



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων μεταφορών

**Διερεύνηση ενός καινοτόμου δεξαμενόπλοιου VLCC με μηδενικό έρμα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΜΠΟΥΦΕΑ**

**Επιβλέπων:** Απόστολος Παπανικολάου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

## Ευχαριστίες

*Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Α.Παπανικολάου, καθώς και τον κ.Παπατζανάκη για την συνεργασία που είχα μαζί τους και την πολύτιμη βοήθειά τους όλο το διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.*

*Στο σημείο αυτό, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην γυναίκα της ζωής μου Πένυ, για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση της όλα τα χρόνια των σπουδών μου.*

*Επίσης, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ολόψυχη βοήθεια και με όλα τα μέσα υποστήριξή τους, τόσο στα χρόνια των σπουδών μου, όσο και από τα πρώιμα παιδικά μου χρόνια.*

*Αφιερώνεται στην Πένυ μου...*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b> .....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC</b>	
1.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC .....	12
1.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC .....	14
1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ TRIALITY</b>	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ .....	18
2.2 ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ TRIALITY .....	19
2.2.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ .....	19
2.2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ .....	23
<b>ΚΑΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Η ΙΔΕΑ ΕΝΟΣ VLCC ΧΩΡΙΣ ΕΡΜΑ</b>	
3.1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΡΜΑΤΟΣ .....	27
3.2 ΝΕΑ ΜΟΡΦΗ ΓΑΣΤΡΑΣ .....	28
3.3 ΝΕΑ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ .....	29
3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΕΡΜΑΤΟΣ .....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ</b>	
4.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....	32
4.2 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (LOADING CONDITIONS) .....	32
4.3 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΥΜΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	38
4.3.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΣΗΣ ΤΗΣ MARPOL 73/78 .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΩΡΗΣ</b>	
5.1 ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗ ΤΗΣ ΠΛΩΡΗΣ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΕΝΟΣ PRODUCT TANKER.....	41
5.1.1 ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗ ΤΟΥ TRIALITY VLCC.....	42
5.1.2 ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗ ΕΝΟΣ PRODUCT TANKER 45.000 DWT .....	43
5.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	44

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΤΗΡΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC .....	60
6.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	60
6.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ HOLTROP MENNEN .....	61
6.1.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	69
6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΕΛΙΚΩΝ ΤΟΥ TRIALITY .....	70
6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΚΥΡΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ .....	77
6.3.1 ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ (LNG) ΩΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ .....	77
6.3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	78
6.3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΡΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ .....	79
6.3.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	85

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ VLCC “TRIALITY”**

7.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΤΟΥ TRIALITY .....	89
7.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ .....	91
7.3 ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ .....	94
7.4 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ LNG ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	97
7.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (EEDL) .....	98

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ ΤΟΥ TRIALITY**

8.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗΣ ΡΟΠΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ .....	103
8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ TRIALITY .....	105
8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ .....	113
8.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ .....	118

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>: ΚΟΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ TRIALITY**

9.1 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	122
9.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC .....	131
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	139
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b> .....	150
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b> .....	194

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</b> .....	206
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ</b> .....	230
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε</b> .....	233
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	244

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **Ναυτιλία: Ανάγκη Για Πιο Οικολογικές Λύσεις Και Σχεδιάσεις**

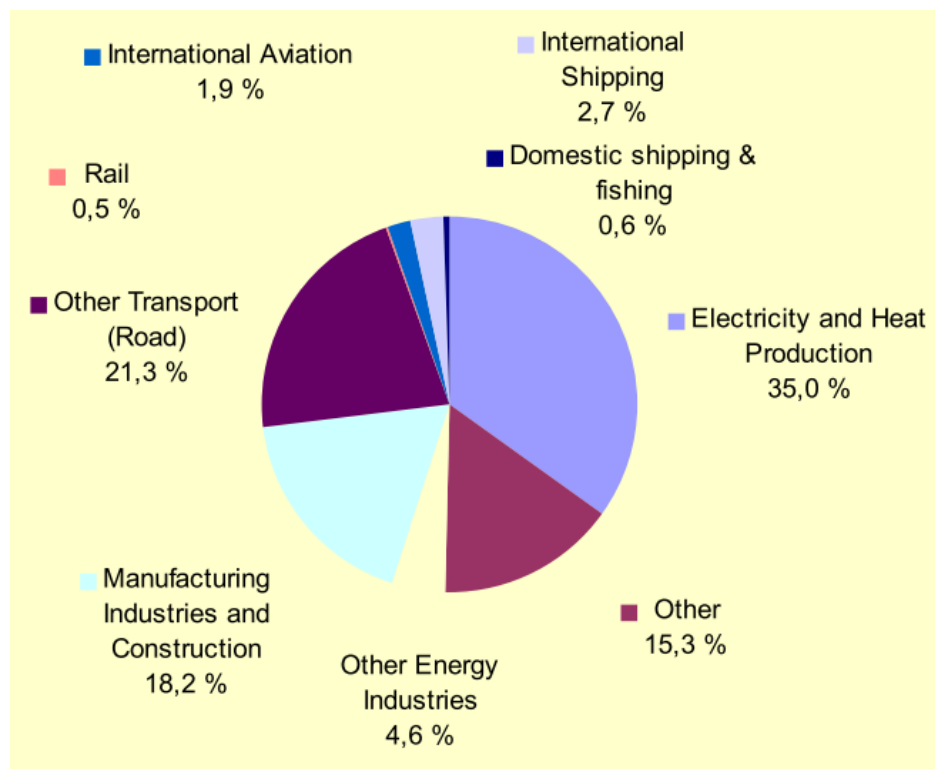
Σήμερα, ολοένα και περισσότερο, γίνεται επιτακτική η σχεδίαση και κατασκευή πιο ενεργειακά αποδοτικών πλοίων με βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση, εξαιτίας της μεγάλης εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο και της συνεπαγόμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αν και η μεταφορά φορτίου δια θαλάσσης αποτελεί τον πιο οικολογικό και ενεργειακά αποδοτικό τρόπο μαζικής μεταφοράς φορτίων, απαιτείται και επιχειρείται σε παγκόσμιο επίπεδο μια προσέγγιση για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και αποτελεσματικότερο έλεγχο εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την σχετική μελέτη του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) το 2009, οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παγκόσμια ναυτιλία το 2007 υπολογίζεται ότι αποτελούν περίπου το 3.3% των παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα καυσαέρια αποτελούν την κύρια πηγή εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό από αυτά.

Σχετικά με τις συνολικές εκπομπές αερίων παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας με τις συνολικές παγκόσμιες εκπομπές αερίων από τα πλοία σύμφωνα με έρευνα του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού το 2009. Η δεύτερη στήλη παριστάνει τις συνολικές εκπομπές αερίων ρύπων από όλα τα είδη πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών των “domestic and fishing vessels”, ενώ η τρίτη στήλη χωρίς τις εκπομπές αυτές.

Η αμέσως μετά τον πίνακα εικόνα αναφέρεται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως από διάφορες πηγές.

	Εκπομπές αερίων από τα πλοία (Mtonnes)	International Shipping Emissions (Mtonnes)
CO <sub>2</sub>	1046	870
NO <sub>x</sub>	25	20
SO <sub>x</sub>	15	12
PM	1.8	1.5

**Πίνακας:** Παγκόσμιες εκπομπές αερίων ρύπων από τα πλοία (2007)



**Εικόνα:** Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από διάφορες πηγές

Υπολογίζεται ότι έως το 2050, οι εκπομπές αερίων από τα πλοία, με απουσία περιβαλλοντικών πολιτικών, θα εκτοξευθούν από 200 έως 300% σε σύγκριση με αυτές του 2007 λόγω της αναμενόμενης αύξησης του θαλάσσιου εμπορίου. Για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έχουν προταθεί διάφορα τεχνικά και λειτουργικά μέτρα σύμφωνα με τον IMO (EEDI, Ship Energy Efficiency Management Plan) τα οποία αν εφαρμοστούν θα

βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πλοίων και θα μειώσουν τις εκπομπές από 25% έως 75% από το τωρινό επίπεδο.

Επίσης, η ναυτιλιακή κοινότητα βρίσκεται κοντά στην κατοχύρωση και εφαρμογή της Διεθνούς Σύμβασης για την διαχείριση του υδάτινου έρματος σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό. Η Διεθνής Σύμβαση για τον Έλεγχο και Διαχείριση του Έρματος των πλοίων και των Ιζημάτων (Water Ballast Management Convention) ασχολείται με το πρόβλημα των υδρόβιων οργανισμών, μικροοργανισμών και παθογόνων παραγόντων που απελευθερώνονται σε μη φυσικό περιβάλλον, αφού μεταφέρονται σε όλο τον κόσμο στα έρματα των πλοίων και μπορούν να επιβιώσουν και να παραγκωνίσουν τα αυτόχθονα είδη, προκαλώντας τεράστια ζημία στο τοπικό οικοσύστημα και στην βιοποικιλότητα. Η Σύμβαση απαιτεί την επεξεργασία και την διαχείριση του υδάτινου έρματος, προκειμένου να εξοντωθούν τέτοια είδη ή μικροοργανισμοί μέσω κατάλληλων συστημάτων. Αυτό, προφανώς, συνεπάγεται και επιπλέον κόστος λόγω της εγκατάστασης και λειτουργίας τέτοιων συστημάτων.

### **Δεξαμενόπλοια Κατηγορίας VLCC Και Οικονομία Κλίμακας**

Τα δεξαμενόπλοια τύπου VLCC (Very Large Crude Carriers), συνήθως, κυμαίνονται από 200000 έως 320000 τόνοι πρόσθετου βάρους (Deadweight) και λόγω της οικονομίας κλίμακας μπορούν να μεταφέρουν πολύ περισσότερο φορτίο ανά kW συγκριτικά με ένα μικρότερο δεξαμενόπλοιο, επομένως είναι και πιο αποδοτικά ενεργειακά πλοία, εξοικονομώντας περισσότερη ενέργεια. Για παράδειγμα, ένα Product Carrier με χωρητικότητα φορτίου 55000 m<sup>3</sup> και 10000 kW εγκατεστημένη ισχύς κύριας μηχανής μπορεί να μεταφέρει 5.5 m<sup>3</sup>/ kW, ενώ ένα δεξαμενόπλοιο VLCC με χωρητικότητα φορτίου 322000 m<sup>3</sup> και 32000 kW εγκατεστημένη ισχύς κύριων μηχανών μπορεί να μεταφέρει 10.1 m<sup>3</sup>/ kW, δηλαδή περίπου διπλάσια χωρητικότητα φορτίου ανά kW.



### Σκοπός Της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική έχει σκοπό την διερεύνηση ενός καινοτόμου και πρωτοποριακού VLCC δεξαμενόπλοιου, ονόματι **TRIALITY**, και την σύγκρισή του με ένα αντίστοιχο συμβατικό κοντινής μεταφορικής ικανότητας. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του TRIALITY έχουν εισαχθεί και αναπτυχθεί από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV). Τα χαρακτηριστικά, οι γραμμές και οι καταστάσεις φόρτωσης του συμβατικού δόθηκαν από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου της Σχολής. Ουσιαστικά, οι κύριοι στόχοι της διερεύνησης είναι κατά πόσο η ιδέα ενός 'Free Ballast VLCC', κινούμενου με LNG, με ελάχιστη ποσότητα έρματος στην κατάσταση ερματισμού και με νέα μορφή γάστρας μπορεί να εφαρμοστεί και κατά πόσο η σχεδίαση ενός τέτοιου πλοίου είναι εφικτή, οικονομικά αποδοτική, ενεργειακά αποδοτικότερη και περιβαλλοντικά φιλικότερη σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβατικό σκάφος.

Επίσης, η ανάπτυξη των νομέων και της μέσης τομής, η διαμερισματοποίηση του πλοίου αυτού με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς και η εξέταση της σφυρόκρουσης του πυθμένα της πλώρης του αποτελούν αντικείμενο της εργασίας αυτής.

Ακόμα, πραγματοποιείται η επιλογή της μηχανολογικής εγκατάστασης και εξετάζονται η πρόωση του πλοίου με LNG και η περιβαλλοντική του επίδοση με βάση τους νέους κανονισμούς συγκριτικά με ένα συμβατικό VLCC, καθώς το ζήτημα των εκπομπών αέριων ρύπων είναι πλέον μείζονος σημασίας.

Το TRIALITY, σύμφωνα με τους σχεδιαστές, έχει ως κυριότερα χαρακτηριστικά τα εξής:

**α)** Δεν μεταφέρει καθόλου έρμα ή μεταφέρει πολύ μικρή ποσότητα έρματος κατά την λειτουργία του στην κατάσταση ερματισμού,

**β)** Έχει ενεργειακά αποδοτικότερη μορφή γάστρας με μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια και χαμηλότερο συντελεστή γάστρας συγκριτικά με ένα συμβατικό VLCC κοντινής μεταφορικής ικανότητας,

**γ)** Διαθέτει γάστρα μορφής V που προσφέρει την δυνατότητα επαρκούς βύθισης της προπέλας και την αποφυγή έντονης σφυρόκρουσης της πλώρης χωρίς την ανάγκη χρήσης μεγάλης ποσότητας έρματος,

δ) Διαθέτει τέσσερις διαμήκεις φρακτές, αντί δύο που έχει ένα συμβατικό VLCC, οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή σε διαμήκη κάμψη, μεγαλύτερη ροπή αντίστασης της μέσης τομής και νέα κατανομή των δεξαμενών φορτίου,

ε) Χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως κύριο καύσιμο και Marine Gas Oil σαν πιλοτικό καύσιμο μέσω δύο κύριων μηχανών διπλού καυσίμου για την πρόωσή του, για την παραγωγή ενέργειας μέσω των ηλεκτρομηχανών και την παραγωγή ατμού αντί του βαρέως πετρελαίου. Επίσης, διαθέτει δύο προπέλες. Επομένως, το TRIALITY είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον με χαμηλότερες εκπομπές αέριων ρύπων και καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια σε σχέση με ένα συμβατικό VLCC.

Οι κύριες διαστάσεις και τα offsets του TRIALITY, καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία πάρθηκαν από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV). Στην συνέχεια, τα offsets εισήχθησαν στο πρόγραμμα *Lines* του AVEVA M12 και δημιουργήθηκε το αρχείο *Lines* με τις γραμμές του TRIALITY. Ακόμα, βρέθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι γραμμές ενός συμβατικού VLCC κοντινής μεταφορικής ικανότητας, προκειμένου να γίνει η σύγκριση με το TRIALITY.

Στην συνέχεια, με την χρήση του προγράμματος *Surface and Compartment* του AVEVA M12 μοντελοποιήθηκε η εσωτερική διαμέριση του πλοίου, ορίστηκαν οι εσωτερικές επιφάνειες και τα διαμερίσματα του πλοίου που καταλαμβάνουν τον όγκο εσωτερικά της γάστρας. Έπειτα, όλες αυτές οι πληροφορίες εισήχθησαν στο πρόγραμμα *Calc* του AVEVA M12, ώστε να πραγματοποιηθούν οι καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου και να ελεγχθούν διάφορα στοιχεία και απαιτήσεις.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναπτύχθηκε η ιδέα του πλοίου χωρίς θαλάσσιο έρμα ή έστω μικρής ποσότητάς του, με γάστρα μορφής V και πραγματοποιήθηκαν οι έλεγχοι σχετικά με τις απαιτήσεις του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η εξέταση σφυρόκρουσης του πυθμένα της πλώρης του TRIALITY στην κατάσταση ερματισμού με ελάχιστη ποσότητα έρματος, όπως προαναφέρθηκε, μέσω του υπολογιστικού προγράμματος AVEVA M12 και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα ενός δεξαμενοπλοίου τύπου Product Tanker, με γάστρα μορφής U, που μεταφέρει σημαντική ποσότητα έρματος στην

κατάσταση ερματισμού. Αυτό γίνεται με σκοπό να δειχθεί ότι ένα πλοίο με την μορφή του TRIALITY, σε σχέση με ένα σκάφος με γάστρα μορφής U, μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστη ποσότητα έρματος στην κατάσταση ερματισμού με ικανοποιητική ικανότητα πλέυσης και χωρίς να δημιουργείται έντονη σφυρόκρουση που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στον πυθμένα της πρόρας του σκάφους, ακόμα και αν δεν καλύπτεται ο κανονισμός της MARPOL για το βύθισμα στο μέσο του σκάφους.

Έπειτα, υπολογίστηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους η αντίσταση τριβής και η ολική αντίσταση του TRIALITY και του συμβατικού VLCC με βάση τις μεθόδους ITTC 1957 και Holtrop-Mennen αντίστοιχα. Έπειτα, ακολούθησε ο υπολογισμός της ισχύος πρόωσης και η εκλογή κύριων μηχανών και ελίκων του TRIALITY. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν η επιλογή της σχετικής μηχανολογικής εγκατάστασης και διάταξης και αναφέρθηκαν και τα πλεονεκτήματα της χρήσης του υδροποιημένου φυσικού αερίου.

Στην επόμενη ενότητα, αναφέρθηκαν οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις και κανονισμοί σύμφωνα με τον IMO για τον έλεγχο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες εκπομπές για συγκεκριμένες καταστάσεις φόρτωσης και ο Επιτευχθείς Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) του TRIALITY και έγιναν οι σχετικοί έλεγχοι.

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν ο υπολογισμός της ροπής αντίστασης της μέσης τομής και η εκλογή κατασκευαστικών στοιχείων της μέσης τομής του TRIALITY και ακολούθησαν οι σχετικοί έλεγχοι αναφορικά με την κάλυψη των απαιτήσεων για την ροπή αδράνειας της μέσης τομής και των μέγιστων επιτρεπτών καμπτικών ροπών. Τέλος, προϋπολογίστηκε ένα μέρος του κόστους κατασκευής του TRIALITY, το κόστος απόκτησης και εκμετάλλευσής του και πραγματοποιήθηκε μια πρόβλεψη του αρχικού κόστους επένδυσης και των ιδιομορφιών του TRIALITY σε σχέση με το συμβατικό VLCC και αν το TRIALITY αποβαίνει πιο κερδοφόρο στον κύκλο ζωής του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ TRIALITY ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ VLCC

#### 1.1 Κύρια Χαρακτηριστικά Του Triality Και Του Συμβατικού VLCC

Τα κύρια χαρακτηριστικά του TRIALITY, εκ των οποίων κάποια δόθηκαν από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα και κάποια άλλα εξήχθησαν από το πρόγραμμα AVEVA M12, παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω. Όλα τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στις καταστάσεις φόρτωσης και στους υδροστατικούς υπολογισμούς στο Παράρτημα Α.

Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Full Load Departure ( $T_{AP}$ )	21.893 m
Βύθισμα στην πωραία κάθετο, Full Load Departure ( $T_{FP}$ )	21.285 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Full Load Departure	21.589 m
Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Water Ballast Departure ( $T_{AP}$ )	8.395 m
Βύθισμα στην πωραία κάθετο, Water Ballast Departure ( $T_{FP}$ )	4.123 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Water Ballast Departure	6.259 m
Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Full Load Arrival ( $T_{AP}$ )	21.316 m
Βύθισμα στην πωραία κάθετο, Full Load Arrival ( $T_{FP}$ )	21.540 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Full Load Arrival	21.428 m
Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Water Ballast Arrival ( $T_{AP}$ )	8.066 m
Βύθισμα στην πωραία κάθετο, Water Ballast Arrival ( $T_{FP}$ )	3.946 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Water Ballast Arrival	6.006 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Full Load Departure	0.608 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Water Ballast Departure	4.272 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Full Load Arrival	0.224 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Water Ballast Arrival	4.120 m
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Full Load Departure	0.605
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Water Ballast Departure	0.297
Συντελεστής μέσης τομής ( $C_M$ ), Full Load Departure	0.738
Συντελεστής μέσης τομής ( $C_M$ ), Water Ballast Departure	0.389
Πρισματικός συντελεστής ( $C_P$ ), Full Load Departure	0.820
Πρισματικός συντελεστής ( $C_P$ ), Water Ballast Departure	0.817
Όγκος χώρων φορτίου ( $V_c$ )	326908 m <sup>3</sup>
Πρόσθετο Βάρος (DWT), πυκνότητα φορτίου ίση με 0.878 t/m <sup>3</sup>	286358 tons
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα σχεδίασης	28058 m <sup>2</sup>
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα ερματισμού	12310 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 1.1:** Κυριότερα χαρακτηριστικά του Triality που εξήχθησαν από το AVEVA

Είδος πλοίου	VLCC
Ολικό μήκος ( $L_{OA}$ )	361 m
Μήκος μεταξύ καθέτων ( $L_{BP}$ )	351 m
Πλάτος (B)	70 m
Κοίλο (D)	27.52 m
Βύθισμα σχεδίασης ( $T_{design}$ )	21.589 m
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	0.60
Βάρος Κενού Σκάφους (Lightship weight)	41600 tons
Υπηρεσιακή ταχύτητα, μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	15 kn
Υπηρεσιακή ταχύτητα, κατάσταση ερματισμού	16.5 kn
Μέγιστη ακτίνα ενέργειας	25000 nm

**Πίνακας 1.2:** Κύρια χαρακτηριστικά του Triality σύμφωνα με το report του DNV

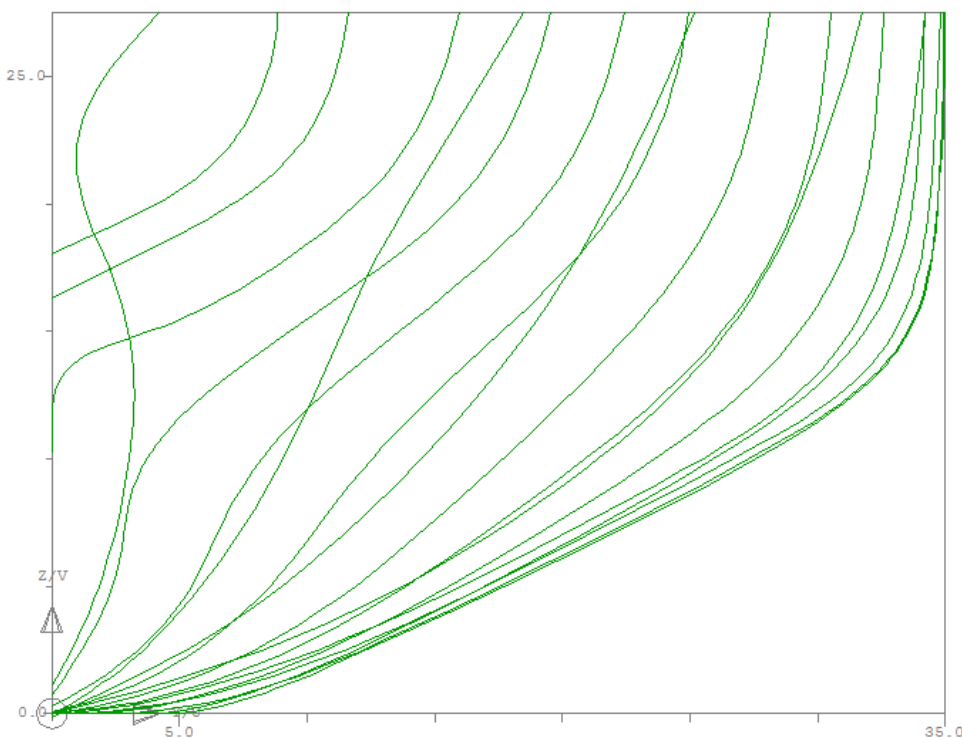
Για την καλύτερη αξιολόγηση της απόδοσης του TRIALITY, επιλέχθηκε ένα συμβατικό VLCC κοντινής μεταφορικής ικανότητας και ίδιας ταχύτητας για την μεταξύ τους σύγκριση. Το συμβατικό VLCC λειτουργεί με καύσιμο βαρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil) για την πρόωσή του και θεωρούμε ότι έχει sea water scrubber για την μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου ( $SO_x$ ), ώστε να μπορεί να εκπληρώσει τις υπάρχουσες αλλά και τις επικείμενες νέες απαιτήσεις σχετικά με τις εκπομπές των  $SO_x$ . Τα κύρια χαρακτηριστικά του συμβατικού VLCC παρατίθενται παρακάτω.

Ολικό μήκος ( $L_{OA}$ )	336.16 m
Μήκος μεταξύ καθέτων ( $L_{BP}$ )	324 m
Πλάτος (B)	60 m
Κοίλο (D)	29.6 m
Βύθισμα σχεδίασης ( $T_{design}$ ), μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	20.50 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, κατάσταση ερματισμού	9.51 m
Έμπρυμη διαγωγή, κατάσταση ερματισμού	3.9 m
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	0.822
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), κατάσταση ερματισμού	0.770
Πρισματικός συντελεστής $C_P$ , μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	0.837
Πρισματικός συντελεστής $C_P$ , κατάσταση ερματισμού	0.801
Όγκος χώρων φορτίου ( $V_c$ )	347099 m <sup>3</sup>
Πρόσθετο Βάρος (DWT)	289391 tons
Υπηρεσιακή ταχύτητα, μέγιστη κατάσταση φόρτωσης	15 kn
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα σχεδίασης	28831 m <sup>2</sup>
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα ερματισμού	20616 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 1.3:** Κύρια χαρακτηριστικά του συμβατικού VLCC

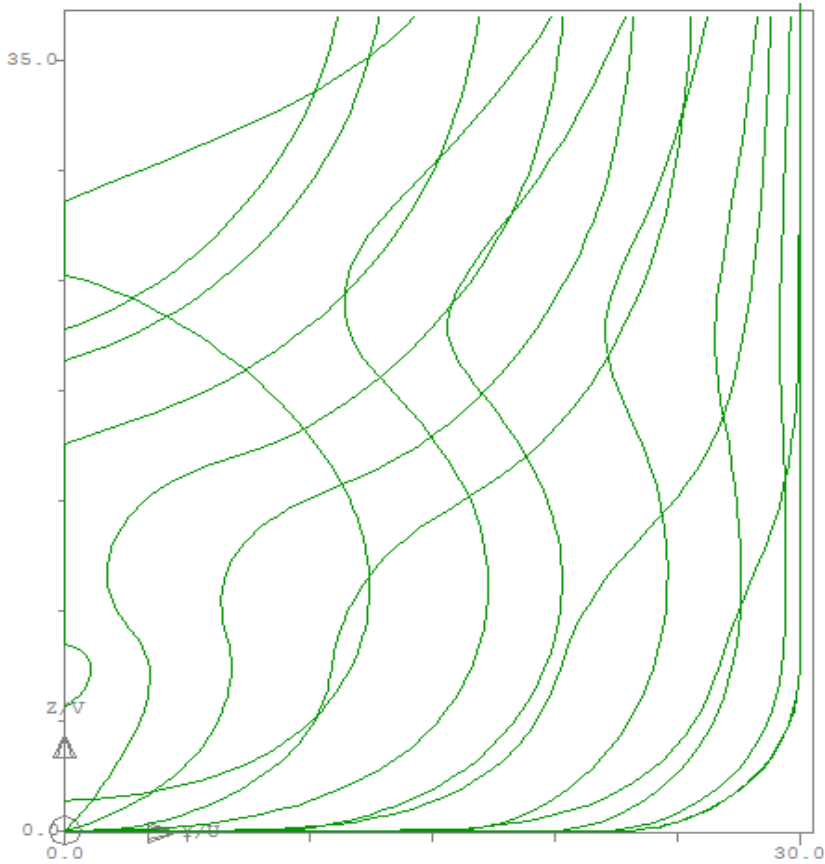
## 1.2 Παρουσίαση Γραμμών Του Triality Και Του Συμβατικού VLCC

Οι νομείς της γάστρας του TRIALITY VLCC παρήχθησαν στο πρόγραμμα AVEVA M12, ύστερα από εισαγωγή των offsets που δόθηκαν από τον DNV. Η μορφή τους, όπως απεικονίζεται παρακάτω, τείνει περισσότερο σε σχήμα V. Η κεντρική ιδέα του TRIALITY, όπως προαναφέρθηκε, είναι ότι χρειάζεται πολύ μικρή ή/και σχεδόν μηδενική ποσότητα έρματος σε κατάσταση ερματισμού σε σύγκριση με ένα συμβατικό VLCC στο οποίο απαιτούνται 80000-100000 τόνοι υδάτινου έρματος στην αντίστοιχη κατάσταση. Προκειμένου να έχει το TRIALITY καλύτερη βύθιση/κατάδυση της προπέλας και της πλώρης, επιλέχθηκε η μορφή της γάστρας να είναι περισσότερο σχήματος V. Αναλυτικότερα στοιχεία αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η μορφή των νομέων του TRIALITY.



**Εικόνα 1.1:** Νομείς του VLCC "Triality"

Οι νομείς του συμβατικού VLCC είναι, όπως συνηθίζεται, μορφής U και απεικονίζονται παρακάτω:



**Εικόνα 1.2:** Νομείς του συμβατικού VLCC

### 1.3 Σύγκριση Σημαντικών Χαρακτηριστικών Του Triality Και Του Συμβατικού VLCC

Για λόγους καλύτερης κατανόησης και για την εκλογή αρχικών συμπερασμάτων, τα πιο σημαντικά στοιχεία-“κλειδιά” των δύο πλοίων παρατίθενται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

	<b>Συμβατικό VLCC</b>	<b>Triality</b>
Ολικό μήκος ( $L_{OA}$ )	336.16 m	361 m
Πλάτος (B)	60 m	70 m
Κοίλο (D)	29.60 m	27.52 m
Βύθισμα σχεδίασης ( $T_{design}$ ), Full Load Departure	20.50 m	21.589 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Water Ballast Departure	9.51 m	6.224 m
Έμπρυμνη διαγωγή, Water Ballast Departure	3.9 m	4.272 m
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Full Load Departure	<b>0.822</b>	<b>0.605</b>
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Water Ballast Departure	<b>0.770</b>	<b>0.297</b>
Όγκος χώρων φορτίου ( $V_c$ )	347099 m <sup>3</sup>	326908 m <sup>3</sup>
Εκτόπισμα ( $\nabla$ ), Full Load Departure	337817 tons	328048 tons
Πρόσθετο Βάρος (DWT)	289391 tons	286358 tons
Lightship (L.S)	47818 tons	41600 tons
Βρεχόμενη επιφάνεια (WSA), Full Load Departure	28831 m <sup>2</sup>	28059 m <sup>2</sup>
Βρεχόμενη επιφάνεια (WSA), Water Ballast Departure	<b>20616 m<sup>2</sup></b>	<b>12310 m<sup>2</sup></b>

**Πίνακας 1.4:** Συγκριτικά χαρακτηριστικά του συμβατικού VLCC και του Triality

Να τονίσουμε ότι το Payload του συμβατικού VLCC είναι υπολογισμένο με πυκνότητα φορτίου ίση με  $0.807 \text{ t/m}^3$ , ενώ του TRIALITY ίση με  $0.878 \text{ t/m}^3$ . Παρατηρούμε ότι ενώ το TRIALITY έχει μεγαλύτερο μήκος και πλάτος, παρουσιάζει μικρότερο βάρος κενού σκάφους (Lightship). Αυτό έχει να κάνει με το υλικό κατασκευής της γάστρας του TRIALITY και ότι το τελευταίο έχει μικρότερο κοίλο. Επαρκέστερα στοιχεία για το Lightship δυστυχώς δεν ήταν διαθέσιμα.

Όπως προειπώθηκε, το TRIALITY είναι μακρύτερο και πλατύτερο από το συμβατικό, αλλά έχει χαμηλότερο συντελεστή γάστρας κατά 26% στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης και 60% στην κατάσταση ερματισμού και μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια κατά 40% στην κατάσταση ερματισμού.



Όσον αφορά τον συνολικό όγκο χώρων φορτίου, αυτός είναι μεγαλύτερος στο συμβατικό VLCC γιατί το τελευταίο είναι σχεδιασμένο να πλέει και σε βύθισμα 22 μέτρα με πυκνότητα φορτίου  $0.903 \text{ t/m}^3$ . Στην περίπτωση που το βύθισμα σχεδίασης του συμβατικού είναι 20.5 μέτρα, το Payload είναι 280000 τόνοι με πυκνότητα φορτίου ίση με  $0.807 \text{ t/m}^3$ .

Ακόμη, είναι γνωστό ότι συνήθως η πιο σημαντική συνιστώσα της ολικής αντίστασης του πλοίου αποτελεί η αντίσταση τριβής. Για δεξαμενόπλοια χαμηλής σχετικά ταχύτητας, η αντίσταση τριβής συνεισφέρει έως και 85% στην ολική αντίσταση. Επίσης, η αντίσταση τριβής είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας και ανάλογη της βρεχόμενης επιφάνεια σύμφωνα με τον τύπο της ITTC (International Towing Tank Conference). Επομένως, πέρα από την μείωση της ταχύτητας, επιδιώκεται και η ελαχιστοποίηση της βρεχόμενης επιφάνειας για την μείωση της αντίστασης τριβής, άρα και ολικής αντίστασης.

Ένα πλοίο με μικρότερη αντίσταση απαιτεί και μικρότερη ώση, επομένως και μικρότερη ιπποδύναμη μηχανής για να κινηθεί. Συνεπώς, το TRIALITY έχοντας μικρότερη αντίσταση τριβής, λόγω μικρότερης βρεχόμενης επιφάνειας σε σχέση με το συμβατικό, απαιτεί και μικρότερη ιπποδύναμη μηχανών και επομένως καταναλώνει λιγότερη ενέργεια, όντας ενεργειακά αποδοτικότερο. Αυτό φυσικά μέλλει να αποδειχθεί. Επίσης, ο μικρότερος συντελεστής γάστρας που διαθέτει το TRIALITY θεωρητικά οδηγεί στην μείωση της αντίστασης μορφής και της αντίστασης δημιουργίας κυματισμών, συμβάλλοντας στην περαιτέρω εξοικονόμησης ενέργειας. Ο αναλυτικός υπολογισμός της ολικής αντίστασης του TRIALITY και του συμβατικού πλοίου αναφέρεται και παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 6.

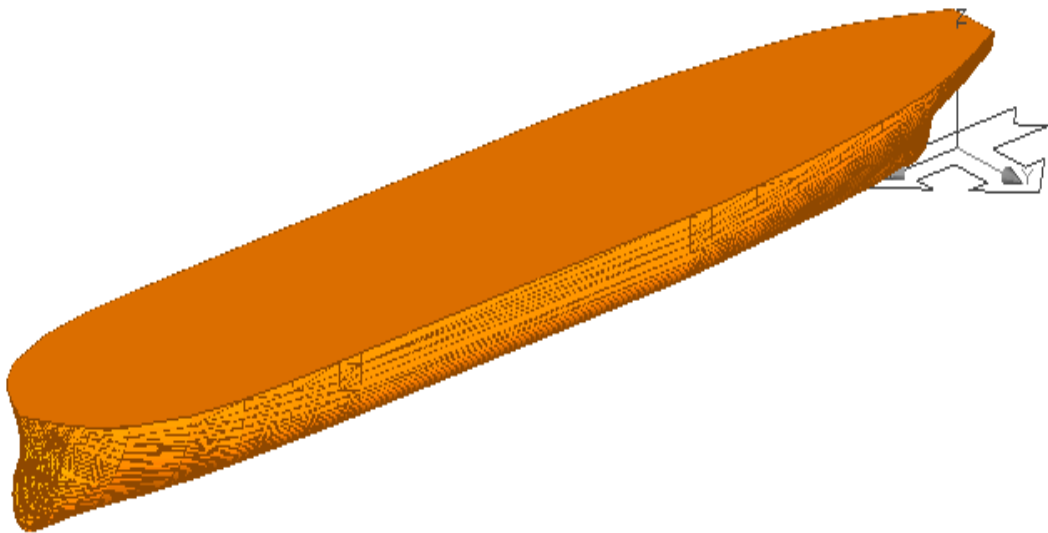
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ TRIALITY

Για την δημιουργία καταστάσεων φόρτωσης και για την εκλογή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, πραγματοποιήθηκε αρχικά η εισαγωγή της επιφάνειας της γάστρας του TRIALITY στο πρόγραμμα *Surface and Compartment* του *AVEVA M12*, ακολούθησε η εσωτερική διαμέριση του πλοίου με την δημιουργία των εσωτερικών επιφανειών και διαμερισμάτων και στην συνέχεια δημιουργήθηκε κατάλληλο αρχείο στο πρόγραμμα *Calc* του *AVEVA M12* με τις καταστάσεις φόρτωσης. Οι υδροστατικοί υπολογισμοί και οι καταστάσεις φόρτωσης παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα Α.

#### 2.1 Εισαγωγή Της Επιφάνειας Της Γάστρας

Η εισαγωγή της επιφάνειας της γάστρας πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα *Surface and Compartment* του *AVEVA M12*. Η επιφάνεια της γάστρας απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 2.1: Επιφάνεια της γάστρας του Triality

## **2.2 Διαμερισματοποίηση Του Triality**

### **2.2.1 Καθορισμός Θέσης Εσωτερικών Επιφανειών**

Η διαμερισματοποίηση του πλοίου TRIALITY έγινε μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *Surface and Compartment* του AVEVA M12, με στόχο την οριοθέτηση και τον καθορισμό των εσωτερικών διαμερισμάτων – στα οποία είναι χωρισμένο το πλοίο – με την τοποθέτηση των διαμήκων και εγκάρσιων στεγανών φρακτών, του διπύθμενου, του διπλού τοιχώματος και των καταστρωμάτων.

#### **Θέσεις εγκάρσιων στεγανών φρακτών**

Η απόσταση  $d$  της προραίας φρακτής σύγκρουσης από την προραία κάθετο, με βάση τον κανονισμό 11 της SOLAS (Chapert II-1, Part B) πρέπει να είναι:

**$\text{Min} \{5\% L, 10 \text{ m}\} \leq d \leq \text{Max} \{8\% L, 5\% L + 3 \text{ m}\}$** , όπου  $L$  είναι το “freeboard length” που ορίζεται ως το 96% του μήκους της ισάλου στο 85% του κοίλου του πλοίου ή το μήκος από την ακμή της πλώρας έως τον άξονα του stock του πηδαλίου στο 85% του κοίλου του πλοίου, όποιο είναι μεγαλύτερο. Στην περίπτωση του TRIALITY ισχύει:

$$0.96 \times L_{WL(0.85D)} = 0.96 \times 357.7 = 343.39 \text{ m},$$

Μήκος από την ακμή της πλώρας έως τον άξονα του stock του πηδαλίου στο 85% του κοίλου = 351.7 m.

Άρα,  **$L = 351.7 \text{ m}$**

Επομένως, για την απόσταση  $d$  της προραίας φρακτής σύγκρουσης από την προραία κάθετο ισχύει:

$$\mathbf{10 \text{ m} \leq d \leq 28.14 \text{ m}}$$

Σε περίπτωση όμως ύπαρξης βολβού η απόσταση αυτή διαφοροποιείται, μετρούμενη από το μέσο του μήκους του βολβού ή από μία απόσταση 1.5% του μήκους του πλοίου πλώραθεν από την προραία κάθετο ή από μία απόσταση 3 m πλώραθεν από την προραία κάθετο όποια από αυτές τις αποστάσεις είναι μικρότερη.

Η μικρότερη από αυτές είναι από το μέσο του μήκους του βολβού, καθώς το 1.5% του μήκους του πλοίου είναι 5.265 m, ενώ το μέσο του μήκους του βολβού απέχει απόσταση 2.324 m από την πρωραία κάθετο.

Συνεπώς, για την απόσταση  $d$  της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης από την πρωραία κάθετο (F.P) ισχύει:  **$7.676 \text{ m} \leq d \leq 25.756 \text{ m}$** .

Τελικά, επιλέγεται  **$d=20.8 \text{ m}$** , με βάση το report του DNV αλλά και με βάση διάφορες δοκιμές που εκτελέστηκαν στο πρόγραμμα *Calc and Hydro* του *AVEVA M12* και έδειξαν ότι σε περίπτωση μικρότερης απόστασης της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης από την πρωραία κάθετο η διαγωγή είναι έμπροση στην Full Load Departure, κάτι που είναι μη αποδεκτό.

Επομένως, η πρωραία εγκάρσια φρακτή σύγκρουσης τοποθετείται στα 330 m από την πρυμναία κάθετο.

Επίσης, τοποθετούνται δύο στεγανές φρακτές εκατέρωθεν του μηχανοστασίου, εκ των οποίων η πρυμναία συμπίπτει με την πρυμναία φρακτή σύγκρουσης. Η πρυμναία φρακτή σύγκρουσης επιλέγεται να τοποθετηθεί στα 20.4 m και η πρωραία στεγανή φρακτή του μηχανοστασίου στα 44.4 m.

Όσον αφορά τον χώρο φορτίου, τοποθετούνται 5 στεγανές εγκάρσιες φρακτές ανά 57.16 m ξεκινώντας από την πρωραία φρακτή του μηχανοστασίου και καταλήγοντας στην πρωραία φρακτή σύγκρουσης. Επομένως, καταλήγουμε στις παρακάτω στεγανές εγκάρσιες φρακτές:

- Πρωραία φρακτή σύγκρουσης : 330.22 m
- Εγκάρσια στεγανή φρακτή No.2 : 273.06 m
- Εγκάρσια στεγανή φρακτή No.3: 215.89 m
- Εγκάρσια στεγανή φρακτή No.4: 158.73 m
- Εγκάρσια στεγανή φρακτή No.5: 101.56 m
- Πρωραία φρακτή μηχανοστασίου:44.40 m
- Πρυμναία φρακτή σύγκρουσης : 20.40 m

### Θέση διπύθμενου

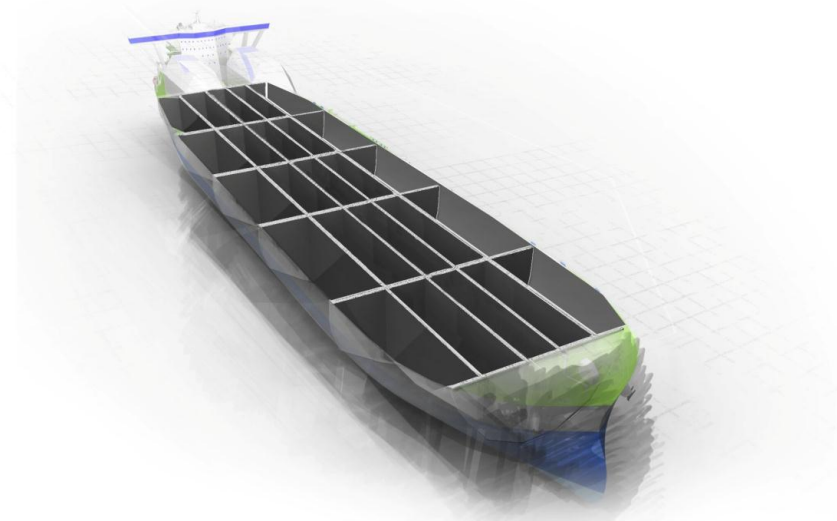
Σύμφωνα με την σύμβαση της MARPOL 73/78 το ύψος του διπύθμενου δεν πρέπει να είναι λιγότερο από το μικρότερο των:

$$h_{DB} = B/15 \text{ (m)} \text{ και } h_{DB} = 2 \text{ m}$$

Για το πλοίο TRIALITY, που έχει πλάτος 70 m, το ελάχιστο επιτρεπόμενο ύψος διπυθμένου είναι 2 m. Ωστόσο, επιλέγεται ύψος διπυθμένου  $h_{DB} = 3 \text{ m}$ , καθώς αυτό αναφέρουν το report και τα στοιχεία του DNV. Πάντως, από την στιγμή που το TRIALITY δεν μεταφέρει καθόλου έρμα στα διπύθμενα, θα μπορούσε το ύψος του διπυθμένου να είναι 2 μέτρα, ώστε να αυξηθεί η μεταφορική ικανότητα του πλοίου.

### Θέσεις διαμήκων στεγανών φρακτών

Καταρχήν, σύμφωνα και με τον DNV, οι δεξαμενές φορτίου του TRIALITY διαιρούνται από τέσσερις διαμήκεις στεγανές φρακτές, αντί από δύο σε σχέση με ένα συμβατικό VLCC. Με τον τρόπο αυτό, οι αναπτυσσόμενες ορθές τάσεις λόγω διαμήκους κάμψης του πλοίου θα είναι χαμηλότερες από ότι θα ήταν αν υπήρχαν μόνο δύο διαμήκεις στεγανές φρακτές, καθώς η ροπή αδράνειας και αντίστασης σε κάθε τομή του πλοίου είναι μεγαλύτερες. Παρακάτω απεικονίζεται η διάταξη των δεξαμενών φορτίου.



Εικόνα 2.2: Διάταξη δεξαμενών φορτίου του TRIALITY

Επίσης, με την παραπάνω διάταξη των δεξαμενών επιτυγχάνεται ισορροπία κατά το εγκάρσιο γύρω από την center line για διάφορες εναλλακτικές κατανομές βαρών στις δεξαμενές. Πιο αναλυτικά στοιχεία παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Επιλέγονται, λοιπόν, τέσσερις διαμήκεις στεγανές φρακτές με τις παρακάτω αποστάσεις από την Center Line :

- Διαμήκη στεγανή φρακτή No.1 (Port) : 5.795 m
- Διαμήκη στεγανή φρακτή No.2 (Port): 20.88 m
- Διαμήκη στεγανή φρακτή No.3 (Starboard): - 5.795 m
- Διαμήκη στεγανή φρακτή No.4 (Starboard): - 20.88 m

### **Θέση διπλού τοιχώματος-πλευρικών δεξαμενών**

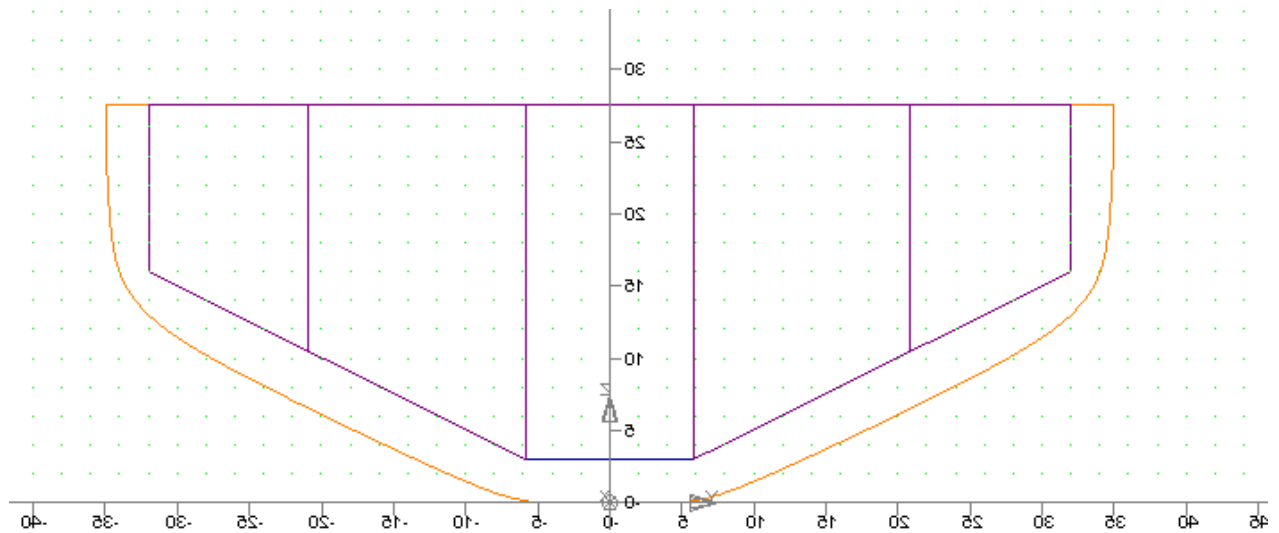
Σύμφωνα με την σύμβαση της MARPOL 73/78 πρέπει να εκτείνονται καθ' όλο το ύψος του βυθίσματος της πλευράς του πλοίου ή από το διπύθμενο μέχρι το ανώτατο κατάστρωμα. Το πλάτος τους  $w$  δεν πρέπει να είναι λιγότερο από το μικρότερο των:

$$w = 0.5 + DWT/20000 \text{ (m)} \text{ και } w = 2 \text{ m}$$

Για το πλοίο TRIALITY, που έχει 286358 τόνους Deadweight, το ελάχιστο επιτρεπόμενο ύψος πλάτος πλευρικών δεξαμενών είναι 2 m. Ωστόσο, εξαιτίας της καμπυλότητας που παρουσιάζει η γάστρα του TRIALITY, το πλάτος  $w$  κυμαίνεται από 2.5 έως 3 μέτρα σε κάποια σημεία, σύμφωνα με το report του DNV.

Πάντως, από την στιγμή που το TRIALITY δεν μεταφέρει καθόλου έρμα στις πλευρικές δεξαμενές, θα μπορούσε το πλάτος του να είναι στα 2 μέτρα, ώστε να αυξηθεί η μεταφορική ικανότητα του πλοίου.

Οι διαμήκεις φρακτές, το διπύθμενο και το διπλό τοίχωμα φαίνονται παρακάτω, όπως δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα *Surface and Compartment* του AVEVA M12.

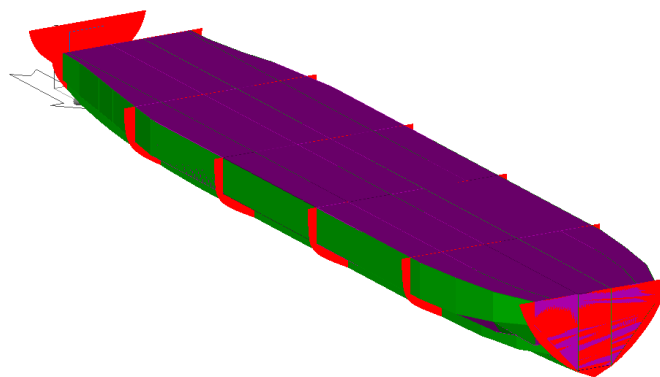


**Εικόνα 2.3:** Μέση τομή με τις διαμήκεις φρακτές, το διπύθμενο και τα πλευρικά τοιχώματα

## 2.2.2 Καθορισμός Θέσης Διαμερισμάτων

### Δεξαμενές φορτίου

Το TRIALITY διαθέτει 25 δεξαμενές φορτίου, που εκτείνονται από την προραία φρακτή μηχανοστασίου έως την προραία φρακτής σύγκρουσης ανά εγκάρσια στεγανή φρακτή και έχουν μήκος 57.16 m η κάθε μία. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται με μωβ χρώμα οι δεξαμενές φορτίου, με κόκκινο οι εγκάρσιες φρακτές και με πράσινο οι διαμήκεις φρακτές.



**Εικόνα 2.4:** Δεξαμενές φορτίου, εγκάρσιες και διαμήκεις στεγανές φρακτές

### Δεξαμενές Θαλάσσιου Έρματος

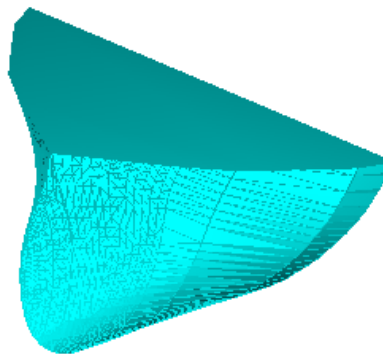
Το θαλάσσιο έρμα, θεωρητικά, τοποθετείται κυρίως στις πλευρικές δεξαμενές του πλοίου ανάμεσα στα εξωτερικά τοιχώματα του πλοίου και τα τοιχώματα των κυτών φορτίου. Επιπρόσθετα, δεξαμενές θαλάσσιου έρματος τοποθετούνται στα διπύθμενα. Τέλος, υπάρχει η πρυμναία δεξαμενή έρματος καθώς επίσης και η αντίστοιχη προραία (πρώραθεν της προραίας φρακτής σύγκρουσης). Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του TRIALITY είναι η χρήση πολύ μικρής ποσότητας έρματος, κάτι που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Συνοπτικά, θαλάσσιο έρμα τοποθετήθηκε μόνο στην πρυμναία δεξαμενή έρματος ή στην αντίστοιχη προραία (πρώραθεν της προραίας φρακτής σύγκρουσης), ανάλογα την κατάσταση φόρτωσης.

Compartment ID	Compartment Name	Volume (m <sup>3</sup> )	Permeability (%age)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Surface Area (m <sup>2</sup> )	Aft	Forward	Lower	Upper
FORE PEAK	FORE PEAK	8758.87	98.000	338.365	0.000	13.589	2807.72	T1	*	*	[22.000]

Compartment ID	Starboard	Port
FORE PEAK	*	*

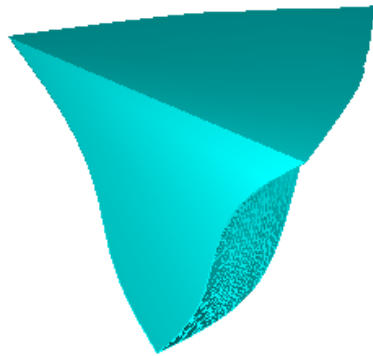


**Εικόνα 2.5:** Προραία δεξαμενή έρματος (Fore Peak Tank)



Compartment ID	Compartment Name	Volume (m <sup>3</sup> )	Permeability (%age)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Surface Area (m <sup>2</sup> )	Aft	Forward	Lower	Upper
AFT PEAK	AFT PEAK	788.51	98.000	16.454	0.000	10.807	734.44	*	T7	*	[15.000]

Compartment ID	Starboard	Port
AFT PEAK	*	*



**Εικόνα 2.6:** Πρυμναία δεξαμενή έρματος (Aft Peak Tank)

### Δεξαμενές Marine Gas Oil

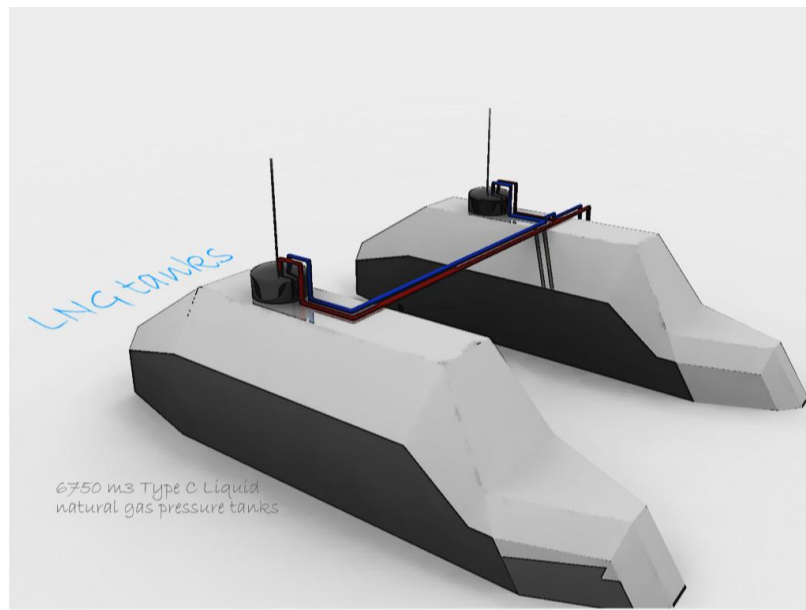
Το Marine Gas Oil χρησιμοποιείται ως πιλοτικό καύσιμο, καθώς σε χαμηλά φορτία οι μηχανές διπλού καυσίμου, που επιλέγονται για το TRIALITY, δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλά φορτία. Αναλυτικά στοιχεία για την επιλογή καυσίμων και μηχανών αναφέρονται σε επόμενα κεφάλαια.

### Δεξαμενές φρέσκου νερού

Οι δεξαμενές αυτές βρίσκονται πρύμα του μηχανοστασίου και της πρυμναία φρακτής σύγκρουσης. Αναλυτικά στοιχεία για το βάρος τους αναφέρονται στις καταστάσεις φόρτωσης, σύμφωνα με το report του DNV.

### Δεξαμενές Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG)

Το κύριο καύσιμο με το οποίο λειτουργεί το TRIALITY είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο και οι δεξαμενές του, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, είναι στο κατάστρωμα, πλώρα από το μηχανοστάσιο, σύμφωνα με το report του DNV, και φαίνονται παρακάτω.



**Εικόνα 2.7:** Δεξαμενές καυσίμου LNG

### Μηχανοστάσιο

Το μηχανοστάσιο έχει μήκος 24 m και εκτείνεται από τα 20.4 m έως τα 44.4 m από την πρυμναία κάθετο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### Η ΙΔΕΑ ΕΝΟΣ VLCC ΧΩΡΙΣ ΕΡΜΑ

#### 3.1 Η Ανάγκη Και Οι Συνέπειες Της Χρήσης Έρματος

Είναι γνωστό ότι τα πλοία χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό ως έρμα, τόσο κατά την πλεύση σε άφορτη κατάσταση, όσο και κατά την φόρτωση και εκφόρτωση στα λιμάνια.

Στην πρώτη περίπτωση, κατά την πλεύση σε άφορτη κατάσταση, το έρμα απαιτείται για την πλήρη βύθιση της έλικας αλλά και την επαρκή βύθιση της πλώρης, προκειμένου να αποφεύγεται η έντονη σφυρόκρουσή της. Το έρμα τοποθετείται στο πλευρικό τοίχωμα και στο διπύθμενο και κατανέμεται κατά μήκος του πλοίου έτσι ώστε να μην αναπτύσσονται πολύ υψηλές καμπτικές ροπές κατά την διαμήκη κάμψη του πλοίου.

Στην δεύτερη περίπτωση, το έρμα χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τις διαμήκεις καμπτικές ροπές που προκύπτουν από φόρτωση και εκφόρτωση μιας ή παραπάνω δεξαμενών κάποια χρονική στιγμή και που μπορεί να προκαλέσουν έντονη εγκάρσια κλίση.

Ιδιαίτερα για ένα VLCC, το υδάτινο έρμα αποτελεί το 60-80% του εκτοπίσματός του στην άφορτη κατάσταση. Η απαιτούμενη ποσότητα υδάτινου έρματος για τέτοιας κατηγορίας πλοία, συνήθως, κυμαίνεται από 80000 έως 100000 τόνους.

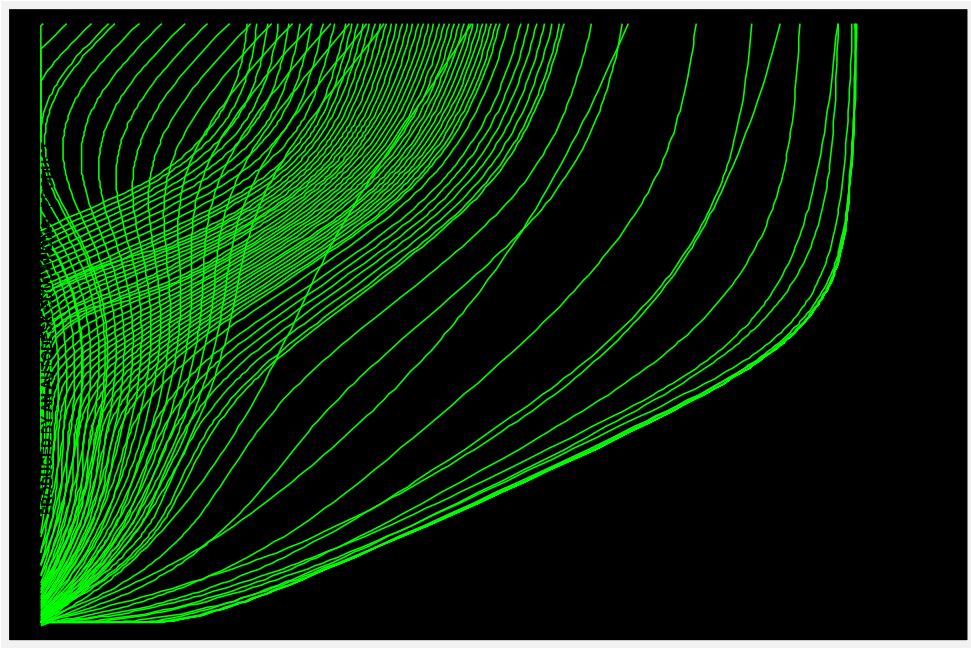
Η χρήση έρματος επιφέρει δύο κύρια ανεπιθύμητα αποτελέσματα:

**α)** Το υδάτινο έρμα, που είναι ουσιαστικά θαλασσινό νερό, εμπεριέχει οργανισμούς που μπορούν να βλάψουν το θαλάσσιο περιβάλλον όταν απελευθερωθούν σε ξένα οικοσυστήματα. Για τον λόγο αυτό, η Διεθνής Σύμβαση του IMO για τον Έλεγχο και την Διαχείριση του Έρματος των πλοίων και των Ιζημάτων έγινε υποχρεωτική για τα πλοία. Όμως, η διαχείριση του υδάτινου έρματος στα πλοία απαιτεί την εγκατάσταση ενός ακριβού ειδικού συστήματος που αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου όταν λειτουργεί.

β) Η μεταφορά όλης αυτής της ποσότητας υδάτινου έρματος απαιτεί επιπλέον καύσιμο, επομένως αυξάνεται το κόστος λειτουργίας του πλοίου λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης καυσίμου.

### **3.2 Νέα Μορφή Γάστρας**

Για την δημιουργία ενός VLCC, το οποίο δεν χρησιμοποιεί καθόλου έρμα ή χρησιμοποιεί πολύ μικρή ποσότητα έρματος, απαιτούνται κάποιες δραστικές αλλαγές στην μορφή της γάστρας του. Ένα συμβατικό VLCC στην άφορτη κατάσταση πλέει σε ένα βύθισμα περίπου τριών έως τεσσάρων μέτρων χωρίς έρμα, με την έλικα και την πλώρη του σχεδόν έξω από το νερό. Για την καλύτερη βύθισή τους απαιτείται σχήμα γάστρας που είναι περισσότερο V. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται και η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου με αποτέλεσμα την μικρότερη αντίσταση τριβής και την συνεπαγόμενη μικρότερη απαιτούμενη ιπποδύναμη, κάνοντας το πλοίο ενεργειακά πιο αποδοτικό. Η μορφή των νομέων του TRIALITY έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά απεικονίζονται ξανά στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 3.1:** Μορφή των νομέων του TRIALITY

### **3.3 Νέα Διάταξη Δεξαμενών**

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, το πλοίο TRIALITY διαθέτει τέσσερις διαμήκεις στεγανές φρακτές, αντί δύο που έχει ένα συμβατικό VLCC, με αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής αδράνειας και αντίστασης των τομών του πλοίου και τις μικρότερες καταπονήσεις τους λόγω διαμήκους κάμψης του πλοίου, χωρίς απαραίτητα να χρειάζεται η χρήση έρματος για την αντιστάθμιση των αναπτυσσόμενων καμπτικών ροπών κατά την φόρτωση ή εκφόρτωση μιας ή παραπάνω δεξαμενών φορτίου.

Επίσης, με την προαναφερθείσα διάταξη των δεξαμενών επιτυγχάνεται ισορροπία κατά το εγκάρσιο γύρω από την center line για διάφορες εναλλακτικές κατανομές βαρών στις δεξαμενές. Ισορροπία ροπών δεν επιτυγχάνεται μόνο όταν οι συμμετρικές δεξαμενές ίδιου τύπου και στις δύο πλευρές, όπως δεξαμενές τύπου “wing”, “mid”, “mid/wing”, φορτώνονται με το ίδιο ποσοστό (όταν έχουν την ίδια χωρητικότητα), αλλά και όταν μια δεξαμενή τύπου “wing” στην μια πλευρά φορτώνεται ταυτόχρονα με μια άλλη δεξαμενή τύπου “mid/wing” στην άλλη πλευρά. Έτσι, με τις τέσσερις διαμήκεις φρακτές και επομένως 5 δεξαμενών φορτίου κατά το εγκάρσιο εξαλείφεται το πρόβλημα της εγκάρσιας κλίσης κατά την φόρτωση και εκφόρτωση του πλοίου ακολουθώντας συγκεκριμένες κατανομές στις δεξαμενές. Ακόμα, με αυτή την διάταξη επιτρέπεται η χωριστή φόρτωση και εκφόρτωση τριών διαφορετικών φορτίων ως προς το ειδικό βάρος τους και τον κατάλληλο διαχωρισμό τους μέσω των στεγανών φρακτών, προσφέροντας μια ευελιξία στην λειτουργικότητα του πλοίου.

