 kp/m<sup>2</sup> για την αντίστοιχη επιφάνεια ενδιαίτησης η οποία ανέρχεται σε 2568 m<sup>2</sup>. Την τιμή αυτή την πήραμε από τον πίνακα για τον υπολογισμό του βάρους των υπερστεγασμάτων και αντιστοιχεί στο άθροισμα των A<sub>U</sub>. Επιλέγοντας ειδικό βάρος 160 kp/m<sup>2</sup> έχουμε:

$$W_{III} = 410 \text{ [tons]}$$

IV) Λοιπά Βάρη

Από προσεγγιστικό τύπο και επιλέγοντας  $C_1 = 0.18$  έχουμε:

$$W_{IV} = (L \cdot B \cdot D)^{2/3} \cdot C_1 = (230 \cdot 44 \cdot 19.8)^{2/3} \cdot 0.18 \Rightarrow$$

$$W_{IV} = 616 \text{ [tons]}$$

Προσθέτοντας τα ανωτέρω βάρη βρίσκουμε:

$$\underline{W_{OT} = 3343.3 \text{ [tons]}}$$

Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης ( $W_M$ )

Για τον υπολογισμό του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης πρέπει να γνωρίζουμε την ισχύ Πέδης της Κύριας Μηχανής. Αυτή υπολογίστηκε με τη μέθοδο Holtrop, η οποία παρατίθεται στη συνέχεια του παραρτήματος, με ικανοποιητική ακρίβεια ίση με:

$$P_B = 11162 \text{ [kW]} \text{ ή } P_B = 15176 \text{ [PS]} \text{ ή } P_B = 14969 \text{ [HP]}$$

Σύμφωνα με τη σχέση των Watson – Gilfillan το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης δίνεται από τη σχέση [26] :

$$W_{M.1} = C_{MD} \cdot P_B^{0.89} = 0.3 \cdot 11162^{0.89} \Rightarrow$$

$$W_{M.1} = 1201 \text{ [tons]}$$

όπου  $C_{MD} = 0.3 - 0.5$  για αργόστροφες Diesel μηχανές.

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να υπολογιστεί και με προσεγγιστικό συντελεστή ο οποίος εκλέγεται από πίνακα που δίνει το ειδικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης για containership σε σχέση με την ισχύ[14]. Έτσι επιλέγεται:

$$w_M = 0.077 \text{ kg/HP}$$

$$\text{άρα : } W_{M.2} = w_M \times P_B(\text{HP}) = 0.077 \times 14969 \Rightarrow$$

$$W_{M.2} = 1153 \text{ [tons]}$$

Σαν τελικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης επιλέγουμε τον μέσο όρο των βαρών των δύο μεθόδων. Οπότε έχουμε :

$$W_M = \frac{W_{M.1} + W_{M.2}}{2} = \frac{1201 + 1153}{2} \Rightarrow$$

$$\underline{W_M = 1177 \text{ [tons]}}$$

Συνολικά για το βάρος του L.S. του υπό μελέτη πλοίου έχουμε:

$$L.S._{υπολ.} = W_{ST} + W_{OT} + W_M = 15005 + 3344 + 1177 \Rightarrow$$

$$L.S._{υπολ.} = 19526 [tons]$$

Αυτή η τιμή του L.S. είναι η τιμή που υπολογίσαμε από τις διάφορες μεθόδους. Από τον υπολογισμό όμως του L.S. του πατρικού πλοίου βγάλαμε έναν συντελεστή συσχέτισεως μεταξύ της πραγματικής τιμής,  $L.S._{REAL}$ , και της υπολογισθέν τιμής,  $L.S._{υπολ.}$ , ο οποίος είναι ίσος με:

$$\lambda = 0.9755947$$

Έτσι η πραγματική τιμή του L.S. του υπό μελέτη πλοίου είναι:

$$L.S._{REAL} = \frac{L.S._{υπολ.}}{\lambda} = \frac{19526}{0.9755947} \Rightarrow$$

$$\underline{\underline{L.S._{REAL} = 20014 [tons]}}$$

και οι πραγματικές τιμές των επί μέρους βαρών:

$$\underline{\underline{W_{ST} = 15380 [tons]}}$$

$$\underline{\underline{W_{OT} = 3428 [tons]}}$$

$$\underline{\underline{W_M = 1206 [tons]}}$$

**II) Υπολογισμός Κέντρου Βάρους του L.S. του υπό Μελέτη Πλοίου**

Αρχικά πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του καθ' ύψους και διαμήκους κέντρου βάρους του πατρικού πλοίου όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα Γ. Αυτό το κάναμε για την εξαγωγή συντελεστή συσχέτισης που τον εφαρμόσαμε εν συνεχεία στο υπό μελέτη πλοίο για το οποίο έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Ομάδες Βαρών	[tons]	KG/D	KG' [m]	M <sub>T</sub> [tonsxm]	LCG/L <sub>BP</sub>	LCG'	M <sub>L</sub> [tonsxm]
W <sub>ST</sub>	15380	0.59	11.7	179957.7	0.47	108.1	1662523
W <sub>OT</sub>	3428	0.90	17.82	61086.96	0.46	105.8	362709
W <sub>M</sub>	1206	0.48	9.51	11472.3	0.272609	62.7	75637.59
<b>L.S.</b>	20014	0.6372	<b>12.62</b>	252503.8	0.456389	<b>104.96</b>	2100870

Για την εύρεση του LCG του W<sub>M</sub> χρησιμοποιήσαμε το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών ενώ τους λόγους KG/D και LCG/D τους πήραμε από πίνακα που δίνει τις τιμές αυτές για όλα τα είδη πλοίων [26].

Οι συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν στο όμοιο πλοίο είναι:

$$\lambda_{KG} = 0.99017139 \text{ και } \lambda_{LCG} = 0.991757$$

Άρα τελικά οι τελικές τιμές του κέντρου βάρους του L.S. είναι:

$$KG_{L.S.} = KG' \cdot \lambda_{KG} = 12.62/0.99017139 \Rightarrow$$

$$\underline{KG_{L.S.} = 12.737 [m]}$$

$$LCG_{L.S.} = LCG' \cdot \lambda_{LCG} = 104.96/0.991757 \Rightarrow$$

$$\underline{LCG_{L.S.} = 105.84[m]}$$

### III) Έλεγχος Κανονισμού Φόρτωσης

#### Βασικό ύψος εξάλων

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Διεθνούς Συμβάσεως Γραμμής Φορτώσεως ως μήκος του πλοίου θεωρείται το 96% του ολικού μήκους της ισάλου στο 85% του πλευρικού ύψους του πλοίου, ή η απόσταση της προραίας ακμής της πλώρης από το μέσο του άξονα του πηδαλίου στην ίδια ίσαλο, οποιοδήποτε είναι μεγαλύτερο από αυτά [14]. Από το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών βρίσκουμε ότι το δεύτερο μήκος είναι μεγαλύτερο, άρα:

$$L_{\Gamma\Phi} = 232.3 [m]$$

Το υπό μελέτη πλοίο είναι τύπου “B” επομένως για το βασικό ύψος εξάλων, και με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των μηκών 230 και 235, προκύπτει:

$$B.Y.E. = 3768.58 [mm]$$

#### Διόρθωση B.Y.E. για μήκος πλοίου

Δεν υφίσταται διόρθωση για πλοία κάτω των εκατό μέτρων, καθώς το υπό μελέτη πλοίο είναι 230 [m].

#### Διόρθωση για το συντελεστή γάστρας

Στη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης χρησιμοποιείται ο συντελεστής γάστρας που αντιστοιχεί σε βύθισμα ίσο με 85% του κοίλου του πλοίου. Έτσι:

$$C_{B0.85D} = C_B \cdot \left( \frac{0.85D_F}{T} \right)^{\frac{C_{WL}}{C_B} - 1} = 0.76 \cdot \left( \frac{0.85 \cdot 19.82}{10.5} \right)^{\frac{0.84}{0.76} - 1} \Rightarrow$$

$$C_{B0.85D} = 0.798781 > 0.68$$

Άρα καινούριο ύψος εξάλων είναι :

$$Y.E_2 = B.Y.E. \times \left( \frac{C_{B0.85D} + 0.68}{1.36} \right) = 3768.58 \times \left( \frac{0.798781 + 0.68}{1.36} \right) \Rightarrow$$

$$Y.E_2 = 4097.7 [mm]$$

όπου  $D_F$  : το κοίλο του πλοίου συν το πάχος ελάσματος που το θεωρούμε όπως στο πατρικό και ίσο με  $t=0.02$  [m]

#### Διόρθωση για πλευρικό ύψος $D_F$

Το πλευρικό ύψος είναι  $D_F = D + t = 19.8 + 0.02 \Rightarrow D_F = 19.82$  [m]

Επειδή :  $D_F > L/15 = 232.3/15 = 15.49$

το διορθωμένο ύψος εξάλων θα είναι :



$$Y.E_3 = Y.E_2 + \left(D_F - \frac{L}{15}\right) \times R = 4097.7 + \left(19.82 - \frac{232.3}{15}\right) \times 250 \Rightarrow$$

$$Y.E_3 = 5181.1 [mm]$$

όπου R=250 για πλοία με μήκος άνω των 120 [m].

Διόρθωση για υπερκατασκευές και πυργωτά υπερκατασκευάσματα

Από Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών του υπό μελέτη πλοίου βρίσκουμε ότι η πλευρά της υπερκατασκευής απέχει από την πλευρά του πλοίου περισσότερο από  $0.04B=1,76$  [m]. Για την ακρίβεια απέχει 8.1 [m] άρα θεωρείται πυργωτό υπερκατασκεύασμα. Για να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του ύψους εξάλων θα πρέπει να έχει πλάτος τουλάχιστον  $0.6B=26.4$  [m]. Το πλάτος της όμως είναι 32.2 [m] άρα το λαμβάνουμε υπόψη στο ύψος εξάλων.

Σύμφωνα με αυτά έχουμε τον παρακάτω πίνακα :

	Πραγματικό μήκος S	Πραγματικό ύψος H	Κανονικό ύψος h <sub>s</sub>	Πλάτος B	Πλάτος Πλοίου B <sub>s</sub>	Δρών Μήκος E
<b>Πυργωτό</b>	17.00	3.00	2.30	32.20	44.00	12.44
<b>Πρόστεγο</b>	13.10	3.00	2.30	44.00	44.00	7.21
<b>Total</b>	<b>30.10</b>					<b>19.6</b>

Είναι  $E/L=0.8542$  άρα έχουμε ποσοστό μείωσης στο ύψος εξάλων κατά 4.271% των 1070 [mm]. Επομένως :

$$Y.E_4 = Y.E_3 - 4.271\% \cdot 1070 = 5181.1 - 45.7 \Rightarrow$$

$$Y.E_4 = 5135.4 [mm]$$

Διόρθωση για σιμότητα καταστρώματος

Θεωρήσαμε ότι το πλοίο που μελετούμε κατασκευάζεται με μηδενική σιμότητα επομένως θα υπάρχει έλλειψη σιμότητας. Υπολογίζουμε τη διόρθωση με βάση την κανονική σιμότητα για την οποία παίρνουμε τον μέσο όρο της πρωραίας και της πρυμναίας σιμότητας.

Η κανονική πρωραία σιμότητα είναι:

$$M_{NF} = 16.6750 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right) = 16.6750 \cdot \left(\frac{232.3}{3} + 10\right) \Rightarrow$$

$$M_{NF} = 1457.95 [mm]$$

Αντίστοιχα η κανονική πρυμναία σιμότητα είναι :

$$M_{NA} = 8.3375 \cdot \left( \frac{L}{3} + 10 \right) = 8.3375 \cdot \left( \frac{232.3}{3} + 10 \right) \Rightarrow$$

$$M_{NA} = 728.98 [mm]$$

Επομένως η μέση κανονική σιμότητα είναι :

$$M_N = 1093.5 [mm]$$

Έχουμε έλλειμμα σιμότητας οπότε γίνεται προσαύξηση του ύψους εξάλων. Το διορθωμένο ύψος εξάλων θα είναι :

$$Y.E_5 = Y.E_4 + M_N \cdot \left( 0.75 - \frac{S}{2 \cdot L} \right) = 5135.4 + 1093.5 \cdot \left( 0.75 - \frac{30.10}{2 \cdot 232.3} \right) \Rightarrow$$

$$Y.E_5 = 5884.6 [mm]$$

Το βύθισμα της Γραμμής Φόρτωσης θα είναι :

$$T_{\Gamma\Phi} = D_F - Y.E_5 = 19820 - 5884.6 \Rightarrow$$

$$\underline{T_{\Gamma\Phi} = 13935 [mm] \text{ ή } T_{\Gamma\Phi} = 13.935 [m]}$$

Το βύθισμα αυτό ικανοποιεί τον κανονισμό της Γραμμής Φόρτωσης καθώς είναι μεγαλύτερο από το βύθισμα σχεδίασης.

#### Ελάχιστο Ύψος Πρώρας

Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πρώρας ή ελάχιστο ύψος εξάλων στην πρωραία κάθετο είναι συναρτήσει του μήκους του πλοίου και υπολογίζεται από τη σχέση :

$$E.Y.II. = 56 \cdot L \cdot \left( 1 - \frac{L}{500} \right) \cdot \frac{1.36}{C_{B0.85D} + 0.68}$$

$$= 56 \cdot 232.3 \cdot \left( 1 - \frac{232.3}{500} \right) \cdot \frac{1.36}{0.798781 + 0.68} \Rightarrow$$

$$E.Y.II. = 6405.5 [mm]$$

Το υπάρχον ύψος πρώρας είναι :

$$Y.Y.II. = Y.E_5 + Y_{\text{Πρόστεγυο}} = 5884.6 + 3000 \Rightarrow$$

$$Y.Y.II. = 8884.6 [mm]$$

Επομένως καλύπτεται η απαίτηση για ελάχιστο ύψος πρώρας.

#### **IV) Μέθοδος Holtrop για τον Υπολογισμό της Ισχύος Πρόωσης**

Η μέθοδος Holtrop μας παρέχει τη δυνατότητα για μία κατά προσέγγιση πρόβλεψη της ισχύος πρόωσης [29]. Τη χρησιμοποιήσαμε αρχικά για μία προκαταρκτική εκτίμηση της ισχύος και με την πρόοδο της διπλωματικής εργασίας τη βελτιώναμε χρησιμοποιώντας ακριβής τιμές για διάφορα μεγέθη.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και κάποιες σταθερές ήταν οι ακόλουθες :

Μήκος μεταξύ καθέτων:  $L_{PP} = 230.00$  [m]

Μήκος ισάλου :  $L = 236.90$  [m]

Πλάτος :  $B = 44.00$  [m]

Βύθισμα :  $T = 10.50$  [m]

Εκτόπισμα :  $\nabla = 83180.328$  [ $m^3$ ]

Διαμήκης θέση κέντρου άντωσης :  $l_{cb} = -0.7$ [m] πρύμνηθεν μέσης τομής

Εγκάρσια επιφάνεια βολβού :  $A_{BT} = 32.00$  [ $m^2$ ]

Κέντρο της επιφάνειας του βολβού :  $h_B = 5.00$  [m]

Συντελεστής μέσης τομής :  $C_M = 0.993$

Συντελεστής ισάλου επιφάνειας :  $C_{WP} = 0.84$

Πρισματικός συντελεστής :  $C_P = 0.7653575$

Επιφάνεια πρύμνης :  $A_T = 0.10$  [ $m^2$ ]

Βρεχόμενη επιφάνεια παρελκόμενων :  $S_{APP} = 219.078$  [ $m^2$ ] (Τη θεωρήσαμε ίση με το 0.018 της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας)

Παράμετρος σχήματος πρύμνης :  $C_{stern} = 10.00$

Διάμετρος έλικας :  $D = 7.00$  [m]

Αριθμός πτερυγίων έλικας :  $z = 4$

Ταχύτητα του πλοίου:  $V = 16$  [knots] ή  $V = 8.2304$  [m/s]

Βρεχόμενη επιφάνεια γάστρας :  $S = 12171$   $m^2$  (τιμή από υδροστατικό διάγραμμα)

Πυκνότητα θαλασσινού νερού :  $\rho = 1025.9$  [ $kg/m^3$ ]

$T/L = 0.0443225$

$B/L = 0.18573238$

$L/B = 5.38409091$

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί που κάναμε ώστε να φθάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα.

Αριθμός Froude

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{8.2304}{\sqrt{9.81 \cdot 236.9}} \Rightarrow \quad Fr = 0.1707277$$

$$L_R = \left(1 - C_P + 0.06 \cdot C_P \cdot \frac{lc_b}{4 \cdot C_P - 1}\right) \cdot L = \left(1 - 0.7653575 + 0.06 \cdot 0.7653575 \cdot \frac{-0.7}{4 \cdot 0.7653575 - 1}\right) \cdot 236.90 \Rightarrow$$

$$L_R = 51.892695$$

$$C_{12} = 48.20 \cdot (T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948$$

$$= 48.20 \cdot (10.5/236.9 - 0.02)^{2.078} + 0.479948 \Rightarrow$$

$$C_{12} = 0.5012869$$

Συντελεστής μορφής πρύμνης

$$C_{13} = 1 + 0.003 C_{\text{stern}} \Rightarrow \quad C_{13} = 1.03$$

Συντελεστής μορφής γάστρας

$$1 + k_1 = 1 + \left(-0.07 + \left(\frac{T}{L}\right)^{0.22284} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0.92497} \cdot (1.7 + 6 \cdot C_B^5)\right)$$

$$= 1 - 0.07 + \left(\frac{10.5}{236.9}\right)^{0.22284} \cdot \left(\frac{44}{236.9}\right)^{0.92497} \cdot (1.7 + 6 \cdot 0.76^5) \Rightarrow$$

$$1 + k_1 = 1.268992$$

Αριθμός Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot L}{1.18831 \cdot 10^{-6}} = \frac{8.2304 \cdot 236.9}{1.18831 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow$$

$$Re = 1640802282$$

$$C_{fs} = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \Rightarrow$$

$$C_{fs} = 0.0014407$$

Αντίσταση τριβής

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{fs} \cdot V^2 \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 1025.9 \cdot 0.0014407 \cdot 8.2304^2 \cdot 12171 \Rightarrow$$

$$\underline{R_F = 609291.34 [N] \text{ ή } R_F = 609.29 [kN]}$$

Συντελεστής αντίστασης παρελκόμενων

$$1+k_2 = 1.5$$

Αντίσταση παρελκόμενων

$$\begin{aligned} R_{APP} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_{APP} \cdot V^2 \cdot (1 + k_2) \cdot C_{fs} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1025.9 \cdot 219.078 \cdot 1.5 \cdot 8.2304^2 \cdot 0.0014407 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{R_{APP} = 16450.866 [N] \text{ ή } R_{APP} = 16.45 [kN]}}$$

$$C_7 = B/L = 44/236.9 \Rightarrow$$

$$C_7 = 0.1857324$$

Γωνία εισόδου ισάλου στη πλώρη

$$\begin{aligned} i_E &= 1 + 89 \cdot \exp \left\{ - \left( \frac{L}{B} \right)^{0.80856} \cdot (1 - C_{WP})^{0.30484} \cdot (1 - C_P - 0.0225 \cdot lcb)^{0.6367} \right. \\ &\quad \left. \cdot \left( \frac{L_R}{B} \right)^{0.34574} \cdot \left( 100 \cdot \frac{\nabla}{L^3} \right)^{0.16302} \right\} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$i_E = 34.9625 [degrees]$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105 \cdot C_7^{3.78613} \cdot (T/B)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565} \\ &= 2223105 \cdot 0.1857324^{3.78613} \cdot (10.5/44)^{1.07961} \\ &\quad \cdot (90 - 34.9625)^{-1.37565} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$C_1 = 3.4249081$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 0.56 \cdot \frac{A_{BT}^{1.5}}{\{B \cdot T \cdot (0.31 \cdot \sqrt{A_{BT}} + T - h_b)\}} \\ &= 0.56 \cdot \frac{32^{1.5}}{\{44 \cdot 10.5 \cdot (0.31 \cdot \sqrt{32} + 10.5 - 5)\}} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$C_3 = 0.0302493$$

Συντελεστής για τη μείωση της αντίστασης κυματισμού λόγω της ύπαρξης του βολβού

$$C_2 = \exp(-1.89 \cdot \sqrt{C_3}) = \exp(-1.89 \cdot \sqrt{0.0302493}) \Rightarrow$$

$$C_2 = 0.719848$$

$$C_5 = 1 - 0.8 \cdot \frac{A_T}{B \cdot T \cdot C_M} = 1 - 0.8 \cdot \frac{0.1}{44 \cdot 10.5 \cdot 0.993} \Rightarrow$$

$$C_5 = 0.9998256$$

$$\begin{aligned} C_{16} &= 8.07981 \cdot C_P - 13.8673 \cdot C_P^2 + 6.984388 \cdot C_P^3 \\ &= 8.07981 \cdot 0.7653575 - 13.8673 \cdot 0.7653575 + 6.984388 \\ &\quad \cdot 0.7653575^3 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$C_{16} = 1.192142$$

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.0140407 \cdot L/T - 1.75254 \cdot \nabla^{1/3}/L - 4.79323 \cdot B/L - C_{16} \\ &= 0.0140407 \cdot 236.9/10.5 - 1.75254 \cdot 83180.328^{1/3}/236.9 \\ &\quad - 4.79323 \cdot 44/236.9 - 1.192142 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$m_1 = -2.088546$$

$$C_{15} = -1.69385 \text{ για } \frac{L^3}{\nabla} \leq 512$$

$$\begin{aligned} m_2 &= C_{15} \cdot C_P^2 \cdot \exp(-0.1 \cdot Fn^{-2}) \\ &= -1.69385 \cdot 0.7653575^2 \cdot \exp(-0.1 \cdot 0.1707277^{-2}) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$m_2 = -0.03211$$

$$\lambda = 1.446 \cdot C_P - 0.03 \cdot \frac{L}{B} = 1.446 \cdot 0.7653575 - 0.03 \cdot \frac{236.9}{44.00} \Rightarrow$$

$$\lambda = 0.9451842$$

#### Αντίσταση Κυματισμού

$$\begin{aligned} R_W &= C_1 \cdot C_2 \cdot C_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp\{m_1 \cdot Fn^d + m_2 \cdot \cos(\lambda \cdot Fn^{-2})\} \\ &= 3.4249081 \cdot 0.719848 \cdot 0.9998256 \cdot 83180.328 \cdot 1025.9 \cdot 9.81 \\ &\quad \cdot \exp\{-2.088546 \cdot 0.1707277^{-0.9} - 0.03211 \cdot \cos(0.9451842 \\ &\quad \cdot 0.1707277^{-2})\} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{R_W = 0.0716489 [N] \text{ ή } R_W = 71.64887 [kN]}}$$

Συντελεστής για την ύπαρξη του βολβού

$$P_B = 0.56 \cdot \sqrt{A_{BT}} / (T - 1.5 \cdot h_B) = 0.56 \cdot \sqrt{32} / (10.5 - 1.5 \cdot 5) \Rightarrow$$

$$P_B = 1.0559461$$

Αριθμός Froude σε σχέση με τη βύθιση του βολβού

$$F_{ni} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot (T - h_B - 0.25 \cdot \sqrt{A_{BT}}) + 0.15 \cdot V^2}}$$

$$= \frac{8.2304}{\sqrt{9.81 \cdot (10.5 - 5 - 0.25 \cdot \sqrt{5}) + 0.15 \cdot 8.2304^2}} \Rightarrow$$

$$F_{ni} = 1.1611421$$

Πρόσθετη αντίσταση λόγω της παρουσίας του βολβού

$$R_B = \frac{0.11 \cdot \exp[-3 \cdot P_B^{-2}] \cdot F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1.5} \cdot \rho \cdot g}{(1 + F_{ni}^2)}$$

$$= \frac{0.11 \cdot \exp[-3 \cdot 1.0559461^{-2}] \cdot 1.1611421^3 \cdot 32^{1.5} \cdot 1025.9 \cdot 9.81}{(1 + 1.1611421^2)}$$

$$\Rightarrow$$

$$\underline{\underline{R_B = 9064.03 [N] \text{ ή } R_B = 9.064 [kN]}}$$

Πρόσθετη αντίσταση λόγω βύθισης της πρύμνης

$$R_{TR} = 0 [Kn]$$

$$C_4 = 0.04$$

Συντελεστής συσχέτισης

$$C_A = 0.006 \cdot (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \cdot \sqrt{L/7.5} \cdot C_B^4 \cdot C_2 \cdot (0.04 - C_4)$$

$$= 0.006 \cdot (236.9 + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \cdot \sqrt{236.9/7.5}$$

$$\cdot 0.76^4 \cdot 0.719848 \cdot (0.04 - 0.04) \Rightarrow$$

$$C_A = 0.0003146$$

Αντίσταση συσχέτισεως

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_A = \frac{1}{2} \cdot 1025.9 \cdot 8.2304^2 \cdot 12171 \cdot 0.0003146 \Rightarrow$$

$$\underline{R_A = 133030.83 [N] \text{ ή } R_A = 133.03 [kN]}$$

Συνολική αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου

$$\begin{aligned} R_{TOTAL} &= R_A + R_{TR} + R_B + R_W + (1 + k_1) \cdot R_F + R_{APP} \\ &= 133.03 + 0 + 9.064 + 71.64887 + 1.268992 \cdot 609.2913 \\ &\quad + 16.45087 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\underline{R_{TOTAL} = 1003.3807 [kN] \text{ ή } R_{TOTAL} = 102316.4 [kP]}$$

$$C_V = (1 + k_1) \cdot C_{fs} + C_A = 1.268992 \cdot 0.0014407 + 0.0003146 \Rightarrow$$

$$C_V = 0.0021428$$

$$C_8 = \frac{B \cdot S}{L \cdot D \cdot T} = \frac{44 \cdot 12171}{236.9 \cdot 19.8 \cdot 10.5} \Rightarrow$$

$$C_8 = 10.87325$$

$$C_9 = C_8 = 10.87325$$

$$C_{11} = \frac{T}{D} = \frac{10.5}{19.8} \Rightarrow$$

$$C_{11} = 0.530303$$

$$C_{P1} = 1.45 \cdot C_P - 0.315 - 0.0225 \cdot lcb = 1.45 \cdot 0.7653575 - 0.0225 \cdot (-0.7) \Rightarrow$$

$$C_{P1} = 0.8105184$$



Ποσοστό ομόρου W

$$\begin{aligned}
 W &= C_9 \cdot C_V \cdot \frac{L}{T} \cdot \left( 0.0661875 + 1.21756 \cdot C_{11} \cdot \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0.24558 \\
 &\cdot \sqrt{\frac{B}{L \cdot (1 - C_{P1})} - \frac{0.09726}{0.95 - C_P} + \frac{0.11434}{0.95 - C_B}} + 0.75 \cdot C_{stern} \cdot C_V \\
 &+ 0.002 \cdot C_{stern} \\
 &= 10.87325 \cdot 0.0021428 \cdot \frac{236.9}{10.5} \\
 &\cdot \left( 0.0661875 + 1.21756 \cdot 0.530303 \cdot \frac{0.0021428}{(1 - 0.8105184)} \right) + 0.24558 \\
 &\cdot \sqrt{\frac{44}{236.9 \cdot (1 - 0.8105184)} - \frac{0.09726}{0.95 - 0.7653575} + \frac{0.11434}{0.95 - 0.76}} \\
 &+ 0.75 \cdot 10 \cdot 0.0021428 + 0.002 \cdot 10 \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$W = 0.3928835$$

$$C_{10} = \frac{B}{L} = \frac{44}{236.9} \Rightarrow$$

$$C_{10} = 0.185732$$

Συντελεστής μείωσης ώσης

$$\begin{aligned}
 t &= 0.001979 \cdot \frac{L}{B - B \cdot C_{P1}} + 1.0585 \cdot C_{10} - 0.00524 - 0.1418 \cdot \frac{D^2}{B \cdot T} + 0.0015 \\
 &\cdot C_{stern} \\
 &= 0.001979 \cdot \frac{236.9}{44 - 44 \cdot 0.8105184} + 1.0585 \cdot 0.185732 - 0.00524 \\
 &- 0.1418 \cdot \frac{19.8^2}{44 \cdot 10.5} + 0.0015 \cdot 10 \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$t = 0.1422633$$

Απαιτούμενη ώση έλικας

$$T = \frac{R_{TOTAL}}{1 - t} = \frac{1003.3807}{1 - 0.1422633} \Rightarrow$$

$$T = 1169.8 [kN]$$

Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας έλικας

$$\begin{aligned}
 A_E/A_0 &= K + (1.3 + 0.3 \cdot Z) \cdot \frac{T}{D^2 \cdot (p_0 + \rho \cdot g \cdot h - p_v)} \\
 &= 0.2 + (1.3 + 0.3 \cdot 4) \cdot \frac{1169.8}{7^2 \cdot (10200 + 104.6 \cdot 9.81 \cdot 6.8 - 175.7)} \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$A_E/A_0 = 0.5579649$$

Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής

$$n_R = 0.9922 - 0.05908 \cdot \frac{A_E}{A_0} + 0.07424 \cdot (C_P - 0.0225 \cdot lcb)$$

$$= 0.9922 - 0.05908 \cdot 0.5579649 + 0.07424$$

$$\cdot (0.7653575 - 0.0225 \cdot (-0.7)) \Rightarrow$$

$$n_R = 1.0172249$$

Μηχανικός βαθμός απόδοσης

$$n_S = 0.99$$

Βαθμός απόδοσης έλικας

$$n_O = 0.52$$

Ισχύς ρυμούλκησης

$$P_E = \frac{R_{TOTAL} \cdot V}{75} = \frac{102316.4 \cdot 8.2304}{75} \Rightarrow$$

$$P_E = 11228.1 [PS] \text{ ή } P_E = 8372.9 [kW]$$

Shaft Horse power – Ισχύς στον άξονα της Μηχανής (SHP)

$$SHP = P_B = \frac{P_E}{n_R \cdot n_S \cdot n_O \cdot n_H} = \frac{11228.1}{1.0172249 \cdot 0.99 \cdot 0.52 \cdot 1.412804} \Rightarrow$$

$$\underline{\underline{SHP = 15176 [PS] \text{ ή } SHP = 14969 [HP] \text{ ή } SHP = 11162 [kW]}}$$

Maximum Continuous Rating - Μέγιστη Συνεχής Ισχύ (MCR)

MCR Calculation			
1	Shaft power on propulsion motors PS [kW] (10%SM included)- Engine power for propulsion PB1 [kW]	[1.1*Pb]	12278.4
2	<b>Total engine power demand [kW]</b>	[1]	<b>12278.4</b>
4	<b>Total engine power installed PB [kW]</b>	[5]/[10]	<b>14445</b>
5	Loading of engines (assumed)		0.85

$$MCR = 14445 [kW] \text{ ή } MCR = 19371 [HP] \text{ ή } MCR = 19640 [PS]$$

**V) Προκαταρκτική Εκτίμηση Ελάχιστου Απαιτούμενου Έρματος**

Από τους κανονισμούς της MARPOL(Marine Pollution) σε όλες τις καταστάσεις ερματισμού πρέπει να πληρούνται κάποιες απαιτήσεις πρωαίου και πρυμναίου βυθίσματος [14]. Τον υπολογισμό του ελάχιστου έρματος που απαιτείται για την επίτευξη του επιθυμητού βυθίσματος θα τον κάνουμε για την δυσχερέστερη κατάσταση που μπορεί να ταξιδέψει το πλοίο. Αυτή είναι η Full Load Arrival Condition, στην οποία έχουμε το 10% των αναλωσίμων.

Επιλέγοντας διάμετρο έλικας  $D = 7$  [m] η σχέση που δίνει το ελάχιστο πρυμναίο βύθισμα είναι :

$$T_A \geq D + 0.6 = 7 + 0.6 \Rightarrow \quad \quad \quad T_A \geq 7.6 \text{ [m]}$$

Αντίστοιχα για το πρωαίο βύθισμα είναι:

$$T_F \geq 0.027 * L_{BP} = 0.027 \times 230 = 6.21 \text{ [m]} \Rightarrow \quad \quad \quad T_F \geq 6.21 \text{ [m]}$$

Άρα το μέσο βύθισμα είναι ίσο με:

$$T_m = 6.905 \text{ [m]}$$

Ο συντελεστής γάστρας στην κατάσταση ερματισμού είναι:

$$C_{BB} = C_B - C \times (1 - C_B) \times \frac{T - T_m}{T} = 0.76 - 0.4 \times (1 - 0.76) \times \frac{10.5 - 6.905}{10.5} \Rightarrow$$

$$C_{BB} = 0.727131$$

και το αντίστοιχο εκτόπισμα θα πρέπει να είναι ίσο με:

$$\Delta = C_\gamma \times L \times B \times T_m \times C_{BB} = 1.027 \times 230 \times 44 \times 6.905 \times 0.727131 \Rightarrow$$

$$\Delta = 52183 \text{ [tons]}$$

Επομένως, το ελάχιστο απαιτούμενο έρμα στην Full Load Arrival Condition θα είναι:

$$W.B_{min} = \Delta - L.S. - crew - miscellaneous - 10\% \text{ αναλωσίμων}$$

$$= 52138 - 3.375 - 683 - 10\% \times 3416 \Rightarrow$$

$$\underline{W.B_{min} = 31111 \text{ [tons]}}$$

και ο απαιτούμενος όγκος των δεξαμενών έρματος θα πρέπει να είναι:

$$V = \frac{W.B_{min}}{1.025} = \frac{31111}{1.025} \Rightarrow$$

$$\underline{V = 30352 \text{ [m}^3\text{]}}$$



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Υδροστατικοί Υπολογισμοί – Καταστάσεις Φόρτωσης**

➤ *Υπολογισμοί Υδροστατικών Μεγεθών*

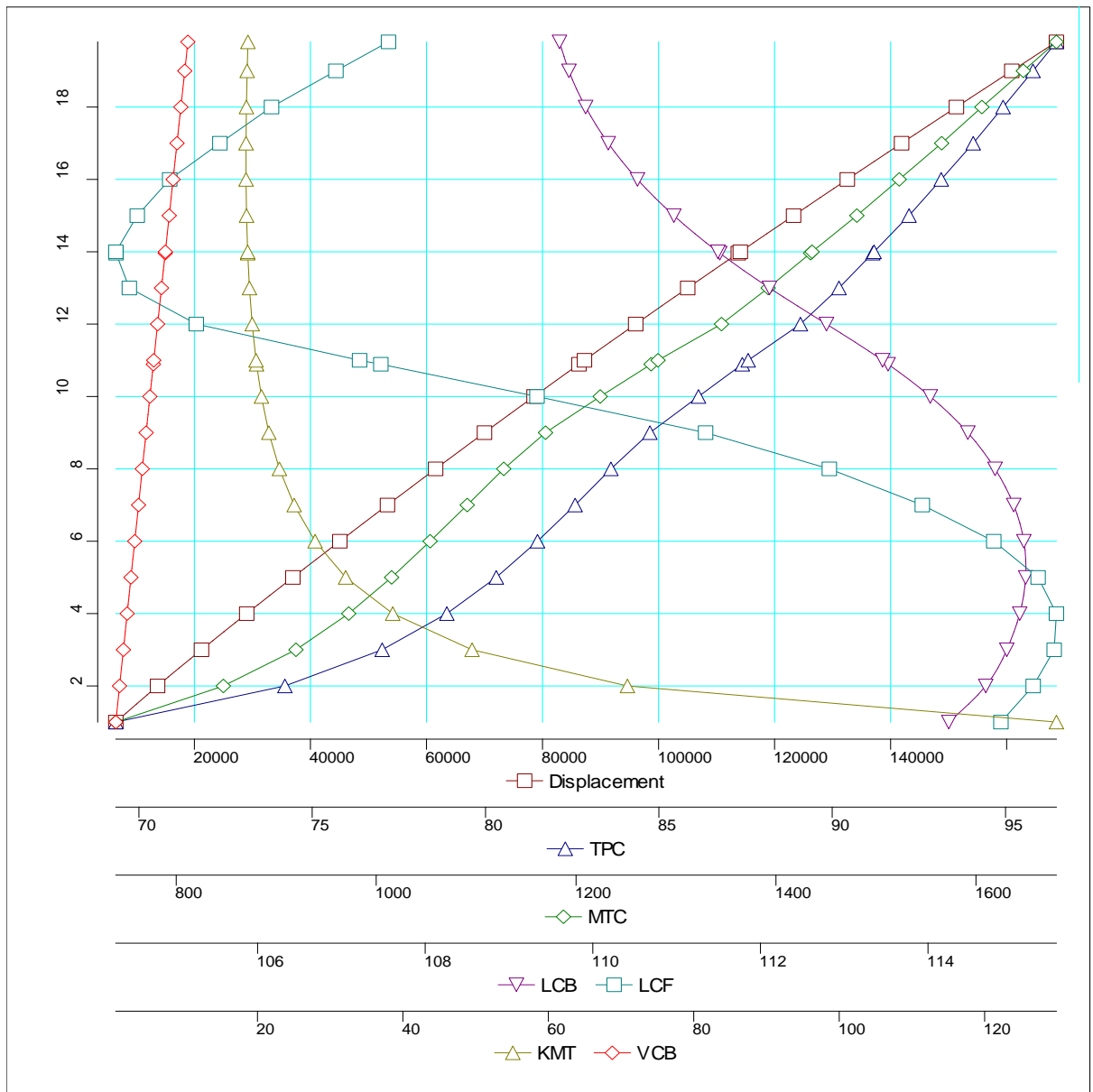
Hydrostatics

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )
1.00	6446.76	114.248	0.515	6764.24	114.870	2639.022	129.862	6862.81
2.00	13646.12	114.689	1.038	7240.17	115.255	1428.820	70.872	7549.16
3.00	21217.29	114.940	1.561	7513.95	115.506	998.658	49.509	8128.42
4.00	29014.39	115.095	2.082	7695.91	115.532	773.049	38.601	8666.44
5.00	36975.10	115.165	2.603	7835.02	115.314	634.264	32.133	9186.60
6.00	45066.00	115.144	3.123	7951.15	114.785	541.053	27.923	9701.56
7.00	53270.73	115.022	3.644	8057.04	113.932	474.740	25.048	10220.75
8.00	61581.18	114.800	4.164	8157.82	112.822	425.354	23.018	10746.90
9.00	69997.99	114.475	4.686	8267.40	111.345	388.935	21.568	11292.42
10.00	78541.70	114.026	5.210	8404.10	109.334	363.684	20.545	11876.10
11.00	87225.39	113.457	5.736	8543.95	107.216	343.784	19.801	12470.81
12.00	96060.18	112.788	6.267	8690.93	105.268	328.417	19.272	13068.44
13.00	105026.30	112.108	6.799	8799.50	104.469	311.673	18.899	13613.58
13.94	113751.04	111.515	7.311	8894.69	104.310	297.370	18.656	14124.04
14.00	114097.56	111.493	7.332	8898.17	104.307	296.828	18.648	14144.10
15.00	123269.55	110.967	7.865	8996.60	104.563	284.171	18.501	14673.29
16.00	132538.16	110.533	8.399	9087.38	104.951	272.742	18.429	15201.92
17.00	141899.33	110.184	8.934	9177.30	105.550	262.711	18.427	15733.18
18.00	151349.47	109.914	9.469	9261.34	106.165	253.524	18.479	16264.97
19.00	160885.81	109.715	10.004	9345.58	106.934	245.508	18.580	16801.54
19.80	168576.26	109.602	10.433	9411.35	107.562	239.711	18.689	17232.79

Hydrostatics

Draft (m)	CB	CM	CP	CW	BML (m)	BMT (m)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
1.00	0.621	0.945	0.658	0.668	2638.506	129.347	69.33	739.56
2.00	0.658	0.967	0.680	0.715	1427.782	69.834	74.21	847.12
3.00	0.682	0.978	0.697	0.742	997.098	47.948	77.02	919.81
4.00	0.699	0.984	0.711	0.760	770.966	36.519	78.88	972.57
5.00	0.713	0.987	0.722	0.774	631.660	29.530	80.31	1015.47
6.00	0.724	0.989	0.732	0.786	537.930	24.800	81.50	1054.01
7.00	0.734	0.991	0.741	0.796	471.096	21.404	82.58	1091.12
8.00	0.742	0.992	0.748	0.806	421.189	18.854	83.62	1127.71
9.00	0.750	0.993	0.755	0.817	384.249	16.882	84.74	1169.42
10.00	0.757	0.993	0.762	0.830	358.474	15.336	86.14	1224.14
11.00	0.764	0.994	0.769	0.844	338.048	14.065	87.58	1282.01
12.00	0.772	0.995	0.776	0.859	322.151	13.005	89.08	1345.47
13.00	0.779	0.995	0.783	0.870	304.874	12.100	90.19	1392.17
13.94	0.785	0.995	0.789	0.879	290.059	11.344	91.17	1434.54
14.00	0.786	0.995	0.789	0.879	289.496	11.316	91.21	1436.12
15.00	0.792	0.996	0.796	0.889	276.306	10.636	92.22	1480.87
16.00	0.799	0.996	0.802	0.898	264.343	10.030	93.15	1523.28
17.00	0.805	0.996	0.808	0.907	253.778	9.493	94.07	1565.69
18.00	0.811	0.996	0.814	0.915	244.056	9.011	94.93	1605.99
19.00	0.816	0.997	0.819	0.923	235.504	8.576	95.79	1647.36
19.80	0.821	0.997	0.824	0.930	229.278	8.257	96.47	1680.47

➤ Υδροστατικό Διάγραμμα



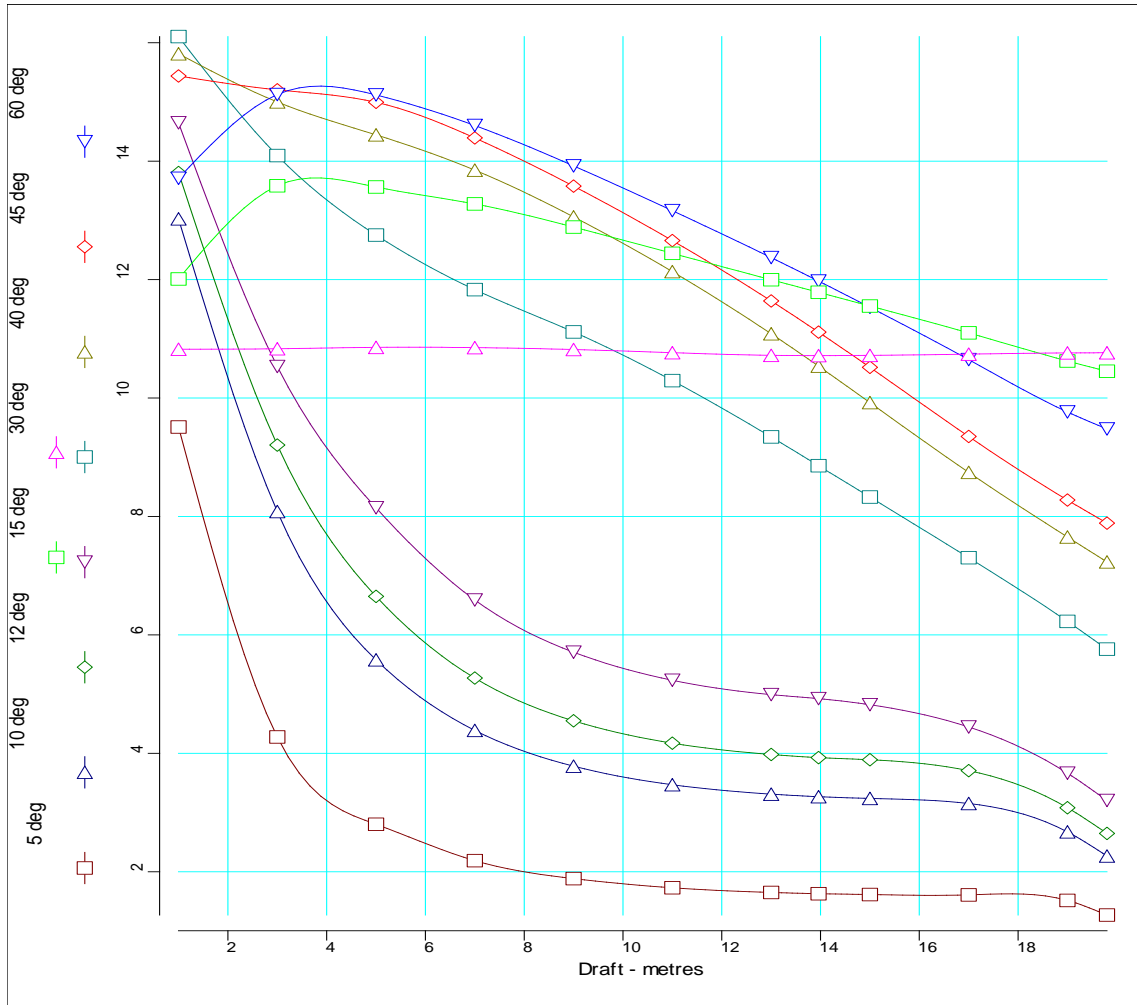
➤ Παραμετρικές Καμπύλες Ευστάθειας (Cross Curves)

KN's in metres

Heel Draft	5.0	10.0	12.0	15.0	30.0	40.0	45.0	60.0	75.0	90.0
1.000	9.511	13.026	13.807	14.648	16.103	15.814	15.439	13.710	12.011	10.823
3.000	4.276	8.084	9.206	10.533	14.095	15.000	15.205	15.125	13.584	10.832
5.000	2.802	5.578	6.651	8.146	12.753	14.444	14.995	15.119	13.564	10.856
7.000	2.188	4.387	5.271	6.590	11.831	13.849	14.392	14.603	13.277	10.851
9.000	1.885	3.783	4.549	5.708	11.116	13.060	13.578	13.920	12.887	10.819
11.000	1.729	3.469	4.171	5.234	10.294	12.135	12.660	13.165	12.444	10.766
13.000	1.651	3.311	3.980	4.991	9.343	11.086	11.640	12.372	11.998	10.721
13.940	1.630	3.268	3.928	4.924	8.857	10.538	11.113	11.975	11.786	10.717
15.000	1.616	3.239	3.892	4.821	8.328	9.923	10.519	11.533	11.554	10.720
17.000	1.609	3.153	3.707	4.445	7.303	8.745	9.351	10.649	11.100	10.741
19.000	1.516	2.673	3.081	3.665	6.228	7.653	8.277	9.765	10.625	10.762
19.800	1.268	2.266	2.647	3.204	5.759	7.233	7.888	9.478	10.453	10.764



➤ Διάγραμμα Cross Curves



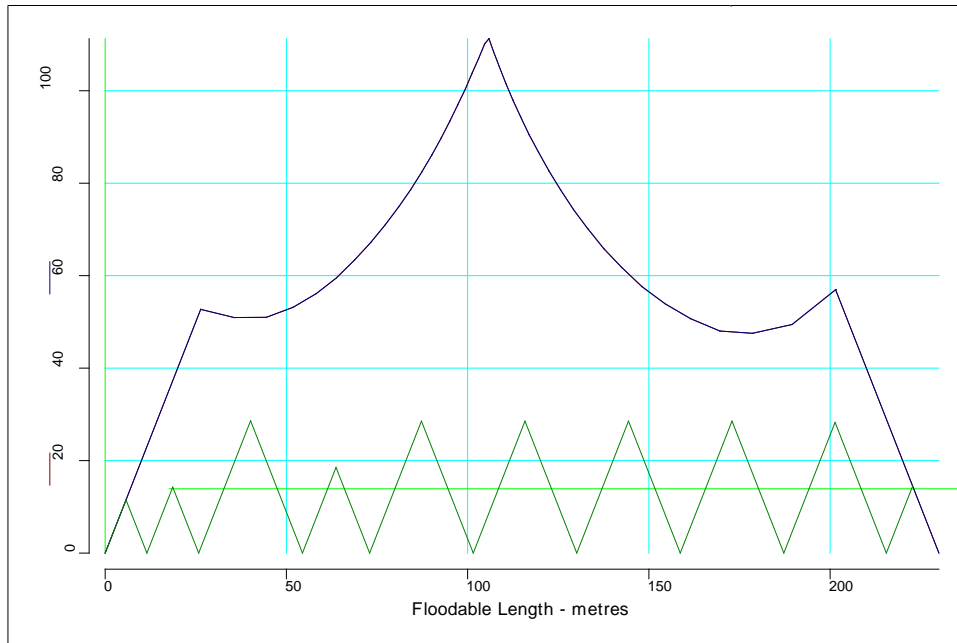
➤ Κατακλύσιμα Μήκη (*Floodable Lengths*)

*Permeability 63%*

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
19660.28	29.846	52.713	26.357	14.626	-10.168
21379.56	37.890	50.941	35.609	14.835	-9.750
23158.33	45.604	50.991	44.472	15.053	-9.318
25014.68	52.411	53.151	51.872	15.277	-8.871
26861.25	58.455	56.120	58.260	15.508	-8.411
28776.53	63.824	59.555	63.861	15.746	-7.938
30838.73	68.645	63.405	68.849	15.989	-7.452
32882.68	72.995	67.214	73.318	16.239	-6.955
34927.98	76.936	71.028	77.309	16.493	-6.448
37080.05	80.539	74.871	80.980	16.753	-5.931
39254.93	83.834	78.630	84.323	17.017	-5.404
41502.40	86.868	82.440	87.365	17.285	-4.869
43783.28	89.668	86.138	90.169	17.557	-4.327
46119.88	92.259	89.817	92.739	17.832	-3.778
48499.72	94.674	93.448	95.111	18.110	-3.224
50924.92	96.914	97.004	97.300	18.391	-2.664
53297.81	99.028	100.327	99.343	18.673	-2.101
55810.91	100.992	103.770	101.227	18.957	-1.534
58230.32	102.905	106.963	103.030	19.242	-0.965
60590.28	104.682	110.094	104.679	19.527	-0.394
61466.05	105.967	111.250	105.884	19.645	0.177
59274.08	107.285	108.439	107.150	19.392	0.748
56726.03	109.007	105.119	108.778	19.140	1.318
54091.43	110.858	101.567	110.542	18.888	1.886
51531.53	112.865	97.995	112.483	18.637	2.451
48987.74	115.058	94.327	114.611	18.388	3.012
46447.11	117.449	90.494	116.957	18.141	3.569
44010.70	120.082	86.708	119.557	17.896	4.120
41520.72	122.966	82.637	122.434	17.654	4.665
39117.00	126.161	78.559	125.648	17.415	5.202
36682.30	129.679	74.291	129.191	17.179	5.732
34384.82	133.589	70.147	133.158	16.947	6.253
32055.34	137.933	65.813	137.595	16.720	6.764
29886.88	142.768	61.755	142.558	16.497	7.265
27659.85	148.182	57.602	148.136	16.279	7.755
25618.29	154.198	53.959	154.386	16.066	8.233
23638.68	160.998	50.695	161.554	15.859	8.698