Επιπλέον, οι διαμήκεις στεγανές φρακτές στο TRIALITY περιορίζουν περισσότερο τυχόν διαρροή φορτίου σε περίπτωση ατυχήματος. Έτσι, ο κανονισμός του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για την ελάχιστη απόσταση των εγκαρσίων στεγανών φρακτών θα μπορούσε να μην εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο για το TRIALITY που έχει τέσσερις διαμήκεις φρακτές σε σχέση με το συμβατικό VLCC που έχει δύο διαμήκεις φρακτές, καθώς η ευστάθεια κατόπιν βλάβης είναι πιο επαρκής. Το μειονέκτημα του επιπλέον κόστους εξαιτίας των δύο παραπάνω διαμήκων στεγανών φρακτών, μπορεί να αντισταθμιστεί με χρήση υλικού μεμβράνης για τις δύο επιπλέον διαμήκεις φρακτές, οι οποίες θα συμβάλλουν μόνο στον διαχωρισμό του φορτίου, σύμφωνα με τον DNV. Επίσης, οι επιπλέον φρακτές μπορούν να

προσδώσουν μεγαλύτερο βύθισμα στην άφορτη κατάσταση, λειτουργώντας σαν μόνιμο έρμα κατά κάποιον τρόπο

Συμπερασματικά, με τις παραπάνω τροποποιήσεις, σχετικά με την μορφή της γάστρας και της διάταξης των κυτών φορτίου, μπορεί να αποφευχθεί η μεγάλη χρήση υδάτινου έρματος. Κατά συνέπεια, μπορεί να αποφευχθεί η επιπλέον αύξηση του κόστους λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους εγκατάστασης συστήματος διαχείρισης έρματος, καθώς αυτό θα είναι πολύ μειωμένο σε σχέση ένα συμβατικό VLCC. Για την απόδειξη της ικανότητας του πλοίου να πλέει σε άφορτη κατάσταση με πολύ μικρή ποσότητα έρματος και με την προαναφερθείσα διάταξη των δεξαμενών φορτίου και για την εκλογή συμπερασμάτων, πραγματοποιήθηκε, μετά την διαμερισματοποίηση, η δημιουργία κατάλληλου αρχείου και η φόρτωση του πλοίου στο πρόγραμμα *Calc and Hydro* του *AVEVA M12* σε διάφορες καταστάσεις.

### **3.4 Σύστημα Θαλάσσιου Έρματος**

Όπως θα αποδειχθεί σε επόμενο κεφάλαιο, η μέγιστη ποσότητα έρματος που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς των καταστάσεων φόρτωσης είναι 2000 τόνοι, όπως αναφέρει το report του DNV. Είναι δυνατόν να μη χρησιμοποιηθεί καθόλου έρμα, αλλά η έμπρυσμη διαγωγή θα γίνει ακόμα μεγαλύτερη, ξεπερνώντας τα 5 μέτρα, δυσχεραίνοντας έτσι την ικανότητα πλεύσης του πλοίου. Οι επιλογές που μπορούμε να έχουμε για το σύστημα έρματος είναι:

#### **1) Σύστημα τύπου “flow-through”**

Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως στις καταστάσεις ερματισμού, όπου τουλάχιστον μια **σωλήνωση**, που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο πλεύσης, εγκαθίσταται και εκτείνεται διαμήκως από την πλώρη προς την πρύμνη του πλοίου και στα δύο άκρα υπάρχουν βαλβίδες εισαγωγής (πλώρη) και εξαγωγής (πρύμνη) από όπου πραγματοποιείται η εισροή και εκροή του νερού. Κατά την λειτουργία και πλεύση του σκάφους, λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ της πλώρης και πρύμνης του πλοίου, το νερό εισέρχεται στην γάστρα του πλοίου, με αποτέλεσμα την αύξηση του βυθίσματός του για το επιθυμητό διάστημα και στη συνέχεια εξέρχεται ανά

τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης, απαιτείται και τουλάχιστον μια αντλία, που αδειάζει το νερό, όταν οι βαλβίδες είναι στην κλειστή θέση. Ουσιαστικά, με το σύστημα αυτό, μειώνεται η άντωση του πλοίου και δεν αυξάνεται το βάρος του, επιτρέποντας στο σκάφος να αποκτήσει το επιθυμητό βύθισμα. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος, είναι ότι το πλοίο μπορεί να αποκτήσει το επιθυμητό βύθισμα, μέσω της ροής “τοπικού νερού” σε κάθε στιγμή της διαδρομής του, μη επιτρέποντας την μεταφορά ξένων μικροοργανισμών σε διαφορετικά τοπικά οικοσυστήματα.

## **2) Έρμα στα διπλά τοιχώματα**

Είναι η πλέον συνηθισμένη επιλογή εγκατάστασης έρματος στα πλοία. Εδώ, όπως είναι ήδη γνωστό, το θαλάσσιο έρμα τοποθετείται στα διπύθμενα και μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας και του εσωτερικού πλευρικού τοιχώματος. Λόγω της πολύ μικρής μεταφερόμενης ποσότητας έρματος στο TRIALITY, απαιτείται ένα μικρής κλίμακας και χωρητικότητας σύστημα διαχείρισης έρματος, με πολύ απλούστερη και οικονομικότερη λειτουργία σε σχέση με ένα συμβατικό VLCC, που μεταφέρει πολύ περισσότερο έρμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

#### **4.1 Υδροστατικοί Υπολογισμοί**

Για τους υδροστατικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα *Calc and Hydro* του *AVEVA M12*.

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται αναλυτικά οι βασικοί υδροστατικοί υπολογισμοί. Επίσης, τα βασικά υδροστατικά χαρακτηριστικά έχουν παρουσιαστεί στο πρώτο κεφάλαιο.

#### **4.2 Καταστάσεις Φόρτωσης (Loading Conditions)**

Έχοντας ολοκληρώσει την διαμερισματοποίηση του πλοίου και έχοντας εισάγει την ιδέα χρήσης μηδαμινής ή/και πολύ μικρής ποσότητας έρματος, έχουμε πλέον καθορισμένες τόσο τις θέσεις, όσο και τις ποσότητες των διαφόρων ομάδων βαρών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η φόρτωση του πλοίου και η δημιουργία καταστάσεων φόρτωσης μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού *Calc and Hydro* του *AVEVA M12*. Όλες οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Παρακάτω παρουσιάζονται, μόνο, συνοπτικά. Να τονιστεί, ότι τα διάφορα βάρη στις δεξαμενές παίρνονται κυρίως με βάση τα στοιχεία του Νορβηγικού Νηογνώμονα και οι τυχόν διαφοροποιήσεις επισημαίνονται. Επομένως, έχουμε:

#### **Full Load Departure Condition**

Από το σχετικό report του DNV, το TRIALITY μεταφέρει στην κατάσταση αυτή πολύ μικρή ποσότητα έρματος. Γενικά, όμως, στην κατάσταση αυτή δεν συνηθίζεται να προσθέτουμε θαλάσσιο έρμα στα πλοία για να μην χάνεται χώρος φορτίου, αλλά και επειδή δεν υπάρχει ούτε λόγος ευστάθειας ούτε λόγος για ανάδυση της έλικας αφού το βύθισμα είναι αρκετά μεγάλο.

Αρχικά, λοιπόν, θεωρήσαμε δύο καταστάσεις φόρτωσης, η μία με υδάτινο έρμα και η άλλη με καθόλου υδάτινο έρμα.



Τα κύρια χαρακτηριστικά της πρώτης κατάσταση, με υδάτινο έρμα στην Full Load Departure, παρουσιάζονται συνοπτικά στην επόμενη σελίδα.

### Intact State

Title	Weight	LCG	TCG	VCG
	(t)	(m)	(m)	(m)
WATER BALLAST	531.0	338.49	0.00	2.77
FRESH WATER	600.2	17.90	0.00	19.90
LUB OIL	259.9	42.38	0.00	19.96
CARGO	280844.4	189.60	-0.03	17.25
SEWAGE	50.0	42.89	0.00	2.02
MGO	763.0	50.00	0.00	20.00
LNG FUEL	3400.0	50.00	0.00	35.00
<b>LIGHTWEIGHT</b>	<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>
<b>DEADWEIGHT</b>	<b>286448.0</b>	<b>187.33</b>	<b>-0.03</b>	<b>17.45</b>
<b>DISPLACEMENT</b>	<b>328048.0</b>	<b>184.39</b>	<b>-0.03</b>	<b>16.96</b>

### Βυθίσματα

Draft at LCF	21.586	metres
Draft at AP	21.724	metres
Draft at FP	21.454	metres
<b>Mean draft at midships</b>	<b>21.589</b>	<b>metres</b>

### Διαγωγή-Εγκάρσια κλίση

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
<b>Heel to port</b>	<b>0.08</b>	<b>Degrees</b>
<b>Trim by the stern</b>	<b>0.270</b>	<b>Metres</b>

Στο σημείο αυτό, πρέπει να επισημανθεί, ότι το report του Νορβηγικού Νηογνώμονα αναφέρει ότι το έρμα στην Full Load Departure είναι 2000-3000 τόνοι με έμπρυμνη διαγωγή 0.09 m. Με βάση, όμως, τις συνήθεις πρακτικές, όπου σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης δεν τοποθετείται έρμα και είναι επιθυμητή μια μικρή έμπρυμνη διαγωγή, τροποποιήσαμε την ποσότητα έρματος γύρω στους 530 τόνους με την επιτευχθείσα έμπρυμνη διαγωγή να είναι 0.27 m. Τα κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης κατάστασης, χωρίς υδάτινο έρμα στην Full Load Departure, παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

### Intact State

Title	Weight	LCG	TCG	VCG
	(t)	(m)	(m)	(m)
FRESH WATER	600.2	17.90	0.00	19.90
LUB OIL	259.9	42.38	0.00	19.96
CARGO	281285.1	189.26	0.00	17.38
SEWAGE	50	42.89	0.00	2.02
MGO	763	50.00	0.00	20.00
LNG FUEL	3400	50.00	0.00	35.00
<b>LIGHTWEIGHT</b>	<b>41600</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>
<b>DEADWEIGHT</b>	<b>286358</b>	<b>186.72</b>	<b>0.00</b>	<b>17.60</b>
<b>DISPLACEMENT</b>	<b>327958.0</b>	<b>183.86</b>	<b>0.00</b>	<b>17.09</b>

### Βυθίσματα

Draft at LCF	21.582	Metres
Draft at AP	21.893	Metres
Draft at FP	21.285	Metres
<b>Mean draft at midships</b>	<b>21.589</b>	<b>Metres</b>

### Διαγωγή-Εγκάρσια κλίση

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
<b>Heel to port</b>	<b>No heel</b>	
<b>Trim by the stern</b>	<b>0.608</b>	<b>Metres</b>

Συμπερασματικά, είναι πιο αποδοτικό να θεωρήσουμε την δεύτερη κατάσταση ως την Full Load Departure, καθώς μεταφέρονται επιπλέον 441 τόνοι φορτίου στην περίπτωση χωρίς υδάτινο έρμα και παράλληλα η διαγωγή είναι μόνο κατά 0.185 μέτρα πιο έμπρυσμη, γεγονός που σε ένα VLCC είναι αποδεκτό.

### Full Load Arrival Condition

Σε αυτή την κατάσταση, θεωρούμε ότι το πλοίο διαθέτει το 10% των αναλωσίμων που έχει στην Full Load Departure.

### Intact State

Title	Weight	LCG	TCG	VCG
	(t)	(m)	(m)	(m)
WATER BALLAST	1215.8	37.93	0.00	7.25
FRESH WATER	61.2	17.90	0.00	15.50
LUB OIL	26.0	42.38	0.00	18.20
CARGO	281285.1	189.26	0.00	17.38
SEWAGE	50.0	42.89	0.00	2.02
MGO	77.0	50.00	0.00	20.00
LNG FUEL	340.0	50.00	0.00	35.00
<b>LIGHTWEIGHT</b>	<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>
<b>DEADWEIGHT</b>	<b>283054.9</b>	<b>188.33</b>	<b>0.00</b>	<b>17.36</b>
<b>DISPLACEMENT</b>	<b>324654.9</b>	<b>185.23</b>	<b>0.00</b>	<b>16.88</b>

### Βυθίσματα

Draft at LCF	21.431	metres
Draft at AP	21.316	metres
Draft at FP	21.540	metres
<b>Mean draft at midships</b>	<b>21.428</b>	<b>metres</b>

**Διαγωγή-Εγκάρσια κλίση**

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel to port	No heel	Degrees
Trim by the bow	0.224	Metres

**Water Ballast Departure Condition**

Title	Weight	LCG	TCG	VCG
	(t)	(m)	(m)	(m)
WATER BALLAST	2001.6	338.70	0.00	5.70
FRESH WATER	600	17.90	0.00	15.50
LUB OIL	130	42.38	0.00	18.98
SEWAGE	50	42.89	0.00	2.02
MGO	381	50.00	0.00	20.00
LNG FUEL	1700	50.00	0.00	35.00
<b>LIGHTWEIGHT</b>	<b>41600</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>
<b>DEADWEIGHT</b>	<b>4863</b>	<b>164.59</b>	<b>0.00</b>	<b>19.13</b>
<b>DISPLACEMENT</b>	<b>46463</b>	<b>164.24</b>	<b>0.00</b>	<b>14.18</b>

**Βυθίσματα**

Draft at LCF	6.226	metres
Draft at AP	8.395	metres
Draft at FP	4.123	metres
<b>Mean draft at midships</b>	<b>6.259</b>	<b>metres</b>

### Διαγωγή-Εγκάρσια κλίση

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel to port	No heel	
Trim by the stern	4.272	Metres

Οι περιορισμοί του IMO για την διαγωγή στην κατάσταση ερματισμού και το βύθισμα στο μέσο του TRIALITY, με  $L = 351.7$  m το "freeboard length", είναι:

$$t \leq 0.015 \times L \rightarrow t \leq 5.276 \text{ m}$$

$$T_m \geq 2 + 0.02 \times L \rightarrow T_m \geq 9.034 \text{ m}$$

### Water Ballast Arrival Condition

	Weight	LCG	TCG	VCG
	(t)	(m)	(m)	(m)
WATER BALLAST	1671.9	185.97	0.00	7.03
FRESH WATER	61.2	17.90	0.00	15.50
LUB OIL	13.3	42.38	0.00	18.10
SEWAGE	50.0	42.89	0.00	2.02
MGO	38.1	50.00	0.00	20.00
LNG FUEL	170.0	50.00	0.00	35.00
<b>LIGHTWEIGHT</b>	<b>41600</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>
<b>DEADWEIGHT</b>	<b>2004.5</b>	<b>162.20</b>	<b>0.00</b>	<b>9.86</b>
<b>DISPLACEMENT</b>	<b>43604.5</b>	<b>164.11</b>	<b>0.00</b>	<b>13.43</b>

### Βυθίσματα

Draft at LCF	5.976	Metres
Draft at AP	8.066	Metres
Draft at FP	3.946	Metres
<b>Mean draft at midships</b>	<b>6.006</b>	<b>Metres</b>

### Διαγωγή-Εγκάρσια κλίση

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
<b>Heel to port</b>	<b>No heel</b>	
<b>Trim by the stern</b>	<b>4.120</b>	<b>metres</b>

Οι περιορισμοί του IMO για την διαγωγή στην κατάσταση ερματισμού και το βύθισμα στο μέσο του TRIALITY, με  $L = 351.7$  m το "freeboard length", είναι:

$$t \leq 0.015 \times L \rightarrow t \leq 5.276 \text{ m}$$

$$T_m \geq 2 + 0.02 \times L \rightarrow T_m \geq 9.034 \text{ m}$$

## 4.3 Έλεγχοι-Συμπεράσματα

### **4.3.1 Απαιτήσεις Της Σύμβασης Της Marpol 73/78**

Οι περιορισμοί της MARPOL για την διαγωγή στην κατάσταση ερματισμού και το βύθισμα στο μέσο των πλοίων, όπως προαναφέρθηκε, είναι:

- 1)  $t \leq 0.015 \times L$ ,
- 2)  $T_m \geq 2 + 0.02 \times L$ , όπου  $L$  το "freeboard length" ή "rule length" του πλοίου που το υπολογίσαμε στην ενότητα 2.2.1, σύμφωνα με την MARPOL (Annex I, Regulation 1(18)).

Όπως παρατηρούμε, ο περιορισμός για την διαγωγή στις καταστάσεις ερματισμού, σύμφωνα με τον IMO, καλύπτεται καθώς η διαγωγή είναι μικρότερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη που είναι 5.276 m για το TRIALITY.

Ο κανονισμός, όμως, για το βύθισμα στο μέσο του πλοίου δεν καλύπτεται σε καμία από τις δύο καταστάσεις ερματισμού, καθώς το μικρότερο μέσο βύθισμα του πλοίου είναι 6.006 m και το ελάχιστο επιτρεπτό μέσο βύθισμα είναι 9.034 m. Ο κανονισμός αυτός, θεωρεί το μέσο βύθισμα ως γραμμική συνάρτηση του μήκους του πλοίου, κάτι που μπορεί να αμφισβητηθεί ως προς την λογική του. Πολλά μεγάλα πλοία τύπου Containerships και Ro-Ro πλέουν στην άφορτη κατάσταση με μικρότερα βυθίσματα από το TRIALITY, ακόμα και σε άσχημο καιρό. Παρ'όλα αυτά, στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση όσον αφορά την σφυρόκρουση της πλώρας του πλοίου με το σχεδιαστικό λογισμικό *Calc and Hydro* του *AVEVA M12*, προκειμένου να προκύψει ένα ποιοτικό, τουλάχιστον, συμπέρασμα σχετικά με την επάρκεια του επιτευχθέντος μέσου βυθίσματος σε κατάσταση ερματισμού.

Επίσης, η έμπρυσμη διαγωγή του TRIALITY στην κατάσταση Full Load Departure είναι ίση με 0.608 m (χωρίς χρήση έρματος) ή 0.27 m (με χρήση 531 τόνων θαλάσσιου νερού ως έρμα).

Ο έλεγχος των κριτηρίων ευστάθειας παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Το μόνο κριτήριο που δεν ικανοποιείται με βάση τον IMO (RES. A749(18)) είναι αυτό που αναφέρει ότι η γωνία στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα GZ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 25 μοίρες. Η γωνία αυτή στην κατάσταση Full Load Departure που τελικά επιλέξαμε (χωρίς υδάτινο έρμα) είναι 23.5 μοίρες και στην αντίστοιχη με υδάτινο έρμα 23.48 m. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι λόγω της μορφής της γάστρας του TRIALITY που τείνει προς σχήμα V, το καθ' ύψος κέντρο βάρους του φορτίου είναι πιο υψηλό από ότι σε συμβατικό VLCC και μαζί με την επίδραση των ελεύθερων επιφανειών στις δεξαμενές φορτίου καθιστά ακόμα υψηλότερο το καθ' ύψος κέντρο βάρους του πλοίου και ξεπερνά το  $KG_{critical}$ , σύμφωνα με τον παραπάνω κανονισμό. Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι οι διαστάσεις του TRIALITY έχουν παρθεί από τα στοιχεία του DNV, τα οποία αναφέρουν ότι το κοίλο του πλοίου είναι στα 27.52 m και το καθ' ύψος κέντρο βάρους του φορτίου είναι στα 15.30 m, το

οποίο δεν συμπίπτει με τα παραπάνω αποτελέσματα. Αν αυτή η μη ικανοποίηση του κανονισμού για την γωνία στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα  $GZ$  δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή από την κλάση, τότε, η λύση είναι να τοποθετήσουμε το διπύθμενο στα 2 m, που είναι το ελάχιστο επιτρεπτό, αντί στα 3 m που έχει επιλεγεί και επίσης να μειώσουμε το κοίλο του πλοίου 27.52 m σε 26.52 m.

Τέλος, πρέπει να επισημάνουμε ότι η πολύ μικρή ποσότητα έρματος που υπολογίστηκε στις καταστάσεις φόρτωσης προέκυψε με κάποια συγκεκριμένα στοιχεία για το βάρος κενού σκάφους (Lightship) σχετικά με το βάρος σε τόνους και το κέντρο βάρους αυτού. Δυστυχώς, δεν έχουμε πιο λεπτομερή στοιχεία για τα κέντρα βαρών του βάρους μεταλλικής κατασκευής, της ενδιάιτησης και εξοπλισμού και της μηχανολογικής εγκατάστασης. Σε περίπτωση ύπαρξης και καλύτερης επεξεργασίας των στοιχείων αυτών, ίσως να μην χρειαζόταν και η πολύ μικρή ποσότητα έρματος των 2000 τόνων θαλασσίου έρματος. Με τα υπάρχοντα στοιχεία, δεν μπορεί να αποφευχθεί τελείως η χρήση πολύ μικρής ποσότητας έρματος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΦΥΡΟΚΡΟΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΩΡΗΣ

#### 5.1 Σφυρόκρουση Της Πλώρης Του Triality Και Ενός Product Tanker

Ως γνωστόν, ένα από τα μη επιθυμητά φαινόμενα που εμφανίζονται σε πλοία είναι η σφυρόκρουση της πλώρης τους, που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ικανότητα πλεύσης τους αλλά και σημαντικές βλάβες στον πυθμένα τους. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές, χρησιμοποιείται υδάτινο έρμα για την επαρκή βύθιση της πλώρης και την κατά το δυνατόν αποφυγή τέτοιων φαινομένων.

Για να έχουμε ‘slamming’ θα πρέπει ταυτόχρονα η σχετική κίνηση σε κάποιο σημείο στην πλώρη να είναι μεγαλύτερη από το βύθισμα του πλοίου σε εκείνο το σημείο και η σχετική ταχύτητα να υπερβαίνει κάποια τιμή που ονομάζεται οριακή ταχύτητα σφυρόκρουσης  $U_{th}$ . Η ταχύτητα αυτή δίνεται κατά Ochi και Motter ως συνάρτηση του μήκους του πλοίου από τις σχέσεις  $U_{th} = 0.093 * (gL)^{0.5}$  ή  $U_{th} = 3.66L_{pp}/158.5$  σε m/sec. Αυτή την ταχύτητα χρησιμοποιεί και το πρόγραμμα *Calc and Hydro* του AVEVA M12.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του TRIALITY VLCC, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί η μη ικανοποίηση της απαίτησης της MARPOL για το βύθισμα στο μέσο του πλοίου σε κατάσταση ερματισμού. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα του TRIALITY σε σχέση με τα συμβατικά VLCC που ικανοποιούν την παραπάνω απαίτηση με χρήση υδάτινου έρματος. Ουσιαστικά, ο κανονισμός της MARPOL θεωρεί το βύθισμα στο μέσο του πλοίου γραμμική συνάρτηση του μήκους του πλοίου, κάτι που μπορεί να αμφισβητηθεί, αφού πολλά εξίσου μεγάλα αλλά και μικρότερα πλοία (όπως επιβατηγά-οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια κ.α) πλέουν σε βυθίσματα 3 έως 4 μέτρων. Επίσης, πλοία που πλέουν με βύθισμα 7-8 μέτρων κινδυνεύουν με ανάδυση της προπέλας, ειδικά σε άσχημες καιρικές συνθήκες, και για τον λόγο αυτό χρειάζονται θαλάσσιο έρμα για να αυξήσουν το εκτόπισμά τους. Για να εξακριβωθούν αυτά πρέπει να γίνει μια πλήρη ‘sea-keeping’ ανάλυση για το TRIALITY. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *Calc and Hydro* του AVEVA M12 διάφοροι υπολογισμοί για την σφυρόκρουση της πλώρης του TRIALITY και ενός συμβατικού Product Tanker σε διάφορους κυματισμούς και αναλύθηκαν τα αποτελέσματά τους,

ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η σχετική τους σύγκριση για να δούμε αν ο υπάρχων κανονισμός αδικεί τελικά ή όχι το TRIALITY.

### 5.1.1 Σφυρόκρουση Του Triality VLCC

Όπως προαναφέρθηκε, έγιναν διάφοροι υπολογισμοί, που αφορούν τον πυθμένα στο νομέα 10 (πλώρη) του πλοίου, για ένα εύρος μήκους κύματος και συχνοτήτων μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος *Calc and Hydro* του *AVEVA M12* και παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα κύρια αποτελέσματα. Η κατάσταση φόρτωσης για την οποία έγιναν οι υπολογισμοί είναι η *Water Ballast Departure*, καθώς το πλοίο δεν καλύπτει τον κανονισμό του IMO για το μέσο βύθισμα του πλοίου στην κατάσταση αυτή.

#### Water Ballast Departure

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως input στο πρόγραμμα είναι:

**Head Waves:** Head=180 degrees

**Wave length:** Wave length/ $L_{BP}$  = 0.1 – 5 με βήμα 0.1

**Heading** = 0 – 180 με βήμα 15 degrees

$L_{BP}$  = 351 m

**Mean Draft** = 6.259 m

$W_{\text{Water Ballast}}$  = 2002 tons

**Trim** = 4.272 m by stern

**LCG** = 164.24 m

**VCG** = 6.2 m

**GM** = 17.22 m

**Significant Wave Height,  $H_s$**  = 3 – 10 m

**Modal Wave Period,  $T_w$**  = 3 – 15 seconds

**Spectrum:** BRETS

**Spreading Function:**  $\cos^2$

**Station** : 10

**Height above base** = 0.0 m

**Ship speed** : 15,16.5 knots

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται τα εξαγόμενα γραφήματα για την σφυρόκρουση του TRIALITY και του Product Tanker. Παρακάτω, αναφέρονται και σχολιάζονται τα κύρια αποτελέσματα και συμπεράσματα.

### 5.1.2 Σφυρόκρουση ενός Product Tanker 45000 DWT

Οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν και για ένα Product Tanker 45000 DWT και αφορούν τον πυθμένα ( $Z=0$ ) στο νομέα 10 (πλώρη) του πλοίου. Η κατάσταση φόρτωσης για την οποία έγιναν οι υπολογισμοί είναι και εδώ η *Water Ballast Departure* και το πλοίο αυτό ικανοποιεί τον κανονισμό του IMO για το μέσο βύθισμα.

#### Water Ballast Departure

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως input στο πρόγραμμα είναι:

**Head Waves:** Head=180 degrees

**Wave length:** Wave length/ $L_{BP}$  = 0.1 – 5 με βήμα 0.1

**Heading** = 0 – 180 με βήμα 15 degrees

$L_{BP}$  = 171.21 m

**Beam** = 31.93 m

**Mean Draught** = 6.142 m

$W_{\text{Water Ballast}}$  = 13507 tons

**Trim** = 0.356 m by stern

**LCG** = 90.31 m

**VCG** = 9.03 m

**GM** = 7.44 m

**Significant Wave Height,  $H_S$**  = 3 – 10 m

**Modal Wave Period,  $T_w = 3 - 15$  seconds**

**Spectrum: BRETTS**

**Spreading Function:  $\cos^2$**

**Ship speed = 15 knots, 16.5 knots**

**Stations = 10**

**Height above base (Z) = 0.00**

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται τα εξαγόμενα γραφήματα με την σφυρόκρουση του Product Tanker και του TRIALITY. Τα παραπάνω στοιχεία πάρθηκαν από το Θέμα και Σχεδίασης Πλοίου. Παρακάτω, αναφέρονται και σχολιάζονται τα κύρια αποτελέσματα και συμπεράσματα.

### **5.1.3 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα**

Καταρχήν, από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για την σφυρόκρουση από το πρόγραμμα *Calc and Hydro AVEVA M12*, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια ποιοτικά συμπεράσματα σχετικά με την δυνατότητα πλεύσης του TRIALITY VLCC σε κατάσταση ερματισμού, καθώς το πλοίο αυτό δεν ικανοποιεί τον κανονισμό για το μέσο βύθισμα, συγκρινόμενο και με ένα συμβατικό Product Tanker που ικανοποιεί αυτό τον κανονισμό. Σύμφωνα με τον **IMO** ισχύουν τα παρακάτω:

<u>Adverse Sea Conditions</u>		
Ship length (m)	Significant wave height $H_S$ (m)	Peak wave period $T_P$ (s)
$L_{PP} < 200$	4	7-15
$200 \leq L_{PP} \leq 250$	Γραμμική παρεμβολή ανάλογα με το μήκος του πλοίου	
$L_{PP} > 200$	5.5	7-15

**Πίνακας 5.1 :** Δυσμενείς συνθήκες θάλασσας σύμφωνα με τον IMO

Το TRIALITY VLCC έχει μήκος μεταξύ καθέτων 351 μέτρα και το Product Tanker 171.2 μέτρα. Επομένως, στο TRIALITY αντιστοιχεί σημαντικό ύψος κύματος σε δυσμενείς συνθήκες 5.5 μέτρα και στο Product Tanker 4 μέτρα αντίστοιχα. Επίσης, πρέπει να τονισθεί ότι τα παρακάτω αποτελέσματα αντιστοιχούν στην κατάσταση ερματισμού των δύο πλοίων, όπου το **TRIALITY VLCC** μεταφέρει **2002 τόνους υδάτινο έρμα** και το **Product Tanker 13507 τόνους αντίστοιχα**.

Τα κύματα που συναντούν τα πλοία διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας των πλοίων. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί σφυρόκρουσης της πλώρης των πλοίων για ένα εύρος σημαντικού ύψους κύματος από 3 έως 10 μέτρα και περιόδου κυμάτων από 3 έως 15 δευτερολέπτων σε ταχύτητες 15 και 16.5 κόμβων.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, είναι σκόπιμο να αναφέρουμε τις καταστάσεις θάλασσας όπου δεν παρουσιάζεται σφυρόκρουση πλώρης για τα πλοία. Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα, η σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης (νομέας 10) του **TRIALITY** είναι **μηδενική** για τις παρακάτω καταστάσεις:

- $H_S = 5.5$  m και  $T_P = 3-15$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 3-5$  m και  $T_P = 3-15$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 3-10$  m και  $T_P = 3-4$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 6-7$  m και  $T_P = 5$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 6$  m και  $T_P = 6$  s, για  $V_S = 10$  knots,
- $H_S = 8$  m και  $T_P = 5$  s, για  $V_S = 10$  knots,

Όσον αφορά το **Product Tanker**, η σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης (νομέας 10) του είναι **μηδενική** για τις παρακάτω καταστάσεις:

- $H_S = 3-4$  m και  $T_P = 4-15$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 5-6$  m και  $T_P = 5-7$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 7-10$  m και  $T_P = 5-6$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 3-10$  m και  $T_P = 4$  s, για  $V_S = 10,15,16.5$  knots,
- $H_S = 5$  m και  $T_P = 15$  s, για  $V_S = 10$  knots,
- $H_S = 7$  m και  $T_P = 7$  s, για  $V_S = 15,16.5$  knots.

Επομένως, παρατηρούμε σε πρώτη φάση ότι:

**α)** Το TRIALITY **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για σημαντικό ύψος κύματος από **3 έως και 5.5** μέτρα και **περίοδο** κύματος από **3 έως 15** δευτερόλεπτα, ενώ το Product Tanker **παρουσιάζει** σφυρόκρουση της πλώρης του για σημαντικό ύψος κύματος **5** μέτρα και **5.5** μέτρα και περιόδους 3,8,9,10,11,12,13,14 δευτερολέπτων και περιόδους 3,4,8,9,10,11,12,13,14,15 δευτερολέπτων αντίστοιχα.

**β)** Το TRIALITY **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για σημαντικό ύψος κύματος από **3 έως 10** μέτρα και περίοδο **3** δευτερολέπτων, ενώ το Product Tanker **παρουσιάζει** σφυρόκρουση της πλώρης του για αυτή την κατάσταση,

**γ)** Το TRIALITY **παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για σημαντικό ύψος κύματος **6** μέτρα και περίοδο **6 και 7** δευτερολέπτων για ταχύτητα σκάφους **15 και 16.5** κόμβων, ενώ το Product Tanker **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για αυτές τις καταστάσεις,

**δ)** Το TRIALITY **παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για σημαντικό ύψος κύματος από **7 έως 10** μέτρα και περίοδο **6** δευτερολέπτων για ταχύτητες σκάφους **10,15 και 16.5** κόμβων, καθώς και για σημαντικό ύψος κύματος **7** μέτρα με περίοδο κύματος **7** δευτερολέπτων, ενώ το Product Tanker **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για αυτές τις καταστάσεις,

ε) Το TRIALITY παρουσιάζει σφυρόκρουση πλήρης για σημαντικό ύψος κύματος **8 έως 10** μέτρα και περίοδο **5** δευτερολέπτων για ταχύτητες σκάφους **15 και 16.5** κόμβων, ενώ το Product Tanker **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλήρης για αυτές τις καταστάσεις.

#### Πρώτο βασικό συμπέρασμα

Κυρίως, μας ενδιαφέρουν οι ταχύτητες των 15 και 16.5 κόμβων στις οποίες θα λειτουργούν τα πλοία. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το TRIALITY VLCC **δεν παρουσιάζει** καθόλου σφυρόκρουση πλήρης για καμία από τις ταχύτητες για σημαντικό ύψος κύματος **έως 5.5 μέτρα** σε **οποιαδήποτε περίοδο κύματος με μόνο 2002 τόνους υδάτινου έρματος, ενώ το Product Tanker έχει σχεδόν 7 φορές μεγαλύτερη ποσότητα έρματος.** Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αφού αυτή η κατάσταση είναι η κατά τον IMO δυσμενή κατάσταση θάλασσας για το συγκεκριμένο σκάφος και σε πολλές θαλάσσιες περιοχές εμφανίζονται συχνά κύματα τέτοιου ύψους. Το ίδιο ισχύει και για το Product Tanker, το οποίο **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλήρης για σημαντικό ύψος κύματος έως **4 μέτρα** σε **περίοδο κύματος από 4 έως 15** δευτερόλεπτα **αλλά με 13507 τόνους υδάτινου έρματος,** που είναι η κατά τον IMO δυσμενή κατάσταση θάλασσας για τέτοιου μήκους πλοίο. Τα κύματα που συναντούν τα πλοία είναι ίδια ανεξάρτητα το μήκος των πλοίων. Το Product Tanker παρουσιάζει σφυρόκρουση για κύματα σημαντικού ύψους 5 και 5.5 μέτρων, ενώ το TRIALITY όχι.

#### Δεύτερο βασικό συμπέρασμα

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε σε ποιες συνθήκες το TRIALITY εμφανίζει σφυρόκρουση του πυθμένα της πλήρης (νομέας 10), ενώ το Product Tanker δεν εμφανίζει καθόλου σφυρόκρουση πλώρας. Αυτές παρουσιάζονται στην επόμενη σελίδα.

Slamming (per hour)	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)	Ταχύτητα (knots)
2	6	6	15
3	6	6	16.5
5	6	7	15
6	6	7	16.5
12	7	6	15
15	7	6	16.5
35	8	6	15
41	8	6	16.5
68	9	6	15
81	9	6	16.5
117	10	6	15
132	10	6	16.5
21	7	7	15
25	7	7	16.5
1	8	5	15
2	8	5	16.5
7	9	5	15
9	9	5	16.5
19	10	5	15
22	10	5	16.5

**Πίνακας 5.2 :** Καταστάσεις θάλασσας όπου το Triality εμφανίζει σημαντική σφυρόκρουση και το Product Tanker μηδενική

Επομένως, το **Product Tanker** παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά αναφορικά με την σφυρόκρουση σε σύγκριση με το TRIALITY στις παραπάνω καταστάσεις.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι για περίοδο κύματος 6 δευτερολέπτων και για σημαντικό ύψος κύματος 8 έως 10 μέτρα, για περίοδο 5 δευτερολέπτων και σημαντικό ύψος κύματος 5 μέτρα και για περίοδο 7 δευτερολέπτων και σημαντικό ύψος κύματος 7 μέτρα το **TRIALITY** παρουσιάζει **σημαντική** σφυρόκρουση πλώρας, σε αντίθεση με το **Product Tanker** που με **7 φορές** περίπου παραπάνω έρμα **δεν παρουσιάζει καθόλου** στις συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, μπορούμε να πούμε ότι αυτός ο βαθμός σφυρόκρουσης της πλώρας είναι ανεκτός, καθώς για κύμα 8,9 και 10 μέτρων είναι αναμενόμενο να υπάρχει για κάποια περίοδο σημαντική σφυρόκρουση για ένα VLCC.



Σύμφωνα με τον IMO, η δυσμενής κατάσταση θάλασσας για πλοίο με μήκος ίδιο με αυτό του TRIALITY είναι με περίοδο από 7 έως 15 δευτερόλεπτα. Επομένως, μόνο οι καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών 7 δευτερολέπτων και σημαντικό ύψος κύματος 6 και 7 μέτρα είναι οι πιο κρίσιμες στις οποίες υπερτερεί το Product Tanker.

### Τρίτο βασικό συμπέρασμα

Για τις υπόλοιπες καταστάσεις θάλασσας στις οποίες και τα δύο πλοία παρουσιάζουν σφυρόκρουση του πυθμένα στην πλήρη υπάρχουν συγκριτικά διαγράμματα με την σφυρόκρουση των δύο πλοίων. Τα συμπεράσματα για την σύγκριση των δύο πλοίων όσον αφορά τις παραπάνω καταστάσεις παρουσιάζονται παρακάτω.

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται οι καταστάσεις θάλασσας όπου το TRIALITY **δεν εμφανίζει καθόλου** σφυρόκρουση πλώρας, ενώ το Product Tanker παρουσιάζει σημαντική και ιδιαίτερα έντονη σφυρόκρουση της πλώρας του για κατεύθυνση κυματισμών **180°**.

Όπως παρατηρούμε, οι καταστάσεις στις οποίες το TRIALITY **δεν εμφανίζει καθόλου** σφυρόκρουση πλώρας, ενώ το Product Tanker παρουσιάζει σημαντική και ιδιαίτερα έντονη σφυρόκρουση της πλώρας είναι αυτές με περίοδο κύματος 3 και 4 δευτερόλεπτα. Ακόμη, ο τόσο υψηλός αριθμός σφυροκρούσεων την ώρα που εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα δείχνει ότι ενδεχομένως το υπολογιστικό πρόγραμμα δεν εξάγει ρεαλιστικά αποτελέσματα για τις παραπάνω συχνότητες κυματισμών, καθώς είναι μη πιθανά αποτελέσματα. Επίσης, στην πράξη, τα περισσότερα κύματα συναντώνται σε μεγαλύτερη συχνότητα. Οι καταστάσεις θάλασσας όπου το Triality εμφανίζει σημαντική σφυρόκρουση και το Product Tanker μηδενική παρατίθενται στην επόμενη σελίδα.

<b>Slamming (per hour)</b>	<b>H<sub>s</sub> (m)</b>	<b>T<sub>p</sub> (s)</b>	<b>Ταχύτητα (knots)</b>
62	3	3	15
66	3	3	16.5
314	4	3	15
335	4	3	16.5
665	5	3	15
707	5	3	16.5
998	6	3	15
1060	6	3	16.5
1275	7	3	15
1354	7	3	16.5
1495	8	3	15
1587	8	3	16.5
1668	9	3	15
1769	9	3	16.5
1803	10	3	15
1913	10	3	16.5
10	5	4	15
11	5	4	16.5
68	6	4	15
73	6	4	16.5
216	7	4	15
230	7	4	16.5
455	8	4	15
484	8	4	16.5
757	9	4	15
805	9	4	16.5
1089	10	4	15
1158	10	4	16.5

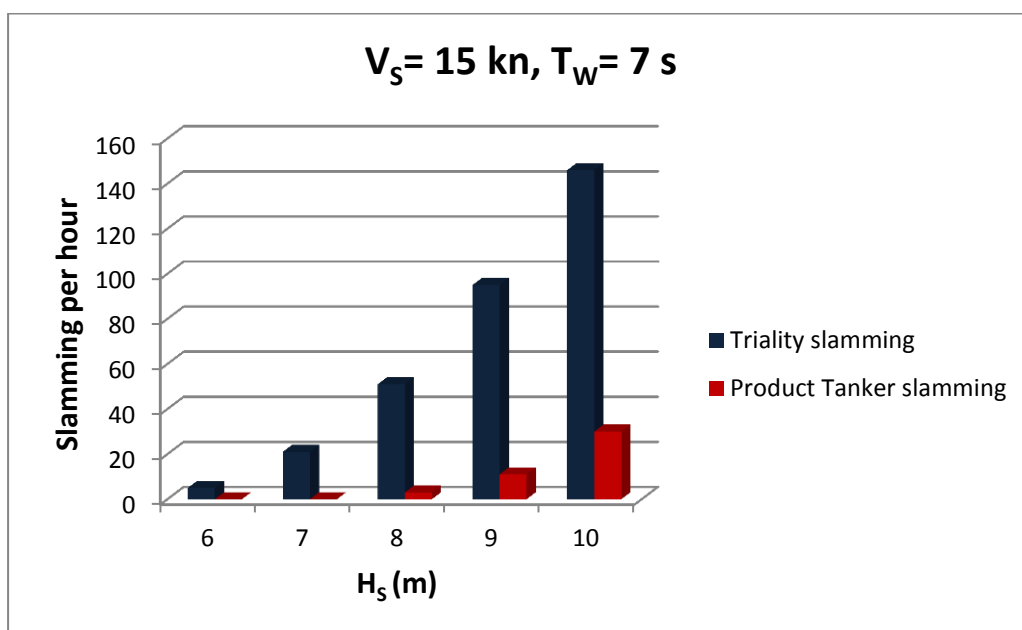
**Πίνακας 5.3 :** Καταστάσεις θάλασσας όπου το Triality εμφανίζει σημαντική σφυρόκρουση και το Product Tanker μηδενική

### Τελικά αποτελέσματα-συμπεράσματα

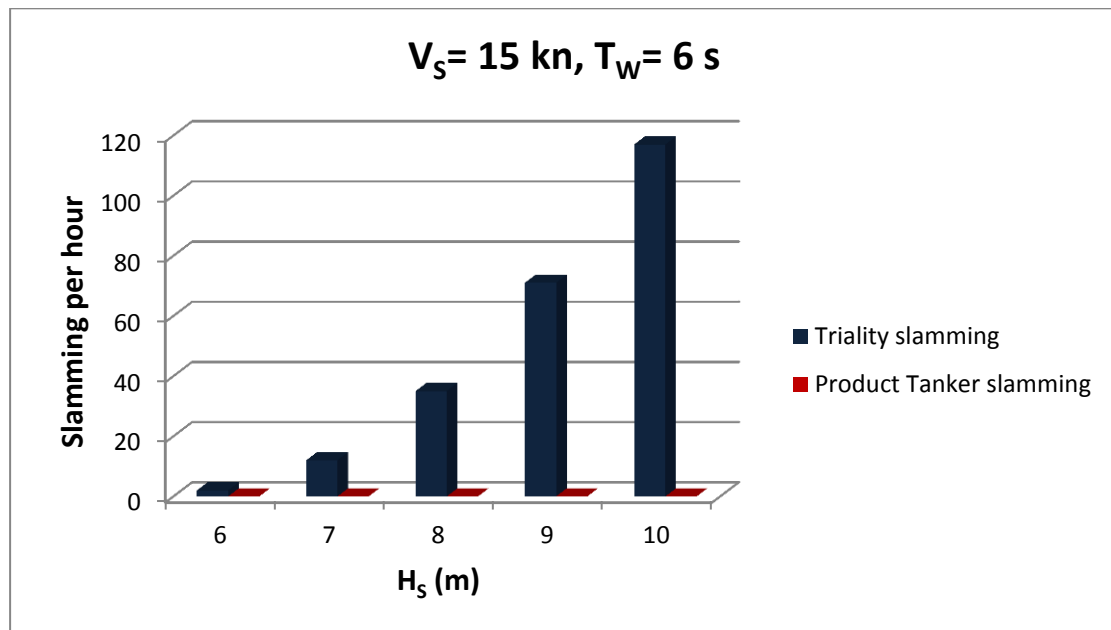
Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι για ταχύτητες **15** και **16.5** κόμβων και με δεδομένο ότι το **TRIALITY VLCC** μεταφέρει μόλις **2002** τόνους έρματος, ενώ το **Product Tanker 13507** τόνους έρματος, ισχύει ότι:

- Το TRIALITY **δεν παρουσιάζει** σφυρόκρουση πλώρης για σημαντικό ύψος κύματος έως και **5.5** μέτρα (σημαντικό ύψος κύματος ίσο με 5.5 μέτρα είναι η κατά τον IMO δυσμενή κατάσταση για ένα πλοίο ιδίων διαστάσεων με το TRIALITY) και περίοδο κύματος από **3** έως **15** δευτερόλεπτα, ενώ το Product Tanker **παρουσιάζει** σφυρόκρουση της πλώρης του για σημαντικό ύψος κύματος **5** μέτρα και **5.5** μέτρα και περιόδους **3,8,9,10,11,12,13,14** δευτερολέπτων και περιόδους **3,4,8,9,10,11,12,13,14,15** δευτερολέπτων αντίστοιχα.

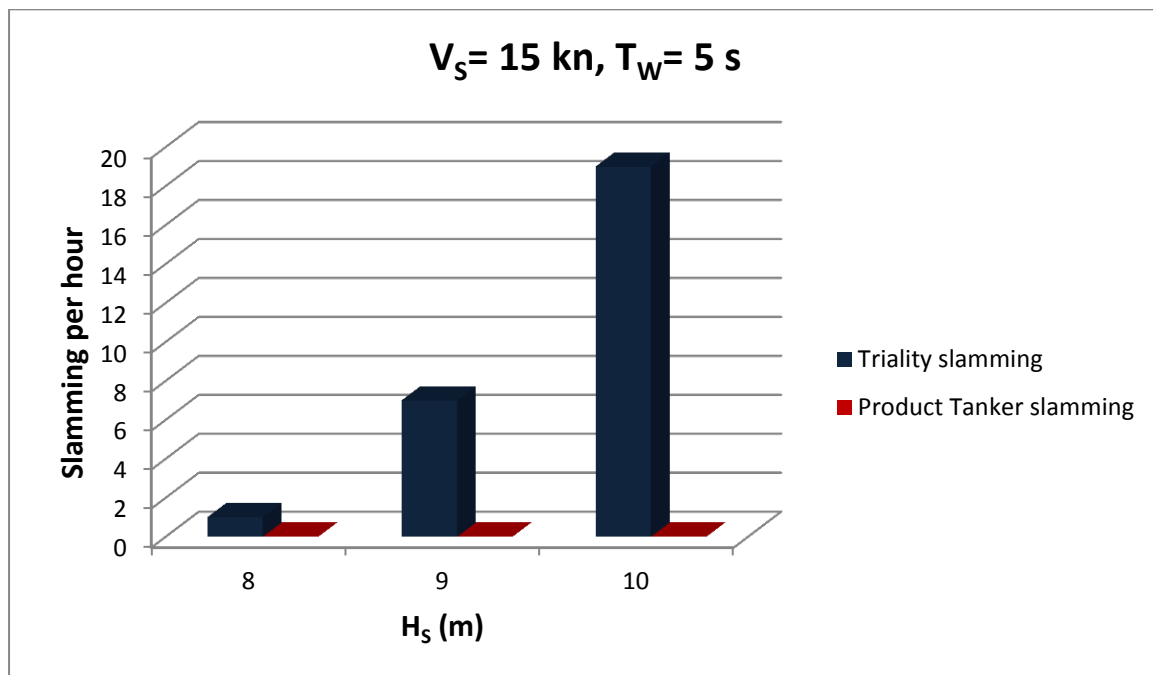
- Το TRIALITY παρουσιάζει αρκετά **εντονότερη** σφυρόκρουση πλώρας, σε σχέση με το συμβατικό Product Tanker, για τις καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών  $T_P$  **ίση με 7** δευτερόλεπτα και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από **6** έως **10** μέτρα. Για παράδειγμα, για ταχύτητα 15 κόμβων έχουμε το παρακάτω διάγραμμα (που είναι για κατεύθυνση κυματισμών **180** μοίρες):



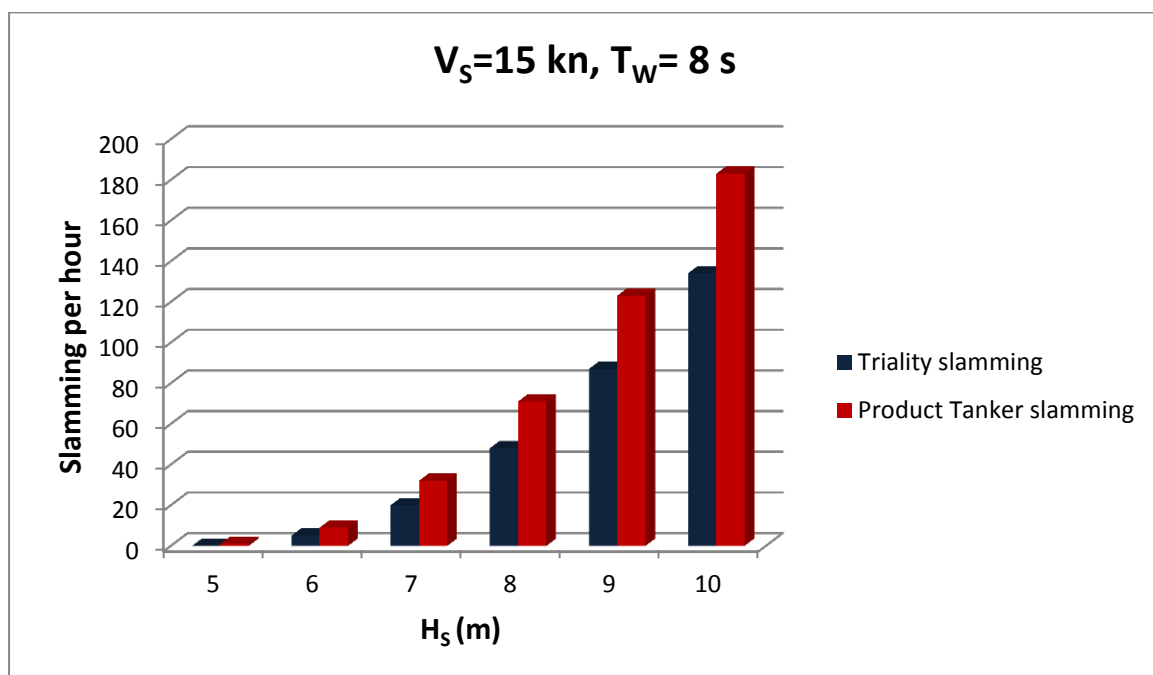
- Το TRIALITY παρουσιάζει αρκετά **εντονότερη** σφυρόκρουση πλώρας, σε σχέση με το συμβατικό Product Tanker, για τις καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών  $T_P$  ίση με **6 δευτερόλεπτα** και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από **6 έως 10 μέτρα**. Συγκεκριμένα, για ταχύτητα 15 κόμβων τα αποτελέσματα έχουμε το παρακάτω διάγραμμα (για κατεύθυνση κυματισμών **180** μοίρες) :

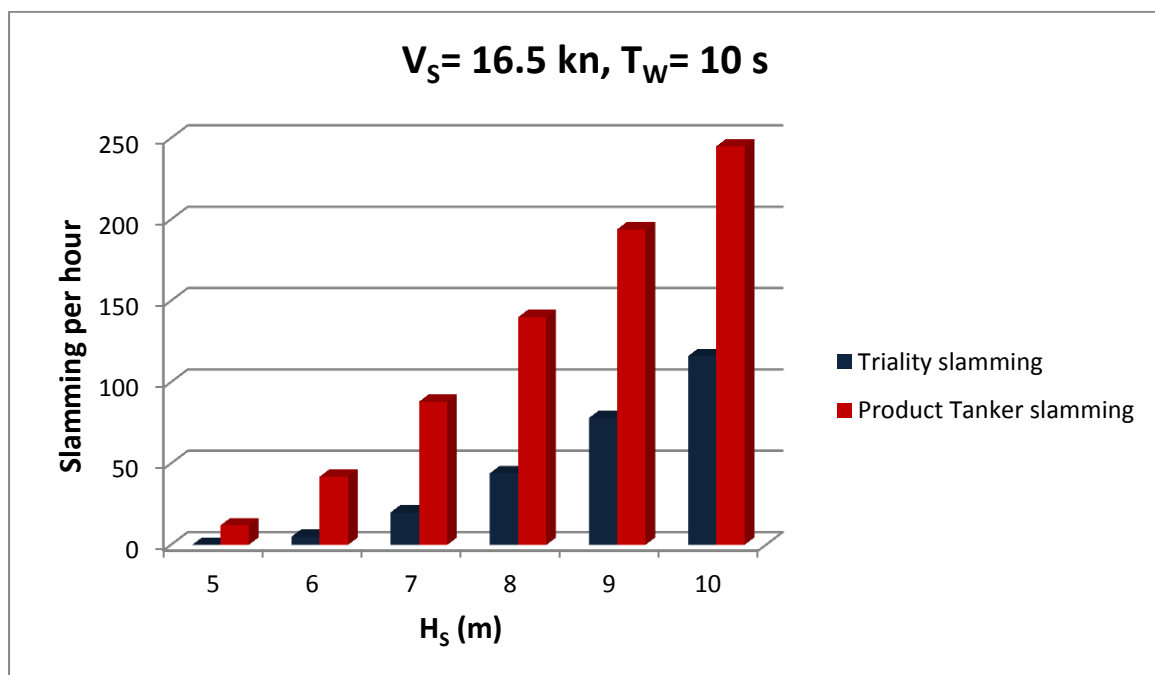
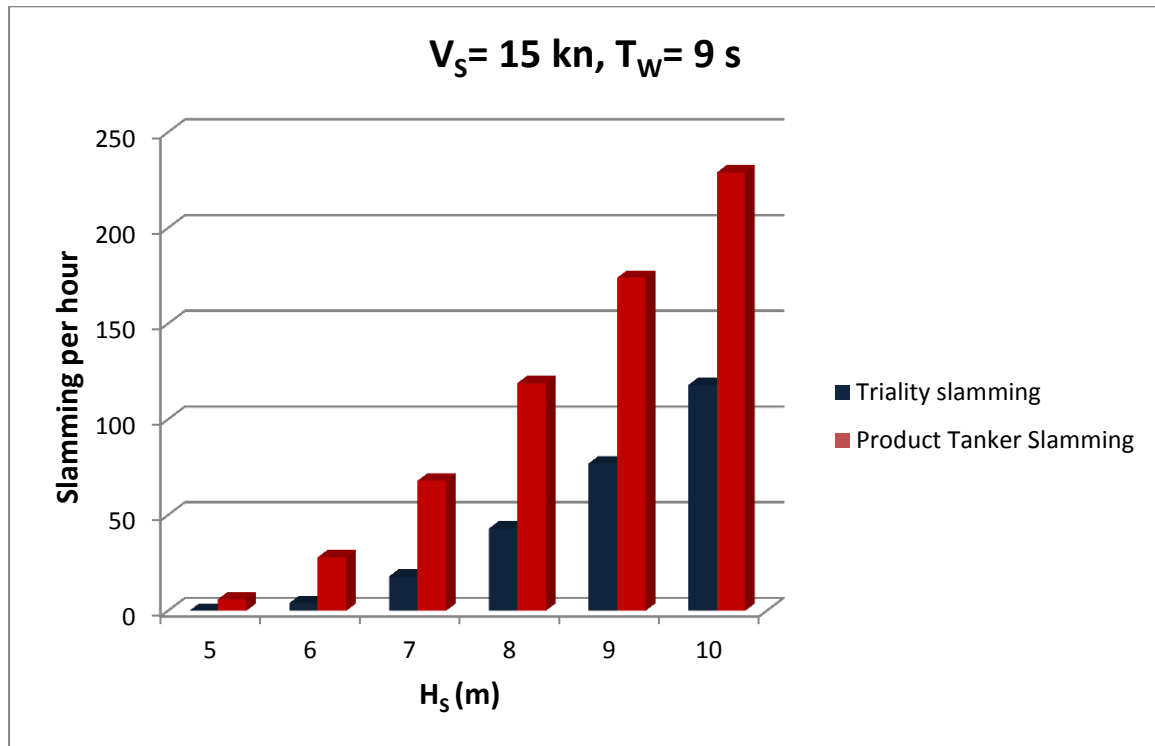


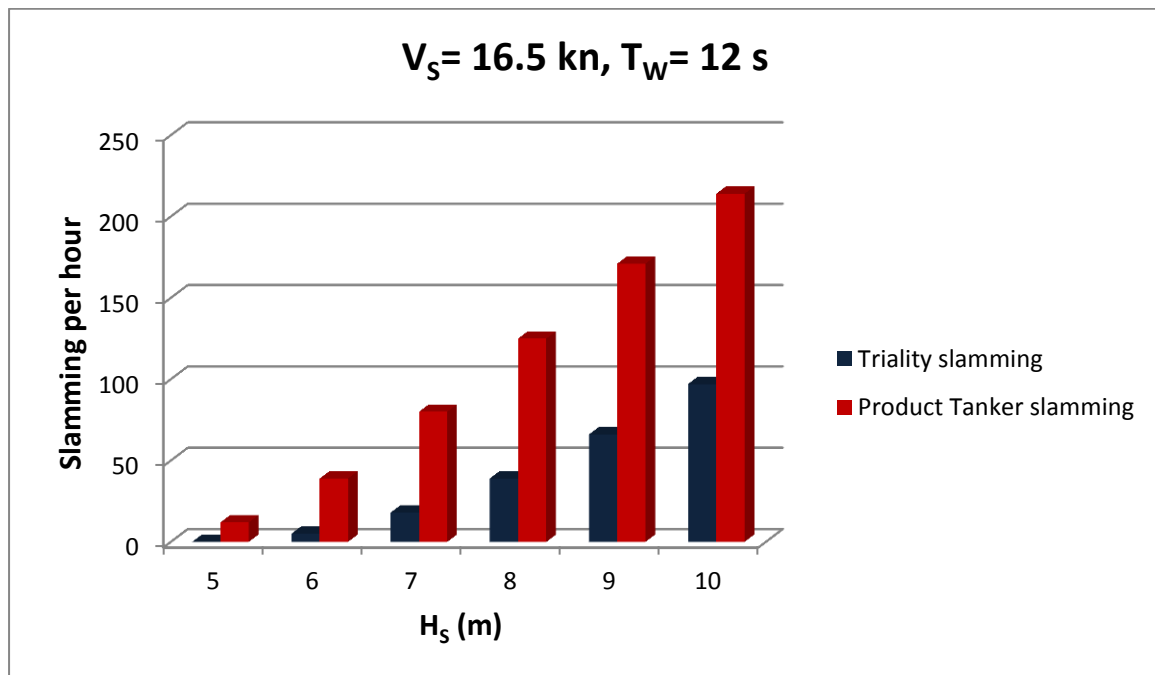
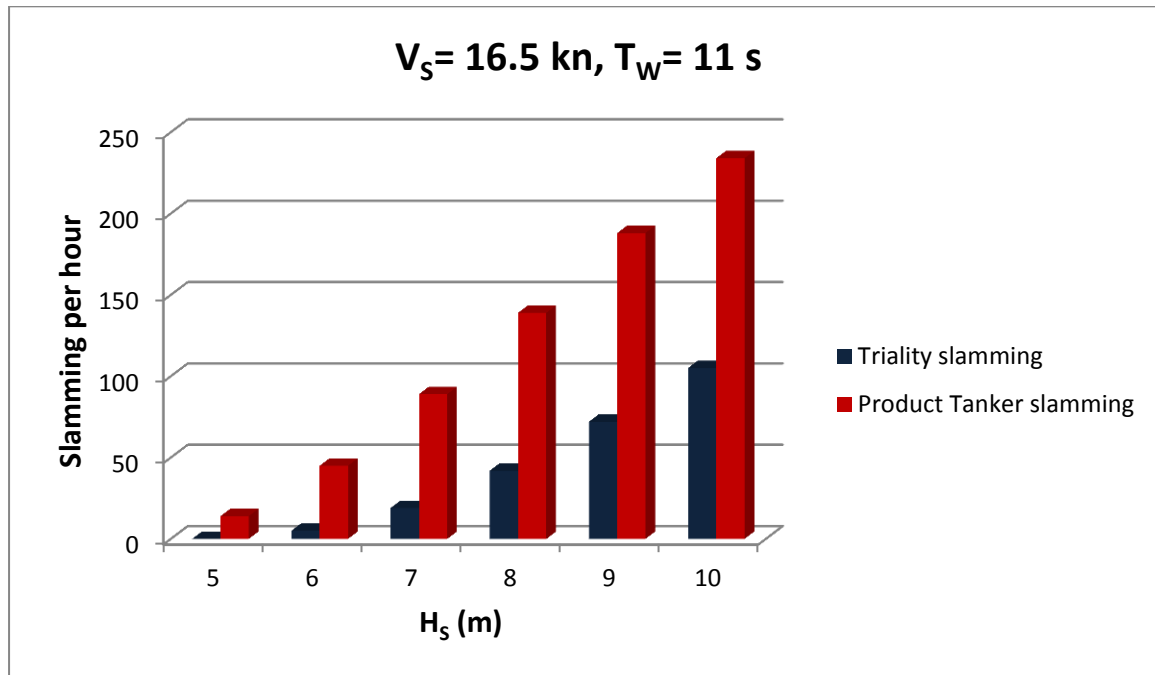
- Το TRIALITY παρουσιάζει **μικρή** αλλά **εντονότερη** σφυρόκρουση πλώρας, σε σχέση με το συμβατικό Product Tanker, για τις καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών  $T_P$  ίση με **5 δευτερόλεπτα** και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από **8 έως 10 μέτρα**. Συγκεκριμένα, ενδεικτικά αποτελέσματα για ταχύτητα πλοίου ίση με 15 κόμβους απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα (για κατεύθυνση κυματισμών **180** μοίρες) :

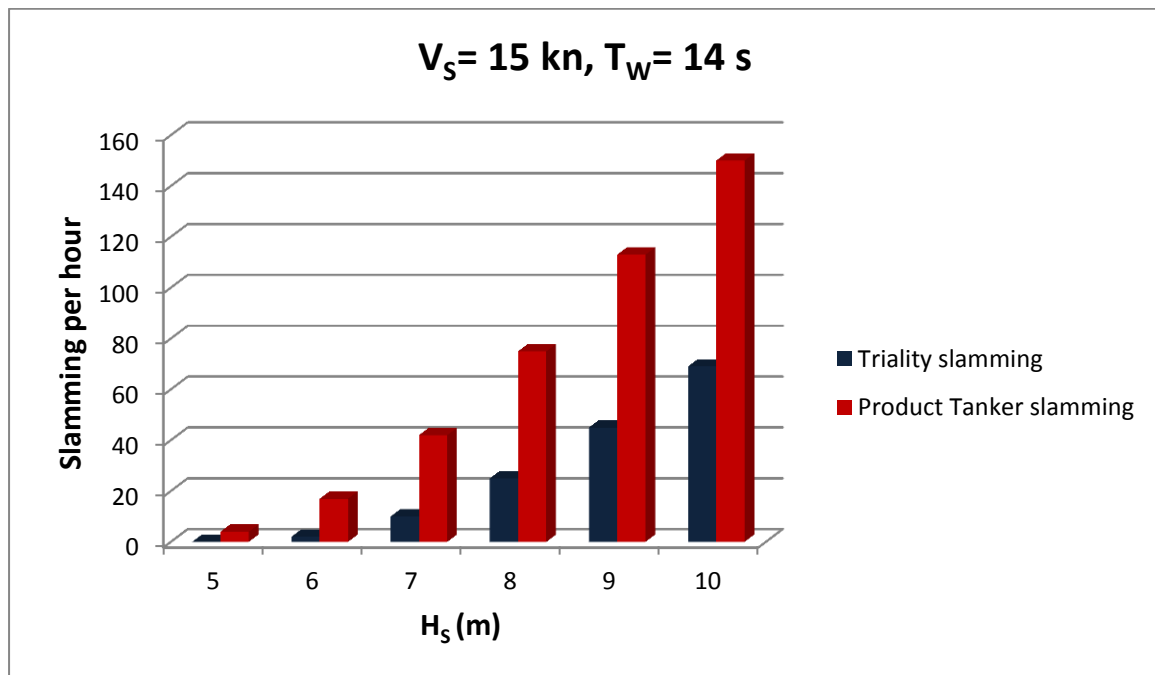
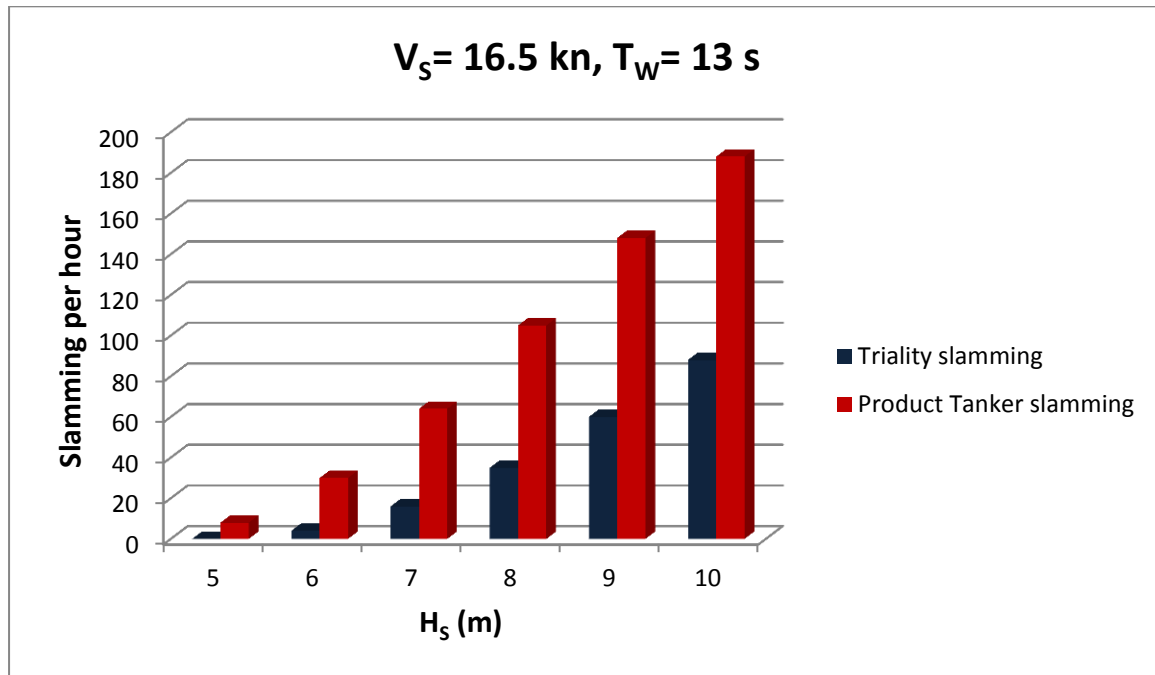


- Το TRIALITY παρουσιάζει **μικρότερη** σφυρόκρουση πλώρας, σε σχέση με το συμβατικό Product Tanker, για όλες τις καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών  $T_P$  από 8 έως 15 δευτερόλεπτα και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από 5 έως 10 μέτρα. Πιο συγκεκριμένα, ενδεικτικά αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω (για κατεύθυνση κυματισμών 180 μοίρες) :

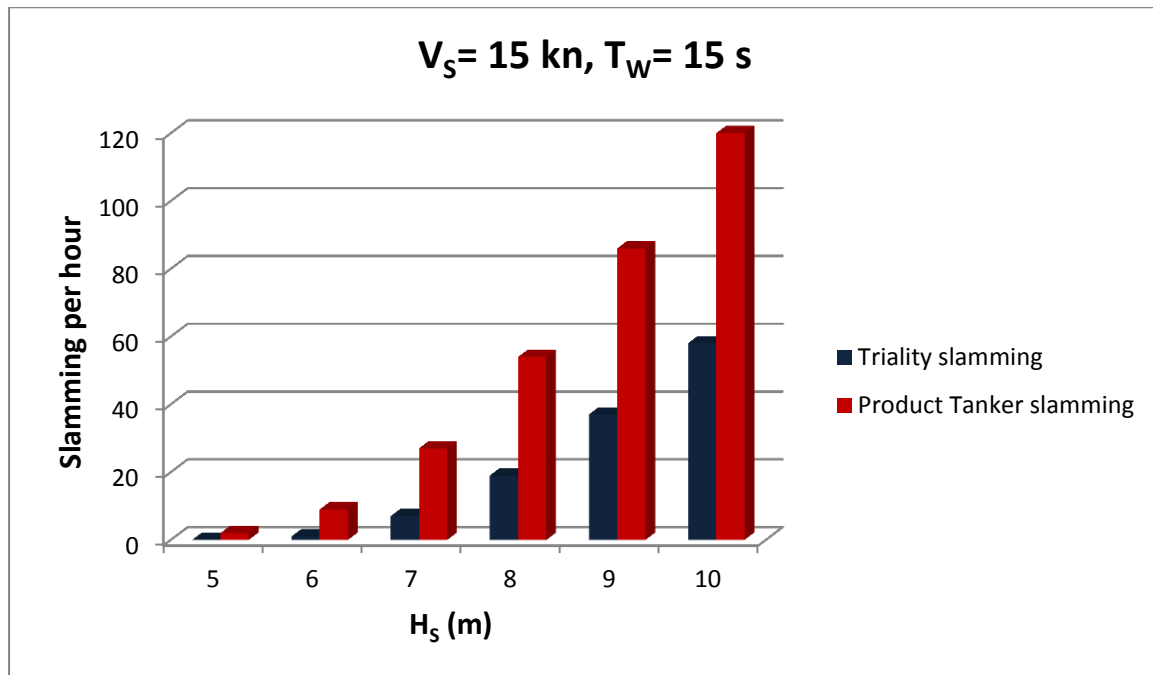












- Το TRIALITY παρουσιάζει **μηδενική** σφυρόκρουση πλώρας, σε σχέση με το συμβατικό Product Tanker που παρουσιάζει **πολύ έντονη** σφυρόκρουση πλώρας, για όλες τις καταστάσεις θάλασσας με περίοδο κυματισμών  $T_P$  ίση με **3 δευτερόλεπτα** και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από **3 έως 10 μέτρα** και με περίοδο κυματισμών  $T_P$  ίση με **4 δευτερόλεπτα** και σημαντικό ύψος κυματισμών  $H_S$  από **5 έως 10 μέτρα**. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα για το Product Tanker στις παραπάνω συνθήκες είναι μη ρεαλιστικά, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε κάποιο σφάλμα του υπολογιστικού προγράμματος

Όλες οι τιμές στα παραπάνω συμπεράσματα, όπου το TRIALITY υφίσταται μικρότερη ή μεγαλύτερη σφυρόκρουση πλώρας, αναφέρονται σε κατευθύνσεις κυματισμών κυρίως **180°**. Τέλος, πρέπει να επισημάνουμε ότι για να βγάλουμε ασφαλές συμπέρασμα για την ικανότητα πλεύσης του TRIALITY πρέπει να ξέρουμε ακριβώς τις συνθήκες θάλασσας, κάτι που είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί. Έχοντας ως κριτήριο το σημαντικό ύψος κύματος για πλοίο διαστάσεων όπως το TRIALITY σύμφωνα με τον IMO, εκλέγουμε τα τελικά συμπεράσματα μας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με **δεδομένο** ότι το **TRIALITY VLCC μεταφέρει στην κατάσταση ερματισμού 2002 τόνους έρματος, αντί 13507 τόνων στο Product Tanker αντίστοιχα**, το TRIALITY παρόλο που δεν ικανοποιεί τον κανονισμό της MARPOL για το μέσο βύθισμα, έχει

ικανοποιητική συμπεριφορά ως προς την σφυρόκρουση της πλώρας για σημαντικό ύψος κύματος **έως περίπου 5.5 μέτρα** και για **κάθε περίοδο** κυματισμών με την μεταφερόμενη ποσότητα έρματος να αγγίζει μόλις τους 2000 τόνους, καθώς δεν εμφανίζει **καθόλου** φαινόμενα σφυρόκρουσης. Αυτό αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο καθώς σε πολλές θαλάσσιες περιοχές κυριαρχούν τέτοιου ύψους κύματα.