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
21634.98	168.586	48.021	169.600	15.657	9.150
19875.40	177.111	47.544	178.592	15.462	9.588
18055.48	186.901	49.444	189.517	15.274	10.011
16319.99	195.709	56.971	201.514	15.092	10.419
		0.000	230.000		

➤ *Καμπύλη Κατακλύσιμων Μηκών*

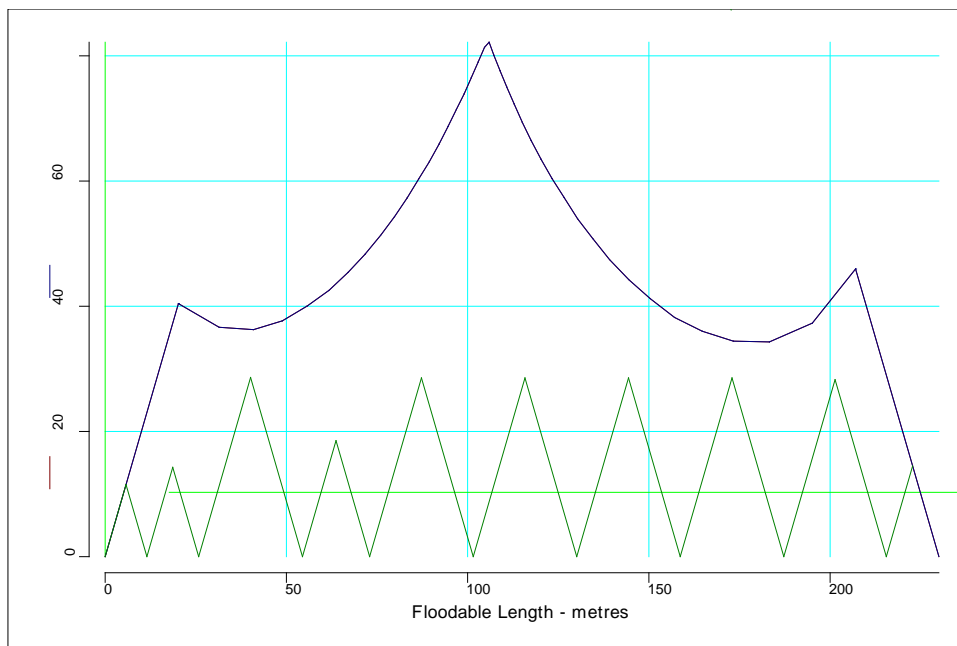


Permeability 85%

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
18624.97	22.768	40.427	20.214	14.500	-10.419
20365.70	32.986	36.654	31.489	14.714	-9.992
22264.62	41.644	36.268	40.947	14.937	-9.549
24119.79	49.187	37.660	48.876	15.166	-9.091
26084.88	55.823	40.022	55.720	15.403	-8.620
27968.16	61.675	42.533	61.725	15.647	-8.135
30002.82	66.874	45.414	67.019	15.896	-7.638
32087.11	71.536	48.346	71.760	16.152	-7.129
34206.12	75.733	51.323	75.991	16.413	-6.609
36411.40	79.541	54.300	79.843	16.679	-6.079
38686.99	83.016	57.316	83.330	16.949	-5.540
41042.31	86.193	60.333	86.511	17.224	-4.992
43313.43	89.124	63.092	89.443	17.502	-4.437
45718.06	91.818	65.924	92.130	17.784	-3.875
48180.08	94.328	68.730	94.618	18.069	-3.307
50651.57	96.643	71.432	96.900	18.356	-2.733
53067.03	98.828	73.938	99.045	18.645	-2.156
55613.67	100.851	76.524	101.016	18.936	-1.575
58166.17	102.813	79.023	102.916	19.228	-0.992
60588.55	104.644	81.361	104.662	19.520	-0.408
61461.07	105.967	82.175	105.930	19.645	0.177
59207.34	107.325	80.095	107.249	19.386	0.762
56594.61	109.095	77.624	108.951	19.127	1.346
53959.96	110.999	75.027	110.803	18.869	1.928
51330.79	113.073	72.318	112.832	18.612	2.507
48645.28	115.343	69.386	115.073	18.357	3.081
46045.50	117.827	66.469	117.525	18.104	3.652
43498.65	120.570	63.485	120.249	17.853	4.216
41013.93	123.587	60.401	123.284	17.605	4.774
38601.07	126.943	57.384	126.617	17.360	5.325
36034.65	130.651	53.977	130.336	17.119	5.868
33742.30	134.800	50.803	134.537	16.881	6.402
31330.57	139.418	47.442	139.181	16.648	6.926
29096.96	144.610	44.258	144.451	16.420	7.439
26936.22	150.419	41.215	150.377	16.196	7.941
24716.53	156.955	38.220	157.084	15.978	8.430
22752.86	164.382	36.003	164.755	15.766	8.907
20723.41	172.696	34.427	173.327	15.559	9.370
18851.05	182.231	34.308	183.253	15.360	9.819

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
17056.69	193.304	37.307	195.088	15.166	10.253
15183.04	202.974	45.962	207.019	14.980	10.671
		0.000	230.000		

➤ **Καμπύλη Κατακλύσιμων Μηκών**

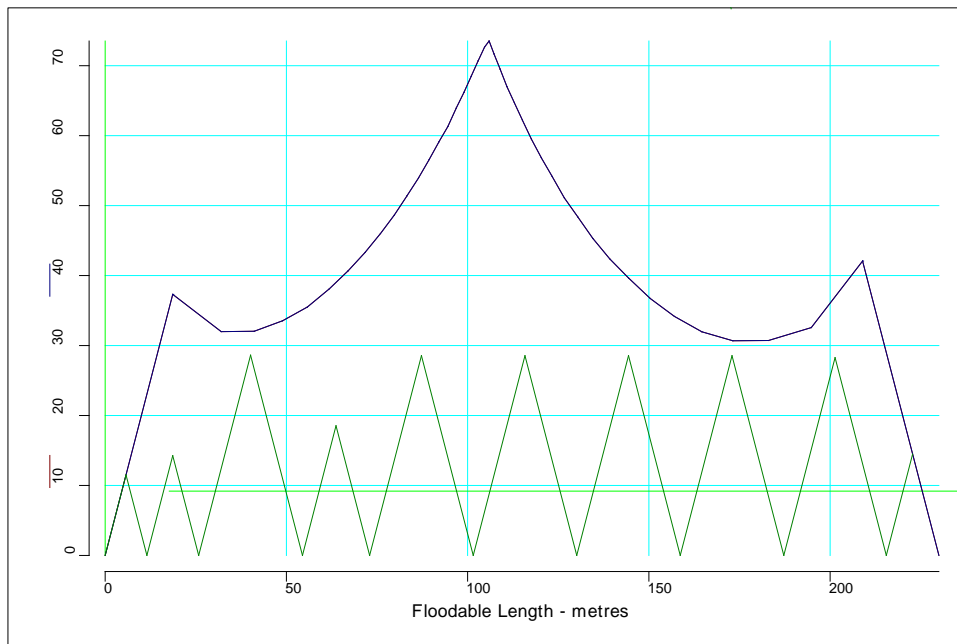


*permeability 95%*

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
18671.70	20.914	37.321	18.660	14.500	-10.419
20353.58	32.986	31.985	32.033	14.714	-9.992
22192.17	41.644	32.040	41.152	14.937	-9.549
24114.91	49.187	33.541	48.950	15.166	-9.091
25980.77	55.823	35.499	55.777	15.403	-8.620
28028.72	61.675	38.048	61.726	15.647	-8.135
30083.22	66.874	40.658	67.006	15.896	-7.638
32187.35	71.536	43.325	71.730	16.152	-7.129
34326.01	75.733	46.004	75.963	16.413	-6.609
36513.58	79.541	48.667	79.798	16.679	-6.079
38793.73	83.016	51.394	83.273	16.949	-5.540
41072.33	86.193	53.970	86.465	17.224	-4.992
43449.40	89.124	56.589	89.393	17.502	-4.437
45813.96	91.818	59.097	92.069	17.784	-3.875
48054.03	94.328	61.318	94.562	18.069	-3.307
50684.38	96.643	63.940	96.853	18.356	-2.733
53102.38	98.828	66.186	99.004	18.645	-2.156
55639.52	100.851	68.483	100.986	18.936	-1.575
58200.61	102.813	70.717	102.901	19.228	-0.992
60496.27	104.644	72.647	104.663	19.520	-0.408
61497.24	105.967	73.520	105.939	19.645	0.177
59242.30	107.325	71.687	107.260	19.386	0.762
56630.87	109.095	69.483	108.978	19.127	1.346
53877.28	110.999	67.009	110.842	18.869	1.928
51335.13	113.073	64.689	112.882	18.612	2.507
48755.01	115.343	62.213	115.122	18.357	3.081
46083.91	117.827	59.510	117.582	18.104	3.652
43540.81	120.570	56.834	120.314	17.853	4.216
41097.77	123.587	54.161	123.331	17.605	4.774
38433.90	126.943	51.104	126.680	17.360	5.325
36135.07	130.651	48.376	130.405	17.119	5.868
33628.52	134.800	45.298	134.565	16.881	6.402
31327.55	139.418	42.392	139.216	16.648	6.926
29174.18	144.610	39.621	144.472	16.420	7.439
26900.80	150.419	36.725	150.368	16.196	7.941
24777.68	156.955	34.161	157.045	15.978	8.430
22654.55	164.382	31.964	164.652	15.766	8.907
20728.62	172.696	30.681	173.187	15.559	9.370
18935.35	182.231	30.726	182.999	15.360	9.819

Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
17037.57	193.304	32.563	194.808	15.166	10.253
15335.29	204.627	42.078	208.961	14.980	10.671
		0.000	230.000		

➤ **Καμπύλη Κατακλύσιμων Μηκών**



➤ Full Load Departure

Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	FO	0.9500
	DO	0.8400
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Intact State

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
NO.3 W.B.D.B.TK.	WB	100.0	1.025	815.8	180.75	0.00	1.26	0.0
NO.7-8 W.B.D.B.TK:	WB	100.0	1.025	946.7	115.82	0.00	1.25	0.0
NO.5-6 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2310.9	144.38	0.00	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(P):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	-11.05	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(S):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	11.05	1.25	0.0
NO.1 W.B.S.TK.(P):	WB	33.0	1.025	258.3	207.77	-7.87	4.08	180.8
NO.1 W.B.S.TK.(S):	WB	33.0	1.025	258.3	207.77	7.87	4.08	180.8
FORE PEAK TANK:	WB	100.0	1.025	2230.2	221.4	0.00	9.25	0.0
<b>Total WATER BALLAST</b>				<b>7530.2</b>	<b>173.96</b>	<b>0.00</b>	<b>3.82</b>	<b>361.6</b>
F.O.D.B.TK. NO.1:	FO	98.0	0.950	337.8	207.95	0.00	1.29	1619.5
F.O.D.B.TK. NO.2	FO	98.0	0.950	635.0	193.89	0.00	1.26	9486.5
F.O.D.B.TK. NO.7-8(P)	FO	98.0	0.950	619.5	115.82	-11.36	1.22	1905.8
F.O.D.B.TK. NO.7-8(S)	FO	98.0	0.950	619.5	115.82	11.36	1.22	1905.8
F.O.SERV.TK.(P):	FO	98.0	0.950	76.9	60.98	-17.00	14.86	17.6
F.O.SETTL.TK.(P):	FO	98.0	0.950	75.5	69.06	-20.30	8.97	9.4
F.O.SETTL.TK.2(P):	FO	98.0	0.950	58.3	71.79	-20.30	8.97	7.3
F.O.SETTL.TK.(S):	FO	98.0	0.950	75.5	69.06	20.30	8.97	9.4
F.O.SETTL.TK.2(S):	FO	98.0	0.950	58.3	71.79	20.30	8.97	7.3
F.O.S.TK.No.11(P):	FO	98.0	0.950	169.2	47.26	-20.30	14.86	43.8
F.O.S.TK.No.11(S):	FO	98.0	0.950	169.2	47.26	20.30	14.86	43.8
F.O.D.B.TK.No4:	FO	98.0	0.950	480.5	166.64	0.00	1.23	2847.9
F.O.SERV.TK.(S):	FO	98.0	0.950	76.9	60.98	17.00	14.86	17.6
<b>Total FUEL OIL</b>				<b>3452.1</b>	<b>133.57</b>	<b>0.00</b>	<b>3.78</b>	<b>17921.7</b>
CYL.OIL TK.(P&S):	LO	98.0	0.900	79.9	52.12	0.00	1.23	1217.0
L.O. AUX.TK.(S):	LO	98.0	0.900	71.5	59.82	20.30	7.04	17.8



Παράρτημα Β

Title	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
L.O.STOR. TK.(P):	LO	98.0	0.900	71.5	59.82	-20.30	7.04	17.8
<b>Total LUB OIL</b>				<b>222.9</b>	<b>57.06</b>	<b>0.00</b>	<b>4.95</b>	<b>1252.6</b>
D.O.SETTL.TK.(P):	DO	98.0	0.840	69.7	65.21	-20.30	10.20	12.5
D.O.D.B.TK.(P):	DO	98.0	0.840	190.8	63.71	-8.45	1.22	168.8
D.O.D.B.TK.(S):	DO	98.0	0.840	190.8	63.71	-8.45	1.22	168.8
D.O.SERV.TK.(S):	DO	98.0	0.840	69.7	65.21	20.30	10.20	12.5
<b>Total DIESEL OIL</b>				<b>521.0</b>	<b>64.11</b>	<b>0.00</b>	<b>3.62</b>	<b>362.6</b>
FRESH WATER(P&S):	FW	100.0	1.000	319.0	80.96	0.00	14.90	0.0
<b>Total FRESH WATER</b>				<b>319.0</b>	<b>80.96</b>	<b>0.00</b>	<b>14.90</b>	<b>0.0</b>
C.B.W.TANK:	MISC	98.0	1.000	147.9	50.58	0.00	1.22	0.0
DIST. WATER TK.(S):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	20.30	10.99	0.0
DIST. WATER TK.(P):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	-20.30	10.99	0.0
F.O.OVERFLOW TK.:	MISC	98.0	1.000	78.2	67.56	4.40	1.22	0.0
L.O.CIRC. TK.(S):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	1.00	1.22	0.0
L.O.CLEAN.TK.(P):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	-1.00	1.22	0.0
PRIMING TK.(P&S):	MISC	98.0	1.000	29.0	73.82	0.00	1.22	0.0
SLUDGE TK.1:	MISC	98.0	1.000	33.8	70.64	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.2:	MISC	98.0	1.000	33.3	65.98	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.3:	MISC	98.0	1.000	11.1	62.90	-4.40	1.23	0.0
<b>Total MISCALLANEOUS</b>				<b>670.5</b>	<b>61.22</b>	<b>0.00</b>	<b>3.54</b>	<b>0.0</b>
TEUs ON DECK				27145.9	100.49	0.00	28.52	0.0
TEUs IN HOLDS				23072.7	116.61	0.00	11.76	0.0
<b>Total Cont Set 0</b>				<b>50218.6</b>	<b>107.90</b>	<b>0.00</b>	<b>20.82</b>	<b>0.0</b>
stores				30.0	23.79	0.00	19.80	0.0
<b>Total stores</b>				<b>30.0</b>	<b>23.79</b>	<b>0.00</b>	<b>19.80</b>	<b>0.0</b>
prov.dep.				18.8	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total Provisions</b>				<b>18.8</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
crew				3.4	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total CREW</b>				<b>3.4</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>20014.0</b>	<b>105.84</b>	<b>0.00</b>	<b>12.74</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>62986.3</b>	<b>115.97</b>	<b>0.00</b>	<b>17.44</b>	<b>19898.2</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>83000.3</b>	<b>113.53</b>	<b>0.00</b>	<b>16.30</b>	<b>19898.2</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>83000.4</b>	<b>113.52</b>	<b>0.00</b>	<b>5.48</b>	<b>1218430.8</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>83000.4</b>	<b>113.52</b>	<b>0.00</b>	<b>5.48</b>	<b>1218430.8</b>

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	10.516	metres
Draft aft at marks	10.653	metres
Draft fwd at marks	10.361	metres
Draft at AP	10.653	metres
Draft at FP	10.361	metres
Mean draft at midships	10.507	metres

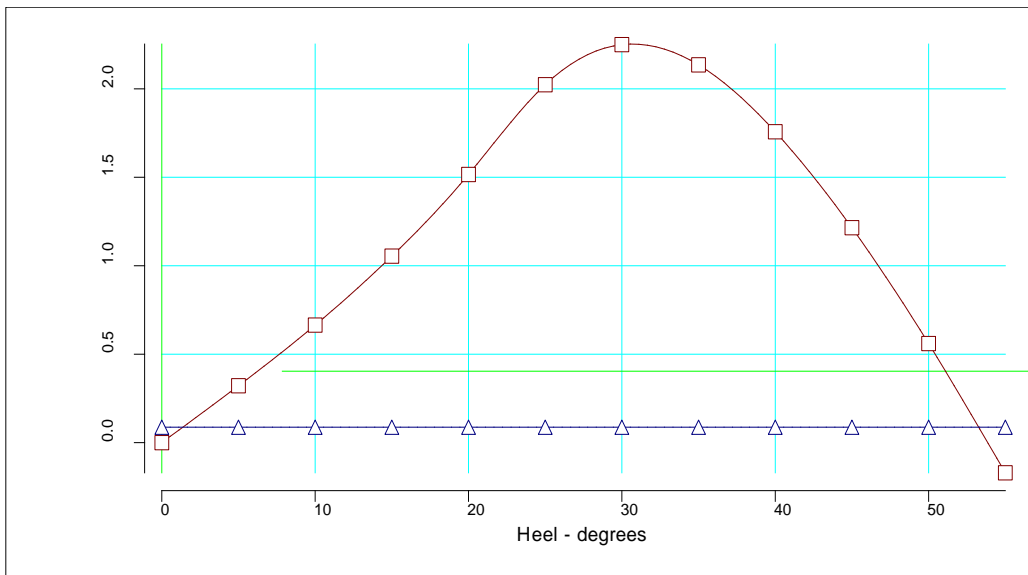
Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.291	metres
KG	16.30	metres
FSC	0.240	metres
KGf	16.54	metres
GMt	3.621	metres
BMt	14.680	metres
BMI	349.920	metres
Waterplane area	8495.77	sq.metres
LCG	113.528	metres
LCB	113.515	metres
TCB	0.000	metres
LCF	108.090	metres
TCF	0.000	metres
TPC	87.082	tonnes/cm
MTC	1262.762	tonnes-m/cm

Propeller Immersion

Propeller tip immersion	7.153	metres
Required percentage immersion	0.000	%
Actual percentage immersion	202.180	%

FULL LOAD DEPARTURE: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	3.6448	-0.291	10.507	9.29[0]	0.0870
5.00	0.3214	3.7749	-0.223	10.459	7.35[0]	0.0870
10.00	0.6642	4.2002	-0.030	10.316	5.36[0]	0.0870
15.00	1.0542	4.9330	0.261	10.075	3.36[0]	0.0870
20.00	1.5159	5.8979	0.619	9.733	1.35[0]	0.0870
25.00	2.0232	4.8760	1.014	9.284	-0.64[0]	0.0870
30.00	2.2497	0.8216	1.377	8.775	-2.63[0]	0.0870
35.00	2.1358	-2.9454	1.746	8.189	-4.59[0]	0.0870
40.00	1.7576	-5.3537	2.067	7.546	-6.52[0]	0.0870
45.00	1.2148	-6.9024	2.318	6.847	-8.40[0]	0.0870
50.00	0.5601	-7.9778	2.509	6.098	-10.22[0]	0.0870
55.00	-0.1708	-8.6881	2.659	5.308	-11.97[0]	0.0870

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	236.900	metres
Profile area above WL	5337.438	sq.metres
Area to leeward (Area b)	1.08590	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00104	m-radians
GZc	0.087	metres
Gust angle	1.367	degrees
Rollback angle	18.333	degrees
Steady state angle	0.912	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	4.188	
X1	0.800	
Cb	0.758	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	6.009	metres
r	1.073	
T	16.937	seconds

IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.587	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.365	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.952	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	3.645	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	2.256	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	30.823	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.912	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

**Condition complies with the regulations**

➤ Full Load Arrival

Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	FO	0.9500
	DO	0.8400
	LO	0.9000

Intact State

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
NO.3 W.B.D.B.TK.	WB	100.0	1.025	815.8	180.75	0.00	1.26	0.0
NO.7-8 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	946.7	115.82	0.00	1.25	0.0
NO.5-6 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2310.9	144.38	0.00	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(P):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	-11.05	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(S):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	11.05	1.25	0.0
NO.1 W.B.S.TK.(P):	WB	33.0	1.025	258.3	207.77	-7.87	4.08	180.8
NO.1 W.B.S.TK.(S):	WB	33.0	1.025	258.3	207.77	7.87	4.08	180.8
FORE PEAK TANK:	WB	100.0	1.025	2230.2	221.4	0.00	9.25	0.0
<b>Total WATER BALLAST</b>				<b>7530.2</b>	<b>173.96</b>	<b>0.00</b>	<b>3.82</b>	<b>361.6</b>
F.O.D.B.TK. NO.1:	FO	10.0	0.950	34.5	207.11	0.00	0.19	1050.6
F.O.D.B.TK. NO.2:	FO	10.0	0.950	64.8	193.72	0.00	0.16	6709.5
F.O.D.B.TK. NO.7-8(P)	FO	10.0	0.950	63.2	115.82	-11.36	0.12	1905.8
F.O.D.B.TK. NO.7-8(S)	FO	10.0	0.950	63.2	115.82	11.36	0.12	1905.8
F.O.SERV.TK.(P):	FO	10.0	0.950	7.8	60.98	-17.00	13.19	17.6
F.O.SETTL.TK.(P):	FO	10.0	0.950	7.7	69.06	-20.30	5.49	9.4
F.O.SETTL.TK.2(P):	FO	10.0	0.950	6.0	71.79	-20.30	5.49	7.3
F.O.SETTL.TK.(S):	FO	10.0	0.950	7.7	69.06	20.30	5.49	9.4
F.O.SETTL.TK.2(S):	FO	10.0	0.950	6.0	71.79	20.30	5.49	7.3
F.O.S.TK.No.11(P):	FO	10.0	0.950	17.3	47.26	-20.30	13.19	43.8
F.O.S.TK.No.11(S):	FO	10.0	0.950	17.3	47.26	20.30	13.19	43.8
F.O.D.B.TK.No4:	FO	10.0	0.950	49.0	166.64	0.00	0.13	2847.9
F.O.SERV.TK.(S):	FO	10.0	0.950	7.8	60.98	17.00	13.19	17.6
<b>Total FUEL OIL</b>				<b>352.3</b>	<b>133.46</b>	<b>0.00</b>	<b>2.42</b>	<b>14575.8</b>
CYL.OIL TK.(P&S):	LO	10.0	0.900	8.1	52.12	0.00	0.13	1217.0
L.O. AUX.TK.(S):	LO	10.0	0.900	7.3	59.82	20.30	5.30	17.8
L.O.STOR. TK.(P):	LO	10.0	0.900	7.3	59.82	-20.30	5.30	17.8

Παράρτημα Β

Title	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<b>Total LUB OIL</b>				<b>22.7</b>	<b>57.06</b>	<b>0.00</b>	<b>3.44</b>	<b>1252.6</b>
D.O.SETTL.TK.(P):	DO	10.0	0.840	7.1	65.21	-20.30	7.78	12.5
D.O.D.B.TK.(P):	DO	10.0	0.840	19.5	63.71	-8.45	0.12	168.8
D.O.D.B.TK.(S):	DO	10.0	0.840	19.5	63.71	8.45	0.12	168.8
D.O.SERV.TK.(S):	DO	10.0	0.840	7.1	65.21	20.30	7.78	12.5
<b>Total DIESEL OIL</b>				<b>53.2</b>	<b>64.11</b>	<b>0.00</b>	<b>2.17</b>	<b>362.6</b>
FRESH WATER:	FW	10.0	1.000	32.0	80.96	0.00	13.19	40.4
<b>Total FRESH WATER</b>				<b>32.0</b>	<b>80.96</b>	<b>0.00</b>	<b>13.19</b>	<b>40.4</b>
C.B.W.TANK:	MISC	98.0	1.000	147.9	50.58	0.00	1.22	0.0
DIST. WATER TK.(S):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	20.30	10.99	0.0
DIST. WATER TK.(P):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	-20.30	10.99	0.0
F.O.OVERFLOW TK.:	MISC	98.0	1.000	78.2	67.56	4.40	1.22	0.0
L.O.CIRC. TK.(S):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	1.00	1.22	0.0
L.O.CLEAN.TK.(P):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	-1.00	1.22	0.0
PRIMING TK.(P&S):	MISC	98.0	1.000	29.0	73.82	0.00	1.22	0.0
SLUDGE TK.1:	MISC	98.0	1.000	33.8	70.64	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.2:	MISC	98.0	1.000	33.3	65.98	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.3:	MISC	98.0	1.000	11.1	62.90	-4.40	1.23	0.0
<b>Total MISCALLANEOUS</b>				<b>670.5</b>	<b>61.22</b>	<b>0.00</b>	<b>3.54</b>	<b>0.0</b>
TEUs ON DECK				27145.9	100.49	0.00	28.52	0.0
TEUs IN HOLDS				23072.7	116.61	0.00	11.76	0.0
<b>Total Cont Set 0</b>				<b>50218.6</b>	<b>107.90</b>	<b>0.00</b>	<b>20.82</b>	<b>0.0</b>
stores				30.0	23.79	0.00	19.80	0.0
<b>Total stores</b>				<b>30.0</b>	<b>23.79</b>	<b>0.00</b>	<b>19.80</b>	<b>0.0</b>
Prov arrival				1.9	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total Provisions</b>				<b>1.9</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
crew				3.4	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total CREW</b>				<b>3.4</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>20014.0</b>	<b>105.84</b>	<b>0.00</b>	<b>12.74</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>58914.5</b>	<b>115.84</b>	<b>0.00</b>	<b>18.31</b>	<b>16633.1</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>78928.5</b>	<b>113.30</b>	<b>0.00</b>	<b>16.90</b>	<b>16633.1</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>78928.5</b>	<b>113.31</b>	<b>0.00</b>	<b>5.23</b>	<b>1210997.9</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>78928.5</b>	<b>113.31</b>	<b>0.00</b>	<b>5.23</b>	<b>1210997.9</b>

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	10.045	metres
Draft aft at marks	10.332	metres
Draft fwd at marks	9.726	metres
Draft at AP	10.332	metres
Draft at FP	9.726	metres
Mean draft at midships	10.029	metres

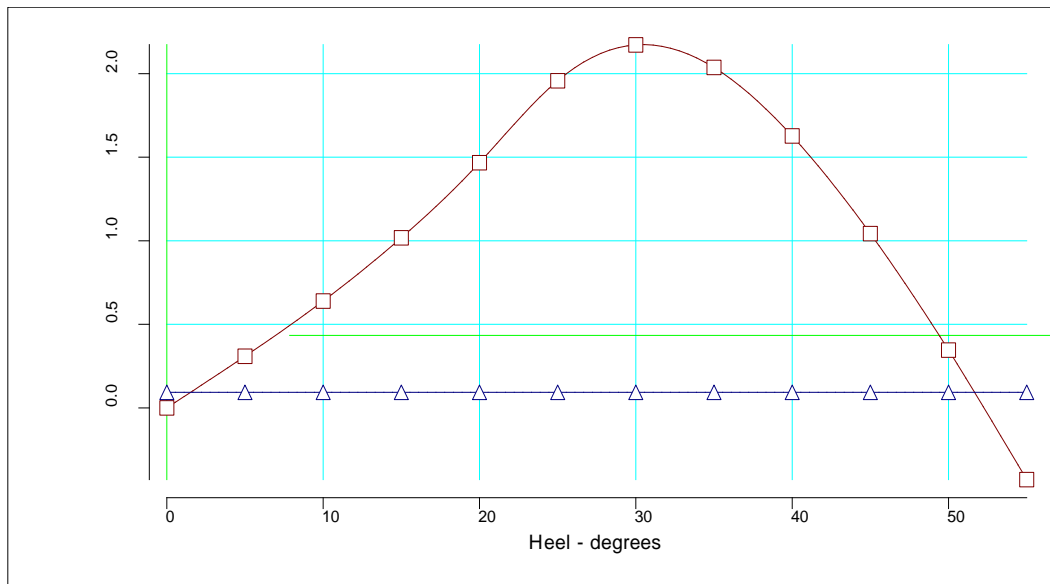
Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.606	metres
KG	16.898	metres
FSC	0.211	metres
KGf	17.109	metres
GMt	3.468	metres
BMt	15.343	metres
BMI	363.168	metres
Waterplane area	8454.09	sq.metres
LCG	113.303	metres
LCB	113.314	metres
TCB	0.000	metres
LCF	108.837	metres
TCF	0.000	metres
TPC	86.654	tonnes/cm
MTC	1246.274	tonnes-m/cm

Propeller Immersion

Propeller tip immersion	6.832	metres
Required percentage immersion	0.000	%
Actual percentage immersion	197.603	%

FULL LOAD ARRIVAL: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	3.5003	-0.606	10.029	9.77[0]	0.0932
5.00	0.3088	3.6332	-0.535	9.983	7.82[0]	0.0932
10.00	0.6394	4.0731	-0.332	9.845	5.83[0]	0.0932
15.00	1.0180	4.8196	-0.024	9.613	3.82[0]	0.0932
20.00	1.4671	5.7101	0.353	9.282	1.80[0]	0.0932
25.00	1.9576	5.3350	0.767	8.831	-0.18[0]	0.0932
30.00	2.1723	0.4340	1.171	8.286	-2.14[0]	0.0932
35.00	2.0372	-3.2403	1.550	7.649	-4.05[0]	0.0932
40.00	1.6272	-5.7704	1.897	6.958	-5.93[0]	0.0932
45.00	1.0431	-7.3859	2.182	6.216	-7.77[0]	0.0932
50.00	0.3456	-8.4695	2.395	5.425	-9.55[0]	0.0932
55.00	-0.4293	-9.1959	2.559	4.597	-11.26[0]	0.0932



IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	236.900	metres
Profile area above WL	5450.107	sq.metres
Area to leeward (Area b)	1.01339	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00124	m-radians
GZc	0.093	metres
Gust angle	1.526	degrees
Rollback angle	18.599	degrees
Steady state angle	1.018	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	4.387	
X1	0.800	
Cb	0.755	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	7.048	metres
r	1.152	
T	17.499	seconds

IMO 749 Intact Stability Criteria non - Passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.567	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.348	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.915	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	3.500	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	2.174	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	30.487	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	1.018	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	816.079	1.000

➤ **Condition complies with the regulations**

➤ *Water Ballast Departure*

Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	FO	0.9500
	DO	0.8400
	LO	0.9000

Intact State

Title	Cargo	%full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
AFTER PEAK TANK:	WB	100.0	1.025	2070.6	4.46	0.00	13.74	0.0
NO.7-8 W.B.D.B.TK:	WB	100.0	1.025	946.7	115.82	0.00	1.25	0.0
NO.5-6 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2310.9	144.38	0.00	1.25	0.0
NO.9-10 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2174.9	88.10	0.00	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(P):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	-11.05	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(S):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	11.05	1.25	0.0
NO.13 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	753.7	19.56	-13.34	10.60	0.0
NO.13 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	753.7	19.56	13.34	10.60	0.0
NO.3 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	674.5	180.60	-16.55	8.77	0.0
NO.3 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	674.5	180.60	16.55	8.77	0.0
NO.4 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	893.5	166.52	-18.91	8.29	0.0
NO.4 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	893.5	166.52	18.91	8.29	0.0
NO.10 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	696.6	80.96	-19.61	5.76	0.0
NO.10 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	696.6	80.96	19.61	5.76	0.0
NO.5 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	874.7	151.84	-19.69	7.77	0.0
NO.5 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	874.7	151.84	19.69	7.77	0.0
NO.6 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	1024.1	137.63	-19.74	7.55	0.0
NO.6 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	1024.1	137.63	19.74	7.55	0.0
NO.7 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	917.8	123.38	-19.74	7.49	0.0
NO.7 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	917.8	123.38	19.74	7.49	0.0
NO.8 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	1032.5	109.10	-19.74	7.49	0.0
NO.8 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	1032.5	109.10	19.74	7.49	0.0
NO.9 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	975.1	94.40	-19.74	7.49	0.0
NO.9 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	975.1	94.40	19.74	7.49	0.0
FORE PEAK W.B.T	WB	85.0	1.025	1895.7	221.39	0.00	8.08	2149.3

Παράρτημα Β

Title	Cargo	%full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<b>Total WATER BALLAST</b>				<b>25793.8</b>	<b>118.20</b>	<b>0.00</b>	<b>6.78</b>	<b>2149.3</b>
F.O.D.B.TK. NO.1:	FO	98.0	0.950	337.8	207.95	0.00	1.29	1619.5
F.O.D.B.TK. NO2	FO	98.0	0.950	635.0	193.89	0.00	1.26	9486.5
F.O.D.B.TK. NO.7-8(P)	FO	98.0	0.950	619.5	115.82	-11.36	1.22	1905.8
F.O.D.B.TK. NO.7-8(S)	FO	98.0	0.950	619.5	115.82	11.36	1.22	1905.8
F.O.SERV.TK.(P):	FO	98.0	0.950	76.9	60.98	-17.00	14.86	17.6
F.O.SETTL.TK.(P):	FO	98.0	0.950	75.5	69.06	-20.30	8.97	9.4
F.O.SETTL.TK.2(P):	FO	98.0	0.950	58.3	71.79	-20.30	8.97	7.3
F.O.SETTL.TK.(S):	FO	98.0	0.950	75.5	69.06	20.30	8.97	9.4
F.O.SETTL.TK.2(S):	FO	98.0	0.950	58.3	71.79	20.30	8.97	7.3
F.O.S.TK.No.11(P):	FO	98.0	0.950	169.2	47.26	-20.30	14.86	43.8
F.O.S.TK.No.11(S):	FO	98.0	0.950	169.2	47.26	20.30	14.86	43.8
F.O.D.B.TK.No4:	FO	98.0	0.950	480.5	166.64	0.00	1.23	2847.9
F.O.SERV.TK.(S):	FO	98.0	0.950	76.9	60.98	17.00	14.86	17.6
<b>Total FUEL OIL</b>				<b>3452.1</b>	<b>133.57</b>	<b>0.00</b>	<b>3.78</b>	<b>17921.7</b>
CYL.OIL TK.(P&S):	LO	98.0	0.900	79.9	52.12	0.00	1.23	1217.0
L.O. AUX.TK.(S):	LO	98.0	0.900	71.5	59.82	20.30	7.04	17.8
L.O.STOR. TK.(P):	LO	98.0	0.900	71.5	59.82	-20.30	7.04	17.8
<b>Total LUB OIL</b>				<b>222.9</b>	<b>57.06</b>	<b>0.00</b>	<b>4.95</b>	<b>1252.6</b>
D.O.SETTL.TK.(P):	DO	98.0	0.840	69.7	65.21	-20.30	10.20	12.5
D.O.D.B.TK.(P):	DO	98.0	0.840	190.8	63.71	-8.45	1.22	168.8
D.O.D.B.TK.(S):	DO	98.0	0.840	190.8	63.71	8.45	1.22	168.8
D.O.SERV.TK.(S):	DO	98.0	0.840	69.7	65.21	20.30	10.20	12.5
<b>Total DIESEL OIL</b>				<b>521.0</b>	<b>64.11</b>	<b>0.00</b>	<b>3.62</b>	<b>362.6</b>
FRESH WATER:	FW	100.0	1.000	319.0	80.96	0.00	14.90	0.0
<b>Total FRESH WATER</b>				<b>319.0</b>	<b>80.96</b>	<b>0.00</b>	<b>14.90</b>	<b>0.0</b>
C.B.W.TANK:	MISC	98.0	1.000	147.9	50.58	0.00	1.22	0.0
DIST. WATER TK.(S):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	20.30	10.99	0.0
DIST. WATER TK.(P):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	-20.30	10.99	0.0
F.O.OVERFLOW TK.:	MISC	98.0	1.000	78.2	67.56	4.40	1.22	0.0
L.O.CIRC. TK.(S):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	1.00	1.22	0.0
L.O.CLEAN.TK.(P):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	-1.00	1.22	0.0
PRIMING TK.(P&S):	MISC	98.0	1.000	29.0	73.82	0.00	1.22	0.0
SLUDGE TK.1:	MISC	98.0	1.000	33.8	70.64	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.2:	MISC	98.0	1.000	33.3	65.98	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.3:	MISC	98.0	1.000	11.1	62.90	-4.40	1.23	0.0
<b>Total MISCELLANEOUS</b>				<b>670.5</b>	<b>61.22</b>	<b>0.00</b>	<b>3.54</b>	<b>0.0</b>
TEUs IN HOLDS				5722.5	116.61	0.00	11.76	0.0
<b>Total Cont Set 1 stores</b>				<b>5722.5</b>	<b>116.61</b>	<b>0.00</b>	<b>11.76</b>	<b>0.0</b>
stores				30.0	23.79	0.00	19.80	0.0

Title	Cargo	%full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<b>Total stores</b>				<b>30.0</b>	<b>23.79</b>	<b>0.00</b>	<b>19.80</b>	<b>0.0</b>
prov.dep.				18.8	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total Provisions departure</b>				<b>18.8</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
crew				3.4	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total CREW</b>				<b>3.4</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>20014.0</b>	<b>105.84</b>	<b>0.00</b>	<b>12.74</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>36753.8</b>	<b>116.79</b>	<b>0.00</b>	<b>7.25</b>	<b>21685.9</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>56767.8</b>	<b>112.93</b>	<b>0.00</b>	<b>9.19</b>	<b>21685.9</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>56768.2</b>	<b>112.59</b>	<b>0.00</b>	<b>3.87</b>	<b>1157522.8</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>56768.2</b>	<b>112.59</b>	<b>0.00</b>	<b>3.87</b>	<b>1157522.8</b>

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	7.424	metres
Draft aft at marks	8.010	metres
Draft fwd at marks	6.816	metres
Draft at AP	8.010	metres
Draft at FP	6.816	metres
Mean draft at midships	7.413	metres

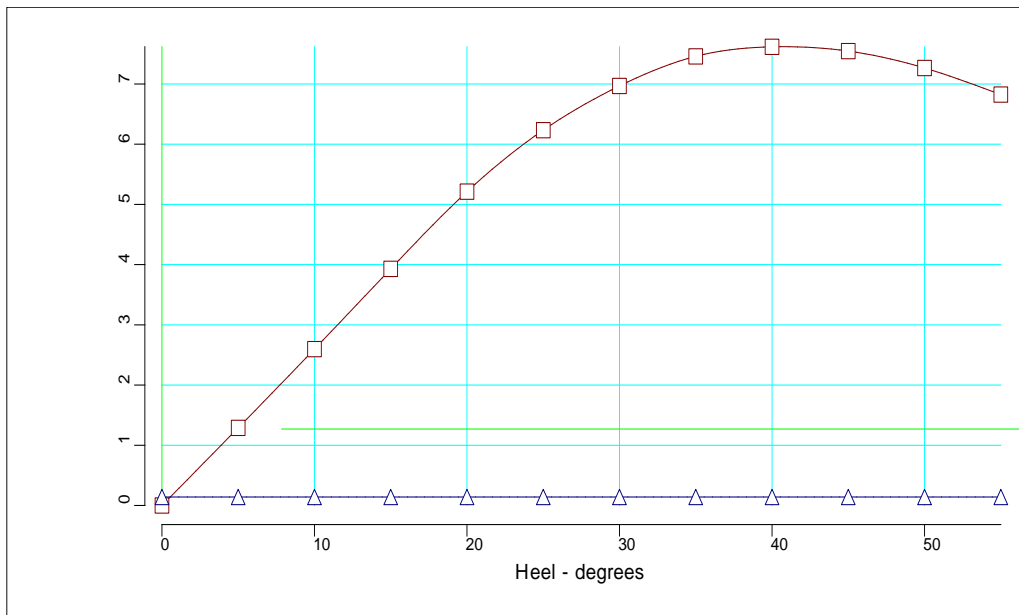
Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	1.195	metres
KG	9.19	metres
FSC	0.382	metres
KGf	9.572	metres
GMt	14.786	metres
BMt	20.390	metres
BMI	455.435	metres
Waterplane area	8145.96	sq.metres
LCG	112.930	metres
LCB	112.593	metres
TCB	0.000	metres
LCF	112.877	metres
TCF	0.000	metres
TPC	83.496	tonnes/cm
MTC	1124.097	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Propeller Immersion

Propeller tip immersion	4.510	metres
Required percentage immersion	0.000	%
Actual percentage immersion	164.433	%

WATER BALLAST DEPARTURE: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	14.7371	-1.195	7.413	12.39[0]	0.1417
5.00	1.2894	14.7628	-1.135	7.375	10.43[0]	0.1417
10.00	2.5972	15.2075	-0.957	7.260	8.42[0]	0.1417
15.00	3.9299	15.3854	-0.676	7.061	6.37[0]	0.1417
20.00	5.2115	13.8862	-0.309	6.759	4.33[0]	0.1417
25.00	6.2328	10.0945	0.135	6.252	2.40[0]	0.1417
30.00	6.9666	7.4504	0.620	5.547	0.60[0]	0.1417
35.00	7.4584	3.7742	1.109	4.680	-1.08[0]	0.1417
40.00	7.6168	0.6555	1.524	3.748	-2.72[0]	0.1417
45.00	7.5462	-1.9577	1.915	2.758	-4.31[0]	0.1417
50.00	7.2657	-4.0818	2.290	1.740	-5.87[0]	0.1417
55.00	6.8247	-5.7249	2.641	0.702	-7.37[0]	0.1417

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	236.900	metres
Profile area above WL	6018.637	sq.metres
Area to leeward (Area b)	4.46885	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00068	m-radians
GZc	0.142	metres
Gust angle	0.551	degrees
Rollback angle	23.946	degrees
Steady state angle	0.367	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	5.936	
X1	0.800	
Cb	0.735	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	2.110	metres
r	0.901	
T	9.345	seconds

IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	1.989	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	1.292	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	3.281	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	14.737	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	7.622	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	40.972	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.367	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

➤ **Condition complies with the regulations**

➤ *Water Ballast Arrival*

Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	FO	0.9500
	DO	0.8400
	LO	0.9000

Intact State

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
AFTER PEAK TANK:	WB	100.0	1.025	2070.6	4.46	0.00	13.74	0.0
NO.7-8 W.B.D.B.TK:	WB	100.0	1.025	946.7	115.82	0.00	1.25	0.0
NO.5-6 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2310.9	144.38	0.00	1.25	0.0
NO.9-10 W.B.D.B.TK.:	WB	100.0	1.025	2174.9	88.10	0.00	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(P):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	-11.05	1.25	0.0
NO.4 W.B.D.B.TK.(S):	WB	100.0	1.025	355.0	166.35	11.05	1.25	0.0
NO.13 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	753.7	19.56	-13.34	10.60	0.0
NO.13 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	753.7	19.56	13.34	10.60	0.0
NO.3 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	674.5	180.60	-16.55	8.77	0.0
NO.3 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	674.5	180.60	16.55	8.77	0.0
NO.4 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	893.5	166.52	-18.91	8.29	0.0
NO.4 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	893.5	166.52	18.91	8.29	0.0
NO.10 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	696.6	80.96	-19.61	5.76	0.0
NO.10 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	696.6	80.96	19.61	5.76	0.0
NO.5 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	874.7	151.84	-19.69	7.77	0.0
NO.5 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	874.7	151.84	19.69	7.77	0.0
NO.6 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	1024.1	137.63	-19.74	7.55	0.0
NO.6 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	1024.1	137.63	19.74	7.55	0.0
NO.7 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	917.8	123.38	-19.74	7.49	0.0
NO.7 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	917.8	123.38	19.74	7.49	0.0
NO.8 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	1032.5	109.10	-19.74	7.49	0.0
NO.8 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	1032.5	109.10	19.74	7.49	0.0
NO.9 W.B.S.TK.(P):	WB	100.0	1.025	975.1	94.40	-19.74	7.49	0.0
NO.9 W.B.S.TK.(S):	WB	100.0	1.025	975.1	94.40	19.74	7.49	0.0
FORE PEAK W.B.T	WB	85.0	1.025	1895.7	221.39	0.00	8.08	2149.3
<b>Total WATER BALLAST</b>				<b>25793.8</b>	<b>118.20</b>	<b>0.00</b>	<b>6.78</b>	<b>2149.3</b>



Παράρτημα Β

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
F.O.D.B.TK. NO.1:	FO	10.0	0.950	34.5	207.11	0.00	0.19	1050.6
F.O.D.B.TK. NO.2:	FO	10.0	0.950	64.8	193.72	0.00	0.16	6709.5
F.O.D.B.TK. NO.7-8(P)	FO	10.0	0.950	63.2	115.82	-11.36	0.12	1905.8
F.O.D.B.TK. NO.7-8(S)	FO	10.0	0.950	63.2	115.82	11.36	0.12	1905.8
F.O.SERV.TK.(P):	FO	10.0	0.950	7.8	60.98	-17.00	13.19	17.6
F.O.SETTL.TK.(P):	FO	10.0	0.950	7.7	69.06	-20.30	5.49	9.4
F.O.SETTL.TK.2(P):	FO	10.0	0.950	6.0	71.79	-20.30	5.49	7.3
F.O.SETTL.TK.(S):	FO	10.0	0.950	7.7	69.06	20.30	5.49	9.4
F.O.SETTL.TK.2(S):	FO	10.0	0.950	6.0	71.79	20.30	5.49	7.3
F.O.S.TK.No.11(P):	FO	10.0	0.950	17.3	47.26	-20.30	13.19	43.8
F.O.S.TK.No.11(S):	FO	10.0	0.950	17.3	47.26	20.30	13.19	43.8
F.O.D.B.TK.No4:	FO	10.0	0.950	49.0	166.64	0.00	0.13	2847.9
F.O.SERV.TK.(S):	FO	10.0	0.950	7.8	60.98	17.00	13.19	17.6
<b>Total FUEL OIL</b>				<b>352.3</b>	<b>133.46</b>	<b>0.00</b>	<b>2.42</b>	<b>14575.8</b>
CYL.OIL TK.(P&S):	LO	10.0	0.900	8.1	52.12	0.00	0.13	1217.0
L.O. AUX.TK.(S):	LO	10.0	0.900	7.3	59.82	20.30	5.30	17.8
L.O.STOR. TK.(P):	LO	10.0	0.900	7.3	59.82	-20.30	5.30	17.8
<b>Total LUB OIL</b>				<b>22.7</b>	<b>57.06</b>	<b>0.00</b>	<b>3.44</b>	<b>1252.6</b>
D.O.SETTL.TK.(P):	DO	10.0	0.840	7.1	65.21	-20.30	7.78	12.5
D.O.D.B.TK.(P):	DO	10.0	0.840	19.5	63.71	-7.40	0.12	168.8
D.O.D.B.TK.(S):	DO	10.0	0.840	19.5	63.71	7.40	0.12	168.8
D.O.SERV.TK.(S):	DO	10.0	0.840	7.1	65.21	20.30	7.78	12.5
<b>Total DIESEL OIL</b>				<b>53.2</b>	<b>64.11</b>	<b>0.00</b>	<b>2.17</b>	<b>362.6</b>
FRESH WATER:	FW	10.0	1.000	32.0	80.96	0.00	13.19	40.4
<b>Total FRESH WATER</b>				<b>32.0</b>	<b>80.96</b>	<b>0.00</b>	<b>13.19</b>	<b>40.4</b>
C.B.W.TANK:	MISC	98.0	1.000	147.9	50.58	0.00	1.22	0.0
DIST. WATER TK.(S):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	20.30	10.99	0.0
DIST. WATER TK.(P):	MISC	98.0	1.000	79.5	59.82	-20.30	10.99	0.0
F.O.OVERFLOW TK.:	MISC	98.0	1.000	78.2	67.56	4.40	1.22	0.0
L.O.CIRC. TK.(S):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	1.00	1.22	0.0
L.O.CLEAN.TK.(P):	MISC	98.0	1.000	89.1	63.71	-1.00	1.22	0.0
PRIMING TK.(P&S):	MISC	98.0	1.000	29.0	73.82	0.00	1.22	0.0
SLUDGE TK.1:	MISC	98.0	1.000	33.8	70.64	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.2:	MISC	98.0	1.000	33.3	65.98	-4.40	1.22	0.0
SLUDGE TK.3:	MISC	98.0	1.000	11.1	62.90	-4.40	1.23	0.0
<b>Total MISCALLANEOUS</b>				<b>670.5</b>	<b>61.22</b>	<b>0.00</b>	<b>3.54</b>	<b>0.0</b>
TEUs IN HOLDS				5722.5	116.61	0.00	11.76	0.0
<b>Total Cont Set 1</b>				<b>5722.5</b>	<b>116.61</b>	<b>0.00</b>	<b>11.76</b>	<b>0.0</b>
stores				30.0	23.79	0.00	19.80	0.0
<b>Total stores</b>				<b>30.0</b>	<b>23.79</b>	<b>0.00</b>	<b>19.80</b>	<b>0.0</b>

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
Prov arrival				1.9	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total Provisions arrival</b>				<b>1.9</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
crew				3.4	67.40	0.00	21.30	0.0
<b>Total CREW</b>				<b>3.4</b>	<b>67.40</b>	<b>0.00</b>	<b>21.30</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>20014.0</b>	<b>105.84</b>	<b>0.00</b>	<b>12.74</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>32682.0</b>	<b>116.66</b>	<b>0.00</b>	<b>7.55</b>	<b>18420.8</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>52696.0</b>	<b>112.55</b>	<b>0.00</b>	<b>9.52</b>	<b>18420.8</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>52696.7</b>	<b>112.18</b>	<b>0.00</b>	<b>3.62</b>	<b>1147702.4</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>52696.7</b>	<b>112.18</b>	<b>0.00</b>	<b>3.62</b>	<b>1147702.4</b>

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	6.933	metres
Draft aft at marks	7.608	metres
Draft fwd at marks	6.237	metres
Draft at AP	7.608	metres
Draft at FP	6.237	metres
Mean draft at midships	6.922	metres

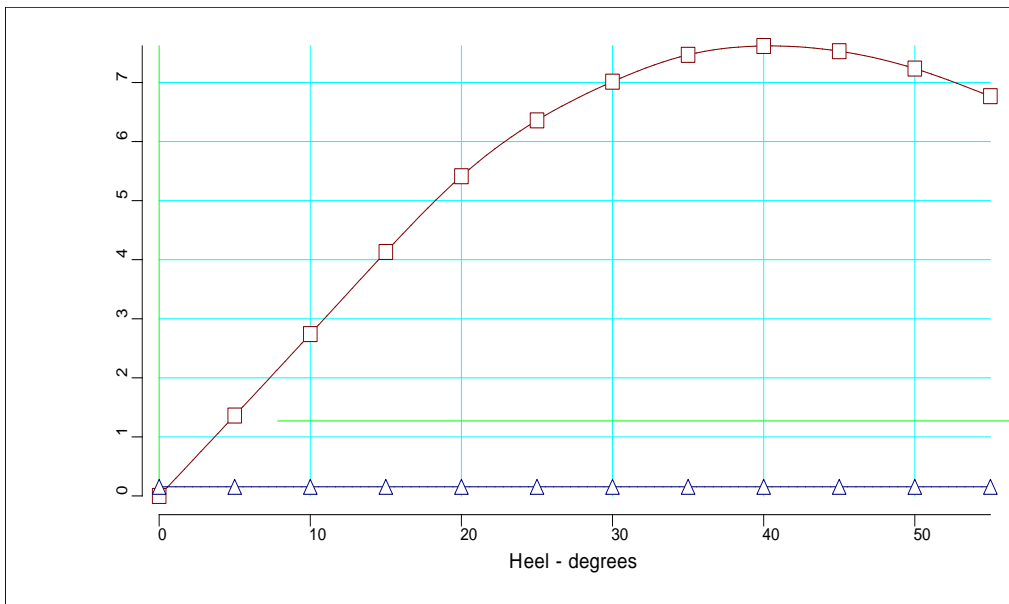
Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	1.371	metres
KG	9.52	metres
FSC	0.650	metres
KGf	10.170	metres
GMt	15.920	metres
BMt	21.779	metres
BMI	482.550	metres
Waterplane area	8096.26	sq.metres
LCG	112.550	metres
LCB	112.181	metres
TCB	0.000	metres
LCF	113.261	metres
TCF	0.000	metres
TPC	82.987	tonnes/cm
MTC	1105.599	tonnes-m/cm

Propeller Immersion

Propeller tip immersion	4.108	metres
Required percentage immersion	0.000	%
Actual percentage immersion	158.680	%

WATER BALLAST ARRIVAL: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	15.1727	-1.370	6.922	12.88[0]	0.1554
5.00	1.3619	15.6903	-1.313	6.886	10.92[0]	0.1554
10.00	2.7403	15.9851	-1.147	6.773	8.91[0]	0.1554
15.00	4.1308	15.8172	-0.882	6.577	6.85[0]	0.1554
20.00	5.4136	13.2050	-0.529	6.255	4.83[0]	0.1554
25.00	6.3585	9.1813	-0.093	5.733	2.91[0]	0.1554
30.00	7.0128	6.5514	0.386	5.010	1.14[0]	0.1554
35.00	7.4679	3.9587	0.873	4.113	-0.51[0]	0.1554
40.00	7.6179	0.2552	1.319	3.138	-2.11[0]	0.1554
45.00	7.5300	-2.0308	1.703	2.106	-3.66[0]	0.1554
50.00	7.2353	-4.3025	2.096	1.043	-5.17[0]	0.1554
55.00	6.7678	-6.0391	2.482	-0.038	-6.63[0]	0.1554

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	236.900	metres
Profile area above WL	6132.136	sq.metres
Area to leeward (Area b)	4.52484	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00078	m-radians
GZc	0.155	metres
Gust angle	0.572	degrees
Rollback angle	25.036	degrees
Steady state angle	0.381	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	6.356	
X1	0.800	
Cb	0.730	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	2.901	metres
r	0.981	
T	9.306	seconds

IMO 749 Intact Stability Criteria non – passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	2.057	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	1.294	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	3.352	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	15.573	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	7.619	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	40.434	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.381	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

**Condition complies with the regulations**



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Όμοιο Πλοίο**

Δ) Βάρος Πλήρως Εξοπλισμένου αλλά Άφορτου Πλοίου– Light Ship

*Κύρια Χαρακτηριστικά Όμοιου Πλοίου:*

<b>ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>L<sub>BP</sub> [m]</b>	259.32
	<b>B [m]</b>	32.20
	<b>D [m]</b>	19.80
	<b>T<sub>d</sub> [m]</b>	10.15
<b>ΒΑΡΗ</b>	<b>TEU Capacity</b>	5388
	<b>DWT [tons]</b>	53325
	<b>W/TEU [tons/TEU]</b>	13.83
<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΩΣΗΣ</b>	<b>V<sub>s</sub> [knots]</b>	22.80
	<b>P<sub>B</sub> [kW]</b>	34962
	<b>RPM</b>	98
	<b>Engine Type</b>	B&W 12L90 GBE

**Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής ( $W_{ST}$ )**

Αρχικά θα υπολογιστεί το βάρος της μεταλλικής κατασκευής. Για το σκοπό αυτό θα εφαρμοστούν οι μέθοδοι Schneekluth με Muller-Koster και Watson [26].

• **Μέθοδος Schneekluth**

Με τη μέθοδο αυτή θα υπολογίσουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος, στο οποίο θα προστεθεί μετά το βάρος των υπερκατασκευών που θα υπολογίσουμε με τη μέθοδο Muller-Koster.

Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος δίνεται από τη σχέση :

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

όπου :

$\nabla_D$ : όγκος μέχρι το κοίλο

$\nabla_S$ : αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

$\nabla_b$ : αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος

$\nabla_H$ : αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών

Είναι :

$$C_{BD} = C_B + C_1 \cdot \frac{D - T}{T} \cdot (1 - C_B) = 0.641 + 0.25 \cdot \frac{19.8 - 10.15}{10.15} \cdot (1 - 0.641) \Rightarrow$$

$$C_{BD} = 0.725985$$

όπου  $C_1 = 0.25$  για πλοία με μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω ισάλου.

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 259.35 \cdot 32.20 \cdot 19.8 \cdot 0.725985 \Rightarrow$$

$$\nabla_D = 120028.5 m^3$$

Όπως παρατηρούμε από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πατρικού πλοίου, δεν υπάρχει σιμότητα καταστρώματος. Για το λόγο αυτό:

$$\nabla_S = 0 m^3$$

Το ίδιο ισχύει και για την κυρτότητα. Έτσι έχουμε :

$$\nabla_b = 0 m^3$$

Από το σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών του πατρικού πλοίου, παρατηρούμε ότι έχει δεκαπέντε στόμια κυτών εκ των οποίων τα δέκα έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Ακολουθεί πίνακας με τις διαστάσεις των στομίων.



Στόμιο	Πλάτος [m]	Μήκος [m]	Ύψος [m]	Όγκος [m <sup>3</sup> ]
<b>Hatch 1</b>	11.29	13.695	1.4	154.62
<b>Hatch 2</b>	23.30	13.695	1.4	319.09
<b>Hatch 3</b>	28.22	13.695	1.4	386.64
<b>Hatches 4 - 11</b>	27.94	13.695	1.4	382.64
<b>Hatch 12</b>	16.98	13.695	1.4	232.54
<b>Hatch 13 - 14</b>	27.94	13.695	1.4	382.64
<b>Hatch 15</b>	23.35	13.695	1.4	319.78

Επομένως :  $\nabla_H = 154.62 + 319.09 + 386.64 + 232.54 + 319.78 + 10 \times 382.64 \Rightarrow$

$$\nabla_H = 7334.44 \text{ m}^3$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές για τους επί μέρους όγκους στη σχέση που δίνει το συνολικό όγκο έχουμε :

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 120028.5 + 0 + 0 + 7334.44 \Rightarrow$$

$$\nabla_U = 127362.95 \text{ m}^3$$

Έχοντας την τιμή για τον συνολικό όγκο κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος, υπολογίζουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής από τη σχέση:

$$W'_{ST.1} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \quad (1)$$

όπου :

$$C_1 = |1 + 0.002 \cdot (L - 120)^2 \cdot 10^{-3}| = |1 + 0.002 \cdot (259.32 - 120)^2 \cdot 10^{-3}| \Rightarrow$$

$$C_1 = 1.03882012$$

$$C_2 = \left| 1 + 0.057 \cdot \left( \frac{L}{D} - 12 \right) \right| = \left| 1 + 0.057 \cdot \left( \frac{259.32}{19.8} - 12 \right) \right| \Rightarrow$$

$$C_2 = 1.06252727$$

$$C_3 = \left| (30 / (D + 14))^{1/2} \right| = \left| (30 / (19.8 + 14))^{1/2} \right| \Rightarrow$$

$$C_3 = 0.94211144$$

$$C_4 = |1 + 0.1 \cdot (B/D - 2.1)^2| = |1 + 0.1 \cdot (32.2/19.8 - 2.1)^2| \Rightarrow$$

$$C_4 = 1.02244271$$

$$C_5 = |1 + 0.2 \cdot (T/D - 0.85)| = |1 + 0.2 \cdot (10.15/19.8 - 0.85)| \Rightarrow$$

$$C_5 = 0.93272727$$

$$C_6 = |0.92 + (1 - C_{BD})^2| = |0.92 + (1 - 0.725985)^2| \Rightarrow$$

$$C_6 = 0.99508449$$

$$C'_{ST} = 0.090 \div 0.100 \text{ για containerships, επιλέγουμε } C'_{ST} = 0.090$$

Αντικαθιστώντας στην (1) έχουμε:

$$W'_{ST.1} = 127362.95 \cdot 0.090 \cdot 1.03882012 \cdot 1.06252727 \cdot 0.94211144 \\ \cdot 1.02244271 \cdot 0.93272727 \cdot 0.99508449 \Rightarrow$$

$$W'_{ST.1} = 11311.55 [\text{tons}]$$

Στην τιμή αυτή έχουμε μία προσαύξηση 4% λόγω της βολβοειδούς πλώρης. Επίσης θεωρούμε σταθερές κυψέλες στοιβασίας για τα TEUs και για τα FEUs μέσα στα κύτη, το βάρος των οποίων είναι 0.7 [tons] και 0.45 [tons] αντίστοιχα η καθεμία. Άρα τελικά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μέχρι το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα είναι:

$$W'_{ST} = 0.004 \cdot W'_{ST.1} + 224 \cdot 0.7 + 644 \cdot 0.45 \\ = 0.004 \cdot 11311.55 + 224 \cdot 0.7 + 644 \cdot 0.45 \Rightarrow$$

$$W'_{ST} = 11804 [\text{tons}]$$

- **Μέθοδος Muller-Koster**

Με τη μέθοδο αυτή θα υπολογίσουμε το βάρος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων. Για την εύρεση των διαστάσεων τους χρησιμοποιήσαμε το Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πατρικού πλοίου.

#### Βάρος Πρόστεγου

Το ογκομετρικό βάρος ενός πρόστεγου είναι :

$$C_{BACK} = 100 \text{kp/m}^3 \text{ για } L \geq 140 \text{ m}$$

Για τον υπολογισμό του εμβαδού του πρόστεγου χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο Simpson. Με βάση αυτή προέκυψε:

$$E_{\text{Πρόστεγου}} = 356.72 \text{ m}^2$$

Ο όγκος του πρόστεγου είναι :

$$V_{\text{Πρόστεγου}} = h_{\text{Πρόστεγου}} \cdot E_{\text{Πρόστεγου}} = 4.1 \cdot 356.72 \Rightarrow V_{\text{Πρόστεγου}} = 1462.56 \text{ m}^3$$

Άρα τελικά το βάρος του πρόστεγου είναι:

$$W_{\text{Πρόστεγου}} = V_{\text{Πρόστεγου}} \cdot C_{\text{Πρόστεγου}} = 1462.56 \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{\text{Πρόστεγου}} = 146.26 [\text{tons}]}$$

Βάρος υπερστεγασμάτων

Ο υπολογισμός του βάρους των υπερστεγασμάτων γίνεται μέσω του ακόλουθου πίνακα :

Θέση στεγάσματος	I	II	III	IV	V	VI	VII	ΟΙΑΚΙΣΤΗΡΙΟ
$A_0$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	519.5	513.5	511.4	511.4	483.4	148.3	107.84
$A_U$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	281.6	391.5	391.5	319.5	319.5	301.0	119.1
$A_0/A_U$	1	1.845	1.311	1.306	1.600	1.513	0.493	0.906
$A_m$ [m <sup>2</sup> ]	444.7	400.5	452.5	451.4	415.4	401.5	224.7	113.5
$C_{DH}$ [kp/m <sup>3</sup> ]	0.057	0.081	0.065	0.065	0.073	0.065	0.053	0.04
$h$ [m]	3	2.785	2.785	2.785	2.785	2.785	3.5	2.6
$k_1$	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.002	1.02	1
$k_2$	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_3$	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
$W_{DH}$ [tons]	84.32	100.2	97.8	90.61	96.65	80.10	46.75	12.98
$\Sigma W_{DH}$ [tons]	<b>599.4</b>							

Αθροίζοντας τα βάρη που υπολογίστηκαν με τις μεθόδους Schneekluth και Muller-Koster έχουμε τελικά :

$$W_{ST.Schn} = W'_{ST} + W_{\text{Πρόστεγου}} + \Sigma W_{DH} = 11804 + 146.26 + 599.4 \Rightarrow$$

$$\underline{W_{ST.Schn} = 12550 [\text{tons}]}$$

• **Μέθοδος Watson**

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού  $E_N$  κατά Lloyds Register. Αρκεί να προσδιορίσουμε τον αριθμό, το μήκος και το ύψος των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΕΡΣΤΕΓΑΣΜΑΤΩΝ

	Μήκος $l_{1i}$ [m]	Ύψος $h_{1i}$ [m]	$l_{1i} \times h_{1i}$ [m <sup>2</sup> ]
<b>Upper Deck</b>	17	3	51
<b>Deck A</b>	17	2.785	47.345
<b>Deck B</b>	17	2.785	47.345
<b>Deck C</b>	17	2.785	47.345
<b>Deck D</b>	17	2.785	47.345
<b>Deck E</b>	10	2.785	44.56
<b>Deck F</b>	10	3.5	51.8
<b>Nav. Bridge</b>	8	2.6	31.2
<b><math>\Sigma(l_{1i} \times h_{1i})</math></b>	<b>367.9 [m<sup>2</sup>]</b>		

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΕΡΚΑΣΤΑΣΚΕΥΩΝ

	Μήκος $l_{2i}$ [m]	Ύψος $h_{2i}$ [m]	$l_{2i} \times h_{2i}$ [m <sup>2</sup> ]
<b>Πρόστεγο</b>	39.10	4.1	160.31
<b><math>\Sigma(h_{2i} \times l_{2i})</math></b>	<b>160.31 [m<sup>2</sup>]</b>		

Ο δείκτης εξοπλισμού θα είναι :

$$E_N = L \cdot (B + T) + 0.8 \cdot L \cdot (D - T) + 0.85 \cdot \Sigma h_{1i} \cdot l_{1i} + 0.75 \cdot \Sigma h_{2i} \cdot l_{2i} \Rightarrow$$

$$E_N = 259.32 \cdot (32.20 + 10.15) + 0.8 \cdot 259.32 \cdot (19.8 - 10.15) + 0.85 \cdot 367.9 + 0.75 \cdot 160.31 \Rightarrow$$

$$E_N = 13418.2$$

Για την τιμή αυτή του δείκτη εξοπλισμού επιλέγεται:

$$W_{ST}^* = 12400 \text{ [tons]}$$

Επίσης :

$$C_B^* = C_B + \frac{(1 - C_B) \cdot (0.8 \cdot D - T)}{3 \cdot T} = 0.76 + \frac{(1 - 0.641) \cdot (0.8 \cdot 19.8 - 10.15)}{3 \cdot 10.15} \Rightarrow$$

$$C_B^* = 0.73165$$

Η τελική τιμή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής σύμφωνα με τη μέθοδο Watson δίνεται από τη σχέση :

$$W_{ST.Watson} = W_{ST}^* \cdot [1 + 0.5 \cdot (C_B^* - 0.7)] = 12400 \cdot [1 + 0.5 \cdot (0.73165 - 0.7)] \Rightarrow$$

$$\underline{W_{ST.Watson} = 12597 [tons]}$$

Για την τελική τιμή του βάρους της μεταλλικής κατασκευής θα πάρω το μέσο όρο των μεθόδων Schneekluth και Muller-Koster με την Watson.

$$W_{ST} = \frac{W_{ST.Schn} + W_{ST.Watson}}{2} = \frac{12550 + 12597}{2} \Rightarrow$$

$$\underline{W_{ST} = 12574 [tons]}$$

**Βάρος Εξοπλισμού ( $W_{OT}$ )**

Για τον υπολογισμό του βάρους εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος Ομάδων Βαρών κατά Schneekluth. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το βάρος εξοπλισμού χωρίζεται σε τέσσερις ομάδες : καλύμματα στομίων κυτών, φορτοεκφορτωτικά μέσα, ενδιαίτηση και λοιπά βάρη.

**1) Καλύμματα στομίων κυτών.**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο υπό μελέτη πλοίο υπάρχουν δεκατρία καλύμματα στομίων κυτών εκ των οποίων τα έντεκα είναι ίδια.

Στόμιο	Πλάτος [m]	Μήκος [m]	$W_H/L_H$	Βάρος $W_H$ [tons]
<b>Hatch 1</b>	11.29	13.695	2.1283	29.147
<b>Hatch 2</b>	23.30	13.695	7.3229	100.288
<b>Hatch 3</b>	28.22	13.695	9.887	135.399
<b>Hatch 4 - 11</b>	27.94	13.695	9.7348	133.32
<b>Hatch 12</b>	16.98	13.695	4.3838	60.036
<b>Hatch 13 - 14</b>	27.94	13.695	9.7348	133.32
<b>Hatch 15</b>	23.35	13.695	7.3478	100.628
<b>TOTAL</b>				<b>1759</b>

Άρα:

$$W_I = 1759 [tons]$$

II) Φορτοεκφορτωτικά μέσα.

Δεν υπάρχουν φορτοεκφορτωτικά μέσα στο όμοιο πλοίο. Άρα :

$$W_{II} = 0 \text{ [tons]}$$

III) Ενδιαίτηση.

Για φορτηγά μικρού ή μεσαίου μεγέθους το ειδικό βάρος είναι 160-170 kp/m<sup>2</sup> για την αντίστοιχη επιφάνεια ενδιαίτησης η οποία ανέρχεται σε 2568 m<sup>2</sup>. Την τιμή αυτή την πήραμε από τον πίνακα για τον υπολογισμό του βάρους των υπερστεγασμάτων και αντιστοιχεί στο άθροισμα των A<sub>U</sub>. Επιλέγοντας ειδικό βάρος 160 kp/m<sup>2</sup> έχουμε:

$$W_{III} = 410 \text{ [tons]}$$

IV) Λοιπά Βάρη

Από προσεγγιστικό τύπο και επιλέγοντας C<sub>1</sub> = 0.18 έχουμε:

$$W_{IV} = (L \cdot B \cdot D)^{2/3} \cdot C_1 = (259.32 \cdot 32.20 \cdot 19.8)^{2/3} \cdot 0.18 \Rightarrow$$

$$W_{IV} = 543 \text{ [tons]}$$

Προσθέτοντας τα ανωτέρω βάρη βρίσκουμε:

$$\underline{W_{OT} = 2712 \text{ [tons]}}$$

Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης (W<sub>M</sub>)

Η ισχύς της κύριας μηχανής του όμοιου πλοίου είναι σύμφωνα με το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών :

$$P_B = 34962 \text{ [kW]} \text{ ή } P_B = 46885 \text{ [HP]}$$

Σύμφωνα με τη σχέση των Watson – Gilfillan το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι :

$$W_{M.1} = C_{MD} \cdot P_B^{0.89} = 0.3 \cdot 34962^{0.89} \Rightarrow$$

$$W_{M.1} = 3318.5 \text{ [tons]}$$

όπου C<sub>MD</sub> = 0.3 – 0.5 για αργόστροφες Diesel μηχανές.

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να υπολογιστεί και με προσεγγιστικό συντελεστή ο οποίος εκλέγεται από πίνακα που δίνει το ειδικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης για containership σε σχέση με την ισχύ[14]. Έτσι επιλέγεται:

$$w_M = 0.077 \text{ kg/HP}$$

$$\text{άρα : } W_{M.2} = w_M \times P_B(\text{HP}) = 0.077 \times 46885 \Rightarrow$$

$$W_{M.2} = 3611 \text{ [tons]}$$

Σαν τελικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης επιλέγουμε τον μέσο όρο των βαρών των δύο μεθόδων. Οπότε έχουμε :

$$W_M = \frac{W_{M.1} + W_{M.2}}{2} = \frac{3318.5 + 3611}{2} \Rightarrow$$

$$\underline{W_M = 3465 \text{ [tons]}}$$

Συνολικά για το βάρος του L.S. του υπό μελέτη πλοίου έχουμε:

$$L.S._{\text{υπολ.}} = W_{ST} + W_{OT} + W_M = 12574 + 2712 + 3465 \Rightarrow$$

$$L.S._{\text{υπολ.}} = 18751 \text{ [tons]}$$

Τη πραγματική τιμή του L.S. του πατρικού πλοίου την παίρνουμε από το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών και είναι ίση με :

$$L.S._{\text{REAL}} = 19220 \text{ [tons]}$$

Με βάση την πραγματική τιμή και την υπολογισθέν, βγάζουμε έναν συντελεστή συσχέτισης ώστε να δούμε την ορθότητα των υπολογισμών και των μεθόδων που ακολουθήσαμε, καθώς επίσης θα τον χρησιμοποιήσουμε και για τον υπολογισμό της πραγματικής τιμής του L.S. του υπό μελέτη πλοίου.

$$\lambda = \frac{L.S._{\text{υπολ.}}}{L.S._{\text{REAL}}} = \frac{18751}{19220} \Rightarrow$$

$$\lambda = 0.9755947$$

και οι πραγματικές τιμές των επί μέρους βαρών:

$$W_{ST} = 12889 \text{ [tons]}$$

$$W_{OT} = 2780 \text{ [tons]}$$

$$W_M = 3551 \text{ [tons]}$$

II) Υπολογισμός Κέντρου Βάρους Light Ship

Αρχικά πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του καθ' ύψους και διαμήκους κέντρου βάρους του πατρικού πλοίου και εν συνεχεία υπολογίσαμε συντελεστή συσχέτισης μεταξύ υπολογισθέν τιμής και πραγματικής, την οποία πήραμε από το Stability Booklet. Για το υπολογισμό του κέντρου βάρους του πατρικού πλοίου έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Ομάδες Βαρών	[tons]	KG/D	KG' [m]	M <sub>T</sub> [tonsxm]	LCG/L <sub>BP</sub>	LCG'	M <sub>L</sub> [tonsxm]
W <sub>ST</sub>	12889	0.59	11.682	150564	0.47	121.88	1582325
W <sub>OT</sub>	2780	0.90	17.82	49536.8	0.46	119.2872	334379.5
W <sub>M</sub>	3551	0.48	9.504	33752.73	0.303563	78.72	279524.5
<b>L.S.</b>	19220	0,6369	<b>12.19</b>	233853.6	0.44	<b>113.33</b>	2196229

Για την εύρεση του LCG του W<sub>M</sub> χρησιμοποιήσαμε το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών ενώ τους λόγους KG/D και LCG/D τους πήραμε από πίνακα που δίνει αυτές τις τιμές για όλα τα είδη πλοίων [26].

Οι πραγματικές τιμές του κέντρου βάρους του L.S. του πατρικού πλοίου είναι:

$$\underline{KG_{REAL} = 12.311 [m]} \text{ και } \underline{LCG_{REAL} = 104.272[m]}$$

Οι συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν τελικά στο πατρικό πλοίο είναι:

$$\lambda_{KG} = 0.99017139 \text{ και } \lambda_{LCG} = 0.991757$$



III) Υπολογισμός Ακτίνας Ενέργειας Όμοιου Πλοίου

Από το Σχέδιο Χωρητικότητας Δεξαμενών και Κυτών του όμοιου πλοίου βρίσκουμε ότι το συνολικό βάρος του Fuel Oil στις δεξαμενές καυσίμου είναι :

$$W_{FO} = 5582 \text{ [tons]}$$

Γνωρίζοντας την ισχύ της Κύριας Μηχανής του όμοιου πλοίου και θεωρώντας την κατανάλωση της μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο εν πλω. Έτσι έχουμε :

$$W_{FO} = P_B \cdot b \cdot t \cdot c \Rightarrow t = \frac{W_{FO}}{P_B \cdot b \cdot c} = \frac{5582 \cdot 10^6}{34962 \cdot 170 \cdot 1.2} \Rightarrow$$

$$t = 783 \text{ [hours]} \text{ ή } t = 32.625 \text{ [days]}$$

Άρα η Ακτίνα Ενέργειας του όμοιου πλοίου είναι :

$$A.R. = t \times V_S = 783 \times 24 \Rightarrow$$

$$\underline{\underline{A.R. = 18792 \text{ [sm]}}}$$



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:

242

**Energy efficiency parametric design tool in the framework of holistic ship design optimization**E K Boulougouris<sup>1\*</sup>, A D Papanikolaou<sup>2</sup>, and A Pavlou<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Naval Architecture, Faculty of Technological Applications, Technological Educational Institute of Athens, Athens, Greece<sup>2</sup>Ship Design Laboratory, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece*The manuscript was received on 29 October 2010 and was accepted after revision for publication on 19 April 2011.*

DOI: 10.1177/1475090211409997

**Abstract:** Recent International Maritime Organization (IMO) decisions with respect to measures to reduce the emissions from maritime greenhouse gases (GHGs) suggest that the collaboration of all major stakeholders of shipbuilding and ship operations is required to address this complex techno-economical and highly political problem efficiently. This calls eventually for the development of proper design, operational knowledge, and assessment tools for the energy-efficient design and operation of ships, as suggested by the Second IMO GHG Study (2009). This type of coordination of the efforts of many maritime stakeholders, with often conflicting professional interests but ultimately commonly aiming at optimal ship design and operation solutions, has been addressed within a methodology developed in the EU-funded Logistics-Based (LOGBASED) Design Project (2004–2007). Based on the knowledge base developed within this project, a new parametric design software tool (PDT) has been developed by the National Technical University of Athens, Ship Design Laboratory (NTUA-SDL), for implementing an energy efficiency design and management procedure. The PDT is an integral part of an earlier developed holistic ship design optimization approach by NTUA-SDL that addresses the multi-objective ship design optimization problem. It provides Pareto-optimum solutions and a complete mapping of the design space in a comprehensive way for the final assessment and decision by all the involved stakeholders. The application of the tool to the design of a large oil tanker and alternatively to container ships is elaborated in the presented paper.

**Keywords:** greenhouse gases, holistic design approach, LOGBASED Project, ship systems optimization, parametric design tool

**1 INTRODUCTION**

It is today a well-established fact that human activities have a significant impact upon the levels of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere, i.e. those gases that absorb and emit radiation within

the thermal infrared range. The gases with the most important release to the atmosphere are, in descending order, water vapour, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane, and ozone. The Intergovernmental Panel on Climate Change released in 2007 a report stating that ‘most of the observed increase in global average temperatures since the mid-20th century is very likely due to the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations’ [1].

One of the main contributors of the emissions of GHGs due to human activity is the burning of fossil fuels. The total CO<sub>2</sub> emissions from shipping

\*Corresponding author: Department of Naval Architecture, Faculty of Technological Applications, Technological Educational Institute of Athens, St. Spyridonos Street, Athens 12210, Greece.  
email: vboulg@teiath.gr

(domestic and international) amounted to about 3.3 percent of the global emissions from fuel consumption during 2007, according to Buhaug *et al.* [2]. The central estimates in the Second International Maritime Organization (IMO) GHG Study (2009) is that, if no policy for the reduction in the GHG emissions is implemented, the growth of shipping will result in an increase by 150–250 percent of the ship emissions relevant to their 2007 levels.

Climate stabilization by 2100 at no more than 2°C warming over the pre-industrial levels will require significant reductions in the CO<sub>2</sub> emissions by 2050, and the international shipping industry needs to participate in this process. Although maritime transport is the most efficient mode of transport and least pollutant in terms of GHG emissions, present discussions and expected regulatory measures suggest that the collaboration of all major stakeholders is required to address this complex techno-economical and highly political problem efficiently (see, for example, Document MEPC 57/4/5 [3]). The list of stakeholders embraces both shipbuilders and ship operators. The actions to be taken include the development of proper design, operational knowledge, and assessment tools for the energy-efficient design and operation of ships. More recently, an IMO study team emphasized that (see reference [2], p. 61)

‘...Ships’ lifetimes may exceed thirty years, and the operating and business environment may change significantly in the course of this time. Flexibility to allow upgrades and efficient operation in different scenarios should be considered at the design stage. It is thus critical to build the right ship for the job, which provides sufficient flexibility in operation. Specifying a ship and subsequently designing to that specification is a highly complex task. Estimating the potential for saving energy at this stage is equally complex; however, the influence of choices that are made at this stage of the design process is very significant and should not be under-estimated.’

This is exactly the field of application of the approach elaborated in this paper which is based on the EU-funded Logistics-Based (LOGBASED) Design Project.

## 2 BACKGROUND

The type of effort coordination required by many maritime stakeholders with often conflicting interests and ultimately aiming at optimal ship design and operation solutions has been addressed within the LOGBASED methodology, developed in the

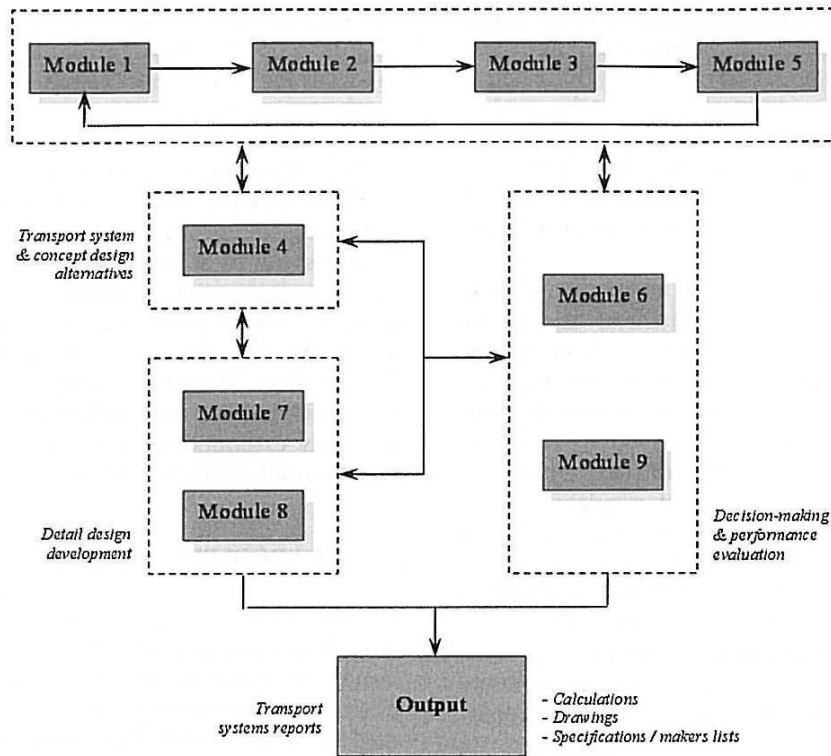
recently completed LOGBASED Project [4, 5]. The approach has a modular structure where the various modules can be utilized to various extents pertaining to the specific case in question (Fig. 1). The various modules guide the business developer and/or designer through a systemic process. This provides decision-making support to the development of a transport system and the pertinent integrated ship design solution within the specific business development context in question. Thus, the LOGBASED method can be used not only for the design of a single ship but also for the management of a whole fleet of ships. The project focused on roll-on-roll-off (ro-ro) ships, but the methodology developed can be easily extended to other ship types, such as oil tankers, bulk carriers, and container ships.

## 3 THE PROBLEM

In most cases the development of a transport system has many stakeholders: commercial, operational, economical, technical, and social. In this business environment, the optimization of the design of the tailor-made ship for the particular trade is the ideal situation that reduces the risk and maximizes the returns of the investment. This is well known among ship operators. The problem is how to define the ‘perfect ship’ given the following:

- (a) the fluctuations in the market (i.e. the cargo demand);
- (b) the flexibility of the competitors (i.e. the cargo capacity);
- (c) the uncertainty in the behaviour of the rest of the stakeholders (cargo owners, port authorities, international regulatory bodies, financial investors, etc.);
- (d) the uncertainty in the environmental factors.

The above uncertainties lead many shipping companies to be conservative [6] and sometimes result in the loss of good opportunities due to the lack of proper decision support tools. These companies prefer to use ships in a similar way to their competitors under the assumption that in this way they minimize their risk. Therefore, when they decide to build a new ship, they usually suggest a set of owner’s requirements that resemble those of existing ships. These requirements are mandatory for ship designers, who rarely have the capability or the opportunity to question their rationality. This has been addressed within the LOGBASED Project which attempts to provide designers, shipbuilders, and ship operators with better guidance to develop



**Fig. 1** The LOGBASED methodology (from reference [5] with permission): module 1, business concept definition; module 2, performance expectations; module 3, competitive position; module 5, risk assessment; module 4, transport system and design solution development; module 6, decision-making support; module 7, ship functions; module 8, ship systems; module 9, performance evaluation

effective ship designs for business opportunities. The difference between the old approach and the new approach is shown in Fig. 2. In the new approach the designer and the owner are working side by side, using the available market mapping in order to rationalize the ship requirements. The market is captured using advanced forecasting tools such as artificial neural networks (ANNs), trained according to the existing historical data. The designer creates a parametric ship model that is optimized using state-of-the-art tools such as genetic algorithms (GAs) and the owner's preference is captured using multi-attribute decision-making (MADM) methods, such as the analytical hierarchy process (AHP) and utility functions (utilité additive (UTA)). It is obvious that the impact of this approach is maximized when it is used early in the business case development phase.

As part of the knowledge base developed within LOGBASED, a parametric design tool (PDT) has been developed by the National Technical University of Athens, Ship Design Laboratory (NTUA-SDL). The PDT facilitates the interaction of

the novel LOGBASED approach with the traditional ship design methods accommodated in modules 7 and 8. The PDT is an integral part of module 4 (i.e. transport system and design solution development (see Fig. 1)). Its aim is to provide the user with the capability to develop different design solutions and to exploit the feasible design space very rapidly. Furthermore, the PDT tool is also used to benchmark or calibrate heuristically selected system design parameters for extreme values or outliers.

Traditionally the environmental impact of a ship (except in the cases of the oil spills of tankers) or a fleet is taken into account in a qualitative way, i.e. through compliance with a set of rules requiring some sort of system to exist (i.e. scrubber) or a procedure to be followed (i.e. water ballast management). Thus, even if for the decision maker the maximization of the environmental friendliness is of top performance expectation (module 2), this would be achievable only through the proper selection of the systems in module 8. The introduction of the CO<sub>2</sub> index or energy efficiency design index (EEDI) of the attained new ship design has permitted the

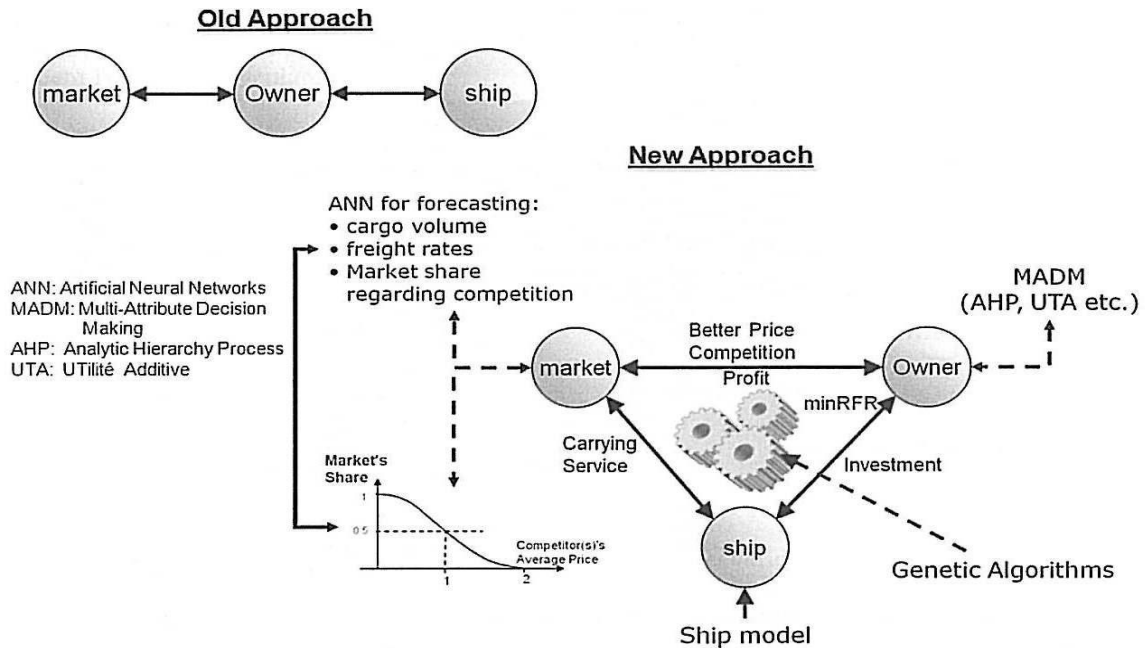


Fig. 2 Comparison of the old approach and the new approach (from reference [7] with permission)

evaluation of the environmental friendliness from a quantitative perspective. Thus, the minimization of the EEDI has been introduced as an objective into a multi-criteria design-making (MCDM) problem.

**4 HOLISTIC DESIGN OPTIMIZATION**

Most design problems are formulated on the basis of the determination of a set of design variables (e.g. the number of ships and the individual ship size and speed in fleet optimization) that provide a design solution that satisfy certain relations between, and restrictions of, these variables (e.g. physical, technical, legal, and economical). In case there are a number of combinations of design variables that satisfy all these conditions, a measure of merit is selected (e.g. the weight, cost, or yield) which creates a ranking, resulting in the selection of the optimal combination [8]. The number of design variables is always constrained by efficiency considerations [9].

Since the mid-1960s with the advance of computer hardware and software more and more parts of the design process have been taken over by computers, particularly the heavy calculatory and draughting elements of ship design. Simultaneously, the first computer-aided preliminary design software systems

were introduced, dealing with the mathematical parametric exploration of design space on the basis of empirical and simplified ship models for specific ship types or the optimization of design variables for specific economic criteria by gradient-based search techniques [10, 11]. Also, computer-aided studies on optimization of the ship's hull form for least resistance and best seakeeping behaviour (hydrodynamic design optimization) or of the ship's midship section and structural design for least steel weight (structural design optimization) started to be introduced to the naval architectural scientific community until they led to mature results in more recent years [12, 13].

With the further and faster advance of computer hardware and software tools, together with their integration into powerful hardware and software design systems, the time has come to look at the way ahead in ship design optimization in a holistic way, namely by addressing and optimizing several, and gradually all, aspects of the ship's life (or all elements of the entire ship's life cycle system), and at least the stages of design, construction and operation; within a *holistic ship design* optimization, herein this means exhaustive multi-objective and multi-constrained ship design optimization procedures even for the individual stages of the ship's life (e.g. conceptual design) with least reduction in the entire real problem [14]. Recently, the scientific

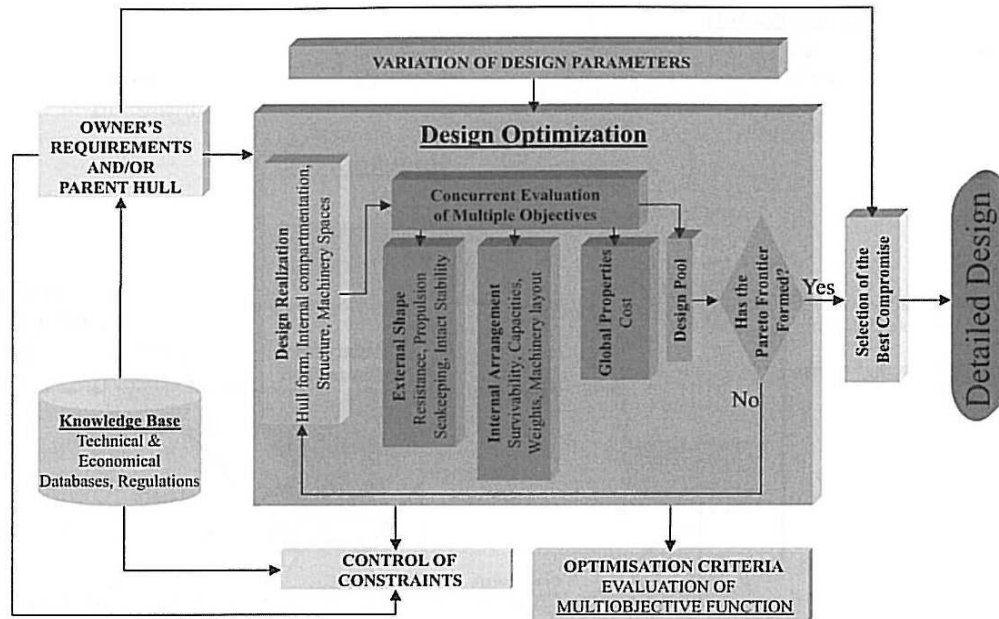


Fig. 3 Ship design optimization procedure (from reference [13] with permission)

disciplines introduced in the general framework of ‘design for XXX’, namely ‘design for safety’ [15, 16], ‘design for efficiency’, ‘design for production’, ‘design for operation’, etc., indicate the need for approaches and the availability of mature methods and computational tools to address holistically the ship design optimization problem.

The use of GAs, combined with gradient-based search techniques in microscale exploration and with a utility functions technique for MADM, provides the means for a generic type of optimization technique, producing and identifying optimized designs through effective exploration of the large-scale non-linear design space and a multitude of evaluation criteria. Several applications of this generic multi-objective ship design optimization approach by use of NTUA-SDL’s design software system, integrating the naval architectural software package NAPA [17], the optimization software modeFRONTIER [18], the PDT, and various other application software tools, as necessary for the conceptual design, the evaluation of the stability, the resistance, the seakeeping, etc., may be found in the listed references. A sketch of the approach to generic ship design optimization is shown in Fig. 3.

In this paper, the holistic ship design approach will be implemented for the classical design problem of large tankers for a given deadweight (DWT) with the following objectives:

- (a) minimization of the EEDI;
- (b) minimization of the ideal ship price (ISP);

- (c) minimization of the displacement of the ship;
- (d) maximization of the ship’s speed.

Additionally, the holistic ship design approach will be implemented for the investigation of the benefits of designing slow-speed container ships in order to minimize their environmental footprint.

## 5 THE TOOLS

It is true that in the context of the holistic design approach there are more advanced methods and tools for treating the above problem. For example, hull optimization can be performed by the integration of NAPA, SHIPFLOW, and modeFrontier [13]. Nevertheless, they require the skills of a well-trained naval architect and also they are time consuming for the conceptual design phase. In that respect, the PDT is the ideal tool that can be easily used by all stakeholders (i.e. designers, builders, owners, and operators).

The PDT has been developed in MS EXCEL 2003 and recently upgraded to MS EXCEL 2007. It consists of four main functional elements:

- (a) element I, a database of existing ship designs and their main particulars including the ship’s type, size, and other special features;
- (b) element II, a query tool for the analysis of the database and the extraction of useful relationships between the various design parameters;

- (c) element III, a tool for the design and the trade-off analysis around a design point;
- (d) element IV, the ISP calculator.

The database of element I was recently extended to include the following:

- (a) ro-ro cargo ships [19] and other ship data from partners of the LOGBASED Project;
- (b) container ships [19];
- (c) oil tankers built after 1995 with a DWT larger than 70 000 ton;
- (d) bulk carriers with a DWT capacity from 500 ton up to 33 000 ton;
- (e) bulk carriers built after 1995 with a DWT from 55 000 ton up to 322 000 ton;
- (f) general cargo ships with a DWT from 500 ton up to 52 000 ton.

Element II is a query tool for filtering the design database. Three-stage filtering has been introduced on the basis of feedback from end users. In the first stage the user selects the subset of ships according to their date of build. In the second stage this subset is refined according to the speed range. The last filtering of the data set (i.e. the third stage) is achieved according to the cargo-carrying capacity, i.e. the DWTs for tankers, bulk carriers, and general cargo ships or the lane metres for ro-ro ships. Thus, at the end a subset of 'similar designs' according to the designer's requirements is created. The statistical values of the main particulars and regression analysis formulae resulting from the selected subset are used for initiating the feasible alternative designs.

Element III is a simplified model of the traditional design spiral in the preliminary design stage. Starting from the basic requirements for the cargo-carrying capacity (DWT or lane metres), the speed, and the endurance and utilizing the information extracted from the database subset, an iterative process is used to balance the resulting main dimensions, the weights, and the installed horsepower of each design.

Element IV is a tool that calculates the ISP. The need for the development of such a tool was triggered by the large fluctuations occurring in the ship's price market and the confidentiality of actual ship price data. Instead of estimating the actual building cost plus profit (a function of both the shipyard location and country and the time of building), the following methodology has been developed. Given the market's freight rate (FR), the ISP is calculated by reversing the procedure method for the required FR calculation, namely on the basis of the zero net present value (NPV) of the

investment; in other words, the 'ideal' ship price that will zero the NPV for the given required FR is found. The feasibility of a project is evaluated by comparison of the resulting 'ideal price' designs with current market prices. The viability of an investment in purchasing a new building or an existing ship can also be assessed according to the preferred difference from the ISP.

The tool can also calculate the required FR if the ship price is given as the input from existing market data. The ISP is practically a special case of the zero NPV of Buxton's [20] 'permissible price' concept. The ISP proves to be a very handy indicator for estimating very rapidly the feasibility of a business case according to the magnitude of the required investment and its profitability given the actual market prices.

The core of the PDT is element III. Standard naval architecture methodologies are used in order to calculate the various lightship weight groups (structure, machinery, and outfitting). For ro-ro ships, Watson's [21] methodology and adjusting relevant semiempirical coefficients based on a verification of up-to-date designs recorded in databases of the LOGBASED design team are utilized. The machinery weight is estimated on the basis of the installed main engine's horsepower while the outfit weight is based on the main deck's area [8].

The resistance is estimated according to the method described by Holtrop and Mennen [22] and Holtrop [23] using appropriate margins for appendages, design, and sea conditions according to the usual contract specifications. The method is considered very accurate for the types of hull forms of interest herein, and it is quite sensitive in capturing hull design alternatives. Transom sterns and bulbous bows are taken into account. Thus, the employed method allows the definition of hull form variables in the form of a number of parameters which are used for minimization of the resistance and powering. It is worth noting that engine manufacturers are using this method to estimate the required engine type for similar ship types [24].

The cargo-carrying capacity for ro-ro ships is estimated in lane metres based on approximate empirical formulae taking into account the lane width, the utilized deck length, the margins from the side walls, and the number of decks. For bulk carriers and tankers the cargo capacity in cubic metres is calculated on the basis of empirical coefficients resulting from the analysis of real designs. Finally, the approach for container ships is based on an assumption for the number of 20 ft equivalent container units (TEUs) on and under deck, depending on the vessel size or class, and the calculation of the



number of carried TEUs by approximate empirical formulae accounting for the vessel's main dimensions.

### 5.1 Energy efficiency design index

The EEDI is calculated herein on the basis of the IMO's interim guidelines on the method of calculation of the EEDI for new ships [25].

Using the procedure and the assumptions described in the interim guidelines an initial estimation of the EEDI for the ships in the PDT database was performed. The specific fuel consumption (SFC) was assumed to be 170 g/kW h for the main engine(s) and 190 g/kW h for the auxiliary engine(s). The results for bulk carriers are shown in Fig. 4 while the relevant graph for the tankers is shown in Fig. 5. In Fig. 6 the EEDI for container ships, using 65 per cent of their DWT as a measure for their utilization, is shown.