Τελικώς, με δεδομένο ότι το TRIALITY VLCC μεταφέρει στην κατάσταση ερματισμού **85%** λιγότερο έρμα σε σχέση με το Product Tanker (2002 τόνους έρματος, αντί 13507 τόνων στο Product Tanker), όπως αποδείχθηκε και από τα διαγράμματα, το TRIALITY **υπερτερεί** του Product Tanker όσον αφορά την συμπεριφορά σε σφυρόκρουση της πλώρας για σημαντικό ύψος κυματισμών που κυμαίνεται από **5 έως 10** μέτρα και για περίοδο κυματισμών που κυμαίνεται από **8 έως 15** δευτερόλεπτα, για τις συχνότητες των **3 και 4** δευτερολέπτων, ενώ για σημαντικό ύψος κύματος **έως περίπου 5.5 μέτρα** και για **κάθε περίοδο** κυματισμών (η κατά τον IMO δυσμενή κατάσταση θάλασσας για το TRIALITY) με την μεταφερόμενη ποσότητα έρματος να αγγίζει μόλις τους 2000 τόνους δεν εμφανίζει **καθόλου** φαινόμενα σφυρόκρουσης.

Από την άλλη, το TRIALITY **μειονεκτεί** του Product Tanker όσον αφορά την συμπεριφορά σε σφυρόκρουση της πλώρας μόνο για σημαντικό ύψος κύματος από **6 έως 10** μέτρα και περιόδους κυματισμών **6 και 7** δευτερολέπτων και για σημαντικό ύψος κύματος από **8 έως 10** μέτρα με περίοδο κυματισμών **5** δευτερολέπτων. Και σε αυτές τις περιπτώσεις, ο αριθμός των σφυροκρούσεων την ώρα μπορεί να θεωρηθεί ανεκτός. Από τα παραπάνω καταλήγουμε ότι η συμπεριφορά του TRIALITY όσον αφορά την σφυρόκρουση της πλώρης του κρίνεται γενικώς ικανοποιητική και αποδεκτή.

Επομένως, μπορούμε να ισχυριστούμε γενικά ότι ο κανονισμός της MARPOL για το βύθισμα στο μέσο του πλοίου αδικεί το TRIALITY (και γενικώς τα μεγάλα πλοία), αφού η ικανότητα πλεύσης του με 2000 τόνους έρματος στην κατάσταση ερματισμού κρίνεται ικανοποιητική και υπερτερεί της αντίστοιχης του Product Tanker στα περισσότερα κρίσιμα σημεία και στις περισσότερες συχνότερα συναντώμενες καταστάσεις θάλασσας. Παρά το πολύ μεγαλύτερο μέγεθος του TRIALITY σε σχέση με το Product Tanker και την χρήση 7-πλάσιας ποσότητας έρματος στο Product Tanker σε σχέση με το TRIALITY,

το τελευταίο πλοίο παρουσιάζει συνολικά καλύτερη συμπεριφορά σε σφυρόκρουση πλώρας, με εξαίρεση τρεις περιπτώσεις. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι το TRIALITY μπορεί να λειτουργήσει, με ελάχιστη ποσότητα έρματος στην κατάσταση ερματισμού, χωρίς να παρουσιάζει απαγορευτική και έντονη σφυρόκρουση πλώρας και με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η νέα μορφή γάστρας. Βέβαια, ενδεχομένως, και το συμβατικό VLCC, με χρήση ίδιας με το TRIALITY ποσότητας έρματος στην κατάσταση ερματισμού, να μην παρουσιάζει σημαντική σφυρόκρουση πλώρας, αλλά αυτό δεν εξετάζεται σε αυτή την εργασία. Σίγουρα, και αυτό να ισχύει, το TRIALITY πλεονεκτεί έναντι των συμβατικών VLCC's λόγω της μικρότερη βρεχόμενης επιφάνειας που παρουσιάζει σε χαμηλά βυθίσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΤΗΡΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### 6.1 Υπολογισμός Της Αντίστασης Των Triality Και Συμβατικού VLCC

##### 6.1.1 Εισαγωγή

Κατά την σχεδίαση ενός πλοίου, γίνεται η επιλογή και σχεδίαση της μορφής της γάστρας και της έλικας που οδηγούν στην μικρότερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ για ένα πλοίο, το οποίο πληροί ορισμένες απαιτήσεις που προσδιορίζονται από τον πλοιοκτήτη. Η εκτίμηση της αντίστασης, σε προκαταρτικό στάδιο σχεδίασης, είναι απαραίτητη και πραγματοποιείται μέσω διαφόρων μεθόδων, είτε μέσω συστηματικών σειρών είτε μέσω συλλογών πειραματικών καμπυλών αντίστασης.

Στην ενότητα αυτή, λοιπόν, υπολογίστηκαν οι αντιστάσεις του TRIALITY και του συμβατικού VLCC σύμφωνα με την μέθοδο Holtrop-Mennen, πραγματοποιήθηκε η σχετική τους σύγκριση και έγινε η επιλογή ελίκων και προωστήριας εγκατάστασης του πλοίου TRIALITY.

Η μέθοδος υπολογισμού αντίστασης Holtrop-Mennen είναι ευρέως γνωστή και χρησιμοποιείται συχνά για την πρόβλεψη της ολικής αντίστασης των πλοίων στο αρχικό στάδιο σχεδίασής τους, δίνοντας σχετικά ακριβή αποτελέσματα, μιας και η πραγματική τιμή της αντίστασης μπορεί να προσδιοριστεί μόνο πειραματικά. Επιπλέον, άλλες μέθοδοι, όπως η μέθοδος FORMDATA, η μέθοδος B.S.R.A, η μέθοδος LAP/KELLER, η μέθοδος υπολογισμού υπόλοιπης αντίστασης MARAD, δεν χρησιμοποιήθηκαν λόγω της μορφής της γάστρας του και του χαμηλού συντελεστή γάστρας του πλοίου TRIALITY, που είναι 0.6 στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης και 0.3 σε κατάσταση ερματισμού. Επίσης, και τα δύο πλοία καλύπτουν τα όρια των περιορισμών για τους λόγους  $B/T$  και  $L/B$ , τον αριθμό Froude και τον πρισματικό συντελεστή  $C_p$ , που απαιτούνται για την μέθοδο Holtrop-Mennen. Η μέθοδος και οι διάφοροι υπολογισμοί αναφέρονται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της μεθόδου για το TRIALITY και το συμβατικό VLCC και η μεταξύ τους σύγκριση.

### 6.1.2 Αποτελέσματα της Μεθόδου Holtrop-Mennen

Η ολική αντίσταση του TRIALITY και του συμβατικού VLCC υπολογίστηκε σε δύο καταστάσεις, στην Full Load Departure και στην Water Ballast Departure. Τα αποτελέσματα και η σύγκρισή τους για τα δύο πλοία παρουσιάζονται παρακάτω συγκεντρωτικά.

#### Full Load Departure

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των πλοίων σε αυτή την κατάσταση, που χρησιμοποιήθηκαν στην μέθοδο.

	VLCC "TRIALITY"	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC
$L_{OA}$	361 m	336.2 m
$L_{BP}$	351 m	324 m
$L_{WL}$	357.644	331.05 m
$B$	70 m	60 m
$T_{design}$	21.589	20.5 m
$D$	27.52 m	37.305 m
$C_B$	0.605	0.823
$C_M$	0.738	0.998
$C_P$	0.820	0.824
$C_{WP}$	0.736	0.882
$\nabla$	320690.156 m <sup>3</sup>	327816.938 m <sup>3</sup>
$LCB$	184.030 m	171.847 m
$WSA$	28058.832 m <sup>2</sup>	28831.549 m <sup>2</sup>
$A_M$	1114.985 m <sup>2</sup>	1227.294 m <sup>2</sup>
$V_S$	15 kn	15 kn

**Πίνακας 6.1:** Χαρακτηριστικά των πλοίων στην Full Load Departure

Η σημαντικότερη και μεγαλύτερη συνιστώσα της ολικής αντίστασης των πλοίων αποτελεί η αντίσταση τριβής, η οποία για αργά σχετικά δεξαμενόπλοια κυμαίνεται μεταξύ 60-85 % της ολικής αντίστασής τους. Η ελαχιστοποίηση, λοιπόν, της αντίστασης τριβής είναι επιβεβλημένη για την όσο κατά το δυνατόν ελαχιστοποίηση της ολικής αντίστασης. Κατά το πρώτο βήμα υπολογισμού της αντίστασης με την μέθοδο Holtrop-Mennen, υπολογίστηκε η αντίσταση τριβής  $R_F$  σύμφωνα με τον τύπο της ITTC 1957 και τα συγκριτικά αποτελέσματα των δύο πλοίων παρουσιάζονται παρακάτω.

$V_s$ [kn]	12	13	14	<b>15</b>	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b><u>TRIALITY</u></b>							
$R_F$ [kp]	79390.7	92289.1	106096.4	<b>120805.5</b>	136409.7	144545.5	152904.4
<b><u>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</u></b>							
$R_F$ [kp]	82335.4	95707.9	110022.2	<b>125270.9</b>	141447.0	149880.8	158544.1

**Πίνακας 6.2:** Αντίσταση τριβής των δύο πλοίων σύμφωνα με την μέθοδο ITTC 1957

Παρατηρούμε, επομένως, ότι η αντίσταση τριβής του συμβατικού VLCC είναι μεγαλύτερη κατά **3.46% - 3.56%** της αντίστοιχης του TRIALITY. Στην ταχύτητα υπηρεσίας των 15 kn η διαφορά αυτή είναι **3.56%**. Οι περιορισμοί για την μέθοδο Holtrop-Mennen για δεξαμενόπλοια, που ικανοποιούνται και από τα δύο VLCC, είναι οι εξής:

Max Froude no.	$C_p$		L/B		B/T	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0.24	0.73	0.85	5.1	7.1	2.4	3.2

Τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου Holtrop-Mennen για την αντίσταση των πλοίων σε ένα εύρος ταχυτήτων 12-17 κόμβων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3. Η ολική αντίσταση συμβολίζεται με  $R_T$  και η ισχύς ρυμούλκησης με EHP (Effective Horsepower).

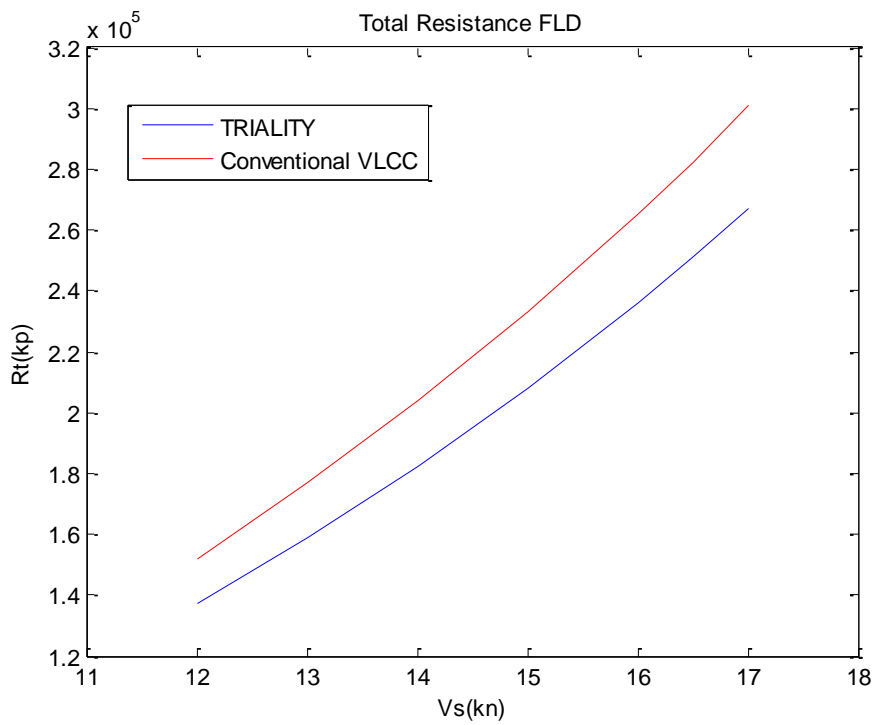
$V_s$ [kn]	12	13	14	<b>15</b>	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b><u>TRIALITY</u></b>							
$R_T$ [kp]	137039.7	158963.6	182559.8	<b>208093.5</b>	236003.1	251023.5	267022.9
EHP[PS]	11280	14174	17531	<b>21409</b>	25898	28410	31135
<b><u>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</u></b>							
$R_T$ [kp]	152080.5	177124.7	204055.4	<b>233178.5</b>	265044.6	282440.9	300938.6
EHP[PS]	12518	15793	19595	<b>23990</b>	29085	31965	35090

**Πίνακας 6.3:** Αποτελέσματα μεθόδου Holtrop-Mennen

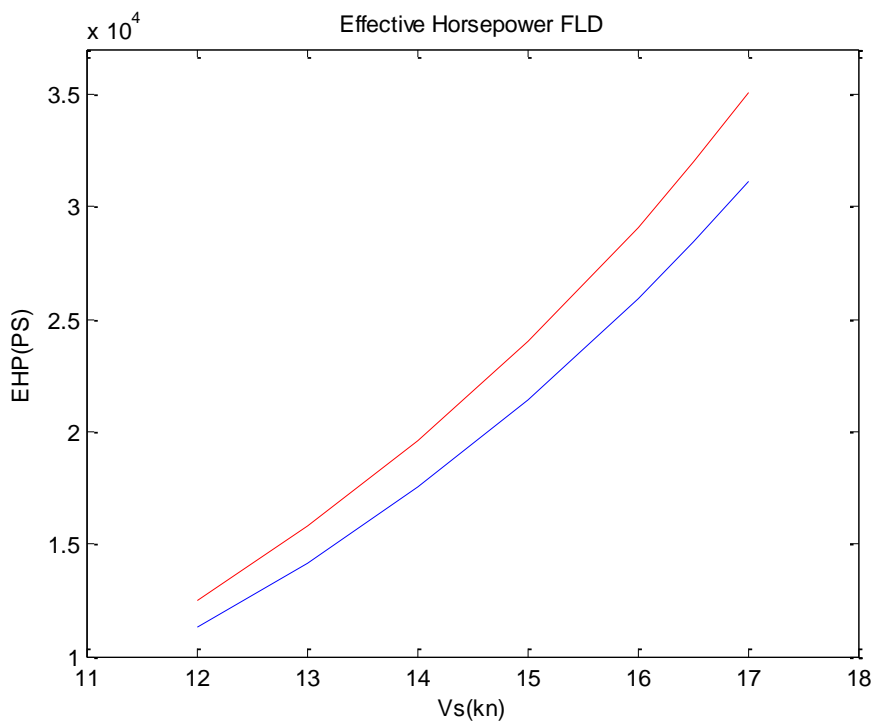
Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι στην κατάσταση Full Load Departure το πλοίο TRIALITY έχει κατά **9.89%-11.27%** μικρότερη ολική αντίσταση και ισχύ ρυμούλκησης (Effective Horsepower, E.H.P). Ειδικά στην ταχύτητα υπηρεσίας των 15 kn, η παραπάνω διαφορά είναι **10.8%**.

Παρακάτω επισυνάπτονται τα διαγράμματα  $R_T - V_s$  και EHP-  $V_s$  των δύο πλοίων στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης.

### Διάγραμμα $R_T-V_S$



### Διάγραμμα EHP- $V_S$





### Water Ballast Departure

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των πλοίων σε αυτή την κατάσταση, που χρησιμοποιήθηκαν στην μέθοδο.

	VLCC ‘TRIALITY’	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC
$L_{OA}$	361 m	336.2 m
$L_{BP}$	351 m	324 m
$L_{WL}$	344.424	316.869 m
$B_{MAX}$	70 m	60 m
$B_{WL}^*$	40.67 m	60 m
$T_{midship}$	6.259 m	9.510 m
$T_F$	4.123 m	7.560 m
$T_A$	8.395 m	11.460 m
Trim	4.272, έμπρυμνη	3.9 m, έμπρυμνη
$C_B$	0.297	0.776
$C_M$	0.389	0.995
$C_P$	0.762	0.779
$C_{WP}$	0.531	0.850
$\nabla$	45630.312 m <sup>3</sup>	143374.074 m <sup>3</sup>
LCB	164.138 m	168.972 m
WSA	12309.61 m <sup>2</sup>	20616.426 m <sup>2</sup>
$A_M$	170.608 m <sup>2</sup>	567.918 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 6.4:** Χαρακτηριστικά των πλοίων στην Water Ballast Departure

Να τονίσουμε ότι το  $B_{WL}$  συμβολίζει το πλάτος των πλοίων στην ίσαλο πλευσης, που είναι στα 6.259 m για το TRIALITY και 9.510 m για το συμβατικό.

Η αντίσταση τριβής  $R_F$  σύμφωνα με τον τύπο της ITTC 1957 και τα συγκριτικά αποτελέσματα των δύο πλοίων για αυτή την κατάσταση φόρτωσης παρουσιάζονται παρακάτω:

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b><u>TRIALITY</u></b>							
$R_F$ [kp]	34986.6	40669.9	46753.6	<b>53234.5</b>	60109.6	63694.3	67376.4
<b><u>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</u></b>							
$R_F$ [kp]	59186.0	68796.9	79084.6	<b>90043.5</b>	101668.7	107729.7	113955.5

**Πίνακας 6.5:** Αντίσταση τριβής για την Water Ballast Departure Condition

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η αντίσταση τριβής του TRIALITY είναι σε αυτή την κατάσταση φόρτωση μικρότερη κατά **40.9%** σε σχέση με το συμβατικό VLCC, λόγω της πολύ μικρότερης βρεχόμενης επιφάνειας του TRIALITY. Προφανώς, εξαιτίας της μεγάλης συμβολής της αντίστασης τριβής στην ολική αντίσταση των πλοίων, η ολική αντίσταση του TRIALITY αναμένεται να είναι και αυτή αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη του συμβατικού πλοίου. Τα αποτελέσματα της μεθόδου Holtrop-Mennen για την αντίσταση των πλοίων σε ένα εύρος ταχυτήτων από 12 έως 17 κόμβους παρουσιάζονται στον πίνακα 6.6. Η ολική αντίσταση συμβολίζεται με  $R_T$  και η ισχύς ρυμούλκησης με EHP.

Υπενθυμίζεται ότι οι περιορισμοί για την μέθοδο Holtrop-Mennen για δεξαμενόπλοια είναι οι εξής:

Max Froude no.	$C_p$		L/B		B/T	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0.24	0.73	0.85	5.1	7.1	2.4	3.2

*Πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ και τα δύο πλοία βρίσκονται εντός των ορίων για τον πρισματικό συντελεστή  $C_p$ , δεν καλύπτουν τον περιορισμό για τον λόγο B/T και το TRIALITY δεν ικανοποιεί ούτε τον λόγο L/B. Ωστόσο, η μέθοδος εφαρμόζεται με επιφύλαξη για την ακρίβειά της στην κατάσταση αυτή. Σίγουρα, όμως, μπορεί να εξαχθεί ένα ποιοτικό συμπέρασμα για την αντίσταση των δύο πλοίων στην κατάσταση ερματισμού.*

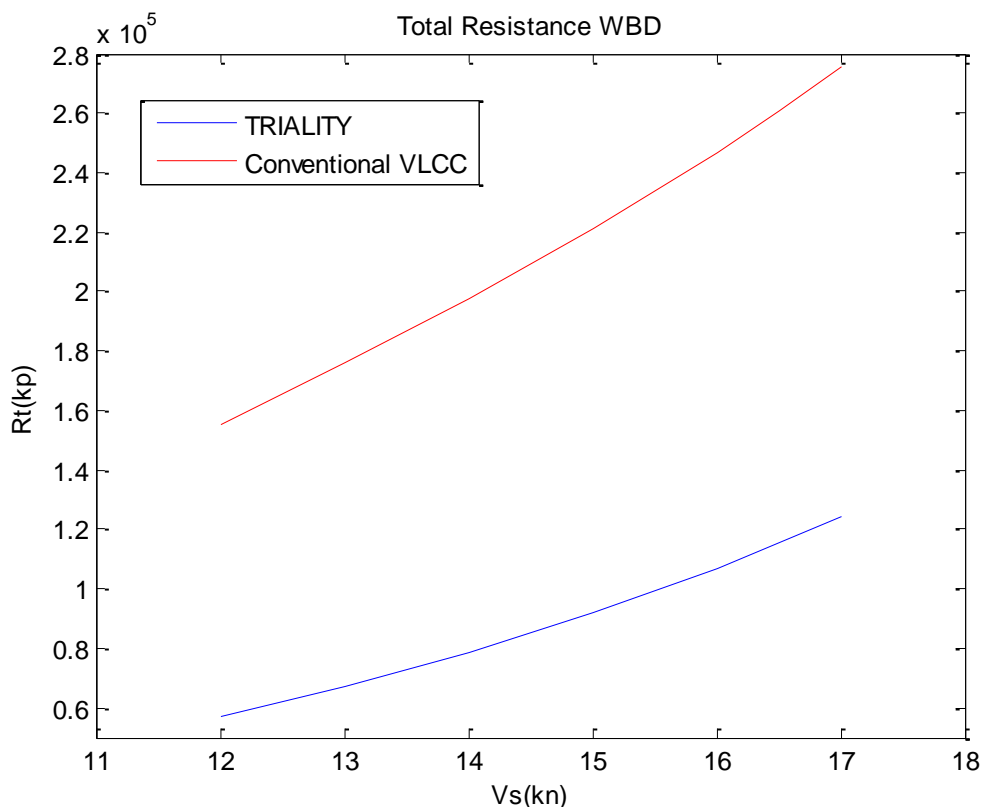
$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16,5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b>TRIALITY</b>							
$R_T$ [kp]	57379.4	67423.6	78436.6	<b>91784.7</b>	106835.7	<b>115258.5</b>	124293.2
EHP[PS]	4723	6012	7532	<b>9443</b>	11724	<b>13045</b>	14493
<b>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</b>							
$R_T$ [kp]	155364	175901	197631.2	<b>221054.1</b>	246750.9	<b>260598.7</b>	275670.1
EHP[PS]	12788	15684	18978	<b>22743</b>	27077	<b>29493</b>	32144

**Πίνακας 6.6:** Αποτελέσματα μεθόδου Holtrop-Mennen

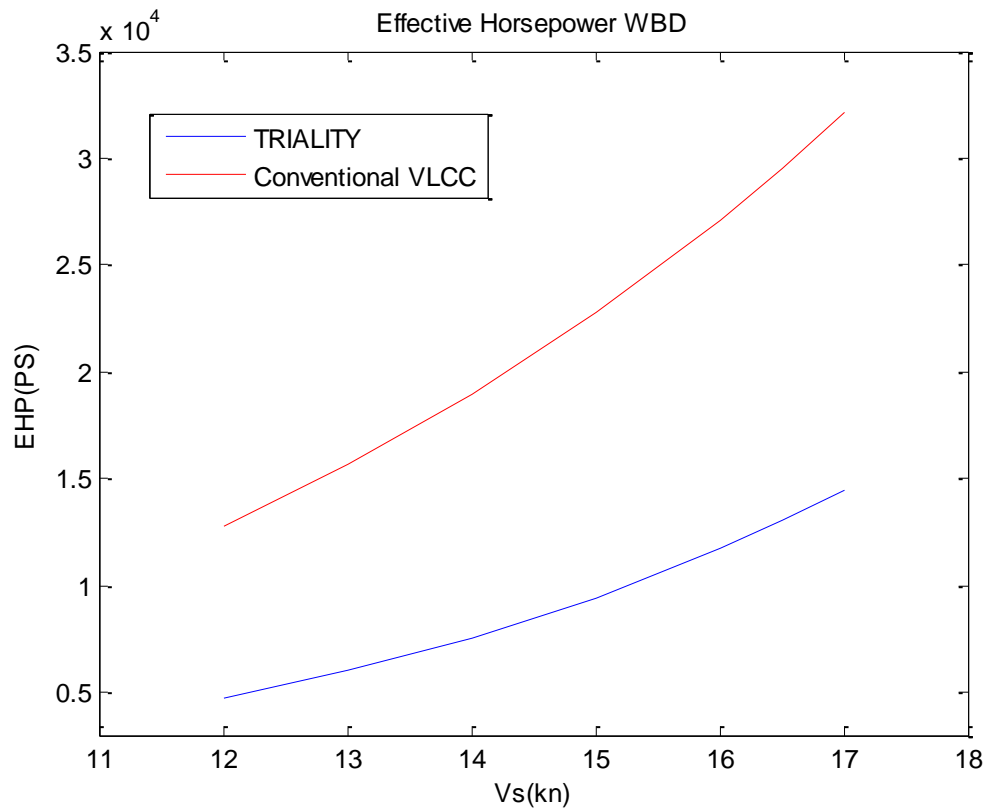
Όπως παρατηρούμε, η ολική αντίσταση και επομένως και ισχύ ρυμούλκησης του πλοίου TRIALITY είναι μειωμένη κατά **53%-69%** σε σχέση με το συμβατικό VLCC στην κατάσταση ερματισμού. Στην ταχύτητα των 16.5 kn η διαφορά αυτή είναι **55.8%** και στους 15 kn η διαφορά είναι **58.5%**. Αυτό, ίσως συνεπάγεται, ότι και το συμβατικό VLCC θα μπορούσε να έχει μικρότερο βύθισμα αν δεν ακολουθούσε τον κανονισμό του IMO, αλλά σίγουρα δεν θα είχε την ίδια απαιτούμενη ισχύ ρυμούλκησης σε αυτή την κατάσταση σε σχέση με το TRIALITY, καθώς αντίσταση τριβής του TRIALITY είναι στην κατάσταση ερματισμού μικρότερη κατά 41% σε σχέση με το συμβατικό VLCC.

Παρακάτω επισυνάπτονται τα διαγράμματα  $R_T - V_s$  και EHP-  $V_s$  των δύο πλοίων στην κατάσταση ερματισμού.

### Διάγραμμα $R_T - V_s$



### Διάγραμμα ΕHP-V<sub>s</sub>



### 6.1.3 Συμπεράσματα

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, παραθέτουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, στον επόμενο πίνακα, για δύο ταχύτητες υπηρεσίες, καθώς με αυτές τις ταχύτητες κυρίως ταξιδεύουν τα δύο πλοία.

	VLCC “TRIALITY”	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC	ΔΙΑΦΟΡΑ
<b>TAXYTHTA YΠHPEΣIAC 15 kn</b>			
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Full Load Condition</b>	120805.5 kp	125270.9 kp	<b>3.6 %</b>
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Water Ballast Condition</b>	53234.5 kp	90043.5 kp	<b>40.9 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Full Load Condition</b>	208093.5 kp	233178.5 kp	<b>10.8 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Water Ballast Condition</b>	91784.7 kp	221054.1 kp	<b>58.5%</b>
<b>TAXYTHTA YΠHPEΣIAC 16.5 kn</b>			
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Full Load Condition</b>	144545.5 kp	149880.8 kp	<b>3.6 %</b>
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Water Ballast Condition</b>	63694.3 kp	107729.7 kp	<b>40.9 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Full Load Condition</b>	251023.5 kp	282440.9 kp	<b>11.1 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Water Ballast Condition</b>	115258.5 kp	260598.7 kp	<b>55.8 %</b>

**Πίνακας 6.7:** Συγκριτικά αποτελέσματα για την αντίσταση των δύο πλοίων

Κατά την παρατήρηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, συμπεραίνεται ότι, σύμφωνα με την μέθοδο Holtrop-Mennen, η ολική αντίσταση του TRIALITY είναι περίπου **11%** μικρότερη από την αντίστοιχη του συμβατικού VLCC, κοντινής μεταφορικής ικανότητας, στην κατάσταση Full Load Departure και **56%-58.5%** μικρότερη στην κατάσταση Water Ballast Departure στις ταχύτητες των 16.5 και 15 κόμβων αντίστοιχα. Επίσης, η αντίσταση τριβής του TRIALITY είναι **3.6%** μικρότερη στην Full Load Condition και **40.9 %** μικρότερη στην Water Ballast Condition σε σχέση με την αντίστοιχη του συμβατικού VLCC.

Να τονίσουμε ξανά εδώ ότι το TRIALITY δεν ικανοποιεί τους περιορισμούς της μεθόδου για τους λόγους B/T και L/B και το συμβατικό τον περιορισμό για τον λόγο B/T για την Water Ballast Condition, γι' αυτό αναφέρθηκε ότι η μέθοδος εφαρμόστηκε με μια επιφύλαξη σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης.

Πάντως, η μειωμένη ολική αντίσταση του TRIALITY στην Full Load Condition και η διαφαινόμενη σημαντικά μειωμένη ολική αντίσταση του TRIALITY στην Water Ballast Condition, λόγω της πολύ μικρότερης αντίστασης τριβής που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ολικής αντίστασης των πλοίων, προσδίδει στο πλοίο αυτό ένα πολύ κρίσιμο συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με το συμβατικό, καθώς και στις δύο καταστάσεις το TRIALITY απαιτεί μικρότερη ώση και επομένως μικρότερη ιπποδύναμη μηχανής, με αποτέλεσμα και την συνεπαγόμενη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων ρύπων. Όπως είναι γνωστό, αυτό ειδικά είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ικανοποίηση των νέων και επίκαιρων κανονισμών του IMO για τις εκπομπές αερίων ρύπων και του 'Επιτευχθέντος Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας' (EEDI), που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

## **6.2 Επιλογή των Ελικών Του Triality**

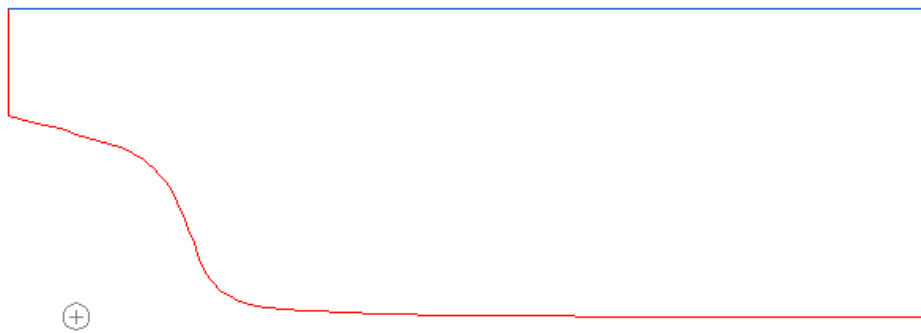
Αρχικά, κατά την επιλογή της έλικας ή των ελικών ενός πλοίου, λαμβάνονται υπόψη οι κανονισμοί της MARPOL και οι απαιτήσεις-ανοχές του ακροπτερυγίου προκειμένου να προσδιοριστεί η διάμετρο της έλικας.

Με βάση τους κανονισμούς της MARPOL, η έλικα θα πρέπει να είναι πλήρως βυθισμένη στο νερό, σε κάθε κατάσταση φόρτωσης του πλοίου. Ακόμη, το χαμηλότερο βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, το οποίο είναι στην κατάσταση Water Ballast Arrival, όπως προκύπτει από το κεφάλαιο 3, είναι 8 μέτρα. Ένα συμβατικό VLCC έχει μια έλικα περίπου 10 m, αλλά στο TRIALITY, το οποίο έχει πολύ μικρή ποσότητα έρματος και έχει χαμηλό βύθισμα στην κατάσταση ερματισμού, για να εφαρμοστεί αυτό, θα έπρεπε το αυξηθεί κατά πολύ το μήκος του και να μικρύνει σημαντικά το πλάτος του. Για τον λόγο αυτό, επιλέγεται ένα σύστημα πρόωσης με 2 έλικες 7 μέτρων και ένα πηδάλιο (Report DNV), εξασφαλίζοντας ότι έτσι οι έλικες θα είναι πλήρως βυθισμένες

σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Επίσης, θεωρούμε, σε πρώτη προσέγγιση, ότι οι έλικες είναι τετράπτερες.

Επομένως, επιλέγεται:  $D_{\text{propeller}} = 7 \text{ m}$ ,  $N=2$ ,  $z=4$ , με  $N$  τον αριθμό των ελίκων και  $z$  ο αριθμός των πτερυγίων των ελίκων.

Παρακάτω απεικονίζεται η μορφή της πρύμνης του TRIALITY, όπως αυτή πάρθηκε από τις γραμμές στο πρόγραμμα *LINES* του *AVEVA M12*.



**Σχήμα :** Μορφή πρύμνης του TRIALITY

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα, τοποθετώντας κατάλληλα τους άξονες των ελίκων των 7 μέτρων, για παράδειγμα στα 4-4.5 μέτρα, μπορούν να καλυφθούν οι ανοχές του ακροπτερυγίου σύμφωνα με τους διάφορους νηογνώμονες, καθώς υπάρχει αρκετή διαθέσιμη απόσταση από το ανώτερο σημείο του ακροπτερυγίου έως την γάστρα

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι συντελεστές ομόρου  $w$ , μείωσης ώσεως  $t$ , και σχετικής περιστροφής  $n_R$ .

Από τις σημειώσεις του μαθήματος <<Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου>> έχουμε για διπλέλικα πλοία τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους:

#### Συντελεστής ομόρου $w$

##### Kruger

$$w = 0.81 \times C_B - 0.34 = 0.15$$

##### Heckscher

$$w = 0.7 \times C_p - 0.3 = 0.274$$

Από τον μέσο όρο των παραπάνω μεθόδων προκύπτει:  $w = 0.212$

### Συντελεστής μείωσης ώσης t

#### SSPA

$$t = w \times \left( 1.67 - \frac{2.3 C_B}{C_{WL}} + 1.5 C_B \right) = 0.146$$

#### Heckscher

$$t = 0.5 \times C_P - 0.18 = 0.230$$

#### Danckwardt

$$t = 0.52 \times C_B - 0.18 = 0.1345$$

Από τον μέσο όρο των παραπάνω μεθόδων προκύπτει: **t = 0.17**

### Συντελεστής σχετικής περιστροφής n<sub>R</sub>

Ο συντελεστής σχετικής περιστροφής δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$n_R = 0.9737 - 0.111 \times \left( C_P - 0.0225 \times \left( LCB - \frac{L}{2} \right) \right) - 0.0632P/D$  Για το TRIALITY ισχύει: **n<sub>R</sub>=0.847** , όπου LCB=184.03 m, L=351 m, C<sub>P</sub>=0.82, P/D=1.0 (Report DNV). Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος GRID θα εξετάσουμε αν είναι ο λόγος P/D είναι ο βέλτιστος δυνατός.

Ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας των ελίκων A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub> υπολογίζεται, αρχικά με βάση τον τύπο του Keller:

$$\frac{A_E}{A_0} = \left\{ \frac{(1.3 + 0.3 \cdot z) \cdot T}{(P_o - P_{v,15C}) \cdot D_{prop}^2} \right\} + k \quad , \text{όπου:}$$

**T = R<sub>T</sub> / (1-t) = 125357.93 kr** η απαιτούμενη ώση για κάθε έλικα,

**P<sub>o</sub> = P<sub>a</sub> + ρ<sub>sw</sub>gh = 28907.745 kr/m<sup>2</sup>** η πίεση στο βύθισμα της έλικας,

**P<sub>a</sub> = 10329.72 kr/m<sup>2</sup>**, η ατμοσφαιρική πίεση,

**h = T<sub>d</sub> - D<sub>ελ</sub>/2 + 0,02 = 18.109 m** η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου του άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας,



$P_{v,15^{\circ}\text{C}} = 173.35 \text{ kPa}$  η πίεση ατμοποίησης νερού στους  $15^{\circ}\text{C}$  ,

$\rho_{\text{sw}} = 104.6127 \text{ kgs}^2/\text{m}^4$ , η πυκνότητα θαλασσινού νερού στους  $15^{\circ}\text{C}$ ,

$k = 0.15$  συντελεστής ( SNAME PNA VOL.2 p.183)

$z = 4$  , ο αριθμός πτερυγίων της κάθε έλικας,

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω μεγέθη προκύπτει:  $A_E/A_0 = 0.37$

Επιλέγουμε λοιπόν στη συνέχεια, από τις συστηματικές σειρές ελίκων Wagenigen-B τετράπτερη έλικα με λόγο εκτεταμένης επιφάνειας:

$$A_E/A_0 = 0.40$$

Για τον υπολογισμό των υπόλοιπων χαρακτηριστικών μεγεθών της έλικας του υπό σχεδίαση πλοίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GRID-95 στον H/Y. Στο αρχείο input του προγράμματος εισήχθησαν τα εξής δεδομένα:

- $D_{\text{prop}} = 7 \text{ m}$
- $N = 2$
- $Z = 4$
- $A_E/A_0 = 0.40$
- $V_s = 15 \text{ kn} = 7.716 \text{ m/s}$
- $R_T = 208093.5 \text{ kP}$
- $w = 0.212$
- $t = 0.170$
- $\eta_R = 0.847$
- Shaft efficiency = 0.99

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν επιλέγουμε τον λόγο P/D που έχει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης P.C. Οπότε έχουμε για κάθε προπέλα:

- $P/D = 1.0$
- $N = 87.2 \text{ rpm}$
- $T = 125357.5 \text{ kP}$
- $\text{SHP} = 20720.8 \text{ PS}$
- $\text{P.C.} = 0.517$

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι, όντως, ο λόγος  $P/D = 1.0$  που είχε επιλεγεί από την αρχή με βάση το report του DNV για να υπολογίσουμε τον βαθμό απόδοσης σχετικής περιστροφής  $n_R$  είναι ο βέλτιστος. Το input και το output του προγράμματος παρατίθενται στο Παράρτημα Δ. Στο σημείο αυτό παρατηρούμε, ότι η τελική απαιτούμενη ιπποδύναμη στον άξονα των μηχανών είναι πιο αυξημένη από ότι αναμενόταν. Αυτό οφείλεται στον όχι και τόσο υψηλό βαθμό απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης και στην τιμή του συντελεστή μείωσης της ώσης η οποία έχει προκύψει από προσεγγιστικούς τύπους. Η αυξημένη ιπποδύναμη στον άξονα των μηχανών του TRIALITY επηρεάζει το απαιτούμενο MCR τους, τις εκπομπές αέριων ρύπων και τον δείκτη EEDI.

Μετά την επιλογή της βέλτιστων ελίκων για το TRIALITY, ακολουθεί ο έλεγχος καταλληλότητας της όσον αφορά τη σπηλαίωση και την αντοχή των πτερυγίων.

Η σπηλαίωση αποτελεί ένα επικίνδυνο φαινόμενο για τις έλικες των πλοίων που μπορεί να προκαλέσει διάβρωση, εκπομπή θορύβου, διέγερση σε κραδασμούς και απώλεια ώσης και εμφανίζεται σε περιοχές ροής με μεγάλες ταχύτητες ρευστού και άρα μικρές πιέσεις (Bernoulli). Ουσιαστικά πρόκειται για ατμοποίηση ύδατος που δημιουργείται από πτώση πίεσης λόγω αύξησης της ταχύτητας, υπό συνθήκες περίπου σταθερής θερμοκρασίας.

Για τον έλεγχο της απαίτησης <<η σπηλαίωση να είναι αποδεκτή>> χρησιμοποιούμε το κριτήριο Burrill που είναι αρκετά διαδεδομένο. Οι άξονες του διαγράμματος Burrill περιέχουν τα αδιάστατα μεγέθη  $\tau_c$  και  $\sigma_{0,7R}$ .

**Έλεγχος έλικας σε σπηλαίωση σύμφωνα με το κριτήριο του Burrill**

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, υπολογίζουμε αρχικά τις τιμές  $\tau_c$  και  $\sigma_{0,7R}$  και εν συνεχεία ελέγχουμε αν το αντίστοιχο σημείο στο διάγραμμα Burrill βρίσκεται στην αποδεκτή περιοχή (προτεινόμενο άνω όριο για έλικες εμπορικών πλοίων γύρω στο 5% back cavitation).

**Ισχύει:**

$$\sigma_{0,7R} = \frac{p_0 - p_{v,15^\circ\text{C}}}{q_{0,7R}}$$

$$\tau_C = \frac{\frac{T}{A_P}}{q_{0,7R}}$$

$$\text{όπου: } V_{0,7R}^2 = V_A^2 + (0,7 \times \pi \times N \times D_{\text{prop}})^2 = 537.4645 \text{ m}^2/\text{s}^2,$$

$$\text{με } V_A = V_s(1-w) = 7.716(1-0.212) = 6.080 \text{ m/s},$$

$$N = 87.2/60 = 1.453 \text{ στροφές/s}$$

$$q_{0,7R} = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{sw},15^\circ\text{C}} \times V_{0,7R}^2 = 28112.807 \text{ kp/m}^2$$

$$A_0 = \frac{\pi \times D_{\text{prop}}^2}{4} = 38.485 \text{ m}^2, \text{ το εμβαδό δίσκου της έλικας}$$

$$A_E = \frac{A_E}{A_0} \times A_0 = 15.393 \text{ m}^2, \text{ η εκτεταμένη επιφάνεια}$$

$$A_D \approx A_E = 15.393 \text{ m}^2, \text{ η ανεπτυγμένη επιφάνεια}$$

$$A_P \approx A_D \times \left(1.067 - 0.229 \frac{P}{D_{\text{prop}}}\right) = 12.899 \text{ m}^2, \text{ η προβεβλημένη επιφάνεια.}$$

Υπολογίζοντας και αντικαθιστώντας τα επιμέρους άγνωστα μεγέθη, τελικά προκύπτει:

$$\sigma_{0,7R} = \frac{p_0 - p_{v,15^\circ\text{C}}}{q_{0,7R}} = 1.122$$

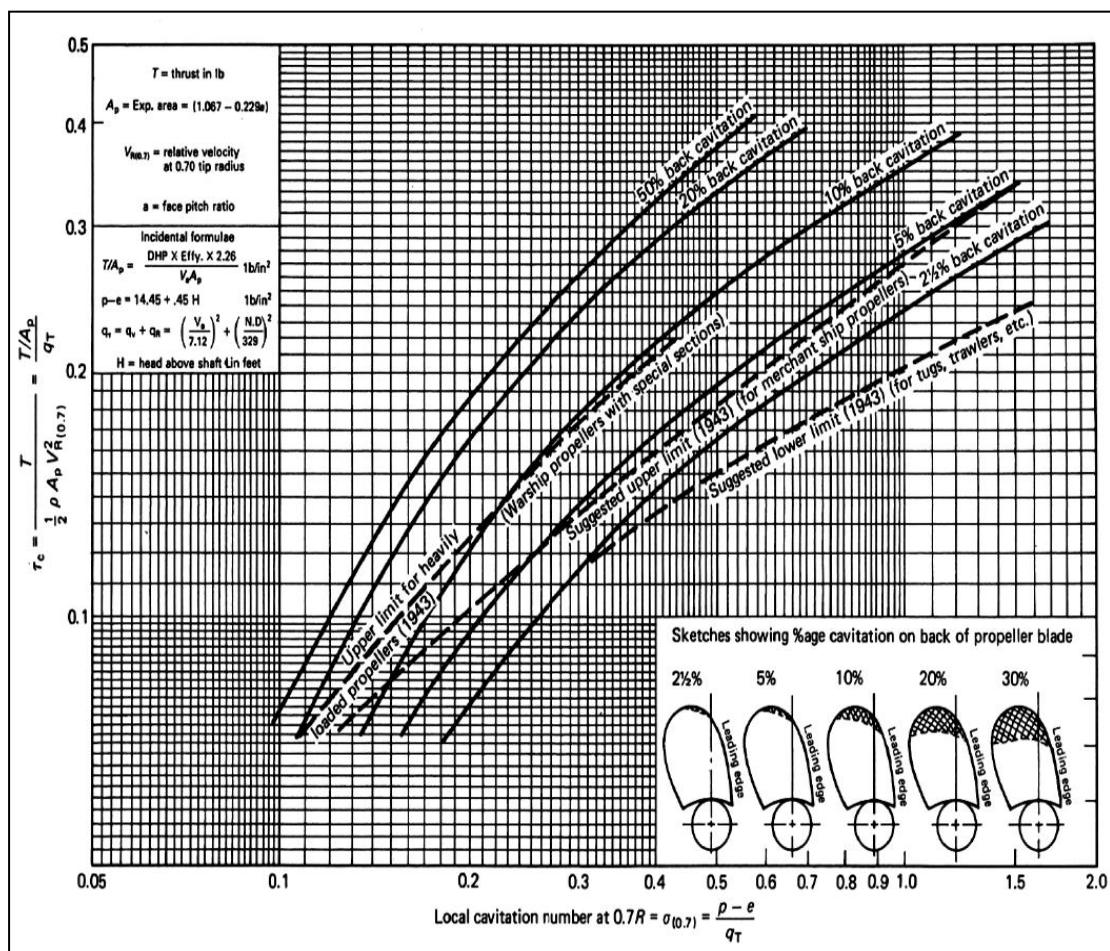
$$\tau_C = \frac{\frac{T}{A_P}}{q_{0,7R}} = 0.306$$

Τώρα πρέπει να ελέγξουμε με βάση τα στοιχεία αυτά αν το ποσοστό σπηλαίωσης που παρουσιάζουν οι έλικες είναι αποδεκτό.

Παρατηρούμε ότι το σημείο  $(\sigma_{0.7R}, \tau_c) = (1.122, 0.306)$  βρίσκεται οριακά στην αποδεκτή περιοχή του διαγράμματος Burrill, δηλαδή έως **5% back cavitation** και γύρω στο προτεινόμενο άνω όριο για έλικες εμπορικών πλοίων.

Συνεπώς, οι  
έλικες που επιλέχθηκε πληρούν το κριτήριο σπηλαίωσης.  
Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα Burrill:

### Διάγραμμα Burrill



Συγκεντρωτικά, οι βέλτιστες έλικες που επιλέγουμε είναι:

<b>Μοντέλο:</b>	<b>Wagenigen - B 4-40</b>
<b>Διάμετρος:</b>	<b><math>D_{prop.} = 7 \text{ m}</math></b>
<b>Αριθμός πτερυγίων:</b>	<b><math>z = 4</math></b>
<b>Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας:</b>	<b><math>A_E/A_0 = 0.40</math></b>
<b>Βήμα:</b>	<b><math>P/D_{prop.} = 1.0</math></b>
<b>Βέλτιστες Στροφές:</b>	<b><math>n = 87.2 \text{ rpm}</math></b>
<b>Βέλτιστη Ισχύς στον Άξονα:</b>	<b><math>SHP = 20720.8 \text{ PS}</math></b>
<b>Συντελεστής Πρόωσης:</b>	<b><math>P.C. = 0.517</math></b>
<b>Σηλαιώση:</b>	<b>Αποδεκτή</b>

Πίνακας 6.8: Χαρακτηριστικά βέλτιστων ελίκων

### **6.3 Επιλογή Καυσίμου Και Τύπου Κυρίων Μηχανών**

#### **6.3.1 Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως ναυτιλιακό καύσιμο**

Πριν την επιλογή κύριων μηχανών, πρέπει να επιλεγεί το καύσιμο με το οποίο θα λειτουργεί το TRIALITY. Από περιβαλλοντική άποψη, το φυσικό αέριο έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το ότι δεν παράγει καθόλου εκπομπές οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), καθώς δεν περιέχει καθόλου θείο. Ακόμα, επειδή ουσιαστικά είναι αέριο καύσιμο, δεν παράγονται σχεδόν καθόλου σωματίδια κατά την διαδικασία καύσης. Επίσης, όταν το φυσικό αέριο καίγεται σε μια χαμηλής πίεσης μηχανής φτωχού μείγματος (Low pressure lean burn engine) οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) μειώνονται έως και 90% σε σχέση με πετρελαιοκίνητες μηχανές, ενώ όταν καίγεται σε υψηλής πίεσης μηχανής διπλού καυσίμου οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) μειώνονται περίπου 13% συγκρινόμενες με την ίδια μηχανή όταν χρησιμοποιεί πετρέλαιο ως καύσιμο. Επιπλέον, και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μειώνονται έως και 25% όταν χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο ως καύσιμο αντί του πετρελαίου, κάτι που οφείλεται στον μεγαλύτερο λόγο άνθρακα-υδρογόνου του φυσικού αερίου.

Για να χρησιμοποιηθεί το φυσικό αέριο ως καύσιμο στα πλοία, ο όγκος αποθήκευσής του πρέπει να κρατηθεί σε ένα ελάχιστο επίπεδο. Η πιο αποδοτική επιλογή για τον όγκο αυτό είναι η αποθήκευσή του σε υγρή μορφή, ως υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο καταλαμβάνει 600 φορές μικρότερο όγκο από ότι το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση και έχει θερμοκρασία περίπου - 162 °C σε ατμοσφαιρική πίεση, το οποίο αυτό επηρεάζει τις εγκαταστάσεις πάνω στο πλοίο, καθώς ο χάλυβας ενός φυσιολογικού πλοίου είναι πολύ εύθραυστος όταν εκτίθεται σε τέτοιες θερμοκρασίες. Οι δεξαμενές και τα συστήματα σωληνώσεων πρέπει να κατασκευάζονται σε χαμηλής θερμοκρασίας χάλυβα, η προστασία έναντι διαρροής είναι απαραίτητη γύρω από πιθανά σημεία διαρροής και η μόνωση θερμοκρασίας σε κάποιους χώρους είναι επίσης απαραίτητη για να αποφευχθούν οι θερμογέφυρες (cold bridges). Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και είναι ελαφρύτερο του αέρα και έχει θερμοκρασία αυτανάφλεξης τους 595 °C.

### 6.3.2 Επιλογή εγκατάστασης καυσίμου

Υπάρχουν οι εξής δύο επιλογές όσον την εγκατάσταση σε περίπτωση χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως κύριο καύσιμο:

**α)** Η επιλογή να έχουμε ένα πλοίο με πλήρη ευελιξία καυσίμων, η οποία είναι πιο ελκυστική όταν υπάρχει υψηλή αβεβαιότητα σχετικά με την τιμή των καυσίμων. Σε αυτή την περίπτωση, το πλοίο σχεδιάζεται με την ικανότητα να μεταφέρει και να χρησιμοποιεί και LNG και βαρύ πετρέλαιο (HFO) αναλόγως την τιμή των καυσίμων και την περιοχή λειτουργίας του πλοίου (εκτός ή εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών ή άλλων περιοχών με περιορισμούς στις εκπομπές αέριων ρύπων). Μια τέτοια επιλογή συνεπάγεται την εγκατάσταση συστημάτων βαρέως πετρελαίου (HFO) και υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) καθώς και εγκατάσταση περαιτέρω συστημάτων για μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων.

**β)** Η επιλογή να χρησιμοποιηθεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως κύριο καύσιμο και πετρέλαιο μόνο ως pilot και back-up καύσιμο για λόγους ασφάλειας και για μικρό χρονικό διάστημα λειτουργίας.

Στην παρούσα εργασία, η σχεδίαση του πλοίου γίνεται με βάση την δεύτερη επιλογή. Επομένως, επιλέγεται το πλοίο να διαθέτει εγκατάσταση διπλού καυσίμου και όλες οι μηχανές εσωτερικής καύσης κινούμενες με αέριο καύσιμου να είναι διπλού τύπου. Οι μηχανές χρησιμοποιούν για την ανάφλεξη του μείγματος μια μικρή ποσότητα πιλοτικού καυσίμου (pilot fuel) το οποίο εγχύεται ώστε να προκληθεί έναυση και μπορούν αμέσως ανά πάσα στιγμή να διακόψουν την λειτουργία τους αν χρειαστεί να σταματήσει η παροχή αερίου. Η έγχυση του φυσικού αερίου πραγματοποιείται μετά το πέρας εισαγωγής αέρα κατά την φάση της συμπίεσης και η έγχυση του πιλοτικού καυσίμου γίνεται στο πέρας της συμπίεσης. Ακόμα, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί ως pilot και back-up καύσιμο το καλύτερης ποιότητας (σε σχέση με το βαρύ πετρέλαιο) Marine Gas Oil, με το πλεονέκτημα να αποφεύγεται η εγκατάσταση συστημάτων που απαιτούνται σε περίπτωση χρήσης βαρέως πετρελαίου (θέρμανση δεξαμενών, διαχωριστήρες πετρελαίου, pipe heat tracing, booster units).

Κατά την εκκίνηση και σε χαμηλό φορτίο λειτουργίας όπου οι κινητήρες διπλού καυσίμου δεν μπορούν να λειτουργήσουν με αέριο, το χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο marine gas oil μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών αερίων χωρίς κάποια επιπρόσθετη ανάγκη για scrubbing.