What is interesting to observe in Fig. 4 is that almost the entire existing fleet of bulk carriers (except for a few outliers) is above the baseline formula proposed in Document GHG-WG 2/2/7 [26], even though a reduced SFC has been used in comparison with the values of 190 g/kW h and 210 g/kW h proposed in Document GHG-WG 2/2/7 [26]. This provides additional verification of the comments made by several delegations at the 60th session of the Marine Environment Protection Committee (MEPC) of the IMO [27].

In generating data for Fig. 5 (tankers), the same assumptions as in Document GHG-WG 2/2/7 [26] were used, i.e. an SFC for the main engine of 190 g/kW h, an SFC for the auxiliary engine of 210 g/kW h, and  $C_F = 3.13 \text{ g CO}_2/\text{g fuel}$ , where  $C_F$  is a conversion factor between fuel consumption and  $\text{CO}_2$  based on the fuel's carbon content. The sample set within the PDT database fits the proposed baseline very well.

In Fig. 6, using the same assumptions as above, the sample set of container ships within the PDT database verifies the baseline for the container ships proposed in reference [28].

From the graphs in Figs 4 to 6 it is obvious that, for a given DWT requirement, the EEDI may vary significantly, in terms of both the ship size and the ship type, emphasizing the fact that there is room for improvement in the efficiency of many representatives of these types of ship.

The optimization procedure adopted herein employs the commercial software modeFRONTIER® [18] as the optimization scheduler and NAPA® for the naval architectural calculations and ship design. The important features of modeFRONTIER are as follows.

1. It is written 100 per cent in Java, making it completely portable.
2. It offers a menu of several optimization algorithms: GAs, conjugate gradient method, quasi-Newton method, sequential quadratic programming, and simplex. Algorithms can be combined, e.g. GAs for a global search and another algorithm for a local search (refinement).
3. It can handle both real and integer variables.
4. It can integrate software on different platforms in networks, e.g. a hull description in NAPA under MS Windows XP and a computational fluid dynamics code under UNIX on another computer.
5. It allows the boundary conditions to be checked first before an objective function is evaluated. This is important if the objective function requires far more central processing unit time than the (violated) boundary condition.
6. It runs on parallel architectures.

The data flow between the applications is shown in Fig. 7.

## 6 CASE STUDIES

### 6.1 AFRAMAX tanker

The application of the above optimization procedure to the conceptual design of an AFRAMAX tanker with a DWT capacity of around 112 000 ton was selected for the first case study. This work is complementary to previously published research work [14, 29], where the internal subdivision of a fixed-hull AFRAMAX tanker was optimized with respect to the carrying capacity and the oil outflow. In the present study, the internal subdivision was kept fixed, whereas the ship's hull form was varied. Thus, the main dimensions of the hull form (i.e. the length, the breadth, the depth, and the draught) and the buoyancy distribution (i.e. the longitudinal centre of buoyancy and the areas of the bulbous bow and transom) were varied herein, as they were considered as the design variables. The speed and the range were kept constant.

The PDT output variables include a large number of different design features such as the displacement, the lightship, the installed horsepower, the initial intact stability, the daily bunker consumption, the consumables, the payload, and the cargo capacity. Four of these output values were used as objectives for minimization in the present case study as follows:

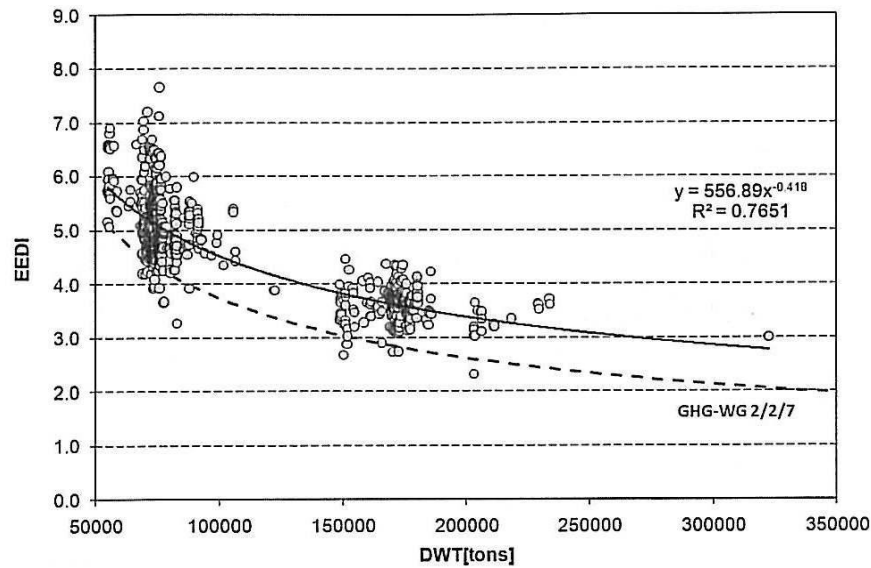


Fig. 4 The EEDI versus the DWT for bulk carriers with a DWT greater than 55 000 ton built after 1995

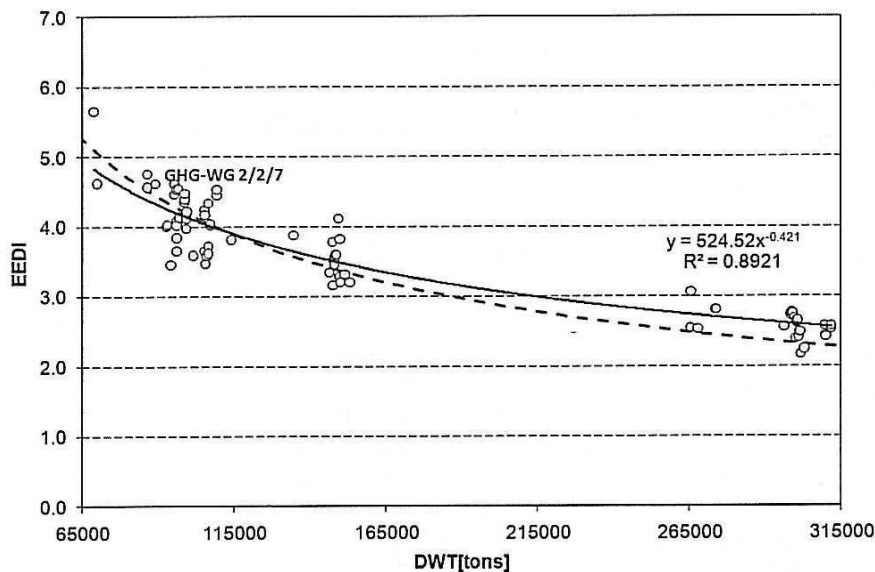


Fig. 5 The EEDI versus the DWT for crude oil tankers with a DWT greater than 65 000 ton built after 1995

- (a) the total transportation cost per unit of cargo (in US dollars per ton);
- (b) the EEDI;
- (c) the lightship;
- (d) the specific gravity of the cargo at the homogeneous full-load condition as a measure to maximize the carrying capacity for the same required DWT.

The total transportation cost per unit of cargo is calculated by subdividing the annually delivered cargo (millions of tons) by the total costs (millions of US dollars). The total costs include the annual voyage costs, the non-voyage operating costs, and the capital costs.

A number of constraints were used in this optimization as follows:

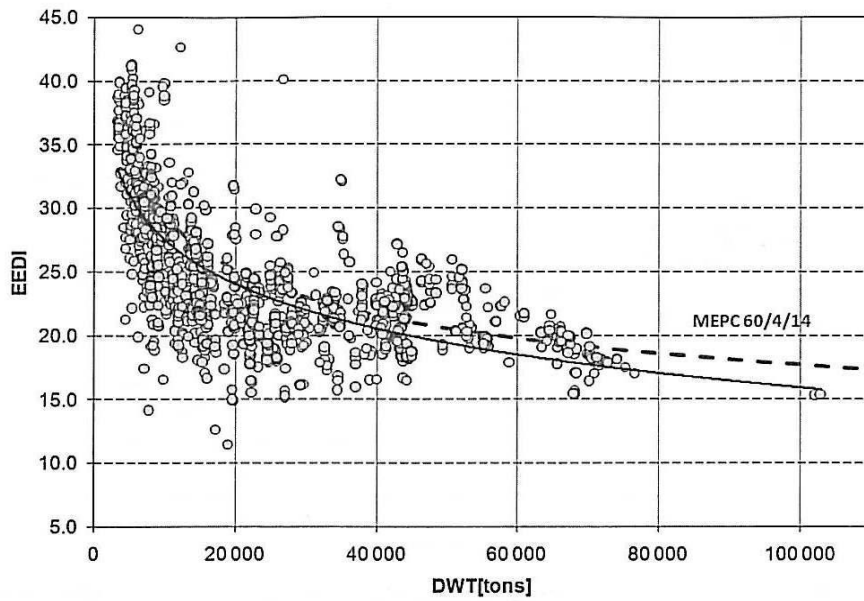


Fig. 6 The EEDI based on the DWT versus the DWT for container ships according to Circular MEPC.1/Circ.681 (from reference [25] with permission)

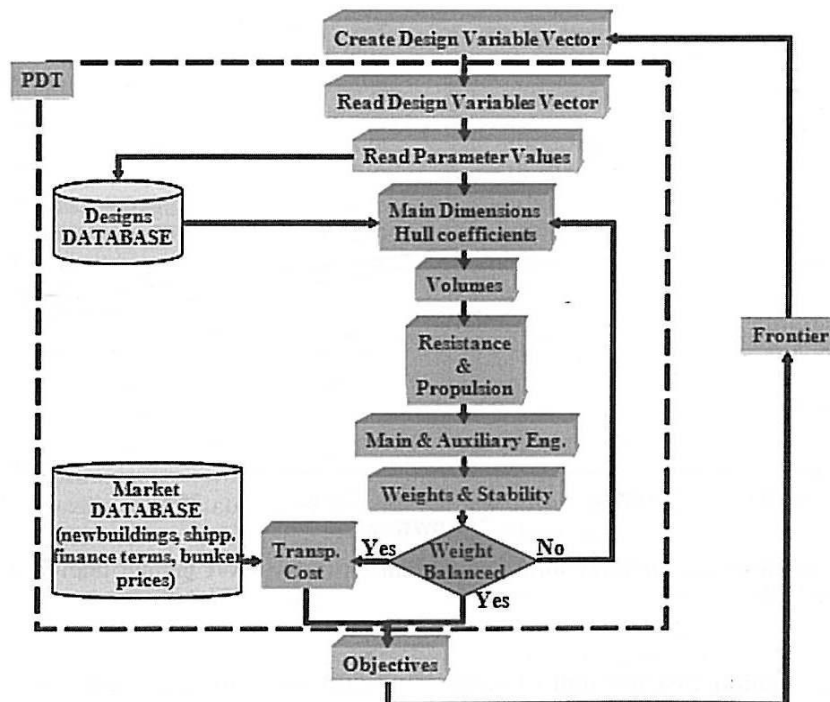


Fig. 7 Optimization data flow chart

(a) the metacentric height uncorrected for the free-surface effect;

(b) the maximum value of the cargo's specific gravity;

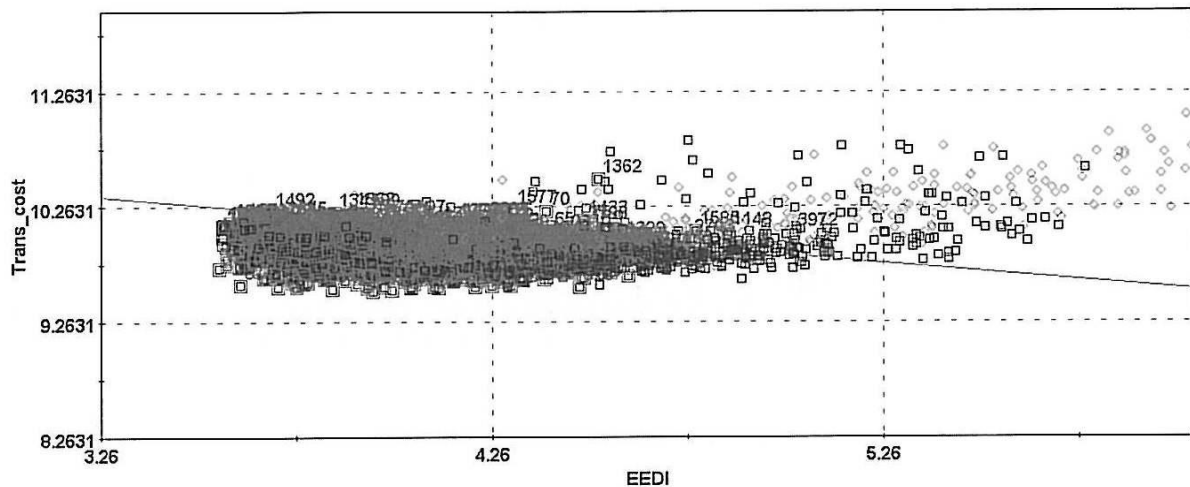


Fig. 8 The transportation cost per ton versus the EEDI

- (c) the minimum and maximum block coefficients in order to create valid tanker designs;
- (d) the adequacy of the capacity of the segregated ballast tanks to meet the relevant MARPOL requirements;
- (e) the maximum draught according to the Load Line Convention (LLC) which should not be exceeded.

The range of variance of the design variables was selected on the basis of the available PDT database (element II) for a DWT range  $\pm 5$  per cent around the required DWT. The data for the engines were taken from an engine database.

In the optimization procedure, 4000 different designs were generated. The scatter diagram of the total transportation cost in US dollars per ton versus the EEDI is shown in Fig. 8. In Fig. 9 the estimated lightship versus the cargo's specific gravity for the homogeneous full-load condition is shown.

Based on the above results, the Pareto (non-dominated) designs could be identified. In order to select the optimum design, the preference of the decision maker should be taken into account. Using modeFrontier's MCDM GA and requesting that the objectives should be ranked in descending order of importance, namely (herein as a demonstration example), first, the EEDI, second, the transportation cost, third, the lightship, and, finally, the maximum specific gravity of the cargo, a ranking of the Pareto designs was produced. The algorithm assists the decision maker in finding the best solution for a set of Pareto alternatives. It verifies the coherence of the expressed preferences and, if all pairwise comparisons are valid, it generates a valid utility function and ranking [18]. In the present case it resulted in the utility functions shown in Fig. 10.

Using these functions the Pareto designs can be ranked and the optimum can be identified.

The optimum design identified herein was design number 917 with the main dimensions and characteristics shown in Table 1.

Given the outcome of the conducted optimization, the decision maker has a comprehensive understanding of the physical and economic constraints of the design problem in hand; the range of the variance of the objectives and the compromises that have to be made may be systematically explored in order to obtain the best design solution fulfilling the initial expectations.

The results of the present PDT tool can be easily fed into modules 7 and 8 of the LOGBASED methodology, where the traditional design process takes place. For instance, a design software platform, such as NAPA, can be used in order to produce the ship's hull form and the arrangement with the required characteristics as shown in Fig. 11. Optimization of the internal subdivision is a feature of the holistic design concept that has already been demonstrated [14]. Verification of the weight estimations and especially of the weight of the steel structure is a more tedious task, requiring the integration of structural design software tools in the optimization, e.g. of classification-scanning software tools. This has also been addressed recently by NTUA-SDL in the framework of multi-objective tanker design optimization, in which, together with the structural weight, the oil outflow and the internal subdivision were optimized [30].

## 6.2 Slow-steaming container ship

The growing practice of slow-steaming container shipping services coincided with an unexpected

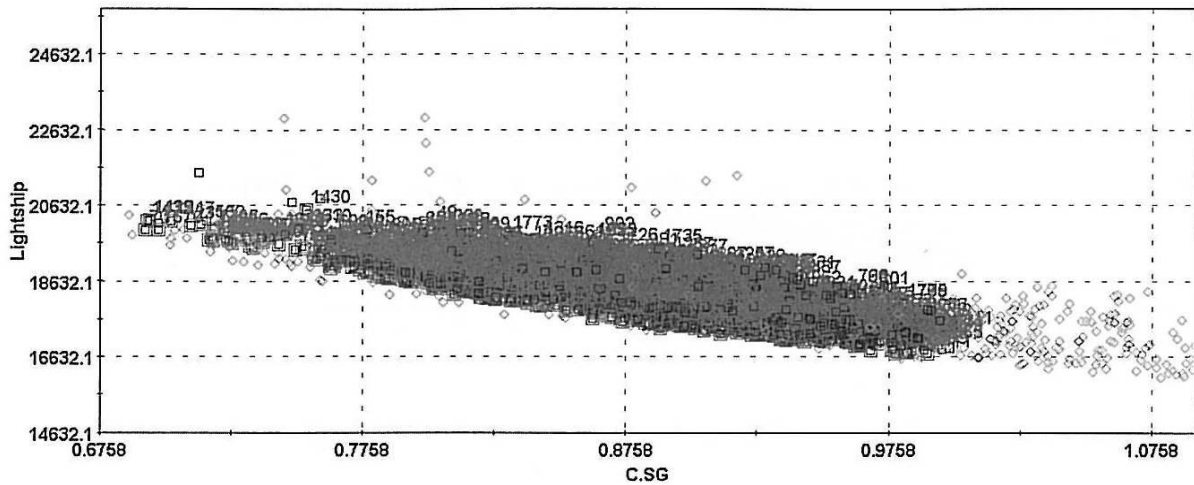


Fig. 9 The lightship versus the specific gravity of the cargo for the homogeneous full-load condition

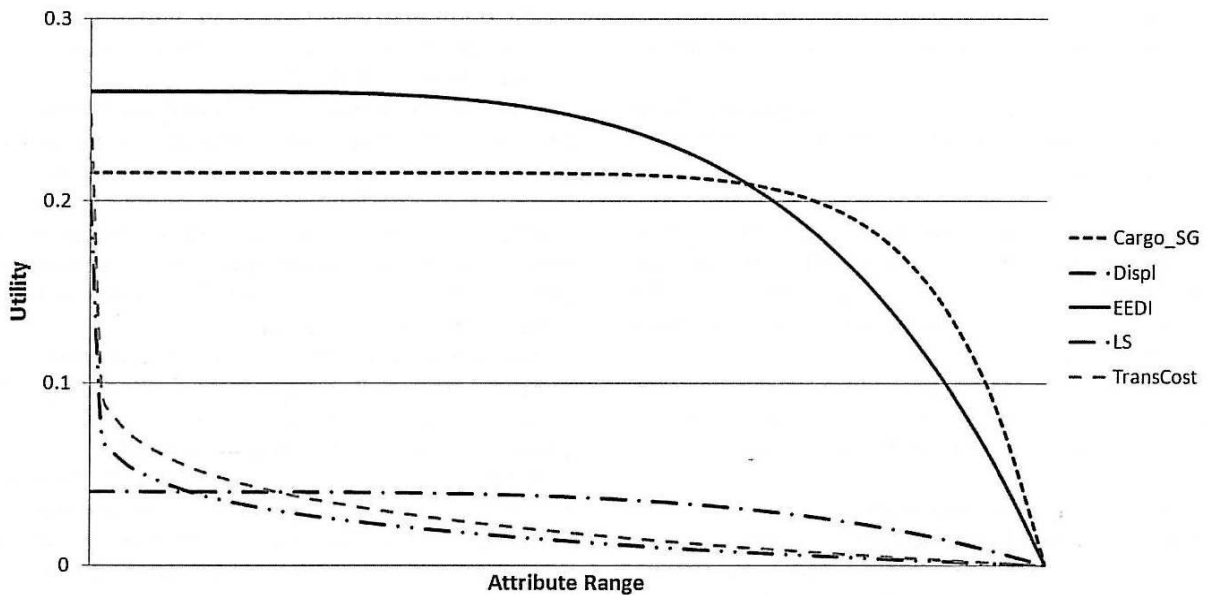


Fig. 10 Utility functions for ranking the Pareto AFRAMAX designs (SG, specific gravity; LS, lightship)

Table 1 Main dimensions of the optimum design

Length	241.00 m
Breadth	45.05 m
Depth	19.50 m
Draught	14.67 m
Block coefficient	0.827
Deadweight	116 000 ton
Lightship	18 877 ton
Main engine power	13 407 kW
EEDI	3.95
Payload	112 550 ton
Transportation cost	9.54 US\$/ton
Maximum specific gravity	0.935 t/m <sup>3</sup>

deterioration in the on-time arrivals of vessels (see the latest Container Shipper Insight report by Drewry Shipping Consultants). Of nearly 1600 ships tracked in the 3 months between 1 October 2009 and 31 December 2009, Drewry's report found that only 53 per cent arrived either on the scheduled day of arrival or a day prior to the scheduled day of arrival [31].

In order to investigate the impact of resetting the design point of future container ships with respect to the speed of service, a case study for the design

of two container ships with a carrying capacity of about 5000 TEU, but with different reductions in the speed, was launched. The first reduced the speed by 4 kn, namely from 25 kn to 21 kn, while the second corresponds to an even more radical speed reduction by 9 kn, i.e. to 16 kn. Valuable relevant information was retrieved from the Quantum project of Det Norske Veritas (DNV) [32]. A container ship database with ships built after 1995 up to 2007 was used, including 2535 different ships of various capacities. Relationships and charts in the NTUA-SDL ship database were updated to account for the influence of the TEU cargo capacity on the main particulars of the vessels. Energy efficiency indices, such as the Heickel coefficient and the specific resistance (SR) [33] or the specific tractive force (STF) were introduced, when comparing different modes of transportation [34]. The SR or the STF is defined as the fraction of the installed power divided by the product of the weight multiplied by the speed. The formulation given by Akagi and Morishita [35] was used with the power expressed in kilowatts, the weight in tons-force, and the speed in kilometres per hour. Finally, the semi-empirical weight estimation formulae were updated to account for the container ship calculations.

In order to examine the impact of the design changes, module 4 (i.e. the transport system and design solution development) was updated with an economic model for the container liner service. The data used were deduced from the work of Stopford [36]. The trans-Pacific route was selected for the case study. The model includes the following:

- (a) the service schedule based on a weekly schedule with seven port calls on the round voyage (e.g. Shanghai, Kobe, Nagoya, Tokyo, Sendai, Oakland, and Los Angeles);

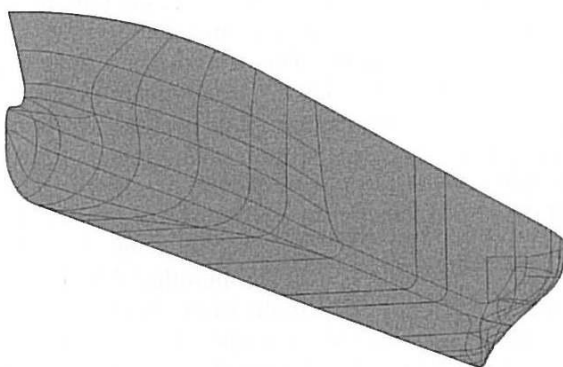


Fig. 11 Optimum AFRAMAX tanker hull form

- (b) capacity utilization, 90 percent for the eastbound leg and 40 percent for the westbound leg, recognizing the fact that there is much more cargo moving east in the selected route;
- (c) ship costs per day including operating expenses (OPEX), capital costs, and bunker costs;
- (d) port charges;
- (e) the cost of containers and their handling including transshipment, inland transport, inter-zone repositioning, and cargo claims;
- (f) the administration cost of running a global container service.

Thus, the updated module 4 includes all eight building blocks of liner costs [36] as follows:

- (a) the ship and its characteristics;
- (b) the service;
- (c) the capacity utilization;
- (d) the daily ship costs (OPEX, capital costs, and bunker costs);
- (e) the port charges;
- (f) the deployment of the containers;
- (g) the cost of containers and container handling;
- (h) the administration cost.

Given that the liner pricing is based on the cost per TEU, comparison of the economic efficiency of the designs in the following case studies was based on the average cost per TEU, i.e. the cost that the company should charge on both the eastbound leg and the westbound leg in order to cover all voyage costs.

### 6.3 The 21 kn container ship design

In this case, the implementation of the PDT as a fast decision support tool was investigated. Instead of performing a full optimization, the goal was to improve an existing design, producing radical changes in a short timeframe. In real life this could be accomplished during one or two executive meetings in a shipping company, with or without a major cargo owner.

The analysis of the database revealed that most of the existing designs are located around the  $(C_b, Fn) = (0.65, 0.25)$  operation point, where  $C_b$  is the block coefficient and  $Fn$  is the Froude number (Fig. 12). Additionally, using the reciprocal transport efficiency as a metric of the transport efficiency of the design [33], it is obvious that, in the 4000–6000 TEU range, a larger capacity is not directly linked to a higher efficiency (Fig. 13). The resemblance of the plot of the reciprocal transport efficiency versus the TEU capacity to the plot of the EEDI versus the DWT capacity

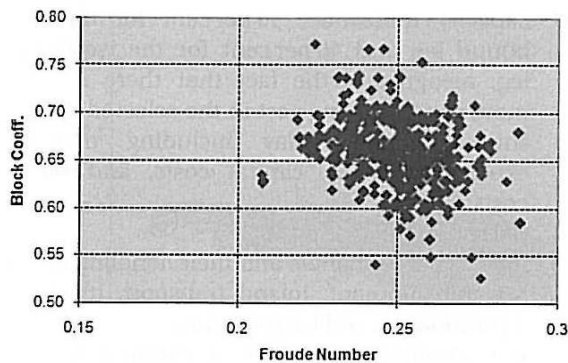


Fig. 12 The block coefficient  $C_b$  versus the Froude number  $Fn$  of existing container ships

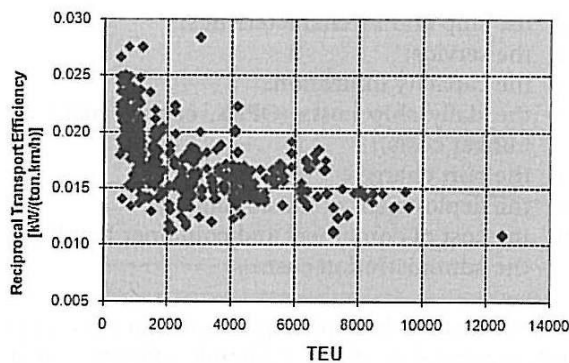


Fig. 13 The reciprocal transport efficiency versus the TEU capacity

(Fig. 6) is remarkable. The reciprocal transport efficiency is defined as

$$\text{Reciprocal transport efficiency} = \frac{\text{BHP(kW)}}{\Delta(\text{ton})V_s(\text{km/h})} \quad (1)$$

where BHP is the brake horsepower,  $\Delta$  is the displacement, and  $V_s$  is the service speed.

A subset of the database was used with designs having a TEU capacity of between 5000 and 6000 boxes. A reference ship was selected for verification of the PDT weight formulae. The general arrangement of the ship is shown in Fig. 14 and her main particulars are given in Table 2.

Based on only the TEU capacity, the PDT will normally design a typical post-Panamax ship, similar to the reference ship. Hence, the design goal herein will be to design a slower and wider ship with the required capacity. The TEU capacity of a cellular box-type ship, such as a container ship, is a function of the cross-section capacity and of the cargo hold length (Fig. 15).

Table 2 Main dimensions of the reference container ship

Length	263.00 m
Breadth	40.00 m
Draught	14.00 m
Block coefficient	0.61
TEU	5500
Speed	25 kn
BHP	≈ 55 000 kW
EEDI	24.05
Average cost per TEU	US\$1124
Number of ships for the schedule	4.9
Capital value	US\$89 × 10 <sup>6</sup>

The design goal herein is to increase the capacity per section in order to reduce the length of the ship, noting that this may eventually reduce the structural weight and increase the payload capacity. The reference design DWT is a function of the weight of the TEUs plus the weight (8670 tonf) of the bunkers. If the number of TEUs remains the same, then the number of bunkers is expected to be significantly reduced. It is assumed that the payload remains the same and the breadth of the ship is increased from 40 m to 45.6 m. This creates two additional rows both in the hold and on deck and will increase the capacity per hold by 72 TEUs. Therefore, one hold can be omitted, reducing the required length by 29.68 m to 233.32 m. This may be expected to lead to a reduced structural weight, in view of the reduced longitudinal bending and torsional moments.

Using the data from the reference design, its voyage cost was calculated and its breakdown is shown in Fig. 16.

Using the PDT a systematic evaluation of different designs was performed. Given the constraints in the main dimensions, only a small subset of the design variables was altered. This quick investigation resulted in an improved design with the following particulars. The resulting design is very close to DNV's Quantum project design, with a reduced block coefficient. From Table 3 it is obvious that a significant reduction in the installed power was achieved (-48 per cent). This resulted in a reduction of 33 per cent in the EEDI, although the utilization was reduced. The capital value was also reduced owing to the smaller required main engine. A factor of 250 €/kW was assumed for the machinery costs. All the above resulted in a reduction of 5 per cent in the average cost per TEU for the given ship. The problem, however, is that by operating this ship the company will have to put one more ship into service in order to maintain a weekly liner service. In Fig. 17 the reason for the small overall cost reduction is obvious; the total ship costs were reduced for

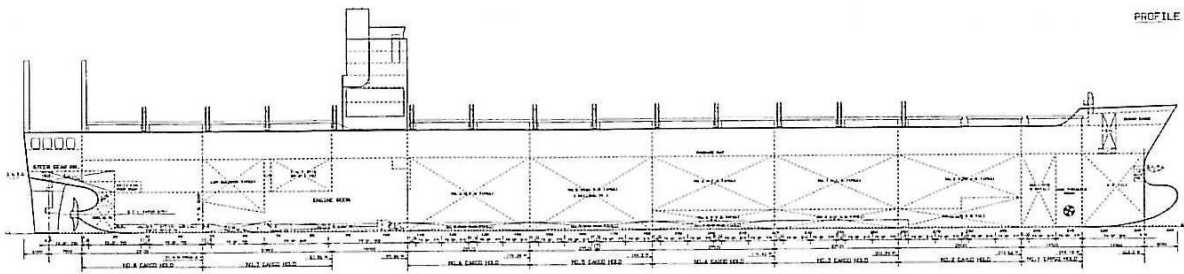


Fig. 14 GA of the reference container ship

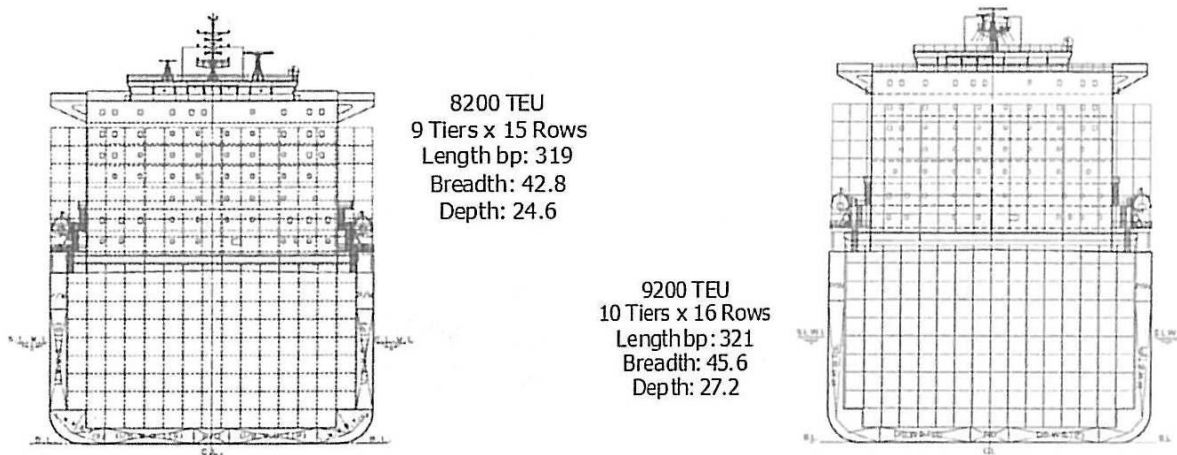


Fig. 15 The total TEU capacity as a function of the cross-section capacity

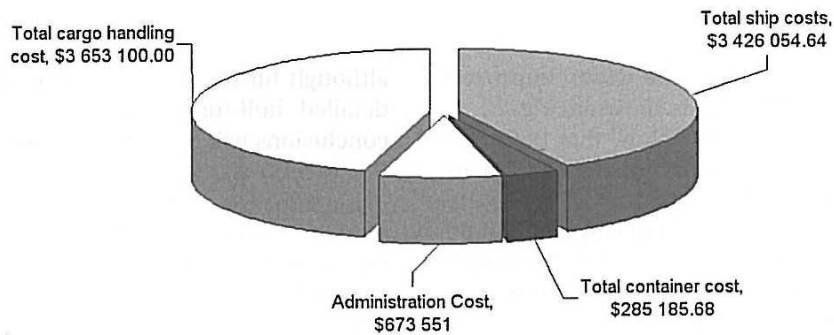


Fig. 16 Reference ship voyage cost breakdown

the improved design, but the rest of the cost items are more or less inflexible.

#### 6.4 The 16 kn container ship design

An even slower design travelling at 16kn with a capacity of about 5000 TEUs was also investigated. This resulted in a ship with the particulars given in Table 4. It is an extreme container ship design, coming closer to slow cargo ship designs. Employing the traditional naval architecture methodology, the

design specifications and the owner's requirements were transformed into requirements for the lines plan. The hull design was developed using data from the well-known FORMDATA Series [37, 38]. The preliminary body plan of the design is shown in Fig. 18, and the corresponding capacity plan in Fig. 19. The capital cost in this case was reduced both for the reduction in the machinery cost and for the reduction in the steel cost. The latter was assumed to be reduced by a factor of  $3.5 \times 10^3$  US\$/ton, resulting in a reduction of  $US\$9 \times 10^6$  on top of

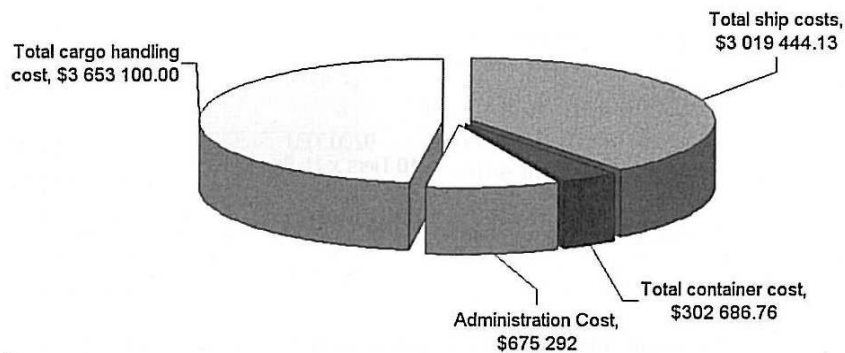


**Table 3** Main dimensions of the 21 kn improved design

<i>L</i>	233 m
<i>B</i>	45.6 m
<i>T</i>	13.5 m
TEU	5500
Speed	21 kn
Displacement	≈ 87 000 ton
$C_b$	0.59
Lightship	≈22 200 ton
BHP	≈29 000 kW (−48%)
EEDI	16.30 (−33%)
Average cost per TEU	US\$1056 (−6%)
Number of ships for the schedule	5.6 (instead of 4.9); thus + 1 ship
Capital value	US\$82 × 10 <sup>6</sup>
Depreciation time	20 years
Interest rate	8%
OPEX	7700 US\$/day

**Table 4** Main dimensions of the 16 kn improved design

<i>L</i>	230 m
<i>B</i>	44 m
<i>T</i>	13.0 m
TEU	4978
Speed	16 kn
Displacement	≈105 000 ton
$C_b$	0.78
Lightship	≈20 600 ton
BHP	≈17 200 kW (−69%)
EEDI	9.725 (−60%)
Average cost per TEU	US\$1086 (−3%)
Number of ships for the schedule	6.9 (instead of 4.9); thus + 2 ships
Capital value	US\$71 × 10 <sup>6</sup>
Depreciation	20 years
Interest rate	8%
OPEX	7700 US\$/day



**Fig. 17** 21 kn improved design voyage cost breakdown

the machinery cost savings. The 16 kn improved design voyage cost breakdown is shown in Fig. 20.

The results of this case study show that the drastic reduction in the EEDI does not correspond to drastic changes in the average cost per TEU. On the contrary, the significant fixed cost of cargo handling, the reduced number of round trips per year, and the reduced TEU capacity by almost 9 per cent diminishes the gains made by a reduction in the speed (−3 per cent). In addition, two more ships are now required in order to maintain the schedule, which means a higher capital investment to provide the same liner service. However, it should be noted that herein the probable reductions in the outfitting weight and the related cost, in view of the reduced ship length and capacity, could not be exactly accounted for and were assumed conservatively with marginal impact on the ship's capital cost. The same applies to consideration of the reduction in the machinery costs, noting that the reduction in the speed by 9 kn, or 36 per cent with respect to the reference ship's speed of 25 kn, led herein to a reduction in the powering by *merely* 69 per cent,

although further reductions could be achieved with detailed hull-form optimization. Thus, the above conclusions will be conservative in general but show the techno-economic limits of slow steaming. In Table 5 the Quantum design developed by DNV, the reference ship, and the two designs developed by SDL are compared. All designs have adequate ballast tank capacities and their maximum draughts meet the LLC requirements.

## 7 THOUGHTS ON THE EEDI

Using the EEDI in the above studies as a merit function for design optimization, it is inevitable that a few remarks should be made on this new environmental footprint index. The proper definition of the EEDI may be disputed. One main contradiction in the definition of the EEDI is that, although the aim is fundamentally to maximize the efficiency, the index in its present form should be minimized. Although this may be easily corrected by considering the reciprocal value of the EEDI, another

Table 5 Comparison of the designs

Parameter (units)	Value for the following			
	DNV Quantum design	Reference ship	21 kn SDL PDT design	16 kn SDL traditional design
Length (m)	272.3 (overall)	263 (bp)	233 (bp)	230 (bp)
Breadth (maximum/WL) (m)	49.0/42.5	40.0/40.0	45.6/45.6	44.0/44.0
Draught (m)	12.0	14.00 m	13.5 m	13.0 m
TEU	6210	5500	5500	5000
$C_b$	0.57	0.61	0.59	0.78
BHP (kW)	23 000*	55 000	29 000	17 200
Speed (kn)	21	25	21	16
DWT/TEU	8.78	12.36	11.76	16.96

\*Installed 33 MW.

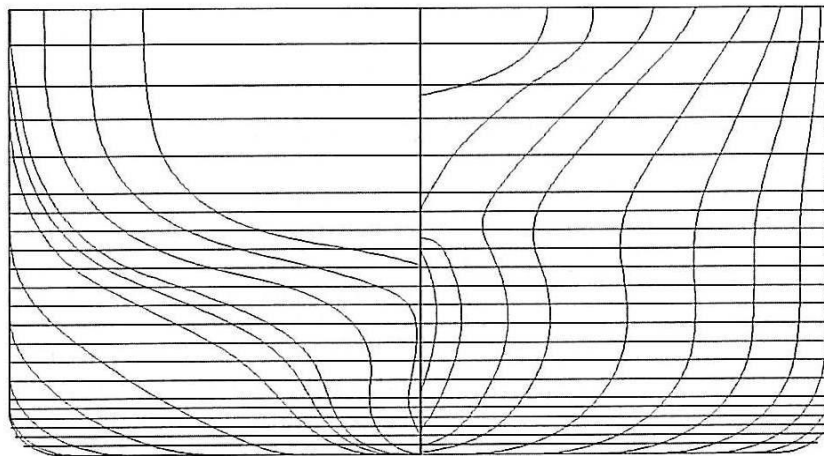


Fig. 18 Body plan of the 16 kn container ship design (from reference [39] with permission)

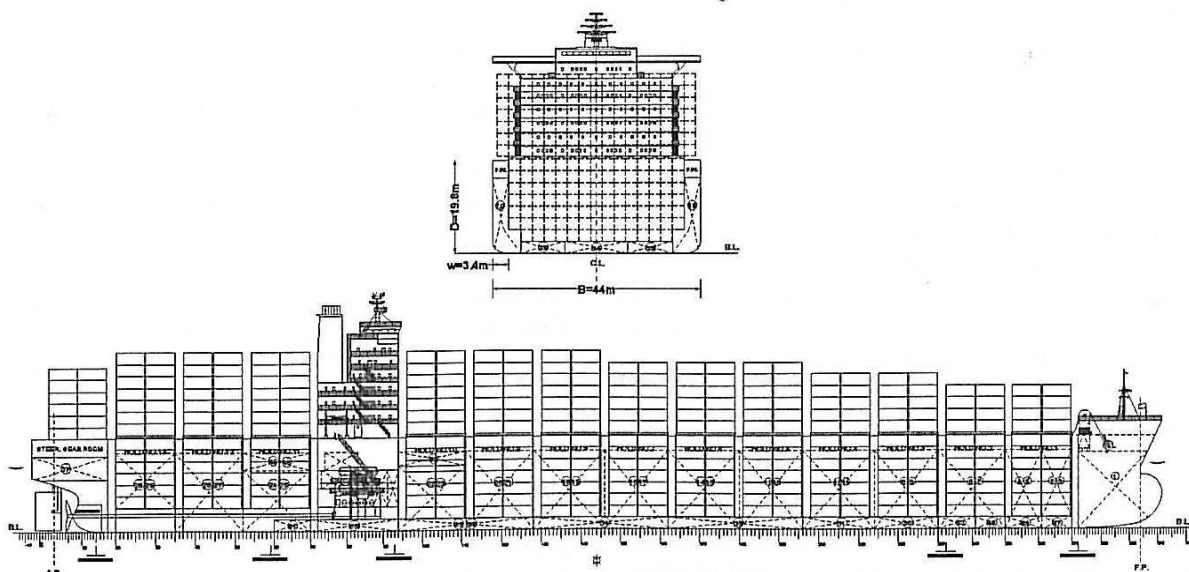


Fig. 19 Capacity plan of the 16 kn container ship design (from reference [39] with permission)

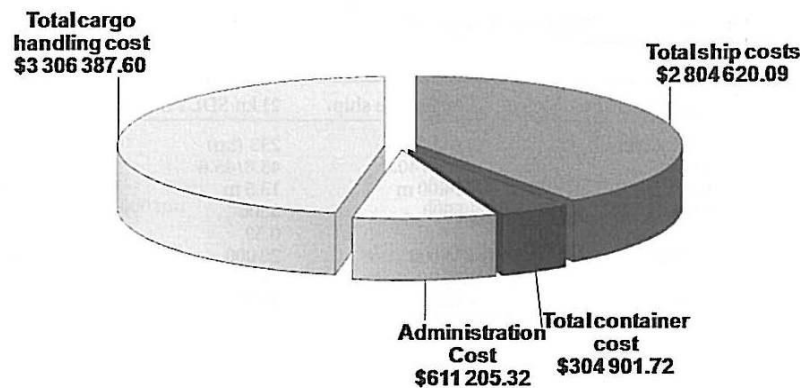


Fig. 20 16kn improved design voyage cost breakdown

drawback cannot be remedied, namely that the physics of the ship's powering are not properly reflected in the EEDI; thus, the impact of the size of the vessel and the installed power are not taken into account in the existing formulation. It could be argued that for the naval architect there are some very traditional and reliable measures for the assessment of the hull and propulsion efficiency, such as the well-known *British Admiralty constant* or the related *Heickel coefficient* defined as

$$K = \left( \frac{\sqrt{\Delta}}{P_B} \right)^{1/3} U \quad (2)$$

where  $\Delta$  is the displacement,  $P_B$  is the engine power, and  $U$  is the ship's trial speed. Either the Admiralty constant or the Heickel coefficient could be modified accordingly to take into account any improvements regarding the fuel consumption savings or the use of fuels that emit less  $CO_2$  (i.e. have a lower  $C_F$ ). In this case an alternative EEDI\* definition could be in the form

$$EEDI^* = \text{hull efficiency index} \times \text{energy efficiency index} \times \text{fuel } CO_2 \text{ efficiency index} \quad (3)$$

Another effective way to assess the efficiency of transport vehicles (of any type, i.e. land-borne, airborne, and waterborne vehicles) is the well-known Gabrielli-von Kármán (GK) [33] diagram. The diagram shows the required power per tonne of weight at a given speed of transport. The lower this ratio is for a given speed, the higher the efficiency. The GK diagram depicts the physical and technological limitations of the various means of transportation. In Fig. 21 the design points of the reference container ship and of the 21 kn improved design are plotted. It is obvious that, from the GK transport efficiency point of view, the improved design proves to be not better than the

initial design, although it demonstrates an improved EEDI, which is not considered herein.

## 8 CONCLUSIONS

The work presented herein demonstrated the applicability of a holistic ship design approach using a PDT to optimization at the conceptual design stage. The PDT developed initially for the implementation of the LOGBASED methodology in ro-ro ship design has been further enhanced to facilitate the design of other ship types, such as bulk carriers, tankers, and container ships. The tool can help the decision maker to assess the ship design space of the transportation system rationally in its business concept and to estimate the environmental impact and the economic incentives. Case studies of an AFRAMAX oil tanker, two 5500 TEU container ships, and one 5000 TEU container ship were presented herein to demonstrate the developed concept. The tool can also be used to assess the operating  $CO_2$  index of a ship in a given trading scheme, using the existing methods in the LOGBASED module 4. This is a further step in the initial LOGBASED methodology, thereby improving the interaction between yards, operators, and other market stakeholders when searching for optimal ship design solutions.

## FUNDING

This work was partially supported by the NTUA-DNV Bilateral Gift Project (2007–2010) on Ship Design Optimization (grant number NTUA-63/16 66).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are solely responsible for the contents of the paper and the expressed opinions, which do not necessarily represent the opinion of DNV.

© Authors 2011

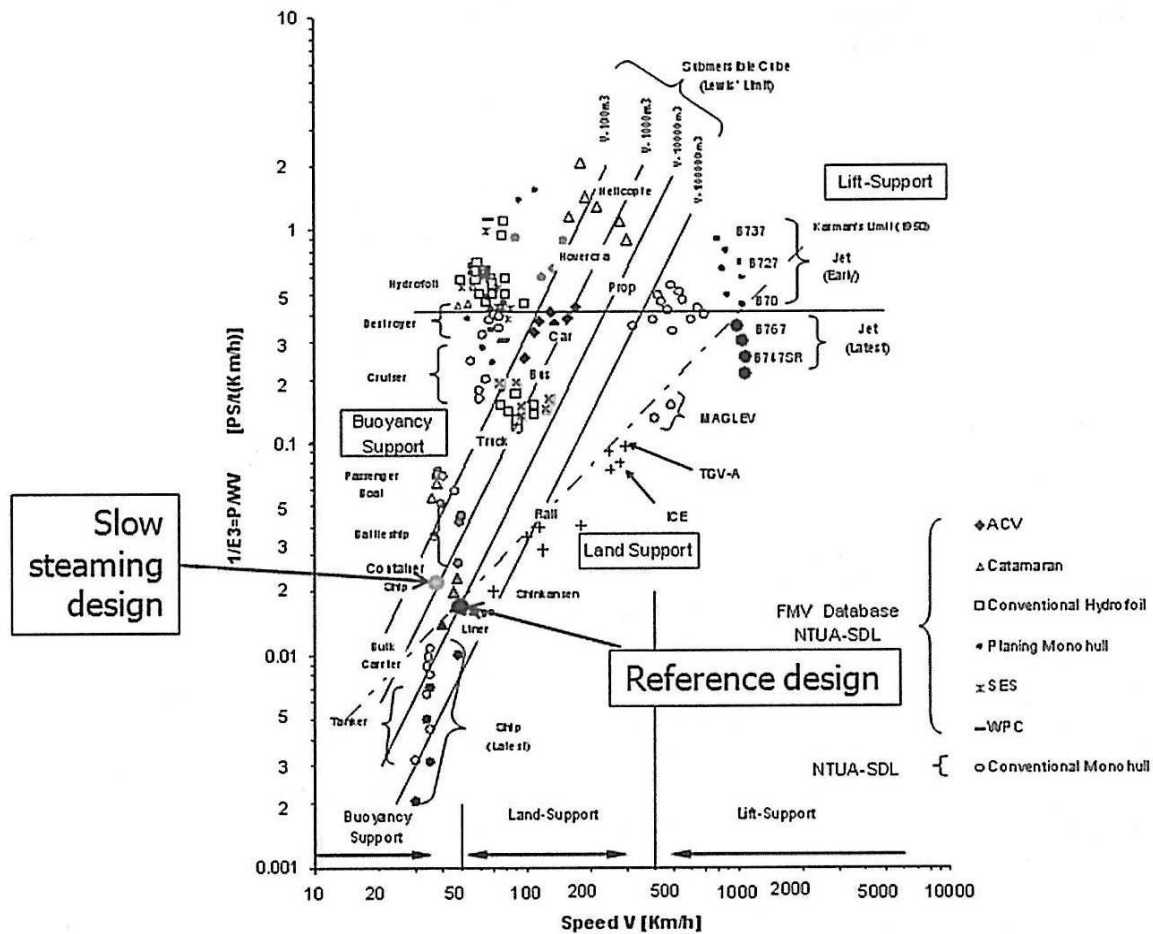


Fig. 21 Design points of the reference and the 21 kn improved designs on the GK diagram (from reference [40] with permission): (ACV, air cushion vehicles; TGV-A, Train à Grande Vitesse-Atlantique; SES, surface effect ships; WPC, wave-piercing catamarans)

REFERENCES

- 1 Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen Z., Marquis, M., Avery, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (Eds) Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007* (Cambridge University Press, Cambridge).
- 2 Buhaug, Ø., Corbett, J. J., Eyring, V., Endresen, Ø., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D. S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A. Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Palsson, C., Wu, W., Winebrake, J. J., and Yoshida, K. Second IMO GHG study 2009. Report, International Maritime Organization, London, UK, April 2009.
- 3 IMO Marine Environment Protection Committee, Prevention of air pollution from ships, Report of the Intersessional Correspondence Group on Greenhouse Gas Related Issues. Document MEPC

- 57/4/5 (Australia and The Netherlands), International Maritime Organization, London, UK, December 2007.
- 4 DG Research, Logistics-based (LOGBASED) Design Project STREP in the Sixth Framework Programme of the European Commission, 2004–2007.
- 5 Brett, P. O., Boulougouris, E., Horgen, R., Konovessis, D., Oestvik, I., Mermiris, G., Papanikolaou, A., and Vassalos, D. A methodology for logistics-based ship design. In Proceedings of the Ninth International Marine Design Conference (IMDC 06), Ann Arbor, Michigan, USA, 16–19 May 2006, pp. 856–869.
- 6 Johnsen, T. A. V. and Vabø, T. J. *Strategic planning for the Norwegian Rhine Line by use of operations research*. Master Thesis, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim, Norway, 2006.
- 7 Boulougouris, E. K., Gohari, C., and Papanikolaou, A. D. Ship design optimization in the multimodal logistics framework. *Harbin Gongcheng Daxue Xuebao (J. Harbin Engng Univ.)*, 2007, 27(Suppl. 2), 150–159.

- 8 Schneekluth, H. and Bertram, V. *Ship design for efficiency and economy*, 2nd edition, 1998 (Butterworth–Heinemann, Oxford).
- 9 Erikstad, S. O. Introduction to marine systems design models and methods. Lecture Notes, University of Trondheim, Trondheim, Norway, August 2003.
- 10 Murphy, R. D., Sabat, D. J., and Taylor, R. J. Least cost ship characteristics by computer techniques. *J. Mar. Technol.*, 1965, 2(2), 174–202.
- 11 Nowacki, H., Brusis, F., and Swift, P. M. Tanker preliminary design – an optimization problem with constraints. *Trans. SNAME*, 1970, 78, 357–390.
- 12 Papanikolaou, A., Kaklis, P., Koskinas, C., and Spanos, D. Hydrodynamic optimization of fast displacement catamarans. In Proceedings of the 21st International Symposium on *Naval hydrodynamics (ONR 96)*, Trondheim, Norway, June 1996, pp. 697–714.
- 13 Boulougouris, E. and Papanikolaou, A. Hull form optimization of a high-speed wave piercing monohull. In Proceedings of the Ninth International Marine Design Conference (*IMDC 06*), Ann Arbor, Michigan, USA, 16–19 May 2006, pp. 559–581.
- 14 Papanikolaou, A. Holistic ship design optimization. *Computer-Aided Des.*, 2010, 42(11), 1028–1044.
- 15 SAFEDOR, Design, operation and regulation for safety, Integrated Project 516278 in the Sixth Framework Programme of the European Commission, Annual Public Report Year 1 and Annual Public Report Year 2, 2005–2009, available from <http://www.SAFEDOR.org>.
- 16 Vassalos, D. Risk-based design: passenger ships. In *Risk-based ship design – methods, tools and applications* (Ed. A. Papanikolaou), 2009 (Springer).
- 17 NAPA Oy, NAPA software, 2008, available from <http://www.napa.fi/>.
- 18 ESTECO, modeFRONTIER software v.2.5.x, 2003, available from [http://www.esteco.com/home/mode\\_frontier/mode\\_frontier.html](http://www.esteco.com/home/mode_frontier/mode_frontier.html).
- 19 *Register of ships*, CD-ROM, 2007 (LR-FAIRPLAY Ltd, Coulsdon, Surrey).
- 20 Buxton, I. L. *Engineering economics and ship design*, 1976 (The British Ship Research Association, Wallsend).
- 21 Watson, D. G. M. *Practical ship design*, Elsevier Ocean Engineering Book Series, 2002 (Elsevier Science, Oxford).
- 22 Holtrop, J. and Mennen, G. G. J. An approximate power prediction method. *Int. Shipbuilding Prog.*, 1982, 29, 166–170.
- 23 Holtrop, J. A statistical reanalysis of resistance and propulsion data. *Int. Shipbuilding Prog.*, 1984, 31, 272–276.
- 24 Propulsion trends in bulk carriers. Report, MAN Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2007.
- 25 IMO Marine Environment Protection Committee, Interim guidelines on the method of calculation of the energy efficiency design index for new ships. Circular MEPC.1/Circ.681, International Maritime Organization, London, UK, 17 August 2009.
- 26 IMO Greenhouse Gas Emissions Working Group, Recalculation of energy efficiency design index baselines for cargo ships. Document GHG-WG 2/2/7 (Denmark), International Maritime Organization, London, UK, 4 February 2009.
- 27 IMO Marine Environment Protection Committee, Comments on the EEDI baseline formula. Document MEPC 60/4/15 (Greece), International Maritime Organization, London, UK, 15 January 2010.
- 28 IMO Marine Environment Protection Committee, Consideration of the energy efficiency design index for new ships – recalculated baseline for container vessels. Document MEPC 60/4/14 (Denmark, the Marshall Islands, and the World Shipping Council), International Maritime Organization, London, UK, 12 January 2010.
- 29 Papanikolaou, A., Tuzcu, C., Tsihchlis, P., and Eliopoulou, E. Risk-based optimization of tanker design. In *Risk-based ship design – methods, tools and applications* (Ed. A. Papanikolaou), 2009 (Springer).
- 30 TANKOPT: optimization of AFRAMAX tankers. Germanischer Lloyd–National Technical University of Athens Bilateral Project, 2008–2009.
- 31 Baird Maritime, Drewry: slow-steaming no guarantee of service reliability, 17 March 2010, available from [http://www.bairdmaritime.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5945:drewry-slow-steaming-no-guarantee-of-service-reliability&catid=111:general-shipping-news&Itemid=205&q=drewry+slow+steaming](http://www.bairdmaritime.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5945:drewry-slow-steaming-no-guarantee-of-service-reliability&catid=111:general-shipping-news&Itemid=205&q=drewry+slow+steaming).
- 32 DNV Container Ship Update No. 1, Det Norske Veritas (DNV), Høvik, Bærum, Akershus, Norway, April 2010.
- 33 Gabrielli, G. and von Kármán, T. What price speed? Specific power required for propulsion of vehicles. *Mech. Engng*, 1950, 72(10), 775–781.
- 34 Young, J., Smith, R., and Hillmanssen, S. What price speed – revisited. *Ingenia*, 2005, 22, 46–515.
- 35 Akagi, S. and Morishita, M. Transport economy-based evaluation and assessment of the use of fast ships in passenger-car ferry and freighter systems. In Proceedings of the Sixth International Conference on *Fast sea transportation (FAST 2001)*, Southampton, UK, 4–6 September 2001, vol. 1, 16 pp. (RINA, London).
- 36 Stopford, M. *Maritime economics*, 3rd edition, 2009 (Routledge, London).
- 37 Guldhammer, H. E. *FORMDATA III, hydrostatic data for tanker and bulbous bow series, wetted surface, comparison with other series and existing ships*, 1967 (Danish Technical Press, Copenhagen).
- 38 Guldhammer, H. E. *FORMDATA IV, hydrostatic data transom stern series of various stern breadths*, 1969 (Danish Technical Press, Copenhagen).
- 39 Pavlou, A. *Conceptual design of a slow steaming container ship*. Diploma Thesis, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 2010.
- 40 Papanikolaou, A. Review of advanced marine vehicles concepts. In Proceedings of the Seventh International Symposium on *High speed marine vehicles (HSMV 2005)*, Naples, Italy, 21–23 September 2005, 8 pp.



# Visions Olympics

---

## 2011 VISIONS-OLYMPICS COMPETITION

---

Idea Number: L2-08

Project Related to:	RA1 – Green Shipping- Safety at sea	<input type="checkbox"/>
	RA2 – Green Shipping- Green logistics	<input checked="" type="checkbox"/>
	RA3 – Green Shipping- Energy efficient ship	<input checked="" type="checkbox"/>

Project Title:

THE E4- CONTAINERSHIP



**CESA3**  
COMMUNITY OF EUROPEAN SHIPYARDS' ASSOCIATIONS



## Introduction

### Container transportation by ships

Liner services play a central part in the global trading network, carrying about 60 per cent of the value of goods shipped by sea. They provide fast, frequent and reliable transport for almost any cargo to almost any foreign destination at a predictable charge.

Container transport has obtained such a central role in world trade that the significant growth continues even through economic crises, as we have seen with the recent global financial crisis the last 3 years.

As of 2010[1], container ships made up 13.3% of the world's fleet in terms of deadweight tonnage. The world's total of container ship deadweight tonnage has increased from 11 million DWT in 1980 to 169.0 million DWT in 2010. The combined deadweight tonnage of container ships and general cargo ships, which also often carry containers, represents 21.8% of the world's fleet. As of 2009[update], the average age of container ships worldwide was 10.6 years, making them the youngest general vessel type, followed by bulk carriers at 16.6 years, oil tankers at 17 years, general cargo ships at 24.6 years, and others at 25.3 years [1]. According to [2] a chart with the change in world TEU container fleet for period 1990-2014 is presented based on statistical estimation and a projected profile (see Σχήμα 1).

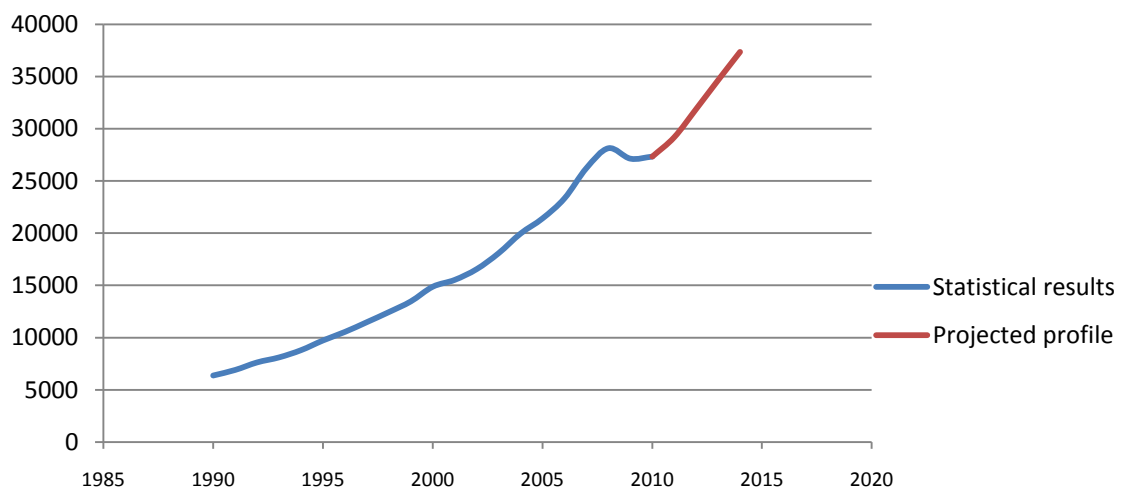


Figure 3. World TEU container Fleet for Period 1990-2014

In recent years, oversupply of container ship capacity has caused prices for new and used ships to fall. From 2008 to 2009, new container ship prices dropped by 19–33%, while prices for 10-year-old container ships dropped by 47–69% [3]. In 2009 11,669,000 gross tons of newly built container ships were delivered. Over 85% of this new capacity was built in the Republic of Korea, China, and Japan, with Korea accounting for over 57% of the world's total alone. New container ships accounted for 15% of the total new tonnage that year, behind bulk carriers at 28.9% and oil tankers at 22.6%. In the Σχήμα 2 [2] are shown the container ships as a percentage of the top market.



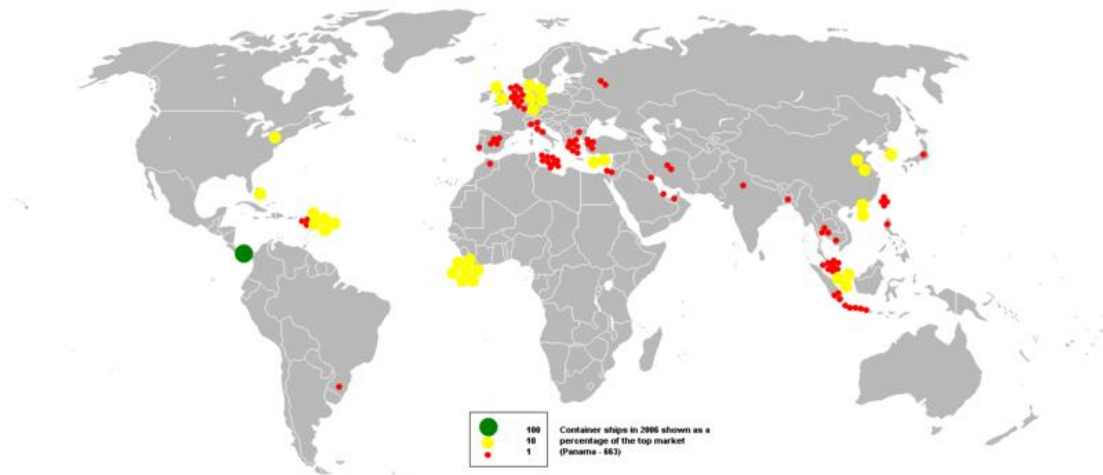


Figure 4. Container ships as a percentage of the top market

The global economic downturn of 2008–2009 resulted in more ships than usual being sold for scrap [4]. In 2009 364,300 TEU worth of container ship capacity was scrapped, up from 99,900 TEU in 2008. Container ships accounted for 22.6% of the total gross tonnage of ships scrapped that year. Despite the surge, the capacity removed from the fleet only accounted for 3% of the world's containership capacity. The average age of containerships scrapped in 2009 was 27.0 years.

Liner companies responded to their overcapacity in several ways. For example, in early 2009, some container lines dropped their freight rates to zero on the Asia-Europe route, charging shippers only a surcharge to cover operating costs. They decreased their overcapacity by lowering the ships' speed (a strategy called "slow steaming") and by laying up ships. Slow steaming increased the length of the Europe-Asia routes to a record high of over 40 days.

In the present market situation, main engines will not be as much of a limiting factor for vessel growth either. The steadily rising cost of fuel oil has prompted most container lines to adapt a slower, more economical voyage speed, of about 21 knots, compared to earlier top speeds of 25 or more knots. Subsequently, new-built container ships can be fitted with a smaller main engine. Engine types fitted to today's ships of 14,000 TEU are thus sufficiently large to propel future vessels of 20,000 TEU or more.

## Environmental issues

Considering the staggering percentages of world trade vessels transport (80%), it is remarkable to note that shipping is already the most environmentally friendly mode of transport and that emissions emitted from ships are small (3%). Operational pollution has been reduced to a negligible amount. MARPOL 73/78 is the most important set of international rules dealing with the environment and the mitigation of ships pollution. However, there have also been considerable improvements in the efficiency of engines, ship hull designs, propulsion, leading to a decrease of emissions and increase of fuel efficiency. The environmental footprint of shipping has been significantly improved through inputs from the marine equipment industry, which adopts a holistic approach when looking at the maritime sector. The equipment suppliers are a valued contributor and innovator within the maritime cluster. The shipbuilding sector encompasses the shipyards and the marine equipment manufacturers including service and knowledge providers. The European

marine equipment industry is the global leader in propulsion, cargo handling, communication, automation and environmental systems [5].

Air pollution from ships has been at the center stage of discussion by the world shipping community at least during the last decade. Looking at developments at the International Maritime Organization (IMO) level, thus far progress as regards air pollution from ships has been mixed and rather slow. As the goal of environment-friendly shipping is high on the agenda of the IMO, the European Commission and many individual coastal states, reduction of emissions, both from greenhouse gases (GHG) such as CO<sub>2</sub> , and also from SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> , and other gases, is an important and urgent target.

Emissions from commercial shipping are currently the subject of intense scrutiny by the world shipping community and society at large. According to the Kyoto protocol definite measures to reduce CO<sub>2</sub> emissions are necessary in order to curb the projected growth of greenhouse gases (GHGs) worldwide. Shipping has thus far escaped being included in the Kyoto global emissions reduction target for CO<sub>2</sub> and other GHGs. But it is clear that the time of non-regulation is rapidly approaching its end, and measures to curb future CO<sub>2</sub> growth are being sought with a high sense of urgency. CO<sub>2</sub> is the most prevalent of these GHGs, and it is therefore clear that any set of measures to reduce the latter should primarily focus on CO<sub>2</sub>. Various analyses of many aspects of the problem have been and are being carried out and a spectrum of measures is being contemplated [6].

According to the results of IMO, the three most fuel consuming categories of ships (and thus, those that produce most of CO<sub>2</sub> emissions) are Container vessels of 3,000-5,000 TEUs, Container vessels of 5,000-8,000 TEUs and RoPax Ferries with cruising speed of less than 25 knots.

The answer to why these three categories produce that huge amount of CO<sub>2</sub> emissions is not the large number of ships – obviously not for the case of container vessels. Their common denominator is their high speed.

CO2 emissions per vessel category (million tonnes)

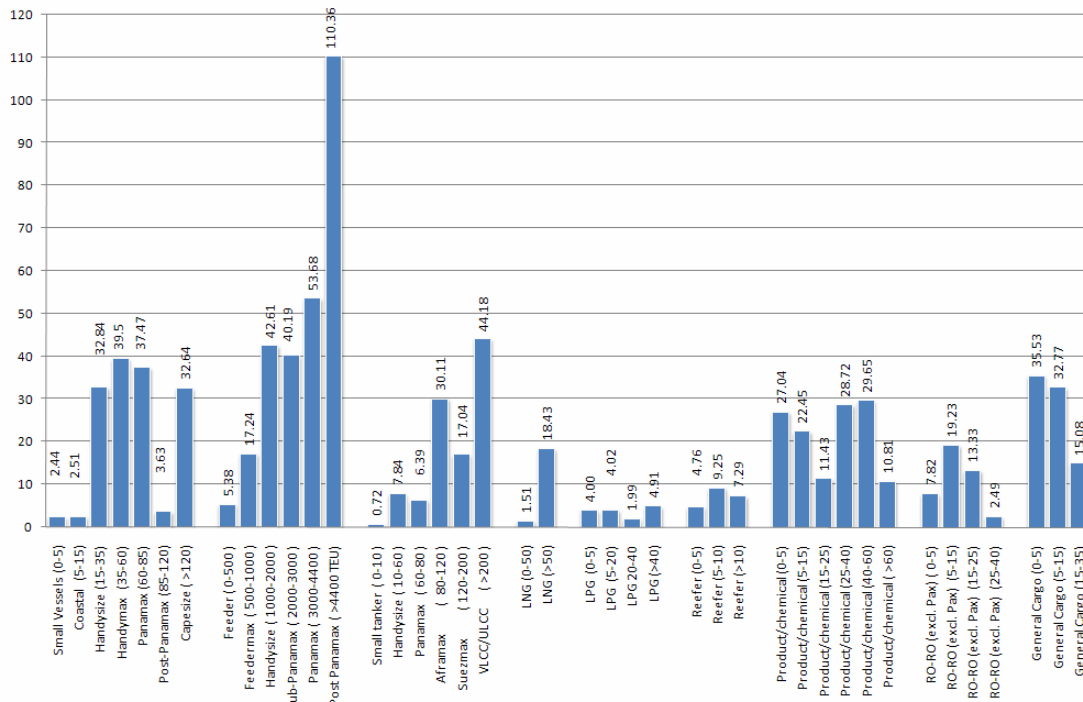


Figure 5. CO2 emissions, world fleet (Psaraftis and Kontovas, 2009a)

## Selection of research area

With the significant improvement of the global market situation and the important shipbuilding capacity consolidation that took place during the past two years in Europe the major challenges that need to be faced during the next years are on the one hand the increased legislative pressure towards CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> reduction, as well increasing fuel price requiring alternative fuels and reduction of fuel consumption. On the other hand the European shipbuilding companies need to meet financing challenges in a world of increasing trade which consequently results to higher transportation capacities.

European shipping industry is on the search for opportunities and ways out of the crisis but to do that, an overview of the current situation has to be done.

In a world where the population is growing fast, the trading blocks, together with new economies in countries like India, China and Brazil will increase in importance.

Many issues come up regarding energy sources, environmental impact and business trends [7].

- The energy-related threats that the world is facing are the inadequate secure supplies of energy and the cost of them. In addition, concern should be taken about the environmental damage which is caused by the increased energy consumption.
- Environmental issues are highly ranked and humanity must prepare for the consequences of the ongoing climate change and work together to slow down and reverse these adverse effects.
- The growing numbers of consumers in emerging economies will have a great impact on global market and is a factor of uncertainty for the future.

The research areas that have been agreed by the VISIONS-Olympics-Team enclose all these concerns and expect feasible solutions and proposals that could have a positive influence on these matters.

The E<sup>4</sup> Container Ship anticipates being an efficient ship that can increase the position of the European market and on the same time focuses on the minimization of its environmental impact.

The research area that have been selected are the Green Logistics(RA2) and the Energy Efficient Ship (RA3).

### Green Logistics (RA2)

There is growing concern over the impact of discharges to sea and ballast water management will be stricter, with new international requirements. Ship owners will be obliged to use Ballast Water Treatment (BWT) units on their vessels and that mean energy consumption and reduction of the payload.

The E<sup>4</sup> container ship, based on its innovative hull form design requires a minimum amount of ballast water, almost 1/3 compared to a typical container ship.

### Energy Efficient Ship (RA3)

As a consequence of increased fuel cost and the introduction of environmental taxes and legislation, shipping must become more efficient. In addition, stricter environmental regulations are pushing the shipping industry towards more environmentally-friendly designs and operations. Incentives for emission reduction

for shipping, including emission trading schemes and tax mechanisms, will increasingly be deployed and a CO2 Emission Indexing Scheme is under preparation by IMO.

Taken all the above mentioned into account an innovative container ship design concept is proposed that achieves to reduce fuel consumption and emissions through ship design and optimization.

## Literature Survey

### Slow Steaming

Most container ships trading today, and on order, were designed for a world of relatively low energy prices. Nearly all of the world's shipping lines are using slow steaming at least part of the time. Companies are more focused on reducing costs, not speed of delivery and the trend will continue even after the global economy comes back.

Slow steaming sees vessels pare back their cruising speeds from 22-25 knots to 18-20 knots, or in the case of extra slow steaming, as low as 8-12 knots. The practice caught on in 2008 when oil prices hit record levels and shipping operators' bunker bills skyrocketed. When the global financial crisis soon followed, and oil prices dropped, slow steaming survived, helping shipping lines to manage overcapacity as demand fell.

According to DNV [8] about 80% of the loops from Asia to Europe are currently slow steaming and that illustrates to what extent the industry has embraced the concept. The majority of the Asia–Europe services are running at speeds of 17–19 knots.

Maersk Line [9] reported that from 2007 to 2010 they reduced their CO<sub>2</sub> emissions per container moved by 14.5 per cent by improving their operational efficiency, most importantly through the application of slow steaming, which alone has cut CO<sub>2</sub> emissions by approximately 7 per cent in just 18 months. Slow steaming began as a cost-saving initiative in 2008 but is now a core operating principle of Maersk Line, in spite of the market turn-around in 2010. A typical 8,000-container ship traveling at 21 knots will burn 125 metric tons of fuel to go 500 nautical miles. The same ship will need just 80 metric tons of fuel to travel the same distance if the speed drops to 15 knots.

As the industry continues a sluggish recovery, slow steaming practices are here to stay because it cuts costs and lowers CO<sub>2</sub> emissions and that is where the pressure is going to build on ship operators in coming years.

According to the Lloyd's Register [10], there are technical considerations, when reducing speeds to below 20 knots, which means running at reduced power outputs. To ensure reliable operation from engines designed to run optimally at higher outputs, closer surveillance of engine performance and operating parameters, fuel quality, lube oil consumption and power-speed conditions will be required. For example, a relatively straightforward calculation demonstrates that, for a large container ship designed for 25 knots at 70,000kW main engine power, speed reduction to 20 knots would require just 50% power. Given that voyage time will increase as a consequence of the reduced speed, the fuel saving will be somewhat less, about 40%. So slow steaming can offer a large saving in fuel consumption; however, it can be calculated that total NO<sub>x</sub> emissions increase - by up to 40 tonne per voyage – when steaming between 20 and 25 knots.

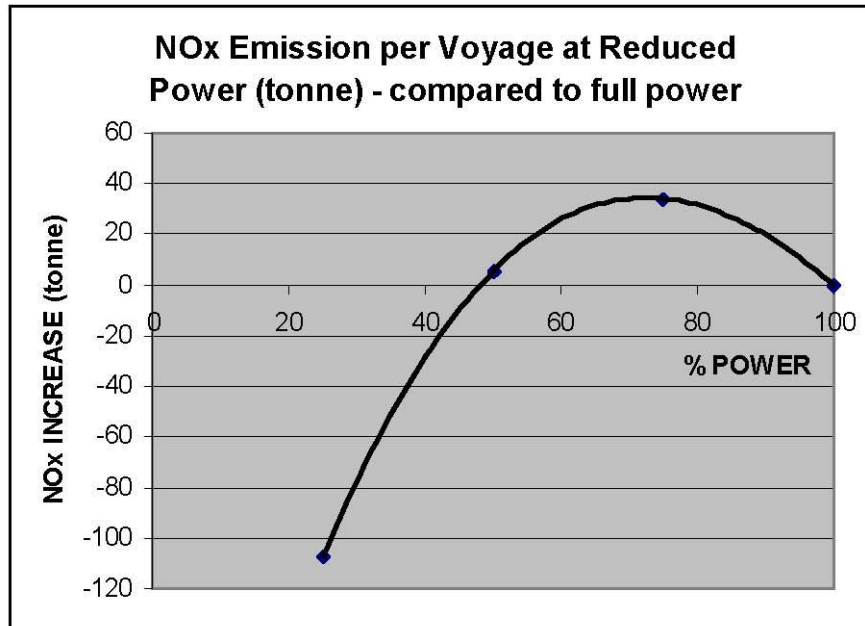


Figure 6. NOx emission increase in tonnes per Voyage at reduced power compared to full power [8]

In addition it is a waste of capacity and a capital cost penalty to carry unused power potential. Factors to be taken also into account are:

- Possible loss of effectiveness of heat recovery systems.
- Loss of turbocharger efficiency.
- Loss of propeller efficiency.
- Fouling of hull and propellers due to reduced ship speed.
- Increased compensatory fuel consumption of auxiliary engines to supplement loss of heat recovery capability.
- Increased lubricating oil consumption.
- Possible increased vibration levels and detrimental effects.

## Ballast Water Treatment

When dealing with ballast two are the main unwanted effects [5]:

- Ballast water contains organisms that can cause damage when released to different ecosystems; Invasive organisms can bring about changes to the marine flora and fauna and cause damage to marine industries such as fishing – this is a concern not only of environmentalists, but also of international society (recent IMO regulations)
- the additional fuel to carry the ballast water, while it is not part of payload – this is concern of the ship operator.

A conventional 90k DWT Containership in lightship condition will typically float with a mean draft of 3-4 meter- with the bow and propeller almost out of the water. For this reason ballast water is needed in order to increase displacement; besides, any conventional containership with a significant number of deck-containers will need to carry a substantial amount of ballast water as part of her deadweight in the design

condition for keeping the vertical position of ship's mass centroid (and of GM) at acceptable levels.

According to the current legislation all ships have to be fitted with ballast water treatment systems [11]. There are various technologies currently available employing different methods such as, chemical treatment, heating, filtration, ultraviolet light, etc. The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments also allows for the adoption of prototype technologies in certain ships if agreed upon by the IMO. There are effective technologies already in existence with the scope for further innovation and research. Removing organisms from ballast water goes a long way to ensuring that alien species do not invade fragile marine ecosystems [12].

The aim is to clamp down the transfer of organisms in ballast water –and the subsequent damage potentially caused by alien species entering unfamiliar regional ecosystems- by specifying that each tone of ballast water should contain less than 10 living organisms larger than 50 microns( $\mu\text{m}$ ) and that each tone must contain less than 10 such organisms of between 10-50 $\mu\text{m}$  per milliliter of ballast water.

The shipping industry will have to comply with these new regulations in the near future and that could happen in two ways. The first and more direct one is the ship owners to purchase ballast water treatment (BWT) systems for their fleet. That would mean a considerable initial capital for retrofitting and in the long terms great operational cost for maintenance and extensive energy consumption.

The second, more delicate solution –but still hard to apply on the spot– is to build vessels that require less or even no ballast. Efforts have already being done e.g. from the Shipbuilding Research Centre of Japan with remarkable results. The NOBS (non-ballast water ship) and MIBS (minimum ballast water ship) are the proposed designs and have been taken into consideration throughout this project. It is intended to design a vessel that could maintain adequate draft while in the unloaded condition in order to prevent bow slamming and propeller racing (immersion) without or with minimum use of ballast water .

The NOBS design contains a few flaws. In essence, the NOBS would employ a slanted V-shaped ship bottom but it was found that the design would result in a vessel with a far greater breadth and a narrow keel than conventional ship designs, raising queries about the practicality of building and operating such a vessel type-amounts of cargo would have had to be drastically slashed, making an unprofitable venture to say the least, while the narrow keel would have required special measures to be taken during construction and docking.

The innovative MIBS design that substituted the SRC's NOBS concept will reduce the amount of ballast water required by approximately 60-80% while increasing overall propulsion efficiency and reducing horsepower output by some 10% [10]. By cutting the amount of ballast water stored onboard, the MIBS design will also require fewer BWT units or at least the installation of smaller and less powerful units capable of thoroughly treating water while consuming less shipboard energy.

## **Energy Efficiency Design Index (EEDI)**

The Energy Efficiency Design Index (EEDI) is conceived as a future mandatory instrument to be calculated and made as available information for new ships. EEDI represents the amount of CO<sub>2</sub> in gram emitted when transporting one deadweight tonnage of cargo one nautical mile [13].

For container vessels, the EEDI value is essentially calculated on the basis of 65% of the maximum cargo capacity in dwt, propulsion power, ship speed, SFOC and fuel type. However, certain correction factors are applicable, e.g. for installed Waste



Heat Recovery systems. To evaluate the achieved EEDI, a reference value for the specific ship type and the specified maximum dwt cargo capacity is used for comparison. The final calculation method of the EEDI and how to award compliance (or penalize non-compliance) has not yet been determined.

The main engine's 75% SMCR (Specified Maximum Continuous Rating) figure is as standard applied in the calculation of the EEDI figure, in which also the CO<sub>2</sub> emission from the auxiliary engines of the ship is included.

According to the rules under discussion, the EEDI of a new ship is reduced to a certain factor compared to a reference value yet to be decided. Thus, a ship built after 2025 is proposed to have a 30% lower EEDI than the reference line. This new regulation will compel ship owners to take the energy saving issue more seriously.

There has been an increasing interest in waste heat recovery systems and other systems to recover energy in order to reduce the CO<sub>2</sub> footprint which will be a factor of great importance especially in the years to come considering also the continuously rise of fossil fuels price. Thus, EEDI is still at a very early stage so it is still under discussion and new proposals are rising up every day in order to result in a reliable energy efficiency index.

## **DNV'S QUANTUM**

Innovative concepts for future containerships are envisaged in DNV's Quantum projects. Namely the Quantum 6000 and 9000 propose many novel features and some of them will certainly be found in future commercial designs. As a container ship of the future, it strives to achieve the aim of transporting more cargo with less fuel for a low impact on the environment. DNV follows the trend of slow steaming by reducing the speed and implements gas fuel combined with hull optimization resulting in high efficient designs.

## **NOBS-MIBS-QUANTUM**

Our proposed E<sup>4</sup> containership concept is targeting similar goals like the NOBS-MIBS and QUANTUM concepts in designing an efficient ship with minimum environmental impact; however, in achieving the set goals we explored and implemented a variety of new ideas, which will be elaborated in the following. The Quantum and NOBS-MIBS projects should be used as good reference points (yardsticks) for our proposed E<sup>4</sup> designs.

## Proposed Solution-Description of Idea

### E<sup>4</sup> Concept

E<sup>4</sup> is an innovative containership with a view to the future of container shipping. It is the answer to the demand for slow steaming. In the long term the oil price is expected to remain high and there is also a steadily increased environmental awareness. Everything points to the fact that a tax on carbon emission will be probably introduced. With the rapid development of huge markets like China and India, a greater demand for transportations of goods comes from the East. After recognizing all these factors that define the current situation and foresee the next day we designed the E<sup>4</sup> containership which is hopefully a good solution and may provide an answer for the future demands. In the world of uncertainty it is a prudent strategy to be fully prepared to adapt to market changes and environmental legislation.

The E<sup>4</sup> container ship is a pioneer for its class since the whole design concept is tuned around a lower design speed of 16 knots (The specified speed may change to a certain degree, in the range of +/- 10 to 15%, w/o loss of generality for the obtained results and findings.), perfectly matching the slow speeding era requirements. Adopting elements from traditional slender monohulls and from full designs of bulkcarries and oil tankers, E<sup>4</sup> is unique compared to any other existing container ship. The main goal of the E<sup>4</sup> project is to gain efficiency through hull optimization. A number of innovative design elements enable this vessel to transport more cargo while using less fuel, thus reducing its environmental impact.

The name of the project "E<sup>4</sup>" stands for the words:

**-Elliptic.** Main characteristic of the hull is the elliptic midship section that is dominating the whole design and provides the ship with many green advantages.

**-Efficiency.** This ship is designed to carry more boxes than a conventional ship at a low freight rate.

**-Energy saving.** It is energy saving because it is designed to steam slower and the leading scope of this concept is to reduce the power needed via hullform optimization.

**-Environmental friendly.** Due to sophisticated design it has a very low carbon footprint identified on a very low EEDI and has a minimum need for ballast water.

The E<sup>4</sup> is a ship with features that are likely to be built based on current technology. The intelligent arrangement of the E<sup>4</sup> allows the future installation of power systems based on new technologies such as LNG or fuel cells without redesigning the plant.

An economic model has been developed in order to examine the impact of the design on the market.

### Slow Steaming

Slow steaming is already established among the global fleet and as mentioned above it comes together with a number of complications. The E<sup>4</sup> tends to cover the possible future demand for slower ships and introduces some new concepts that can be adapted to future designs. This containership has been designed completely out of the typical speed range for its capacity, which is between 22 and 26 knots. The design speed of 16 knots has been selected as adequate speed at which the ship can be considered a "slow steamer". At this speed the EEDI is definitely below the reference line, which means that it has a satisfactory CO<sub>2</sub> footprint and also the liner

can easily keep up with the schedule and remain competitive in the containership market.

Ship's resistance is typically divided into viscous and wave-making resistance. Wave-making resistance becomes important when the speed and the ship's Froude number increases. Since the design regards to a slow ship (Froude number 0.15) more emphasis should be given on the reduction of frictional resistance that dominates the total resistance (about 80-85%) and that leads consequently to minimization of the wetted surface through optimization of the hull shape. For this reason an investigation has taken place in order to find a midship section that reduces the submerged area for given volume. Finally, the ellipse seemed (and could be expected) to include all these characteristics and in addition, the elliptic section has excellent characteristics in ballast conditions since it provides less volume at low draughts.

## Elliptic Section

For slow ships the aim should be to minimize the wetted surface as mentioned above. In this case the optimum midship area coefficient  $C_M$  is approximately 0.80. Going back to the basics, it is obvious that the circle is the plane curve enclosing the maximum area for a given arc length ( $C_M=0.780$ ). But the circle's ratio  $B/T$  equals to 2, something that is not feasible at least among large containerships. The next best option is the ellipse. In the following paragraphs a brief description of the ellipse will be presented.

An ellipse (from Greek ἔλλειψις - *elleipsis*) is a smooth closed curve which is symmetric about its horizontal and vertical axes. The distance between antipodal points on the ellipse, or pairs of points whose midpoint is at the center of the ellipse, is maximum along the **major axis** or **transverse diameter**, and a minimum along the perpendicular **minor axis** or **conjugate diameter** [14].

The **semi-major axis** (denoted by  $a$  in the figure) and the **semi-minor axis** (denoted by  $b$  in the Figure 7 ) are the half beam and the draught of a ship, respectively in the language of naval architecture.

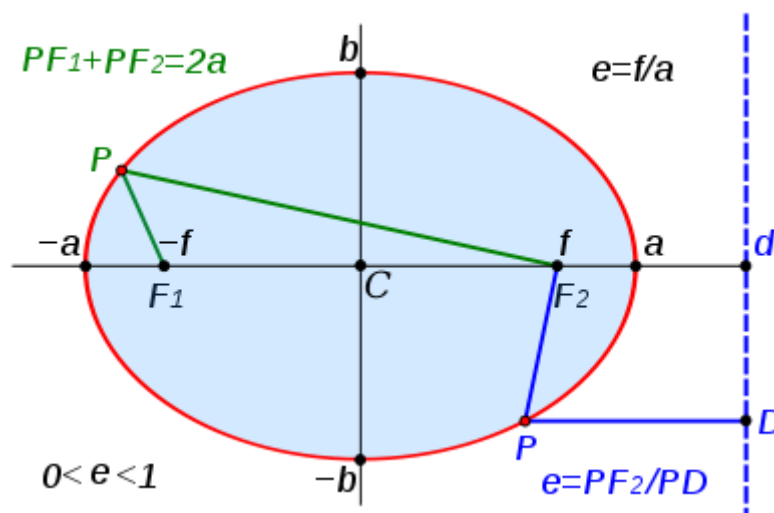


Figure 7. Ellipsis definition

The eccentricity of an ellipse, usually denoted by  $\epsilon$  or  $e$ , is the ratio of the distance between the two foci, to the length of the major axis or  $e = 2f/2a = f/a$ . For an ellipse the eccentricity is between 0 and 1 ( $0 < e < 1$ ). When the eccentricity is 0 the foci

coincide with the center point and the figure is a circle. As the eccentricity tends toward 1, the ellipse gets a more elongated shape.

Eccentricity should be carefully investigated since it can conclude in opposite results than expected regarding the minimum perimeter for specific enclosed area. In this project an eccentricity of 0.79 has been decided after the optimization process which gives remarkable results as it seems in the following comparisons.

The area enclosed by an ellipse equals to  $\pi \cdot a \cdot b$  and the circumference  $C$  is:  $C=4 \cdot a \cdot E(e)$ , where again  $e$  is the eccentricity and the function  $E$  is the complete elliptic integral of second kind. In this project though, the circumference of the ellipse is calculated automatically from the design program.

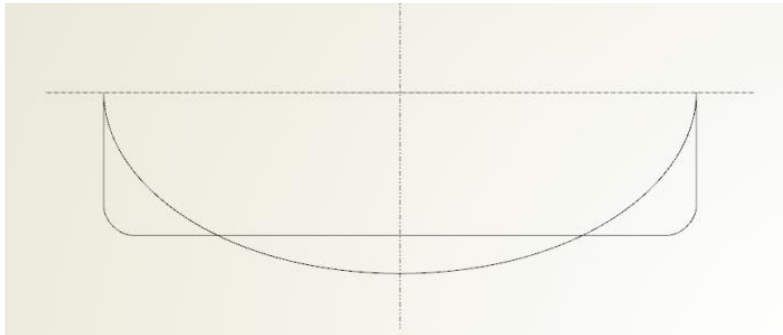


Figure 8. E4-Conventional. Same Area and Same Beam



Figure 9. E4-Conventional. Same Are and Same Draft

In Figure 8 and Figure 9 the elliptic section is compared to the conventional. As can be seen it has reduced arc length for the same enclosed area. The transverse center of buoyancy is higher and that means that for low drafts less volume of water is displaced.

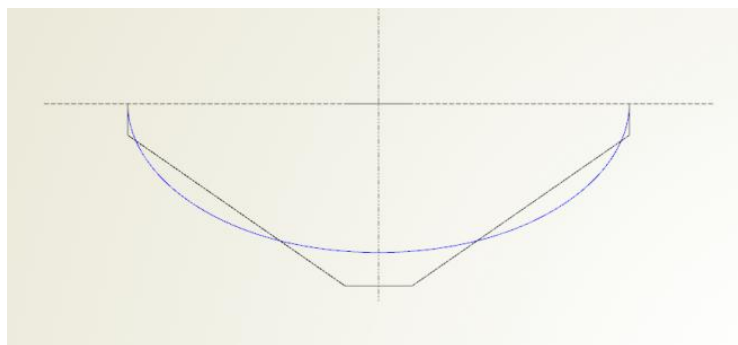


Figure 10. For same Area and same Beam

As seeing in Figure 10 the NOBS cross section dominates regarding ballast water requirement but for same enclosed area it has definitely larger arc length. In the case of containership the smooth ellipse permits a better distribution of cargo. Elliptic section has also lower center of buoyancy (VCB) than the NOBS and that is significant in the case of containerships where stability issues are high ranked.

The MIBS cross section can be considered almost identical to an ellipse approaching the min length for constant area enclosed. Nevertheless ellipse incorporates more efficiently the box-shaped settlement of cargo allowing lower KB.

At low draughts the elliptic hull displaces less water than conventional which means that the ship spends less energy on carrying ballast when travelling unloaded. In addition, less Water Ballast Treatment (BWT) units are needed in order to comply with ballast water requirements.

Ellipse seems to be a good combination of the known V- and U-shaped midship sections

Nevertheless -nothing can be flawless- the ellipse as a main choice for hull design has some drawbacks too. It is common sense that a box-shaped hull facilitates the placement of the boxes utilizing the most possible space. But in this case the beamer design compensates the loss of TEU's in holds since more cargo can be loaded on deck. In addition the speed of loading/unloading is higher because it takes less time to deal with the containers on deck rather than in holds.

Another disadvantage of the elliptic section is the reduced damping ability along the longitudinal axis rendering it vulnerable to rolling motions. However, there are ways to address this issue using anti-rolling tanks, bilge keels, or even retractable anti-rolling fins.

Ellipse seems to be a promising feature and therefore it has been selected for the current design.