### 6.3.3 Επιλογή κύριων μηχανών

Το επόμενο βήμα αφορά στην επιλογή της κατάλληλης Κύριας Μηχανής πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου. Εφόσον έχουμε επιλέξει 2 έλικες και σύμφωνα και με το report του DNV θα επιλέξουμε δύο 2-X κύριες μηχανές που η κάθε μια θα συνδέεται απευθείας με μια έλικα. Βασιζόμενοι στις έλικες που επιλέξαμε παραπάνω και στα αποτελέσματα του υπολογισμού της αντίστασης ρυμούλκησης του πλοίου, τρέχουμε το πρόγραμμα GRID 95 στον H/Y για τις ακόλουθες τρεις περιπτώσεις κατάστασης γάστρας:

- Κατάσταση καθαρής γάστρας – Clean hull
- Κατάσταση ρυπασμένης γάστρας σε ήρεμο νερό – Fouled 20%
- Κατάσταση ρυπασμένης γάστρας σε κυματισμό – Fouled 40%

Από τα αποτελέσματα, προκύπτουν οι καμπύλες SHP - RPM και  $V_s$  - RPM, που αφορούν στη συνεργασία μηχανής - έλικας, και βάσει των οποίων θα επιλεγθεί ο καταλληλότερος κινητήρας. Έχουμε λοιπόν:

Clean Hull			20% Fouled			40% Fouled		
$V_s$ (kn)	N (rpm)	SHP (PS)	$V_s$ (kn)	N (rpm)	SHP (PS)	$V_s$ (kn)	N (rpm)	SHP (PS)
12	70.4	10987.4	12	75	13771.9	12	79.3	16689.8
13	76	13770.5	13	80.9	17255.2	13	85.5	20911
14	81.6	16994.4	14	86.8	21289.6	14	91.7	25800
15	87.2	20720.8	15	92.8	25954.3	15	98	31452.7
16	92.9	25048.8	16	98.9	31371.9	16	104.5	38017.9
16.5	95.8	27478	16.5	102	34414.3	16.5	107.7	41704.9
17	98.8	30127.6	17	105.1	37736.0	17	111.1	45730.4

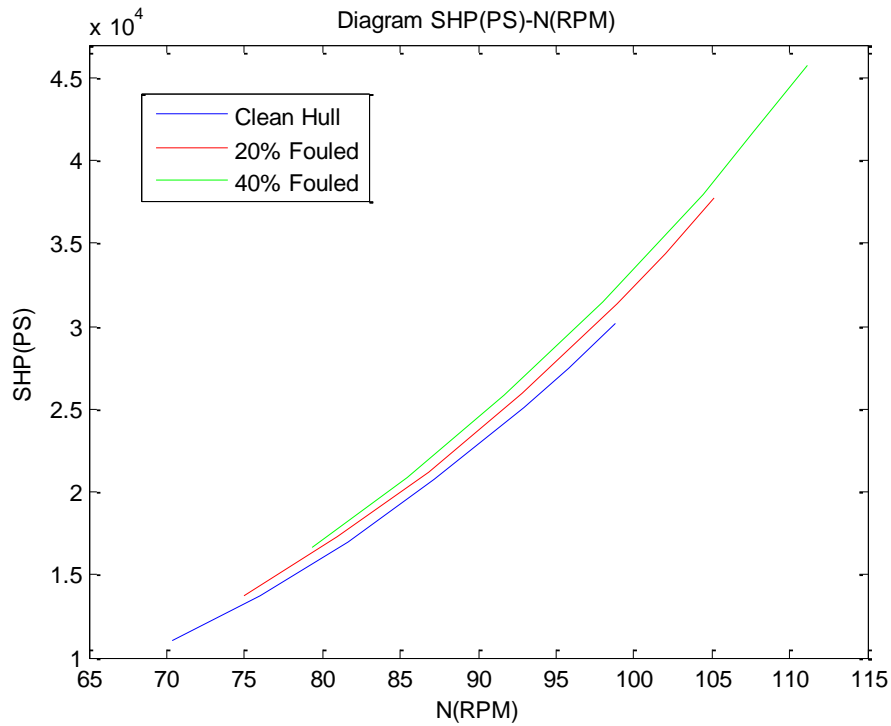
**Πίνακας 6.9 :** Ποσοτικά χαρακτηριστικά καμπυλών SHP - RPM και  $V_s$  - RPM για καθαρή, ρυπασμένη σε ήρεμο νερό και ρυπασμένη σε κυματισμό γάστρα

Οπότε, για την επιλογή του κινητήρα, λαμβάνουμε υπόψη τα σημεία που αντιστοιχούν στην ταχύτητα υπηρεσίας,  $V_s = 15$  kn και στις δύο πρώτες από τις εξεταζόμενες καταστάσεις γάστρας (clean hull, 20% Fouled). Στην επόμενη σελίδα φαίνονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

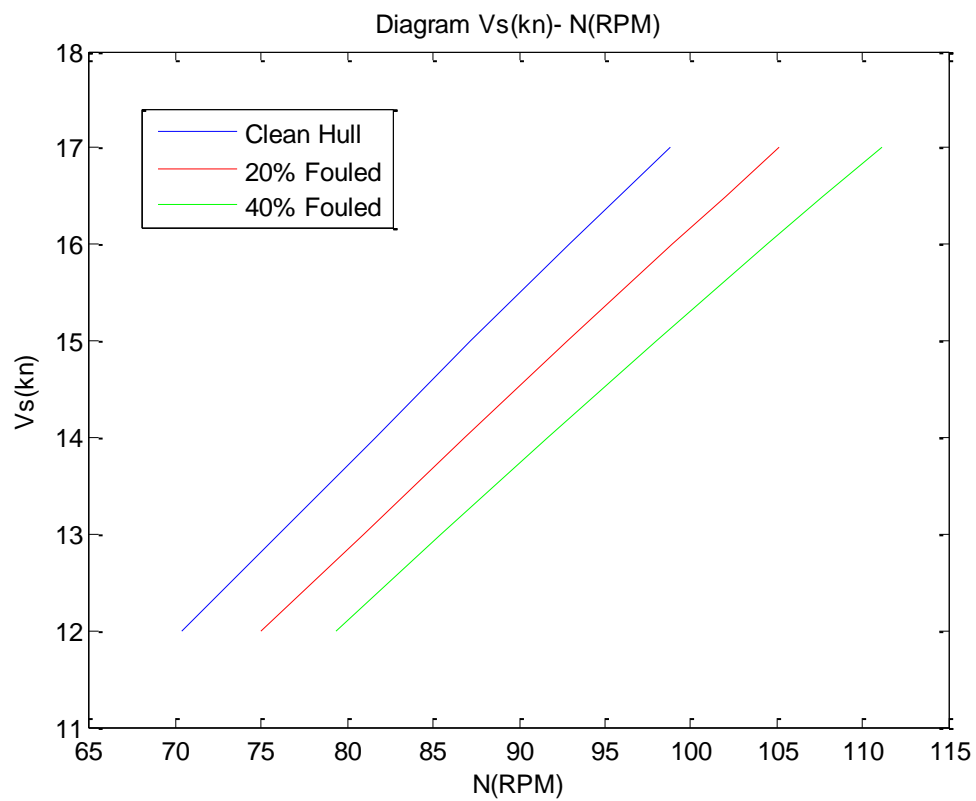
Clean Hull			20% Fouled		
N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)
87.2	20720.8	15240.2	92.8	25954.3	19089.4



### Διάγραμμα SHP(PS)-N(rpm)



### Διάγραμμα $V_s$ (m/s)-N(rpm)



Επιλέγουμε την ισχύ των κύριων μηχανών έτσι ώστε η προωστήρια εγκατάσταση να διατηρεί την ταχύτητα σχεδίασης σε ισχύ λειτουργίας στο 80-90% του MCR και με ισχύ ρυμούλκησης προσαυξημένη κατά 20%. Από τις χαρακτηριστικές SHP-N στην προαναφερθείσα κατάσταση, θα πρέπει να ισχύουν:

$$\text{SHP} = 28838 \text{ PS} - 32443 \text{ PS}, \text{ με } N = 96 - 98.5 \text{ αντίστοιχα.}$$

Ως Κύριες Μηχανές Πρόωσης επιλέγουμε δύο δίχρονους Κινητήρες διπλού καυσίμου και πρέπει να έχουν ως μέγιστη συνεχή ισχύ (MCR) από **21211 KW** έως **23862 KW**.

Για την επιλογή του κατάλληλων κινητήρων θα εξετάσουμε το Διάγραμμα Περιοχής Λειτουργίας των διαφόρων διαθέσιμων από τους κατασκευαστές κινητήρων, το οποίο θα πρέπει να εμπεριέχει τα παραπάνω σημεία λειτουργίας.

Σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτήσεις, οι κινητήρες που επιλέγονται να εγκατασταθούν είναι της MAN B&W με κωδικό G60ME-C9-GI με 8 κυλίνδρους, με: **MCR = 21440 kW** και **MAX RPM= 97**

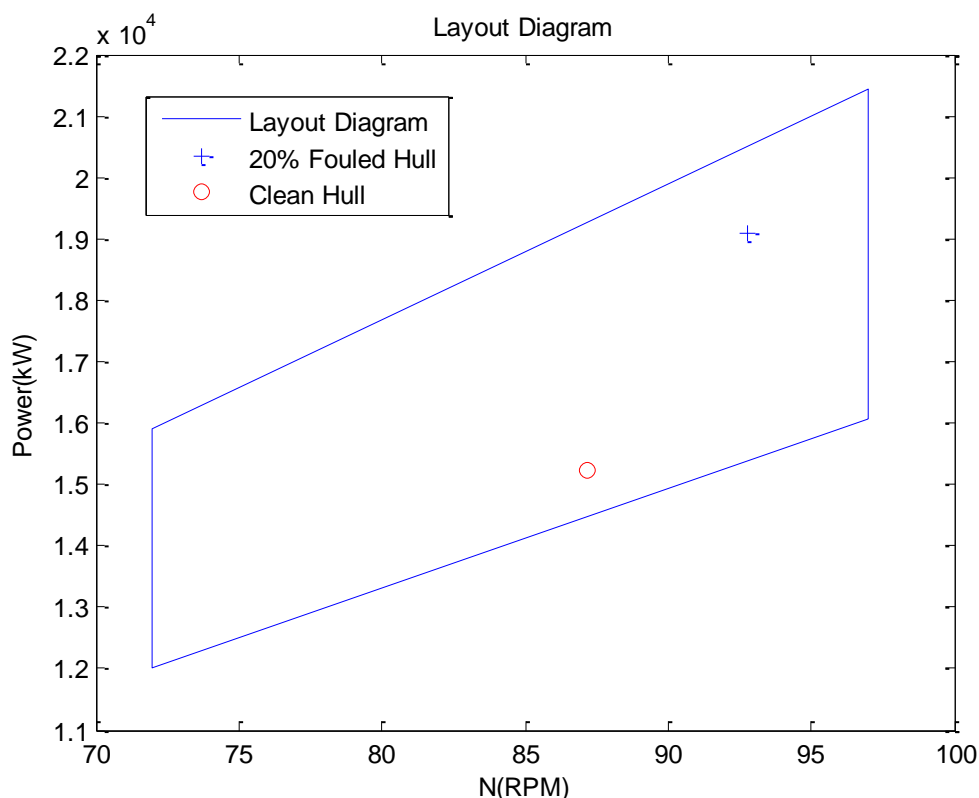
Το Διάγραμμα Περιοχής Λειτουργίας (Layout Diagram), όπως προκύπτει από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει η MAN στο Project Guide του παραπάνω κινητήρα είναι το παρακάτω (σχήμα 26), στο οποίο έχουν συμπεριληφθεί τα σημεία λειτουργίας – απαιτήσεων για καθαρή και ρυπασμένη γάστρα.

Το Διάγραμμα Περιοχής Λειτουργίας του κινητήρα ορίζεται, σύμφωνα με τις πληροφορίες από το Project Guide, από τα παρακάτω σημεία:

	<b>SPEED (RPM)</b>	<b>POWER (kW)</b>
L1	97	21440
L2	97	16080
L3	72	15920
L4	72	12000

Σχεδιάζουμε το Διάγραμμα Περιοχής Λειτουργίας (Layout Diagram) του κινητήρα που επιλέξαμε καθώς και τα δύο σημεία απαίτησης που περιγράφονται παραπάνω.

### Layout Diagram

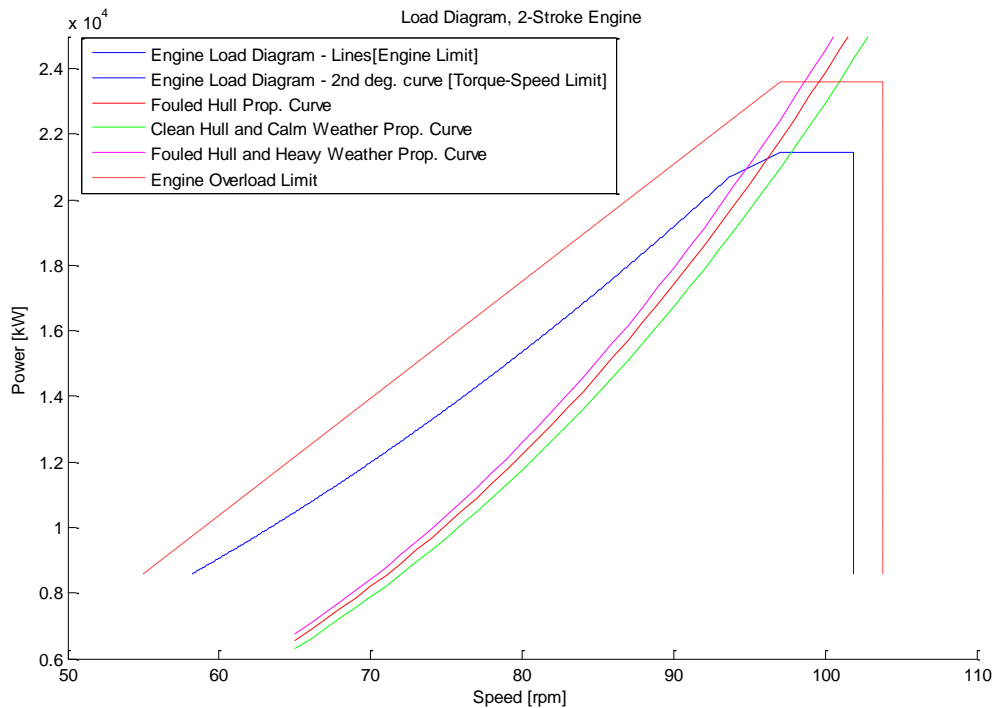


Εν συνεχεία, χαράσσουμε το Διάγραμμα Φόρτισης (Loading Diagram).

Από το ακόλουθο διάγραμμα προκύπτει και ο παρακάτω πίνακας οριακών συνθηκών λειτουργίας:

Maximum Speed				
Κατάσταση λειτουργίας	Μέγιστη ταχύτητα (kn)	Ισχύς άξονα (SHP)		Στροφές (RPM)
		PS	KW	
Clean Hull	16.811	29150.2	21440	97.7
20%	15.565	29003.1	21331.8	96.3
40%	14.541	28651.7	21073.3	95

### Διάγραμμα Φόρτισης



#### 6.3.4 Διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης και δεξαμενών καυσίμου

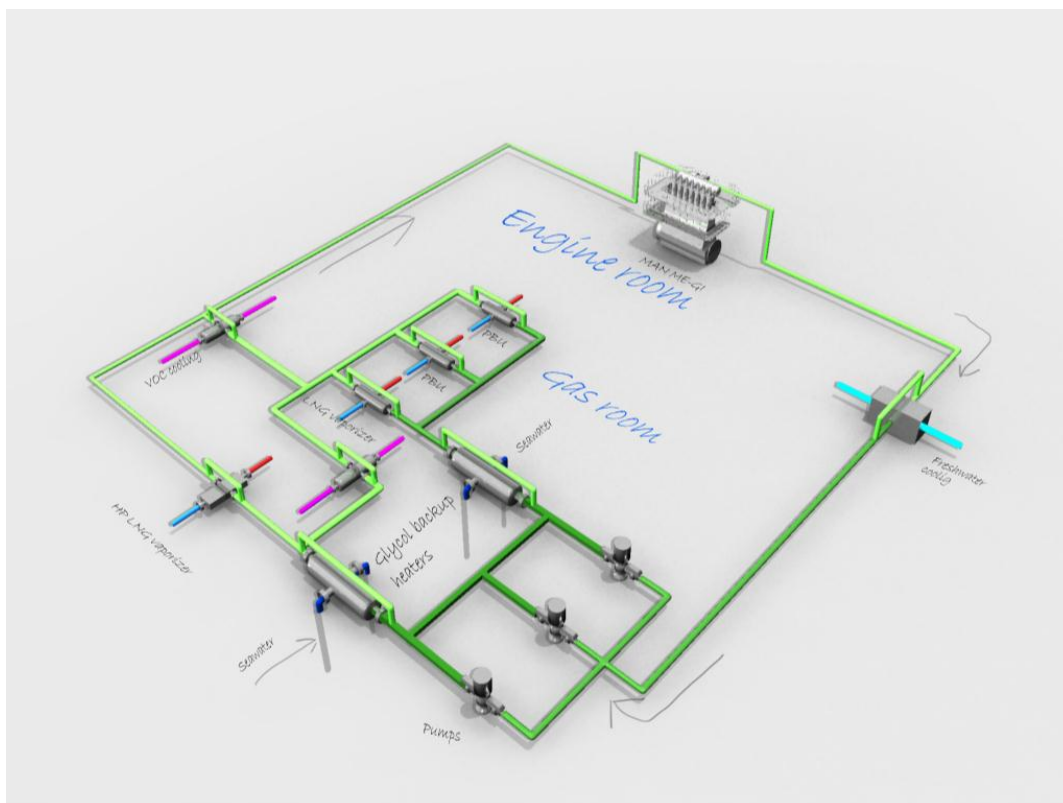
##### Δεξαμενές καυσίμου LNG

Οι δεξαμενές αυτές πρέπει να είναι ανεξάρτητου τύπου και έχουν αναπτυχθεί τελευταία αρκετά εφικτά συστήματα. Η επιλογή των δεξαμενών καυσίμου LNG γίνεται με βάση τον διεθνή κώδικα για τα πλοία μεταφοράς αερίου (International Gas Carrier Code) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και μπορεί να είναι τύπου IMO A ή IMO B ή IMO C.

## Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου LNG

Το σύστημα βασίζεται στην χρησιμοποίηση της πίεσης που υπάρχει στις δεξαμενές LNG έτσι ώστε να τροφοδοτήσει κατάλληλα την αντλία υψηλής πίεσης (high pressure pump) και τον εξατμιστήρα/εξαερωτήρα χαμηλής πίεσης.

Κάθε δεξαμενή περιέχει μια γραμμή/αγωγό πλήρωσης υγρού, μία γραμμή/αγωγό spray, μία γραμμή/αγωγό τροφοδότησης υγρού προς την αντλία υψηλής πίεσης και μία γραμμή/αγωγό τροφοδότησης υγρού προς την μονάδα PBU (Pressure Build Up), που ουσιαστικά αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας θερμαίνει το LNG και το εξατμίζει, στέλνοντας τον ατμό πίσω στην δεξαμενή με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσής της στο απαιτούμενο επίπεδο. Επίσης, η δεξαμενές έχουν μία γραμμή ατμού προς τα manifolds σε περίπτωση επιστροφής ποσότητας ατμού κατά τον ανεφοδιασμό και άλλη μία γραμμή ατμού άμεσα συνδεδεμένη με τους καταναλωτές χαμηλής πίεσης που είναι εξοπλισμένοι με εναλλάκτες θερμότητας που θερμαίνουν τον κρύο φυσικό αέριο που παίρνεται από την φάση αερίου της δεξαμενής (gas heater).



**Εικόνα 6.1:**Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου LNG

### Διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης

Η κύρια μηχανή, ο βραστήρας (καζάνι), οι ηλεκτρομηχανές τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο και με marine gas oil σαν πιλοτικό καύσιμο. Το φυσικό αέριο τροφοδοτείται από το σύστημα τροφοδοσίας LNG στο κύριο κατάστρωμα μέσω ενός συστήματος χαμηλής και υψηλής πίεσης. Το σύστημα αποτελείται από μία δίχρονη μηχανή διπλού καυσίμου υψηλής πίεσης αερίου, μία μηχανικά κινούμενη έλικα, τρεις βοηθητικές μηχανές διπλού καυσίμου (χαμηλής πίεσης φτωχού μείγματος), δύο βραστήρες διπλού καυσίμου, τρεις ατμοκίνητες αντλίες φορτίου.

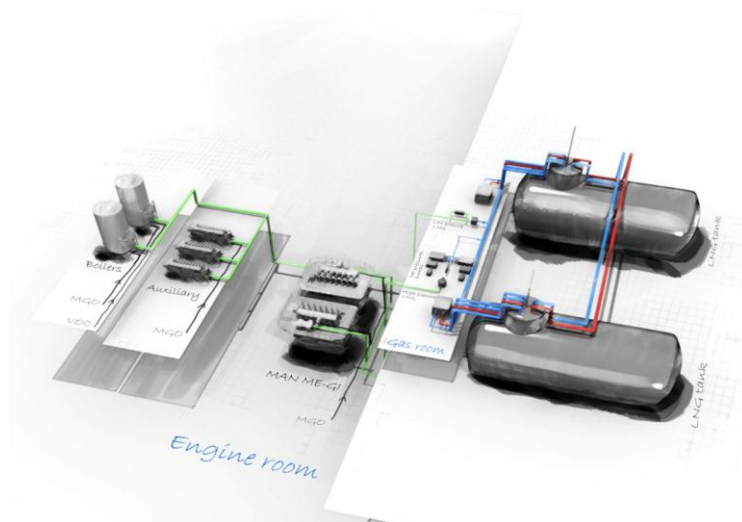
Η θέση των δεξαμενών καυσίμου LNG μπορεί να είναι σε διάφορα σημεία πάνω στο πλοία, βέβαια με διαφορετικές απαιτήσεις. Στην περίπτωση ενός VLCC, επιλέγεται η θέση αυτή να βρίσκεται στο πρυμναίο μέρος του χώρου φορτίου, πάνω στο κατάστρωμα, μπροστά από τις υπερκατασκευές. Με αυτό τον τρόπο δεν διαταράσσεται η ορατότητα από την γέφυρα και διευκολύνεται η σύνδεση των δεξαμενών με τα manifolds του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται και η απόσταση από το μηχανοστάσιο. Το σύστημα ανεφοδιασμού πάνω στο πλοίο (bunkering system) θα αποτελείται από δύο manifolds πρόρα από τις δεξαμενές καυσίμου LNG, τα οποία με την σειρά τους θα αποτελούνται από δύο γραμμές υγρού και μία γραμμή ατμού σε περίπτωση που χρειαστεί επιστροφή κάποιας ποσότητας ατμού.

Ο τύπος των δεξαμενών καυσίμου LNG, με βάση το report του DNV, είναι κυλινδρικές δεξαμενές τύπου IMO C που είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν, έχουν χαμηλότερο κόστος επένδυσης συγκρινόμενες με τις bi-lope δεξαμενές, αποτελούν έναν από τους πιο αξιόπιστους τύπους δεξαμενών αερίου και μπορούν να κατασκευαστούν και να επισκευαστούν σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Επιλέγονται δύο δεξαμενές τέτοιου τύπου με χωρητικότητα  $6750 \text{ m}^3$  η κάθε μία. Όσον αφορά την μόνωση, οι δεξαμενές θα μονωθούν με πάνελ πολουρεθάνης, σύμφωνα με το report του DNV, τα οποία θα τοποθετηθούν μέσα στον χώρο των δεξαμενών ο οποίος θα περιέχει άζωτο που θα παρέχεται από μία αντίστοιχη γεννήτρια, έτσι ώστε να διατηρείται η μόνωση σε καλή κατάσταση και να προσδίδεται μεγαλύτερη προστασία της δεξαμενής έναντι της φωτιάς και της θερμότητας. Επίσης, θα υπάρχει και ένα σύστημα με spray νερού έξω από τις δεξαμενές για επιπλέον προστασία.

Μεταξύ των δύο δεξαμενών, θα υπάρχει ένας χώρος (fuel gas room) πάνω από το κατάστρωμα που θα περιέχει όλο τον εξοπλισμό του συστήματος φυσικού αερίου (vaporizers, pressure build up heat exchangers, high pressure pumps). Τέλος, το VLCC "TRIALITY", εξαιτίας της μορφής της γάστρας του που σχήματος V και λόγω της απουσίας ή ύπαρξης πολύ μικρής ποσότητας έρματος σε κατάσταση ερματισμού δεν μπορεί να αποκτήσει το ίδιο βύθισμα με ένα αντίστοιχο συμβατικό. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν μπορεί να έχει την ίδια διάμετρο έλικας καθώς ενδέχεται στην κατάσταση ερματισμού να μην βυθίζεται πλήρως η έλικα. Οπότε, υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης δύο ελίκων. Επιλέγεται η απλούστερη δυνατή εγκατάσταση (report DNV) η οποία αποτελείται από:

- Δύο δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου (υψηλής πίεσης αερίου)
- Δύο μηχανικώς κινούμενες έλικες
- Τρεις βοηθητικές μηχανές (ηλεκτρομηχανές) διπλού καυσίμου
- Δύο βοηθητικοί μπόιλερ διπλού καυσίμου
- Τρεις ατμοκίνητες αντλίες φορτίου
- (2 ατμοκίνητες αντλίες έρματος).

Όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως για τις δεξαμενές και συστήματα αερίου για ένα συμβατικό VLCC κινούμενο με LNG, θα χρησιμοποιηθούν και στο Triality, με την μόνη διαφορά των δύο κύριων μηχανών διπλού καυσίμου που διαθέτει το Triality έναντι μίας του συμβατικού.



**Εικόνα 6.2:** Διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>0</sup>

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ ΤΟΥ VLCC “TRIALITY”

#### 7.1 Εκπομπές Αέριων Ρύπων και Σωματιδίων του Triality

##### Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Το TRIALITY έχει διαφορετικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με ένα συμβατικό VLCC που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο, κάτι που οφείλεται στην διαφορετική κατανάλωση καυσίμου λόγω της πρόωσης με υγροποιημένο φυσικό αέριο και αλλά και στην διαφορετική περιεκτικότητα σε άνθρακα που έχει το καύσιμο του. Η δίχρονη μηχανή διπλού καυσίμου καίει LNG ως κύριο καύσιμο και χρησιμοποιεί Marine Gas Oil ως πιλοτικό και back-up καύσιμο όταν το φορτίο λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό και δεν επιτρέπει την πρόωση με LNG.

Η περιεκτικότητα σε άνθρακα του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι τέτοια που 2.75 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα περιέχονται σε 1 γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου LNG, κάτι που σημαίνει ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι 2.75 φορές την κατανάλωση καυσίμου. Επίσης, περιέχονται 3.206 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου Marine Gas Oil, ενώ 3.114 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου βαρέως πετρελαίου (Heavy Fuel Oil).

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της MAN Diesel & Turbo για τις μηχανές διπλού καυσίμου τύπου ME-GI, με LNG ως κύριο καύσιμο και MDO/MGO ως πιλοτικό καύσιμο (έως 5% στο 100% του MCR) , επιτυγχάνεται μείωση έως και 23% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με βαρύ πετρέλαιο ως κύριο καύσιμο. Για παράδειγμα, η ειδική εκπομπή του CO<sub>2</sub> των μηχανών τύπου ME-GI με κύριο καύσιμο το LNG και στο 75% του MCR είναι 560 g/kWh, ενώ η αντίστοιχη εκπομπή κύριας μηχανής τύπου ME-C με καύσιμο βαρύ πετρέλαιο είναι 430 g/kWh (στοιχεία της MAN Diesel). Παρατηρείται, λοιπόν, στην περίπτωση πρόωσης με LNG μείωση στις



εκπομπές CO<sub>2</sub> περίπου 23% σε σχέση με την πρόωση με βαρύ πετρέλαιο (HFO) (στοιχεία από το site της MAN Diesel&Turbo).

### **Εκπομπές SO<sub>x</sub>**

Με την χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως κύριο καύσιμο των μηχανών, επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη μείωση της τάξης του 90%-95% στις εκπομπές οξειδίων του θείου. Πρακτικά, θεωρείται ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν περιέχει καθόλου θείο. Όμως, λόγω της χρήσης Marine Gas Oil ως πιλοτικό καύσιμο και όταν το φορτίο του κινητήρα είναι πολύ χαμηλό υπάρχουν εκπομπές οξειδίων του θείου, οι οποίες είναι πολύ μικρές αφού είναι γνωστό ότι το Marine Gas Oil περιέχει λιγότερο από 0.1% θείο.

### **Εκπομπές NO<sub>x</sub>**

Η ποσότητα εκπομπών οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από την μηχανή, τις συνθήκες καύσης και την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου καθορίζονται από την MARPOL (Annex VI).

Η ειδική εκπομπή των NO<sub>x</sub> των μηχανών τύπου ME-GI με κύριο καύσιμο το LNG και στο 75% του MCR είναι 12.5 g/kWh, ενώ η αντίστοιχη εκπομπή κύριας μηχανής τύπου ME-C με καύσιμο βαρύ πετρέλαιο είναι 16.5 g/kWh (στοιχεία της MAN Diesel). Παρατηρείται, λοιπόν, στην περίπτωση πρόωσης με LNG μείωση στις εκπομπές NO<sub>x</sub> περίπου 24% σε σχέση με την πρόωση με βαρύ πετρέλαιο (HFO).

### **Εκπομπές σωματιδίων**

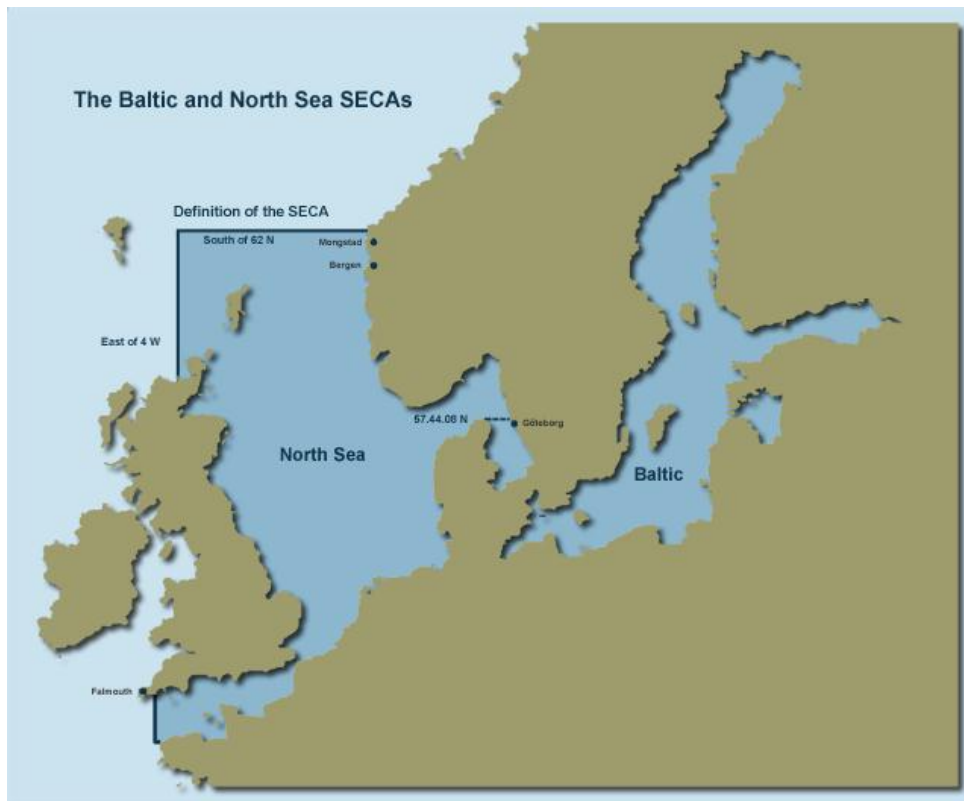
Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία από το site MAN Diesel & Turbo, παρατηρείται στις μηχανές διπλού καυσίμου τύπου ME-GI, με κύριο καύσιμο το LNG, μείωση στις εκπομπές σωματιδίων (Particulate Matter) κατά 37% στο 100% του MCR σε σχέση με κύρια μηχανή που καίει βαρύ πετρέλαιο. Κατά την καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου, η εκπομπή σωματιδίων μπορεί να θεωρηθεί μηδενική, όμως λόγω της καύσης πιλοτικού καυσίμου εκπέμπεται μικρή ποσότητα τέτοιων σωματιδίων.

## **7.2 Απαιτήσεις Ελέγχου των Εκπομπών**

Η δίχρονη μηχανή διπλού καύσιμου είναι MAN B&W με κωδικό G60ME-C9-GI είναι συμβατή σύμφωνα με τις απαιτήσεις Tier II, αλλά για να καλύπτει τις απαιτήσεις στις περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Area requirements), όπως αυτές ορίζονται σύμφωνα με την MARPOL, πρέπει οι εκπομπές των NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> και σωματιδίων να μειωθούν δραματικά.

Οι περιοχές ελέγχου εκπομπών είναι οι παρακάτω:

1) Βαλτική και Βόρεια θάλασσα, όπου απαιτείται η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο πρέπει να είναι μικρότερη από 1% από 1 Ιουλίου του 2010 και 0.1% από 1 Ιανουαρίου του 2015.



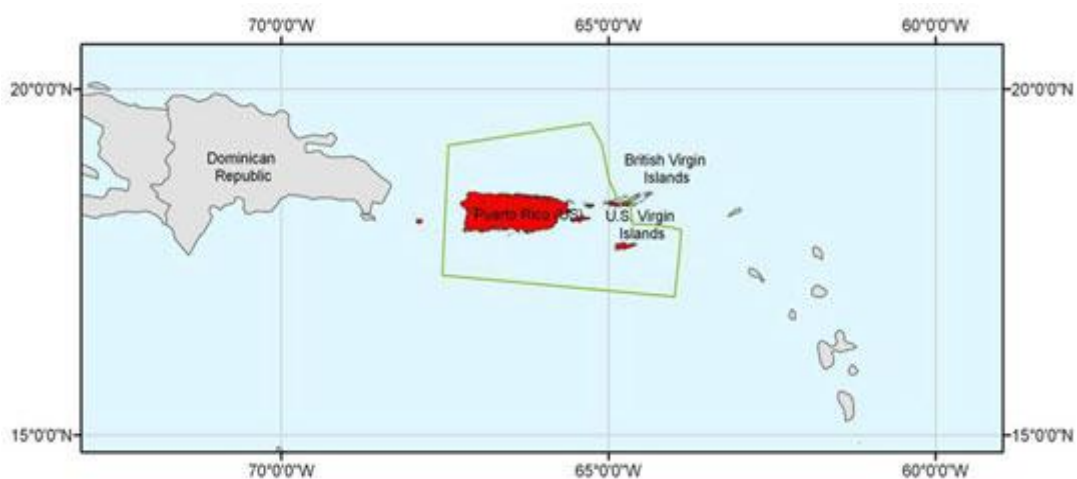
**Εικόνα 7.1 : North Sea ECA and Baltic Sea ECA**

2) Περιοχή Βόρειας Αμερικής συμπεριλαμβανομένου του Καναδά, όπου απαιτείται περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο και σωματίδια πρέπει να είναι μικρότερη από 1% από 1 Αυγούστου του 2012 και 0.1% από 1 Ιανουαρίου του 2015.



Εικόνα 7.2: North American ECA

3) Περιοχή της θάλασσας της Καραϊβικής συμπεριλαμβανομένων του Πουέρτο Ρίκο και των Αμερικάνικων Παρθένων Νήσων, όπου απαιτείται περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο και σωματίδια πρέπει να είναι μικρότερη από 0.1% από 1 Ιανουαρίου του 2015.



Εικόνα 7.3 : Caribbean ECA

Επιπλέον, από 1 Ιανουαρίου του 2010 η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει απαιτήσεις για τα πλοία σε ευρωπαϊκά λιμάνια να λειτουργούν με καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.1%.

Λόγω της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως το κύριο καύσιμο πρόωσης και Marine Gas Oil ως πιλοτικό καύσιμο (το οποίο περιέχει λιγότερο από 0.1% θείο) οι εκπομπές οξειδίων του θείου των κινητήρων διπλού καύσιμου του TRIALITY είναι μειωμένες κατά 90%-95% σε σχέση με την λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο (HFO). Επομένως, το TRIALITY καλύπτει τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω σχετικά με την χρήση καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.1% στις περιοχές ελέγχου εκπομπών αλλά και σε ευρωπαϊκά λιμάνια, ενώ ένα συμβατικό VLCC που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο πρέπει να εγκαταστήσει scrubber για τα οξείδια του θείου από τις κύριες και βοηθητικές μηχανές και λέβητες, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και επιπλέον κόστος, την ώρα που εφαρμόζονται ολοένα αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με τις εκπομπές.

Επίσης, πρέπει να επισημάνουμε ότι μέσα στις περιοχές ελέγχου εκπομπών υπάρχουν περιορισμοί που αφορούν τα επίπεδα εκπομπών των οξειδίων του αζώτου. Για τα πλοία που θα κατασκευαστούν από την 1 Ιανουαρίου του 2016 και έπειτα, η λειτουργία πλοίων μέσα στις περιοχές ελέγχου εκπομπών θα απαιτεί μειωμένο επίπεδο εκπομπών των οξειδίων του αζώτου σύμφωνα με τον τεχνικό κώδικα NO<sub>x</sub> του IMO Tier III. Οι περιορισμοί εξαρτώνται από τα στοιχεία του κινητήρα. Για παράδειγμα για πλοίο με κινητήρα που λειτουργεί σε λιγότερες από τις 130 στροφές το λεπτό όπως το TRIALITY, η ειδική εκπομπή NO<sub>x</sub> πρέπει να μειωθεί από 14.4 g/kWh σε 3.4 g/kWh από 1 Ιανουαρίου 2016.

### **7.3 Ανακυκλοφορίες Καυσαερίων και Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την περαιτέρω μεγάλη μείωση εκπομπών των  $\text{NO}_x$  και  $\text{SO}_x$  που απαιτείται στις περιοχές ελέγχου εκπομπών και μετέπειτα για την κάλυψη της απαίτησης IMO Tier III σχετικά με τις εκπομπές των  $\text{NO}_x$ , πρέπει να εγκατασταθεί στις δίχρονες μηχανές διπλού καύσιμου που διαθέτει το TRIALITY κατάλληλο σύστημα. Το σύστημα που επιλέγεται περιλαμβάνει τη τεχνική ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (exhaust gas recirculation), όπως προτείνει και η MAN Diesel & Turbo και το report του DNV.

#### **Σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation System)**

Η τεχνική ανακυκλοφορίας των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την μείωση των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται περισσότερο σε περίπτωση χρήσης καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα οξείδια αυτά δημιουργούνται σε μεγάλη ποσότητα στον θάλαμο καύσης όταν αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 2000 °C). Σε αυτή την περίπτωση ο τριοδικός καταλύτης δεν μπορεί να τα αναγάγει και τότε εκπέμπονται στο περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει κατά την καύση φτωχού μείγματος, δηλαδή σε συνθήκες χαμηλού φορτίου του κινητήρα. Κρίσιμο ρόλο παίζει η βαλβίδα EGR η οποία ανοίγει, υπό ορισμένες συνθήκες, μια μικρή δίοδο ανάμεσα στην πολλαπλή εξαγωγής και στην πολλαπλή εισαγωγής, οπότε ένα μέρος των καυσαερίων (πολλαπλή εξαγωγής) αναρροφάται στο προς καύση μείγμα (πολλαπλή εισαγωγής). Ένα μέρος των καυσαερίων κατευθύνεται μέσω ενός φίλτρου, ψύχεται και γυρίζει πίσω στον αέρα τροφοδοσίας του κινητήρα. Έτσι αλλάζουν οι φυσικές ιδιότητες του αέρα τροφοδοσίας και προσδίδεται μεγαλύτερη θερμική δυναμική. Αυτό με την σειρά του μειώνει τις μέγιστες θερμοκρασίες και κατά συνέπεια τον σχηματισμό  $\text{NO}_x$  κατά την διαδικασία της καύσης. Στην διαδικασία επανακυκλοφορίας, η συγκέντρωση οξυγόνου του τροφοδοτικού αέρα είναι χαμηλότερη και επομένως λιγότερο οξυγόνο είναι διαθέσιμο να αντιδράσει με το άζωτο.

Η ποσότητα των αδρανών αυτών καυσαερίων αντικαθιστά ένα μέρος του ατμοσφαιρικού αέρα στο προς καύση μείγμα, με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας καύσης, άρα και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).

Με την λειτουργία της βαλβίδας EGR μειώνεται η ισχύς του κινητήρα. Για τον λόγο αυτό η λειτουργία της μειώνεται ή ακυρώνεται στις παρακάτω καταστάσεις λειτουργίας:

- Στο πλήρες φορτίο ή στην απότομη επιτάχυνση
- Στην λειτουργία με κρύο κινητήρα
- Στο ρελαντί (προκαλεί ασταθές ρελαντί)
- Σε λειτουργία του κινητήρα σε μεγάλο υψόμετρο (έλλειψη επαρκούς οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα)
- Σε πολύ υψηλή θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής (για αποφυγή υπερθέρμανσης των ακροφυσίων).

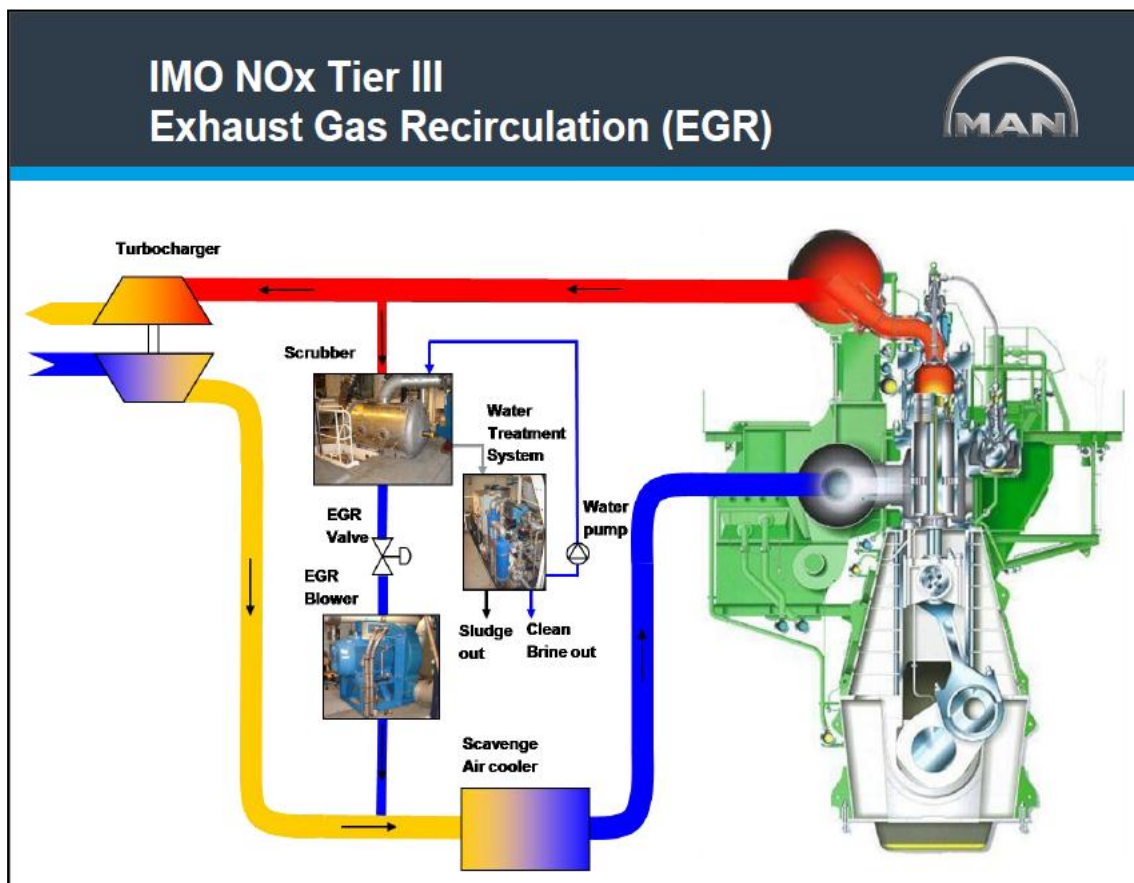
Λόγω του μειωμένου ποσοστού οξυγόνου και του μεγαλύτερου χρόνου καύσης, οι εκπομπές PM τείνουν να αυξάνονται, ιδιαίτερα στα υψηλά φορτία. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της μείωσης της ανακυκλωμένης ροής των αερίων κατά τη λειτουργία σε υψηλά φορτία, εμποδίζοντας ταυτόχρονα την απώλεια ισχύος του κινητήρα.

Η αύξηση των εκπομπών σωματιδίων μπορεί επίσης να μειωθεί μέσω ψύξης των ανακυκλωμένων καυσαερίων. Ψύχοντας το ανακυκλωμένο αέριο, πολύ μεγαλύτερες ποσότητες καυσαερίων μπορούν να προστεθούν στον αέρα τροφοδοσίας. Στα χαμηλά φορτία αυτό μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές  $\text{NO}_x$  επειδή αυξάνει την καθυστέρηση της ανάφλεξης, αλλά στα υψηλά φορτία το ποσοστό της μείωσης μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο. Υπερπληρώνοντας, το ανακυκλωμένο αέριο έχει παρόμοιο αποτέλεσμα με τη ψύξη. Όταν το αέριο υπερπληρωθεί, περισσότερα καυσαέρια είναι δυνατόν να εισαχθούν στον αέρα τροφοδοσίας χωρίς να μειώνεται το ποσό του φρέσκου αέρα. Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία της MAN Diesel & Turbo, οι κινητήρες της τύπου ME-GI μπορούν με το σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων και σε συνδυασμό με λειτουργία σε αέριο να καλύψουν άνετα την απαίτηση Tier III. Όπως προαναφέρθηκε, το επίπεδο εκπομπών των οξειδίων του αζώτου μειώνεται κατά 20%-25% όταν η μηχανή λειτουργεί με LNG σε σχέση με λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο. Επομένως, μόνο το 30% περίπου των

καυσαερίων θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί στο σύστημα ανακυκλοφορίας, με αποτέλεσμα την υψηλότερη αποδοτικότητα σε σχέση με λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο στις ζώνες Tier III.

Επιπλέον, ο καθαρισμός του νερού στο scrubber είναι ευκολότερος όταν η μηχανή λειτουργεί με αέριο, καθώς τα καυσαέρια δεν περιέχουν θείο και περιέχουν μικρή ποσότητα σωματιδίων.

Παρακάτω απεικονίζεται το σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων σύμφωνα με την MAN Diesel & Turbo.



Εικόνα 7.4 :Σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων για την κάλυψη της απαίτησης IMO NOx Tier III

## **7.4 Εκμετάλλευση της Χαμηλής Θερμοκρασίας του LNG Για Βελτίωση Ενεργειακής Αποδοτικότητας**

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει θερμοκρασία γύρω στους  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Αυτή η θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση υψηλότερου βαθμού απόδοσης του κινητήρα. Όσο το δυνατόν η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης είναι χαμηλότερη, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα αέρα λαμβάνει μέρος κατά την διαδικασία της καύσης και αυτό είναι δυνατόν να αυξήσει την απόδοση του κινητήρα. Το χαμηλότερο όριο για την θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως είναι περίπου στους  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  λόγω των θερμικών τάσεων στους κυλίνδρους της μηχανής. Αν αυτό το όριο μειωθεί και άλλο, θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και την εξοικονόμηση του. Για την περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας του αέρα σαρώσεως, συνήθως χρησιμοποιείται θαλασινό νερό, αλλά στο TRIALITY μπορεί να επιτευχθεί πιο αποδοτικά με την χρήση της ψυκτικής ενέργειας του LNG μέσω ενός δευτερεύοντος κύκλου του ψυκτικού μέσου. Αυτό μπορεί να διασφαλίσει μια θερμοκρασία στους  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  και επομένως χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και σε άλλα φορτία του κινητήρα πέρα από το 100% της μέγιστης συνεχούς ισχύος (MCR). Υπολογίζεται, σύμφωνα με το report του DNV ότι για κάθε πτώση  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  στην θερμοκρασία αέρα σαρώσεως, είναι δυνατό η ειδική κατανάλωση καυσίμου να μειώνεται κατά περίπου  $1.7\text{ g/kWh}$ .

### **Διαδρομές Triality**

Σύμφωνα με τα στοιχεία του DNV, έχουν επιλεγεί τρεις πιθανές διαδρομές για το προφίλ λειτουργίας του TRIALITY (το οποίο δεν θα επηρεαστεί από τις περιοχές ελέγχου εκπομπών λόγω χρήσης LNG και MGO), που μπορούν κιόλας να συνδυαστούν και αυτές είναι:

#### **α) Περσικός Κόλπος-Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής:**

Λιμάνι φόρτωσης: Ras Tanura

Λιμάνι εκφόρτωσης: LOOP, United States

Απόσταση: 10890 ναυτικά μίλια



### **β) Περσικός Κόλπος-Ευρώπη:**

Λιμάνι φόρτωσης: Ras Tanura

Λιμάνι εκφόρτωσης: Rotterdam

Απόσταση: 7338 ναυτικά μίλια

### **γ) Περσικός Κόλπος-Κίνα**

Λιμάνι φόρτωσης: Ras Tanura

Λιμάνι εκφόρτωσης: Qindao

Απόσταση: 7275 ναυτικά μίλια

## **7.5 Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)**

Ο Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index) εντάσσεται στα σχεδιαστικά μέτρα που έχει αναλάβει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η εφαρμογή της απαίτησης συμμόρφωσης του EEDI των πλοίων, σε σχέση με την αντίστοιχη γραμμή αναφοράς, που ορίζεται ως μια καμπύλη που αντιπροσωπεύει την μέση τιμή του δείκτη (βασισμένη σε ένα σύνολο επιμέρους τιμών του δείκτη για μια καθορισμένη ομάδα πλοίων), επιτυγχάνεται μέσω των όρων «Επιτευχθείς Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (attained EEDI) και «Απαιτούμενος Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (required EEDI) και αφορά τα «νέα πλοία», με ακαθάριστη χωρητικότητα (gross tonnage) 400 τόνων και άνω, δηλαδή τα πλοία:

- για τα οποία το συμβόλαιο ναυπήγησης τοποθετήθηκε κατά ή μετά την 1 Ιανουαρίου 2013,
- των οποίων η καρίνα έχει τεθεί ή που βρίσκονται σε ανάλογο στάδιο κατασκευής, κατά ή μετά την 1 Ιουλίου 2013 σε περίπτωση απουσίας συμβολαίου ναυπήγησης
- των οποίων η παράδοση είναι την ή μετά την 1 Ιουλίου 2015.

Η τιμή του «Επιτευχθέντος Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (attained EEDI) πρέπει να είναι κάτω από την τιμή του «Απαιτούμενου Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (required EEDI) . Ουσιαστικά, ο Απαιτούμενος EEDI είναι η μέγιστη τιμή του Επιτευχθέντος EEDI.

Για κάθε τύπο πλοίου έχει αναπτυχθεί μια γραμμή αναφοράς, της οποίας η τιμή είναι συνάρτηση της χωρητικότητας (DWT) και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

**Γραμμή αναφοράς** =  $a \cdot DWT^{-c}$  , όπου  $a, c$  σταθερές που προσδιορίζονται από την προσαρμογή της καμπύλης παλινδρόμησης. Ουσιαστικά αυτός ο τύπος δίνει τον «Απαιτούμενο Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (required EEDI).

Οι σταθερές  $a, c$  των γραμμών αναφοράς, ανά τύπο πλοίου, δίνονται σε αντίστοιχο πίνακα στο Παράρτημα Ε (International Maritime Organization (IMO), 2011, Report of the marine environment protection committee on its sixty-second session, MEPC 62/24/Add.

Ο Επιτευχθείς EEDI θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη:

**Επιτευχθείς EEDI**  $\leq$  **Απαιτούμενος EEDI** =  $\left(1 - \frac{X}{100}\right) * \text{Γραμμή αναφοράς}$ , όπου  $X$  είναι ο παράγοντας μείωσης , όπως καθορίζεται σε πίνακα που παρατίθεται στο Παράρτημα Ε.

Ο αναλυτικός υπολογισμός του «Επιτευχθέντος Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» και του «Απαιτούμενου Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» για το TRIALITY και το συμβατικό VLCC παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ε.

Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα κύρια αποτελέσματα.

Τα δεδομένα του TRIALITY που απαιτούνται για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος και απαιτούμενου EEDI είναι τα παρακάτω:

**Είδος πλοίου:** Tanker

**Capacity:** 286358 DWT

**V<sub>REF</sub>:** 15.0 knots

**MCR<sub>ME</sub>:** 21440 kW

**P<sub>ME</sub>:** 16080 kW

**Αριθμός μηχανών:** n=2

**Είδος καυσίμου κύριων μηχανών:** LNG

**C<sub>FME</sub>:** 2.750 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**SFC<sub>ME</sub>:** 155 g/kWh

**P<sub>AE</sub>:** 1322 kW

**Είδος καυσίμου βοηθητικών μηχανών:** LNG

**CF<sub>AE</sub>:** 2.750 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**SFC<sub>AE</sub>:** 210.0 g/kWh

Βοηθητική Είσοδος Ισχύος **P<sub>PTI</sub>=0**

Βοηθητική Είσοδος Ισχύος **P<sub>PTO</sub>=0**

Διαθεσιμότητα καινοτόμων τεχνολογιών **P<sub>eff</sub> = 0**

**f<sub>eff</sub>=f<sub>j</sub>=f<sub>i</sub>=f<sub>w</sub>=1**

Επομένως :

**Απαιτούμενος EEDI**=  $a \cdot b^{-c} = 1218.80 \cdot 286358^{-0.488} = \mathbf{2.648}$ , με a,c για πλοίο tanker από τον πίνακα που παραθέσαμε παραπάνω και b ίσο με το DWT του πλοίου.

**Επιτευχθείς EEDI**=  $[(155 \cdot 2 \cdot 21440 \cdot 0.75) + (210 \cdot 1322)] \cdot 2.75 / (286358 \cdot 15) = 3.369 > 2.648$ .

Όπως παρατηρούμε, με τα παραπάνω δεδομένα, ο «**Επιτευχθείς EEDI**» του **TRIALITY** είναι **μεγαλύτερος** από τον «**Απαιτούμενο EEDI**», οπότε το **TRIALITY** δεν ικανοποιεί την απαίτηση συμμόρφωσης του EEDI. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής μέγιστης συνεχούς ισχύος των κύριων μηχανών του **TRIALITY** που επιλέχθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος GRID 95. Η τιμή του συντελεστή μείωσης της ώσης που επηρεάζει την απαιτούμενη ώση σε κάθε έλικα, υπολογίστηκε από προσεγγιστικό τύπο ο οποίος ενδέχεται να μην είναι ο κατάλληλος και να μην εκλέγει σωστό αποτέλεσμα για το **TRIALITY**.

Ακόμη, σημαντικό ρόλο παίζει και η τιμή του βαθμού απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης που είναι σχετικά χαμηλή και επηρεάζεται, μεταξύ άλλων, και από τον συντελεστή μείωσης της ώσης και τον συντελεστή ομόρου. . Οπότε, σίγουρα, απαιτείται καλύτερη προσέγγιση των συντελεστών αυτών.

Επίσης, μην ξεχνάμε ότι η αντίσταση παρελκομένων την έχουμε προσεγγίσει γύρω στο 10%. Αυτό το ποσοστό, στην πραγματικότητα μπορεί να είναι μικρότερο και επομένως η ολική αντίσταση να είναι μικρότερη. Δυστυχώς, δεν έχουμε στοιχεία για τα παρελκόμενα του TRIALITY.

Τα δεδομένα του **συμβατικού VLCC** που απαιτούνται για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος και απαιτούμενου EEDI είναι τα παρακάτω:

**Είδος πλοίου:** Tanker

**Capacity:** 289391 DWT

**$V_{REF}$ :** 15.0 knots

**$MCR_{ME}$ :** 29360 kW

**$P_{ME}$ :** 22005 kW

**Αριθμός μηχανών:** n=1

**Είδος καυσίμου κύριων μηχανών:** Heavy Fuel Oil

**$C_{FME}$ :** 3.1144 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**$SFC_{ME}$ :** 163 g/kWh

**$P_{AE}$ :** 984 kW

**Είδος καυσίμου βοηθητικών μηχανών:** Diesel

**$CF_{AE}$ :** 3.206 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**$SFC_{AE}$ :** 220 g/kWh

Βοηθητική Είσοδος Ισχύος  **$P_{PTI}=0$**

Βοηθητική Είσοδος Ισχύος  **$P_{PTO}=0$**

Διαθεσιμότητα καινοτόμων τεχνολογιών  **$P_{eff} = 0$**

**$f_{eff}=f_j=f_i=f_w=1$**

Επομένως :

**Απαιτούμενος EEDI** =  $a \cdot b^c = 1218.80 \cdot 289391^{-0.488} = 2.635$ , με a,c για πλοίο tanker από τον πίνακα που παραθέσαμε παραπάνω και b ίσο με το DWT του πλοίου.

**Επιτευχθείς EEDI=2.733>2.635.**

Όπως παρατηρούμε, με τα παραπάνω δεδομένα ο «**Επιτευχθείς EEDI**» του συμβατικού VLCC είναι **μεγαλύτερος** από τον «**Απαιτούμενο EEDI**», οπότε το συμβατικό πλοίο δεν ικανοποιεί την απαίτηση συμμόρφωσης του EEDI.

Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι το TRIALITY δεν καλύπτει την απαίτηση για τον «**Επιτευχθέντα EEDI**» και έχει μεγαλύτερη τιμή του επιτευχθέντος EEDI σε σχέση με το συμβατικό, επομένως δεν είναι ενεργειακά αποδοτικότερο από το συμβατικό VLCC που ούτε αυτό, βέβαια, καλύπτει την παραπάνω απαίτηση. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι, ενδεχομένως, ορισμένα στοιχεία και κάποιες υποθέσεις στον υπολογισμό του EEDI, σύμφωνα με τις οδηγίες του IMO, να εμπεριέχουν ανακρίβειες σχετικά με την ταχύτητα του πλοίου, την διαθεσιμότητα καινοτόμων τεχνολογιών, αλλά και την ειδική κατανάλωση καυσίμου των μηχανών.

Σίγουρα, απαιτείται καλύτερη προσέγγιση των συντελεστών μείωσης της ώσης και ομόρου και της αντίστασης παρελκομένων, καθώς και καλύτερη προσέγγιση της ολικής αντίστασης με CFD μέθοδο για την καλύτερη προσέγγιση του επιτευχθέντος δείκτη EEDI. Τέλος, πρέπει ίσως να αναθεωρηθεί και να βελτιστοποιηθεί η προωστήρια εγκατάσταση ξεκινώντας από την διάμετρο της έλικας.

Σχετικά με τον δείκτη EEDI, στον τύπο υπολογισμού του δεν εμπεριέχεται ούτε η πραγματική απαιτούμενη ισχύς για την πρόωση του πλοίου ούτε την πραγματική ζήτηση βοηθητικής ισχύος. Για την μείωση του δείκτη, απαιτείται η μείωση της υπηρεσιακής ταχύτητας έτσι ώστε να μειωθεί το MCR των κύριων μηχανών. Πέρα από αυτό, η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών αντλιών αντί εξηρημένων αποτελεί μια επιλογή για να μειωθεί ο δείκτης, καθώς με τον τρόπο αυτό μειώνεται η εγκατεστημένη ισχύς των κύριων μηχανών και η ειδική κατανάλωση αυτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ ΤΟΥ TRIALITY

#### 8.1 Υπολογισμός Ελάχιστης Επιτρεπόμενης Ροπής Επιφάνειας Της Μέσης Τομής Του Triality

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης των βασικών στοιχείων της μέσης τομής του σκάφους. Πολλά στοιχεία, όπως η ισάποσταση και ο αριθμός των ενισχυτικών, έχουν παρθεί με βάση την μέση τομή του συμβατικού VLCC το οποίο συγκρίθηκε με το TRIALITY. Αρχικά, η ελάχιστη τιμή επιτρεπόμενης ροπής επιφανείας στη μέση τομή υπολογίζεται σύμφωνα με τους κανονισμούς του νηογνώμονα ABS [3.2.1/3.7]. Συγκεκριμένα ως απαιτούμενη ροπή αντίστασης της μέσης τομής θα πρέπει να λάβουμε την υψηλότερη εκ των δύο τιμών που δίνουν οι κανονισμοί:

α)  $SM = M_t / f_p$ , όπου  $M_t$  είναι η ολική καμπτική ροπή που ασκείται στη γάστρα ως αλγεβρικό άθροισμα της ροπής ήρεμου νερού και της ροπής κυματισμού, ενώ  $f_p$  είναι η ονομαστική επιτρεπόμενη καμπτική φόρτιση και ισούται με  $17.5 \text{ kN/cm}^2$ .

β)  $SM_{\min} = C_1 C_2 L^2 B (C_B + 0.7)$ , όπου  $C_1$  είναι σταθερά σε συνάρτηση με το μήκος του πλοίου, ενώ  $C_2 = 0.01$ .

Παρακάτω θα γίνει αναλυτικός υπολογισμός των δύο τιμών για τη ροπή αντίστασης για να προκύψει η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή της. Επίσης, για την χρήση των κανονισμών το μήκος  $L$  πρέπει να μην είναι λιγότερο από το 96% και μεγαλύτερο από 97% του μήκους στην summer load line. Το  $L$  αντιπροσωπεύει το scantling length που είναι το μήκος σε μέτρα από την fore side της πλώρης έως την center line του rudder stock στην γραμμή summer load.

Επιλέγουμε  $L=0.96*357.644=343.34 \text{ m}$ ,  $B=70 \text{ m}$ ,  $D=27.52 \text{ m}$ ,  $T_d=21.589 \text{ m}$  και  $C_B = V/(LBT_d)=0.618$ .

(α) Για τον υπολογισμό της  $M_t$  χρειαζόμαστε τις τιμές των ροπών  $M_{sw}$  και  $M_w$  που είναι οι ροπές ήρεμου νερού και οι ροπές κυματισμού αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται κατά IACS από τις σχέσεις:

$M_{sw} = C_{st} L^{2.5} B (C_B + 0.5)$ , όπου  $C_{st}$  είναι σταθερά με τιμή  $C_{st} = \frac{0.544}{100}$  για πλοία μήκος  $> 200$  m

Οπότε:

$$M_{sw} = 0.00544 * 343.34^{2.5} * 70 * (0.618 + 0.5) = 929928.91 \text{ kNm}$$

Η μέγιστη καμπτική ροπή σε κυματισμό επιλέγεται ως η μεγαλύτερη εκ των ροπών που προκύπτουν σε καταστάσεις sagging και hogging και δίνονται από τους τύπους :

$M_{ws} = -k_1 C_1 L^2 B (C_B + 0.7) * 10^{-3}$ , όπου  $k_1 = 110$ ,  $L = 343.34$  m,  $B = 70$  m,  $C_1 = 10.75$  για  $300 < L(\text{scantling length}) < 350$  m

Οπότε:  $M_{ws} = -12860664.4 \text{ kNm}$

**Αντίστοιχα:**

$M_{wh} = k_2 C_1 L^2 B C_B * 10^3$ , όπου  $k_2 = 190$ , ενώ το  $C_1$  υπολογίστηκε παραπάνω.

Οπότε:  $M_{wh} = 10415914 \text{ kNm}$

Συνολικά:  $M_{th} = M_{sw} + M_{wh} = 11345842.92 \text{ kNm}$  και

$$M_{ts} = M_{sw} + M_{ws} = -11930735.49 \text{ kNm}$$

Επομένως τη μεγαλύτερη τιμή της ροπής την παίρνουμε σε κατάσταση sagging.

Η αντίστοιχη τιμή της ροπής αντίστασης  $SM$  [ $m \cdot cm^2$ ] προκύπτει από τον τύπο που αναφέρθηκε αρχικά:

$$SM = \frac{M_t}{f_p} = \frac{11930735.49}{17.5} = 681756.31 \text{ m} \cdot \text{cm}^2$$

Επιπλέον η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης  $SM_{\min}$  [ $m \cdot cm^2$ ] είναι:

$$SM_{\min} = C_1 C_2 L^2 B (C_B + 0.7) = 10.75 \cdot 0.01 \cdot 343.342 \cdot 70 \cdot (0.618 + 0.7) = 1169151.31 \text{ m} \cdot \text{cm}^2$$

Εκ των δύο σαν απαιτούμενη ροπή αντίστασης επιλέγεται η μεγαλύτερη και άρα:

$$SM_{\text{req}} = 116915.31 \text{ m} \cdot \text{cm}^2$$

Η αντίστοιχη ροπή αδράνειας της γάστρας θεωρούμενη σαν δοκός βάσει του ABS [3.2.1/3.7.2] προκύπτει ως:

$$I = \frac{L \cdot SM_{\text{req}}}{33.3} = 343.34 \cdot \frac{116915.31}{33.3} = 12056653.44 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^2$$

## 8.2 Υπολογισμός Χαρακτηριστικών Ελασμάτων Του Triality

### 1. Πλευρικό έλασμα ( Side shell plating )

Βάσει των κανονισμών του ABS [3.2.2/3.9] το ελάχιστο πάχος του πλευρικού ελάσματος στο μέσο του πλοίου και για μήκος  $0.4 \cdot L$  για πλοία μήκους μεγαλύτερου των 305m και μικρότερου των 427 m δίνεται από τον τύπο:

$$t_{\min} = \frac{s}{828} \sqrt{(L + 175)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm}$$

Όπου:

**s:** η ισαπόσταση των εγκάρσιων νομέων

**d:** το βύθισμα του πλοίου

**Ds:** το κοίλο του πλοίου



$$t_{\min} = \frac{700}{828} \sqrt{(341 + 175)(21.589/27.52)} + 2.5 = 19.5 \text{ mm}$$

Για να ικανοποιηθεί και αυτό το κριτήριο τελικά επιλέγεται πάχος τυποποιημένου ελάσματος

$$t = 20 \text{ mm}$$

## 2. Έλασμα ζωστήρα ( Sheer strake )

Το ελάχιστο πλάτος του ελάσματος του ζωστήρα που εκτείνεται κατά μήκος του μέσου του πλοίου πρέπει, για πλοία με  $200 < L < 427 \text{ m}$ , να είναι:

$$b = 1800 \text{ mm}$$

Κατόπιν υπολογίζεται το ελάχιστο πάχος του ελάσματος σύμφωνα με τους κανονισμούς που βρίσκονται στο εγχειρίδιο του ABS. Αναλυτικότερα προκύπτει:

Το πάχος του δεν πρέπει να είναι μικρότερο από:

α) αυτό του πλευρικού ελάσματος

β) από όσο ορίζεται τις εξισώσεις (3.2.3/Table2):

Τα αντίστοιχα πάχη είναι :

α)  $t = 20 \text{ mm}$

β) Εξίσωση 1b:  $t = \frac{s_b(L+45.73)}{25L+6082} = 23.83 \text{ mm}$

Εξίσωση 2b:  $t = \frac{24.38 s_b}{1615.4-1.1L} = 19.66 \text{ mm}$

Όπου:

$s_b=900 \text{ mm}$ , η ισαπόσταση των longitudinal stiffeners.