## Final Design

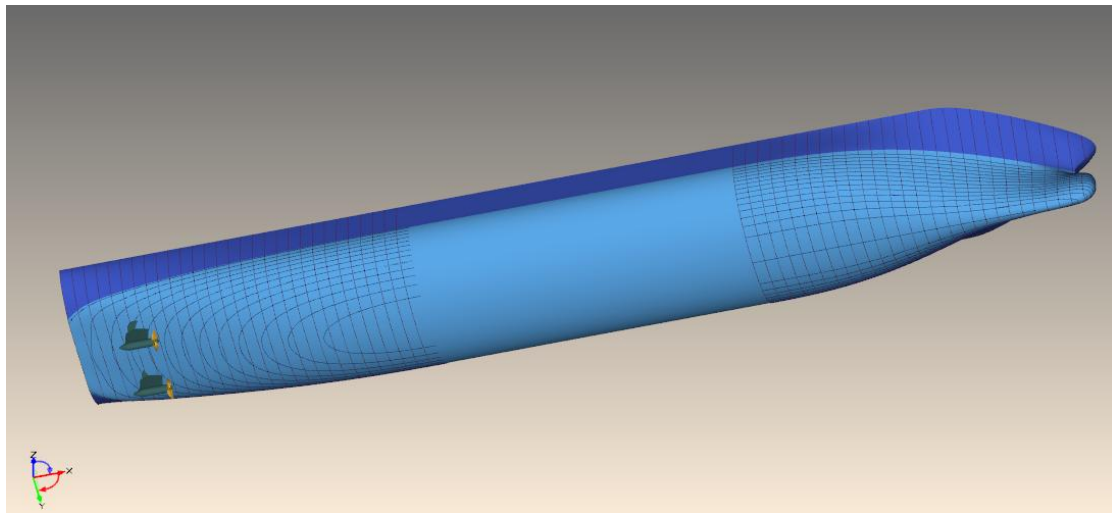


Figure 11. 3D-Renderings from FS

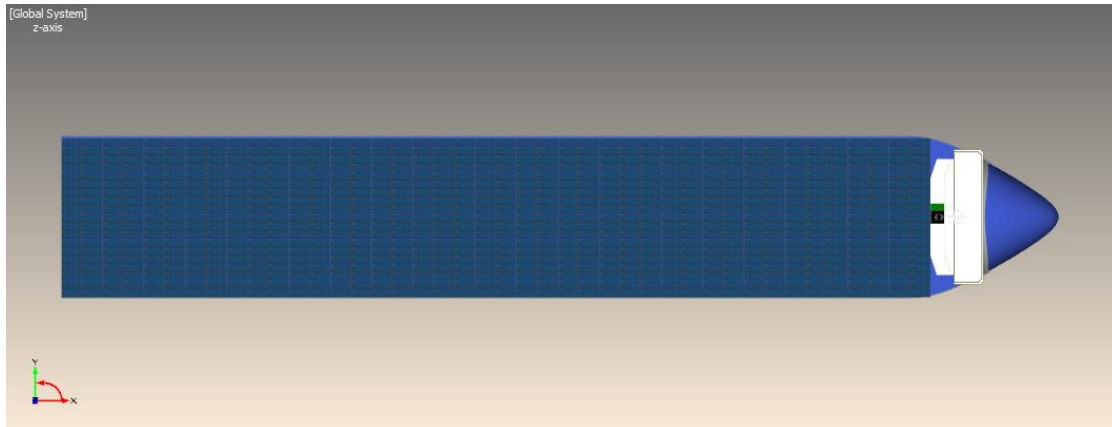


Figure 12. 3D-Renderings from FS

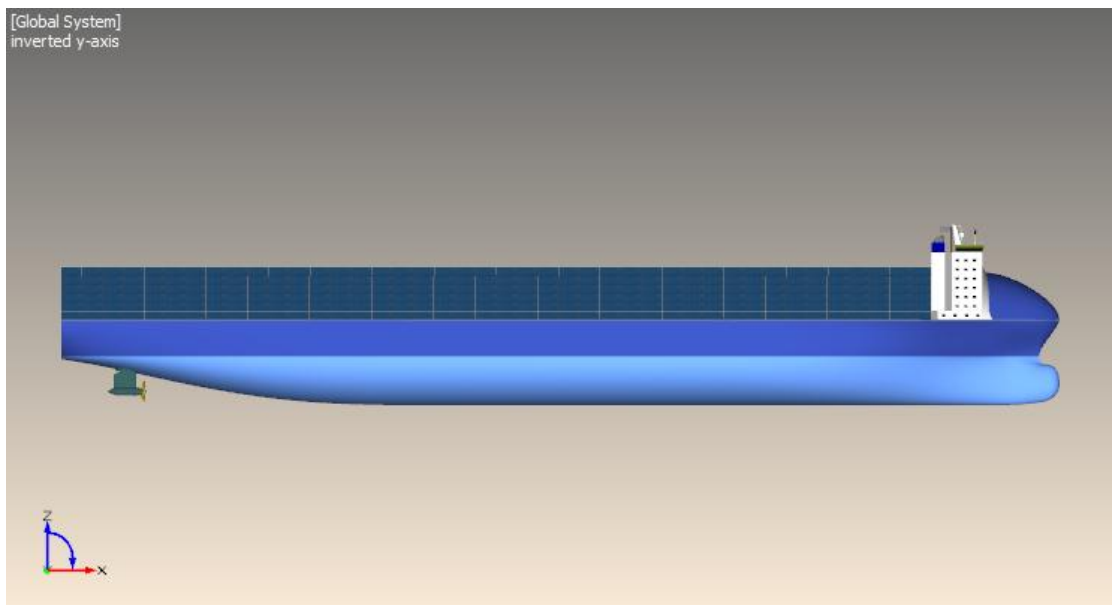


Figure 13. 3D-Renderings from FS

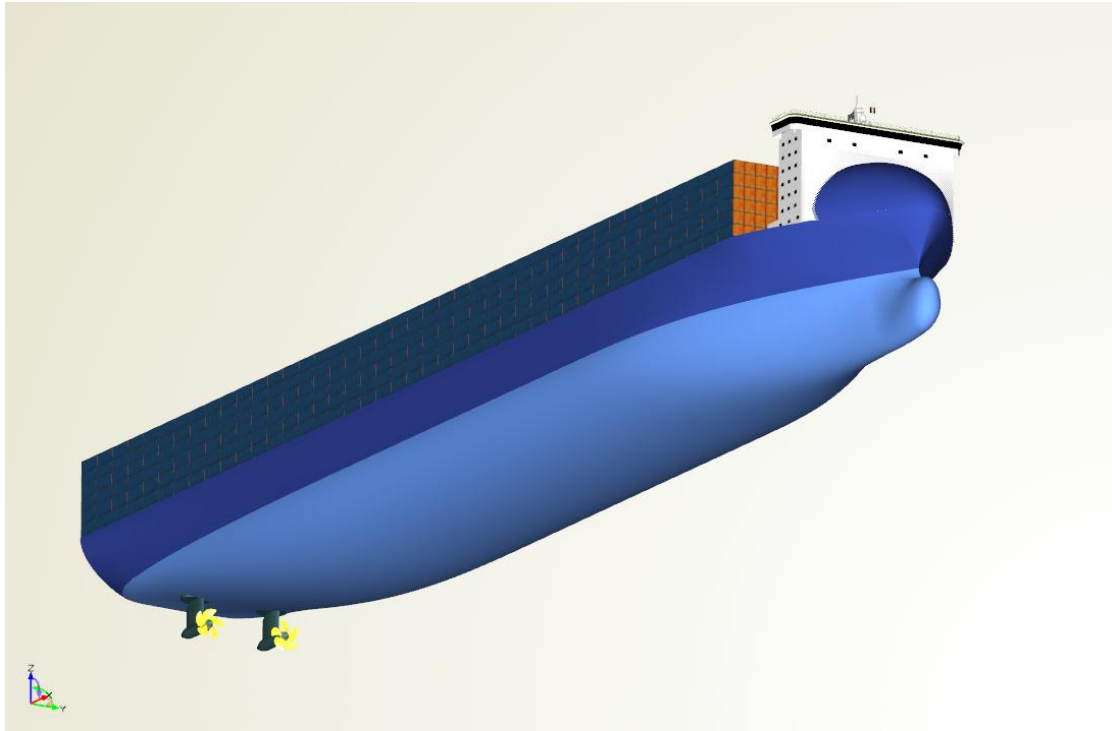


Figure 14. 3D-Renderings from FS

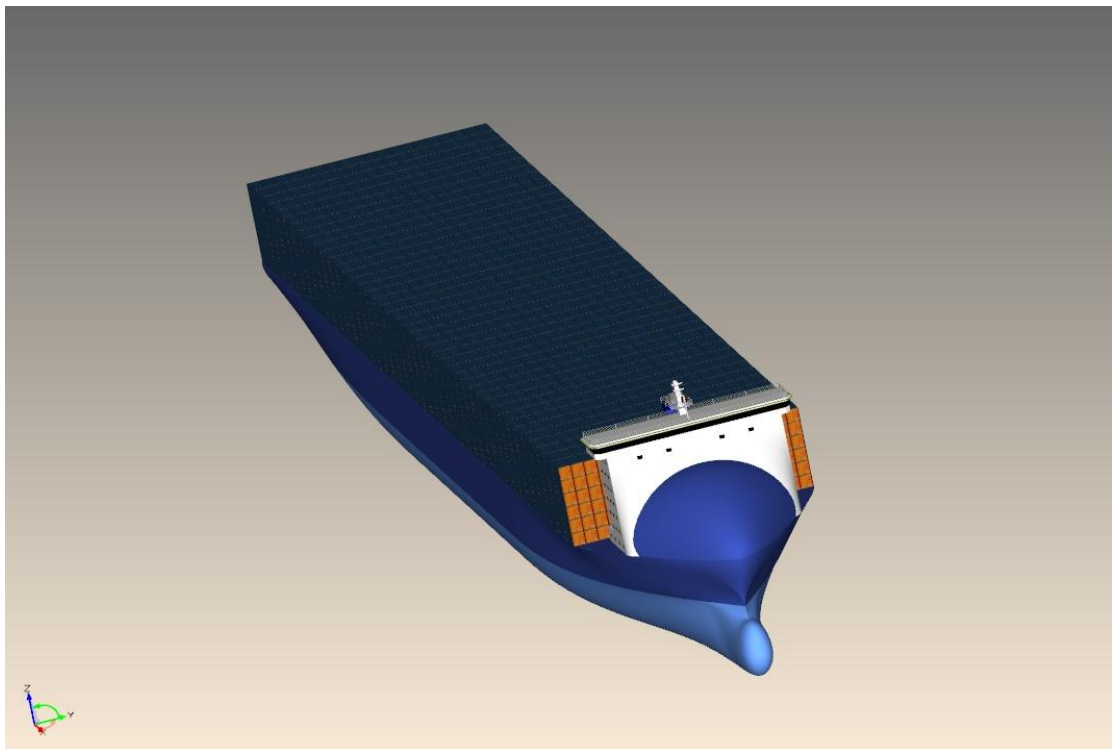


Figure 15. 3D-Renderings from FS

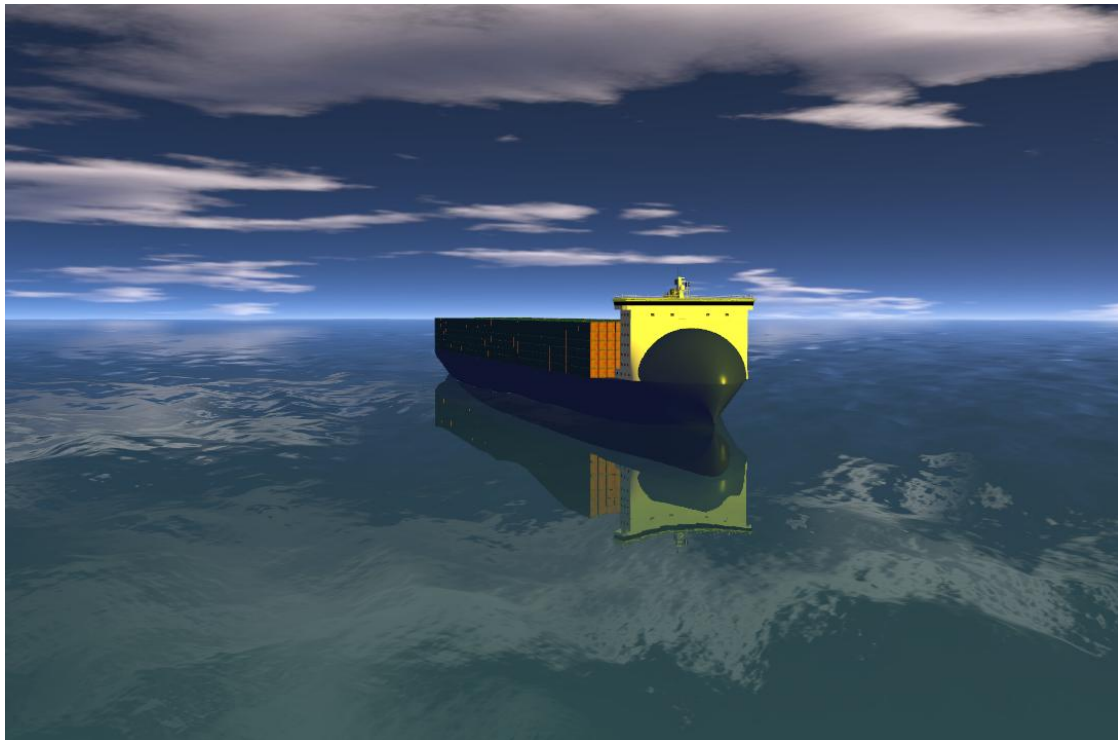


Figure 16. 3D-Renderings from FS

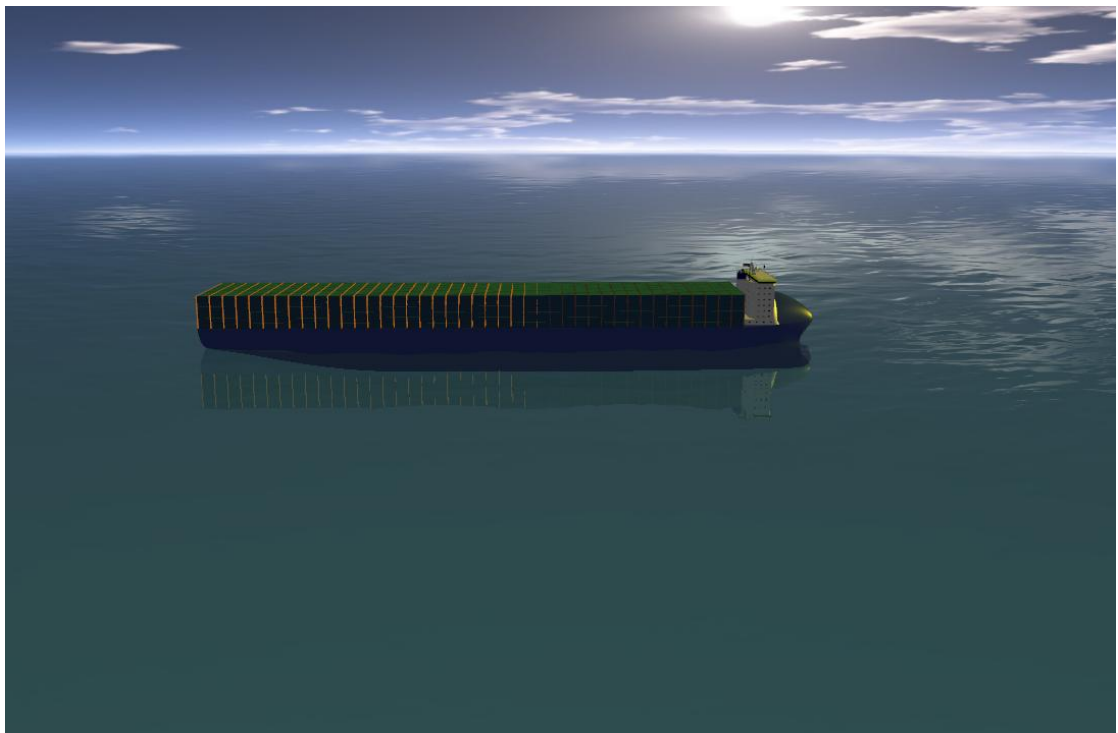




Figure 17. 3D-Renderings from FS

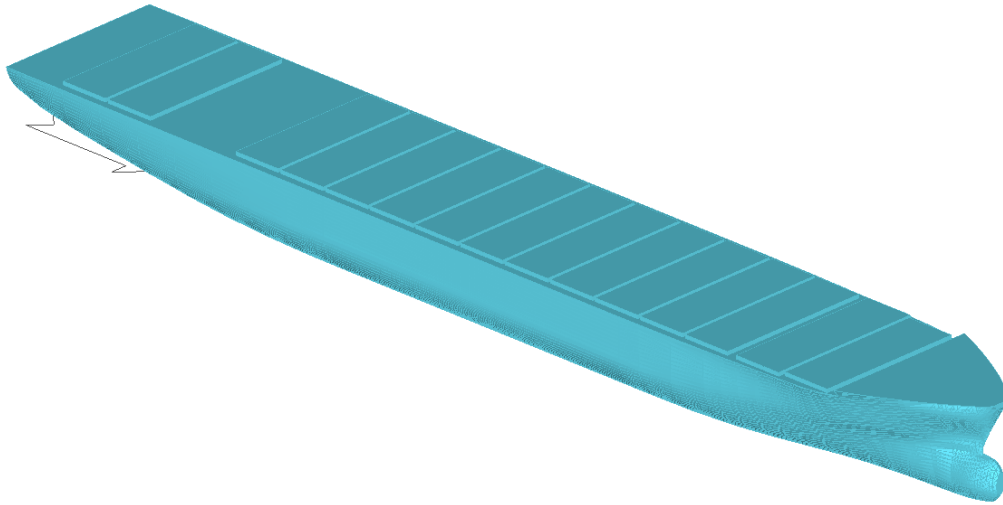


Figure 18. 3D-Renderings from AVEVA

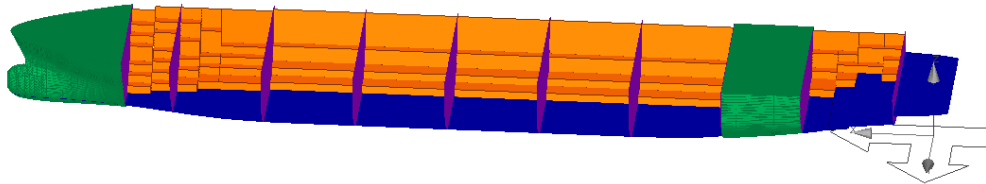


Figure 19. 3D-Renderings from AVEVA

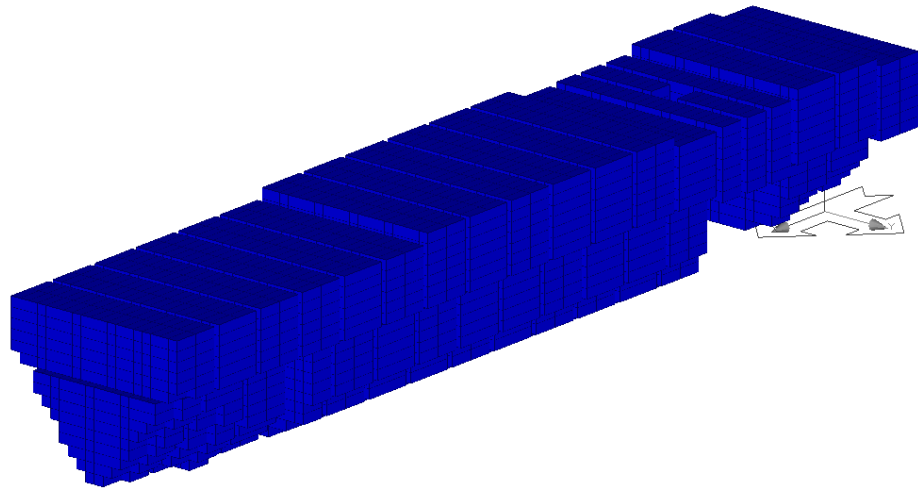


Figure 20. 3D-Renderings from AVEVA

## Address potential technology gaps

The E<sup>4</sup> proves its feasibility throughout this report. Although there are still some important issues that are unsolved or may cause trouble in the whole design.

As mentioned, ellipse is a basic element of the E<sup>4</sup> containership and is considered to have many advantages. There still exists though the problem of seakeeping that is undiscovered by this project. Because of the fact that so big vessels of this shape are not yet manufactured we cannot tell to what extent the ellipse affects negatively the seakeeping. It is a matter of facts that the vessel cannot damp so efficiently to roll movements but the anti-rolling tank system that is installed reduces the impact to great degree.

Anti-roll tank systems operate on the principle that a fluid, usually water, moves from one tank to another and generates a moment on the ship that counteracts the motion. These two tanks are located as far out on the beam of the ship as possible to give the largest moment arm possible.

They are preferred because of their great efficiency and furthermore because they are not increasing the wetted surface of the hull –like fins and bilge keels do- and this is something crucial for our survey.

The active anti-rolling tank, nevertheless consume energy in order to operate. But the characteristic elliptic section may prove beneficial regarding the energy demand of this system.

*If we install the active anti-rolling tanks along the parallel body where the hull shape is clearly elliptical, the transverse moving water will flow in an elliptic orbit which means that there will be reduced energy losses. We may take advantage of this smooth flow by adjusting a double pole hydroelectric pump on the bottom of the ship in the midway of the anti-rolling tank so that we can regenerate a part of the energy used to activate the system.*

Another disadvantage of the E<sup>4</sup> is the big amount of curved surfaces. Because of the lack of flat sides more manufacturing work has to be done. And that is translated also into building cost raise.

On the other hand the E<sup>4</sup> has a long parallel body in contrast to a typical containership which means that for 1/3 of the vessel only one design pattern will be needed. In addition there is a lack of skeg which takes normally a long time to shape.

There should definitely be a further investigation in this design but on a first glance the E<sup>4</sup> containership seems to be very promising.

## Detailed design description

The investigation of the E<sup>4</sup> design was thorough using state-of-the-art design tools. Parametric ship design tool Friendship-Frameworks developed by FS was used in the preliminary phase [15]. Within a holistic ship design framework the most advanced optimization environment was used. Different tools predicting propulsion power, stability and box stowage were integrated, namely Friendship-Framework, FLOWTECH's Shipflow [16], AVEVA-TRIBON [17] and MS-Excel 2010. Parametric modeling has been proven essential, giving the opportunity to create and vary thousands of designs quickly and efficiently. The use of a simulated annealing (SA) algorithm provided the means for a generic type optimization technique, producing and identifying optimized designs through effective exploration of the large-scale, nonlinear design space and a multitude of evaluation criteria. Related design parameters were systematically varied and approximately 2,000 design variants were generated via a global multi-objective and a local single-objective optimization. Based on Pareto analysis the results were assessed and an optimal selection depending on designer's choice took place [18, 19].

AVEVA-Tribon was used for the watertight subdivision of the design and the verification of its compliance with the applicable hydrostatic criteria.

## Designing the E<sup>4</sup>-Containership

Due to the fact that a containership like E<sup>4</sup> has never been designed before, it was impossible to estimate its main particulars based on similar vessels. For this reason the investigation of the hull shape should start from the scratch. The modeling technique is based on parametric curve generation and automated optimization of bare hull.

As a basis for our conceptual design a maximum beam at the new Panama dimensions was assumed, namely 49 m and a design speed at 16 knots. Moreover the contemporary trend of moving the superstructures forward was taken to the limits by placing it over the fore peak providing the design with many advantages, like the increased and homogeneously distributed cargo on deck and better visibility. The design speed determines definitely the fullness of the hull, the shape and the main dimensions. The task is to obtain the best possible combination of them. The elliptic section was adopted and a number of parametric curves were created. To name some of them, the DWL, Deck line, submerged Sectional Area, Flare at DWL and Deck line, all these reflect the properties of the sectional shape of the ship at any longitudinal position [figure 19]. *A major difference of the designed hull compared to other ships is the lack of flat of bottom and flat of side as a consequence of the elliptic midship section.*

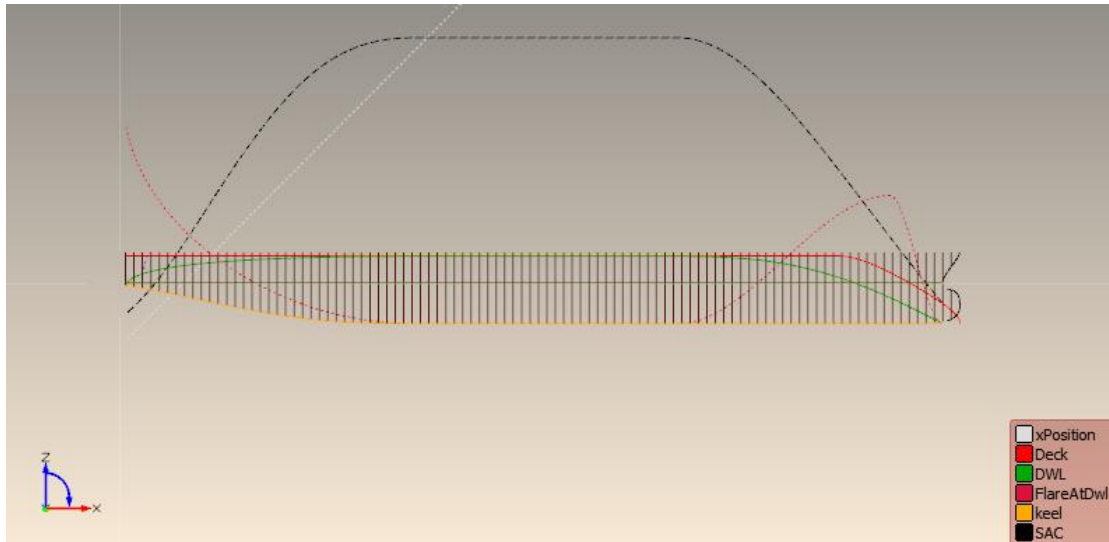


Figure 21.

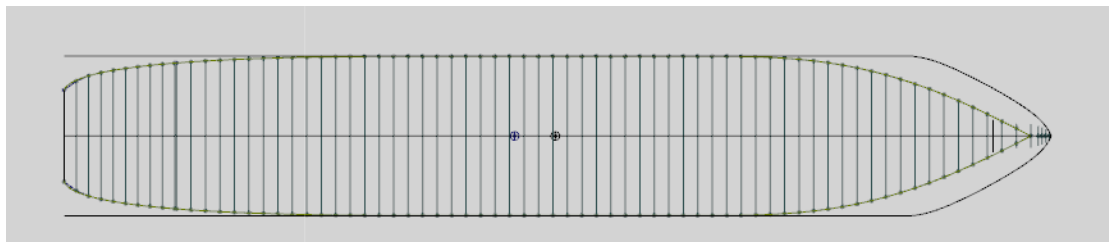


Figure 22.

In figure 20 we can see the water line and the deck line as also the center of buoyancy (black) and the center of flotation(blue) too.

## Resistance and Power Calculation

To determine the  $E^4$  resistance and powering Holtrop-Mennen [20] semi-empiric method was used. Appropriate margins for appendages, design, and sea conditions according to usual contract specifications were applied. The method is considered very accurate especially for estimation at early stages of the design procedure. Transom sterns and bulbous bows are taken into account.

The CFD software Shipflow is also integrated in order to have a more accurate estimation to verify the results of resistance and to visualize the wave pattern. Screenshots from these results are shown in the following figures.

A comparison of the wave patterns created by  $E^4$  and a typical container ship with the same capacity is shown in Figure 29.

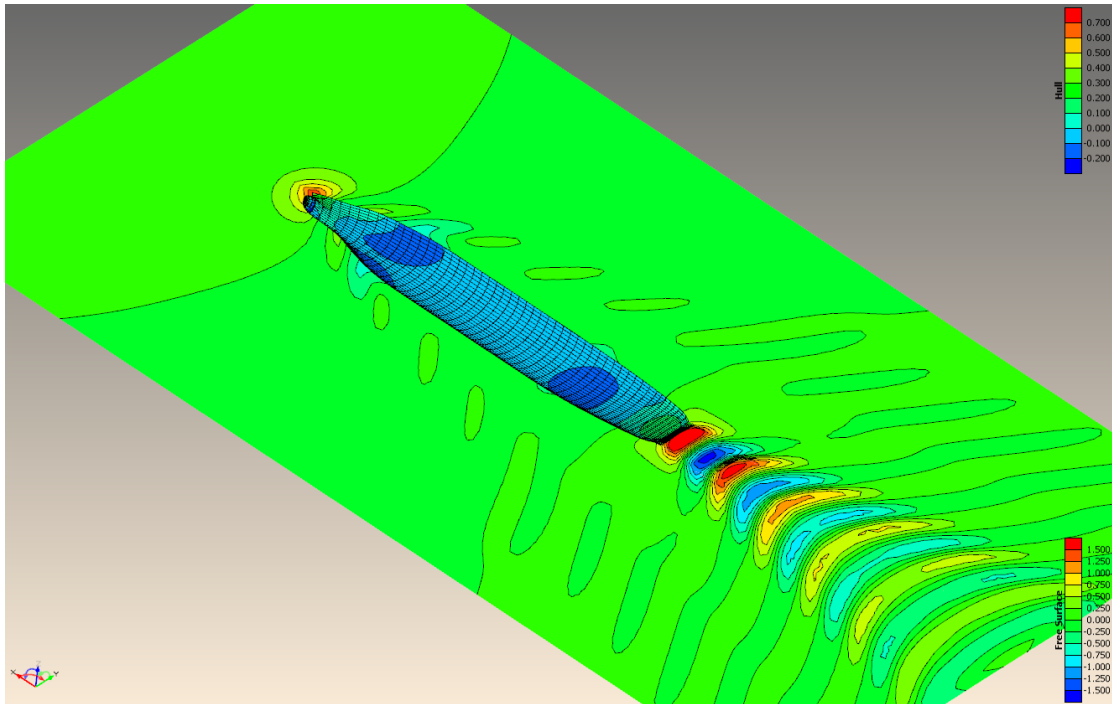


Figure 23.

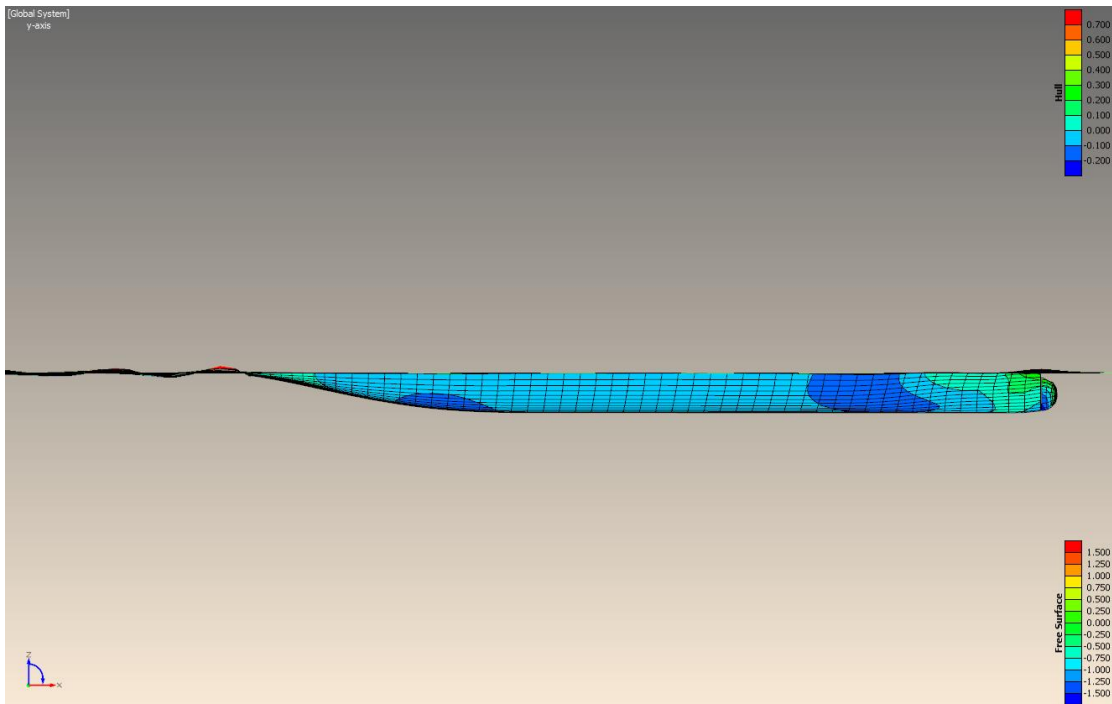


Figure 24.

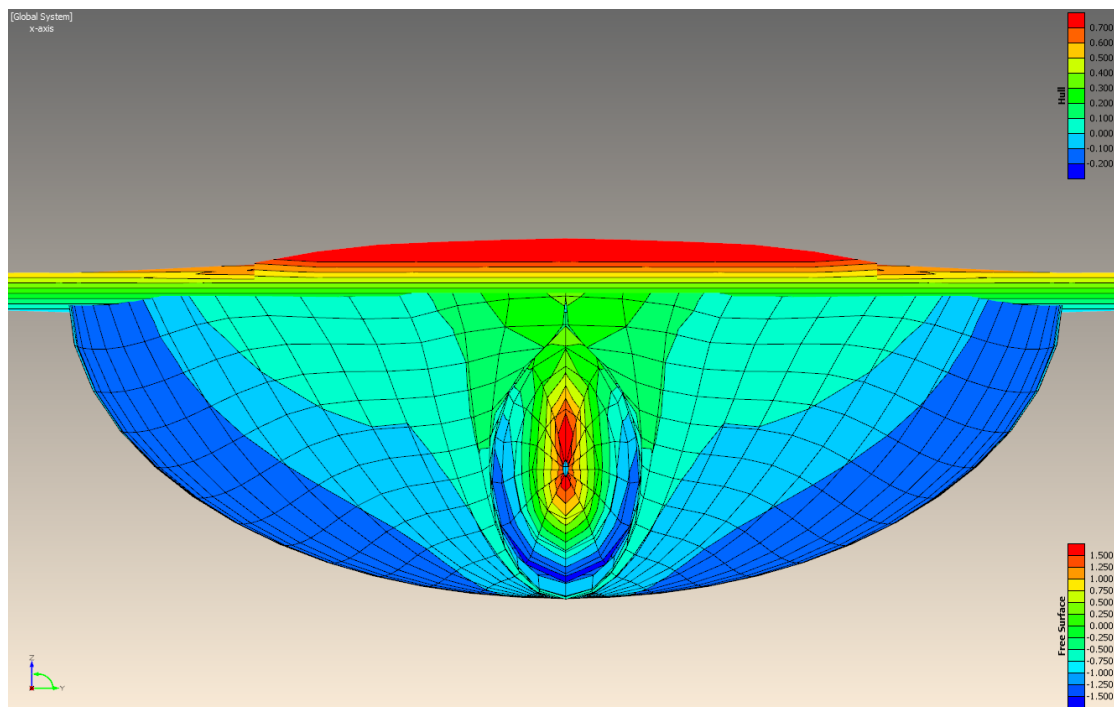


Figure 25.

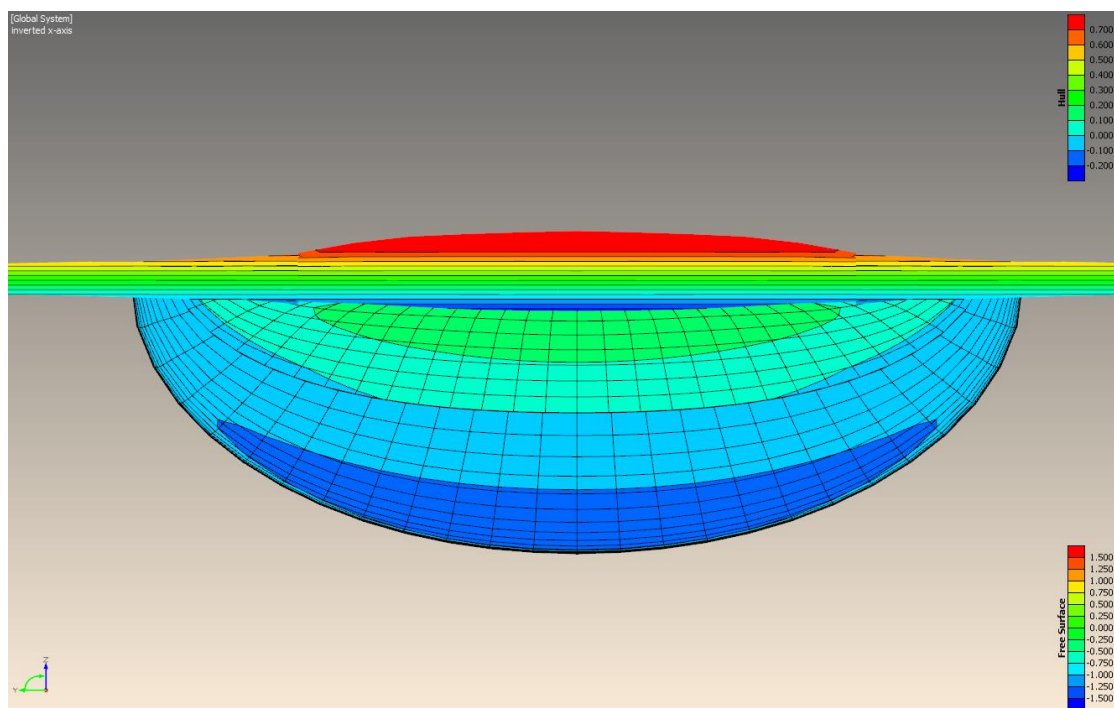


Figure 26.

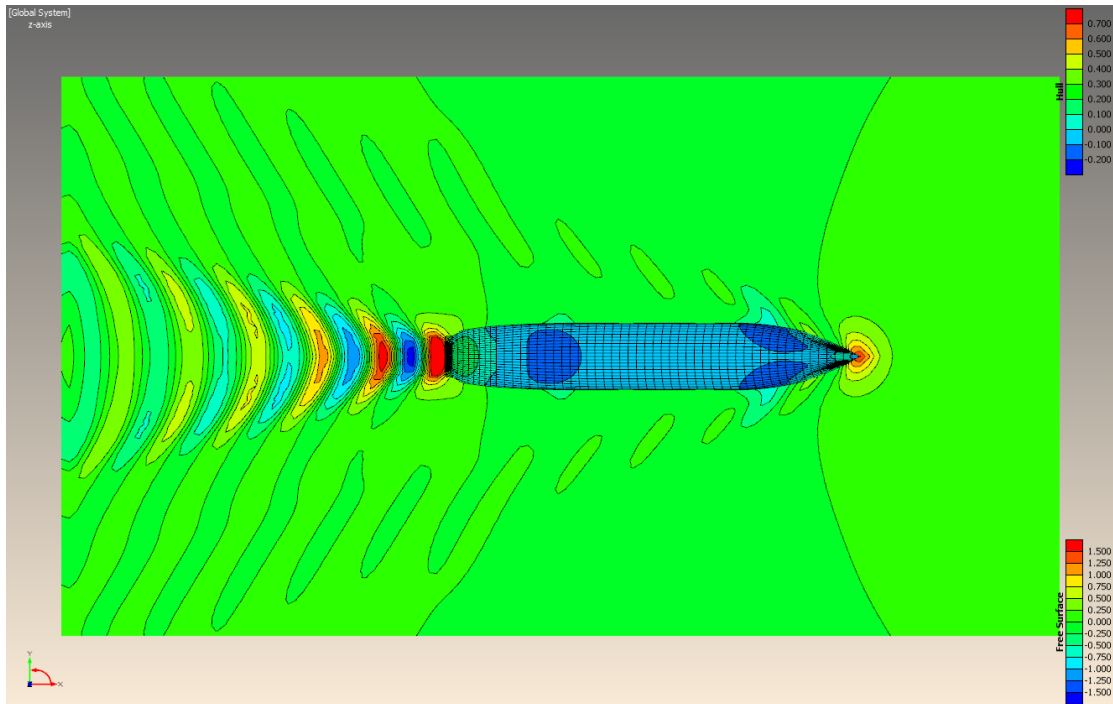


Figure 27.



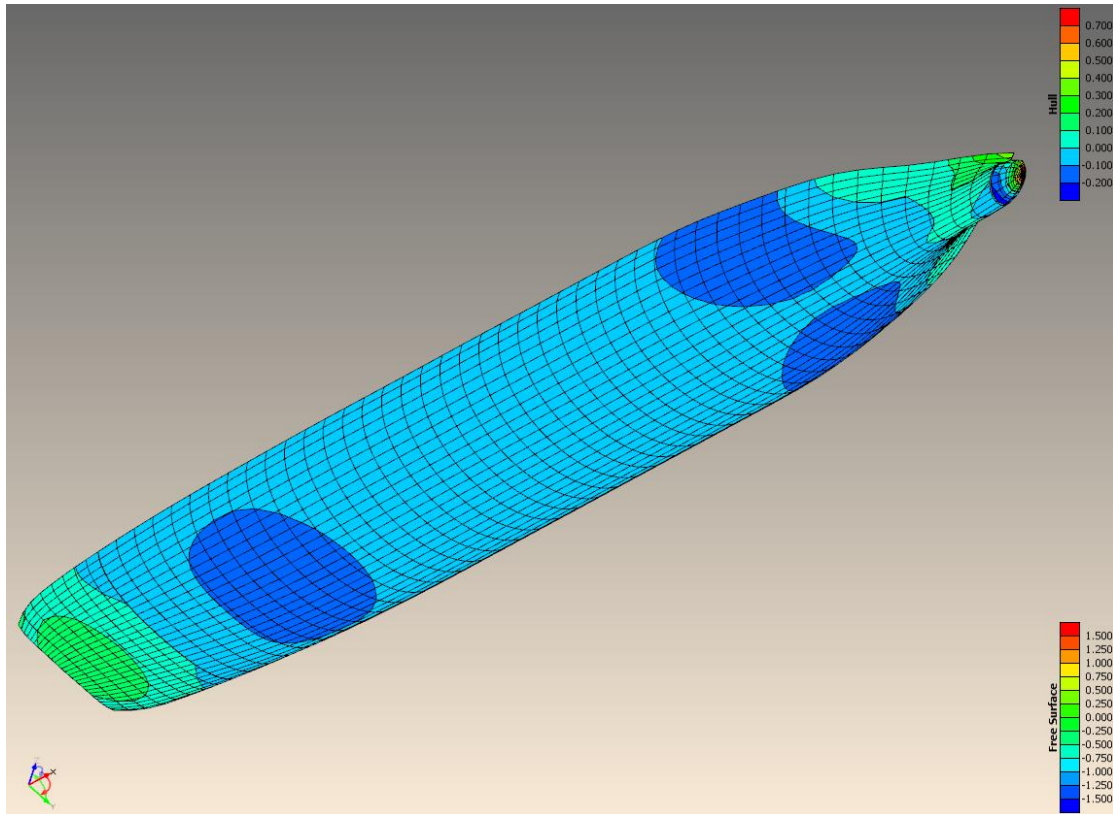


Figure 28.

In the following illustration the wave pattern of E<sup>4</sup> compared to a typical slender containership of almost same characteristic is presented. The comparative ship has the following particulars:

Table 1. Main particulars of COSCO Ningbo, Quantum9000 and E<sup>4</sup>

<b>NAME</b>	<b>APL FINLAND</b>
<b>TEU</b>	<b>8102</b>
<b>LBP(m)</b>	<b>304</b>
<b>BEAM(m)</b>	<b>46</b>
<b>DRAFT(m)</b>	<b>14.5</b>
<b>DEPTH(m)</b>	<b>24.9</b>
<b>Δ(ton)</b>	<b>120577</b>
<b>C<sub>b</sub></b>	<b>0.59</b>
<b>SPEED(kn)</b>	<b>25.5</b>

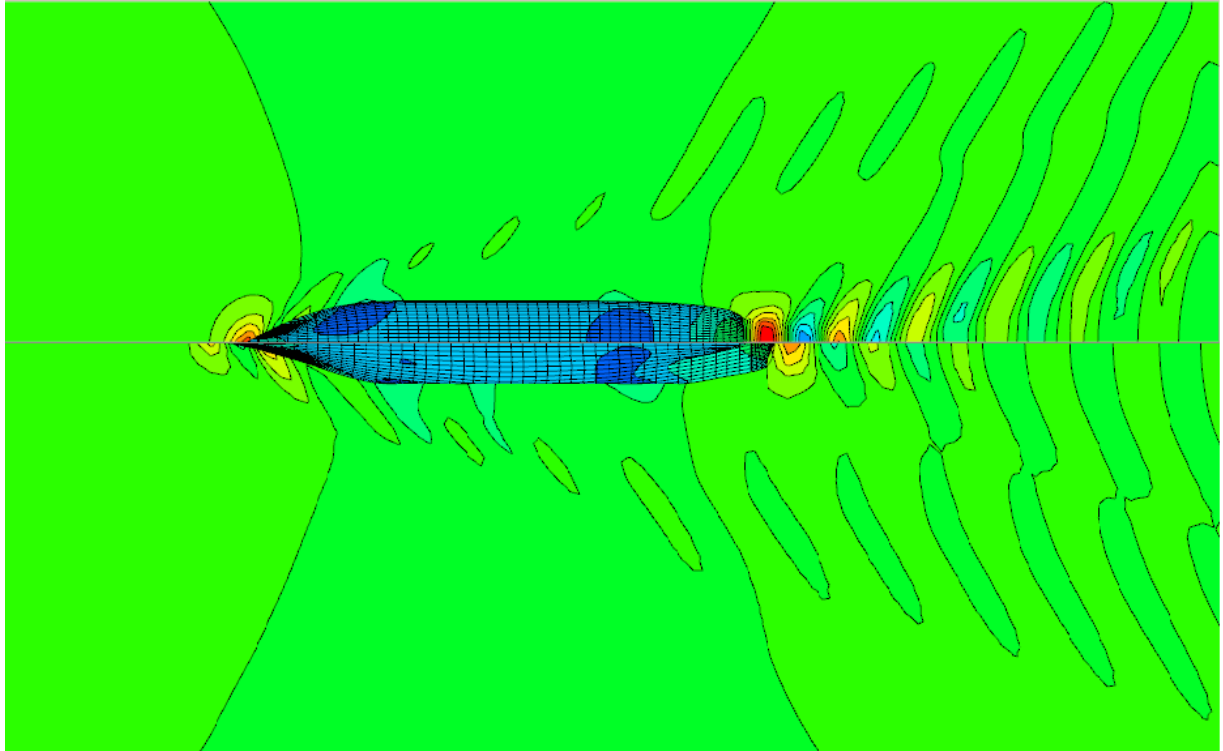


Figure 29. Wave patterns comparison between E4 and conventional containership

From the figure we can assume that the full shaped E<sup>4</sup> has very fine response aside –even better compared to APL FINLAND- but is inferior regarding the fore- and aft wave pattern. Moreover the pressure distribution is smoother on the body of E<sup>4</sup>.

## Weight and Stability Calculation

To estimate the weight of the vessel, Schneekluth's method [21] for container ships is adopted which has proven accurate for the preliminary design. A parametric box stowage tool is also developed in order to monitor the number of boxes and to retrieve information about stability. All these estimations are conducted using calculation sheets and are parametrically incorporated to Friendship-Frameworks via COM-Integration in order to have a holistic view over the whole design process.

## Propulsion and Machinery

The propulsion of E<sup>4</sup> is provided by an azimuth podded system. Due to the azimuthing propulsion its maneuverability is excellent; it saves space inside the vessel hull because of the lack of an axial system and gives a lot of freedom for ship design and inside arrangement. The installation of azimuth propulsors means simpler hull form and structure and far easier machinery installation. Fewer sub-suppliers, less parts and large saving in weight and space are all elements that have significant effects on construction time and cost. This system eliminates the need for aft thrusters and a rudder, thus it contributes to the minimization of wetted surface and additionally improves the performance in shallow draught conditions.

For the E<sup>4</sup> container ship two **Azipods** of series XO2100 by ABB are selected [22]. The diameter of each propeller is decided to be the larger one offered by this type, namely 6.4m. This decision is based on the fact that a large propeller diameter with low blade area ratio and fewer blades, give a high efficiency.

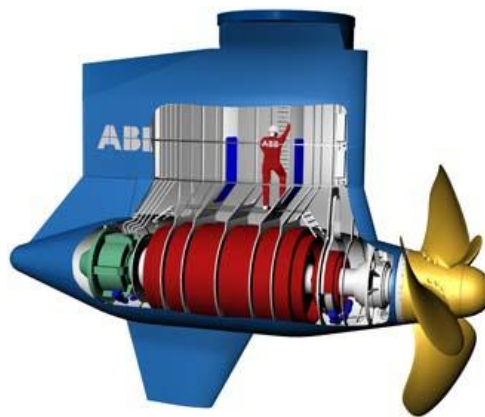


Figure 30. ABB's Azipod [22]

### Diesel-Electric Power Plant

The electrical-driven Azimuth Pods are powered by a diesel-electric plant. In general the advantages of diesel-electric propulsion can be summarized as follows [23]:

- Lower fuel consumption and emissions due to the possibility to optimize the loading of diesel engines / gensets. The gensets in operation can run on high loads with high efficiency.
- High reliability, due to multiple engine redundancy. Even if an engine / genset malfunctions, there will be sufficient power to operate the vessel safely. Reduced vulnerability to single point of failure providing the basis to fulfill high redundancy requirements
- Reduced life cycle cost, resulting from lower operational and maintenance costs.
- Improved maneuverability and station-keeping ability. Precise control of the electrical propulsion motors controlled by frequency converters.
- Increased payload, as diesel-electric propulsion plants take less space.
- More flexibility in location of diesel engine / gensets and propulsors. The propulsors are supplied with electric power through cables. They do not need to be adjacent to the diesel engines / gensets.
- Low propulsion noise and reduced vibrations.
- Efficient performance and high motor torques, as the system can provide maximum torque also at slow speeds, which gives advantages for example in icy conditions.

### EEDI calculation

In the EEDI framework, ships with diesel electric propulsion systems are not included yet. The main reason is that the formula is based on the installed propulsion power, which cannot be determined in a straightforward manner for diesel electric propulsion systems. The generator sets are designed to provide power to a number of applications with varying demand of electric power, including

the ships main propulsion. Therefore the power of these generators may not be taken as equivalent to the main engine power in the calculation of the EEDI.

For E<sup>4</sup> the EEDI was estimated using the following procedure:

The power needed for the propulsors is considered as the main engine power and the power for auxiliary is computed separately. At the end though a gen-set is selected covering all power needs.

$$EEDI = \frac{C_f \cdot SFC \cdot (0.75 \cdot MCR_{propulsion} + (0.025 \cdot MCR_{propulsion} + 250))}{V \cdot 0.65 \cdot DWT}$$

where

- $MCR_{propulsion} = \frac{P_b}{0.85}$
- Loading of engines is assumed 0.85.
- $P_{aux} = 0.025 \cdot MCR_{propulsion} + 250$  is assumed the needed power for the consumers.
- P<sub>b</sub> is the required power for propulsion and equals to:  $P_b = \frac{P_s}{0.91}$
- P<sub>s</sub> is the shaft power including 10% sea margin and is based on powering estimation
- Electrical transmission efficiency of the electric plant is assumed 0.91 [23].

### Optimization procedure

The capacity of E<sup>4</sup> is between 7,000 and 9,000 TEU's. Thousands of designs were evaluated using the design of experiments (DoE) and varying the main dimensions. This range was as a highly competitive containership market sector involving post-panamax vessels which are the workhorse of container shipping and have the larger environmental impact as seen in figure 3.

The process took place in two steps. Initially a global optimization was performed using MOSA (Multi-Objective Simulated Annealing) design engine. It determined the global parameters such as length, beam, draft, height, the length and position of parallel body, the block coefficient C<sub>b</sub> and the longitudinal center of buoyancy LCB. Then a single-objective optimization follows regarding the minimization of wetted surface –which is also the main target-and focuses on local characteristics of the aft- and fore body.

The main objectives that are monitored and optimized during the optimization procedure reflect clearly the scope of this project. The holistic design approach is implemented to this design problem with the following objectives:

- Minimization of the wetted surface
- Maximization of the number of TEU's
- Minimization of the EEDI
- Minimizations of the required ballast water in ballast condition

Several constraints should be introduced in order to get feasible designs. The main constraints used were:

- Stability
- Maximum stowage factor in full load condition
- Maximum beam restriction
- Maximum draft restriction in ballast condition according to the requirement for propeller immersion.

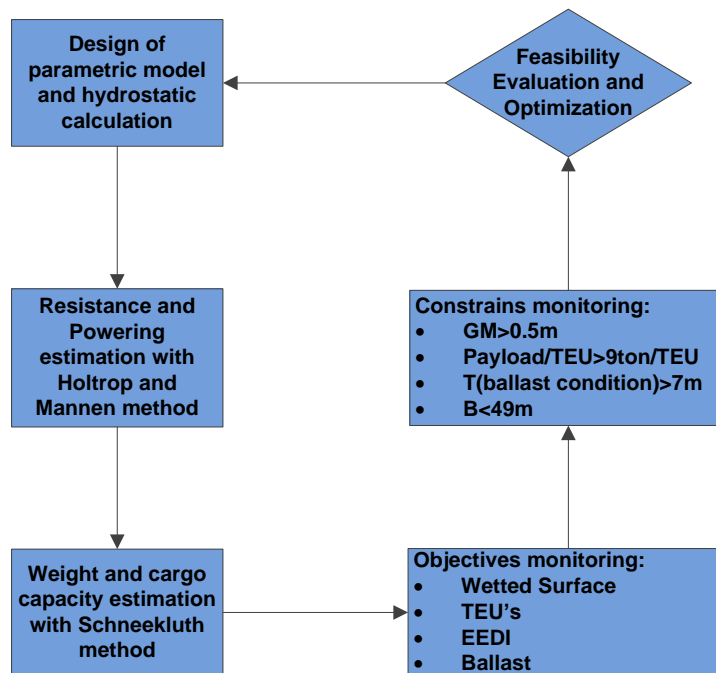


Figure 31. Optimization Flowchart

The optimization process resulted in 600 designs with 83% feasibility and it is up to the designer which one to choose by prioritizing his demands and weighting the benefits and the drawbacks of every design.

In figures [30],[31] the results of the multi-objective optimization are illustrated and the Pareto-Frontier is visible.

### Wetted Surface-TEU (Optimization)

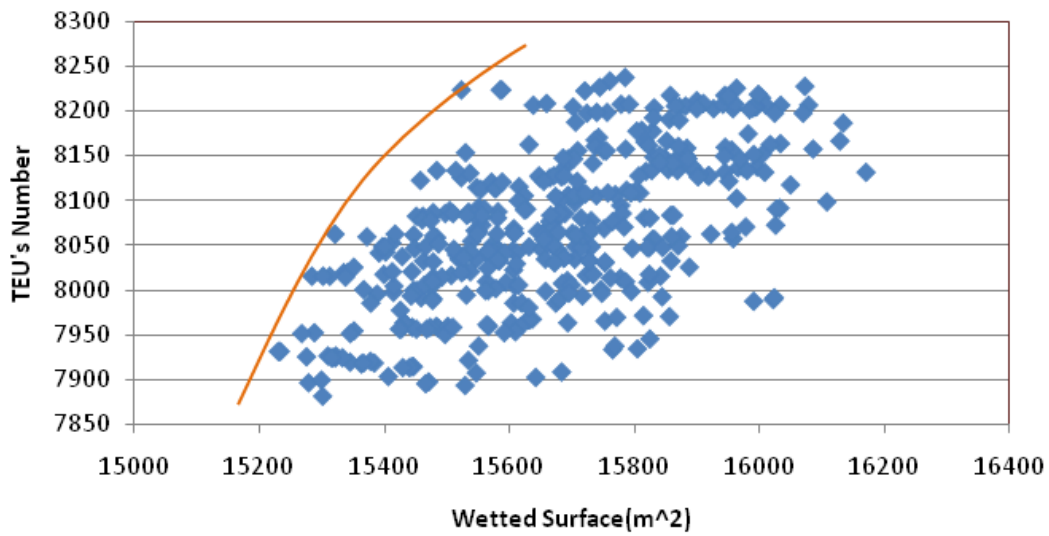


Figure 32. TEU capacity vs. Wetted surface

### EEDI-TEU's (Optimization)

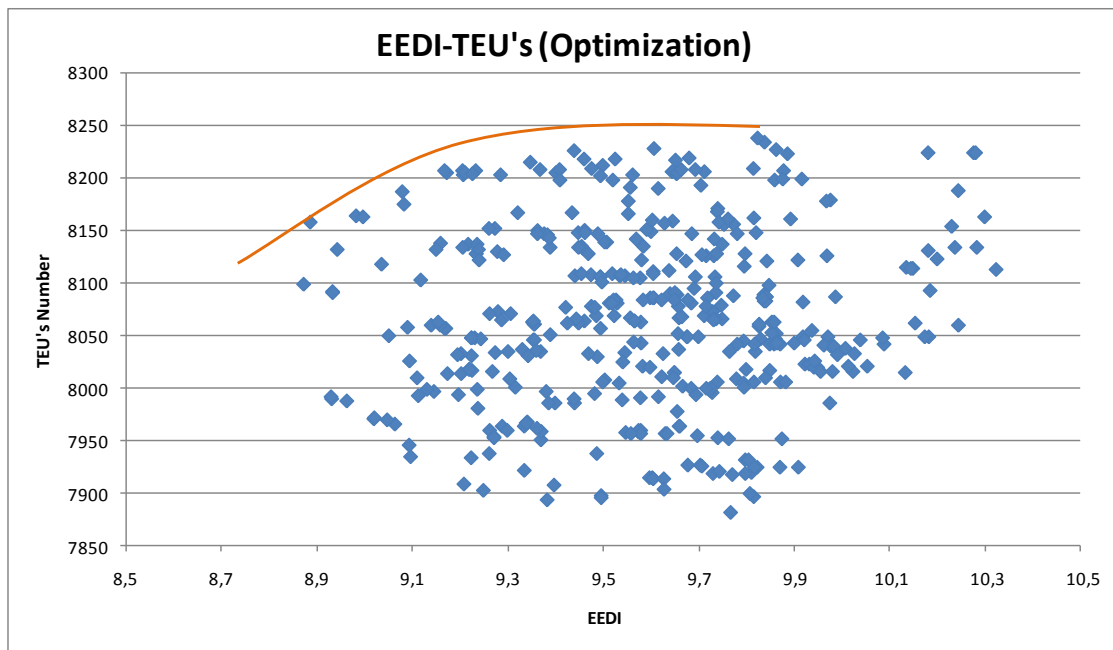


Figure 33. TEU number vs. EEDI

The final design is selected based on prioritized criteria. Minimum wetted surface is the first demand. Then a reduced EEDI is of great importance and of course a sufficient number of TEU's. The hydrostatics and loading conditions of the E<sup>4</sup> are computed with the help of the naval architecture program AVEVA Tribon.

The Stability criteria applied were those of IMO 749 Intact Stability Criteria for non – passenger ships[24].

The main particulars of the E<sup>4</sup> are shown in the following table:

The powering diagram for lower and higher speeds than the design speed are illustrated in the following table:

Table 2. Main particulars of COSCO Ningbo, Quantum9000 and E<sup>4</sup>

<b>NAME</b>	<b>E<sup>4</sup></b>		<b>DWT(ton)</b>	<b>90,220.70</b>
<b>LOA(m)</b>	<b>287.7</b>		<b>Lightship(ton)</b>	<b>28,207</b>
<b>LBP(m)</b>	<b>281.7</b>		<b>Container Total</b>	<b>8,012</b>
<b>BEAM(deck)(m)</b>	<b>47.5</b>		<b>Container Max</b>	<b>8,449</b>
<b>BEAM(draft)(m)</b>	<b>47.2</b>		<b>Engine Power(kW)</b>	<b>18,045</b>
<b>DRAFT(m)</b>	<b>14.25</b>		<b>Tiers on Deck</b>	<b>7 (max.8)</b>
<b>DEPTH(m)</b>	<b>25</b>		<b>Tiers in Hold</b>	<b>9</b>
<b>Δ(ton)</b>	<b>118427.7</b>		<b>Rows on Deck</b>	<b>19</b>
<b>Cb</b>	<b>0.596</b>		<b>Rows in Hold</b>	<b>17</b>
<b>SPEED(kn)</b>	<b>16</b>		<b>Bays</b>	<b>67</b>

### Speed-Shaft Power (Sea Margin incl.)

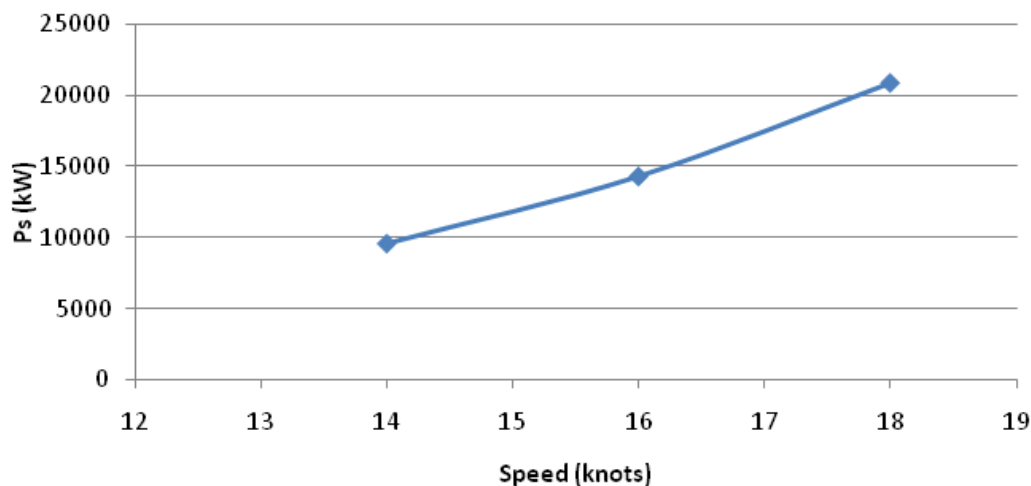


Figure 34. E<sup>4</sup>'s Shaft power vs. speed

Resistance as mentioned before, is calculated based on Holtrop and Mennen methodology. The resulted rest resistance (wave, pressure, correlation resistance) is compared to the corresponding resistance, calculated in Shipflow. Since the results are converging, the Shipflow's estimation is preferred to be added to the frictional and appendages resistance that was calculated with the semi-empirical method.

Engine Selection:

For the diesel-electric propulsion system the following Marine Gen-Sets by MAN are selected:

- 2 MAN 14V32/40 to be installed in the after engine room serving the main load of power needed for propulsion.

<b>MAN V32/40</b>		
<b>BORE:320mm, STROKE:400mm</b>		
<b>Speed</b>	r/min	750
<b>Frequency</b>	Hz	50
<b>14V32/40</b>	Eng. kW	Gen. kW
	7,000	6,790
<b>LENGTH</b>	mm	11,710

- 2 MAN 8L32/40 to be installed in the fore engine room under the deck house serving mainly the consumers need and powering the retractable bow thruster. These engines are also contributing to the main propulsion system.

<b>MAN L32/40</b>		
<b>BORE:320mm, STROKE:400mm</b>		
<b>Speed</b>	r/min	750
<b>Frequency</b>	Hz	50
<b>8L32/40</b>	Eng. kW	Gen. kW
	4,000	3,860
<b>LENGTH</b>	mm	11,035

The total amount of supplied power is 22000kW and covers all the energy demand of the vessel while maintaining a safety margin.

In case of an accident of malfunction of any of the four diesel-electric engines the rest can substitute it avoiding many problems.

Lightweight summary:

Based on Schneekluth's method and considering the specific characteristic of the E<sup>4</sup> container ship we estimated the lightship weight, longitudinal and transverse center of gravity as follows:

Table 3. Lightweight Summary



ITEM	Weight(t)	LCG(m)	VCG(m)
<i>Lightship</i>	28207	152.88	15.863

It is obvious that container ships almost never run in ballast condition because as liners are always carrying cargo. The ballast required in ballast condition though is the maximum ballast that the ship will ever need in order to be seagoing. It is worth to examine three remarkable conditions which are distinguished and presented (all refer to homogenous cargo distribution):

**Max loading of TEU's.**

- *TEU=8,449*
- *Payload/TEU=8.8ton/TEU*
- *Ballast required=10006ton*
- *Max Tiers on deck=8*

**Baseline Condition.**

- *TEU=8,012*
- *Payload/TEU=10ton/TEU*
- *Ballast required=7510ton*
- *Max Tiers on deck=7*

**Non Ballast Condition.**

- *TEU=7,062*
- *Payload/TEU=12ton/TEU*
- *Ballast required=0*
- *Max Tiers on deck=6*

## Economic Feasibility Study

An economic model for the liner container service was created in order to examine the impact of the E<sup>4</sup> container ship. According to Stopford [25], the liner service costs can be estimated based on the following method.

The transpacific route was selected. The service frequency is weekly and there are seven port calls on the round voyage (Sendai, Oakland, Long Beach, Nagoya, Kobe, Shanghai and Tokyo)

The six components of liner service costs are:

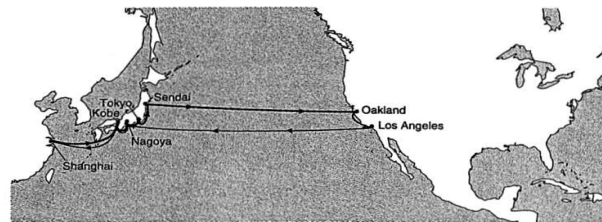
- Service schedule;
- Ship costs;
- Port charges (including cargo working);
- Container operations;

- Container costs;
- Administration.

This is not a classification which appears in the accounts of any liner company, but it is a useful way of grouping cost variables to discuss their role in the business.

For a range of 14,000sm and 7 port calls according to the selected route:

- 6.9 ships are required in weekly string in order to keep the schedule .
- For this liner the capacity utilization is 90% eastbound and 40% westbound.
- All that form an annual transport capacity per ship of about 78,730 TEU's.
- Operational expenses per day were assumed to be \$7,700 per day.
- Moreover, the administration cost per voyage are estimated about \$984,279.
- The total ship costs on voyage are \$3,069,093.
- The total container cost on voyage is \$490,701.
- Finally, the average cost per TEU is \$947.2.
- The total voyage revenue results in \$15,022,500.
- Concluding, the voyage profit is \$5,156,855.75 (34% of total revenue).



Load	Discharge	Distance*	Sea days	Port days	Total
Sendai	Oakland	4,800	9.3	1	10.3
Oakland	Long Beach	450	0.9	1	1.9
Long Beach	Oakland	450	0.9	1	1.9
Oakland	Nagoya	4,800	9.3	1	10.3
Nagoya	Kobe	450	0.9	0.5	1.4
Kobe	Shanghai	783	1.5	0.5	2.0
Shanghai	Kobe	783	1.5	1	2.5
Kobe	Nagoya	450	0.9	0.5	1.4
Nagoya	Tokyo	400	0.8	0.5	1.3
Tokyo	Sendai	600	1.2	1	2.2
<b>Total</b>		<b>13,966</b>	<b>27.1</b>	<b>8.0</b>	<b>35.1</b>

Av. speed (knots) 21.5 \*distance in nautical miles

Figure 35. Route description [25]

## Discussion over E<sup>4</sup>

### Geometry

The E<sup>4</sup> differs from any other container ship of its range because of specific characteristics. It is a beamer vessel and has a comparatively low Block Coefficient (Cb). The smoothly curved hull and the lack of flat surfaces as a result of the elliptic midship section improve the ship hydrodynamic response. In addition the large parallel body which is almost 1/3 of the ship's length overall and can hardly be found

in any other containership enables it to carry more cargo. The long parallel body has a positive impact on manufacture ease issues since 1/3 of the ship is build based on the same pattern. The capacity is increased even more by the location of the deckhouse at the fore peak. This feature provides better visibility and gives freedom to a better distribution of the containers on deck in order to control also the trim of the ship without the necessity of ballast water. In untrimmed condition the longitudinal center of buoyancy is located near the middle of the vessel.

As a consequence of the increased and the high waterplane coefficient ( $C_{wp}$ ) stability is considered to be fine. The large area under the GZ-curve tends to prove the same.

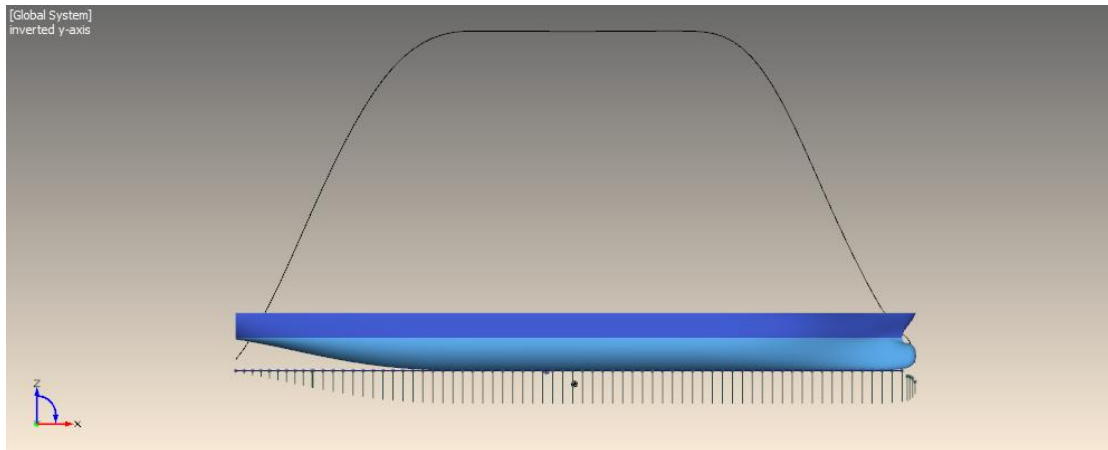


Figure 36. Side view and cross section area curve of  $E^4$

## Powering and Arrangement

The power administration is benefited by the creation of two engine rooms located near the aft and fore peak respectively. The after engine room is mainly responsible for the propulsion and the fore engine room, that is placed under the deckhouse supplies the several consumers with power as also the fore pod.

The after peak extends in a 20 meter length allowing in this way the future installation of innovative energy systems such as fuel cells or LNG plant. Furthermore the spacious arrangement gives also the chance of integrating NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and particulates treatment systems such as exhaust gas recirculation, CRS, scrubbers and particulate filters. In this way the emissions will be eliminated and the  $E^4$  may prove a more efficient solution with very little environmental impact.

## Comparisons

In order to have a clear picture of the existing ships compared to the  $E^4$ , a database of containerships is formed. Ships of the range between 8,000 and 12,000 TEU's were collected and put together creating the design space of the existing designs.

With elaboration of the results a table is created that illustrate the features of  $E^4$  compared to the conventional container ships and to the innovative Quantum 9000.

The calculation of the wetted surface is based on the reliable empirical formula that Holtrop-Mennen proposed.

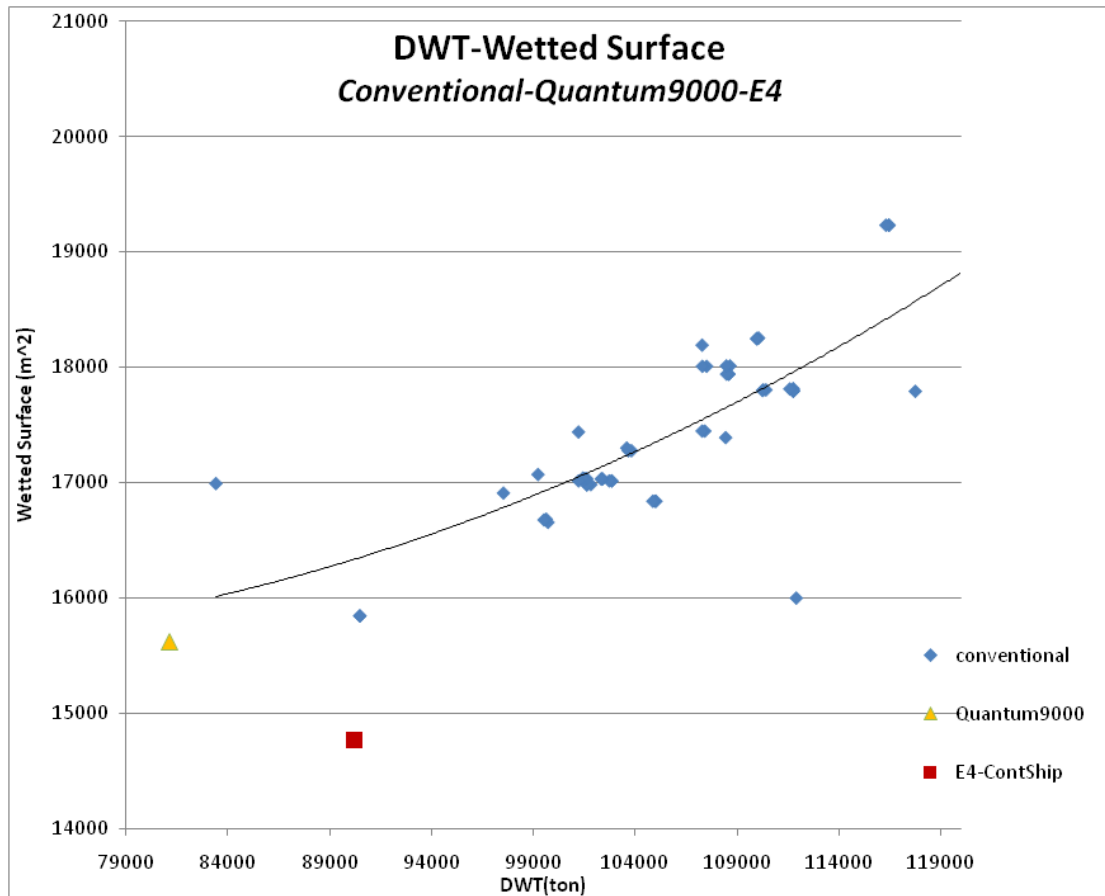


Figure 37. Comparison of Wetted surface vs. DWT for E<sup>4</sup>, Q9000 and conventional designs

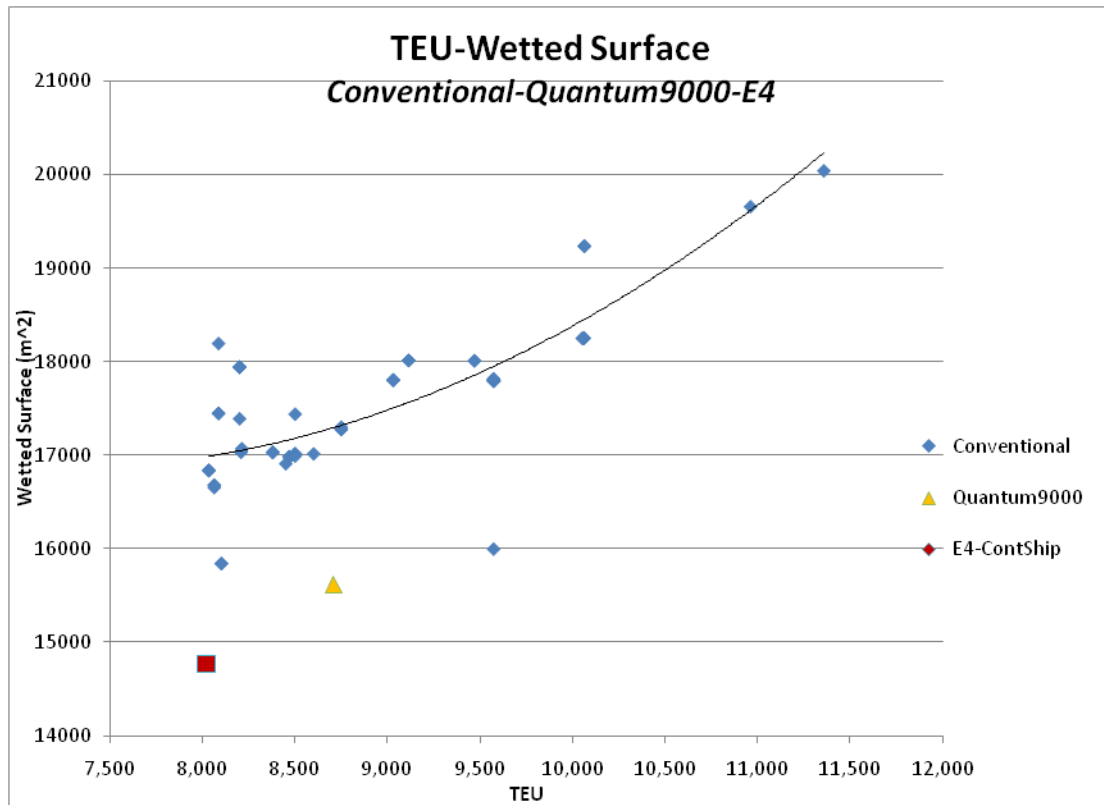


Figure 38. Comparison of Wetted surface vs. TEUs for E<sup>4</sup>, Q9000 and conventional designs

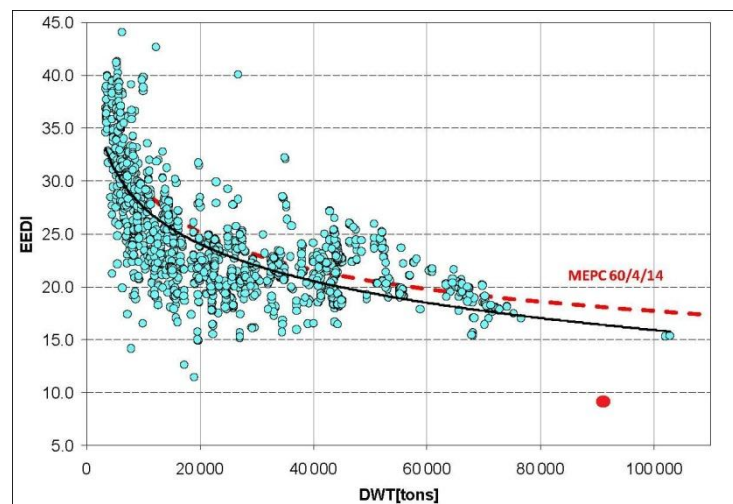
From figures[35,36] it can be concluded that the target of minimizing the wetted surface has succeeded. The E<sup>4</sup> has about 12% less wetted surface than the conventional vessels and a comparatively increased capacity. That is mainly due to the large beam, the long parallel body and the translation of the deckhouse close to the fore peak.

In the table [4] a more detailed comparison between COSCO Ningbo, Quantum9000 and E<sup>4</sup> is presented.

Table 4. Main particulars of COSCO Ningbo, Quantum9000 and E<sup>4</sup>

ITEM	<u>Cosco Ningbo</u>	<u>Quantum 9000</u>	<u>E<sup>4</sup></u>
Lbp(m)	350	297.7	281.7
B(Td)(m)	42.8	48	47.2
B(deck)(m)	42.8	48	47.5
Td(m)	14.52	13.5	14.25
D(m)	27.3	26.4	25
Cb	0.679	0.58	0.596
WS(m <sup>2</sup> )	18010	15600	14800
Δ(ton)	144227	115587	118427.7
DWT(ton)	107277	81155	90220.7
LS (ton)	36950	34432	28207
TEU	9469	8708	8012(max. 8449)
Speed(kn)	25.4	22	16
EEDI	17.55	8.5 (approx.)	9.04
DWT/TEU	11.33	9.3	11.3
BHP(kW)	74800	40590	18045
Ballast(ton)	30900	25300	11471

The following table illustrates the EEDI for containerships, using 65% of their deadweight as a measure for their utilization. From this table it is obvious that for a given deadweight requirement, the EEDI may vary significantly in terms of ship size. The E<sup>4</sup> appears also in this graph (red point) and is much lower than the reference line proposed by MEPC.1/Circ.681.



As it seems, E<sup>4</sup> has significantly lower EEDI and that because of the lower speed and the reduced propulsion power. The ballast of E<sup>4</sup> is estimated at the worst condition, namely the arrival ballast condition and though is radically reduced compare to a typical container ship. Nevertheless, the hull still spares void space in the double sides and double bottom. The DWT/TEU index reveals the feasibility and efficiency of E<sup>4</sup> regarding the cargo capacity. The EEDI of Quantum9000 is retrieved from a diagram [ref.8] and is very low due to the efficient LNG plant that has a very low carbon footprint.

## **Conclusions**

The container ship market is an increasingly important and attractive transport market segment, which may be expected to become of even greater importance in the future. The future although is very fog and the European shipping industry should be ready to adapt to any unexpected evolution. The global economy has proven unstable during the last year. The return to the good old days seems difficult if the contributing component continue to be unwilling to do the big step forward. The increasing concern about environmental issues pushes the ship owners to comply with more strict legislation. The continuously increasing oil prices make the alternative energy sources even more tempting but the new technologies are still too expensive. The new markets that boom in the East tend to change the balance.

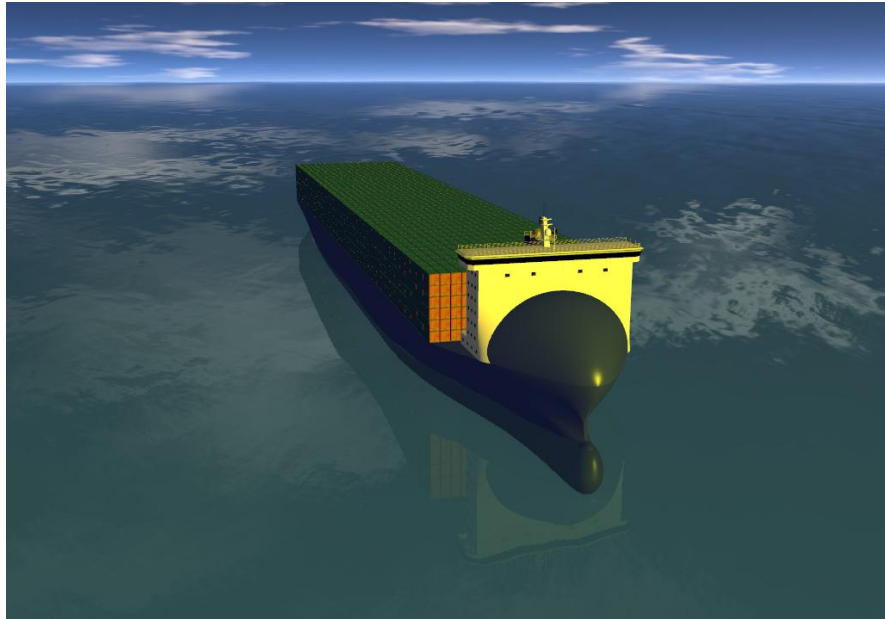
The E<sup>4</sup> containership is an effort for greener, more efficient ships and the big advantage of it is that it is ready to be build based on available and proven technology. The importance of the issues that concerns the E<sup>4</sup> design may reflect on the fact that significant organization like the DNV and the GL are already involved in the investigation of these research areas.

The European market may expect a lot from this design since it is in compliance with the high expertise of local industry. Products of significant manufacturers of the Europe like MAN or ABB are incorporated in the design revealing their unique advantages. The innovative design of E<sup>4</sup> may contribute to the maximization of the European fleet in the competitive range of post PANAMAX containerships because of the comparatively low rates of it.

In this project a feasibility study took place that showed that E<sup>4</sup> can be definitely considered as a green ship because of the low environmental impact that reflects on the low EEDI (about 9) and because the optimized design offers efficiency regarding the capacity (max. TEU's 8,445) and the powering needed. Its sophisticated design permits to sail with a little need for ballast water (almost 60% reduced compared to typical container ships) and this is very important especially now that new legislation regarding water ballast treatment is about to come. The convenient arrangement of the E<sup>4</sup> with the two spacious engine rooms gives the ability for installation of more efficient energy systems, for example an LNG-plant since there is enough room for the LNG-tanks to fit in. This simple retrofit would provide even better efficiency and a much lower environmental impact.

A further investigation could conclude to remarkable features that could be also adopted by other ship types, like oil tankers and bulkcarriers. The minimum ballast characteristic of the E4 may prove very effective in the case of oil tankers that use to sail in ballast condition very often.

We hope that the E<sup>4</sup> design may constitute a springboard for more delicate and efficient design since it has introduced many innovative features that could inspire the designers.





## References

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Shipping\\_container](http://en.wikipedia.org/wiki/Shipping_container)
2. <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/liner-ships/container-cargo-capacity>
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Container\\_ship\\_-\\_cite\\_note-unctad5357-44](http://en.wikipedia.org/wiki/Container_ship_-_cite_note-unctad5357-44)
4. Maritime Transport Coordination Platform (November 2006). "3: The London Tonnage Convention" (pdf). Tonnage Measurement Study. MTCP Work Package 2.1, Quality and Efficiency. Bremen/Brussels. pp. 3.3. [http://ec.europa.eu/transport/maritime/studies/doc/2006\\_11\\_tonnage\\_measurement\\_study.pdf](http://ec.europa.eu/transport/maritime/studies/doc/2006_11_tonnage_measurement_study.pdf). Retrieved 2007-05-29
5. Green ship technology book by EMEC
6. Harilaos N. Psaraftis, Christos A. Kontovas and Nikolaos M. P. Kakalis, Speed Reduction As An Emissions Reduction Measure For Fast Ships, 10th International Conference on Fast Sea Transportation FAST 2009, Athens, Greece, October 2009.
7. VISIONS OLYMPICS: The Market and Technology Situation for the Academic Contest 2010/2011.
8. DnV, DNV Container Ship Update, No. 2, October 2010.
9. <http://www.maersk.com/AboutMaersk/News/Pages/20100901-145240.aspx>
10. LLOYD'S REGISTER, Container Ship Speed Matters, September 2008
11. IMO, International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water & Sediments, 16 February, 2004.
12. Ballast Water Treatment Systems, Offshore Marine Technology, 1<sup>st</sup> Quarter 2011
13. IMO MEPC 60/4/15. Comments on the EEDI Baseline Formula, Submitted by Greece, 15, January, 2010.
14. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ellipse>
15. <http://www.friendship-systems.com/>
16. <http://www.flowtech.se/>
17. <http://www.aveva.com/>
18. Papanikolaou A. Holistic ship design optimization. Computer-Aided Design, doi:10.1016/j.cad.2009.07.002, 2009.

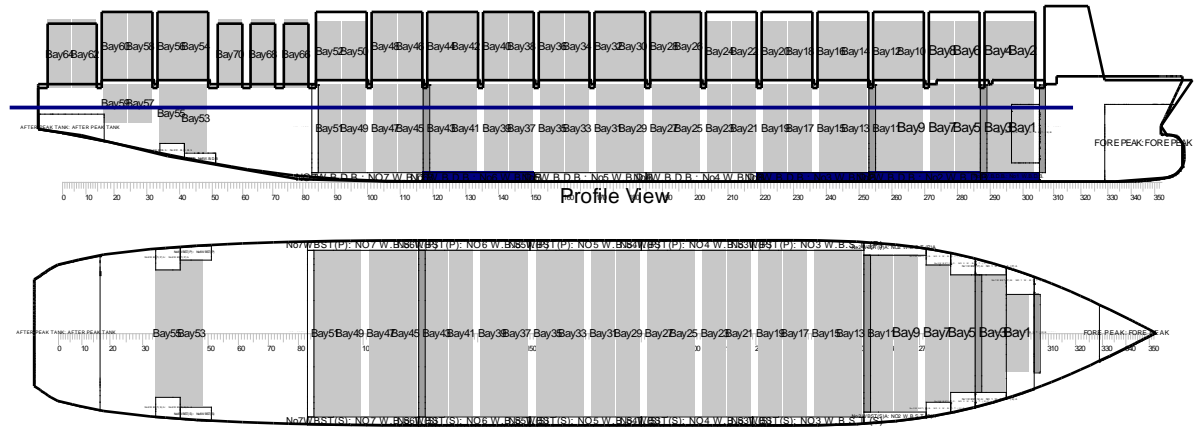
19. Papanikolaou, A., Zaraphonitis, G., Boulougouris, E., Langbecker, U., Matho, S., Sames, P., Multi-Objective Optimization of Oil Tanker Design, Journal Marine Science and Technology, Springer Verlag, Tokyo, 2010
20. Holtrop, J. and Mennen, G. G. J., "An Approximate Power Prediction Method," International Shipbuilding Progress, 29, 1982.
21. Schneekluth, H. and Bertram, V., Ship design for efficiency and economy, 2nd edition, published by Butterworth-Heinemann, Oxford, 1998.
22. ABB, [www.abb.com/marine](http://www.abb.com/marine)
23. MAN Diesel Electric
24. IMO, Res.749 (18) Code on Intact Stability for all types of ships covered by IMO instruments, adopted 4 November, 1993.
25. Stopford M., Maritime Economics, 3<sup>rd</sup> edition, Routledge, 2009.

## Appendices

### Trim & Stability Booklet

#### FULL LOAD DEPARTURE

##### Intact State



Key

Key	Name	Density (t/m3)
WB		1.0250
FW		1.0000
FO		0.9700
LO		0.9000
MISC		1.0000

##### Intact State

###### Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S	M
<b>WATER BALLAST</b>											
No1 W.B.D.B.: No1 W.B.D.B.	287-305	WB	100.0	1.025	745.2	242.47	0.00	2.68	0.0		
No2 W.B.D.B.: No2 W.B.D.B.	253-287	WB	100.0	1.025	2111.2	220.12	0.00	2.57	0.0		
No3 W.B.D.B.: No3 W.B.D.B.	219-253	WB	100.0	1.025	2324.2	192.37	0.00	2.53	0.0		
No6 W.B.D.B.: No6 W.B.D.B.	117-151	WB	100.0	1.025	2329.9	106.73	0.00	2.54	0.0		
Total WATER BALLAST					7510.5	178.57	0.00	2.56	0.0		
<b>FUEL OIL</b>											
IFO.TANK2: I.F.O.TANK2	117-119	FO	100.0	0.970	1327.5	93.28	0.00	14.95	0.0		
IFO.TANK3: I.F.O.TANK1	253-255	FO	100.0	0.970	1217.7	207.52	0.00	15.14	0.0		
IFO.TANK4: I.F.O.TANK4	287-289	FO	100.0	0.970	978.2	236.08	0.00	16.10	0.0		
IFO.TANK5: I.F.O.TANK4	305-307	FO	100.0	0.970	713.7	251.13	0.00	16.70	0.0		
Total FUEL OIL					4237.1	185.67	0.00	15.57	0.0		
<b>FRESH WATER</b>											
DRINK WATER: DRINK WATER	67-83	FW	100.0	1.000	150.9	57.72	-16.25	11.25	0.0		
WASH WATER: WASH WATER	67-83	FW	100.0	1.000	150.9	57.72	16.25	11.25	0.0		
Total FRESH WATER					301.8	57.72	0.00	11.25	0.0		
<b>LUB OIL</b>											

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
LUB OIL(P): LUB OIL(P)	67-83	LO	100.0	0.900	135.8	57.72	-12.50	10.00	0.0	
LUB OIL(S): LUB OIL(S)	67-83	LO	100.0	0.900	135.8	57.72	12.50	10.00	0.0	
Total LUB OIL					271.6	57.72	0.00	10.00	0.0	
<i>MISCELLANEOUS</i>										
MISC(P): MISC(P)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	-10.00	8.75	0.0	
MISC(S): MISC(S)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	10.00	8.75	0.0	
Total MISCELLANEOUS					452.8	57.72	0.00	8.75	0.0	
<i>Cont Set 0</i>										
Bay1					755.0	246.25	0.00	16.70	0.0	
Bay10					1101.2	217.69	0.00	33.50	0.0	
Bay11					1178.5	211.39	0.00	15.14	0.0	
Bay12					1101.2	211.39	0.00	33.50	0.0	
Bay13					1284.8	203.41	0.00	14.95	0.0	
Bay14					1101.2	203.41	0.00	33.50	0.0	
Bay15					1284.8	197.11	0.00	14.95	0.0	
Bay16					1101.2	197.11	0.00	33.50	0.0	
Bay17					1284.8	189.13	0.00	14.95	0.0	
Bay18					1101.2	189.13	0.00	33.50	0.0	
Bay19					1284.8	182.83	0.00	14.95	0.0	
Bay2					1101.2	246.25	0.00	33.50	0.0	
Bay20					1101.2	182.83	0.00	33.50	0.0	
Bay21					1284.8	174.85	0.00	14.95	0.0	
Bay22					1101.2	174.85	0.00	33.50	0.0	
Bay23					1284.8	168.55	0.00	14.95	0.0	
Bay24					1101.2	168.55	0.00	33.50	0.0	
Bay25					1284.8	160.57	0.00	14.95	0.0	
Bay26					1284.8	160.57	0.00	34.75	0.0	
Bay27					1284.8	154.27	0.00	14.95	0.0	
Bay28					1284.8	154.27	0.00	34.75	0.0	
Bay29					1284.8	146.29	0.00	14.95	0.0	
Bay3					946.7	239.95	0.00	16.10	0.0	
Bay30					1284.8	146.29	0.00	34.75	0.0	
Bay31					1284.8	139.99	0.00	14.95	0.0	
Bay32					1284.8	139.99	0.00	34.75	0.0	
Bay33					1284.8	132.01	0.00	14.95	0.0	
Bay34					1284.8	132.01	0.00	34.75	0.0	
Bay35					1284.8	125.71	0.00	14.95	0.0	
Bay36					1284.8	125.71	0.00	34.75	0.0	
Bay37					1284.8	117.73	0.00	14.95	0.0	
Bay38					1284.8	117.73	0.00	34.75	0.0	
Bay39					1284.8	111.43	0.00	14.95	0.0	
Bay4					1101.2	239.95	0.00	33.50	0.0	
Bay40					1284.8	111.43	0.00	34.75	0.0	
Bay41					1284.8	103.45	0.00	14.95	0.0	
Bay42					1284.8	103.45	0.00	34.75	0.0	
Bay43					1284.8	97.15	0.00	14.95	0.0	
Bay44					1284.8	97.15	0.00	34.75	0.0	
Bay45					1284.8	89.17	0.00	14.95	0.0	
Bay46					1284.8	89.17	0.00	34.75	0.0	

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
Bay47					1284.8	82.87	0.00	14.95	0.0	
Bay48					1284.8	82.87	0.00	34.75	0.0	
Bay49					1284.8	74.89	0.00	14.95	0.0	
Bay5					1024.0	231.97	0.00	15.68	0.0	
Bay50					1101.2	74.89	0.00	33.50	0.0	
Bay51					1284.8	68.59	0.00	14.95	0.0	
Bay52					1101.2	68.59	0.00	33.50	0.0	
Bay53					975.7	34.29	0.00	17.24	0.0	
Bay54					1284.8	34.29	0.00	34.75	0.0	
Bay55					850.1	27.99	0.00	18.27	0.0	
Bay56					1284.8	27.99	0.00	34.75	0.0	
Bay57					618.2	20.01	0.00	20.16	0.0	
Bay58					1284.8	20.01	0.00	34.75	0.0	
Bay59					598.9	13.71	0.00	20.28	0.0	
Bay6					1101.2	231.97	0.00	33.50	0.0	
Bay60					1284.8	13.71	0.00	34.75	0.0	
Bay62					1284.8	5.85	0.00	32.75	0.0	
Bay64					1284.8	-0.57	0.00	32.75	0.0	
Bay66					1284.8	59.98	0.00	32.75	0.0	
Bay68					1284.8	51.51	0.00	32.75	0.0	
Bay7					1178.5	225.67	0.00	14.98	0.0	
Bay70					1284.8	43.04	0.00	32.75	0.0	
Bay8					1101.2	225.67	0.00	33.50	0.0	
Bay9					1178.5	217.69	0.00	15.14	0.0	
Total Cont Set 0					77397.5	130.48	0.00	25.58	0.0	
<i>STORES</i>										
STORES					30.0	270.00	0.00	24.00	0.0	
Total STORES					30.0	270.00	0.00	24.00	0.0	
<i>PROVISIONS DEPARTURE</i>										
PROVISIONS					16.0	250.00	0.00	25.50	0.0	
Total PROVISIONS DEPARTURE					16.0	250.00	0.00	25.50	0.0	
<i>CREW</i>										
STORES					3.4	270.00	0.00	25.50	0.0	
Total CREW					3.4	270.00	0.00	25.50	0.0	
Lightweight					28207.0	152.89	0.00	15.86	0.0	
Deadweight					90220.7	136.32	0.00	23.01	0.0	
Total Displacement					118427.7	140.26	0.00	21.31	0.0	
Buoyancy					118427.3	140.26	0.00	8.55	1993670.1	
Total Buoyancy					118427.3	140.26	0.00	8.55	1993670.1	

### Intact State

Drafts at equilibrium angle

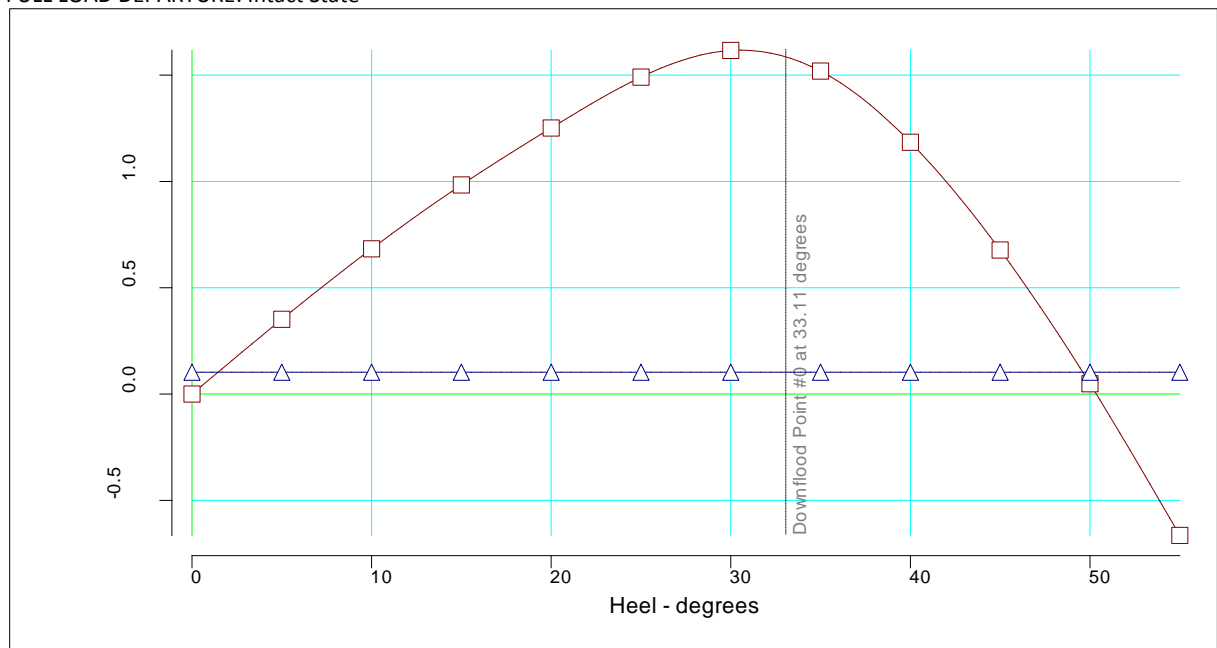
Draft at LCF	14.254	metres
Draft aft at marks	14.257	metres
Draft fwd at marks	14.250	metres
Draft at AP	14.257	metres
Draft at FP	14.250	metres
Mean draft at midships	14.253	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim	No trim	
KG	21.309	metres
FSC	0.000	metres
KGf	21.309	metres
GMt	4.071	metres
BMt	16.835	metres
BMI	573.015	metres
Waterplane area	11869.39	sq.metres
LCG	140.263	metres
LCB	140.263	metres
TCB	0.000	metres
LCF	127.989	metres
TCF	0.000	metres
TPC	121.661	tonnes/cm
MTC	2408.625	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

### Intact State

FULL LOAD DEPARTURE: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	Wlrad (m)	Freeboard (m)	Unprotected (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	4.0709	-0.008	14.253	9.75[0]	12.95[0]	0.1027
5.00	0.3515	3.9437	0.021	14.181	7.67[0]	11.08[0]	0.1027
10.00	0.6830	3.6551	0.130	13.954	5.58[0]	9.13[0]	0.1027
15.00	0.9836	3.3051	0.323	13.558	3.52[0]	7.15[0]	0.1027
20.00	1.2511	2.9618	0.587	12.985	1.50[0]	5.15[0]	0.1027
25.00	1.4906	2.7133	0.903	12.229	-0.45[0]	3.18[0]	0.1027
30.00	1.6160	0.2228	1.257	11.327	-2.34[0]	1.22[0]	0.1027
35.00	1.5189	-2.5062	1.580	10.351	-4.23[0]	-0.76[0]	0.1027

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Unprotected (m)	Wind (m)
40.00	1.1844	-4.8666	1.894	9.343	-6.13[0]	-2.77[0]	0.1027
45.00	0.6771	-6.5270	2.194	8.300	-8.02[0]	-4.81[0]	0.1027
50.00	0.0483	-7.6901	2.490	7.221	-9.87[0]	-6.83[0]	0.1027
55.00	-0.6649	-8.4860	2.783	6.106	-11.67[0]	-8.83[0]	0.1027

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	290.192	metres
Profile area above WL	7516.592	sq.metres
Area to leeward (Area b)	0.51758	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00130	m-radians
GZc	0.103	metres
Gust angle	1.447	degrees
Rollback angle	19.018	degrees
Steady state angle	0.964	degrees
Max. angle to leeward	33.113	degrees
B/d'	3.333	
X1	0.833	
Cb	0.603	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	7.055	metres
r	1.027	
T	15.296	seconds

## Intact State

IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.488	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.087	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.576	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	4.071	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	1.617	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	30.434	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.964	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	399.237	1.000

Condition complies with the regulations

## Intact State

Immersion Particulars

State of Openings = X-ray: Normal condition

Unprotected Openings

Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)	Downflood Compartment
0	255.000	21.000	27.200	12.950	33.113	
1	255.000	21.000	27.200	12.950	33.113	

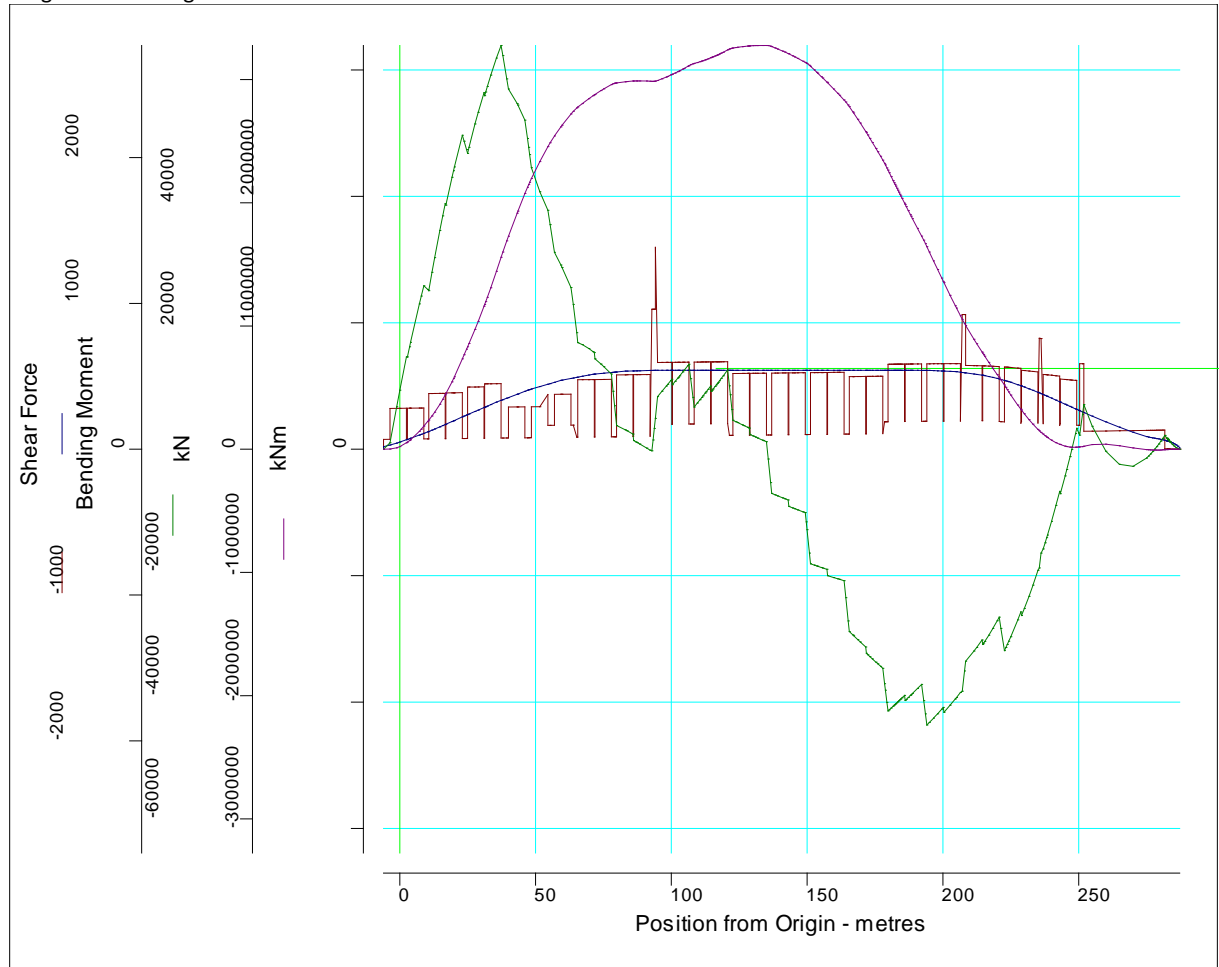
Deck Edge

Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)
0	140.870	23.600	24.000	9.747	23.862

Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)
1	140.870	-23.600	24.000	9.747	Not immersed

Intact State

Longitudinal Strength



Shearing Force and Bending Moments

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
8.88	--	26531.5	---	183212.0	---
16.74	--	39848.7	---	430234.2	---
23.04	--	50959.1	---	715107.9	---
31.02	--	57883.6	---	1131609.3	---
37.31	--	65540.1	---	1517913.8	---
91.63	--	0.0	---	2911439.2	---
92.90	--	0.0	---	2909891.8	---
100.18	--	11340.8	---	2963974.7	---
106.47	--	13777.7	---	3033515.6	---
114.46	--	10239.2	---	3096240.6	---
120.76	--	12864.1	---	3158539.5	---
135.31	--	0.0	---	3193127.9	---
179.80	#221	-42477.4	---	2207488.0	---