Τελικά για το έλασμα του ζωστήρα επιλέγεται:  $t = 24 \text{ mm}$ .

Τελικά για το έλασμα του ζωστήρα επιλέγεται  $b = 1800 \text{ mm}$  και  $t = 24 \text{ mm}$ .

### 3. Εγκαρσιώματα (Transverses)

Στην περιοχή της μέσης τομής του πλοίου πρέπει να τοποθετούνται εγκαρσιώματα το πολύ κάθε 3.66 m, σε συνδυασμό με διαμήκη ενισχυτικά. Τα εγκαρσιώματα θα τοποθετούνται περιμετρικά της μέσης τομής του πλοίου, σε θέσεις όπου υπάρχουν διαμήκη ενισχυτικά. Έτσι θα τοποθετήσουμε εγκαρσιώματα κάθε τέσσερις κατασκευαστικούς νομείς δηλαδή κάθε  $4 \cdot 0.712 = 2,848 \text{ m}$ . Το πάχος του ελάσματος των εγκαρσιωμάτων δίνεται από τη σχέση ( $L < 427 \text{ m}$ ) με  $c=1.5$  :

$$t = 0.036 \cdot L + 4.7 + c \rightarrow t = 18.48 \text{ mm:}$$

Έτσι εκλέγουμε έλασμα με πάχος  $t = 19 \text{ mm}$ .

### 4. Έλασμα πυθμένα ( Bottom shell plating )

Για πλοία με μήκος  $305 \text{ m} < L < 427 \text{ m}$  και διάμηκες σύστημα ενίσχυσης στον πυθμένα το πάχος του ελάσματος του πυθμένα υπολογίζεται από την εξής εξίσωση:

$$t = \frac{s}{661} \sqrt{(L + 105) \left( \frac{d}{D_s} \right)} + 2.5 = 25.14 \text{ mm}$$

Όπου:

$s = 800 \text{ mm}$ , η ισαπόσταση των longitudinal stiffeners στο bottom.

$d = 21.589 \text{ m}$ , το βύθισμα του πλοίου

$D_s = 27.52 \text{ m}$ , το κοίλο του πλοίου

Τελικά για το έλασμα του πυθμένα επιλέγεται:  $t = 26 \text{ mm}$

### **5. Παρατροπίδια (Bilge keels) (3.2.2/3.13.2(b))**

Το απαιτούμενο πάχος ελάσματος ισούται με το πάχος του ελάσματος του πυθμένα.

Έτσι επιλέγουμε  $\rightarrow t = 26 \text{ mm}$ .

### **6. Έλασμα τρόπιδας ( Flat plate keel )**

Εφόσον δεν προκαθορίζεται η μη χρησιμοποίηση στηριγμάτων τρόπιδας κατά το Dry-docking το έλασμα της τρόπιδας πρέπει να είναι 1,5 mm παχύτερο από το έλασμα του πυθμένα. [3.2.2/3.15] & [3.2.2/7].

Έτσι προκύπτει :

$$t = 26 + 1.5 = 27.5 \text{ mm}$$

Τελικά για το έλασμα της τρόπιδας με τυποποίηση επιλέγεται:

$$t = 28 \text{ mm}$$

Για όλα τα ελάσματα κάτω από το bilge πρέπει επιπλέον να ικανοποιείται ο κανονισμός [3.2.2/3.17] βάσει του οποίου για διάμηκες σύστημα ενίσχυσης θα πρέπει τα υπολογισθέντα πάχη να υπερβαίνουν μια ελάχιστη τιμή:

$$t_{\min} = \frac{s(L + 18.3)}{42L + 1070} = 800 * \frac{341 + 18.3}{42 * 341 + 1070} = 18.67 \text{ mm}$$

Επομένως όλα τα πάχη που υπολογίστηκαν ανωτέρω μας ικανοποιούν.

Το πλάτος του ελάσματος πρέπει να είναι:

$$b = 7\% \cdot B \rightarrow b = 4900 \text{ mm}$$

Τελικά, για το έλασμα της τρόπιδας, επιλέγεται πάχος  $t = 28 \text{ mm}$  και πλάτος  $b = 4.9 \text{ m}$ .

### 7. Έλασμα εσωτερικού πυθμένα ( Inner bottom plate )

Υπολογίζεται το πάχος του ελάσματος εσωτερικού πυθμένα, σύμφωνα τους κανονισμούς [3.2.4/9.1]

Η εξίσωση που δίνει το πάχος είναι:

$$t = 37L * 10^{-3} + 0.009s - c$$

Όπου:

$s = 800$  mm, η ισαπόσταση των longitudinal stiffeners στο inner bottom.

$c = 1.5$  , σταθερά για διαμήκη ενίσχυση

Άρα προκύπτει  $t = 37 * 341 * 10^{-3} + 0.009 * 800 - 1.5 = 18.317$  mm

Τελικά για το έλασμα του εσωτερικού πυθμένα επιλέγεται: →  **$t = 19$  mm**

### 8. Έλασμα κεντρικής σταθμίδας ( Center girder )

Η κεντρική σταθμίδα θα εκτείνεται σε μήκος τουλάχιστον  $0.75 \cdot L$ . Το πάχος του ελάσματος στο μέσο πλοίου θα προκύψει βάσει του κανονισμού [3.2.4/3.2] από την εξίσωση:

$$t = 56 * L * 10^{-3} + 5.5 = 24.596$$
 mm

Επιλέγουμε τυποποιημένο πάχος ελάσματος κεντρικής σταθμίδας πάχους 25 mm.

Ο ίδιος κανονισμός προδιαγράφει το απαιτούμενο ύψος της σταθμίδας ως

$$d_{DBmin} = 32B + 190\sqrt{d} = 32 * 70 + 190\sqrt{21.589} = 2972.8$$
 mm

Έχουμε επιλέξει για ύψος διπυθμένου  $d_{DB} = 3000$  mm.

Τελικά έχουμε  **$d_{DB} = 3000$  mm.**

### 9.Έλασμα πλευρικών σταθμίδων ( Side girders)

Το πάχος των ελασμάτων των πλευρικών σταθμίδων, προκύπτει από τους κανονισμούς [3.2.4/3.9] που παραπέμπουν στην εξίσωση του [3.2.4/5] που ορίζει ελάχιστο πάχος:

$$t = 0.036L + 4.7 + c$$

Όπου:

$c = 0$  για τα **side girders** ενώ  $c = 1.5$  στην περίπτωση **floors**.

Τελικά  $t = 0.036 * 341 + 4.7 + 0 = 16.976 \text{ mm}$

Και επιλέγεται έλασμα πάχους  $\rightarrow t = 17 \text{ mm}$

### 10.Συμπαγείς έδρες (Solid Floors).

Σύμφωνα με τον κανονισμό [3.2.4/5.1] ισχύει ότι στην περιοχή της μέσης τομής του πλοίου, πρέπει να τοποθετούνται συμπαγείς έδρες το πολύ κάθε 3,66 m (12 ft) σε συνδυασμό με ενδιάμεσες ανοικτές έδρες ή με διαμήκεις νομείς του πυθμένα ή του εσωτερικού πυθμένα. Στην περιοχή του μηχανοστασίου οι συμπαγείς έδρες θα πρέπει να τοποθετούνται σε κάθε κατασκευαστικό νομέα, και το πάχος τους προδιαγράφεται αλλιώς. Σε ότι αφορά την μέση τομή, θα τοποθετήσουμε έδρες κάθε 3 κατασκευαστικούς νομείς, δηλαδή κάθε  $3 \times 0.835 = 2.505 \text{ m}$ .

Το απαιτούμενο πάχος των εδρών υπολογίζεται από τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε και για τα ελάσματα των πλευρικών σταθμίδων για  $c = 1.5$ .

Έχουμε:

$$t = 0.036 * 341 + 4.7 + 1.5 = 18.476 \text{ mm}$$

Και επιλέγεται έλασμα πάχους: **t = 19 mm**

### **11. Έλασμα καταστρώματος ( Deck plating )**

Βάσει του κανονισμού [3.2.3/5.1] το ελάχιστο πάχος του ελάσματος του κύριου καταστρώματος προκύπτει από τις εξισώσεις του πίνακα [3.2.3/TABLE2].

Για κατάστρωμα λοιπόν ενισχυμένο κατά τον διαμήκη άξονα για πλοίο μεγαλύτερο των 183 m και ισαπόσταση ενισχυτικών  $s_b = 900 \text{ mm}$ , από την εξίσωση 1b έχουμε:

$$t = 0.006s_b + 4.7 = 10.1 \text{ mm}$$

$$t = \frac{24.38 s_b}{1615.4 - 1.1L} = 17.69 \text{ mm}$$

Τελικά επιλέγεται **t = 18 mm**.

### **12. Κεντρικό έλασμα διαμήκους φρακτής (Hold stringer) (3.2.6/5.1)**

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος αυτού δίνεται από τη σχέση:

$$t = 0.007 \cdot L + 8.6 = 10.987 \text{ mm, για } 200 \text{ m} < L < 427 \text{ m}$$

Τελικά επιλέγεται **t = 11 mm**.

### **13. Έλασμα πλευρικών δεξαμενών (Longitudinal bulkhead plating)** **(3.2.10/3.1)**

Το πάχος του ελάσματος της φρακτής δεν πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που δίνει η παρακάτω σχέση:

$$t = s \cdot k \cdot \frac{\sqrt{q \cdot h}}{254} + 2.5 = 15.66 \text{ mm}$$

Όπου:

$h = 25.52 \text{ m}$ , είναι η καθ' ύψος απόσταση κατά την οποία εκτείνεται η φρακτή

$s = 900 \text{ mm}$ , είναι η ισαπόσταση των ενισχυτικών

$$k = \frac{3.075 \cdot \sqrt{a} - 2.077}{a + 0.272} = 0.827, \text{ όπου } a = 27.52/25.52 = 1.078$$

$q = \frac{235}{Y} = 1$ , όπου  $Y = 235 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ , είναι το ελάχιστο σημείο διαρροής για το υλικό.

Έτσι, εκλέγουμε έλασμα με πάχος  $t = 18 \text{ mm}$ .

### **14. Έλασμα υδρορροής κυρίου καταστρώματος (Main deck stringer plating) (3.2.3/3.11)**

Το έλασμα της υδρορροής του κυρίου καταστρώματος πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον ίσο με το πάχος του καταστρώματος. Έτσι επιλέγουμε πάχος ελάσματος  $t = 18 \text{ mm}$ . Το πλάτος του ελάσματος υδρορροής επιλέγεται να είναι  $1600 \text{ mm}$ . Στον πίνακα για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης βάζουμε ενιαία το κατάστρωμα με το έλασμα υδρορροής αφού έχουν το ίδιο πάχος.

### **15. Αγκώνες (Brackets)**

Χρησιμοποιούνται σαν τοπικές ενισχύσεις και τοποθετούνται στην περιοχή ένωσης του ελάσματος του πλευρικού τοιχώματος με το κατάστρωμα ή της έδρες στην περιοχή του καταστρώματος. Το πάχος τους επιλέγεται να είναι ίσο με το αντίστοιχο των εδρών, δηλαδή  $t = 19 \text{ mm}$ .

### **8.3 Υπολογισμός Χαρακτηριστικών Ενισχυτικών**

Στο σημείο αυτό υπολογίζεται η ροπή επιφανείας των ενισχυτικών της μέσης τομής του πλοίου. Ακολουθεί επεξήγηση των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις παρακάτω εξισώσεις.

**SM:** κύρια ροπή επιφάνειας της εγκάρσιας, ως προς το πλοίο, τομής του ενισχυτικού.

**s:** ισάποσταση ενισχυτικών

**l:** ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού

**h:** απόσταση που έχει σχέση με την υδροστατική φόρτιση που δέχεται το ενισχυτικό

**c:** συντελεστής διόρθωσης ανάλογα με την θέση και το σκοπό του ενισχυτικού

Τα ενισχυτικά επιλέχθηκαν με βάση πίνακες από βιβλίο του Ελληνικού Νηογνώμονα. Επίσης, διάφορα στοιχεία όπως η ισάποσταση και ο αριθμός των ενισχυτικών.

#### **1. Ενισχυτικά πυθμένα ( Bottom longitudinals )**

Για τα διαμήκη ενισχυτικά του πυθμένα σε συνδυασμό με το συνεργαζόμενο έλασμα του πυθμένα προβλέπεται από τον κανονισμό [3.2.4/11.3]:

$$SM = 7.8cshl^2$$

**c** = 1.3 χωρίς δοκό στήριξης

**s** = 0.8 m

Η μεταβλητή **h** υπολογίζεται ως η μέγιστη τιμή μεταξύ των  $(2/3D, T)$  όπου **D** είναι το κοίλο του πλοίου και **T** είναι το βύθισμα σχεδίασης. Προκύπτει ότι **h** = 21.589 m.

Η μεταβλητή **l** υπολογίζεται ως η απόσταση μεταξύ των στηρίξεων των ενισχυτικών που την υπολογίζουμε για 1.83 m.



Τελικά προκύπτει:  $SM = 7.8 * 1.3 * 0.8 * 21.589 * 1.83^2 = 586.49 \text{ cm}^3$

Αν θεωρήσουμε ισοδύναμο πλάτος ελάσματος ίσο με την ισαπόσταση των ενισχυτικών, τότε το εμβαδόν του συνεργαζόμενου ελάσματος θα είναι  $80 \cdot 2.6 = 208 \text{ cm}^2$

Επιλέγονται ενισχυτικά two-sided bulbflatbar (260x66x14), German Din, με  $SM = 605 \text{ cm}^3$  και  $SM = 3954 \text{ cm}^3$

### 2. Ενισχυτικά διπύθμενου ( Inner bottom longitudinals)

Για τα ενισχυτικά του διπύθμενου πρέπει η ροπή επιφανείας να ισούται τουλάχιστον με το 85% αυτής που υπολογίστηκε για τα ενισχυτικά του πυθμένα [3.2.4/11.5] άρα :

$$SM = 0.85 * 586.49 = 498.52 \text{ cm}^3$$

Αν θεωρήσουμε ισοδύναμο πλάτος ελάσματος ίσο με την ισαπόσταση των ενισχυτικών, τότε το εμβαδόν του συνεργαζόμενου ελάσματος θα είναι  $80 \cdot 1.9 = 152 \text{ cm}^2$ .

Επιλέγονται ενισχυτικά two-sided bulbflatbar (260x64x12), German Din, με  $SM = 546.6 \text{ cm}^3$  και  $SM = 3033 \text{ cm}^3$

### 3. Εγκάρσια δοκός καταστρώματος

Με την ίδια μέθοδο υπολογίζεται η ροπή αντίστασης της εγκάρσιας δοκού καταστρώματος με ισαπόσταση 0.8 m και πλάτος  $l = 6 \text{ m}$ .

Προκύπτει:  $SM = ckr_D l s = 0.75 * 1 * 115.55 * 6 * 0.8 = 415.98 \text{ cm}^3$ .

Επιλέγονται ενισχυτικά two-sided bulbflatbar (240x61x13), German Din, με  $SM = 546.6 \text{ cm}^3$  και  $SM = 3033 \text{ cm}^3$

#### 4. Διαμήκη ενισχυτικά ελάσματα πλευράς

Η ροπή αδράνειας του ενισχυτικού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή που δίνεται από την παρακάτω σχέση σύμφωνα με τον κανονισμό [3.2.5/3.17]:

$$SM = 7.8cshl^2$$

$$c = 0.95$$

$$s = 0.900 \text{ m}$$

$$h = 0.5D = 13.76 \text{ m (greater vertical distance)}$$

$$l = 2.9 \text{ m, ανυποστήρικτο μήκος ίσο με την ισαπόσταση των strong frames}$$

$$\text{Τελικά } SM = 771.75 \text{ cm}^3$$

Αν θεωρήσουμε ισοδύναμο πλάτος ελάσματος ίσο με την ισαπόσταση των ενισχυτικών, τότε το εμβαδόν του συνεργαζόμενου ελάσματος θα είναι  $90 \cdot 2 = 180 \text{ cm}^2$

Επιλέγονται ενισχυτικά two-sided bulbflatbar (300x74x14), German Din, με  $SM = 833.6 \text{ cm}^3$  και  $SM = 4255.6 \text{ cm}^3$

#### 5. Διαμήκη ενισχυτικά καταστρώματος (Main deck longitudinals) (3.2.7/3.1)

Η ροπή αδράνειας του συνδυασμού ελάσματος – ενισχυτικού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$SM = 7.8cshl^2 = 1896.29 \text{ cm}^3$$

Όπου:

$$s = 0.9 \text{ m, } c = 0.585, h = 2.29 \text{ m (3.2.7/TABLE 1), } \ell > 0.2 \cdot B = 14 \rightarrow$$

$$\rightarrow \ell = 14.2 \text{ m}$$

Έχουμε ήδη επιλέξει πάχος ελάσματος καταστρώματος  $t = 18 \text{ mm}$ . Αν θεωρήσουμε ισοδύναμο πλάτος ελάσματος ίσο με την ισαπόσταση των ενισχυτικών, τότε το εμβαδόν του συνεργαζόμενου ελάσματος θα είναι  $90 \cdot 1,8 = 162 \text{ cm}^2$  για το κύριο κατάστρωμα.

Επιλέγονται ενισχυτικά one-sided bulbflatbar (431.8x58.9x19.8), British Standard Profile, με  $SM = 2080 \text{ cm}^3$  και  $SM = 5822 \text{ cm}^3$

### **6. Διαμήκη ενισχυτικά πλευρικών δεξαμενών (Bulkhead longitudinals)**

#### **(3.2.10/3.3)**

Η ροπή αδράνειας του συνδυασμού ελάσματος – ενισχυτικού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$SM = 7.8chsI^2 = 2659.75 \text{ cm}^3$$

Όπου:

$$s = 0.90 \text{ m}$$

$$c = 0.594$$

$$h = 2/3 \cdot D - \ell/2 = 15.097 \text{ m}$$

$$I = 6.5 \text{ m (από μέση τομή apolytares OXI)}$$

Έχουμε ήδη επιλέξει πάχος ελάσματος πλευρικής δεξαμενής  $t = 18 \text{ mm}$ .

Αν θεωρήσουμε ισοδύναμο πλάτος ελάσματος ίσο με την ισαπόσταση των ενισχυτικών, τότε το εμβαδόν του συνεργαζόμενου ελάσματος θα είναι

$$90 \cdot 1.8 = 162 \text{ cm}^2.$$

Επιλέγονται ενισχυτικά T-bars cut from universal beams (381x266.7x15.6x23.1), British Standard Profiles, με  $SM = 2997 \text{ cm}^3$  και  $SM = 7046 \text{ cm}^3$

### 7.Εγκάρσιοι νομείς (Transverse frames)

Με βάση την παράγραφο [3.2.5/3.1], έχουμε απαίτηση ροπής αντίστασης για τους εγκάρσιους νομείς :

$$SM = sl^2 \left( h + \frac{bh_1}{30} \right) \left( 7 + \frac{45}{l^3} \right)$$

Όπου:

**h** = 3.529 m, η κατακόρυφη απόσταση από το κέντρο του I έως τη γραμμή φόρτωσης.

**h<sub>1</sub>** = 0 , κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή του νομέα έως το freeboard deck

**l** = 5.12 m , το span του νομέα (27.52-5.4) (από Apolytares )=22.12, 22.12-17=5.12 από γραμμές )

**s** = 0.7 , η ισαπόσταση των κανονικών νομέων

**b** = 0.9 m , οριζόντια απόσταση από την εξωτερική πλευρά των νομέων ως τα πρώτα ενισχυτικά του καταστρώματος

Τελικά προκύπτει:

$$SM = sl^2 \left( h + \frac{bh_1}{30} \right) \left( 7 + \frac{45}{l^3} \right) = \mathbf{610,73 \text{ cm}^3}$$

Επιλέγονται ενισχυτικά angle bars Type 31 (300x100x11.5) με SM = 736 cm<sup>3</sup>

### **8.Ενισχυμένοι εγκάρσιοι νομείς (Strong transverse frames)**

Με βάση την παράγραφο [3.2.5/3.1], έχουμε απαίτηση ροπής αντίστασης για τους εγκάρσιους νομείς :

$$SM = sl^2 \left( h + \frac{bh_1}{30} \right) \left( 7 + \frac{45}{l^3} \right)$$

Όπου:

**h** = 3.529 m, η κατακόρυφη απόσταση από το κέντρο του I έως τη γραμμή φόρτωσης.

**h<sub>1</sub>** = 0, κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή του νομέα έως το freeboard deck

**l** = 5.12 , το span του νομέα

**s** = 2.8 , η ισαπόσταση των ενισχυμένων νομέων ανα 4 κανονικούς νομείς

**b** = 0.9 m , οριζόντια απόσταση από την εξωτερική πλευρά των νομέων ως τα πρώτα ενισχυτικά του καταστρώματος

Τελικά προκύπτει:  $SM = sl^2 \left( h + \frac{bh_1}{30} \right) \left( 7 + \frac{45}{l^3} \right) = 2442.92 \text{ cm}^3$

Επιλέγονται ενισχυτικά angle bars Type 243 angle 20 (450x160x14)  
με  $SM = 2662 \text{ cm}^3$

#### **8.4 Υπολογισμός Ροπής Αντίστασης**

Ο υπολογισμός της ροπής αντίστασης έγινε με τη βοήθεια πίνακα, στον οποίο αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά όλων των κατασκευαστικών στοιχείων της μέσης τομής που συνεισφέρουν στον ανωτέρω υπολογισμό. Για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης έχουν παρθεί και στοιχεία από την μέση τομή του TRIALITY που παρήχθη στο πρόγραμμα *Surface and Compartment* του AVEVA M12.

Ενώ αρχικά οι υπολογισμοί γίνονται από τη base line στη συνέχεια οι υψομετρικές διαφορές μετριούνται από τον ουδέτερο άξονα γι' αυτό και τα ανάλογα ύψη παίρνουν το δείκτη  $N_A$ .

Ο ουδέτερος άξονας προκύπτει ως το ηλίκο  $h_{NA} = \frac{\sum AY}{\sum A}$

Ενώ η ροπή αδράνειας δίδεται από τη σχέση:  $\sum \frac{Ah^2}{12} + \sum AY^2$

Τέλος, η ροπή αντίστασης δίδεται από τη σχέση :  $SM = \frac{I}{h_{NA}}$ , για τον πυθμένα και ως  $SM = \frac{I}{D-h_{NA}}$  για το κατάστρωμα.

### Plating:

Συνολικά :

$h_{NA}$	14.362		
$I_{yy} =$	18301438	>	11850970,8
$SM_{top} =$	1390893.93	>	1157294,21
$SM_{bot} =$	1274299.47	>	1157294,21

Βλέπουμε πως οι τιμές μας είναι όλες μεγαλύτερες από τα απαιτούμενα μεγέθη, άρα η μέση τομή είναι μελετημένη ικανοποιητικά.

### Βάρος γάλυβα ανά τρέχον μέτρο μεταλλικής κατασκευής

Τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της μέσης τομής έχουν συνολικό εμβαδόν

$$\sum A = 108140.3 \text{ cm}^2 = 10.814 \text{ m}^2$$

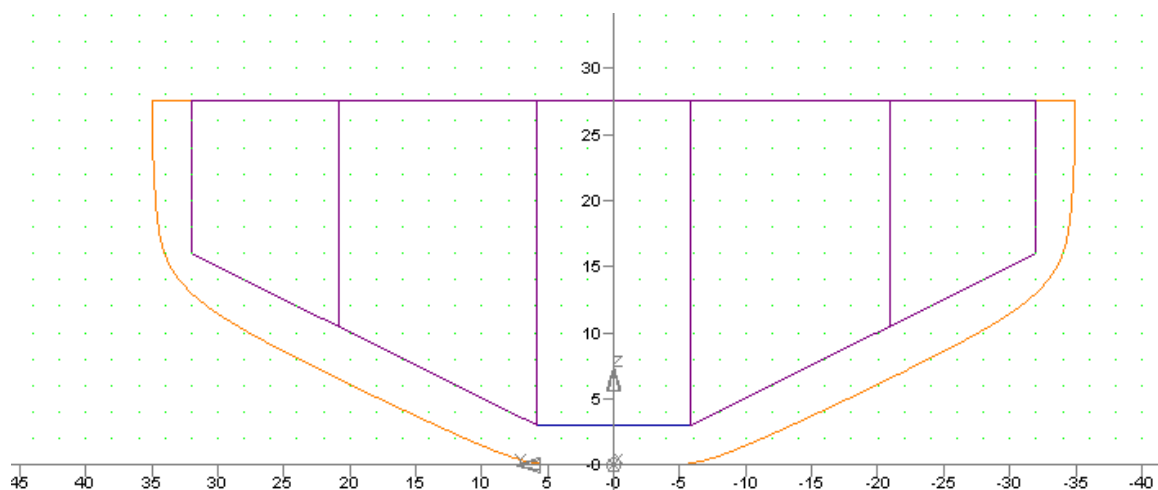
Για πυκνότητα γάλυβα  $\rho = 7.75 \text{ t/m}^3$ , βρίσκουμε ότι το βάρος  $w$ , ανά τρέχον μέτρο των στοιχείων αυτών είναι:

$$w = \rho \sum A = 7.75 * 10.814 = 83.8085 \text{ t/m}$$

Στο παραπάνω βάρος θα πρέπει να προστεθεί και το βάρος των ενισχυμένων νομέων. Για να υπολογιστεί η περαιτέρω επιφάνεια των ενισχυμένων νομέων από το σχέδιο της μέσης τομής στο Autocad και με τη βοήθεια της εντολής massprop λαμβάνεται το εμβαδόν του hopper και στο top side καθώς και των floors. Τελικώς, προκύπτει ότι:

$$W_{\text{total}} = 83.8085 + 14.2464 = \mathbf{98.055 \text{ t/m.}}$$

Παρακάτω απεικονίζεται η μέση τομή όπως αυτή δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα *Surface and Compartment* του AVEVA M12.



Εικόνα 8.1: Μέση τομή του Triality στο πρόγραμμα Surface and Compartment του AVEVA M12

Παρακάτω απεικονίζεται η μέση τομή σύμφωνα με το report του DNV από όπου πάρθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ διάφορων στοιχείων, όπως οι αποστάσεις μεταξύ των διαμήκων φρακτών και οι θέσεις τους, η γωνία ανύψωσης της πλευράς του πλοίου, η απόσταση μεταξύ της εξωτερικής πλευράς και των πλευρικών δεξαμενών, η θέση των διάφορων διαμήκων ενισχυτικών και των σταθμίδων κ.α.

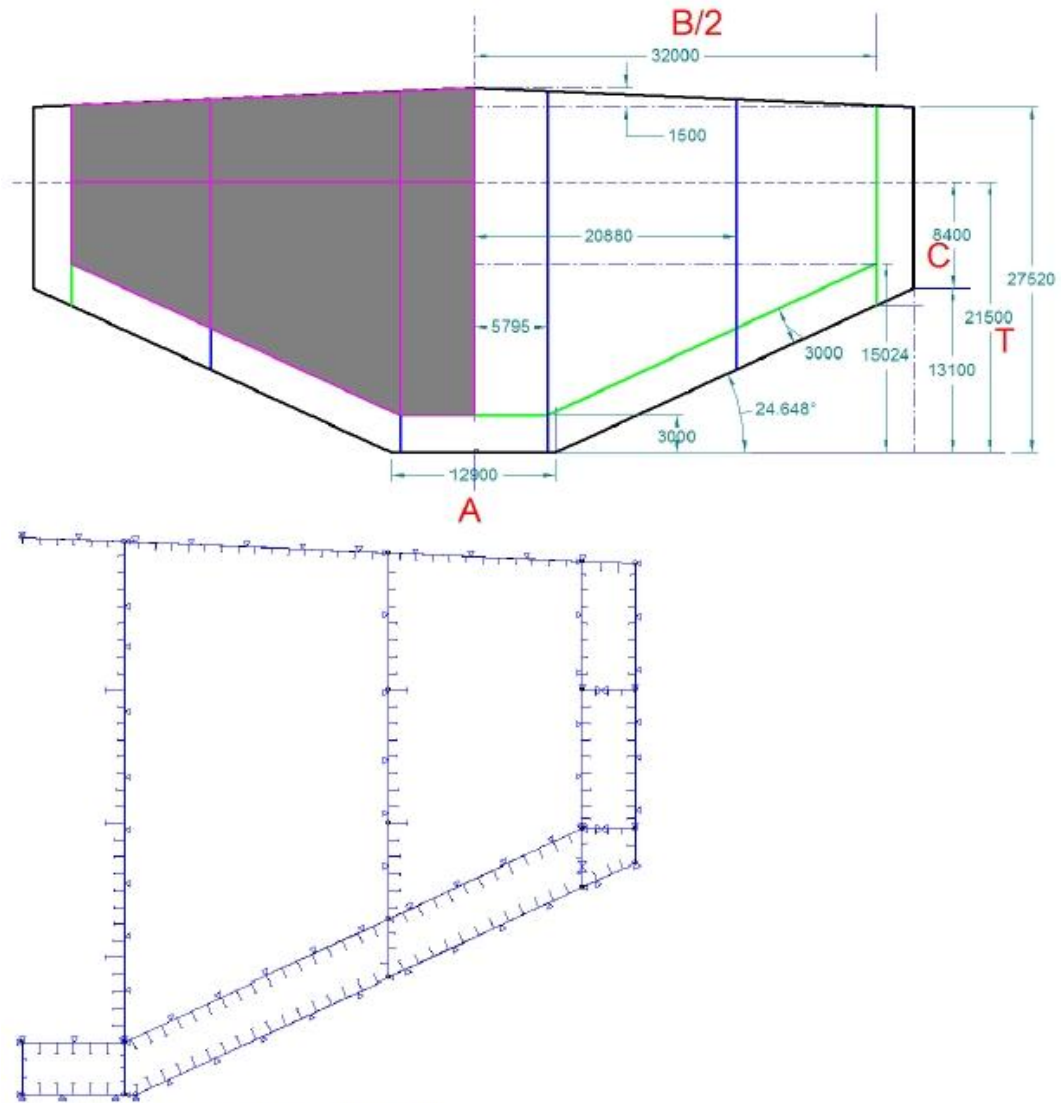


Figure 50 Mid ship section from Nauticus Hull

Εικόνα 8.2: Μέση τομή του Triaity όπως αυτή παριστάνεται στο report του DNV



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΚΟΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ TRIALITY

#### 9.1 Προϋπολογισμός Κόστους Κατασκευής Και Εκμετάλλευσης

Το κόστος κατασκευής ενός πλοίου συνήθως αναλύεται σύμφωνα με τις κύριες κατασκευαστικές μονάδες, που το συνθέτουν, όπως τη μεταλλική κατασκευή, την μηχανολογική εγκατάσταση, την ενδιαίτηση και τον εξοπλισμό. Τα μεγέθη αυτά είναι συνάρτηση του τύπου του σκάφους, του απόλυτου μεγέθους του, του κατασκευαστή και του χρόνου ναυπήγησης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος κατασκευής ενός πλοίου δεν είναι ταυτόσημο με το κόστος απόκτησής του. Για τον υπολογισμό του τελευταίου πρέπει πέραν του συνυπολογισμού του προσδοκώμενου κέρδους του ναυπηγείου, να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες αγοράς (ζήτηση και προσφορά) και οι τιμές των ναύλων. Υψηλοί ναύλοι, που προκύπτουν σε συνθήκες μεγάλης μεταφορικής ζήτησης, οδηγούν μονοσήμαντα σε υψηλές τιμές πλοίων. Αυτή την περίοδο, σύμφωνα με στοιχεία του έγκυρου οίκου ναυτιλιακών ερευνών CLARKSON, οι τιμές των δεξαμενοπλοίων VLCC κυμαίνονται γύρω στα 100-110 εκατομμύρια δολάρια. Συνήθως, το πραγματικό κόστος κατασκευής των πλοίων δεν δίνεται από τα ναυπηγεία.

Παρακάτω γίνεται ένας προκαταρκτικός - προσεγγιστικός υπολογισμός του συνολικού κόστους κτήσεως και εκμετάλλευσης του υπό μελέτη πλοίου για να βγάλουμε ένα ποιοτικό συμπέρασμα και μια τάξη μεγέθους των κοστών αυτών.

Παρακάτω υπενθυμίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του TRIALITY.

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	$L_{OA}$	361 m
	ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΘΕΤΩΝ	$L_{BP}$	351 m
	ΠΛΑΤΟΣ	B	70 m
	ΚΟΙΛΟ	D	27.52 m
	ΒΥΘΙΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	T	21.589 m
	ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ	$\Delta$	327958 t
	ΒΑΡΟΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ	$W_{LS}$	41600 t
	DEADWEIGHT	DWT	286358 t
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ	$C_B$	0.605
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΑΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	$C_{WL}$	0.736
	ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	$C_P$	0.820
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	$C_M$	0.738
ΒΑΡΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	$W_{ST}$	33676 t
	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	$W_M$	2302 t
	ΕΝΔΙΑΙΤΗΣΗΣ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	$W_{OT}$	5622 t
	ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ	$W_{PAYLOAD}$	281285 t

Πίνακας 9.1: Κύρια χαρακτηριστικά του TRIALITY

**Κόστος Κτήσεως Πλοίου**

Το συνολικό κόστος κατασκευής του TRIALITY αναλύεται σε τρεις κατηγορίες:

- Κόστος μεταλλικής κατασκευής
- Κόστος ενδιαίτησεως και εξοπλισμού
- Κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης

### Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής

Το κόστος μεταλλικής κατασκευής αποτελείται από το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος.

Το κόστος των υλικών υπολογίζεται για τιμή χάλυβα 748 \$/ton (<http://www.meps.co.uk/ShipBuildingIndex.htm>) και φύρα της τάξης 14% για VLCC με μικρό συντελεστή γάστρας. Επομένως, προκύπτει: ( $W_{st} = 33676$  ton)

$$C_M = 1.14 \times 748 \text{ \$/ton} \times W_{st} = 28716199 \text{ \$}$$

Οι εργατοώρες που απαιτούνται για τη μεταλλική κατασκευή ενός δεξαμενόπλοιου, υπολογίζονται προσεγγιστικά από την σχέση Johnson-Rumple:

$MHR = 141.2 \times W_{st}^{0.9} = 1676576$  h. Το εργατικό κόστος, θεωρώντας κόστος εργατοώρας σε κορεάτικο ναυπηγείο ίσο με 18\$/εργατοώρα, προκύπτει:

$$C_W = 18 \text{ \$} \times MHR = 30178368 \text{ \$}$$

Αναλυτικά, το συνολικό κόστος μεταλλικής κατασκευής θα είναι:

ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			$W_{ST} = 33676$ ton
	ΚΟΣΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ
<b>ΕΡΓΑΤΙΚΑ</b>	30178368 \$	51.24 %	896.14 \$ per ton
<b>ΥΛΙΚΑ</b>	28716199 \$	48.76 %	852.72 \$ per ton
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	58894567 \$	100 %	1748.86 \$ per ton

### Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου αποτελείται από το κόστος των υλικών και το εργατικό κόστος.

Το κόστος των υλικών μιας μηχανολογικής εγκατάστασης είναι κατά κύριο λόγο ανάλογο της συνολικής ισχύος των μηχανών. Με βάση τα στοιχεία της κατασκευάστριας εταιρείας, το κόστος της κύριας μηχανής πρόωσης του πλοίου ανέρχεται σε 500 – 700 \$/KW εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης, θεωρούμε προσαύξηση της τάξης του 30% για τον υπόλοιπο εξαρτισμό (αντλίες, έλικες, έδρανα, άξονας, συστημάτων ελέγχου και τροφοδοσίας

κύριων μηχανών κτλ). Επίσης, προσθέτουμε το κόστος για τα βοηθητικά μηχανήματα (ηλεκτρογεννήτριες).

Επομένως, το κόστος των υλικών προκύπτει:

$$C_M = (1.3 \times P_B + P_G) \times 600 \text{ \$/kW} = 34664400 \text{ \$, όπου:}$$

$P_B = 42880 \text{ kW}$  η ισχύς στους άξονες των μηχανών.

$P_G = 2030 \text{ kW}$  η συνολική ισχύς των 3 γεννητριών, σύμφωνα με τον DNV.

Για το εργατικό κόστος δεν βρήκαμε στοιχεία.

### Κόστος Εκμετάλλευσης Πλοίου

Το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου "TRIALITY" αποτελείται από τα εξής επιμέρους κόστη:

- Κόστος LNG
- Κόστος MGO
- Κόστος Lubricating Oil
- Κόστος Fresh Water
- Κόστος Τροφοδοσίας
- Κόστος Μισθοδοσίας
- Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών
- Κόστος Ασφάλισης
- Λιμενικά έξοδα
- Γενικά έξοδα

Ο προσεγγιστικός υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών, αφορά σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Θεωρούμε ότι τα ταξίδια του πλοίου είναι συνεχή και κυκλικά στην ίδια διαδρομή, η οποία έχει μήκος με 16000 (1065 ώρες εν πλω με 15 kn) ναυτικά μίλια στην μετάβαση και 17740 ναυτικά μίλια ( 1075 ώρες εν πλω με 16.5 kn) στην επιστροφή.

Για κάθε ένα κυκλικό ταξίδι, με ταχύτητα 15 kn στην μετάβαση και με ταχύτητα 16.5 kn στην επιστροφή θεωρούμε επίσης τα εξής:

	Μετάβαση	Επιστροφή	Σύνολο Ταξιδιού
Χρόνος εισόδου & εξόδου στα λιμάνια	4 h	4 h	8 h
Χρόνος φορτοεκφόρτωσης	48 h	48 h	96 h
Χρόνος εν πλω	1131 h	1075 h	2206 h
Συνολικός χρόνος	1183 h	1127 h	2310 h = 96.25 d

Υπό την προϋπόθεση ότι 30 ημέρες ανά έτος διατίθενται για επισκευές, ο αριθμός των κυκλικών ταξιδιών ανά έτος είναι:

$$N = \frac{365 \text{ days} - 30 \text{ days}}{96.25} = 3.48 \rightarrow 3 \text{ trips/year}$$

Ο χρόνος εν πλω ανά έτος υπολογίζεται λοιπόν ίσος με 289 ημέρες. Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους των αναλωσίμων του πλοίου πέρα από τα παραπάνω, χρειαζόμαστε και τις ποσότητες που καταναλώνονται ανά ταξίδι.

Με βάση λοιπόν τα δεδομένα από τις καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου για τις καταστάσεις Departure και Arrival, προκύπτουν τα εξής:

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΟ ΤΑΞΙΔΙ (μετάβαση)</b>			
	DEPARTURE (ton)	ARRIVAL (ton)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ton)
LNG	3400	340	3060
MARINE GAS OIL	763	77	686
LUB OIL	260	26	234
FRESH WATER	600.2	61.2	539
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΟ ΤΑΞΙΔΙ (επιστροφή)</b>			
	DEPARTURE (ton)	ARRIVAL (ton)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (ton)
LNG	1700	170	1530
MARINE GAS OIL	382	38	344
LUB OIL	260	26	234
FRESH WATER	600.2	61.2	539

Οπότε, στο σύνολο ενός κυκλικού ταξιδιού καταναλώνονται:

	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (tons)
LNG	4590
MARINE GAS OIL	1030
LUB OIL	468
FRESH WATER	1078

Με βάση τα παραπάνω και τις ισχύουσες τιμές της αγοράς καυσίμων, προκύπτουν:

### Κόστος LNG

Για κόστος φυσικού αερίου 9.77 \$/mmbtu, δηλαδή περίπου 500 \$/ton καυσίμου LNG το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{LNG} = 4590 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \times 500 \frac{\$}{\text{ton}} \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 6885000 \frac{\$}{\text{year}}$$

### Κόστος MARINE GAS OIL

Για κόστος 800\$/ton καυσίμου, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{MGO} = 1030 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \times 800 \frac{\$}{\text{ton}} \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 2472000 \frac{\$}{\text{year}}$$

### Κόστος LUB OIL

Για κόστος 800\$/ton λιπαντικού, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{LO} = 468 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \times 800 \frac{\$}{\text{ton}} \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 1123200 \frac{\$}{\text{year}}$$

### Κόστος FRESH WATER

Για κόστος του Fresh Water 0.5\$/ton, το συνολικό ετήσιο κόστος θα είναι:

$$C_{FW} = 1078 \frac{\text{tons}}{\text{trip}} \times 0.5 \frac{\$}{\text{ton}} \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 1617 \frac{\$}{\text{year}}$$

Για τα υπόλοιπα κόστη έχουμε:

### Κόστος Πληρώματος

1) Για πλήρωμα 30 ατόμων και κόστος τροφοδοσίας κατά μέσο όρο ίσο με 16 \$/άτομο/ημέρα, το συνολικό ετήσιο κόστος τροφοδοσίας προκύπτει:

$$C_{FS} = 30 \text{ people} \times \frac{16\$}{\text{person}\cdot\text{day}} \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} \times 96.25 \frac{\text{days}}{\text{trip}} = 138600 \frac{\$}{\text{year}}$$

2) Για πλήρωμα 30 ατόμων και κόστος μισθοδοσίας κατά μέσο όρο ίσο με 2000\$/άτομο/μήνα, το συνολικό ετήσιο (+ 2 μήνες δώρο) κόστος μισθοδοσίας προκύπτει:

$$C_{PR} = 30 \text{ people} \times \frac{2000\$}{\text{person}\cdot\text{month}} \times \frac{14\text{months}}{\text{year}} = 840000 \frac{\$}{\text{year}}$$

3) Υπολογίζουμε και κάποιο υπόλοιπο κόστος για το πλήρωμα που περιλαμβάνει τυχόν αλλαγή πληρώματος (crew change), ειδικά επιδόματα εργασίας, πλυντήρια, ρούχα εργασίας, περαιτέρω εκπαίδευση/εξάσκηση, άδειες, κόστη εγκατάστασης, καθαρισμός χώρων φορτίου, housekeeping, έξοδα του γραφείου πληρώματος (crew agency fee), εστιατόριο και bar. Το κόστος των παραπάνω το εκτιμούμε προσεγγιστικά σε  $230000 \frac{\$}{\text{year}}$  από στοιχεία της διεθνούς αγοράς για VLCC και από τα OpCost reports της Moore Stephens.

Το κόστος ασφάλισης των μελών του πληρώματος υπολογίζεται παρακάτω.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το συνολικό κόστος πληρώματος ανέρχεται σε  $1208600 \frac{\$}{\text{year}}$ .

### Κόστος Stores

Εδώ περιλαμβάνονται διάφορα αναλώσιμα, χημικά, εφόδια και εξόπλισμοι, sea stock paints, ship's stores κ.α. Το κόστος τους εκτιμάται γύρω στα  $200000 \frac{\$}{\text{year}}$  για ένα VLCC (πηγή: OpCost Report, Moore Stephens)

**Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών**

Οι δαπάνες συντηρήσεως και επισκευών της μεταλλικής κατασκευής δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$C_{R+M,ST} = 25000 \times \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{10^5} \right)^{2/3} = 89394 \frac{\$}{\text{year}}$$

Οι δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών της μηχανολογικής εγκατάστασης δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση με BHP=58300.5 PS η συνολική ισχύς των δύο μηχανών:

$$C_{R+M,M} = 5.44 \times \text{BHP} = 317155 \frac{\$}{\text{year}}$$

Επίσης, πρέπει να προσθέσουμε στα παραπάνω κόστη και το ετήσιο κόστος των spares (charts and nautical, deck machinery, freight and forwarding, main and auxiliary engines, other spares). Το κόστος τους εκτιμάται γύρω στα  $280000 \frac{\$}{\text{year}}$  για ένα VLCC (πηγή: OpCost Report, Moore Stephens).

Συνεπώς, οι συνολικές ετήσιες δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών είναι:

$$C_{R+M} = 686549 \frac{\$}{\text{year}}$$

**Κόστος Ασφαλίσεως**

1) Το κόστος ασφαλίσεως για 30 άτομα πλήρωμα και δίνεται από τη σχέση:

$$C_{IN} = 1925 \times \left( N_{CREW} + \frac{GT}{1000} \right) = 250329 \frac{\$}{\text{year}},$$

Όπου:

**GT (ολική χωρητικότητα)** =  $(0.2 + 0.002 \log V)V = 100041 \text{ RT}$  και  $V \cong 473341 \text{ m}^3$  ο συνολικός όγκος της γάστρας έως το κύριο κατάστρωμα που πάρθηκε από το αρχείο γραμμών στο πρόγραμμα AVEVA/TRIBON και των υπερκατασκευών-προστέγου (ο όγκος τους υπολογίστηκε προσεγγιστικά από όμοιο πλοίο VLCC παρόμοιου DWT και είναι ίσος με  $23860 \text{ m}^3$ ). Η ολική χωρητικότητα υπολογίστηκε με βάση τους διεθνείς κανονισμούς καταμέτρησης.



2) Το κόστος ασφάλισης των P&I (club calls, freight, demurrage, defence calls) και το κόστος ναυτικής ασφάλισης (contractual liability, drug seizure, excess oil pollution, hull and machinery and cargo, insurance, war risks, loss of earnings) εκτιμώνται γύρω στα  $115000 \frac{\$}{\text{year}}$  για ένα VLCC (πηγή: OpCost Report, Moore Stephens).

Επομένως, το συνολικό κόστος ασφάλισης ανέρχεται σε  $365329 \frac{\$}{\text{year}}$ .

### Έξοδα Λιμένων

Τα έξοδα για κάθε προσέγγιση σε λιμένα δίδονται από την εξής σχέση:

$$600 + 50 \times \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{10^5} \right) = 12539.3 \frac{\$}{\text{single trip}}$$

$$L_{BP} = 351 \text{ m} / 0.3048 = 1151.57 \text{ ft},$$

$$B = 70 \text{ m} / 0.3048 = 229.66 \text{ ft},$$

$$D = 27.52 \text{ m} / 0.3048 = 90.29 \text{ ft}$$

Εφόσον το πλοίο κάνει 3 ταξίδια/έτος, το συνολικό ετήσιο κόστος για ελλιμενισμό θα είναι:

$$C_{\text{Port}} = 12539.3 \frac{\$}{\text{singletrip}} \times 2 \times 3 \frac{\text{trips}}{\text{year}} = 75236 \frac{\$}{\text{year}}$$

### Κόστος Διαχείρισης (Administration Cost)

Περιλαμβάνονται έξοδα διαχείρισης όπως ποσά-χρεώσεις για υπηρεσίες management, για τεχνικό management, για διαχείριση πληρώματος κ.α. Επίσης, περιλαμβάνονται τα ετήσια κόστη εγγραφής του πλοίου (Annual ship registration fees and national authorities fees). Το κόστος των παραπάνω εκτιμάται γύρω στα  $375000 \frac{\$}{\text{year}}$  για ένα VLCC (πηγή: OpCost Report, Moore Stephens).

### Γενικά Έξοδα

Τα γενικά έξοδα ανά έτος δίδονται από τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$C_G = 6500 + 70 \times \left( \frac{L_{BP} \times B \times D}{100} \right) = 479817 \frac{\$}{\text{year}}$$

Συνεπώς, το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου ανά έτος προκύπτει:

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ		
	ΚΟΣΤΟΣ (\$)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%)
LNG	6885000	49.91
MARINE GAS OIL	2472000	17.92
LUB OIL	1123200	8.14
FRESH WATER	1617	0.011
ΚΟΣΤΟΣ ΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ	1208600	8.76
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	375000	2.72
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ	686549	4.41
ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ STORES	200000	1.45
ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΗΣ	365329	2.65
ΛΙΜΕΝΕΣ	75236	0.55
ΓΕΝΙΚΑ	479817	3.48
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>13872689</b>	<b>100</b>

### 9.2 Σύγκριση Κόστους Του Triality Και Ενός Συμβατικού VLCC

Η ναυτιλιακή βιομηχανία και γενικότερα η ναυτιλιακή κοινότητα διεθνώς αντιμετωπίζει την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη και ζήτηση για περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον πλοία, με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Για πλοία που είναι κατασκευασμένα πριν το 2016, η τωρινή πρόκληση και ανάγκη είναι να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του υδάτινου έρματος και των εκπομπών αέριων ρύπων. Για ένα συμβατικό VLCC που καίει βαρύ πετρέλαιο, η εγκατάσταση ενός ‘scrubber’ καυσαερίων και ενός συστήματος διαχείρισης του υδάτινου έρματος είναι ένας πιθανός τρόπος για την κάλυψη των παραπάνω απαιτήσεων.

Το ερώτημα, από εδώ και πέρα, είναι αν το TRIALITY μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμο και αν είναι οικονομικά αποδοτικότερο από ένα συμβατικό πλοίο ίδιας κατηγορίας και παρόμοιας μεταφορικής ικανότητας. Σίγουρα, ακριβές ποσοτικό συμπέρασμα δεν μπορεί να εκλεχθεί, καθώς δεν

υπάρχουν τα επαρκή στοιχεία για την ακριβή εκτίμηση του κόστους του TRIALITY και της διαφοροποίησής του σε σχέση με το συμβατικό VLCC. Για τον λόγο αυτό, στην συνέχεια, αναφέρεται μια ποιοτική εκτίμηση των παραπάνω.

Σύμφωνα με στοιχεία του Νορβηγικού Νηογνώμονα, ο οποίος πραγματοποίησε μια οικονομική ανάλυση για διάφορα σενάρια τιμής του καυσίμου, το TRIALITY VLCC:

- βελτιώνει την αναμενόμενη παρούσα αξία προ φόρων κατά 24 MUSD στο σενάριο αναφοράς της τιμής του καυσίμου (Αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 20% του κόστους επένδυσης σε ένα συμβατικό VLCC),

- είναι κερδοφόρο έως η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου να φτάσει στα 15 USD/MMbtu ( $\approx 710$  USD/ton LNG) στο σενάριο αναφοράς της τιμής του καυσίμου,

- είναι πιο κερδοφόρο από το συμβατικό εκτός από το σενάριο χαμηλής τιμής του πετρελαίου,

- έχει υψηλότερη αναμενόμενη παρούσα αξία προ φόρων από το συμβατικό VLCC στο 92% των περιπτώσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εξέλιξη και η πρόβλεψη της τιμής του καυσίμου αποτελούν σημαντικούς παράγοντες αβεβαιότητας κατά την εκτίμηση του λειτουργικού κόστους ή του κόστους ταξιδιού. Χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές για το LNG:

Τιμή αναφοράς: 12 USD/MMbtu,

Υψηλή τιμή: 14 USD/MMbtu,

Χαμηλή τιμή: 9 USD/MMbtu.

## Σύγκριση Κόστους Κατασκευής Του Triality Και Του Συμβατικού VLCC

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια προσπάθεια ποιοτικής εκτίμησης του διαφορικού κόστους μεταξύ των δύο πλοίων. Όλα τα στοιχεία έχουν παρθεί από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV). Θεωρούμε την τιμή καυσίμου ίση με την τιμή αναφοράς, δηλαδή 12 USD/MMbtu και τα επόμενα συμπεράσματα είναι για περίοδο 20 ετών.

Το κόστος μεταλλικής κατασκευής μεταβάλλεται, προφανώς, ανάλογα με το βάρος της μεταλλικής κατασκευής. Για το συμβατικό VLCC δεν διαθέτουμε επαρκή στοιχεία για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

Καταρχήν, στο πλοίο TRIALITY υπάρχει ένα επιπλέον κόστος αρχικής επένδυσης λόγω των δεξαμενών LNG και των συστημάτων LNG που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το κόστος αυτό εκτιμάται περίπου στα **15.7 MSUD**. Επίσης, λόγω των δύο μηχανών διπλού καυσίμου, των 2 ελίκων και των boilers διπλού καυσίμου θεωρούμε μια προσαύξηση στο κόστος κατασκευής κατά **4 MSUD**. Ακόμη, λόγω της εγκατάστασης των συστημάτων και δεξαμενών VOC, το κόστος αυξάνεται κατά **3 MSUD**. Επίσης, λόγω των επιπλέον διαμήκων φρακτών και λόγω του μεγαλύτερου μήκους και πλάτους, στο TRIALITY επενδύεται ένα επιπλέον κόστος **1.3 MSUD**.

Υπενθυμίζεται ότι το πλοίο TRIALITY δεν διαθέτει scrubber σε σχέση με το συμβατικό πλοίο που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο, κάτι που συνεπάγεται ένα κέρδος για το TRIALITY περίπου **4.5 MSUD**. Επίσης, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του ειδικού συστήματος διαχείρισης υδάτινου έρματος, που θα πρέπει να διαθέτουν τα σύγχρονα πλοία, αποτελεί σημαντική δαπάνη ειδικά για ένα συμβατικό VLCC που μεταφέρει έως και 100000 τόνους έρματος σε κατάσταση ερματισμού. Το κέρδος λόγω του μικρότερου λειτουργικού κόστους του συστήματος αυτού υπολογίζεται σε **4.8 MSUD**. Επομένως, το επιπλέον αρχικό κόστος επένδυσης στο TRIALITY σε σχέση με το συμβατικό VLCC ανέρχεται σε **14.7 MSUD** ή **13.5 εκατομμύρια ευρώ**, σύμφωνα με τον DNV.

Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία που πάρθηκαν από τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV) και με μελέτη του φορέα “Danish Maritime Authority” που έχει χρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, υπάρχει μια άλλη μελέτη με στοιχεία σχετικά με την διαφοροποίηση στο αρχικό κόστος επένδυσης σε πλοία με μηχανές διπλού καυσίμου, που έχουν το LNG ως κύριο καύσιμο σε σχέση με συμβατικά που χρησιμοποιούν βαρύ πετρέλαιο για την πρόωσή τους, αναλόγως βέβαια και την ιπποδύναμη. Όσον αφορά τον κινητήρα, η επένδυση είναι 280 ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος για μηχανή που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil) και 180 αντίστοιχα για δίχρονη μηχανή διπλού καυσίμου με το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως κύριο καύσιμο.

Η επένδυση σε γεννήτριες, στο ηλεκτρικό σύστημα, στην πρόωση και στο σύστημα steering είναι 240 ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος των βοηθητικών μηχανών για μηχανή που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil) και 400 αντίστοιχα για δίχρονη μηχανή διπλού καυσίμου με το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως κύριο καύσιμο. Η επένδυση σε scrubber και το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασής του είναι 150 και 180 ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος σε πλοίο που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο. Επίσης, η επένδυση σε σύστημα SCR που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο TRIALITY και στο συμβατικό VLCC (Selective Catalytic Reduction) είναι 45 ευρώ ανά KW συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των κύριων και βοηθητικών μηχανών. Τέλος, η επένδυση στο ολικό σύστημα παροχής LNG καυσίμου και δεξαμενών αντιστοιχεί σε 245 ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος και ένα γενικό κόστος εγκατάστασης της τάξης των 100 ευρώ ανά KW συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των κύριων και βοηθητικών μηχανών.

Επομένως, σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη έχουμε:

INVESTMENT COST	TRIALITY VLCC	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC	DIFFERENTIAL COST	EXTRA COST IN TRIALITY
Investment engine	280 €/kW <sub>main</sub>	180 €/kW <sub>main</sub>	35.7%	+ 100 €/kW <sub>main</sub>
Investment SCR	45 €/kW <sub>main+aux</sub>	45 €/kW <sub>main+aux</sub>	-	0 €/kW <sub>main+aux</sub>
Investment scrubber	0 €/kW <sub>main</sub>	150 €/kW <sub>main</sub>	-	- 150 €/kW <sub>main</sub>
Investment Generators, Electric system, Propulsion, Steering	400 €/kW <sub>aux</sub>	240 €/kW <sub>aux</sub>	40 %	+ 160 €/kW <sub>aux</sub>
Installation cost scrubber	0 €/kW <sub>main</sub>	180 €/kW <sub>main</sub>	-	- 180 €/kW <sub>main</sub>
Investment LNG fuel gas supply system + tanks	245 €/kW <sub>main</sub>	0 €/kW <sub>main</sub>	-	+ 245 €/kW <sub>main</sub>
Installation cost	100 €/kW <sub>main+aux</sub>	0 €/kW <sub>main+aux</sub>	-	+ 100 €/kW <sub>main+aux</sub>

Πίνακας 9.2 : Σύγκριση κόστους επένδυσης μεταξύ Triality και συμβατικού VLCC

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, το συνολικό επιπλέον κόστος επένδυσης στο TRIALITY σε σχέση με το συμβατικό VLCC είναι **15 €/kW<sub>main</sub>** και **160 €/kW<sub>aux</sub>** και **100 €/kW<sub>main+aux</sub>**. Το συνολικό επιπλέον πόσο, λοιπόν, που θα επενδυθεί είναι **4218400 €**.

Επίσης, λόγω της εγκατάστασης δύο μηχανών διπλού καυσίμου, των 2 ελίκων και των boilers διπλού καυσίμου θεωρούμε μια προσαύξηση στο κόστος κατασκευής κατά **4 MSUD**. Ακόμη, λόγω της εγκατάστασης των συστημάτων και δεξαμενών VOC, το κόστος αυξάνεται κατά **3 MSUD** και λόγω επιπλέον χάλυβα στις παραπάνω διαμήκεις φρακτές αλλά και στην γάστρα του σκάφους κατά **1.3 MSUD**. Τέλος, υπάρχει ένα κέρδος χρημάτων λόγω του πολύ μικρότερου λειτουργικού κόστους και κόστους επένδυσης στο σύστημα θαλάσσιου έρματος κατά **4.8 MSUD**. Συνολικά, το επιπλέον αρχικό κόστος επένδυσης, σύμφωνα με αυτή την μελέτη, ανέρχεται σε **7.44** εκατομμύρια ευρώ.

Τα στοιχεία των δύο μελετών διαφέρουν σημαντικά, κάτι που οφείλεται σε διαφορετική εκτίμηση του κόστους για τα συστήματα και τις δεξαμενές LNG. Σε κάθε περίπτωση, το θέμα είναι αν αυτό το μεγαλύτερο κόστος αρχικής επένδυσης μπορεί να αντισταθμιστεί και αν το TRIALITY μπορεί είναι οικονομικά αποδοτικότερο και πιο κερδοφόρο από ένα συμβατικό VLCC. Βέβαια, για την εκλογή ενός ποσοτικού συμπεράσματος πρέπει να υπάρχουν όλα τα επαρκή και ακριβή στοιχεία για το κόστος εγκατάστασης των απαιτούμενων συστημάτων και το λειτουργικό κόστος του πλοίου αλλά και η τιμή των καυσίμων.

Στην παρούσα εργασία, μπορούμε να βγάλουμε ποιοτικά μόνο συμπεράσματα. Με την εγκατάσταση μηχανών διπλού καυσίμου, με κύριο καύσιμο πρόωσης το LNG και πιλοτικό καύσιμο το Marine Gas Oil, αλλά και με την μορφή της γάστρας του που οδηγεί σε μικρότερη αντίσταση πρόωσης, η κατανάλωση καυσίμου σε gr/KW και η συνολική απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου για μια συγκεκριμένη διαδρομή είναι αρκετά μειωμένη, λόγω της μικρότερης απαιτούμενης ισχύος πρόωσης σε σχέση με ένα συμβατικό VLCC που καίει HFO και των μηχανών διπλού καυσίμου που παρουσιάζουν καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η ολική αντίσταση του TRIALITY στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης είναι μειωμένη κατά περίπου **11%** και στην κατάσταση ερματισμού ακόμα μεγαλύτερη (**56%-59%**) σε σχέση, για παράδειγμα, με το συμβατικό VLCC. Κατά συνέπεια, και η ισχύς ρυμούλκησης είναι μικρότερη κατά περίπου 11% στην Full Load Departure και ακόμη μεγαλύτερη στην Water Ballast Departure. Όπως γνωρίζουμε, μικρότερη ολική αντίσταση συνεπάγεται και μικρότερη απαιτούμενη ισχύ στον άξονα της μηχανής για την κίνηση του πλοίου, επομένως και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Βέβαια σε αυτό παίζει ρόλο και ο βαθμός προωστήριας εγκατάστασης.

Συνεπώς, στο TRIALITY, η απαιτούμενη ώση για την κίνησή του σε δεδομένη ταχύτητα είναι αρκετά μικρότερη από το συμβατικό πλοίο και επομένως εξοικονομείται ένα σημαντικό ποσό από την μειωμένη κατανάλωση καυσίμου στην Full Load Condition και ακόμη υψηλότερο ποσό στην Water Ballast Condition. Αυτό το γεγονός και ανάλογα με τα εκάστοτε δρομολόγια που μπορεί να εκτελεί το πλοίο, μακροπρόθεσμα, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά υψηλό όφελος που θα αντισταθμίσει και θα ξεπεράσει το κόστος της αρχικής μεγαλύτερης επένδυσης στο TRIALITY,

καθιστώντας το πλοίο αυτό πιο κερδοφόρο και οικονομικά πιο αποδοτικό σε σχέση με τα συμβατικά VLCC. Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφέρουμε ότι ζωτικής σημασίας είναι η εκάστοτε τιμή των καυσίμων, η οποία αποτελεί πολλές φορές απρόβλεπτο παράγοντα.

Βέβαια, το κόστος από την κατανάλωση καυσίμων δεν είναι τελικά σε ποσοστό τόσο μικρότερο, καθώς το LNG και το Marine Gas Oil είναι ακριβότερα από τα Heavy Fuel Oil και Diesel Oil, με τα οποία λειτουργεί ένα συμβατικό VLCC. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα, το αρχικό υψηλότερο κόστος επένδυσης στο TRIALITY σίγουρα αντισταθμίζεται και πιθανώς υπερκαλύπτεται από το πολύ μικρότερο κόστος λόγω κατανάλωσης καυσίμων, καθιστώντας το TRIALITY πιο κερδοφόρο από το συμβατικό VLCC.

Για παράδειγμα, έστω ότι το TRIALITY και το συμβατικό VLCC που εξετάσαμε ταξιδεύουν για 1000 ώρες με την ίδια ταχύτητα στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσής τους. Η ειδική κατανάλωση των μηχανών του TRIALITY είναι 155 gr/KWh και η αντίστοιχη του συμβατικού 163 gr/KWh. Όπως αποδείχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για να κινηθεί το TRIALITY με 15 kn απαιτεί 15240 KW στον άξονα της κάθε μηχανής, δηλαδή συνολικά 30480 KW συνολικά. Αφού το TRIALITY παρουσιάζει στο περίπου 10% μικρότερη απαιτούμενη ισχύ στον άξονα των μηχανών συγκριτικά με το συμβατικό VLCC λόγω κατά της 11% μικρότερης ολικής αντίστασης (σύμφωνα με την μέθοδο Holtrop-Mennen), το τελευταίο θα παρουσιάζει περίπου:  $30480 \text{ KW} / 0.90 = 33867 \text{ KW}$  απαιτούμενη ισχύ για να κινείται με ταχύτητα 15 kn. Επομένως:

Κατανάλωση HFO στο συμβατικό VLCC για 1000 ώρες = 5540 τόνους.

Κατάλωση καυσίμου στο TRIALITY για 1000 ώρες = 4724 τόνους.

Θεωρώντας ότι το 1/5 του καυσίμου που καίει το TRIALITY είναι Marine Gas Oil με τιμή 750 \$/τόνο και το υπόλοιπο LNG με τιμή 500 \$/τόνο και ότι το συμβατικό λειτουργεί με HFO με τιμή 400 \$/τόνο έχουμε:

Κόστος κατανάλωσης καυσίμου στο TRIALITY = 2216000 \$.

Κόστος κατανάλωσης καυσίμου στο συμβατικό VLCC = 2456822 \$.



Δηλαδή, στο TRIALITY καταναλώνονται επιπλέον 240822 \$ σε 1000 ώρες ταξιδιού (απλή μετάβαση) στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης. Θεωρούμε ότι τα πλοία πραγματοποιούν κυκλικά ταξίδια. Αν το πλοίο πραγματοποιεί κυκλικά ταξίδια μόνο σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης, τότε με 3 ταξίδια τον χρόνο καταναλώνονται χρήματα της τάξης των 723000 δολάρια τον χρόνο.

Στην κατάσταση ερματισμού, το TRIALITY παρουσιάζει ακόμα μικρότερη απαιτούμενη ισχύ (έως και 59%) για την πρόωσή του σε σχέση με το συμβατικό, εξοικονομώντας περίπου 935000 \$ σε 1000 ώρες ταξιδιού(επίστροφή). Αν τα πλοία πραγματοποιούν κυκλικά ταξίδια, όπου η επιστροφή τους γίνονται σε κατάσταση ερματισμού, το TRIALITY με 3 ταξίδια τον χρόνο προσφέρει κέρδος 2.805 εκατομμύρια δολάρια τον χρόνο. Συνολικά, εξοικονομούνται 2 εκατομμύρια δολάρια τον χρόνο. Είναι, επομένως, εφικτό σε διάστημα μόλις 7-8 χρόνων να αντισταθμιστούν τα 14.7 εκατομμύρια δολάρια (σύμφωνα με τον DNV) ή σε μόλις 3-4 χρόνια να αντισταθμιστούν τα 7.45 εκατομμύρια δολάρια (σύμφωνα με Danish Maritime Authority) υψηλότερου αρχικού κόστους επένδυσης του TRIALITY συγκριτικά με το συμβατικό.Όπως είναι κατανοητό, όλα εξαρτώνται από την εκάστοτε τιμή των καυσίμων.

Τέλος, δεν έχουμε υπολογίσει, λόγω έλλειψης τέτοιων στοιχείων, το κόστος που αποφεύγεται εξαιτίας της εγκατάστασης και λειτουργίας ενός πολύ μικρότερου συστήματος διαχείρισης θαλάσσιου έρματος ή ακόμα και της έλλειψης τέτοιου συστήματος, στην περίπτωση χρήσης γλυκού νερού για έρμα αντί θαλασσινού, μιας και η μεταφερόμενη ποσότητα έρματος είναι μόνο μέχρι 2000 τόνους.

Επίσης, στην μελέτη του DNV, αναφέρεται ότι το TRIALITY παρουσιάζει μειωμένα κόστη ταξιδιού κατά 38 MSUD σε διάστημα 20ετίας, οπότε παρουσιάζει ένα κέρδος της τάξης των **23 MSUD** .

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Καταρχήν, επισημαίνουμε ξανά τα κύρια χαρακτηριστικά του TRIALITY.

Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Full Load Departure	21.589 m
Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Water Ballast Departure ( $T_{AP}$ )	8.395 m
Βύθισμα στην προραία κάθετο, Water Ballast Departure ( $T_{FP}$ )	4.123 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Water Ballast Departure	6.259 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Full Load Arrival	21.428 m
Βύθισμα στην πρυμναία κάθετο, Water Ballast Arrival ( $T_{AP}$ )	8.066 m
Βύθισμα στην προραία κάθετο, Water Ballast Arrival ( $T_{FP}$ )	3.946 m
Βύθισμα στο μέσο του πλοίου, Water Ballast Arrival	6.006 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Full Load Departure	0.608 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Water Ballast Departure	4.272 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Full Load Arrival	0.224 m
Έμπρυσμη διαγωγή, Water Ballast Arrival	4.120 m
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Full Load Departure	0.605
Συντελεστής γάστρας ( $C_B$ ), Water Ballast Departure	0.297
Συντελεστής μέσης τομής ( $C_M$ ), Full Load Departure	0.738
Συντελεστής μέσης τομής ( $C_M$ ), Water Ballast Departure	0.389
Πρισματικός συντελεστής ( $C_P$ ), Full Load Departure	0.820
Πρισματικός συντελεστής ( $C_P$ ), Water Ballast Departure	0.817
Συντελεστής ισάλου επιφάνειας ( $C_{WP}$ ), Full Load Departure	0.737
Συντελεστής ισάλου επιφάνειας ( $C_{WP}$ ), Water Ballast Departure	0.530
Όγκος χώρων φορτίου ( $V_c$ )	326908 m <sup>3</sup>
Πρόσθετο Βάρος (DWT), πυκνότητα φορτίου ίση με 0.878 t/m <sup>3</sup>	286358 tons
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα σχεδίασης	28059 m <sup>2</sup>
Βρεχόμενη επιφάνεια στο βύθισμα ερματισμού	12310 m <sup>2</sup>

### **Κύρια Συμπεράσματα**

Από τα προηγούμενα κεφάλαια που αναπτύχθηκαν, μπορούμε στο σημείο αυτό να εξάγουμε τα κύρια συμπεράσματά μας σχετικά με το TRIALITY VLCC.

Αυτά, συνοπτικά και συγκεντρωτικά, είναι:

1) Το TRIALITY μεταφέρει πολύ μικρή ποσότητα έρματος στην κατάσταση ερματισμού με ικανοποιητική ικανότητα πλέυσης όσον αφορά την σφυρόκρουση της πλώρης, που επιτρέπει την μείωση του λειτουργικού κόστους του πλοίου μέσω της πολύ λιγότερης κατανάλωσης ποσότητας καυσίμων,

2) Διαθέτει γάστρα μορφής V που προσφέρει την δυνατότητα επαρκούς βύθισης της προπέλας και την αποφυγή έντονης σφυρόκρουσης της πλώρης χωρίς την ανάγκη χρήσης μεγάλης ποσότητας έρματος και είναι ενεργειακά αποδοτικότερη με μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια και χαμηλότερο συντελεστή γάστρας συγκριτικά με ένα συμβατικό VLCC κοντινής μεταφορικής ικανότητας.

3) Διαθέτει τέσσερις διαμήκεις φρακτές, αντί για δύο που έχει ένα συμβατικό VLCC, οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή σε διαμήκη κάμψη, μεγαλύτερη ροπή αδράνειας και νέα κατανομή των δεξαμενών φορτίου. Η νέα κατανομή δεξαμενών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής αδράνειας και αντίστασης των τομών του πλοίου και τις μικρότερες καταπονήσεις τους λόγω διαμήκους κάμψης του πλοίου, χωρίς απαραίτητα να χρειάζεται η χρήση έρματος για την αντιστάθμιση των αναπτυσσόμενων καμπτικών ροπών κατά την φόρτωση ή εκφόρτωση μιας ή παραπάνω δεξαμενών φορτίου. Επίσης, με τις τέσσερις διαμήκεις φρακτές και επομένως 5 δεξαμενών φορτίου κατά το εγκάρσιο, προσφέρεται η δυνατότητα αποφυγής εγκάρσιας κλίσης ακολουθώντας συγκεκριμένες κατανομές στις δεξαμενές. Ακόμα, με αυτή την διάταξη επιτρέπεται η χωριστή φόρτωση και εκφόρτωση τριών διαφορετικών φορτίων ως προς το ειδικό βάρος τους και τον κατάλληλο διαχωρισμό τους μέσω των στεγανών φρακτών, προσφέροντας μια ευελιξία στην λειτουργικότητα του πλοίου.

4) Χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως κύριο καύσιμο και Marine Gas Oil σαν πιλοτικό καύσιμο μέσω δύο κύριων μηχανών διπλού καυσίμου για την πρόωσή του, για την παραγωγή ενέργειας μέσω των ηλεκτρομηχανών και την παραγωγή ατμού αντί του βαρέως πετρελαίου. Επίσης, το πλοίο διαθέτει δύο προπέλες. Έτσι, είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον με σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές αέριων ρύπων και καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια.

5) Στην κατάσταση Full Load Departure έχει, στην ταχύτητα υπηρεσίας 15 kn που μας ενδιαφέρει αλλά και στις υπόλοιπες ταχύτητες, **11%** περίπου μικρότερη ολική αντίσταση και επομένως απαιτεί και **11%** μικρότερη ισχύ ρυμούλκησης (Effective Horsepower, E.H.P). Αυτό σημαίνει ότι και η απαιτούμενη ιπποδύναμη των μηχανών για την πρόωση του πλοίου και η κατανάλωση καυσίμου θα είναι (11% περίπου ή και μικρότερο ποσοστό) μικρότερες σε σχέση με το συμβατικό VLCC και κατά συνέπεια θα είναι μειωμένο και το λειτουργικό κόστος,

6) Στην κατάσταση Water Ballast Departure έχει ολική αντίσταση και επομένως και ισχύ ρυμούλκησης μειωμένες περίπου κατά **59%** σε σχέση με το συμβατικό VLCC στην αντίστοιχη κατάσταση. Ωστόσο, υπάρχει μια επιφύλαξη στο αποτέλεσμα αυτό, καθώς και τα δύο πλοία δεν καλύπτουν τον περιορισμό για τον λόγο B/T και το TRIALITY δεν ικανοποιεί ούτε τον περιορισμό για τον λόγο L/B στην μέθοδο Holtrop-Mennen στην κατάσταση ερματισμού. Πάντως, και σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης η ολική αντίσταση, η ισχύ ρυμούλκησης και η απαιτούμενη για την πρόωση ιπποδύναμη των μηχανών του TRIALITY VLCC αλλά και η κατανάλωση καυσίμου είναι κατά πολύ μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες του συμβατικού VLCC, καθώς η αντίσταση τριβής του TRIALITY, που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ολικής αντίστασης σε πλοία VLCC, είναι μικρότερη κατά **41%** από την αντίστοιχη του συμβατικού VLCC.

Τα δύο παραπάνω συμπεράσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	<b>TRIALITY</b>	<b>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</b>	<b>ΔΙΑΦΟΡΑ</b>
<b>TAXYTHTA YΠHPEΣIΑΣ 15 kn</b>			
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Full Load Condition</b>	120805.5 kp	125270.9 kp	<b>3.6 %</b>
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Water Ballast Condition</b>	53234.5 kp	90043.5 kp	<b>40.9 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Full Load Condition</b>	208093.5 kp	233178.5 kp	<b>10.8 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Water Ballast Condition</b>	91784.7 kp	221054.1 kp	<b>58.5%</b>
<b>TAXYTHTA YΠHPEΣIΑΣ 16.5 kn</b>			
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Full Load Condition</b>	144545.5 kp	149880.8 kp	<b>3.6 %</b>
<b>Αντίσταση Τριβής ITTC-57, Water Ballast Condition</b>	63694.3 kp	107729.7 kp	<b>40.9 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Full Load Condition</b>	251023.5 kp	282440.9 kp	<b>11.1 %</b>
<b>Ολική αντίσταση, Water Ballast Condition</b>	115258.5 kp	260598.7 kp	<b>55.8 %</b>

**Πίνακας:** Συγκριτικά αποτελέσματα για την αντίσταση των δύο πλοίων

7) Η μειωμένη ολική αντίσταση του TRIALITY στην Full Load Condition και η διαφαινόμενη σημαντικά μειωμένη ολική αντίσταση του TRIALITY στην Water Ballast Condition προσδίδει στο πλοίο αυτό ένα πολύ κρίσιμο συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με το συμβατικό, καθώς και στις δύο καταστάσεις το TRIALITY απαιτεί μικρότερη ώση και επομένως μικρότερη ιπποδύναμη μηχανής, με αποτέλεσμα και την συνεπαγόμενη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων ρύπων. Όπως είναι γνωστό, αυτό ειδικά είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ικανοποίηση των νέων και επίκαιρων κανονισμών του IMO για τις εκπομπές αερίων ρύπων και του “Επιτευχθέντος Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας” (EEDI). Να τονίσουμε ότι και στις δύο καταστάσεις φόρτωσης, το ποσοστό μείωσης της απαιτούμενης ιπποδύναμης στον άξονα των μηχανών ανάμεσα στα δύο πλοία δεν θα είναι το ίδιο με το ποσοστό μείωσης της ισχύος ρυμούλκησης τους, καθώς τα πλοία παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης (P.C)

8) Ικανοποιεί τον κανονισμό-περιορισμό για την διαγωγή στις καταστάσεις ερματισμού, σύμφωνα με την MARPOL 73/78, καλύπτεται, καθώς η διαγωγή είναι μικρότερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη που είναι **5.276 m**.

9) Το μικρότερο μέσο βύθισμα είναι 6.006 m και το ελάχιστο επιτρεπτό μέσο βύθισμα είναι 9.034 m, επομένως ο κανονισμός της MARPOL73/78 για το βύθισμα στο μέσο του πλοίου δεν καλύπτεται σε καμία από τις δύο καταστάσεις ερματισμού.

10) Παρόλο που δεν ικανοποιεί τον κανονισμό της MARPOL για το μέσο βύθισμα στην κατάσταση ερματισμού, έχει ικανοποιητική συμπεριφορά ως προς την σφυρόκρουση της πλώρας για σημαντικό ύψος κύματος **έως περίπου 5.5 μέτρα** και για **κάθε περίοδο** κυματισμών, καθώς δεν εμφανίζει **καθόλου** φαινόμενα σφυρόκρουσης. Αυτό αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο καθώς σε πολλές θαλάσσιες περιοχές κυριαρχούν τέτοιου ύψους κύματα και αυτό είναι το σημαντικό ύψος κύματος που αποτελεί δυσμενής συνθήκη κατά τον IMO.

11) Υφίσταται λιγότερη σφυρόκρουση πλώρας για σημαντικό ύψος κυματισμών που κυμαίνεται από 6 έως 10 μέτρα και για περίοδο κυματισμών που κυμαίνεται από 8 έως 15 δευτερόλεπτα το, σε σχέση με το Product Tanker,

12) Υπερτερεί κατά πολύ του Product Tanker στις περιόδους κυματισμών 3 και 4 δευτερολέπτων και μειονεκτεί αυτού στις καταστάσεις θάλασσας με σημαντικό ύψος κύματος από 6 έως 10 μέτρα και περιόδους κυματισμών 6 και 7 δευτερολέπτων, καθώς και στις καταστάσεις με σημαντικό ύψος κύματος από 8 έως 10 μέτρα και περίοδο κυματισμών 5 δευτερολέπτων. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις, ο αριθμός των σφυροκρούσεων την ώρα μπορεί να θεωρηθεί ανεκτός.

13) Επομένως, η συμπεριφορά του TRIALITY είναι ικανοποιητική ως προς την σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης, καθώς στις περισσότερες κρίσιμες καταστάσεις θάλασσας είτε δεν παρουσιάζει καθόλου σφυρόκρουση πλώρας είτε η σφυρόκρουση κυμαίνεται σε ανεκτά επίπεδα με το δεδομένο ότι το Product Tanker με 85% παραπάνω έρμα από το TRIALITY παρουσιάζει χειρότερη συμπεριφορά στις περισσότερες παραπάνω συνθήκες θάλασσας. Συμπερασματικά, ο κανονισμός της MARPOL αδικεί το TRIALITY. Βέβαια, το ίδιο ίσως ισχύει και για το συμβατικό VLCC.

**14)** Οι δύο κινητήρες που επιλέχθηκαν για το TRIALITY είναι της MAN B&W με κωδικό G60ME-C9-GI με 8 κυλίνδρους, με: **MCR = 21440 kW** και **MAX RPM= 97**.

**15)** Η μηχανολογική εγκατάσταση στο TRIALITY αποτελείται από:

- Δύο δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου (υψηλής πίεσης αερίου)
- Δύο μηχανικώς κινούμενες έλικες
- Τρεις βοηθητικές μηχανές (ηλεκτρομηχανές) διπλού καυσίμου
- Δύο βοηθητικοί μπόιλερ διπλού καυσίμου
- Τρεις ατμοκίνητες αντλίες φορτίου
- (2 ατμοκίνητες αντλίες έρματος).

**16)** Με τις μηχανές διπλού καυσίμου τύπου ME-GI, με LNG ως κύριο καύσιμο και MDO/MGO ως πιλοτικό καύσιμο (έως 5% στο 100% του MCR), επιτυγχάνεται μείωση έως και **23%** στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με βαρύ πετρέλαιο ως κύριο καύσιμο. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα του LNG καυσίμου είναι τέτοια που 2.75 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα περιέχονται σε 1 γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου, ενώ 3.114 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα περιέχονται σε 1 γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου βαρέως πετρελαίου (HFO). Έτσι, το TRIALITY καθίσταται κατά περίπου **11.7%** ενεργειακά αποδοτικότερο συγκριτικά με το συμβατικό VLCC. Το ποσοστό αυτό γίνεται **8.8%**, εξαιτίας της χρήσης Marine Gas Oil ως πιλοτικό καύσιμο που έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 3.206 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά γραμμάριο κατανάλωσης καυσίμου.

**17)** Με την χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου ως κύριο καύσιμο των μηχανών, επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη μείωση της τάξης του **90%-95%** στις εκπομπές οξειδίων του θείου. Πρακτικά, θεωρείται ότι το υδροποιημένο φυσικό αέριο δεν περιέχει καθόλου θείο. Όμως, λόγω της χρήσης Marine Gas Oil ως πιλοτικό καύσιμο και όταν το φορτίο του κινητήρα είναι πολύ χαμηλό υπάρχουν εκπομπές οξειδίων του θείου, οι οποίες είναι πολύ μικρές αφού είναι γνωστό ότι το Marine Gas Oil περιέχει λιγότερο από 0.1% θείο.

**18)** Η ειδική εκπομπή των NO<sub>x</sub> των μηχανών τύπου ME-GI, που διαθέτει το TRIALITY, με κύριο καύσιμο το LNG και στο 75% του MCR είναι 12.5 gr/kWh, ενώ η αντίστοιχη εκπομπή κύριας μηχανής τύπου ME-C με καύσιμο βαρύ πετρέλαιο είναι 16.5 gr/kWh (στοιχεία της MAN Diesel).

Παρατηρείται, λοιπόν, στην περίπτωση πρόωσης με LNG μείωση στις εκπομπές NO<sub>x</sub> περίπου **24%** σε σχέση με την πρόωση με βαρύ πετρέλαιο (HFO).

**19)** Παρατηρείται στις μηχανές διπλού καυσίμου τύπου ME-GI, με κύριο καύσιμο το LNG, μείωση στις εκπομπές σωματιδίων (Particulate Matter) κατά 37% στο 100% του MCR σε σχέση με κύρια μηχανή που καίει βαρύ πετρέλαιο. Κατά την καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου, η εκπομπή σωματιδίων μπορεί να θεωρηθεί μηδενική, όμως λόγω της καύσης πιλοτικού καυσίμου εκπέμπεται μικρή ποσότητα τέτοιων σωματιδίων.

**20)** Το TRIALITY καλύπτει τις απαιτήσεις που σχετικά με την χρήση καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.1% στις περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Areas) αλλά και σε ευρωπαϊκά λιμάνια, ενώ το συμβατικό VLCC που λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο πρέπει να εγκαταστήσει scrubber για τα οξείδια του θείου από τις κύριες και βοηθητικές μηχανές και λέβητες, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και επιπλέον κόστος, την ώρα που εφαρμόζονται ολοένα αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με τις εκπομπές.

**21)** Το σύστημα που επιλέγεται στο TRIALITY για την περαιτέρω μεγάλη μείωση εκπομπών των NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> που απαιτείται στις περιοχές ελέγχου εκπομπών και μετέπειτα για την κάλυψη της απαίτησης IMO Tier III σχετικά με τις εκπομπές των NO<sub>x</sub> περιλαμβάνει τη τεχνική ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (exhaust gas recirculation).

**22)** Ο «**Επιτευχθείς EEDI**» του συμβατικού VLCC είναι **μεγαλύτερος** από τον «**Απαιτούμενο EEDI**», οπότε το συμβατικό πλοίο δεν ικανοποιεί την απαίτηση συμμόρφωσης του EEDI.

**23)** Ο «**Επιτευχθείς EEDI**» του TRIALITY VLCC είναι **μεγαλύτερος** από τον «**Απαιτούμενο EEDI**», οπότε το πλοίο αυτό δεν ικανοποιεί την απαίτηση συμμόρφωσης του EEDI. Συμπερασματικά, το TRIALITY δεν καλύπτει την απαίτηση για τον «**Επιτευχθέντα EEDI**»,



24) Η μέση τομή του TRIALITY είναι μελετημένη ικανοποιητικά, όπως αποδεικνύεται παρακάτω:

$h_{NA}$	14.362		
$I_{yy} =$	18301438	>	11850970.8
$SM_{top} =$	1390893.93	>	1157294.21
$SM_{bot} =$	1274299.47	>	1157294.21

Το βάρος χάλυβα ανά τρέχον μέτρο μεταλλικής κατασκευής είναι συνολικά, για πυκνότητα χάλυβα  $\rho = 7.75 \text{ t/m}^3$ , 98.055 t/m.

25) Το TRIALITY παρουσιάζει ένα υψηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης της τάξης των 7.9-13.5 εκατομμύρια ευρώ, σύμφωνα με τον DNV (13.5 εκ.ευρώ) και της Danish Maritime Authority (7.89 εκ.ευρώ). Μακροπρόθεσμα, στον κύκλο ζωής του πλοίου (20-25 χρόνια) αλλά ίσως και στα πρώτα 3-8 χρόνια, το κόστος αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί και να υπερκεραστεί, αφού το TRIALITY έχει μικρότερη κατανάλωση καυσίμου λόγω πολύ μικρότερης ολικής αντίστασης και διαθέτει σύστημα διαχείρισης υδάτινου έρματος με πολύ μικρότερο λειτουργικό κόστος και κόστος αγοράς και εγκατάστασης σε σχέση με το συμβατικό VLCC. Σε όλα αυτά, βέβαια, παίζει ρόλο η εκάστοτε τιμή των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, η οποία αποτελεί απρόβλεπτο πολλές φορές παράγοντα.

### Τελικά συμπεράσματα

Το καινοτόμο TRIALITY VLCC μεταφορικής ικανότητας 286358 τόνων DWT διαθέτει νέα μορφή γάστρας (V-shaped hull) με μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια σε σχέση με το συγκρινόμενο συμβατικό VLCC μεταφορικής ικανότητας 289931 τόνων DWT, η οποία προσφέρει επαρκής βύθιση των ελίκων και ικανοποιητική συμπεριφορά σε σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης με την χρήση πολύ μικρής ποσότητας θαλάσσιου έρματος. Έτσι αποφεύγονται και οι ανεπιθύμητες συνέπειες της χρήσης έρματος που είναι η μεταφορά θαλάσσιων οργανισμών σε ξένα οικοσυστήματα και το υψηλό κόστος από την κατανάλωση καυσίμων λόγω της μεταφοράς θαλασσινού έρματος.

Επίσης, η μειωμένη ολική αντίσταση του TRIALITY σε σχέση με το συμβατικό VLCC (κατά 11% στην FLD και 56% στην WBD) αποτελεί το συγκριτικό πλεονέκτημα του TRIALITY, καθώς έτσι απαιτείται μικρότερη ιπποδύναμη μηχανών για πρόωση, ειδικά στην Water Ballast Departure που το TRIALITY έχει 98% λιγότερο έρμα, και κατά συνέπεια εξοικονομούνται ενέργεια και κέρδη από την μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, που έχει θετικό αντίκτυπο και στην εκπομπή αέριων ρύπων. Για αυτό, το TRIALITY καλύπτει τις απαιτήσεις που σχετικά με την χρήση καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο μικρότερης του 0.1% στις περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Areas) αλλά και σε ευρωπαϊκά λιμάνια.

Με την ύπαρξη και την εγκατάσταση μηχανών διπλού καυσίμου καυσίμου τύπου ME-GI, με LNG ως κύριο καύσιμο και MDO/MGO ως πιλοτικό καύσιμο (έως 5% στο 100% του MCR), επιτυγχάνεται μείωση έως και **23%** στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, **90%-95%** μείωση στις εκπομπές οξειδίων του θείου και **24%** μείωση στις εκπομπές NO<sub>x</sub> σε σχέση με βαρύ πετρέλαιο ως κύριο καύσιμο. Επομένως, το TRIALITY καθίσταται ενεργειακά αποδοτικότερο συγκριτικά με το συμβατικό VLCC.

Σίγουρα, οι 2 μηχανές και έλικες που διαθέτει το TRIALITY καθιστούν το σύστημα προωστήριας εγκατάστασης πιο πολύπλοκο και η επιλογή των δύο ελίκων μειώνει τον βαθμό απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης, ενώ αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης αλλά και τα λειτουργικά κόστη και κόστη συντήρησης σε σχέση με το συμβατικό πλοίο που διαθέτει 1 μηχανή

και 1 προπέλα. Ακόμη, το TRIALITY είναι μακρύτερο και πλατύτερο του συμβατικού, με αποτέλεσμα κάποιο επιπλέον κόστος ναυπήγησης.

Στοιχεία για το επιπλέον κόστος μεταλλικής κατασκευής που απαιτείται δεν έχουμε αλλά μακροπρόθεσμα, όλα αυτά ίσως μπορούν να αντισταθμιστούν από τα κέρδη που εξοικονομούνται από την μη χρήση μεγάλης ποσότητας έρματος και την μειωμένη κατανάλωση καυσίμων εξαιτίας της μειωμένης ολικής αντίστασης του TRIALITY σε σχέση με το συμβατικό, ειδικά στην κατάσταση ερματισμού.

Επιπλέον, ο κανονισμός της MARPOL73/78 για το βύθισμα στο μέσο του πλοίου δεν καλύπτεται στην κατάσταση ερματισμού και αδικεί το TRIALITY (και γενικά τα μεγάλα πλοία), αφού παρουσιάζει αποδεκτή συμπεριφορά σε σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης. Για πιο ολοκληρωμένη απάντηση σε αυτό, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια συνολική seakeeping ανάλυση του πλοίου.

Ο «Επιτευχθείς EEDI» του TRIALITY είναι μεγαλύτερος από τον «Απαιτούμενο EEDI», οπότε το TRIALITY δεν ικανοποιεί την απαίτηση συμμόρφωσης του EEDI. Πάντως, στον τύπο υπολογισμού του δείκτη δεν μετράται η πραγματική απαιτούμενη ισχύς στον άξονα των μηχανών. Όσον αφορά το TRIALITY, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την αντίσταση παρελκομένων και οι συντελεστές μείωσης της ώσης και ομόρου υπολογίστηκαν από εμπειρικούς τύπους που ενδέχεται να μην προσεγγίζουν σωστά την πραγματική τιμή τους. Επίσης, ο βαθμός απόδοσης της προωστήριας εγκατάστασης δεν είναι τόσο υψηλός, όπως στα συμβατικά VLCC με μια προπέλα, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη ιπποδύναμη για την πρόωση του TRIALITY να μην είναι τόσο μειωμένη όσο η ισχύς ρυμούλκησης του TRIALITY σε σχέση με την αντίστοιχη του συμβατικού. Όλα αυτά επιφέρουν μια πιο υψηλή τιμή της μέγιστης συνεχούς ισχύος των μηχανών του TRIALITY και συνεπώς αυξημένο δείκτη EEDI. Οπότε, απαιτείται ακριβέστερος υπολογισμός των παραπάνω συντελεστών, της αντίστασης των παρελκομένων και αναθεώρηση της προωστήριας εγκατάστασης ξεκινώντας με την διάμετρο της προπέλας για να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο EEDI.

Όσον αφορά το κρίσιμο ερώτημα αν το TRIALITY είναι οικονομικά αποδοτικότερο από το συμβατικό VLCC, η απάντηση είναι θετική υπό προϋποθέσεις. Όπως αποδείχθηκε, το επιπλέον αρχικό κόστος επένδυσης που επενδύεται στο TRIALITY (7.9-15 εκατομμύρια ευρώ) συγκριτικά με το συμβατικό VLCC, υπερκαλύπτεται μέσα στα πρώτα 10 χρόνια του κύκλου ζωής του πλοίου λόγω της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου, καθιστώντας το πλοίο οικονομικά αποδοτικό με κάποιες δεδομένες τιμών καυσίμων. Όπως είναι γνωστό, η τιμή των καυσίμων είναι απρόβλεπτος παράγοντας και το παρπάνω συμπέρασμα μπορεί στο μέλλον να μην υφίσταται.

Συμπερασματικά, η νέα μορφή γάστρας του TRIALITY, με όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν, και η ιδέα για μηδενική ή ελάχιστη χρήση έρματος μπορεί και αξίζει να εφαρμοστεί και να εξελιχθεί σε μεγάλα πλοία, αφού και η σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης μπορεί να είναι αποδεκτή. Η πρόωση με LNG είναι σίγουρα μια καλή επιλογή όσον αφορά την περιβαλλοντική απόδοση των πλοίων και επιτρέπει την πλεύση των πλοίων στις περιοχές ελέγχου εκπομπών. Το όποιο επιπλέον αρχικό κόστος επένδυσης στο TRIALITY υπερκαλύπτεται από τα μακροπρόθεσμα κέρδη λόγω μειωμένης ολικής αντίστασης και της συνεπαγόμενης μειωμένης κατανάλωσης καυσίμων στην διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου. Σίγουρα όμως, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το TRIALITY σχετικά με τις μεγαλύτερες διαστάσεις που απαιτούνται για την ίδια μεταφορική ικανότητα, η πιο πολύπλοκη και χαμηλότερης απόδοσης προωστήρια εγκατάσταση λόγω των δύο μηχανών και ελίκων, ο περιορισμός στην επιλογή της διαμέτρου της έλικας λόγω του χαμηλού βυθίσματος στην κατάσταση ερματισμού και η τιμή του δείκτη EEDI πρέπει να μελετηθούν, να αξιολογηθούν και να προταθούν βιώσιμες λύσεις για να ξεπεραστούν. Απαιτείται πιο πλήρης “sea-keeping” ανάλυση του TRIALITY και ακριβέστερος υπολογισμός της ολικής αντίστασής του για πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά οι βασικοί υδροστατικοί υπολογισμοί και οι καταστάσεις φόρτωσης για το TRIALITY VLCC, έτσι όπως υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος *Calc and Hydro* του AVEVA M12.

### Hydrostatics

Παρακάτω παρατίθενται οι υπολογισμοί των υδροστατικών μεγεθών του TRIALITY VLCC, όπως αυτοί πραγματοποιήθηκαν από το πρόγραμμα *Calc and Hydro* του AVEVA M12. Οι υπολογισμοί έγιναν για διάφορα βυθίσματα, συμπεριλαμβανομένου του βυθίσματος σχεδίασης  $T_{des} = 21.589 \text{ m}$ .

### Tables

Trim	0.00	metres
Heel	0.00	degrees
Shell thickness	0.00000	Mm
Keel thickness	0.00000	Mm
Hog (+ve)/ Sag (-ve)	0.00000	Metres
Water density	1.02700	tonnes/cu.m

All drafts are moulded

### 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> )	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
2.00	8763.45	184.141	1.157	6063.92	184.748	4812.127	25.722	6299.66	62.28	1201.16
3.00	15715.49	184.600	1.759	7469.06	185.444	3446.375	26.358	7875.23	76.71	1542.27
4.00	24045.24	185.029	2.366	8748.02	186.161	2685.232	27.788	9345.02	89.84	1837.90
5.00	33660.48	185.430	2.979	9977.84	186.623	2201.069	29.788	10778.28	102.47	2107.94
6.00	44493.68	185.787	3.595	11120.47	187.138	1855.592	31.693	12143.65	114.21	2347.64
7.00	56505.44	186.113	4.214	12275.06	187.456	1612.206	34.013	13524.15	126.06	2588.61
8.00	69663.27	186.393	4.836	13351.68	187.702	1420.212	36.009	14841.95	137.12	2809.11
9.00	83936.17	186.622	5.460	14447.18	187.750	1275.214	38.275	16177.44	148.37	3036.42

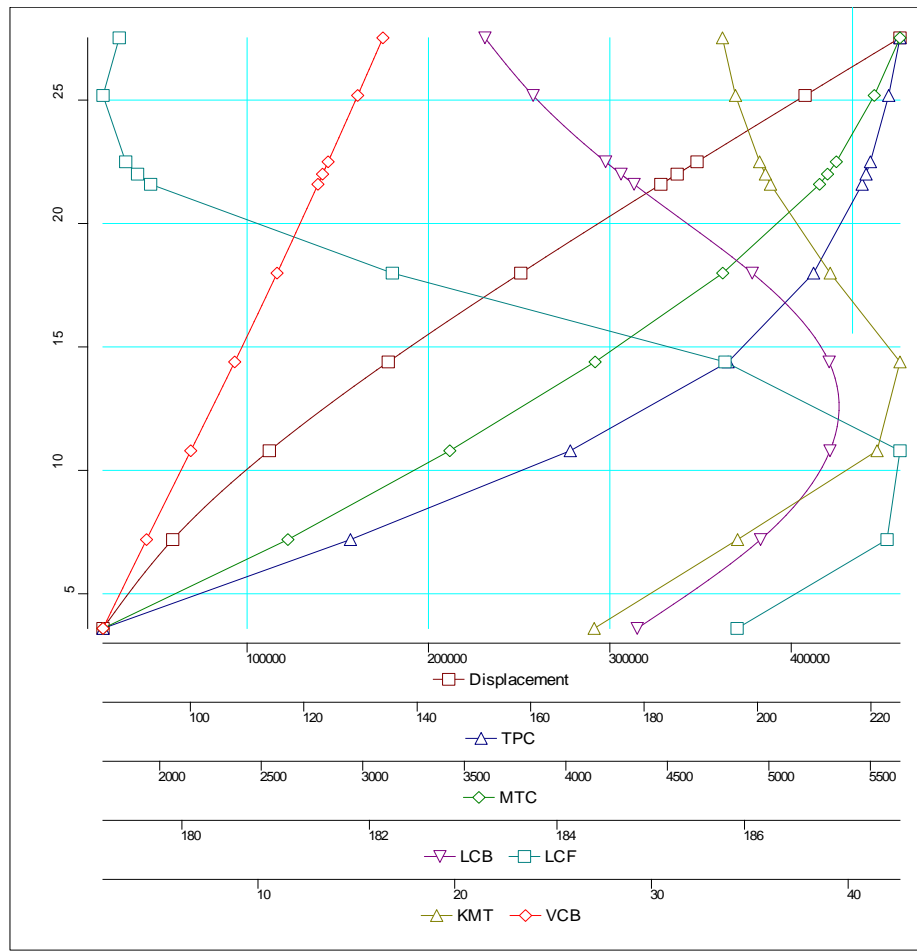
Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
10.00	99299.47	186.803	6.086	15471.28	187.805	1156.066	40.138	17452.31	158.89	3253.34
11.00	115697.71	186.933	6.713	16464.17	187.603	1060.778	41.825	18700.43	169.09	3474.44
12.00	133060.65	187.002	7.338	17343.63	187.299	978.692	42.826	19855.62	178.12	3682.31
13.00	151269.54	187.007	7.960	18111.94	186.792	908.650	43.192	20924.70	186.01	3881.68
14.00	170205.77	186.946	8.576	18756.60	186.108	848.386	42.922	21908.18	192.63	4072.38
15.00	189747.05	186.818	9.187	19295.34	185.300	796.156	42.234	22829.04	198.16	4254.28
16.00	209792.82	186.628	9.790	19738.79	184.356	750.896	41.253	23708.75	202.72	4429.59
17.00	230261.61	186.380	10.387	20119.74	183.306	712.310	40.182	24572.84	206.63	4604.73
18.00	251091.16	186.080	10.977	20439.95	182.235	678.355	39.078	25424.69	209.92	4774.15
19.00	272232.97	185.742	11.561	20724.90	181.252	647.518	38.101	26266.58	212.84	4932.44
20.00	293643.08	185.386	12.140	20963.61	180.478	618.361	37.213	27092.29	215.30	5071.59
21.00	315279.84	185.028	12.714	21167.70	179.897	590.399	36.453	27902.25	217.39	5188.95
21.59	328116.00	184.823	13.050	21271.23	179.666	574.608	36.052	28373.11	218.46	5249.47
22.00	337108.84	184.683	13.283	21338.31	179.528	563.946	35.793	28699.99	219.14	5288.70
23.00	359099.06	184.360	13.847	21482.57	179.291	538.979	35.228	29489.02	220.63	5372.49
24.00	381225.97	184.063	14.408	21604.99	179.194	515.781	34.747	30273.53	221.88	5445.49
25.00	403469.27	183.793	14.964	21709.77	179.153	494.149	34.342	31055.02	222.96	5508.16
26.00	425811.17	183.551	15.517	21797.94	179.189	474.216	33.997	31836.03	223.86	5564.64
27.00	448239.54	183.334	16.066	21878.81	179.272	455.965	33.724	32617.36	224.70	5617.67
27.52	459934.74	183.232	16.351	21920.09	179.332	447.172	33.611	34944.43	225.12	5645.29

### Hydrostatics

Draft (m)	Trim (m)	TCB (m)	TCF (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW	CB incl.shell
2.00	0.00	0.000	0.000	4810.970	24.565	0.174	0.246	0.705	0.247	0.174
3.00	0.00	0.000	0.000	3444.616	24.600	0.208	0.282	0.737	0.304	0.208
4.00	0.00	0.000	0.000	2682.865	25.422	0.238	0.315	0.756	0.356	0.238
5.00	0.00	0.000	0.000	2198.090	26.809	0.267	0.347	0.769	0.406	0.267
6.00	0.00	0.000	0.000	1851.997	28.098	0.294	0.379	0.776	0.453	0.294
7.00	0.00	0.000	0.000	1607.991	29.798	0.320	0.409	0.781	0.500	0.320
8.00	0.00	0.000	0.000	1415.376	31.172	0.345	0.440	0.785	0.543	0.345
9.00	0.00	0.000	0.000	1269.753	32.815	0.370	0.470	0.787	0.588	0.370
10.00	0.00	0.000	0.000	1149.980	34.052	0.394	0.499	0.789	0.630	0.394
11.00	0.00	0.000	0.000	1054.065	35.112	0.417	0.527	0.790	0.670	0.417

Draft	Trim	TCB	TCF	BML	BMT	CB	CM	CP	CW	CB incl.shell
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
12.00	0.00	0.000	0.000	971.354	35.488	0.439	0.555	0.792	0.706	0.439
13.00	0.00	0.000	0.000	900.691	35.232	0.461	0.581	0.793	0.737	0.461
14.00	0.00	0.000	0.000	839.810	34.346	0.482	0.606	0.795	0.763	0.482
15.00	0.00	0.000	0.000	786.969	33.047	0.501	0.629	0.797	0.785	0.501
16.00	0.00	0.000	0.000	741.106	31.463	0.520	0.650	0.799	0.803	0.520
17.00	0.00	0.000	0.000	701.924	29.795	0.537	0.669	0.802	0.819	0.537
18.00	0.00	0.000	0.000	667.378	28.102	0.553	0.687	0.805	0.832	0.553
19.00	0.00	0.000	0.000	635.957	26.539	0.568	0.703	0.808	0.844	0.568
20.00	0.00	0.000	0.000	606.221	25.073	0.582	0.717	0.811	0.853	0.582
21.00	0.00	0.000	0.000	577.685	23.739	0.595	0.730	0.815	0.862	0.595
21.59	0.00	0.000	0.000	561.558	23.002	0.602	0.737	0.817	0.866	0.602
22.00	0.00	0.000	0.000	550.663	22.510	0.607	0.742	0.818	0.868	0.607
23.00	0.00	0.000	0.000	525.132	21.381	0.619	0.753	0.821	0.874	0.619
24.00	0.00	0.000	0.000	501.373	20.339	0.629	0.763	0.825	0.879	0.629
25.00	0.00	0.000	0.000	479.185	19.378	0.640	0.773	0.828	0.884	0.640
26.00	0.00	0.000	0.000	458.699	18.480	0.649	0.781	0.831	0.887	0.649
27.00	0.00	0.000	0.000	439.899	17.658	0.658	0.789	0.833	0.890	0.658
27.52	0.00	0.000	0.000	430.821	17.260	0.662	0.793	0.835	0.892	0.662

**Curves**



### Cross Curves:

Οι παρακάτω υπολογισμοί για τις καμπύλες ευστάθειας πραγματοποιήθηκαν για γωνίες 0, 5, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 μοιρών.

### Tables

Trim 0.00 metres  
 Shell thickness 0.00000 mm  
 Keel thickness 0.00000 mm  
 Water density 1.02700 tonnes/cu.m

All drafts are moulded



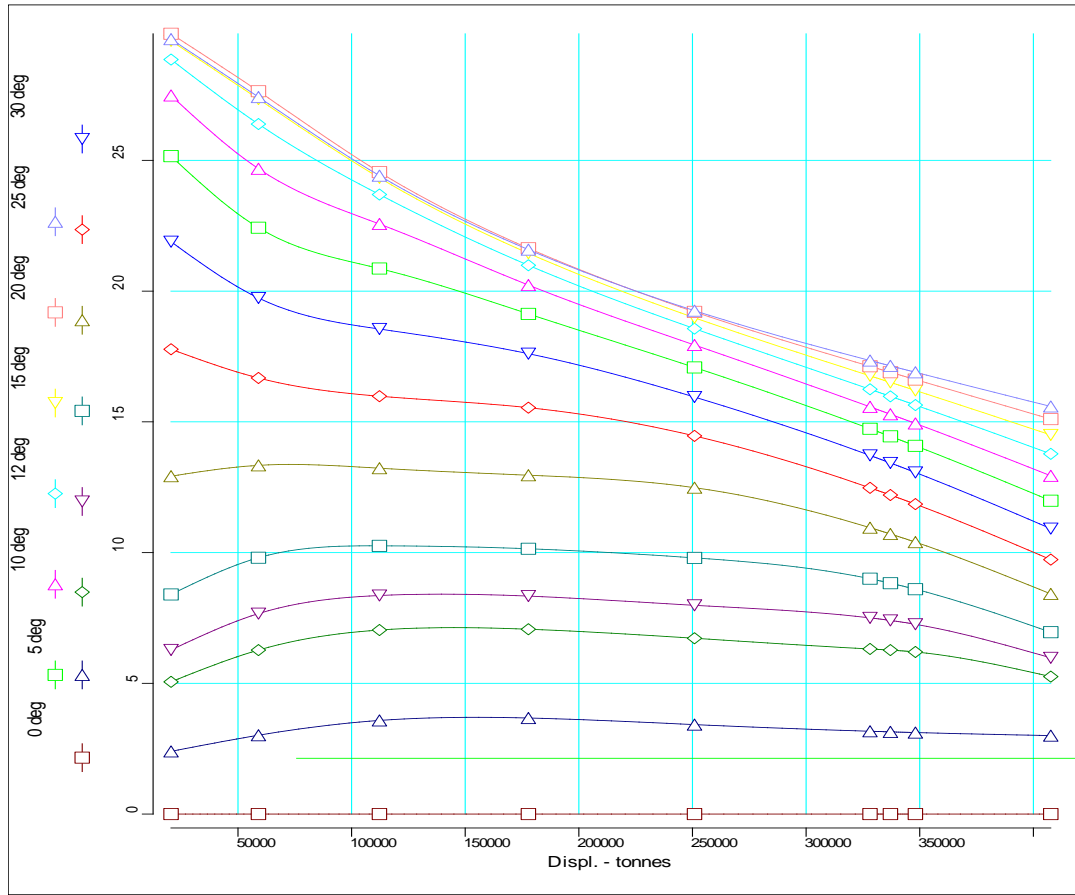
Displt (t)	WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
20541.20	3.53	0.000	0.00	0.000	26.993	0.000	23.986
20540.45	3.42	5.000	-0.03	2.398	28.434	0.104	20.948
20540.54	3.05	10.000	-0.12	5.056	33.361	0.426	17.972
20540.46	2.83	12.000	-0.17	6.277	36.918	0.623	16.812
20540.63	2.40	15.000	-0.28	8.400	44.872	1.006	15.125
20542.84	1.39	20.000	-0.54	12.923	57.068	1.928	12.496
20547.08	0.06	25.000	-0.92	17.777	52.795	3.270	10.091
20540.45	-1.55	30.000	-1.47	21.890	42.904	5.007	7.881
20540.44	-3.38	35.000	-1.96	25.162	32.973	7.066	5.846
20540.47	-5.43	40.000	-2.41	27.482	20.944	9.371	4.011
20540.50	-7.69	45.000	-2.77	28.856	11.608	11.834	2.400
20540.47	-10.11	50.000	-3.03	29.574	5.497	14.388	0.987
20540.45	-12.63	55.000	-3.22	29.841	0.576	16.983	-0.257
20540.45	-15.16	60.000	-3.44	29.637	-5.155	19.581	-1.387
59001.63	7.07	0.000	0.01	0.000	34.152	0.000	20.446
59001.63	6.91	5.000	-0.03	3.014	35.554	0.131	17.457
59001.08	6.40	10.000	-0.15	6.272	39.364	0.533	14.620
59001.64	6.11	12.000	-0.22	7.666	40.556	0.777	13.531
59001.66	5.59	15.000	-0.34	9.805	41.086	1.234	11.937
59001.90	4.53	20.000	-0.57	13.337	39.667	2.245	9.362
59002.17	3.27	25.000	-0.81	16.677	36.949	3.556	6.876
59003.04	1.84	30.000	-1.05	19.737	33.121	5.147	4.495
59005.11	0.21	35.000	-1.32	22.425	28.488	6.989	2.259
59003.91	-1.62	40.000	-1.67	24.681	23.677	9.048	0.205
59003.07	-3.60	45.000	-2.03	26.389	15.278	11.281	-1.692
59003.48	-5.63	50.000	-2.32	27.345	7.026	13.631	-3.494
59003.88	-7.69	55.000	-2.53	27.645	0.223	16.034	-5.193
59003.62	-9.77	60.000	-2.67	27.421	-5.110	18.440	-6.783
112244.89	10.62	0.000	0.01	0.000	41.165	0.000	16.903
112260.30	10.43	5.000	-0.03	3.581	40.620	0.156	13.937
112244.59	9.90	10.000	-0.12	7.039	38.422	0.621	11.123
112244.58	9.61	12.000	-0.16	8.358	37.215	0.890	10.029
112244.58	9.11	15.000	-0.22	10.259	35.422	1.378	8.414

Displt (t)	WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
112244.67	8.10	20.000	-0.34	13.227	32.730	2.404	5.793
112244.92	6.89	25.000	-0.46	15.981	30.475	3.680	3.264
112244.68	5.49	30.000	-0.60	18.551	28.513	5.188	0.842
112244.58	3.95	35.000	-0.75	20.864	23.188	6.912	-1.481
112244.59	2.37	40.000	-0.85	22.567	16.011	8.811	-3.787
112244.59	0.77	45.000	-0.90	23.694	10.009	10.834	-6.060
112244.65	-0.85	50.000	-0.95	24.333	4.735	12.932	-8.273
112244.66	-2.49	55.000	-0.99	24.549	0.367	15.068	-10.396
112244.66	-4.13	60.000	-1.00	24.416	-3.347	17.207	-12.418
177813.45	14.15	0.000	-0.01	0.000	42.807	0.000	13.368
177819.72	14.01	5.000	-0.01	3.674	40.798	0.161	10.356
177813.57	13.58	10.000	-0.01	7.069	37.004	0.633	7.445
177831.37	13.33	12.000	-0.02	8.337	35.579	0.901	6.310
177813.45	12.88	15.000	-0.02	10.147	33.639	1.386	4.643
177813.49	11.93	20.000	-0.05	12.960	30.912	2.396	1.955
177813.41	10.77	25.000	-0.09	15.543	27.343	3.642	-0.617
177813.44	9.52	30.000	-0.07	17.607	20.279	5.093	-3.191
177813.44	8.28	35.000	0.00	19.130	14.855	6.699	-5.809
177813.46	7.02	40.000	0.10	20.231	10.529	8.419	-8.440
177813.44	5.76	45.000	0.21	20.987	6.913	10.220	-11.051
177813.45	4.49	50.000	0.32	21.447	3.705	12.074	-13.610
177813.44	3.20	55.000	0.45	21.640	0.762	13.955	-16.085
177822.74	1.90	60.000	0.58	21.587	-1.924	15.843	-18.448
250899.92	17.68	0.000	-0.05	0.000	39.423	0.000	9.843
250901.17	17.57	5.000	-0.03	3.422	38.767	0.150	6.793
250898.91	17.23	10.000	0.03	6.723	36.664	0.594	3.791
250909.74	17.03	12.000	0.04	7.984	35.541	0.850	2.616
250898.91	16.63	15.000	0.07	9.799	33.797	1.317	0.892
250898.90	15.82	20.000	0.13	12.483	26.383	2.294	-1.933
250898.90	15.01	25.000	0.31	14.463	19.521	3.474	-4.862
250898.90	14.20	30.000	0.54	15.948	14.847	4.804	-7.863
250898.89	13.35	35.000	0.79	17.082	11.337	6.247	-10.885
250898.90	12.47	40.000	1.05	17.939	8.463	7.777	-13.886

Displt (t)	WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
250898.90	11.54	45.000	1.31	18.564	5.963	9.372	-16.831
250898.90	10.57	50.000	1.56	18.981	3.687	11.011	-19.688
250898.90	9.55	55.000	1.80	19.207	1.559	12.679	-22.431
250898.89	8.48	60.000	2.02	19.252	-0.451	14.358	-25.033
328133.67	21.20	0.000	-0.08	0.000	36.319	0.000	6.325
328120.72	21.09	5.000	-0.07	3.167	36.244	0.139	3.270
328115.85	20.79	10.000	-0.03	6.314	35.744	0.553	0.236
328105.80	20.62	12.000	-0.00	7.505	31.763	0.795	-0.982
328103.02	20.43	15.000	0.13	9.001	25.821	1.228	-2.911
328119.69	20.21	20.000	0.45	10.954	19.588	2.102	-6.317
328107.00	19.99	25.000	0.81	12.477	15.708	3.128	-9.841
328119.69	19.73	30.000	1.18	13.716	12.914	4.272	-13.401
328119.69	19.41	35.000	1.55	14.737	10.644	5.515	-16.938
328119.69	18.99	40.000	1.91	15.574	8.657	6.839	-20.406
328119.69	18.48	45.000	2.25	16.246	6.817	8.228	-23.766
328119.69	17.86	50.000	2.59	16.761	5.065	9.670	-26.985
328119.68	17.15	55.000	2.91	17.126	3.368	11.149	-30.034
328119.69	16.33	60.000	3.22	17.345	1.712	12.654	-32.883
337108.84	21.60	0.000	-0.08	0.000	36.049	0.000	5.924
337109.77	21.50	5.000	-0.07	3.144	35.993	0.137	2.869
337108.84	21.19	10.000	-0.04	6.271	35.014	0.548	-0.166
337098.04	21.05	12.000	0.01	7.405	30.135	0.788	-1.411
337098.87	20.91	15.000	0.16	8.830	24.709	1.214	-3.389
337100.90	20.76	20.000	0.49	10.712	19.036	2.070	-6.875
337103.67	20.63	25.000	0.87	12.202	15.457	3.072	-10.479
337101.11	20.45	30.000	1.25	13.427	12.835	4.192	-14.112
337108.84	20.19	35.000	1.62	14.446	10.683	5.410	-17.718
337108.84	19.83	40.000	1.99	15.290	8.778	6.708	-21.248
337108.84	19.37	45.000	2.35	15.975	7.004	8.074	-24.664
337108.84	18.81	50.000	2.70	16.509	5.302	9.492	-27.931
337108.83	18.13	55.000	3.03	16.897	3.646	10.951	-31.019
337108.83	17.35	60.000	3.35	17.142	2.023	12.437	-33.900
348106.68	22.09	0.000	-0.09	0.000	35.744	0.000	5.435

Displt (t)	WLRadiu (m)	Heel (deg)	Trim (m)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
348086.30	21.98	5.000	-0.08	3.118	35.705	0.137	2.381
348085.44	21.69	10.000	-0.04	6.199	32.742	0.544	-0.664
348079.22	21.59	12.000	0.03	7.259	28.216	0.780	-1.949
348082.17	21.51	15.000	0.20	8.599	23.412	1.196	-3.988
348084.67	21.47	20.000	0.55	10.401	18.420	2.028	-7.577
348085.04	21.43	25.000	0.94	11.853	15.184	3.001	-11.280
348083.57	21.34	30.000	1.33	13.064	12.766	4.090	-15.008
348079.61	21.17	35.000	1.71	14.084	10.757	5.276	-18.699
348085.43	20.89	40.000	2.09	14.940	8.951	6.543	-22.308
348085.43	20.50	45.000	2.47	15.643	7.254	7.879	-25.793
348085.43	20.00	50.000	2.83	16.201	5.612	9.269	-29.120
348085.43	19.37	55.000	3.18	16.618	4.003	10.702	-32.258
348085.43	18.63	60.000	3.51	16.896	2.418	12.166	-35.179
407644.10	24.71	0.000	-0.09	0.000	34.453	0.000	2.813
407629.33	24.60	5.000	-0.09	3.001	32.880	0.132	-0.240
407643.92	24.78	10.000	0.14	5.258	21.549	0.498	-3.760
407644.04	24.96	12.000	0.27	5.976	19.746	0.695	-5.322
407644.03	25.28	15.000	0.48	6.956	17.916	1.034	-7.761
407643.95	25.87	20.000	0.87	8.421	15.873	1.706	-11.983
407644.00	26.44	25.000	1.30	9.732	14.318	2.499	-16.286
407644.03	26.91	30.000	1.73	10.917	12.935	3.401	-20.580
407644.04	27.26	35.000	2.17	11.985	11.614	4.401	-24.797
407636.30	27.47	40.000	2.60	12.938	10.302	5.490	-28.882
407643.80	27.51	45.000	3.02	13.777	8.978	6.656	-32.794
407641.36	27.37	50.000	3.43	14.500	7.631	7.891	-36.492
407644.04	27.06	55.000	3.81	15.105	6.258	9.183	-39.943
407644.04	26.57	60.000	4.17	15.589	4.862	10.523	-43.116

**Curves**



**Bonjean****Table**

Trim 0.00 metres AP is at Station 0

Heel 0.00 degrees FP is at Station 10

## Sectional Areas - sq.metres

WL Heights Station	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00
-0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
0.500	1.078	3.432	6.893	11.223	16.209	21.663	27.467	33.670	40.573	48.729
0.750	5.233	12.133	21.078	31.572	43.246	55.922	69.594	84.371	100.444	118.053
1.000	10.815	22.147	36.091	52.148	70.041	89.566	110.634	133.226	157.420	183.368
1.500	16.455	32.261	51.615	73.977	98.964	126.379	156.129	188.119	222.315	258.683
2.000	20.297	38.982	61.626	87.694	116.868	149.000	184.003	221.786	262.259	305.328
2.500	25.724	47.190	72.801	102.100	134.867	171.022	210.479	253.156	298.903	347.572
3.000	32.266	56.040	83.946	115.804	151.530	191.042	234.234	281.004	331.180	384.594
3.500	34.067	58.669	87.582	120.717	158.005	199.377	244.742	294.011	347.067	403.644
4.000	34.480	59.152	88.175	121.474	158.973	200.592	246.238	295.816	349.214	406.157
5.000	34.480	59.152	88.175	121.474	158.973	200.592	246.238	295.816	349.214	406.157
6.000	34.480	59.152	88.175	121.474	158.973	200.592	246.238	295.816	349.214	406.157
6.500	34.480	59.152	88.175	121.474	158.973	200.592	246.238	295.816	349.214	406.157
7.000	34.480	59.152	88.175	121.474	158.973	200.592	246.238	295.816	349.214	406.157
7.500	31.619	55.902	84.576	117.494	154.566	195.702	240.821	289.840	342.617	399.008
8.000	27.187	50.095	77.746	109.646	145.580	185.480	229.298	276.984	328.453	383.618
8.500	22.233	42.979	68.606	98.600	132.638	170.576	212.338	257.848	307.035	359.649
9.000	14.514	31.019	52.382	77.934	107.213	139.868	175.673	214.428	255.950	300.030
9.250	10.934	23.906	40.883	61.418	84.929	111.398	140.630	172.324	206.335	242.664
9.500	8.718	19.240	33.020	49.663	68.889	90.495	114.338	140.302	168.284	198.183
9.750	6.417	13.415	22.358	33.021	45.235	58.874	73.821	89.969	107.230	125.527
10.000	0.420	1.900	4.324	7.568	11.529	16.104	21.205	26.742	32.632	38.790
10.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.145	0.424	0.762

WL Heights Station	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
-0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.434	4.238	11.976
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.936	5.732	14.476	26.906
0.250	0.042	0.383	1.991	6.892	16.509	30.071	46.998	66.915	89.451
0.500	58.595	70.573	85.103	102.395	122.497	145.453	171.184	199.459	229.971
0.750	137.495	159.049	182.957	209.318	238.112	269.321	302.868	338.563	376.159
1.000	211.234	241.153	273.208	307.425	343.780	382.198	422.557	464.683	508.376
1.500	297.179	337.757	380.317	424.755	470.944	518.753	568.078	618.726	670.530
2.000	350.876	398.673	448.506	500.148	553.398	608.062	663.961	720.918	778.767
2.500	398.995	452.844	508.811	566.570	625.847	686.379	747.951	810.363	873.447
3.000	441.030	500.049	561.244	624.181	688.508	753.900	820.110	886.923	954.149
3.500	463.418	525.867	590.441	656.588	723.899	792.015	860.674	929.677	998.903
4.000	466.297	529.106	594.052	660.565	728.195	796.557	865.364	934.467	1003.792
5.000	466.297	529.106	594.052	660.565	728.195	796.557	865.378	934.496	1003.821
6.000	466.297	529.106	594.052	660.565	728.195	796.557	865.388	934.514	1003.840
6.500	466.297	529.106	594.052	660.565	728.195	796.557	865.390	934.519	1003.845
7.000	466.297	529.106	594.052	660.565	728.195	796.557	865.392	934.522	1003.848
7.500	458.793	521.391	586.204	652.602	720.129	788.398	857.123	926.162	995.451
8.000	442.267	503.846	567.607	632.970	699.499	766.836	834.741	903.046	971.634
8.500	415.298	473.468	533.697	595.540	658.666	722.792	787.676	853.192	919.244
9.000	346.450	394.980	445.415	497.551	551.196	606.171	662.325	719.527	777.673
9.250	281.162	321.680	364.057	408.142	453.749	500.788	549.132	598.692	649.318
9.500	229.902	263.341	298.406	335.004	373.046	412.445	453.100	494.951	537.938
9.750	144.794	164.978	186.028	207.920	230.658	254.267	278.811	304.368	331.014
10.000	45.114	51.500	57.845	63.962	69.688	74.852	79.275	82.870	85.689
10.125	1.073	1.253	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258

WL Heights Station	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00	26.00	27.00	27.52
-0.125	23.020	36.629	52.144	69.007	86.795	105.203	124.021	133.925
0.000	42.457	60.397	80.083	100.992	122.743	145.110	167.950	179.984
0.250	114.201	140.721	168.630	197.628	227.505	258.095	289.288	305.713
0.500	262.357	296.304	331.525	367.805	404.963	442.854	481.371	501.613
0.750	415.365	455.923	497.596	540.191	583.554	627.554	672.102	695.461
1.000	553.415	599.597	646.736	694.669	743.253	792.355	841.869	867.745

1.500	723.314	776.918	831.191	885.988	941.231	996.847	1052.765	1081.960
2.000	837.350	896.504	956.140	1016.171	1076.514	1137.113	1197.913	1229.609
2.500	937.056	1001.047	1065.346	1129.895	1194.638	1259.536	1324.551	1358.405
3.000	1021.685	1089.464	1157.417	1225.510	1293.707	1361.986	1430.323	1465.881
3.500	1068.305	1137.848	1207.499	1277.236	1347.039	1416.892	1486.781	1523.136
4.000	1073.277	1142.892	1212.610	1282.410	1352.272	1422.182	1492.124	1528.505
5.000	1073.306	1142.923	1212.644	1282.444	1352.307	1422.217	1492.155	1528.520
6.000	1073.324	1142.942	1212.665	1282.468	1352.331	1422.241	1492.152	1528.498
6.500	1073.329	1142.947	1212.671	1282.476	1352.339	1422.244	1492.137	1528.474
7.000	1073.332	1142.950	1212.674	1282.480	1352.345	1422.238	1492.113	1528.440
7.500	1064.926	1134.554	1204.300	1274.136	1344.030	1413.942	1483.828	1520.158
8.000	1040.454	1109.465	1178.628	1247.917	1317.310	1386.788	1456.334	1492.526
8.500	985.734	1052.607	1119.806	1187.295	1255.038	1323.008	1391.177	1426.703
9.000	836.676	896.453	956.956	1018.136	1079.942	1142.335	1205.271	1238.214
9.250	700.942	753.485	806.893	861.105	916.013	971.643	1027.993	1057.527
9.500	581.997	627.080	673.135	720.124	768.005	816.741	866.291	892.380
9.750	358.815	387.822	418.062	449.546	482.278	516.249	551.444	570.221
10.000	87.923	89.883	91.947	94.548	98.110	103.045	109.606	113.742
10.125	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258

Vertical Moments of Sectional Areas - cu.metres

WL Heights Station	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
-0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.500	1.712	7.699	19.892	39.440	66.910	102.394	145.948	198.720	264.380
0.750	7.366	24.811	56.264	103.601	167.895	250.372	352.998	478.697	631.507
1.000	14.170	42.742	91.739	164.161	262.716	389.759	547.896	740.055	970.031
1.500	20.807	60.644	128.653	229.520	367.148	545.551	768.863	1040.965	1366.008
2.000	25.295	72.365	151.921	269.501	430.202	639.310	902.060	1223.452	1608.157
2.500	30.726	84.761	174.718	306.860	487.363	722.650	1018.849	1381.868	1816.708
3.000	36.313	96.107	194.108	337.798	534.609	791.749	1115.991	1513.830	1990.777
3.500	38.038	99.910	201.457	350.916	556.341	825.599	1166.165	1585.273	2089.609
4.000	38.332	100.380	202.315	352.520	559.105	829.975	1172.648	1594.388	2101.978
5.000	38.332	100.380	202.315	352.520	559.105	829.975	1172.648	1594.388	2101.978
6.000	38.332	100.380	202.315	352.520	559.105	829.975	1172.648	1594.388	2101.978
6.500	38.332	100.380	202.315	352.520	559.105	829.975	1172.648	1594.388	2101.978
7.000	38.332	100.380	202.315	352.520	559.105	829.975	1172.648	1594.388	2101.978