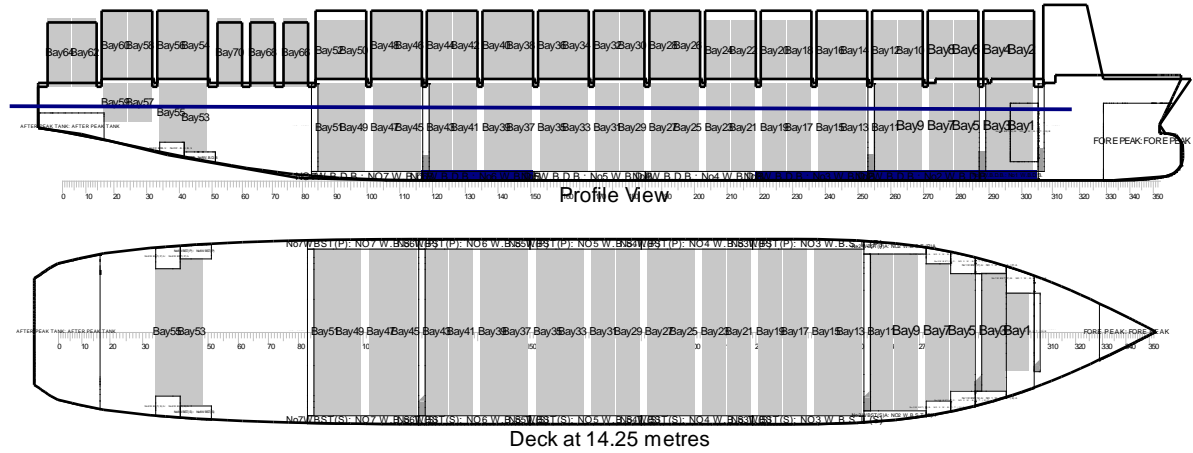


Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
186.10	--	-40786.5	---	1936594.0	---
194.08	#238	-44764.9	---	1602371.8	---
200.38	--	-42716.6	---	1317220.7	---
214.66	--	-31692.4	---	760532.3	---
222.64	#272	-32681.6	---	507901.6	---
228.94	--	-26995.0	---	309841.7	---
243.22	--	-7209.9	---	37280.2	---
247.48	--	0.0	---	15639.1	---
249.28	--	3391.7	---	16314.2	---
251.90	#307	7244.1	---	23516.6	---
259.60	--	0.0	---	39438.0	---
270.00	--	-2773.8	---	10729.3	---
278.00	--	0.0	---	-6462.5	---
281.70	#353	2245.4	---	-3790.8	---
<i>Maximum BM</i>					
134.02				3193596.8	---
<i>Maximum SF</i>					
37.31		65540.1	---		

Damage Case Summary Table

## FULL LOAD ARRIVAL CONDITION

### Intact State



### Key

Key	Name	Density (t/m3)
WB		1.0250
FW		1.0000
FO		0.9700
LO		0.9000
MISC		1.0000

### Intact State

#### Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
<b>WATER BALLAST</b>										
No1 W.B.D.B.: No1 W.B.D.B.	287-305	WB	100.0	1.025	745.2	242.47	0.00	2.68	0.0	
No2 W.B.D.B.: No2 W.B.D.B.	253-287	WB	100.0	1.025	2111.2	220.12	0.00	2.57	0.0	
No3 W.B.D.B.: No3 W.B.D.B.	219-253	WB	100.0	1.025	2324.2	192.37	0.00	2.53	0.0	
No6 W.B.D.B.: No6 W.B.D.B.	117-151	WB	100.0	1.025	2329.9	106.73	0.00	2.54	0.0	
Total WATER BALLAST					7510.5	178.57	0.00	2.56	0.0	
<b>FUEL OIL</b>										
IFO.TANK2: I.F.O.TANK2	117-119	FO	10.0	0.970	132.8	93.28	0.00	4.68	2767.7	
IFO.TANK3: I.F.O.TANK1	253-255	FO	10.0	0.970	121.8	207.52	0.00	4.78	2079.4	
IFO.TANK4: I.F.O.TANK4	287-289	FO	10.0	0.970	97.8	236.08	0.00	5.20	449.2	
IFO.TANK5: I.F.O.TANK4	305-307	FO	10.0	0.970	71.4	251.13	0.00	5.98	411.7	
Total FUEL OIL					423.8	185.67	0.00	5.05	5708.0	
<b>FRESH WATER</b>										
DRINK WATER: DRINK WATER	67-83	FW	10.0	1.000	15.1	57.72	-16.25	10.13	125.8	
WASH WATER: WASH WATER	67-83	FW	10.0	1.000	15.1	57.72	16.25	10.13	125.8	
Total FRESH WATER					30.2	57.72	0.00	10.13	251.6	
<b>LUB OIL</b>										
LUB OIL(P): LUB OIL(P)	67-83	LO	10.0	0.900	13.6	57.72	-12.50	7.75	14.1	
LUB OIL(S): LUB OIL(S)	67-83	LO	10.0	0.900	13.6	57.72	12.50	7.75	14.1	
Total LUB OIL					27.2	57.72	0.00	7.75	28.2	
<b>MISCELLANEOUS</b>										

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
MISC(P): MISC(P)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	-10.00	8.75	0.0	
MISC(S): MISC(S)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	10.00	8.75	0.0	
Total MISCELLANEOUS					452.8	57.72	0.00	8.75	0.0	
<i>Cont Set 0</i>										
Bay1					755.0	246.25	0.00	16.70	0.0	
Bay10					1101.2	217.69	0.00	33.50	0.0	
Bay11					1178.5	211.39	0.00	15.14	0.0	
Bay12					1101.2	211.39	0.00	33.50	0.0	
Bay13					1284.8	203.41	0.00	14.95	0.0	
Bay14					1101.2	203.41	0.00	33.50	0.0	
Bay15					1284.8	197.11	0.00	14.95	0.0	
Bay16					1101.2	197.11	0.00	33.50	0.0	
Bay17					1284.8	189.13	0.00	14.95	0.0	
Bay18					1101.2	189.13	0.00	33.50	0.0	
Bay19					1284.8	182.83	0.00	14.95	0.0	
Bay2					1101.2	246.25	0.00	33.50	0.0	
Bay20					1101.2	182.83	0.00	33.50	0.0	
Bay21					1284.8	174.85	0.00	14.95	0.0	
Bay22					1101.2	174.85	0.00	33.50	0.0	
Bay23					1284.8	168.55	0.00	14.95	0.0	
Bay24					1101.2	168.55	0.00	33.50	0.0	
Bay25					1284.8	160.57	0.00	14.95	0.0	
Bay26					1284.8	160.57	0.00	34.75	0.0	
Bay27					1284.8	154.27	0.00	14.95	0.0	
Bay28					1284.8	154.27	0.00	34.75	0.0	
Bay29					1284.8	146.29	0.00	14.95	0.0	
Bay3					946.7	239.95	0.00	16.10	0.0	
Bay30					1284.8	146.29	0.00	34.75	0.0	
Bay31					1284.8	139.99	0.00	14.95	0.0	
Bay32					1284.8	139.99	0.00	34.75	0.0	
Bay33					1284.8	132.01	0.00	14.95	0.0	
Bay34					1284.8	132.01	0.00	34.75	0.0	
Bay35					1284.8	125.71	0.00	14.95	0.0	
Bay36					1284.8	125.71	0.00	34.75	0.0	
Bay37					1284.8	117.73	0.00	14.95	0.0	
Bay38					1284.8	117.73	0.00	34.75	0.0	
Bay39					1284.8	111.43	0.00	14.95	0.0	
Bay4					1101.2	239.95	0.00	33.50	0.0	
Bay40					1284.8	111.43	0.00	34.75	0.0	
Bay41					1284.8	103.45	0.00	14.95	0.0	
Bay42					1284.8	103.45	0.00	34.75	0.0	
Bay43					1284.8	97.15	0.00	14.95	0.0	
Bay44					1284.8	97.15	0.00	34.75	0.0	
Bay45					1284.8	89.17	0.00	14.95	0.0	
Bay46					1284.8	89.17	0.00	34.75	0.0	
Bay47					1284.8	82.87	0.00	14.95	0.0	
Bay48					1284.8	82.87	0.00	34.75	0.0	
Bay49					1284.8	74.89	0.00	14.95	0.0	
Bay5					1024.0	231.97	0.00	15.68	0.0	

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
Bay50					1101.2	74.89	0.00	33.50	0.0	
Bay51					1284.8	68.59	0.00	14.95	0.0	
Bay52					1101.2	68.59	0.00	33.50	0.0	
Bay53					975.7	34.29	0.00	17.24	0.0	
Bay54					1284.8	34.29	0.00	34.75	0.0	
Bay55					850.1	27.99	0.00	18.27	0.0	
Bay56					1284.8	27.99	0.00	34.75	0.0	
Bay57					618.2	20.01	0.00	20.16	0.0	
Bay58					1284.8	20.01	0.00	34.75	0.0	
Bay59					598.9	13.71	0.00	20.28	0.0	
Bay6					1101.2	231.97	0.00	33.50	0.0	
Bay60					1284.8	13.71	0.00	34.75	0.0	
Bay62					1284.8	5.85	0.00	32.75	0.0	
Bay64					1284.8	-0.57	0.00	32.75	0.0	
Bay66					1284.8	59.98	0.00	32.75	0.0	
Bay68					1284.8	51.51	0.00	32.75	0.0	
Bay7					1178.5	225.67	0.00	14.98	0.0	
Bay70					1284.8	43.04	0.00	32.75	0.0	
Bay8					1101.2	225.67	0.00	33.50	0.0	
Bay9					1178.5	217.69	0.00	15.14	0.0	
Total Cont Set 0					77397.5	130.48	0.00	25.58	0.0	
<i>PROVISIONS ARRIVAL</i>										
PROVISIONS					1.6	250.00	0.00	25.00	0.0	
Total PROVISIONS ARRIVAL					1.6	250.00	0.00	25.00	0.0	
<i>CREW</i>										
STORES					3.4	270.00	0.00	25.50	0.0	
Total CREW					3.4	270.00	0.00	25.50	0.0	
Lightweight					28207.0	152.89	0.00	15.86	0.0	
Deadweight					85846.8	134.53	0.00	23.36	5987.9	
Total Displacement					114053.8	139.07	0.00	21.51	5987.9	
Buoyancy					114053.8	139.03	0.00	8.34	1976394.7	
Total Buoyancy					114053.8	139.03	0.00	8.34	1976394.7	

### Intact State

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	13.894	metres
Draft aft at marks	14.267	metres
Draft fwd at marks	13.443	metres
Draft at AP	14.267	metres
Draft at FP	13.443	metres
Mean draft at midships	13.855	metres

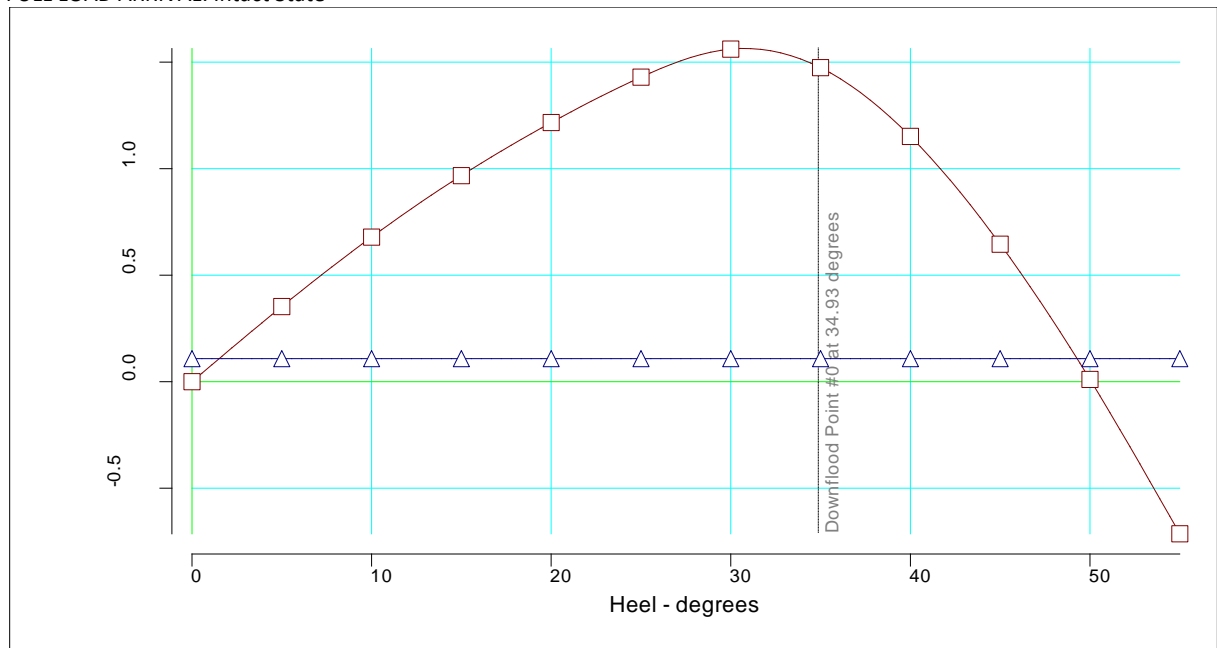
Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.824	metres
KG	21.508	metres
FSC	0.053	metres
KGf	21.560	metres
GMt	4.104	metres

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
BMt	17.329	metres
BMI	586.960	metres
Waterplane area	11803.79	sq.metres
LCG	139.071	metres
LCB	139.032	metres
TCB	0.000	metres
LCF	127.363	metres
TCF	0.000	metres
TPC	120.989	tonnes/cm
MTC	2376.127	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

### Intact State

FULL LOAD ARRIVAL: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Unprotected (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	4.1040	-0.824	13.855	10.15[0]	13.68[0]	0.1082
5.00	0.3525	3.9239	-0.793	13.782	8.07[0]	11.81[0]	0.1082
10.00	0.6788	3.5605	-0.677	13.555	5.98[0]	9.86[0]	0.1082
15.00	0.9673	3.1352	-0.470	13.160	3.91[0]	7.87[0]	0.1082
20.00	1.2161	2.7242	-0.186	12.589	1.89[0]	5.86[0]	0.1082
25.00	1.4292	2.4030	0.158	11.836	-0.06[0]	3.88[0]	0.1082
30.00	1.5612	0.0124	0.525	10.921	-1.94[0]	1.92[0]	0.1082
35.00	1.4742	-2.2968	0.842	9.924	-3.80[0]	-0.03[0]	0.1082
40.00	1.1514	-4.7989	1.148	8.888	-5.67[0]	-2.02[0]	0.1082
45.00	0.6454	-6.5558	1.447	7.820	-7.54[0]	-4.02[0]	0.1082
50.00	0.0104	-7.7880	1.747	6.717	-9.37[0]	-6.03[0]	0.1082
55.00	-0.7142	-8.6298	2.051	5.581	-11.15[0]	-8.01[0]	0.1082

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
----------	-------	-------

Property	Value	Units
Length WL	290.192	metres
Profile area above WL	7629.029	sq.metres
Area to leeward (Area b)	0.54348	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00143	m-radians
GZc	0.108	metres
Gust angle	1.513	degrees
Rollback angle	18.784	degrees
Steady state angle	1.008	degrees
Max. angle to leeward	34.926	degrees
B/d'	3.428	
X1	0.814	
Cb	0.597	
Ar	0.000	
K	1.000	
Og	7.706	metres
r	1.064	
T	15.338	seconds

### Intact State

IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	0.476	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.132	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	0.608	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	4.104	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	1.561	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	30.043	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	1.008	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	380.905	1.000

Condition complies with the regulations

### Intact State

Immersion Particulars

State of Openings = X-ray: Normal condition

Unprotected Openings

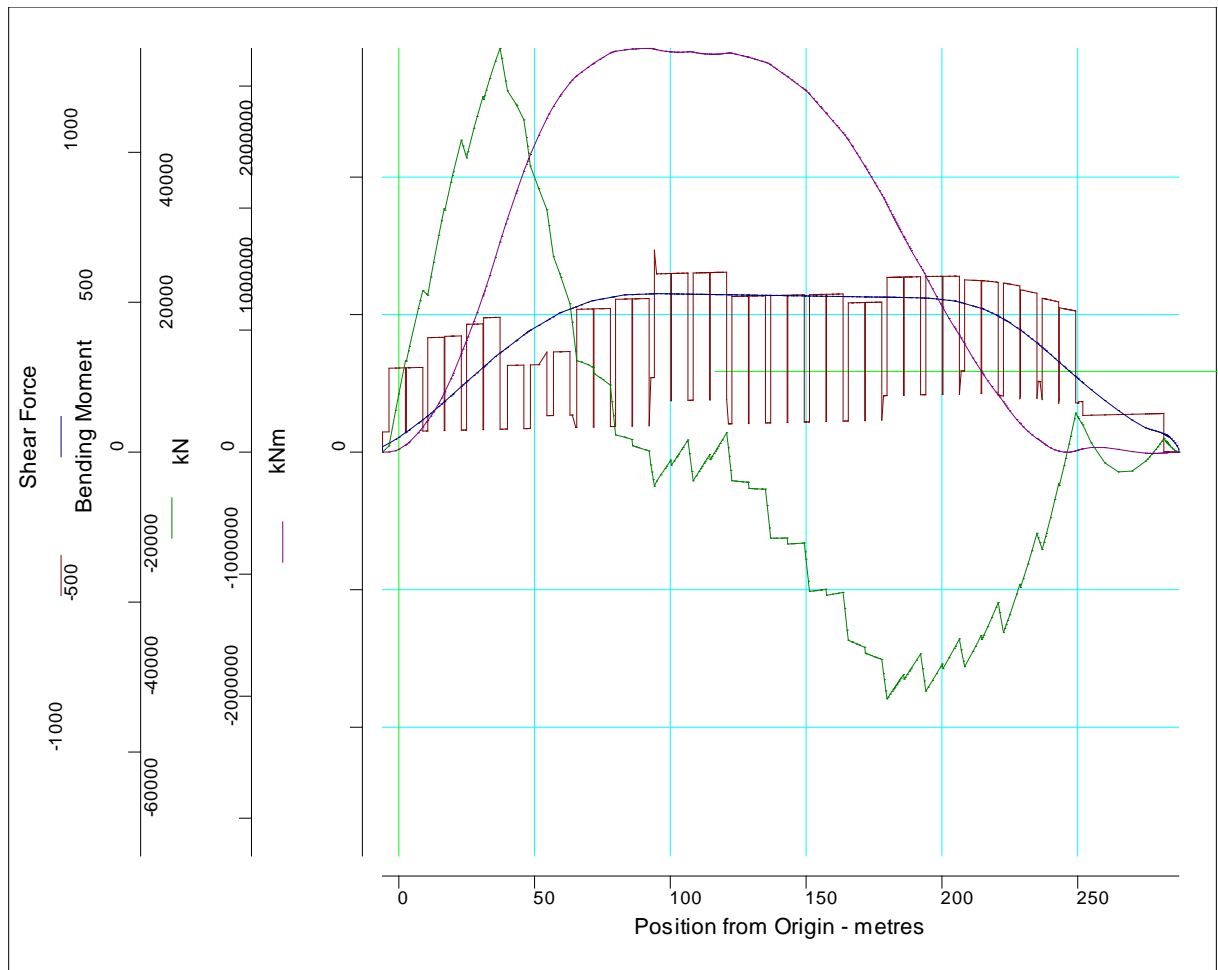
Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)	Downflood Compartment
0	255.000	21.000	27.200	13.679	34.926	
1	255.000	21.000	27.200	13.679	34.926	

Deck Edge

Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)
0	140.870	23.600	24.000	10.145	24.855
1	140.870	-23.600	24.000	10.145	Not immersed

### Intact State

Longitudinal Strength



Shearing Force and Bending Moments

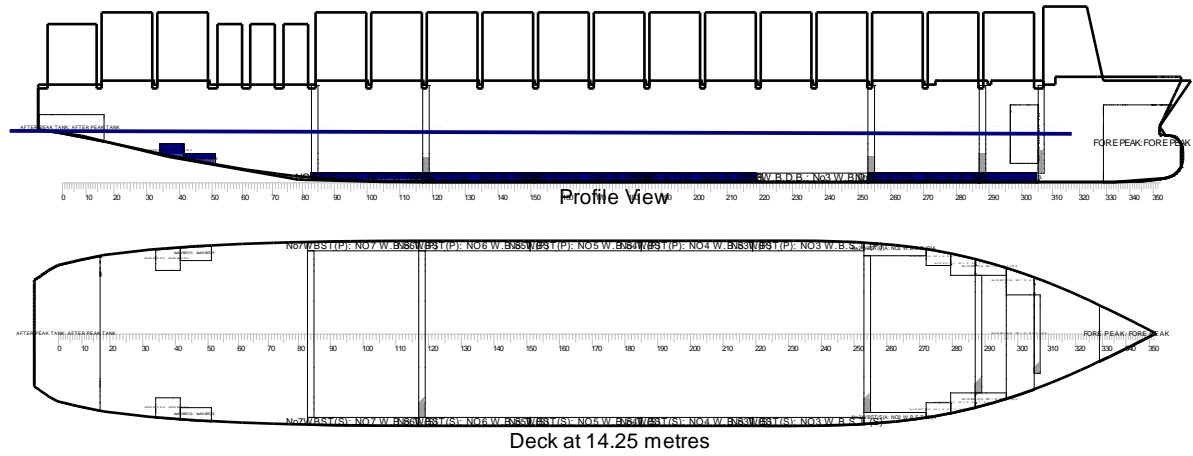
Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
8.88	--	26503.8	---	182820.0	---
16.74	--	39901.6	---	430190.8	---
23.04	--	51131.4	---	716263.0	---
31.02	--	58281.6	---	1136138.2	---
37.31	--	66176.1	---	1527075.1	---
92.25	--	0.0	---	2935397.3	---
94.12	#119	-5590.4	---	2930106.7	---
100.42	--	-2130.5	---	2910455.8	---
103.58	--	0.0	---	2907628.1	---
106.47	--	1985.5	---	2910794.7	---
107.05	--	0.0	---	2911372.9	---
108.40	#136	-4687.2	---	2908469.9	---
114.70	--	-1226.4	---	2893732.0	---
116.40	--	0.0	---	2892970.0	---
120.76	--	3189.2	---	2900568.1	---
121.57	--	0.0	---	2901994.4	---
138.24	--	-14096.7	---	2798065.5	---
143.26	--	-15048.5	---	2728168.7	---

Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
151.24	#187	-22807.8	---	2602733.0	---
157.54	--	-23449.9	---	2461318.1	---
179.80	#221	-40422.7	---	1801259.2	---
186.10	--	-37198.2	---	1561108.9	---
194.08	#238	-39155.9	---	1280661.0	---
200.38	--	-35460.3	---	1049934.3	---
208.36	#255	-35155.9	---	788159.3	---
214.66	--	-30718.8	---	584630.7	---
222.64	#272	-29541.1	---	366274.5	---
228.94	--	-22179.1	---	206710.8	---
236.92	#289	-15949.8	---	72001.7	---
243.22	--	-5489.5	---	6903.6	---
246.15	--	0.0	---	-406.6	---
249.28	--	6416.3	---	9630.7	---
257.35	--	0.0	---	33464.8	---
265.00	--	-3240.4	---	20502.3	---
277.96	--	0.0	---	-9389.2	---
281.70	#353	2247.6	---	-5159.1	---
<i>Maximum BM</i>					
92.19				2935445.4	---
<i>Maximum SF</i>					
37.31		66176.1	---		



## BALLAST ARRIVAL CONDITION

Intact State



Key

Key	Name	Density (t/m3)
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	FO	0.9700
	LO	0.9000
	MISC	1.0000

Intact State

Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S	M
<b>WATER BALLAST</b>											
NO7W.B.D.B.: NO7 W.B.D.B.	83-117	WB	100.0	1.025	1950.9	79.43	0.00	2.71	0.0		
No1W.B.D.B.: No1 W.B.D.B.	287-305	WB	100.0	1.025	745.2	242.47	0.00	2.68	0.0		
No2W.B.D.B.: No2 W.B.D.B.	253-287	WB	100.0	1.025	2111.2	220.12	0.00	2.57	0.0		
No4W.B.D.B.: No4 W.B.D.B.	185-219	WB	100.0	1.025	2331.0	163.84	0.00	2.54	0.0		
No5W.B.D.B.: No5 W.B.D.B.	151-185	WB	100.0	1.025	2331.2	135.28	0.00	2.54	0.0		
No6W.B.D.B.: No6 W.B.D.B.	117-151	WB	100.0	1.025	2329.9	106.73	0.00	2.54	0.0		
No8WBDB: No8W.B.D.B	41-51	WB	100.0	1.025	373.9	35.85	0.00	6.55	0.0		
No8WBDB.b: No8W.B.D.B.b	34-41	WB	100.0	1.025	534.5	28.37	0.00	8.61	0.0		
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>12707.8</b>	<b>139.67</b>	<b>0.00</b>	<b>2.95</b>	<b>0.0</b>		
<b>FUEL OIL</b>											
IFO.TANK2: I.F.O.TANK2	117-119	FO	10.0	0.970	132.8	93.28	0.00	4.68	2767.7		
IFO.TANK3: I.F.O.TANK1	253-255	FO	10.0	0.970	121.8	207.52	0.00	4.78	2079.4		
IFO.TANK4: I.F.O.TANK4	287-289	FO	10.0	0.970	97.8	236.08	0.00	5.20	449.2		
IFO.TANK5: I.F.O.TANK4	305-307	FO	10.0	0.970	71.4	251.13	0.00	5.98	411.7		
<b>Total FUEL OIL</b>					<b>423.8</b>	<b>185.67</b>	<b>0.00</b>	<b>5.05</b>	<b>5708.0</b>		
<b>FRESH WATER</b>											
DRINK WATER: DRINK WATER	67-83	FW	10.0	1.000	15.1	57.72	-16.25	10.13	125.8		
WASH WATER: WASH WATER	67-83	FW	10.0	1.000	15.1	57.72	16.25	10.13	125.8		
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>30.2</b>	<b>57.72</b>	<b>0.00</b>	<b>10.13</b>	<b>251.6</b>		
<b>LUB OIL</b>											

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
LUB OIL(P): LUB OIL(P)	67-83	LO	10.0	0.900	13.6	57.72	-12.50	7.75	14.1	
LUB OIL(S): LUB OIL(S)	67-83	LO	10.0	0.900	13.6	57.72	12.50	7.75	14.1	
<b>Total LUB OIL</b>					<b>27.2</b>	<b>57.72</b>	<b>0.00</b>	<b>7.75</b>	<b>28.2</b>	
<i>MISCELLANEOUS</i>										
MISC(P): MISC(P)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	-10.00	8.75	0.0	
MISC(S): MISC(S)	67-83	MISC	100.0	1.000	226.4	57.72	10.00	8.75	0.0	
<b>Total MISCELLANEOUS</b>					<b>452.8</b>	<b>57.72</b>	<b>0.00</b>	<b>8.75</b>	<b>0.0</b>	
<i>STORES</i>										
STORES					30.0	270.00	0.00	24.00	0.0	
<b>Total STORES</b>					<b>30.0</b>	<b>270.00</b>	<b>0.00</b>	<b>24.00</b>	<b>0.0</b>	
<i>PROVISIONS ARRIVAL</i>										
PROVISIONS					1.6	250.00	0.00	25.00	0.0	
<b>Total PROVISIONS ARRIVAL</b>					<b>1.6</b>	<b>250.00</b>	<b>0.00</b>	<b>25.00</b>	<b>0.0</b>	
<i>CREW</i>										
STORES					3.4	270.00	0.00	25.50	0.0	
<b>Total CREW</b>					<b>3.4</b>	<b>270.00</b>	<b>0.00</b>	<b>25.50</b>	<b>0.0</b>	
<b>Lightweight</b>					<b>28207.0</b>	<b>152.89</b>	<b>0.00</b>	<b>15.86</b>	<b>0.0</b>	
<b>Deadweight</b>					<b>13676.7</b>	<b>138.37</b>	<b>0.00</b>	<b>3.29</b>	<b>5987.9</b>	
<b>Total Displacement</b>					<b>41883.7</b>	<b>148.14</b>	<b>0.00</b>	<b>11.76</b>	<b>5987.9</b>	
<b>Buoyancy</b>					<b>41883.8</b>	<b>148.12</b>	<b>0.00</b>	<b>4.31</b>	<b>1068530.6</b>	
<b>Total Buoyancy</b>					<b>41883.8</b>	<b>148.12</b>	<b>0.00</b>	<b>4.31</b>	<b>1068530.6</b>	

Intact State

Drafts at equilibrium angle

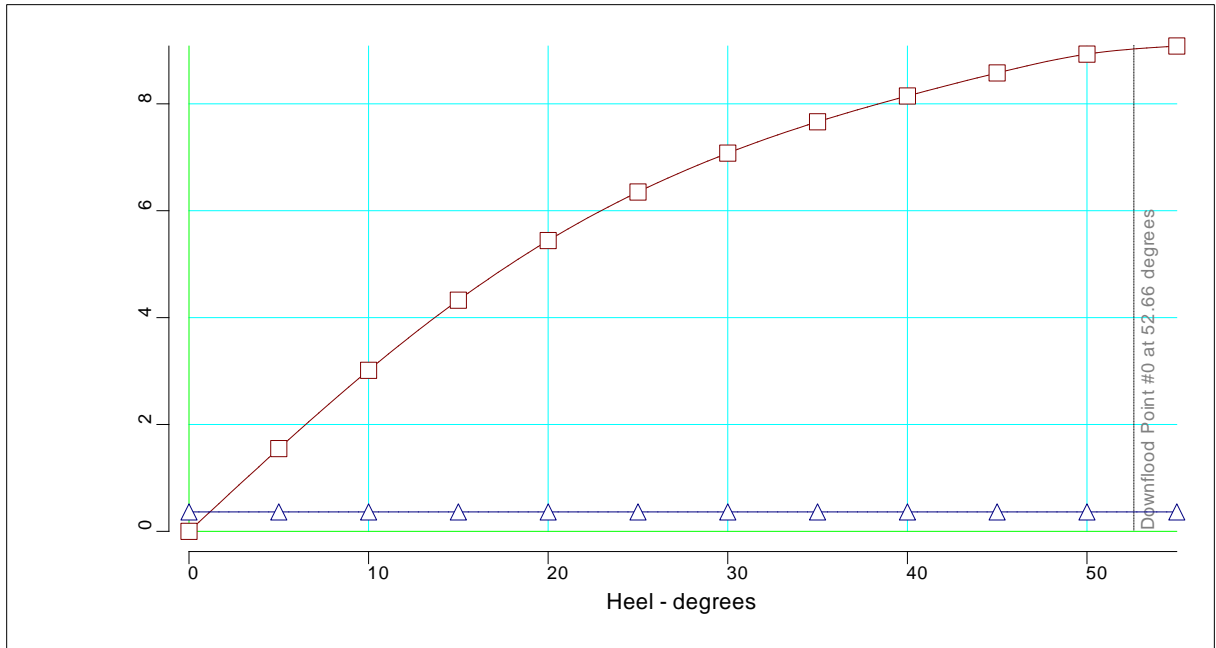
Draft at LCF	7.119	metres
Draft aft at marks	7.501	metres
Draft fwd at marks	6.743	metres
Draft at AP	7.501	metres
Draft at FP	6.743	metres
Mean draft at midships	7.122	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.759	metres
KG	11.757	metres
FSC	0.143	metres
KGf	11.900	metres
GMt	17.918	metres
BMt	25.512	metres
BMI	902.091	metres
Waterplane area	8764.54	sq.metres
LCG	148.145	metres
LCB	148.124	metres
TCB	0.000	metres
LCF	141.969	metres
TCF	0.000	metres
TPC	89.837	tonnes/cm
MTC	1341.060	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Intact State

WATER BALLAST ARRIVAL: Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Unprotected (m)	Wind (m)
0.00	0.0000	17.9177	-0.759	7.122	16.88[0]	20.39[0]	0.3637
5.00	1.5491	17.4687	-0.670	7.021	14.83[0]	18.52[0]	0.3637
10.00	3.0145	16.2006	-0.408	6.720	12.82[0]	16.59[0]	0.3637
15.00	4.3266	14.3140	0.010	6.228	10.85[0]	14.61[0]	0.3637
20.00	5.4416	12.1137	0.563	5.560	8.92[0]	12.59[0]	0.3637
25.00	6.3494	10.0154	1.218	4.729	7.05[0]	10.55[0]	0.3637
30.00	7.0774	8.3011	1.946	3.743	5.24[0]	8.52[0]	0.3637
35.00	7.6631	6.9841	2.722	2.611	3.51[0]	6.52[0]	0.3637
40.00	8.1471	6.0929	3.517	1.342	1.87[0]	4.57[0]	0.3637
45.00	8.5776	5.7362	4.289	-0.062	0.35[0]	2.71[0]	0.3637
50.00	8.9297	3.9041	5.054	-1.578	-1.07[0]	0.93[0]	0.3637
55.00	9.0810	1.3915	5.850	-3.155	-2.41[0]	-0.81[0]	0.3637

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Length WL	290.192	metres
Profile area above WL	9468.403	sq.metres
Area to leeward (Area b)	4.63543	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00369	m-radians
GZc	0.364	metres
Gust angle	1.164	degrees
Rollback angle	20.422	degrees
Steady state angle	0.776	degrees
Max. angle to leeward	50.000	degrees
B/d'	6.669	
X1	0.800	
Cb	0.427	
Ar	0.000	

Property	Value	Units
K	1.000	
Og	4.777	metres
r	1.132	
T	9.013	seconds

Intact State

IMO 749 Intact Stability Criteria non - passenger

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	2.120	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	1.334	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	3.454	0.090
4	Initial GM to be at least 0.15 metres	17.918	0.150
5	GZ to be at least 0.20m at an angle > 30 degrees	9.081	0.200
6	Max GZ to be at an angle > 30 degrees	55.000	30.000
7	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.776	16.000
8	IMO Weather Criterion ( Areas )	Indeterm.	1.000

Condition complies with the regulations

Note

Term	Meaning
Indeterm.	The value cannot be determined, although the ship passes the test. The reason may be that the value has some very large value. Another reason may be that no profile has been defined, and thus the wind moment cannot be calculated.

Intact State

**Immersion Particulars**

State of Openings = X-ray: Normal condition

Unprotected Openings

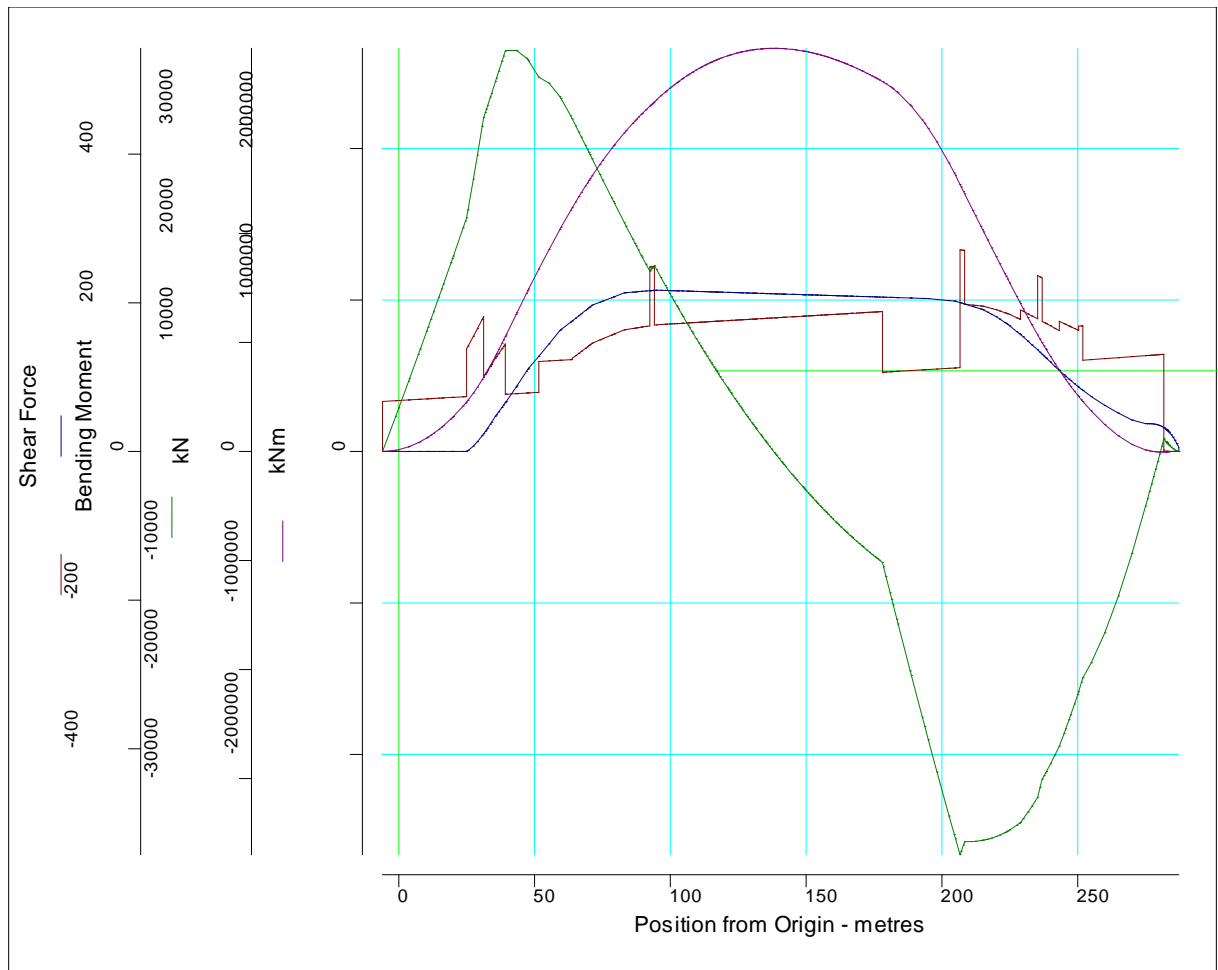
Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)	Downflood Compartment
0	255.000	21.000	27.200	20.385	52.662	
1	255.000	21.000	27.200	20.385	52.662	

Deck Edge

Point #	X position (m)	Y position (m)	Z position (m)	Ht. above WL (m)	Flood Angle (deg)
0	140.870	23.600	24.000	16.878	46.215
1	140.870	-23.600	24.000	16.878	Not immersed

Intact State

Longitudinal Strength

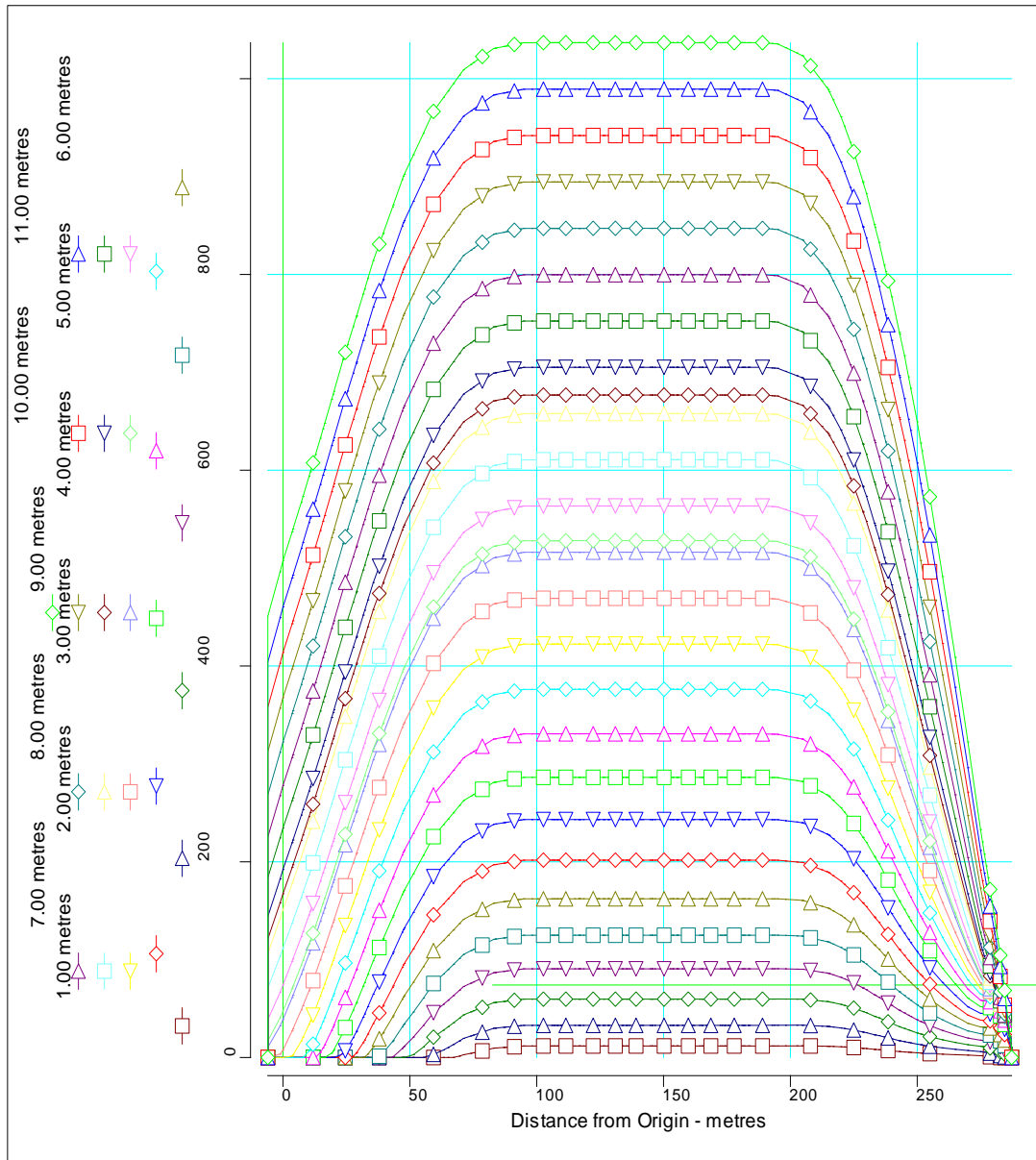


Shearing Force and Bending Moments

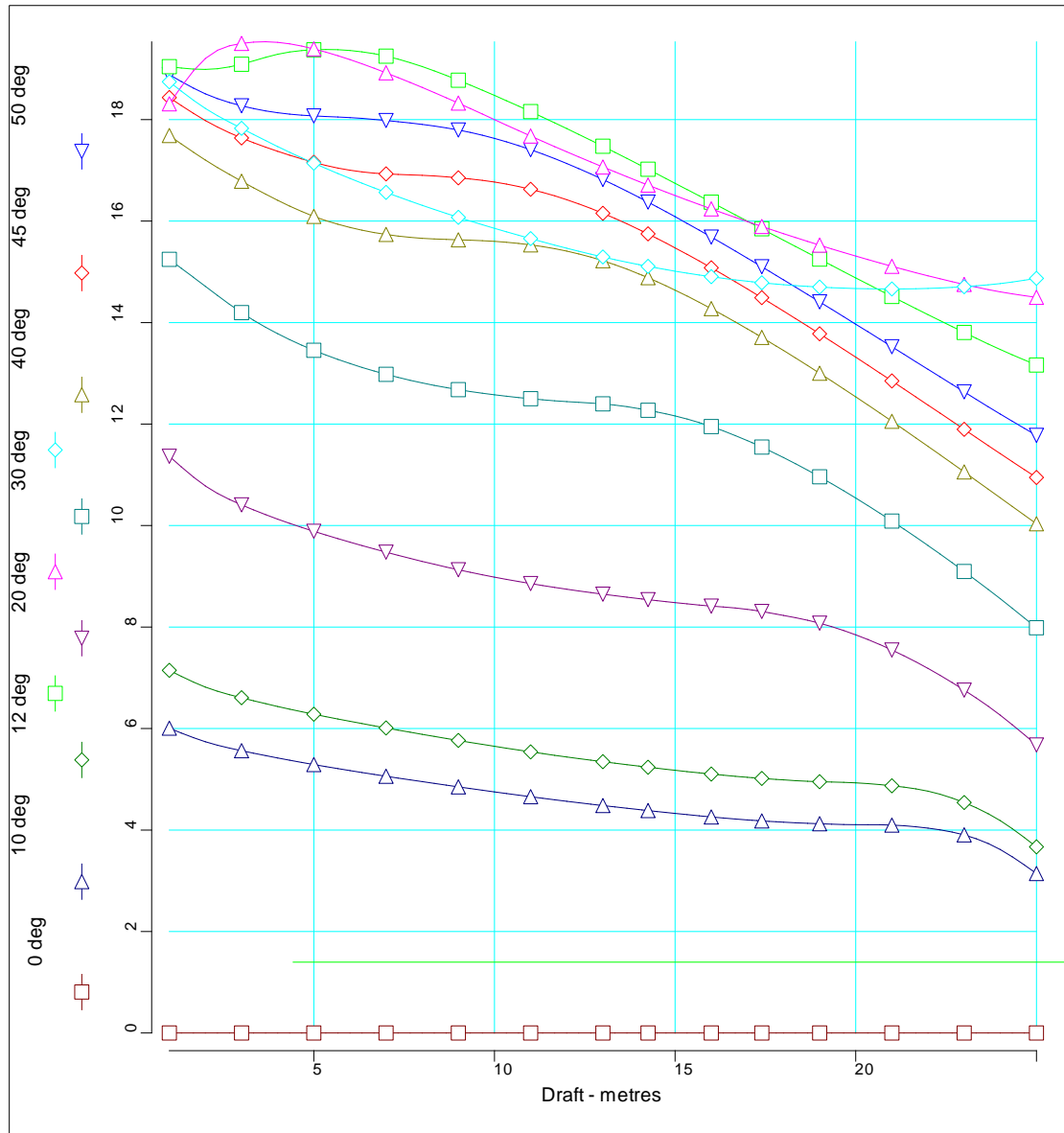
Distance from Origin (m)		Shearing Force (kN)	% of Max allowed	Bending Moment (kNm)	% of Max allowed
43.21	--	36792.1	---	904926.7	---
94.12	#119	17059.3	---	2307941.1	---
138.04	--	0.0	---	2661551.1	---
206.68	#253	-36979.2	---	1762519.1	---
280.49	--	0.0	---	-3225.1	---
281.70	#353	1151.1	---	-2572.6	---
<i>Maximum BM</i>					
<b>138.37</b>				<b>2661586.5</b>	---
<i>Maximum SF</i>					
<b>206.68</b>		<b>-36979.2</b>	---		

Damage Case Summary Table

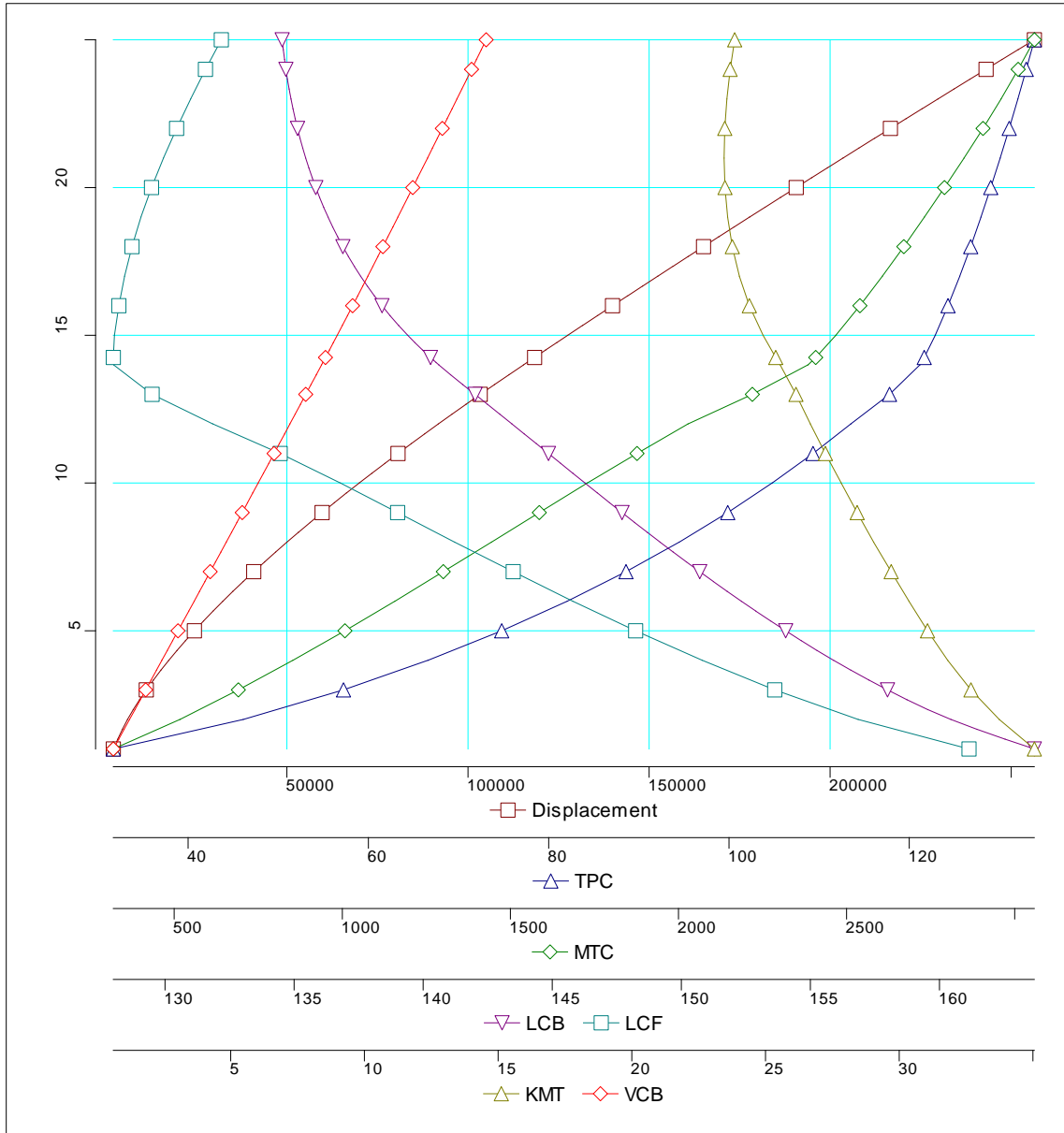
Case	Displ. (t)	Draft AP (m)	Draft FP (m)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Range (degs)	Max GZ (m)	Heel (degs)	Area (m-rads)	Openings	Pass?



SECTIONAL AREA CURVES



CROSS CURVES



HYDROSTATIC CURVES