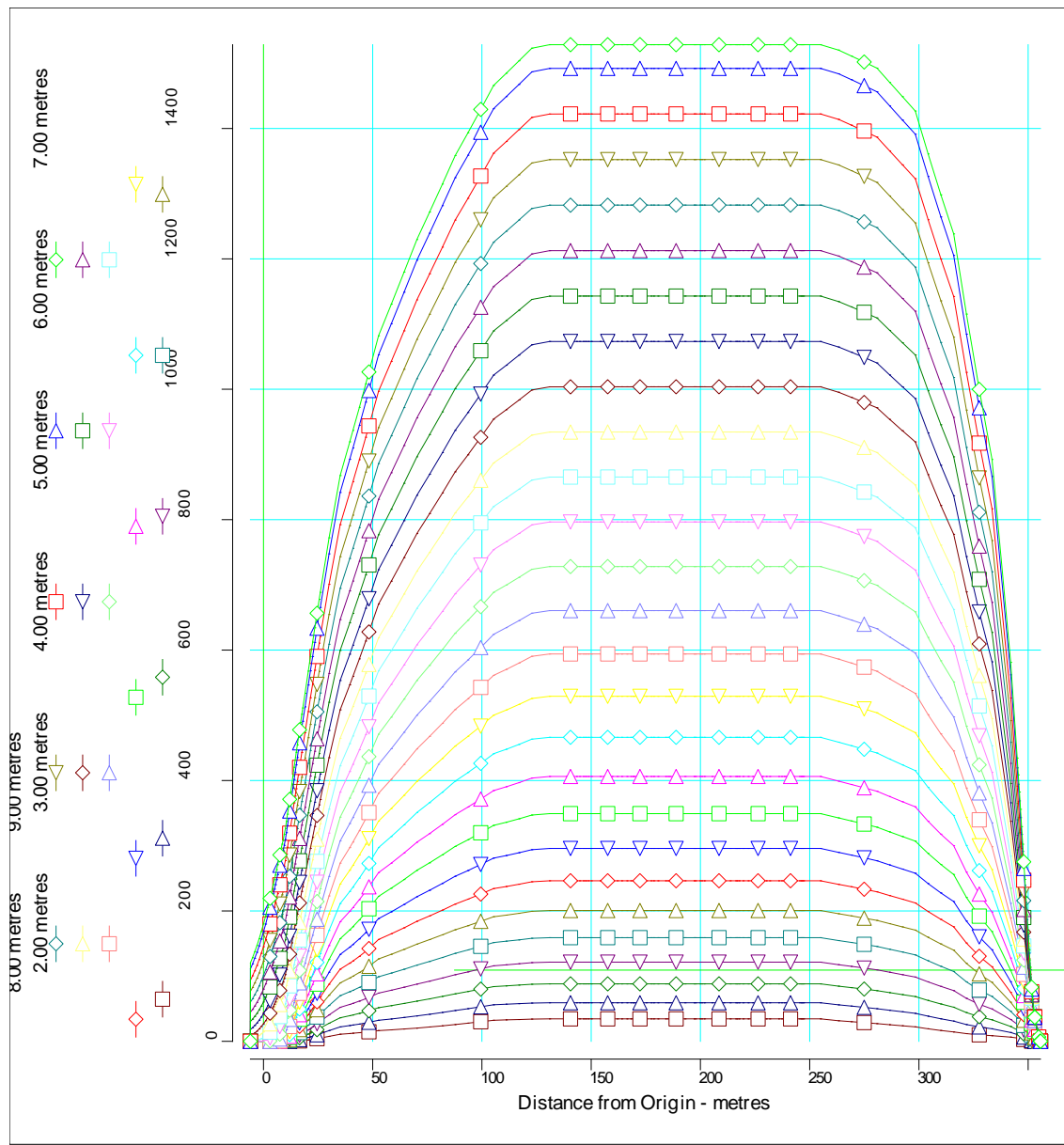
7.500	36.452	97.538	198.250	346.735	550.970	818.692	1157.406	1574.397	2076.080
8.000	32.281	89.973	187.121	331.015	528.980	788.664	1117.621	1523.275	2012.533
8.500	27.647	79.945	170.020	305.340	492.874	739.796	1053.323	1440.470	1908.052
9.000	19.100	60.807	135.951	251.263	412.589	625.122	893.910	1223.569	1618.248
9.250	14.430	47.189	106.934	199.602	329.157	501.442	720.906	990.510	1313.818
9.500	11.624	38.224	86.708	161.825	267.776	408.407	587.412	808.274	1074.265
9.750	8.362	26.031	57.485	105.601	172.902	261.669	373.875	511.235	675.302
10.000	0.716	4.505	13.058	27.724	49.561	79.349	117.640	164.745	220.722
10.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	1.243	3.906

WL Heights Station	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
-0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.746
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.693	99.971
0.250	0.058	0.490	4.802	26.683	98.132	247.562	471.626	768.115
0.500	350.141	463.760	613.685	810.063	1061.035	1372.846	1751.866	2202.377
0.750	816.541	1040.286	1309.902	1632.867	2015.307	2461.822	2976.959	3564.222
1.000	1242.645	1563.270	1937.424	2370.347	2866.674	3430.364	4064.430	4770.857
1.500	1748.053	2190.925	2698.329	3273.039	3917.554	4633.611	5422.603	6285.896
2.000	2060.603	2584.597	3182.238	3855.142	4604.094	5429.603	6331.663	7309.996
2.500	2327.976	2919.564	3592.857	4348.573	5186.225	6105.127	7104.007	8181.586
3.000	2551.888	3201.145	3939.080	4765.369	5678.094	6675.255	7754.310	8913.035
3.500	2683.955	3371.610	4152.418	5024.326	5983.569	7026.961	8150.940	9352.499
4.000	2700.165	3392.017	4177.336	5054.256	6018.810	7067.157	8195.173	9399.316
5.000	2700.165	3392.017	4177.336	5054.256	6018.810	7067.157	8195.173	9399.572
6.000	2700.165	3392.017	4177.336	5054.256	6018.810	7067.157	8195.173	9399.737
6.500	2700.165	3392.017	4177.336	5054.256	6018.810	7067.157	8195.173	9399.785
7.000	2700.165	3392.017	4177.336	5054.256	6018.810	7067.157	8195.173	9399.810
7.500	2668.486	3356.269	4138.966	5014.088	5976.975	7023.714	8150.215	9352.928
8.000	2592.079	3266.804	4036.765	4897.691	5845.573	6876.851	7987.957	9176.340
8.500	2460.766	3100.970	3828.287	4641.523	5538.369	6516.922	7575.069	8710.591
9.000	2081.292	2615.306	3222.100	3903.130	4659.225	5490.847	6398.037	7380.817
9.250	1695.455	2138.364	2644.990	3217.231	3856.603	4563.625	5339.874	6186.004
9.500	1388.362	1753.274	2171.402	2644.920	3175.718	3765.486	4415.672	5127.226
9.750	867.498	1089.157	1341.527	1625.770	1943.274	2295.780	2685.415	3115.013
10.000	285.403	358.129	437.965	523.601	612.281	700.992	786.142	863.484
10.125	7.459	11.025	13.255	13.321	13.321	13.321	13.321	13.321

WL Heights Station	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00
-0.125	78.450	229.641	456.287	749.069	1098.290	1494.660	1930.542
0.000	262.045	504.720	823.757	1209.636	1652.689	2144.123	2677.087
0.250	1136.818	1576.466	2084.002	2654.308	3282.384	3963.914	4695.969
0.500	2725.666	3320.821	3984.875	4714.844	5507.417	6360.070	7270.523
0.750	4224.752	4958.020	5761.860	6633.970	7571.689	8572.749	9635.199
1.000	5550.330	6402.468	7325.862	8318.880	9379.567	10506.066	11696.421
1.500	7222.984	8233.253	9315.412	10467.953	11689.146	12976.913	14330.404
2.000	8363.777	9491.897	10692.904	11964.765	13306.604	14717.371	16195.788
2.500	9336.271	10566.465	11870.484	13246.327	14693.069	16209.987	17796.206
3.000	10149.125	11460.048	12844.572	14301.835	15830.792	17430.975	19101.822
3.500	10629.076	11978.997	13401.753	14896.947	16464.092	18102.917	19813.096
4.000	10677.742	12029.602	13454.048	14950.794	16519.452	18159.747	19871.383
5.000	10678.264	12030.125	13454.570	14951.351	16520.073	18160.396	19872.032
6.000	10678.597	12030.458	13454.903	14951.689	16520.470	18160.855	19872.496
6.500	10678.693	12030.554	13454.999	14951.784	16520.584	18161.002	19872.658
7.000	10678.742	12030.602	13455.048	14951.833	16520.642	18161.094	19872.774
7.500	10630.176	11981.327	13405.580	14902.581	16471.887	18113.027	19825.447
8.000	10440.011	11777.496	13188.325	14672.085	16228.254	17856.566	19556.690
8.500	9922.690	11210.731	12573.823	14011.619	15523.624	17109.637	18769.362
9.000	8439.136	9573.060	10782.708	12067.974	13429.352	14867.122	16381.434
9.250	7102.963	8090.250	9148.630	10278.367	11480.115	12754.178	14099.471
9.500	5901.578	6739.905	7643.214	8612.569	9648.899	10753.204	11926.375
9.750	3587.899	4107.597	4677.614	5301.372	5981.877	6721.837	7523.872
10.000	929.913	984.822	1030.583	1072.721	1119.189	1180.362	1267.748
10.125	13.321	13.321	13.321	13.321	13.321	13.321	13.321

WL Heights Station	26.00	27.00	27.52
-0.125	2399.982	2898.680	3168.669
0.000	3247.496	3852.804	4180.842
0.250	5476.059	6302.704	6750.464
0.500	8236.790	9257.532	9809.358
0.750	10757.256	11937.815	12574.589
1.000	12948.540	14260.711	14966.090
1.500	15748.647	17230.477	18026.359
2.000	17741.074	19352.301	20216.333
2.500	19451.124	21174.031	22096.891
3.000	20842.941	22653.874	23623.189

3.500	21594.362	23446.407	24437.467
4.000	21654.088	23507.543	24499.297
5.000	21654.737	23508.091	24499.406
6.000	21655.194	23507.841	24498.642
6.500	21655.227	23507.394	24497.939
7.000	21655.048	23506.735	24497.023
7.500	21608.183	23460.157	24450.531
8.000	21328.388	23171.373	24157.944
8.500	20502.603	22309.093	23277.549
9.000	17972.480	19640.347	20538.360
9.250	15518.099	17011.438	17816.532
9.500	13169.199	14482.359	15193.540
9.750	8390.252	9323.012	9834.882
10.000	1393.698	1567.721	1680.500
10.125	13.321	13.321	13.321



**Floodable Lengths:**

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται οι θέσεις των εγκάρσιων φρακτών σε σχέση με την πρυμναία κάθετο (ΑΡ). Η επιλογή των θέσεων των φρακτών για το υπό μελέτη πλοίο έγινε με βάση τα δεδομένα από το πατρικό πλοίο καθώς επίσης και τους κανονισμούς της SOLAS σχετικά με τη θέση των απαιτούμενων φρακτών σύγκρουσης και τον αριθμό/ισαπόσταση των εγκάρσιων στεγανών φρακτών.

<b>Φρακτές</b>	<b>Απόσταση από Α.Ρ. (m)</b>
<b>0</b> (ER aftend – aft collision bulkhead)	10.83
<b>1</b>	27.42
<b>2</b>	31.37
<b>3</b>	34.665
<b>4</b>	61.385
<b>5</b>	88.105
<b>6</b>	114.825
<b>7</b>	141.545
<b>8</b> (fore collision bulkhead)	163.01

Οι υπολογισμοί των κατακλύσιμων μηκών βρίσκονται στους παρακάτω πίνακες και πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος AVEVA στον Η/Υ, για **διαχωρητότητες 60%, 85% και 95%.**

### Permeability 60%

Aft terminal	0.000
	20.400
	42.400
	44.400
	101.564
	158.728
	215.892
	273.056
	330.220
Forward terminal	351.000

### Tables

Mean draft	21.589	metres
Trim over LBP	0.000	metres
Subdivision displacement	328226.435	tonnes
Water density	1.027	tonnes/cu.m
L.C.B. from origin	184.836	metres
Criterion of Service	0.000	
Subdivision Factor	1.000	
Margin Line below Deck	76.000	mm

Region = 60.000

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
32619.18	42.508	70.538	35.269	23.129	-8.617
36514.30	57.733	59.697	55.132	23.309	-8.256
40923.13	74.841	58.123	73.523	23.496	-7.884
44988.84	89.212	59.894	88.051	23.689	-7.499
49489.46	101.439	62.982	100.572	23.888	-7.102
54085.89	111.956	66.892	111.447	24.092	-6.695
58754.78	121.054	71.598	120.748	24.302	-6.277
63503.27	128.989	76.534	128.873	24.516	-5.850

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
68599.69	135.978	81.932	136.015	24.734	-5.413
73440.60	142.161	87.024	142.289	24.957	-4.968
78476.71	147.646	92.227	147.849	25.184	-4.516
83839.44	152.556	97.704	152.803	25.414	-4.057
89071.29	156.975	102.902	157.231	25.647	-3.591
94556.63	160.944	108.207	161.206	25.883	-3.120
99818.57	164.540	113.092	164.788	26.121	-2.644
105311.21	167.818	118.085	168.036	26.361	-2.164
110952.16	170.792	123.087	170.962	26.603	-1.681
116598.05	173.513	127.937	173.619	26.846	-1.195
121836.31	176.019	132.187	176.049	27.090	-0.707
127680.25	178.310	136.958	178.250	27.335	-0.218
127044.90	180.465	136.280	180.365	27.309	0.271
121706.86	182.770	131.950	182.588	27.064	0.759
116220.06	185.282	127.271	185.054	26.820	1.247
111062.60	188.004	122.808	187.741	26.577	1.733
105748.81	190.971	118.031	190.681	26.336	2.216
100416.50	194.224	113.229	193.841	26.096	2.695
95229.20	197.773	108.359	197.342	25.858	3.171
90120.70	201.668	103.377	201.218	25.622	3.641
85274.02	205.971	98.515	205.518	25.389	4.106
80230.11	210.704	93.308	210.237	25.159	4.565
75252.37	215.944	87.980	215.494	24.933	5.016
70482.18	221.785	82.757	221.354	24.711	5.460
65781.92	228.275	77.378	227.924	24.493	5.896
61237.13	235.538	72.239	235.195	24.279	6.322
56670.49	243.735	66.893	243.461	24.070	6.739
52558.08	252.967	62.041	252.774	23.866	7.145
48424.65	263.434	57.215	263.376	23.668	7.540
44198.65	275.426	52.631	275.484	23.476	7.924
40323.75	289.237	49.461	289.607	23.290	8.296
36523.52	305.164	49.503	306.262	23.110	8.654

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
32728.06	317.957	58.444	321.778	22.937	9.000
		0.000	351.000		

### **Permeability 85%**

Region = 85.000

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
32592.69	33.767	56.023	28.011	23.129	-8.617
36664.81	57.733	40.617	56.880	23.309	-8.256
40672.51	74.841	40.192	74.352	23.496	-7.884
45053.95	89.212	41.814	88.718	23.689	-7.499
49432.10	101.439	43.886	101.066	23.888	-7.102
54200.05	111.956	46.774	111.747	24.092	-6.695
58643.28	121.054	49.923	120.949	24.302	-6.277
63461.52	128.989	53.523	128.991	24.516	-5.850
68375.23	135.978	57.262	136.052	24.734	-5.413
73389.58	142.161	61.054	142.282	24.957	-4.968
78487.98	147.646	64.799	147.818	25.184	-4.516
83955.62	152.556	68.823	152.730	25.414	-4.057
89277.11	156.975	72.549	157.172	25.647	-3.591
94482.20	160.944	76.190	161.090	25.883	-3.120
100003.49	164.540	79.843	164.690	26.121	-2.644
105359.01	167.818	83.250	167.962	26.361	-2.164
110903.43	170.792	86.697	170.919	26.603	-1.681
116254.33	173.513	89.886	173.613	26.846	-1.195
122147.80	176.019	93.391	176.084	27.090	-0.707
127676.64	178.310	96.514	178.332	27.335	-0.218
126893.29	180.465	96.001	180.443	27.309	0.271
121640.01	182.770	93.025	182.703	27.064	0.759
116464.68	185.282	90.021	185.170	26.820	1.247



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
111083.44	188.004	86.746	187.857	26.577	1.733
105684.73	190.971	83.339	190.800	26.336	2.216
100599.82	194.224	80.085	194.026	26.096	2.695
95230.42	197.773	76.481	197.559	25.858	3.171
90067.88	201.668	72.904	201.454	25.622	3.641
84934.63	205.971	69.255	205.750	25.389	4.106
80104.34	210.704	65.736	210.480	25.159	4.565
75207.17	215.944	62.056	215.718	24.933	5.016
70377.67	221.785	58.305	221.568	24.711	5.460
65711.83	228.275	54.569	228.074	24.493	5.896
61365.57	235.538	51.024	235.353	24.279	6.322
56896.21	243.735	47.285	243.593	24.070	6.739
52422.48	252.967	43.560	252.865	23.866	7.145
48427.87	263.434	40.229	263.398	23.668	7.540
44331.44	275.426	37.077	275.446	23.476	7.924
40281.73	289.237	34.415	289.392	23.290	8.296
36582.85	305.164	33.926	305.628	23.110	8.654
33021.71	324.701	46.672	327.664	22.937	9.000
		0.000	351.000		

### **Permeability 95%**

Region = 95.000

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
32549.82	31.346	52.105	26.052	23.129	-8.617
36599.00	57.733	36.482	56.911	23.309	-8.256
40779.09	74.841	36.204	74.365	23.496	-7.884
45037.96	89.212	37.095	88.943	23.689	-7.499
49820.19	101.439	39.634	101.080	23.888	-7.102
53959.70	111.956	41.655	111.755	24.092	-6.695

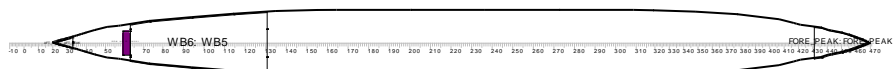
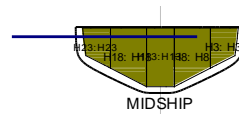
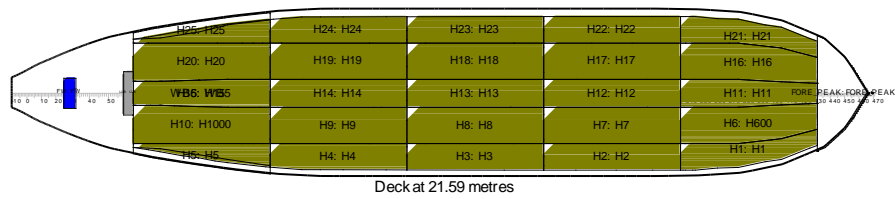
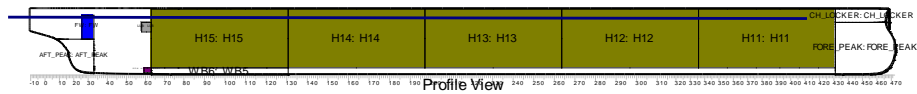
Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin Metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
58814.55	121.054	44.747	120.956	24.302	-6.277
63667.18	128.989	47.978	128.993	24.516	-5.850
68338.93	135.978	51.128	136.054	24.734	-5.413
73369.81	142.161	54.534	142.282	24.957	-4.968
78493.92	147.646	57.970	147.782	25.184	-4.516
83713.48	152.556	61.330	152.723	25.414	-4.057
88811.99	156.975	64.625	157.102	25.647	-3.591
94226.06	160.944	67.924	161.084	25.883	-3.120
99612.54	164.540	71.102	164.682	26.121	-2.644
105214.39	167.818	74.335	167.954	26.361	-2.164
110658.79	170.792	77.427	170.878	26.603	-1.681
116363.72	173.513	80.520	173.582	26.846	-1.195
122384.14	176.019	83.734	176.065	27.090	-0.707
127603.34	178.310	86.308	178.325	27.335	-0.218
127210.46	180.465	86.118	180.444	27.309	0.271
121760.39	182.770	83.316	182.716	27.064	0.759
116229.75	185.282	80.375	185.196	26.820	1.247
110851.68	188.004	77.447	187.890	26.577	1.733
105962.72	190.971	74.764	190.833	26.336	2.216
100631.79	194.224	71.676	194.066	26.096	2.695
95206.37	197.773	68.406	197.605	25.858	3.171
90269.21	201.668	65.392	201.488	25.622	3.641
85108.87	205.971	62.103	205.788	25.389	4.106
80140.85	210.704	58.804	210.544	25.159	4.565
75171.18	215.944	55.502	215.760	24.933	5.016
70353.61	221.785	52.127	221.622	24.711	5.460
65921.33	228.275	48.964	228.122	24.493	5.896
61297.97	235.538	45.589	235.390	24.279	6.322
56652.05	243.735	42.116	243.615	24.070	6.739
52477.92	252.967	38.971	252.894	23.866	7.145
48226.34	263.434	35.827	263.402	23.668	7.540
44335.50	275.426	33.135	275.446	23.476	7.924

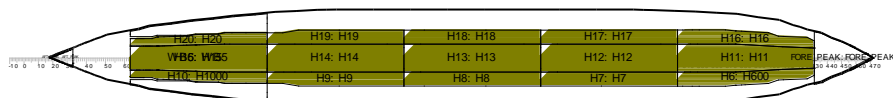
Lost buoyancy cu.metres	LCB of FL from Origin Metres	Floodable Length metres	Centre of FL from Origin metres	Mean draft metres	Trim by head metres
40242.63	289.237	30.621	289.382	23.290	8.296
36725.98	305.164	30.134	305.602	23.110	8.654
29973.07	328.087	40.920	330.540	22.937	9.000
		0.000	351.000		

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

### Full Load Departure

#### Intact State





FORE\_AFT\_PEAK VIEW

Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	FW	1.0000
	LUB_OIL	0.9300
	SEWAGE	0.8980
	CARGO	0.8777

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>FRESH WATER</i>									
FW: FW	26-33	FW	98.0	1.000	600.2	17.90	0.00	19.90	797.5
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>600.2</b>	<b>17.90</b>	<b>0.00</b>	<b>19.90</b>	<b>797.5</b>
<i>LUB OIL</i>									
LUB: LUB	58-63	LUB_OIL	98.0	0.930	259.9	42.38	0.00	19.96	1794.1
<b>Total LUB OIL</b>					<b>259.9</b>	<b>42.38</b>	<b>0.00</b>	<b>19.96</b>	<b>1794.1</b>
<i>CARGO</i>									
H1: H1	336-431	CARGO	98.0	0.878	6148.1	298.48	24.37	20.87	7507.4
H10: H1000	63-131	CARGO	98.0	0.878	14268.7	73.45	12.39	17.61	15390.5
H11: H11	336-431	CARGO	98.0	0.878	12770.7	300.02	0.00	15.01	5129.9
H12: H12	264-336	CARGO	98.0	0.878	13972.5	244.47	0.00	15.01	6509.0
H13: H13	197-264	CARGO	98.0	0.878	13972.5	187.31	0.00	15.01	6509.0
H14: H14	131-197	CARGO	98.0	0.878	13972.5	130.15	0.00	15.01	6509.0

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
H15: H15	63-131	CARGO	98.0	0.878	13147.9	73.92	0.00	15.01	5480.1
H16: H16	336-431	CARGO	98.0	0.878	14246.0	300.19	-12.02	16.97	13115.8
H17: H17	264-336	CARGO	98.0	0.878	15320.8	244.48	-12.86	16.86	14351.5
H18: H18	197-264	CARGO	98.0	0.878	15301.8	187.31	-12.85	16.87	14351.5
H19: H19	131-197	CARGO	98.0	0.878	15224.8	130.27	-12.84	16.92	14351.5
H2: H2	264-336	CARGO	98.0	0.878	7623.2	244.51	26.04	20.36	6516.6
H20: H20	63-131	CARGO	98.0	0.878	14268.7	73.45	-12.39	17.61	15390.5
H21: H21	336-431	CARGO	98.0	0.878	6148.1	298.48	-24.37	20.87	7507.4
H22: H22	264-336	CARGO	98.0	0.878	7623.2	244.51	-26.04	20.36	6516.6
H23: H23	197-264	CARGO	98.0	0.878	7557.1	187.36	-26.01	20.40	6516.9
H24: H24	131-197	CARGO	98.0	0.878	7347.9	130.63	-25.92	20.47	6335.7
H25: H25	63-131	CARGO	98.0	0.878	3686.1	80.26	-24.36	21.68	2540.9
H3: H3	197-264	CARGO	98.0	0.878	7557.1	187.36	26.01	20.40	6516.9
H4: H4	131-197	CARGO	98.0	0.878	7347.9	130.63	25.92	20.47	6335.7
H5: H5	63-131	CARGO	98.0	0.878	3686.1	80.26	24.36	21.68	2540.9
H6: H600	336-431	CARGO	98.0	0.878	14246.0	300.19	12.02	16.97	13115.8
H7: H7	264-336	CARGO	98.0	0.878	15320.8	244.48	12.86	16.86	14351.5
H8: H8	197-264	CARGO	98.0	0.878	15301.8	187.31	12.85	16.87	14351.5
H9: H9	131-197	CARGO	98.0	0.878	15224.8	130.27	12.84	16.92	14351.5

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<b>Total CARGO</b>					<b>281285.1</b>	<b>189.26</b>	<b>0.00</b>	<b>17.38</b>	<b>232093.6</b>
<i>SEWAGE</i>									
SEWAGE: H201	59-63	SEWAGE	98.0	0.898	50.0	42.89	0.00	2.02	222.7
<b>Total SEWAGE</b>					<b>50.0</b>	<b>42.89</b>	<b>0.00</b>	<b>2.02</b>	<b>222.7</b>
<i>MGO</i>									
MGO					763.0	50.00	0.00	20.00	0.0
<b>Total MGO</b>					<b>763.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20.00</b>	<b>0.0</b>
<i>LNG_TANK</i>									
LNG					3400.0	50.00	0.00	35.00	0.0
<b>Total LNG_TANK</b>					<b>3400.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>35.00</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>286358.0</b>	<b>186.72</b>	<b>0.00</b>	<b>17.60</b>	<b>234908.0</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>327958.0</b>	<b>183.86</b>	<b>0.00</b>	<b>17.09</b>	<b>234908.0</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>327964.1</b>	<b>183.85</b>	<b>0.00</b>	<b>13.05</b>	<b>7548573.6</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>327964.1</b>	<b>183.85</b>	<b>0.00</b>	<b>13.05</b>	<b>7548573.6</b>

## Intact State

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	21.582	metres
Draft aft at marks	21.893	metres
Draft fwd at marks	21.285	metres
Draft at AP	21.893	metres
Draft at FP	21.285	metres
Mean draft at midships	21.589	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.608	Metres
KG	17.095	Metres
FSC	0.716	Metres
KGf	17.811	Metres
GMt	18.252	Metres
BMt	23.016	Metres
BMI	562.837	Metres
Waterplane area	21282.72	sq.metres
LCG	183.859	Metres
LCB	183.851	Metres
TCB	0.000	Metres
LCF	179.361	Metres
TCF	0.000	Metres
TPC	218.574	tonnes/cm
MTC	5258.985	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

#### Propeller Immersion

Propeller tip immersion	16.790	metres
Required percentage immersion	100.000	%
Actual percentage immersion	339.863	%

#### Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
0.00	0.0000	18.2524	-0.608	21.589	5.93[0]
5.00	1.5933	18.2653	-0.598	21.489	2.88[0]
10.00	3.1808	17.6085	-0.567	21.184	-0.16[0]
15.00	4.2331	7.5505	-0.433	20.902	-3.38[0]
20.00	4.6369	2.3001	-0.183	20.750	-6.86[0]
25.00	4.6928	-0.7007	0.110	20.612	-10.46[0]
30.00	4.5395	-2.6127	0.414	20.427	-14.09[0]

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
35.00	4.2483	-3.9284	0.716	20.165	-17.70[0]
40.00	3.8592	-4.8867	1.015	19.809	-21.23[0]
45.00	3.3977	-5.6111	1.311	19.350	-24.64[0]
50.00	2.8807	-6.1675	1.601	18.783	-27.90[0]
55.00	2.3214	-6.5912	1.883	18.106	-30.99[0]
60.00	1.7304	-6.9043	2.151	17.321	-33.87[0]
65.00	1.1165	-7.1202	2.402	16.431	-36.52[0]
70.00	0.4880	-7.2451	2.632	15.441	-38.92[0]
75.00	-0.1474	-7.2831	2.840	14.357	-41.04[0]
80.00	-0.7822	-7.2371	3.019	13.187	-42.88[0]
85.00	-1.4091	-7.1078	3.168	11.941	-44.41[0]
90.00	-2.0210	-6.8956	3.283	10.626	-45.62[0]

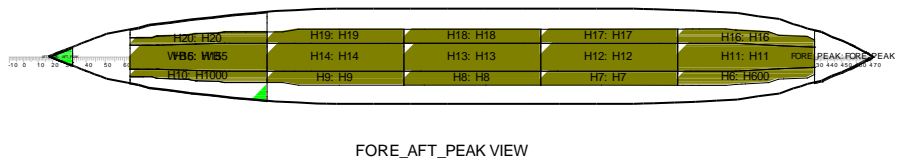
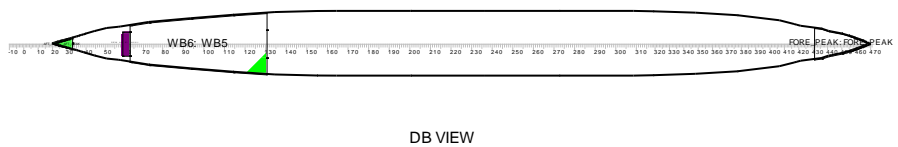
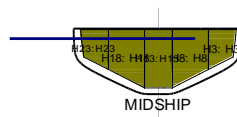
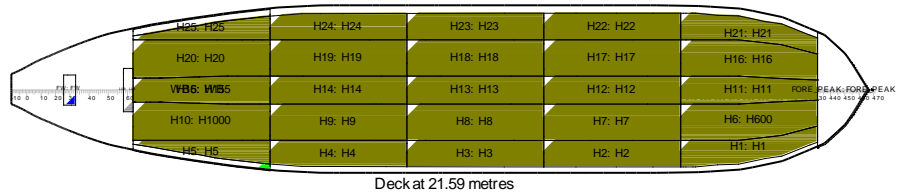
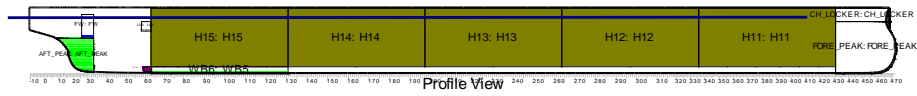
IMO A167 Intact Stability criteria

#	Criterion	Actual Value	Critical Value	Int.cr. KGf	Int.cr. GMf	
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	1.812	0.055	34.046	2.017	
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.739	0.030	25.378	10.685	
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	2.550	0.090	33.144	2.918	
4	Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	4.702	0.200	34.163	1.900	
5	Maximum GZ to be at an angle > 25 degrees	23.498	25.000	17.038	19.025	Fail
6	Initial GM to be at least 0.15 metres	18.252	0.150	35.914	0.149	
<b>Critical</b>				<b>17.038</b>	<b>19.025</b>	
<b>Actual</b>				<b>17.811</b>	<b>18.252</b>	

**Full Load Arrival**



## Intact State



## Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	LUB_OIL	0.9300
	SEWAGE	0.8980
	CARGO	0.8777

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
AFT_PEAK: AFT_PEAK	7-33	WB	100.0	1.025	792.1	16.45	0.00	10.81	0.0
WB6: WB5	63-131	WB	3.0	1.025	423.7	78.08	0.00	0.60	8192.3
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>1215.8</b>	<b>37.93</b>	<b>0.00</b>	<b>7.25</b>	<b>8192.3</b>
<i>FRESH WATER</i>									
FW: FW	26-33	FW	10.0	1.000	61.2	17.90	0.00	15.50	797.5
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>61.2</b>	<b>17.90</b>	<b>0.00</b>	<b>15.50</b>	<b>797.5</b>
<i>LUB OIL</i>									
LUB: LUB	58-63	LUB_OIL	9.8	0.930	26.0	42.38	0.00	18.20	1794.1
<b>Total LUB OIL</b>					<b>26.0</b>	<b>42.38</b>	<b>0.00</b>	<b>18.20</b>	<b>1794.1</b>
<i>CARGO</i>									
H1: H1	336-431	CARGO	98.0	0.878	6148.1	298.48	24.37	20.87	7507.4
H10: H1000	63-131	CARGO	98.0	0.878	14268.7	73.45	12.39	17.61	15390.5
H11: H11	336-431	CARGO	98.0	0.878	12770.7	300.02	0.00	15.01	5129.9
H12: H12	264-336	CARGO	98.0	0.878	13972.5	244.47	0.00	15.01	6509.0
H13: H13	197-264	CARGO	98.0	0.878	13972.5	187.31	0.00	15.01	6509.0
H14: H14	131-197	CARGO	98.0	0.878	13972.5	130.15	0.00	15.01	6509.0
H15: H15	63-131	CARGO	98.0	0.878	13147.9	73.92	0.00	15.01	5480.1
H16: H16	336-431	CARGO	98.0	0.878	14246.0	300.19	-12.02	16.97	13115.8
H17: H17	264-336	CARGO	98.0	0.878	15320.8	244.48	-12.86	16.86	14351.5
H18: H18	197-264	CARGO	98.0	0.878	15301.8	187.31	-12.85	16.87	14351.5
H19: H19	131-197	CARGO	98.0	0.878	15224.8	130.27	-12.84	16.92	14351.5
H2: H2	264-336	CARGO	98.0	0.878	7623.2	244.51	26.04	20.36	6516.6
H20: H20	63-131	CARGO	98.0	0.878	14268.7	73.45	-12.39	17.61	15390.5
H21: H21	336-431	CARGO	98.0	0.878	6148.1	298.48	-24.37	20.87	7507.4
H22: H22	264-336	CARGO	98.0	0.878	7623.2	244.51	-26.04	20.36	6516.6
H23: H23	197-264	CARGO	98.0	0.878	7557.1	187.36	-26.01	20.40	6516.9
H24: H24	131-197	CARGO	98.0	0.878	7347.9	130.63	-25.92	20.47	6335.7
H25: H25	63-131	CARGO	98.0	0.878	3686.1	80.26	-24.36	21.68	2540.9
H3: H3	197-264	CARGO	98.0	0.878	7557.1	187.36	26.01	20.40	6516.9

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
H4: H4	131-197	CARGO	98.0	0.878	7347.9	130.63	25.92	20.47	6335.7
H5: H5	63-131	CARGO	98.0	0.878	3686.1	80.26	24.36	21.68	2540.9
H6: H600	336-431	CARGO	98.0	0.878	14246.0	300.19	12.02	16.97	13115.8
H7: H7	264-336	CARGO	98.0	0.878	15320.8	244.48	12.86	16.86	14351.5
H8: H8	197-264	CARGO	98.0	0.878	15301.8	187.31	12.85	16.87	14351.5
H9: H9	131-197	CARGO	98.0	0.878	15224.8	130.27	12.84	16.92	14351.5
<b>Total CARGO</b>					<b>281285.1</b>	<b>189.26</b>	<b>0.00</b>	<b>17.38</b>	<b>232093.6</b>
<i>SEWAGE</i>									
SEWAGE: H201	59-63	SEWAGE	98.0	0.898	50.0	42.89	0.00	2.02	222.7
<b>Total SEWAGE</b>					<b>50.0</b>	<b>42.89</b>	<b>0.00</b>	<b>2.02</b>	<b>222.7</b>
<i>MGO FLA</i>									
MG0					77.0	50.00	0.00	20.00	0.0
<b>Total MGO FLA</b>					<b>77.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20.00</b>	<b>0.0</b>
<i>LNG_TANK_ARRIVAL</i>									
LNG_ARIVAL					340.0	50.00	0.00	35.00	0.0
<b>Total LNG_TANK_ARRIVAL</b>					<b>340.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>35.00</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>283054.9</b>	<b>188.33</b>	<b>0.00</b>	<b>17.36</b>	<b>243100.3</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>324654.9</b>	<b>185.23</b>	<b>0.00</b>	<b>16.88</b>	<b>243100.3</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>324657.2</b>	<b>185.24</b>	<b>0.00</b>	<b>12.96</b>	<b>7530031.9</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>324657.2</b>	<b>185.24</b>	<b>0.00</b>	<b>12.96</b>	<b>7530031.9</b>

## Intact State

### Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	21.431	metres
Draft aft at marks	21.316	metres
Draft fwd at marks	21.540	metres
Draft at AP	21.316	metres
Draft at FP	21.540	metres
Mean draft at midships	21.428	metres

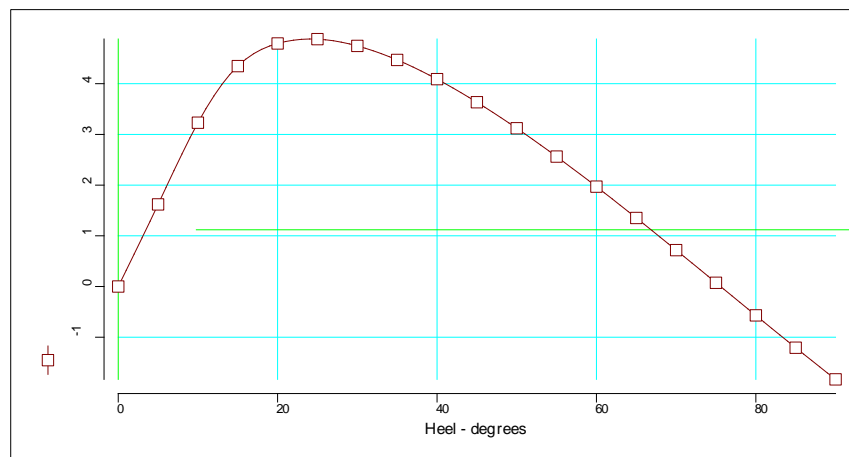
### Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0.224	Metres
KG	16.876	Metres
FSC	0.749	Metres
KGf	17.624	Metres
GMt	18.529	Metres
BMt	23.194	Metres
BMI	565.379	Metres
Waterplane area	21239.00	sq.metres
LCG	185.235	Metres
LCB	185.238	Metres
TCB	0.000	Metres
LCF	179.843	Metres
TCF	0.000	Metres
TPC	218.125	tonnes/cm
MTC	5229.473	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

### Propeller Immersion

Propeller tip immersion	16.217	metres
Required percentage immersion	100.000	%
Actual percentage immersion	331.671	%

### FLA: Intact State



### Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
0.00	0.0000	18.5293	0.224	21.428	6.09[0]
5.00	1.6173	18.5334	0.235	21.328	3.04[0]
10.00	3.2281	18.2328	0.269	21.021	0.00[0]
15.00	4.3357	8.1314	0.503	20.713	-3.19[0]
20.00	4.7779	2.7097	0.897	20.531	-6.64[0]
25.00	4.8604	-0.3988	1.340	20.363	-10.21[0]
30.00	4.7266	-2.3778	1.795	20.149	-13.82[0]
35.00	4.4498	-3.7541	2.242	19.861	-17.39[0]
40.00	4.0713	-4.7584	2.675	19.482	-20.90[0]
45.00	3.6170	-5.5226	3.091	19.001	-24.29[0]
50.00	3.1045	-6.1126	3.487	18.416	-27.54[0]
55.00	2.5474	-6.5660	3.858	17.725	-30.61[0]
60.00	1.9563	-6.9079	4.198	16.928	-33.48[0]
65.00	1.3403	-7.1493	4.503	16.030	-36.12[0]

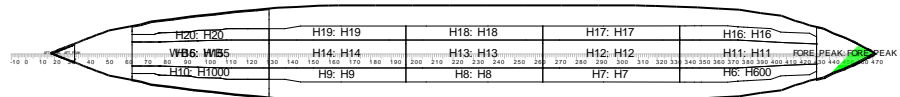
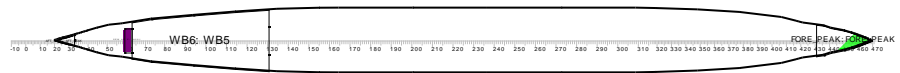
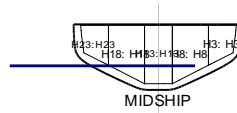
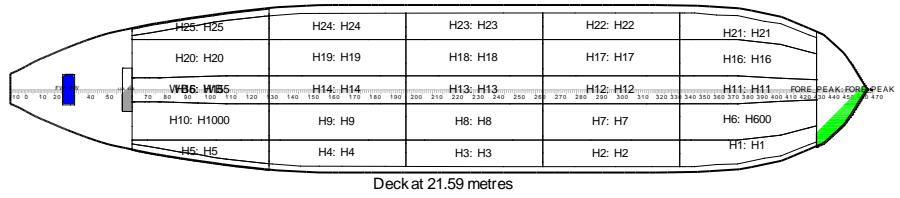
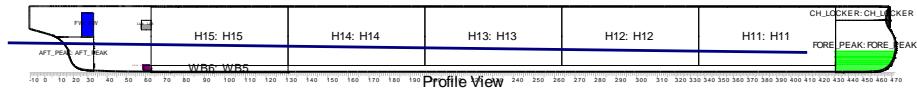
Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
70.00	0.7079	-7.2971	4.771	15.035	-38.51[0]
75.00	0.0669	-7.3562	4.995	13.949	-40.63[0]
80.00	-0.5752	-7.3305	5.174	12.781	-42.47[0]
85.00	-1.2111	-7.2192	5.306	11.539	-44.00[0]
90.00	-1.8333	-7.0218	5.390	10.231	-45.23[0]

IMO A167 Intact Stability criteria

#	Criterion	Actual Value	Critical Value	
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	1.862	0.055	
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	0.774	0.030	
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	2.636	0.090	
4	Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	4.864	0.200	
5	Maximum GZ to be at an angle > 25 degrees	24.043	25.000	F
6	Initial GM to be at least 0.15 metres	18.529	0.150	

## Water Ballast Departure

### Intact State



### Key

Key	Name	Density (t/m3)
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	LUB_OIL	0.9300
	SEWAGE	0.8980

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
FORE_PEAK: FORE_PEAK	431-473	WB	22.8	1.025	2001.6	338.70	0.00	5.70	14604.2
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>2001.6</b>	<b>338.70</b>	<b>0.00</b>	<b>5.70</b>	<b>14604.2</b>
<i>FRESH WATER</i>									
FW: FW	26-33	FW	98.0	1.000	600.2	17.90	0.00	19.90	797.5
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>600.2</b>	<b>17.90</b>	<b>0.00</b>	<b>19.90</b>	<b>797.5</b>
<i>LUB OIL</i>									
LUB: LUB	58-63	LUB_OIL	49.0	0.930	130.0	42.38	0.00	18.98	1794.1
<b>Total LUB OIL</b>					<b>130.0</b>	<b>42.38</b>	<b>0.00</b>	<b>18.98</b>	<b>1794.1</b>
<i>SEWAGE</i>									
SEWAGE: H201	59-63	SEWAGE	98.0	0.898	50.0	42.89	0.00	2.02	222.7
<b>Total SEWAGE</b>					<b>50.0</b>	<b>42.89</b>	<b>0.00</b>	<b>2.02</b>	<b>222.7</b>
<i>MGO WBD</i>									
MG0					381.5	50.00	0.00	20.00	0.0
<b>Total MGO WBD</b>					<b>381.5</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20.00</b>	<b>0.0</b>
<i>LNG_UNLOADED_DEPART</i>									
LNG					1700.0	50.00	0.00	35.00	0.0
<b>Total LNG_UNLOADED_DEPART</b>					<b>1700.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>35.00</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>4863.2</b>	<b>164.59</b>	<b>0.00</b>	<b>19.13</b>	<b>17418.5</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>46463.2</b>	<b>164.24</b>	<b>0.00</b>	<b>14.18</b>	<b>17418.5</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>46463.2</b>	<b>164.11</b>	<b>0.00</b>	<b>3.83</b>	<b>1298407.9</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>46463.2</b>	<b>164.11</b>	<b>0.00</b>	<b>3.83</b>	<b>1298407.9</b>



## Intact State

### Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	6.226	metres
Draft aft at marks	8.395	metres
Draft fwd at marks	4.123	metres
Draft at AP	8.395	metres
Draft at FP	4.123	metres
Mean draft at midships	6.259	metres

### Hydrostatics at equilibrium angle

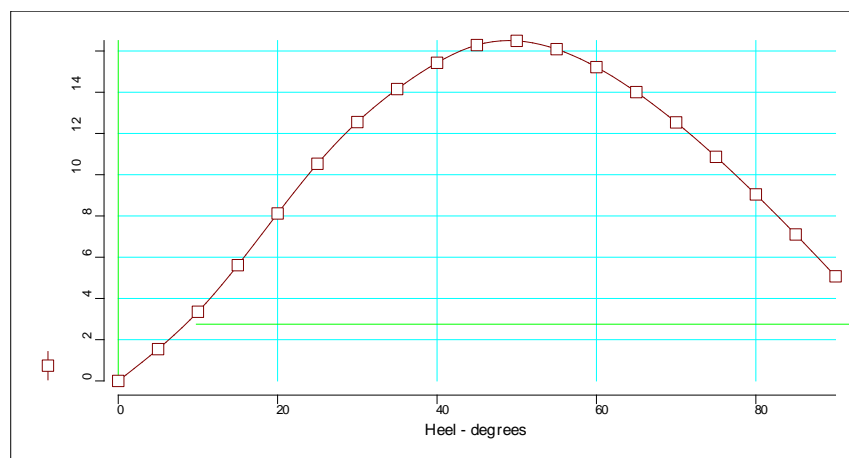
Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	4.272	metres
KG	14.179	Metres
FSC	0.375	Metres
KGf	14.554	Metres
GMt	17.223	Metres
BMt	27.945	Metres
BMI	1753.476	Metres
Waterplane area	11187.95	sq.metres
LCG	164.240	Metres
LCB	164.110	Metres
TCB	0.000	Metres
LCF	178.104	Metres
TCF	0.000	Metres
TPC	114.900	tonnes/cm
MTC	2321.144	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

### Propeller Immersion

Propeller tip immersion	3.277	metres
Required percentage immersion	100.000	%
Actual percentage immersion	146.810	%

### Intact State

#### WBD: Intact State



#### Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
0.00	0.0000	17.2231	-4.272	6.259	21.26[0]
5.00	1.5440	18.6980	-4.281	6.104	18.26[0]
10.00	3.3534	23.2670	-4.322	5.631	15.39[0]
15.00	5.6113	28.1337	-4.457	4.837	12.69[0]
20.00	8.1211	28.9698	-4.734	3.771	10.12[0]
25.00	10.5308	26.3088	-5.122	2.491	7.66[0]
30.00	12.5526	21.3930	-5.727	0.997	5.34[0]
35.00	14.1542	17.3531	-6.488	-0.704	3.17[0]
40.00	15.4264	13.9391	-7.318	-2.586	1.17[0]
45.00	16.2858	7.3074	-8.171	-4.627	-0.66[0]
50.00	16.4916	-0.3248	-9.080	-6.770	-2.35[0]
55.00	16.0876	-6.7920	-9.955	-8.962	-3.92[0]

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
60.00	15.2174	-11.5808	-10.727	-11.158	-5.38[0]
65.00	14.0049	-15.1313	-11.391	-13.326	-6.75[0]
70.00	12.5348	-17.8436	-11.945	-15.437	-8.03[0]
75.00	10.8667	-19.9410	-12.382	-17.467	-9.20[0]
80.00	9.0445	-21.5605	-12.703	-19.394	-10.28[0]
85.00	7.1038	-22.7773	-12.909	-21.200	-11.25[0]
90.00	5.0747	-23.6510	-13.001	-22.868	-12.11[0]

## Intact State

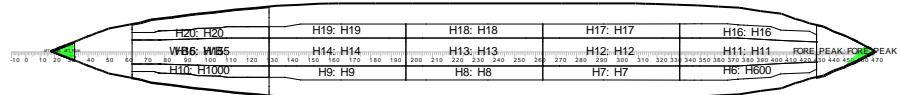
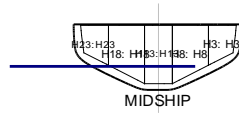
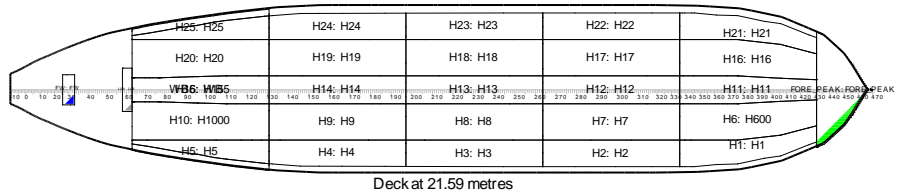
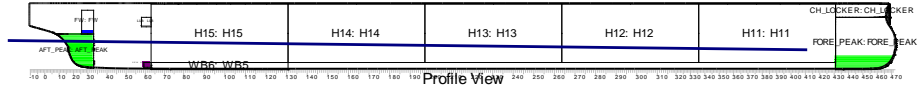
### IMO A167 Intact Stability criteria

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	3.090	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	2.460	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	5.550	0.090
4	Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	16.492	0.200
5	Maximum GZ to be at an angle > 25 degrees	49.170	25.000
6	Initial GM to be at least 0.15 metres	17.223	0.150

**Condition complies with the regulations**

## Water Ballast Arrival

### Intact State



### Key

Key	Name	Density (t/m <sup>3</sup> )
	WB	1.0250
	FW	1.0000
	LUB_OIL	0.9300
	SEWAGE	0.8980

Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>WATER BALLAST</i>									
AFT_PEAK: AFT_PEAK	7-33	WB	100.0	1.025	792.1	16.45	0.00	10.81	0.0
FORE_PEAK: FORE_PEAK	431-473	WB	10.0	1.025	879.8	338.58	0.00	3.63	5704.3
<b>Total WATER BALLAST</b>					<b>1671.9</b>	<b>185.97</b>	<b>0.00</b>	<b>7.03</b>	<b>5704.3</b>
<i>FRESH WATER</i>									
FW: FW	26-33	FW	10.0	1.000	61.2	17.90	0.00	15.50	797.5
<b>Total FRESH WATER</b>					<b>61.2</b>	<b>17.90</b>	<b>0.00</b>	<b>15.50</b>	<b>797.5</b>
<i>LUB OIL</i>									
LUB: LUB	58-63	LUB_OIL	5.0	0.930	13.3	42.38	0.00	18.10	1794.1
<b>Total LUB OIL</b>					<b>13.3</b>	<b>42.38</b>	<b>0.00</b>	<b>18.10</b>	<b>1794.1</b>
<i>SEWAGE</i>									
SEWAGE: H201	59-63	SEWAGE	98.0	0.898	50.0	42.89	0.00	2.02	222.7
<b>Total SEWAGE</b>					<b>50.0</b>	<b>42.89</b>	<b>0.00</b>	<b>2.02</b>	<b>222.7</b>
<i>MGO WBA</i>									
MGO					38.1	50.00	0.00	20.00	0.0
<b>Total MGO WBA</b>					<b>38.1</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20.00</b>	<b>0.0</b>
<i>LNG_ARRIVAL_UNLOADED</i>									
LNGG					170.0	50.00	0.00	35.00	0.0
<b>Total LNG_ARRIVAL_UNLOADED</b>					<b>170.0</b>	<b>50.00</b>	<b>0.00</b>	<b>35.00</b>	<b>0.0</b>
<b>Lightweight</b>					<b>41600.0</b>	<b>164.20</b>	<b>0.00</b>	<b>13.60</b>	<b>0.0</b>
<b>Deadweight</b>					<b>2004.5</b>	<b>162.20</b>	<b>0.00</b>	<b>9.86</b>	<b>8518.7</b>
<b>Total Displacement</b>					<b>43604.5</b>	<b>164.11</b>	<b>0.00</b>	<b>13.43</b>	<b>8518.7</b>
<b>Buoyancy</b>					<b>43604.8</b>	<b>163.99</b>	<b>0.00</b>	<b>3.67</b>	<b>1202667.1</b>
<b>Total Buoyancy</b>					<b>43604.8</b>	<b>163.99</b>	<b>0.00</b>	<b>3.67</b>	<b>1202667.1</b>

Intact State

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	5.976	metres
Draft aft at marks	8.066	metres
Draft fwd at marks	3.946	metres
Draft at AP	8.066	metres
Draft at FP	3.946	metres
Mean draft at midships	6.006	metres

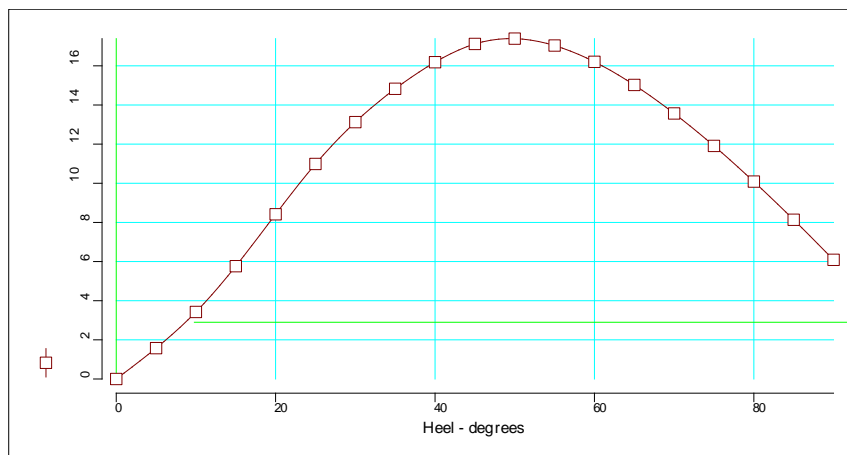
#### Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0270	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	4.120	Metres
KG	13.428	Metres
FSC	0.195	Metres
KGf	13.623	Metres
GMt	17.632	Metres
BMt	27.581	Metres
BMI	1820.493	Metres
Waterplane area	10904.51	sq.metres
LCG	164.109	Metres
LCB	163.992	Metres
TCB	0.000	Metres
LCF	178.007	Metres
TCF	0.000	Metres
TPC	111.989	tonnes/cm
MTC	2261.600	tonnes-m/cm
Shell thickness	0.000	mm

#### Propeller Immersion

Propeller tip immersion	2.948	metres
Required percentage immersion	100.000	%
Actual percentage immersion	142.115	%

### Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)
0.00	0.0000	17.6319	-4.120	6.005	21.51[0]
5.00	1.5782	19.0920	-4.129	5.854	18.51[0]
10.00	3.4274	23.8478	-4.171	5.391	15.63[0]
15.00	5.7654	29.4518	-4.301	4.605	12.92[0]
20.00	8.4191	30.8412	-4.580	3.541	10.35[0]
25.00	10.9853	27.9280	-4.989	2.257	7.89[0]
30.00	13.1249	22.7592	-5.636	0.751	5.58[0]
35.00	14.8287	18.5546	-6.430	-0.959	3.43[0]
40.00	16.1850	14.7544	-7.289	-2.850	1.43[0]
45.00	17.1172	8.1747	-8.144	-4.910	-0.38[0]
50.00	17.3896	0.2997	-9.043	-7.081	-2.04[0]
55.00	17.0370	-6.2665	-9.902	-9.307	-3.57[0]
60.00	16.2068	-11.2037	-10.662	-11.536	-5.01[0]
65.00	15.0217	-14.8928	-11.313	-13.735	-6.35[0]
70.00	13.5691	-17.6919	-11.855	-15.873	-7.59[0]
75.00	11.9095	-19.9003	-12.287	-17.927	-8.74[0]
80.00	10.0867	-21.6159	-12.604	-19.875	-9.80[0]
85.00	8.1368	-22.9324	-12.807	-21.698	-10.75[0]
90.00	6.0899	-23.9018	-12.896	-23.379	-11.60[0]

Intact State

IMO A167 Intact Stability criteria

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to 30 degrees > 0.055	3.203	0.055
2	Area under GZ curve from 30 to 40 deg. or downflood > 0.03	2.578	0.030
3	Area under GZ curve up to 40 deg. or downflood > 0.09	5.780	0.090
4	Maximum GZ to be at least 0.20 metre at 30 degrees or above	17.387	0.200
5	Maximum GZ to be at an angle > 25 degrees	50.117	25.000
6	Initial GM to be at least 0.15 metres	17.632	0.150

**Condition complies with the regulations**

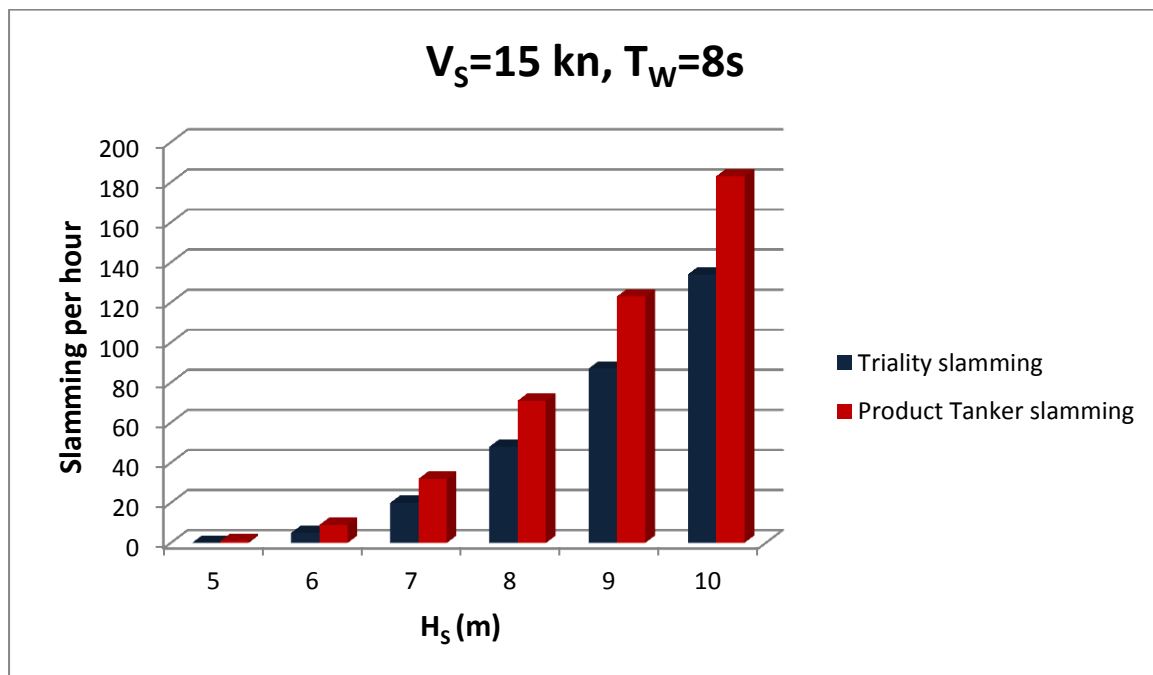
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

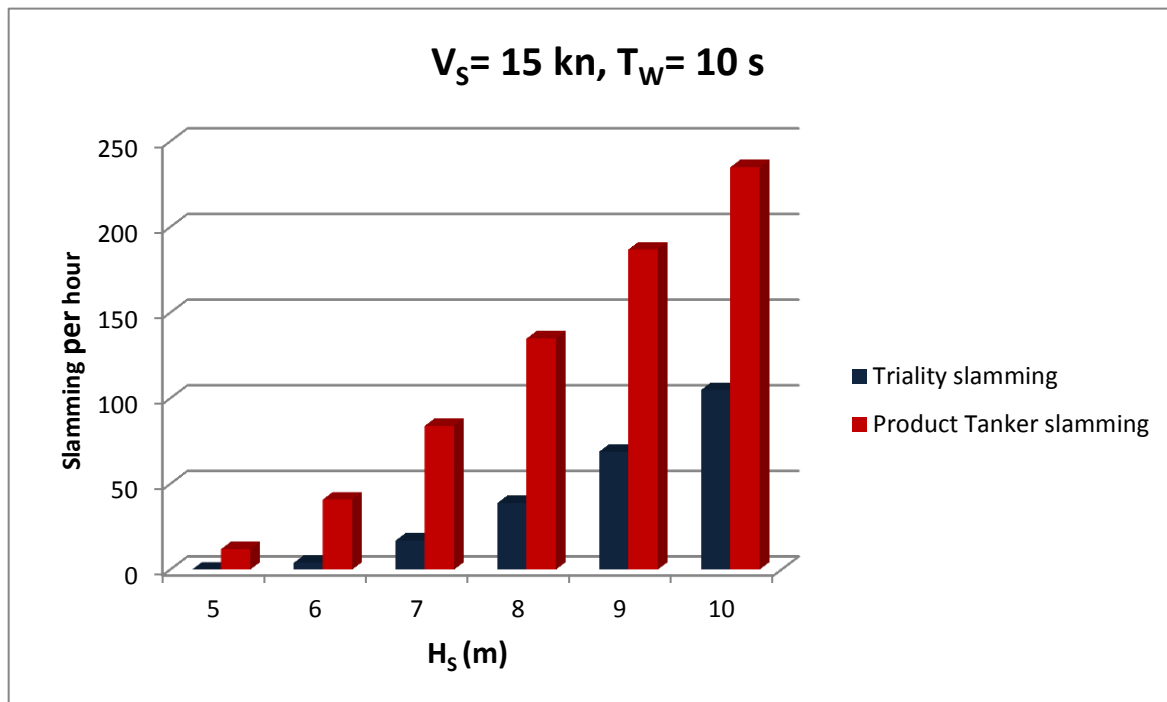
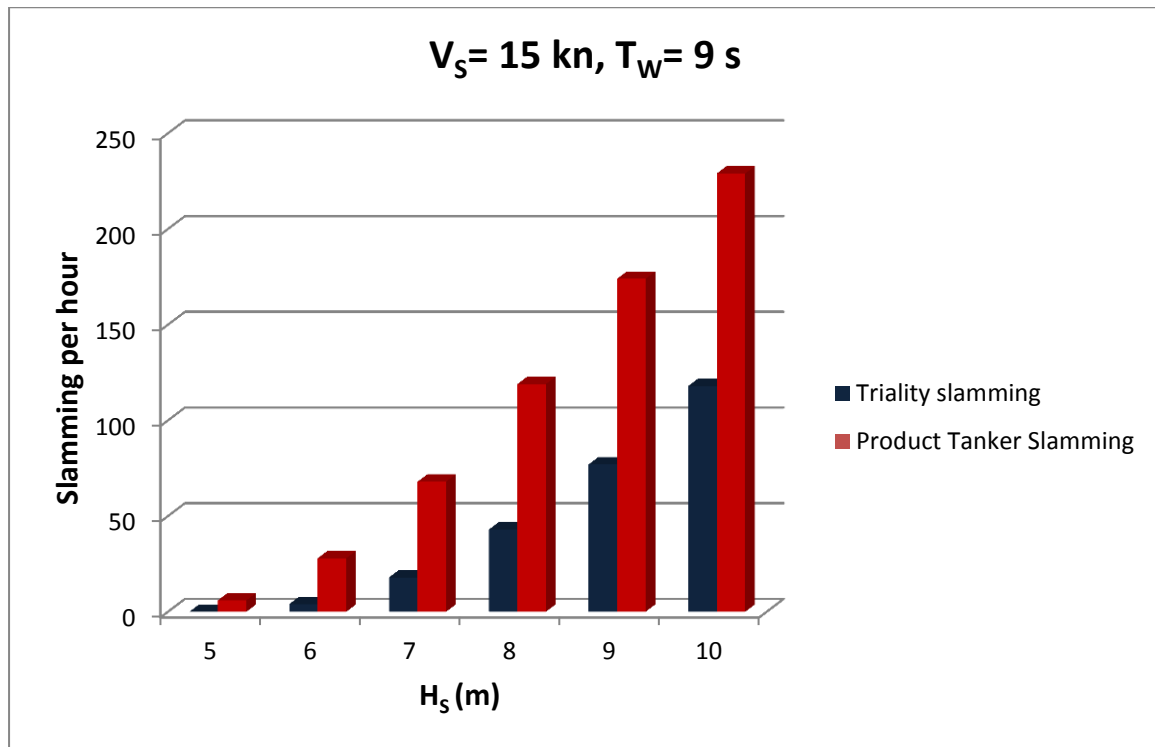


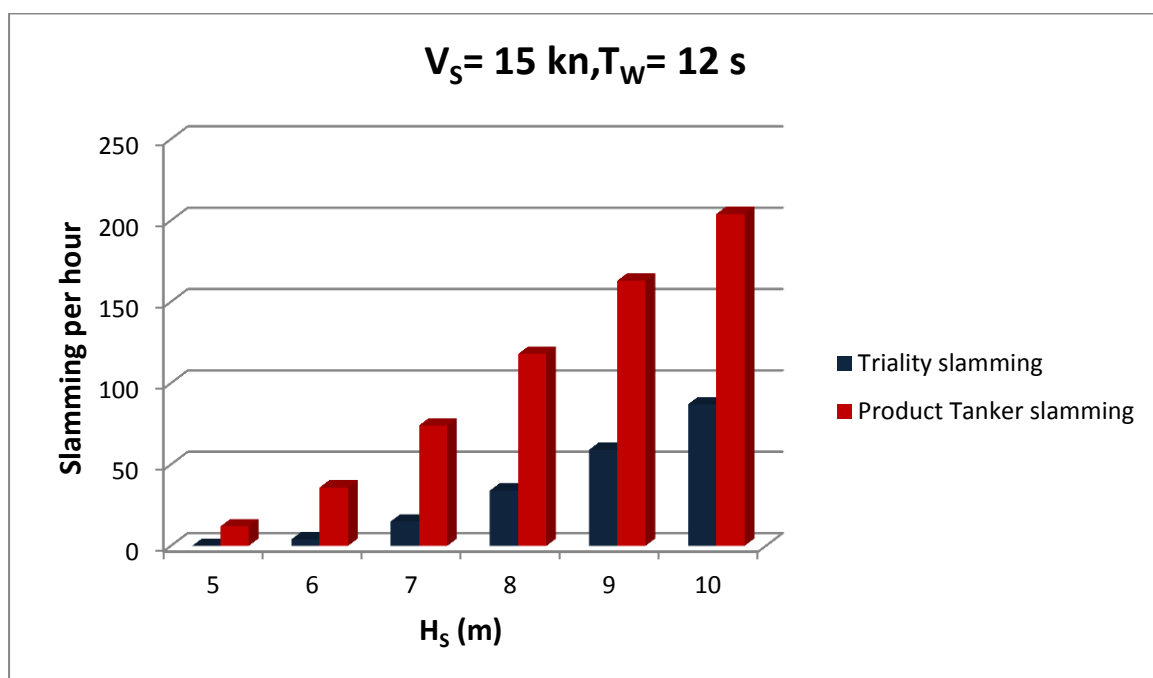
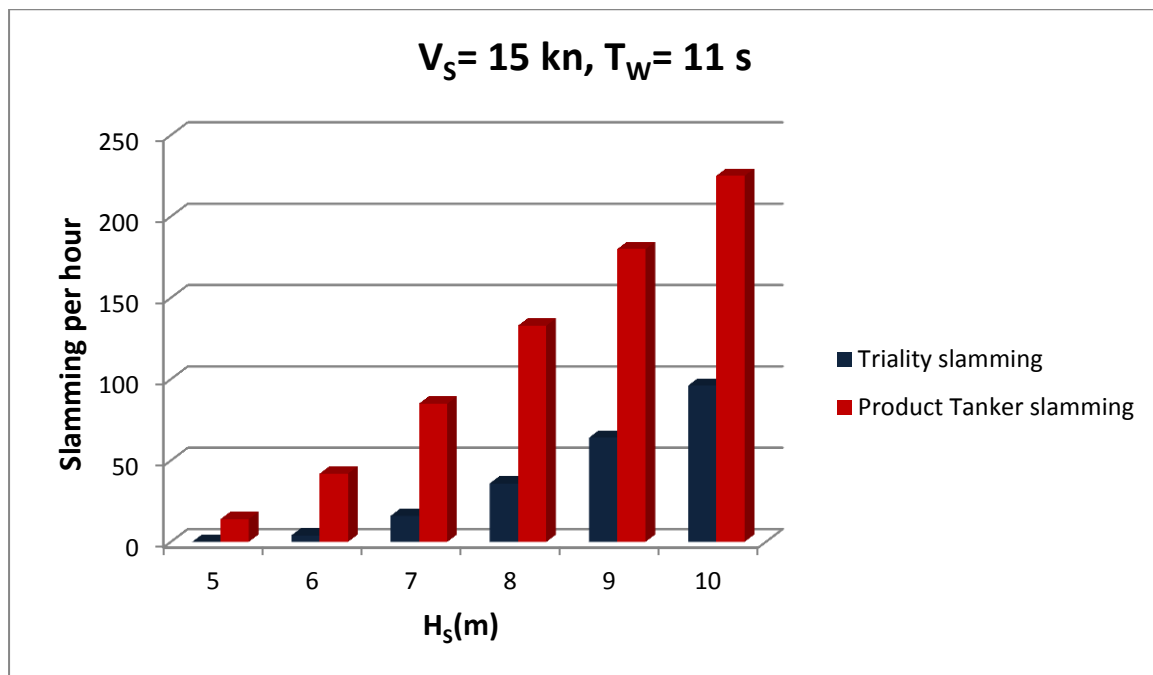
Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται όλα τα πιο σημαντικά γραφήματα της σφυρόκρουσης του πυθμένα της πλώρης στο νομέα 10, στην κατάσταση ερματισμού, τόσο για το TRIALITY VLCC όσο και για το συμβατικό Product Tanker για κατεύθυνση κυματισμών 180 μοίρες.

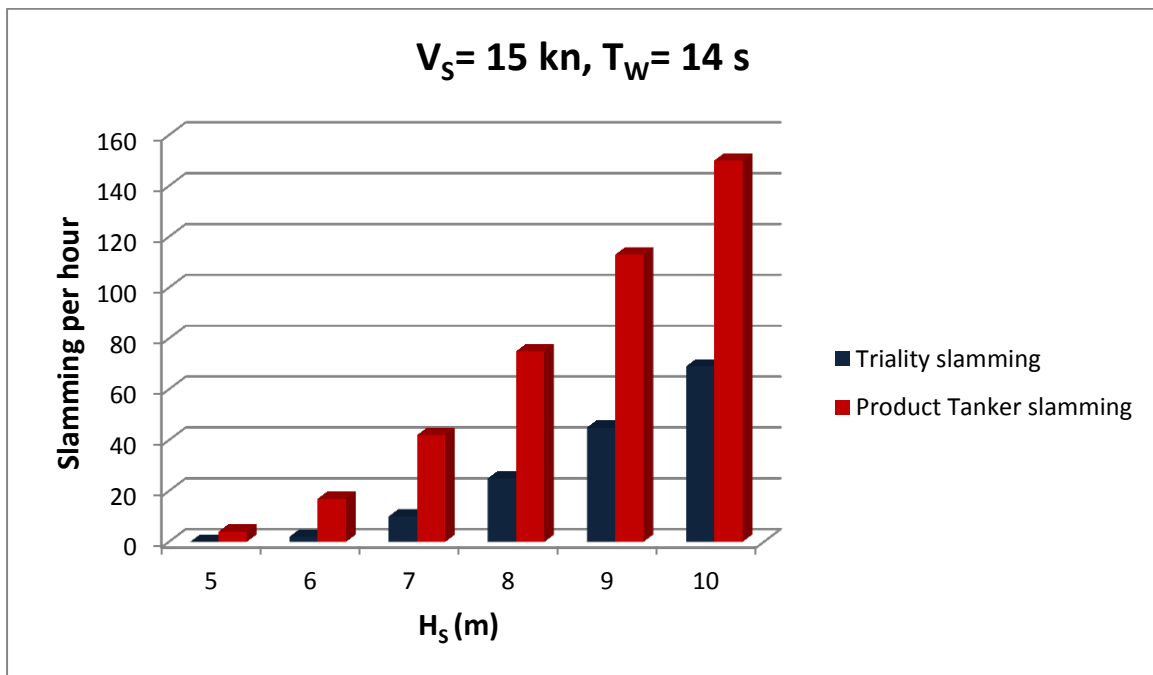
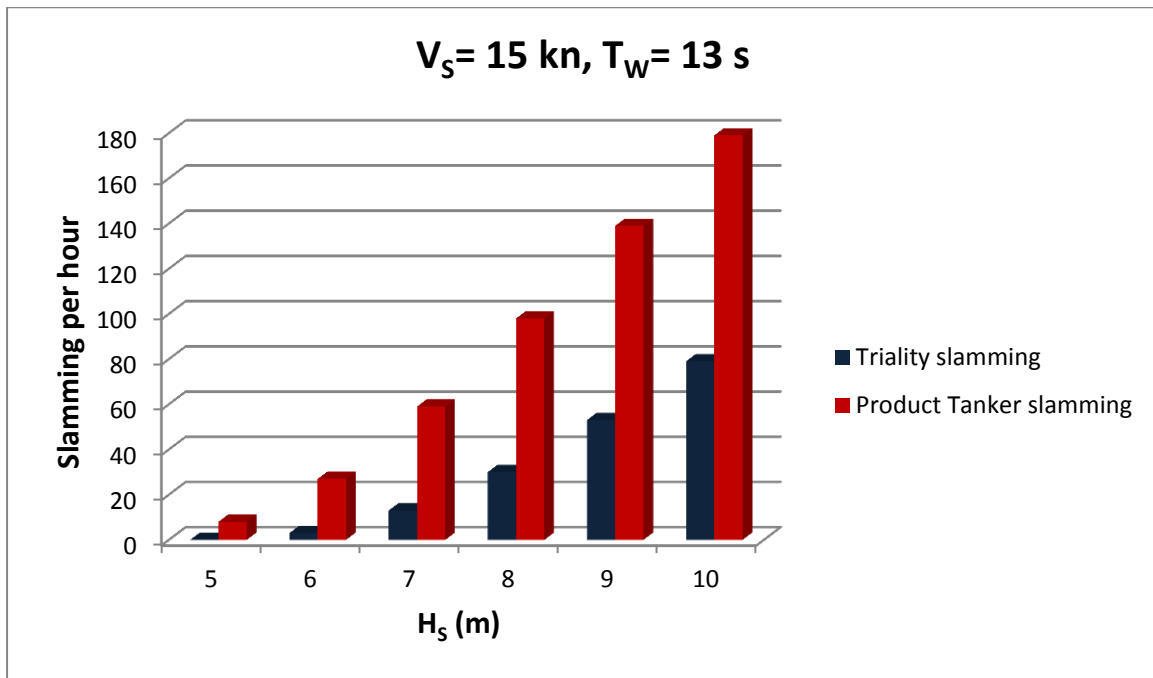
Τα γραφήματα που αφορούν την συχνότητα κυματισμών των 3 και 4 δευτερολέπτων δεν παρουσιάζονται, καθώς τέτοιες συχνότητες δεν συναντώνται συχνά για τα πλοία και το πρόγραμμα δεν έχει εξάγει ρεαλιστικά αποτελέσματα. Έχουμε λοιπόν:

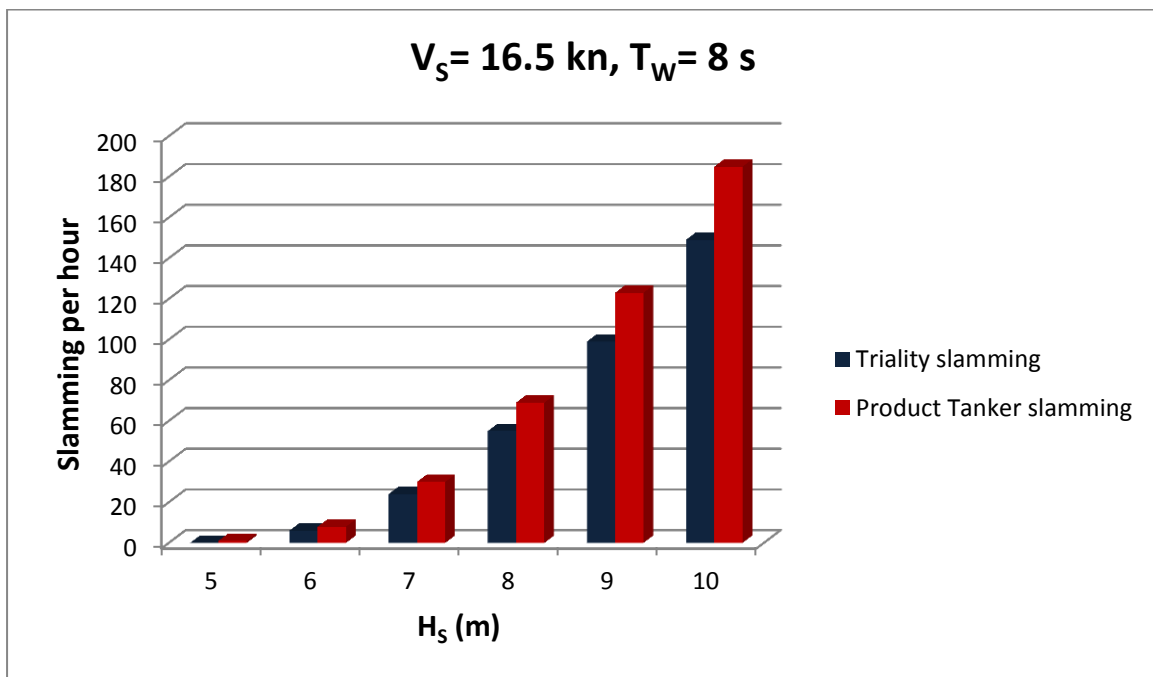
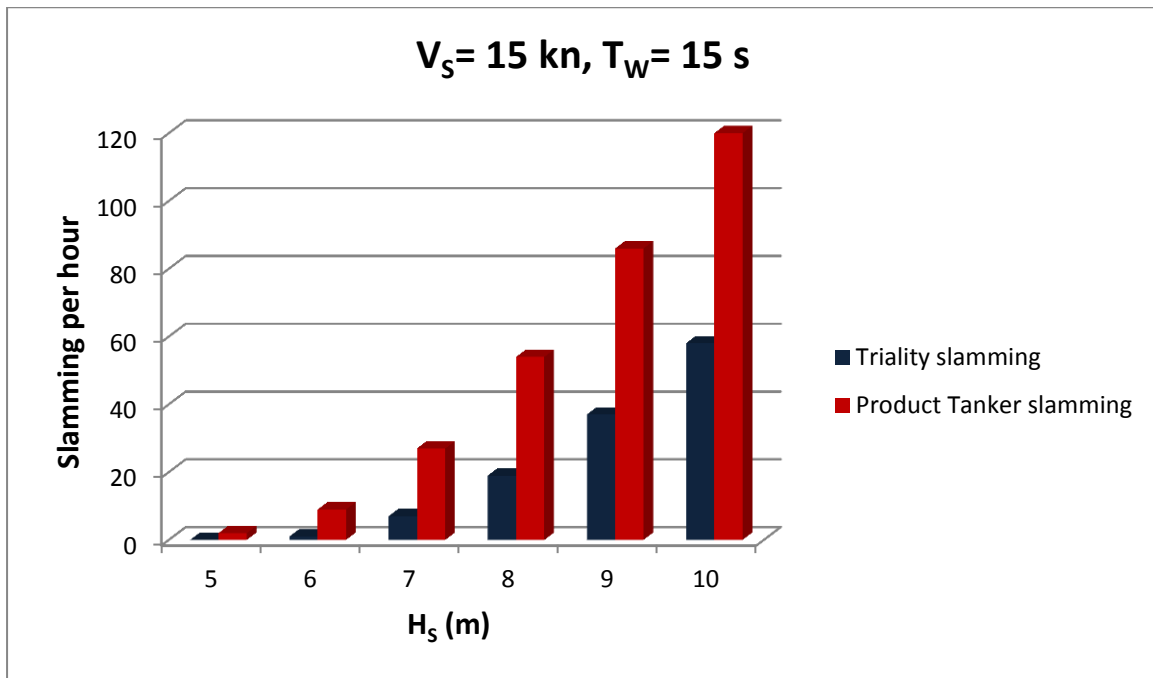
Οι καταστάσεις στις οποίες υπερτερεί το TRIALITY έναντι του Product Tanker όσον αφορά την σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης φαίνονται παρακάτω:

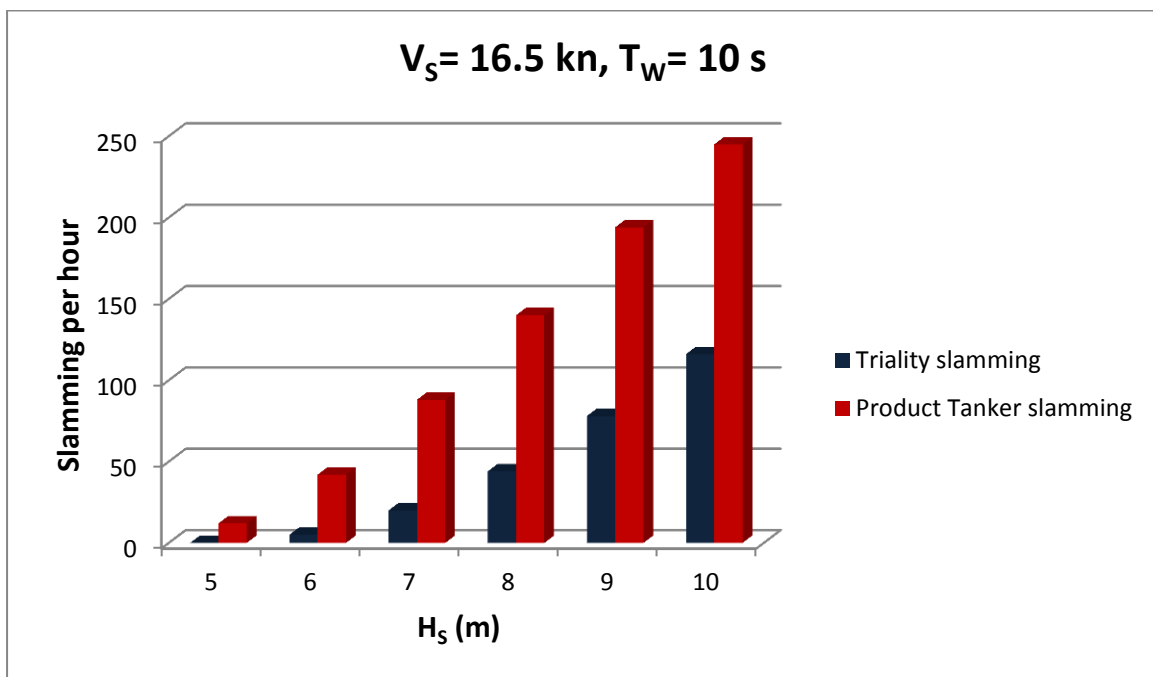
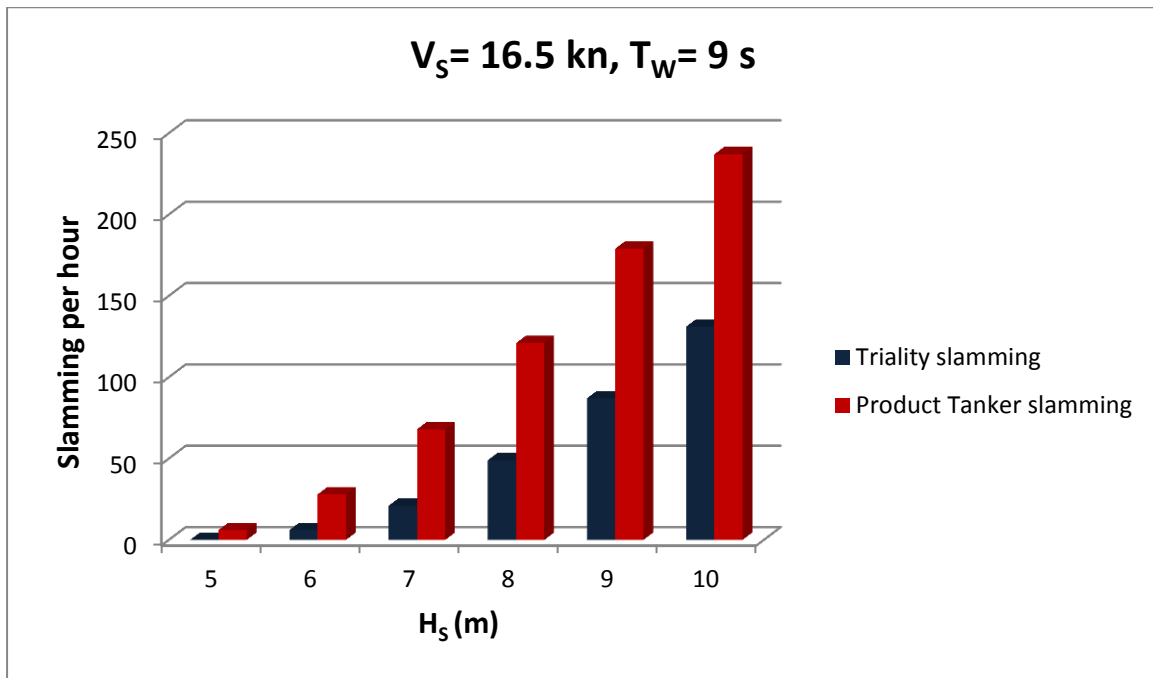


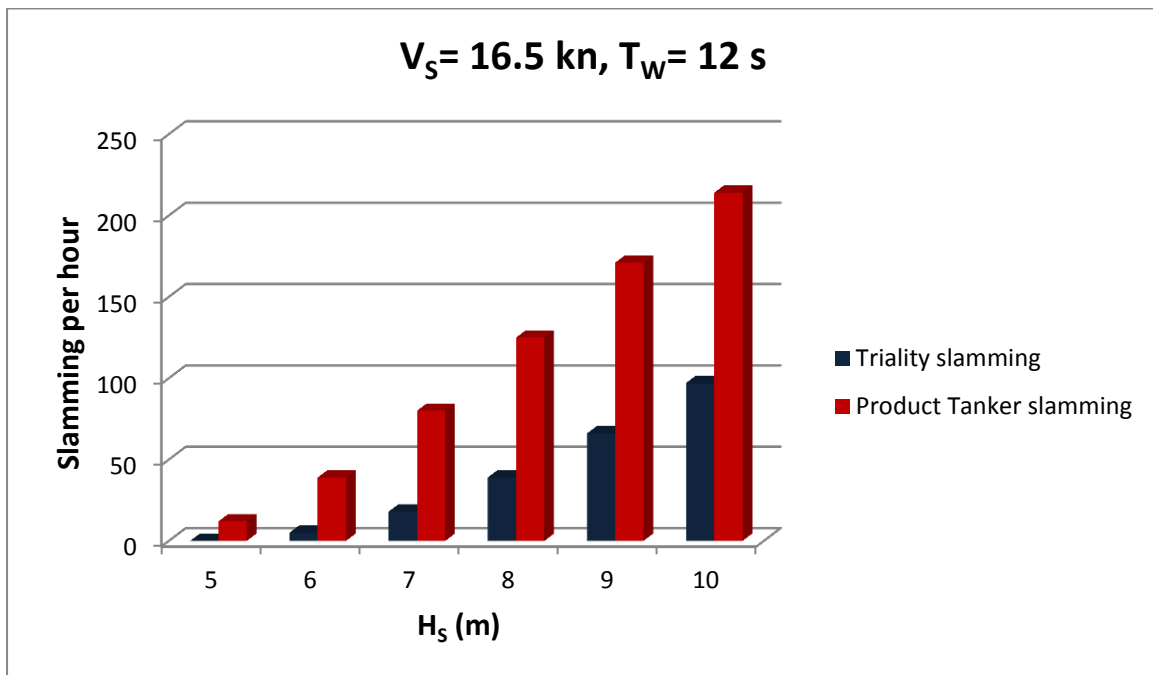
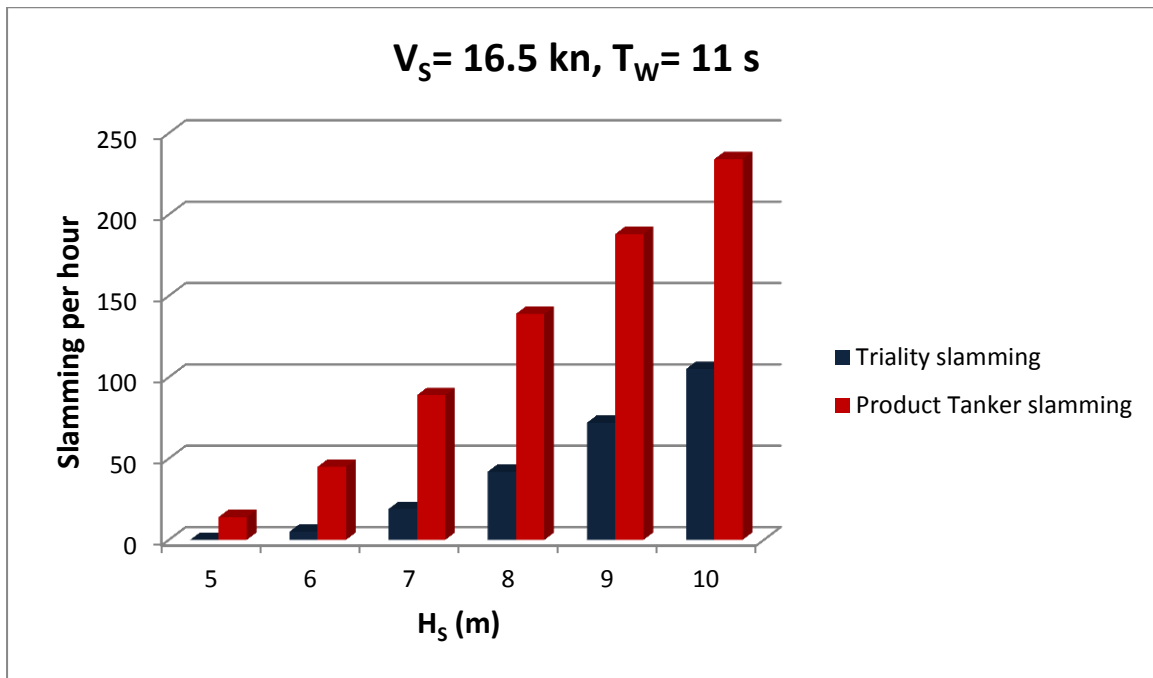


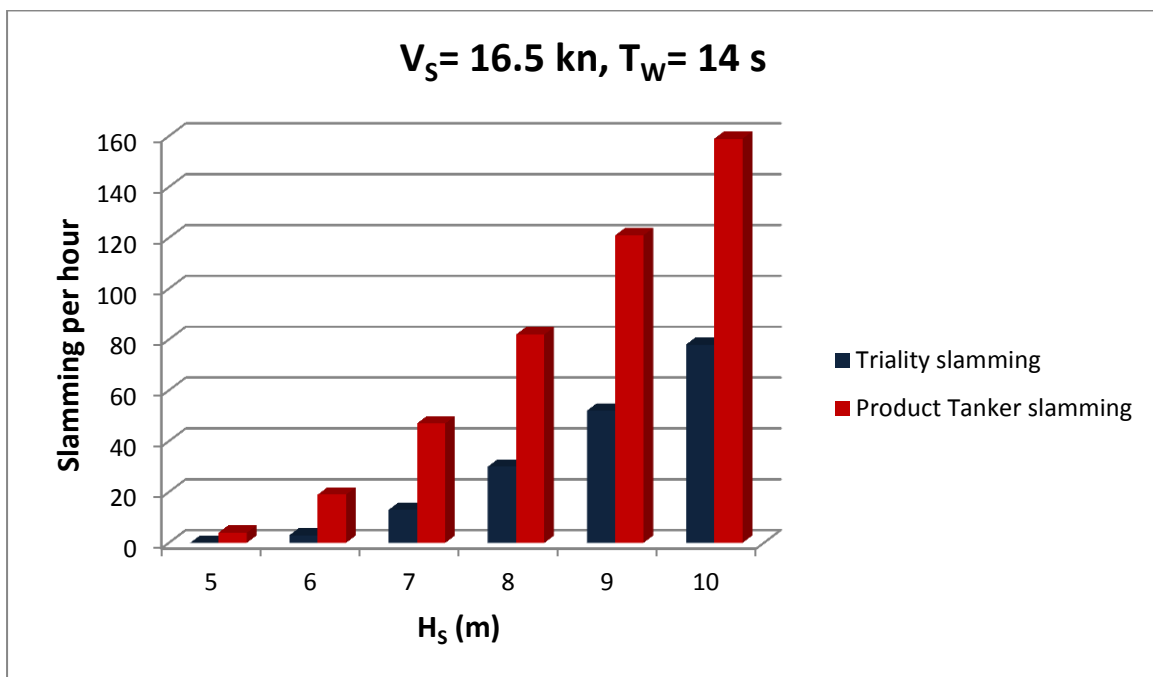
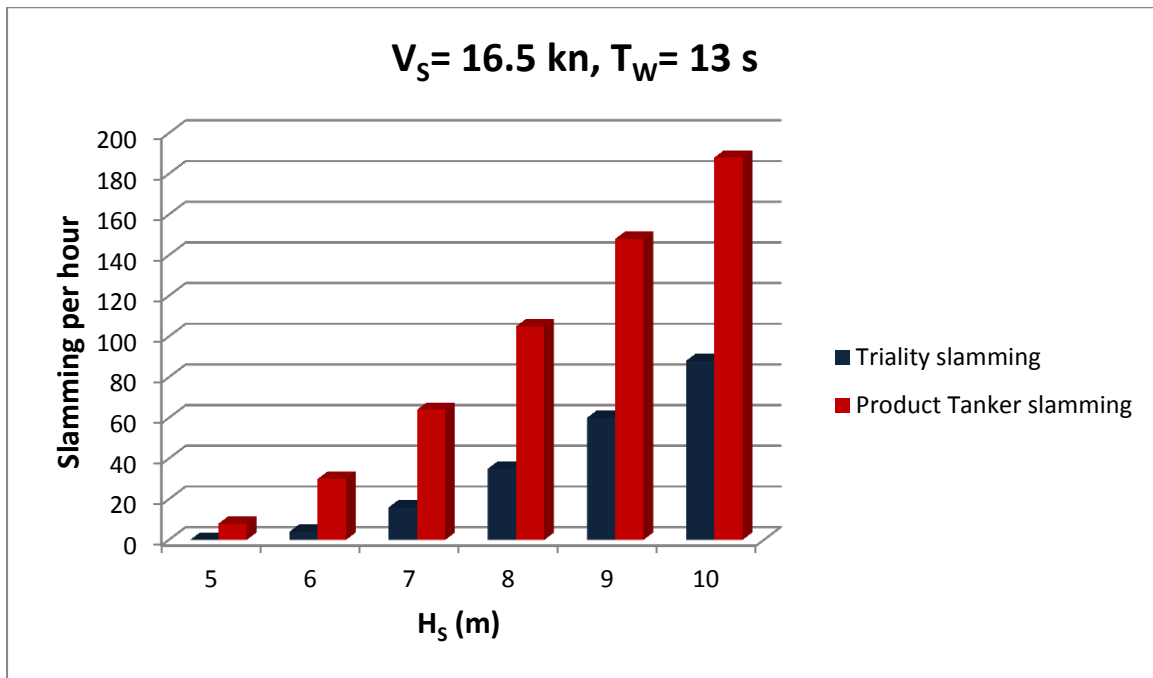




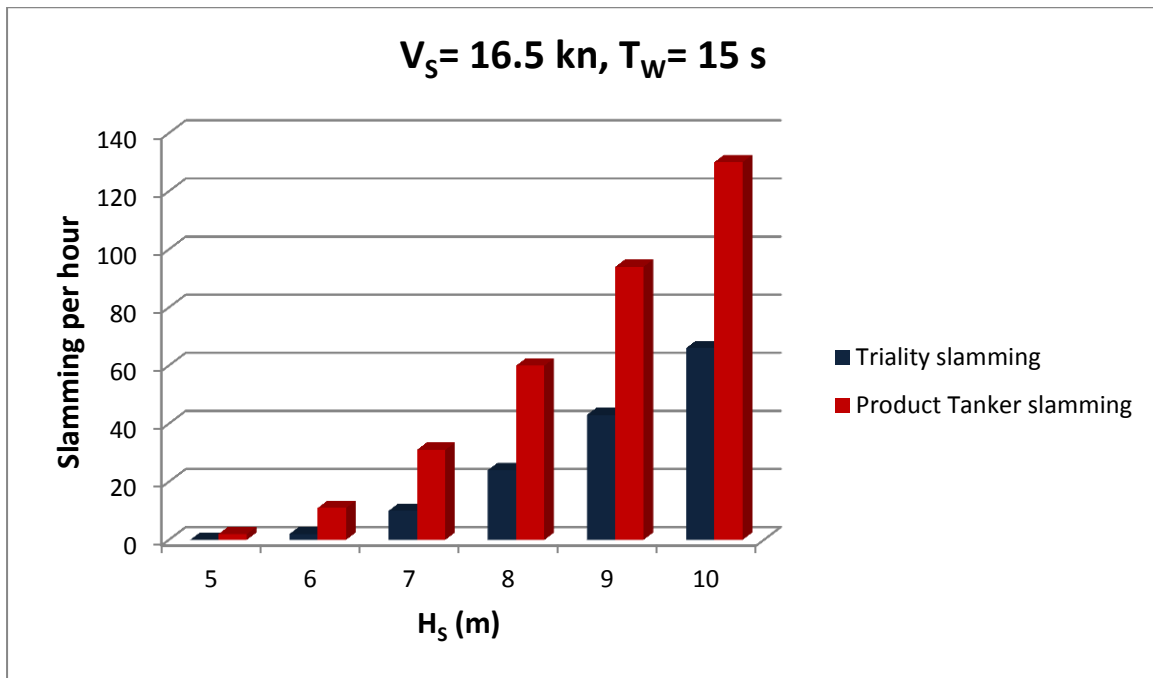




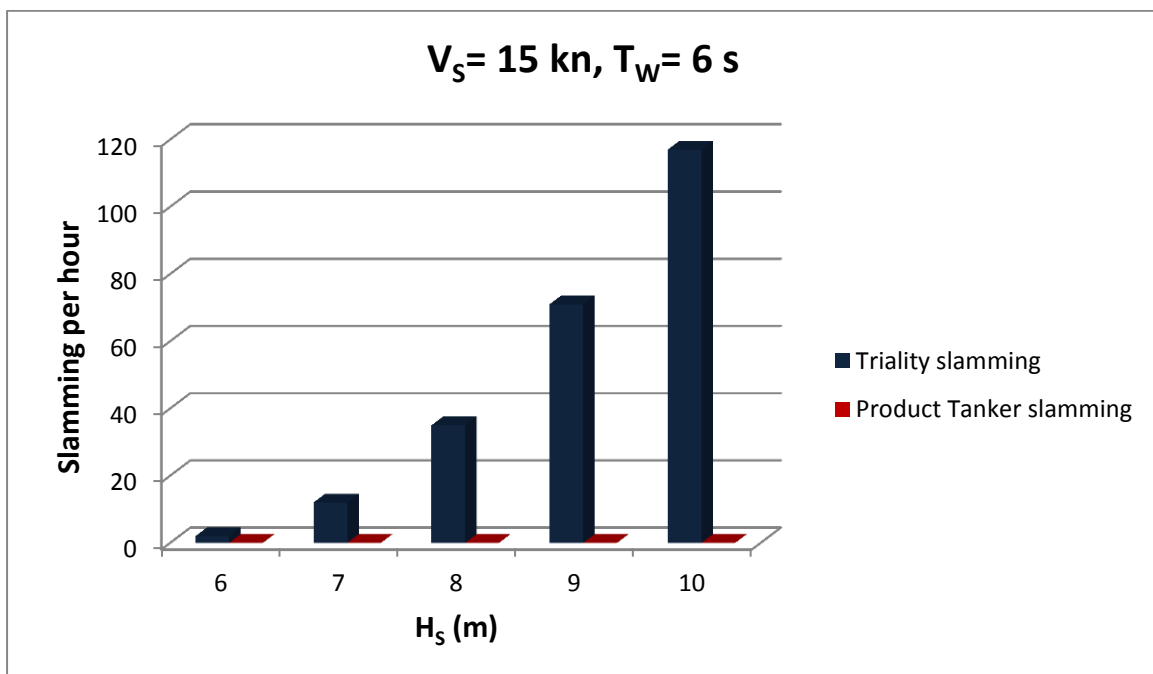
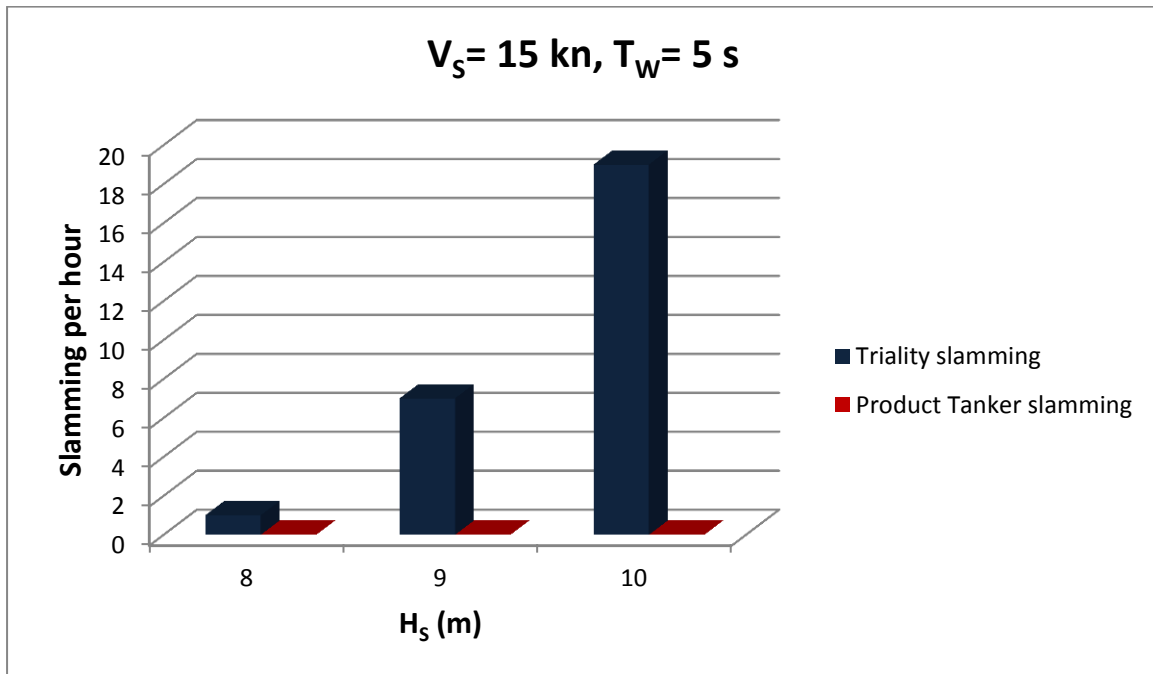


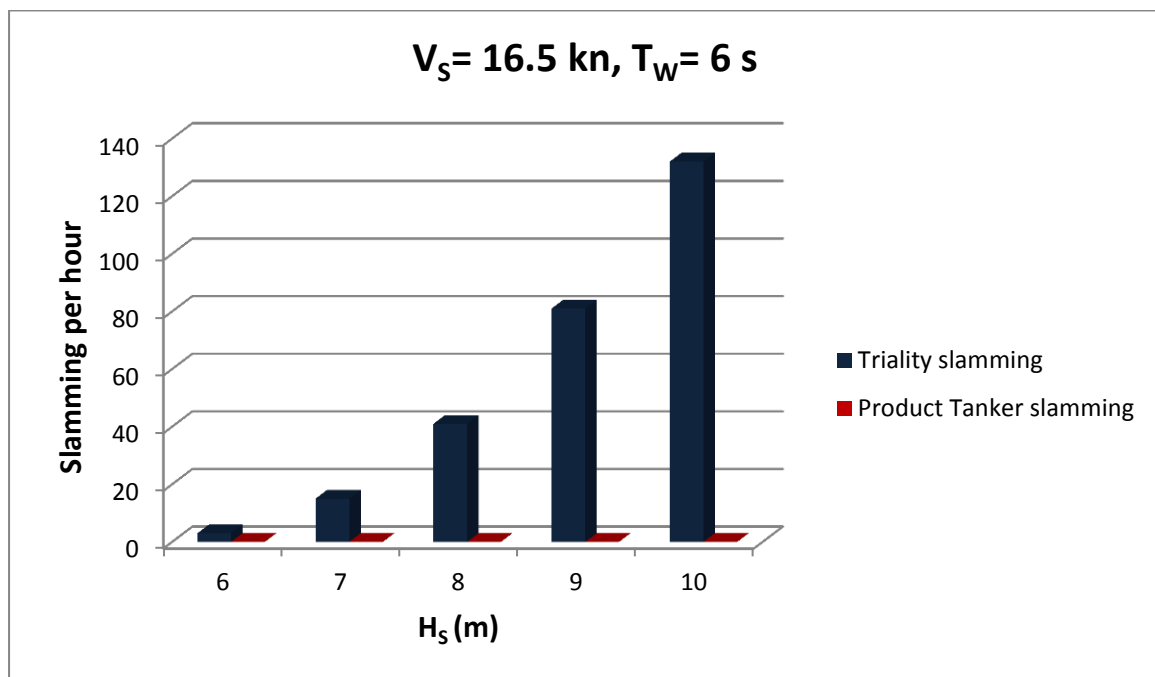
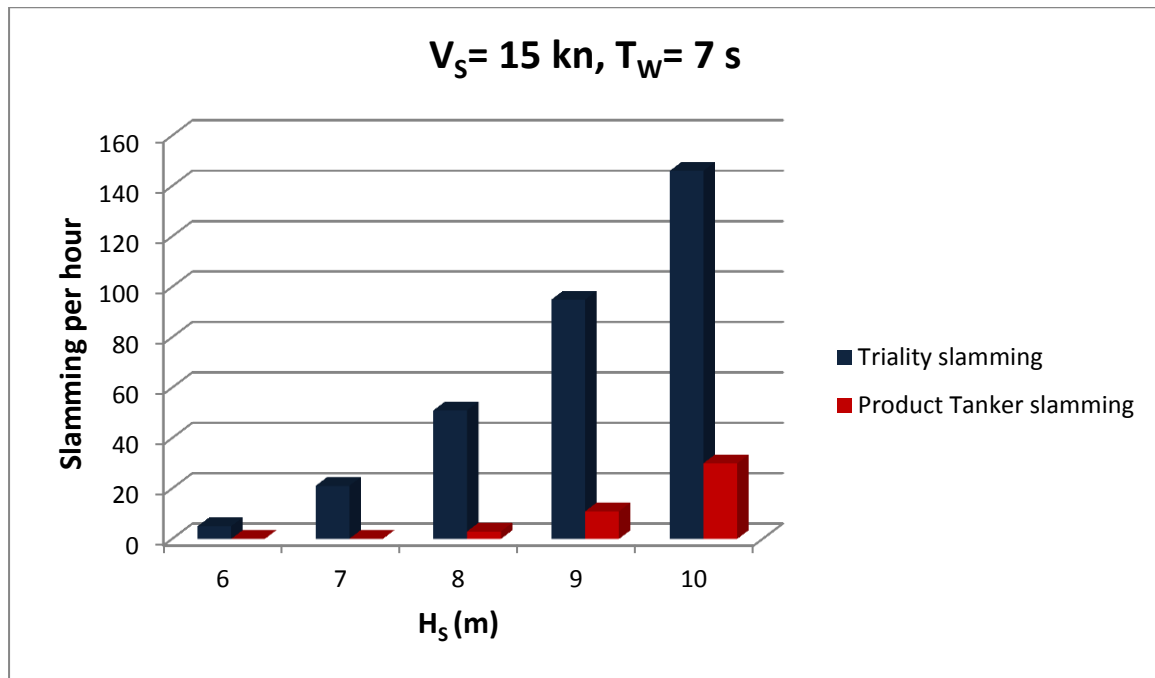


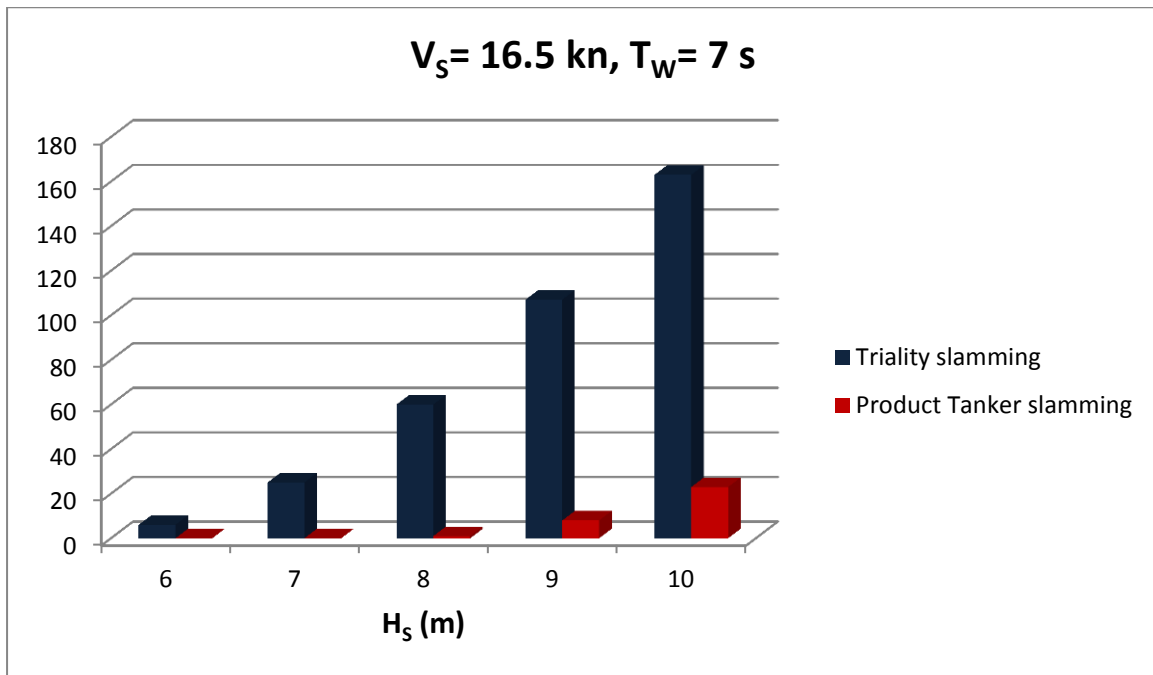




Οι καταστάσεις στις οποίες το TRIALITY υστερεί σε σχέση με το Product Tanker όσον αφορά την σφυρόκρουση του πυθμένα της πλώρης είναι:







## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΜΕΘΟΔΟΣ HOLTROP-MENNEN

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ TRIALITY ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΙΣΙΜΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ HOLTROP-MENNEN

Στην μέθοδο αυτή η συνολική αντίσταση ενός πλοίου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mathbf{R}_{\text{total}} = \mathbf{R}_F(1+k_1) + \mathbf{R}_{\text{APP}} + \mathbf{R}_W + \mathbf{R}_B + \mathbf{R}_{\text{TR}} + \mathbf{R}_A$$

όπου:

$\mathbf{R}_F$ : η αντίσταση τριβής σύμφωνα με τον τύπο της ITTC 1957

$1+k_1$ : παράγοντας μορφής που περιγράφει την αντίσταση συνεκτικότητας ή συνεκτική αντίσταση της μορφής της γάστρας σε σχέση με την αντίσταση τριβής

$\mathbf{R}_{\text{APP}}$ : η αντίσταση παρελκομένων ή προσαρτημάτων (πηδάλιο, παρατροπίδια, άξονες, στηρίγματα αξόνων)

$\mathbf{R}_W$ : η αντίσταση δημιουργίας κυματισμού και αντίσταση θραύσεως κύματος,

$\mathbf{R}_B$ : η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού,

$\mathbf{R}_{\text{TR}}$ : η πρόσθετη αντίσταση πίεσης του βυθισμένου transom στην πρύμνη

$\mathbf{R}_A$ : η αντίσταση συσχετισμού μοντέλου-πλοίου

Ισχύει:

$$1+k_1=c_{13}[0.93+c_{12}(B/L_R)^{0.92497}(0.95-C_P)^{-0.521448}(1-C_P+0.0225LCB)^{0.6906}].$$

Στον παραπάνω τύπο το  $C_P$  είναι ο πρισματικός συντελεστής βασισμένος στο μήκος ισάλου πλευσης και  $LCB$  η διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης πλώραθεν του  $0.5L$  ως ποσοστό του  $L$ . Εδώ το  $L_R$  αντικατοπτρίζει το μήκος του run σύμφωνα με:

$$L_R/L = 1 - C_P + 0.06C_PLCB/(4C_P - 1).$$

Επίσης ισχύουν οι τύποι όπου **T** είναι το **moulded draught**:

$$c_{12} = (T/L)^{0.2228446}, \text{ για } T/L > 0.05$$

$$c_{12} = 48.20(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948, \text{ για } 0.02 < T/L < 0.05$$

$$c_{12} = 0.479948, \text{ για } T/L < 0.02.$$

Ο συντελεστής  $c_{13}$  έχει να κάνει με την ειδική μορφή του πρυμναίου τμήματος και σχετίζεται με τον συντελεστή  $C_{stern}$  ως εξής:

$$c_{13} = 1 + 0.003C_{stern}, \text{ όπου για νομείς V-shaped } C_{stern} = -10, \text{ για κανονικό σχήμα νομέων } C_{stern} = 0 \text{ και για νομείς U-shaped με Hogner stern } C_{stern} = +10$$

Η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας μπορεί να προσεγγιστεί καλά με τον παρακάτω τύπο:

$$S = L(2T+B)C_M^{1/2}(0.453 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467B/T + 0.3696C_{WP}) + 2.38A_{BT}/C_B$$

Στον παραπάνω τύπο  $C_M$  είναι ο συντελεστής μέσης τομής,  $C_B$  ο συντελεστής γάστρας βασισμένος στο μήκος ισάλου πλεύσης,  $C_{WP}$  ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας και  $A_{BT}$  είναι η επιφάνεια νομέα του βολβού στο σημείο όπου η επιφάνεια νερού διασταυρώνεται με την πλώρη.

Η αντίσταση παρελκομένων μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$R_{APP} = 0.5\rho V^2 S_{APP}(1+k_2)_{eq} C_F, \text{ όπου } \rho \text{ είναι η πυκνότητα του νερού, } V \text{ η ταχύτητα του πλοίου, } S_{APP} \text{ η βρεχόμενη επιφάνεια των παρελκομένων, } 1+k_2 \text{ ο παράγοντας της αντίστασης παρελκομένων και } C_F \text{ ο συντελεστής της αντίστασης τριβής του πλοίου σύμφωνα με τον τύπο της ITTC 1957.}$$

Ισχύει ακόμα για έναν συνδυασμό παρελκομένων:

$$(1+k_2)_{eq} = \Sigma(1+k_2)S_{APP} / \Sigma S_{APP}.$$

Επειδή δεν έχουμε στοιχεία αναλυτικά για τα παρελκόμενα υπολογίζουμε προσεγγιστικά από το βιβλίο Αντίστασης και Πρόωσης της Σχολής ότι η αντίσταση παρελκομένων (bilge keels, rudders, shafts and bossing) για μεγάλο πλοίο με 2 έλικες είναι 11% (8-14%) της αντίστασης γυμνής

γάστρας/ρυμούλκησης και 3.5% για μονέλικα (2-5%). Για την δική μας περίπτωση έχουμε  $R_{APP} = 0.035 R_T$

Η αντίσταση κυματισμού καθορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_W = c_1 c_2 c_5 V \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}, \text{ όπου}$$

$F_n$ : ο αριθμός Froude βασισμένος στο μήκος ισάλου πλεύσης,

$V$ : ο βυθισμένος όγκος του πλοίου,

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565},$$

$$c_7 = 0.229577 (B/L)^{0.3333}, \text{ για } B/L < 0.11,$$

$$c_7 = B/L, \text{ για } 0.11 < B/L < 0.25,$$

$$c_7 = 0.5 - 0.0625L/B, \text{ για } B/L > 0.25,$$

$$c_2 = \exp(-1.89 c_3^{0.5}),$$

$$c_5 = 1 - 0.8A_T / (BT C_M).$$

Στις παραπάνω εκφράσεις το  $c_2$  αναφέρεται/εξηγεί την μείωση της αντίστασης κυματισμού εξαιτίας της κίνησης της βολβοειδούς πλώρης. Ομοίως το  $c_5$  εκφράζει την επιρροή της transom stern στην αντίσταση κυματισμού. Στον παραπάνω τύπο το  $A_T$  αναπαριστά την επιφάνεια του νομέα του transom σε μηδενική ταχύτητα.

Ακόμα ισχύουν οι παρακάτω τύποι:

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03L/B, \text{ για } L/B < 12,$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36, \text{ για } L/B > 12,$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 V^{1/3}/L - 4.79323 B/L - c_{16},$$

$$c_{16} = 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.984388 C_p^3, \text{ για } C_p < 0.80$$

$$c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_p, \text{ για } C_p > 0.80$$

$$m_2 = c_{15} C_p^2 \exp(-0.1 F_n^{-2}), \text{ όπου } c_{15} = 1.69385 \text{ για } L^3/V < 512, c_{15} = 0 \text{ για } L^3/V > 1727 \text{ και } c_{15} = -1.69385 + (L/V^{1/3} - 8)/2.36 \text{ για } 512 < L^3/V < 1727$$

$$d = -0.9$$

Η μισή γωνία εισόδου  $i_E$  είναι η γωνία της ισάλου στην πλώρη σε μοίρες σε σχέση με την centre plane αλλά αφηφώντας το τοπικό σχήμα της πλώρης.

$$i_E = 1 + 89 \exp\left\{-(L/B)^{0.80856} (1-C_{WP})^{0.30484} (1-C_P - 0.0225LCB)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} (100V/L^3)^{0.16302}\right\}.$$

Ο συντελεστής που καθορίζει την επιρροή της βολβοειδούς πλώρης στην αντίσταση κυματισμού είναι:  $c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{BT(0.31 A_{BT}^{0.5} + T_F - h_B)\}$ , όπου  $h_B$  είναι η το κέντρο της θέσης της εγκάρσιας επιφάνειας  $A_{BT}$  πάνω από την τρόπιδα και  $T_F$  είναι το προωαίο βύθισμα του πλοίου (στην προωαία κάθετο).

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού,  $R_B$  δίνεται από τον τύπο:

$R_B = 0.11 \exp\{-3P_B^{-2} F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)\}$ , όπου ο συντελεστής  $P_B$  είναι ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης και  $F_{ni}$  ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση:

$$P_B = 0.56 A_{BT}^{0.5} (T_F - 1.5h_B)$$

$$F_{ni} = V / [g(T_F - h_B - 0.25 A_{BT}^{0.5}) + 0.15V^2]^{0.5}, \quad V \text{ η ταχύτητα του πλοίου.}$$

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης εξαιτίας του βυθισμένου transom είναι:

$$R_{TR} = 0.5\rho V^2 A_T c_6, \text{ όπου } c_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{nT}) \quad \text{για } F_{nT} < 5 \text{ ή}$$

$$c_6 = 0 \quad \text{για } F_{nT} \geq 5,$$

$$F_{nT} = V / [2gA_T / (B + BC_{WP})]^{0.5}$$

$$\text{Τέλος ισχύει: } R_A = 0.5\rho V^2 S C_A,$$

Όπου:

$$C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003(L/7.5)^{0.5} C_B^4 c_2(0.04 - c_4), \text{ με}$$

$$c_4 = T_F/L \text{ για } T_F/L \leq 0.04 \quad \text{ή} \quad c_4 = 0.04 \text{ για } T_F/L > 0.04 \quad .$$

Επίσης ο συντελεστής  $C_A$  μπορεί να αυξηθεί για να υπολογιστεί το αποτέλεσμα/συνέπεια μιας τραχύτερης γάστρας από ότι το standard. Έτσι η ITTC 1978 μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την οποία η αύξηση του  $C_A$  μπορεί να εξάγεται για τραχύτητα υψηλότερη από την κανονική με  $k_s = 150\mu\text{m}$ . Σε αυτή την περίπτωση έχουμε:



$C_A = (0.105k_s^{1/3} - 0.005579)/L^{1/3}$ , με  $k_s, L$  σε μέτρα.

Το συμβατικό δεξαμενόπλοιο με το οποίο θα γίνει η σύγκριση με το TRIALITY έχει τα εξής χαρακτηριστικά στην κατάσταση Full Load Departure:

$$L_{BP} = 324 \text{ m}$$

$$B = 60 \text{ m}$$

$$D = 37.305 \text{ m}$$

$$T_d = 20.5 \text{ m}$$

$$t = -0.3 \text{ m}$$

$$C_B = 0.8225$$

$$C_M = 0.9978$$

$$C_P = 0.8243$$

$$C_W = 0.8817$$

$$LCB = 171.847 \text{ m}$$

$$V_s = 15 \text{ kn}$$

$$WSA = 28831.459 \text{ m}^2$$

$$A_M = 1227.294 \text{ m}^2,$$

$$L_{WL} = 331.05 \text{ m},$$

$$\nabla = 327816.938 \text{ m}^3$$

$$C_{Bd} = 0.8051, \text{ βασισμένος στο μήκος ισάλου}$$

$$C_{Pd} = 0.8068, \text{ βασισμένος στο μήκος ισάλου}$$

Επομένως έχουμε:

$R_F = 0.5\rho V^2 S C_F$ , με  $C_F = \frac{0,075}{(\log(Re)-2)^2}$ , με  $Re = V_s[m/s]*L/v$ , όπου  $v=1.18831*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $\rho=104.6127\text{kps}^2/\text{m}^4$  για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15 βαθμών κελσίου και L το μήκος ισάλου.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω μεθόδων γίνονται για ένα εύρος ταχυτήτων

-3 έως +2 kn, γύρω από την απαιτούμενη από τον πλοιοκτήτη, ταχύτητα υπηρεσίας  $V_s = 15 \text{ kn}$ .

Επομένως για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων, προκύπτουν:

**Πίνακας 1:** Αντίσταση τριβής του συμβατικού VLCC

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$Re \cdot 10^{-9}$	1.720	1.863	2.006	2.150	2.293	2.365	2.436
$10^3 C_F$	1.4333	1.419	1.406	1.395	1.384	1.379	1.375
$R_F$ [kp]	82335.4	95707.9	110022.2	125270.9	141447	149880.8	158544.1

$1+k_1 = c_{13}[0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497}(0.95 - C_{Pd})^{-0.521448}(1 - C_{Pd} + 0.0225LCB)^{0.6906}]$ ,  
με

$c_{12} = (T/L)^{0.2228446} = 0.538$  (επειδή  $T/L > 0.05$ ),

$c_{13} = 1 + 0.003C_{stern} = 1$ , όπου  $C_{stern} = 0$  για κανονικό σχήμα νομέων πρύμα,

$L_R/L = 1 - C_{Pd} + 0.06C_{Pd}LCB/(4C_{Pd} - 1) = 1 - 0.8068 + 0.06*0.8068*1.91/(4*0.8068 - 1) = 0.2347$  ή  $L_R = 77.702 \text{ m}$  με  $LCB = 1.91\%L$  πρώραθεν του 0.5L

$C_{Pd} = 0.8068$  ο πρισματικός συντελεστής βασισμένος στο μήκος ισάλου.

$B = 60\text{m}$ , το πλάτος του πλοίου.

Άρα:  $1+k_1 = 1.3607$

Για την αντίσταση κυματισμού υπολογίζουμε:

$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}$ , με

$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$ ,  $d = -0.9$

$c_7 = B/L = 0.1812$ , επειδή  $0.11 < B/L < 0.25$ ,

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{ BT(0.31 A_{BT}^{0.5} + T_F - h_B) \}, h_B = 10.1 \text{ m και } A_{BT} = 194.186 \text{ m}^2$$

$$c_2 = \exp(-1.89 c_3^{0.5}),$$

$$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (BT C_M), \text{ με } A_T = 15.338 \text{ m}^2$$

$$i_E = 1 + 89 \exp\{ -(L/B)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} (1 - C_P - 0.0225 LCB)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302} \} = 45.764 \text{ μοίρες}$$

$$\text{Άρα : } c_1 = 5.903, c_7 = 0.181, c_3 = 0.085, c_2 = 0.577, c_5 = 0.990$$

$$\lambda = 1.446 C_P - 0.03 L/B = 1.0011, c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_P = 1.160,$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16} = -2.167,$$

$$m_2 = c_{15} C_P^2 \exp(-0.1 F_n^{-2}), \text{ όπου } c_{15} = -1.69385$$

Επομένως για τους αριθμούς Froude για εύρος ταχυτήτων 12,13,14,15,16,16.5,17 kn έχουμε:

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>n</sub></b>	0.108	0.117	0.126	0.135	0.144	0.149	0.153
<b>m<sub>2</sub></b>	-0.00022	-0.00077	-0.00211	-0.00472	-0.00913	-0.01216	-0.01579
<b>R<sub>w</sub>[kN]</b>	1.231	3.750	9.781	22.730	47.810	66.290	91.500

**Πίνακας 2:** Αντίσταση κυματισμού του συμβατικού VLCC

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού,  $R_B$  δίνεται από τον τύπο:

$R_B = 0.11 \exp(-3 P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$ , όπου ο συντελεστής  $P_B$  είναι ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης και  $F_{ni}$  ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση:

$$P_B = 0.56 A_{BT}^{0.5} / (T_F - 1.5 h_B) = 1.4586, \text{ με } h_B = 10 \text{ m και } A_{BT} = 194.186 \text{ m}^2$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
---------------------------	----	----	----	----	----	------	----

<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>ni</sub></b>	0.727	0.782	0.836	0.889	0.941	0.966	0.991
<b>R<sub>B</sub>[kN]</b>	198.788	234.808	272.159	310.435	349.276	368.809	388.370

**Πίνακας 3:** Πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης του συμβατικού VLCC

$$F_{ni} = V/[g(T_F - h_B - 0.25 A_{BT}^{0.5}) + 0.15V^2]^{0.5} \quad V \text{ η ταχύτητα του πλοίου}$$

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης εξαιτίας του βυθισμένου transom είναι 0 επειδή στο βύθισμα μας το transom είναι πάνω από την επιφάνεια νερού.

$$R_{TR} = 0.5\rho V^2 A_T c_6, \text{ όπου } c_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{nT}) \quad \text{για } F_{nT} < 5 \text{ ή}$$

$$c_6 = 0 \quad \text{για } F_{nT} \geq 5, \text{ με } A_T \approx 70 \text{ m}^2$$

$$F_{nT} = V/[2gA_T/(B + BC_{WP})]^{0.5}$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>nT</sub></b>	3.769	4.084	4.398	4.712	5.026	5.183	5.340
<b>c<sub>6</sub></b>	0.049	0.037	0.024	0.0115	0.000	0.000	0.000
<b>R<sub>TR</sub>[kN]</b>	14.758	12.899	9.832	5.400	0.000	0.000	0.000

**Πίνακας 4:** Πρόσθετη αντίσταση πίεσης λόγω βυθισμένου transom του συμβατικού VLCC

$$\text{Τέλος ισχύει: } R_A = 0.5\rho V^2 S C_A,$$

$$\text{Όπου } C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003(L/7.5)^{0.5} C_B^4 c_2(0.04 - c_4) = 0.000223, \text{ με}$$

$$c_4 = 0.04 \text{ για } T_F/L = 0.0619 > 0.04$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>R<sub>A</sub>[kN]</b>	125.767	147.601	171.182	196.510	223.585	237.777	252.406

**Πίνακας 5:** Αντίσταση συσχετισμού μοντέλου-πλοίου

Η ολική αντίσταση του συμβατικού VLCC υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα:

$R_{total} = R_F(1+k_I) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$ , όπου  $R_{APP} = 0.035R_{total}$  η αντίσταση παρελκομένων

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$R_F(1+k_I)$ [kp]	112036	130232.4	149710.3	170459.6	192470.9	203947	215735.4
$R_F(1+k_I)$ [kN]	1098.70	1277.14	1468.16	1671.64	1887.49	2000	2115.64
$R_W$ [kN]	1.231	3.750	9.781	22.730	47.810	66.290	91.500
$R_B$ [kN]	198.788	234.808	272.159	310.435	349.276	368.809	388.370
$R_{TR}$ [kN]	14.758	12.899	9.832	5.400	0.000	0.000	0.000
$R_A$ [kN]	125.767	147.601	171.182	196.510	223.585	237.777	252.406
$R_{TOTAL}$ [kN]	1491.4	1737.0	2001.1	2286.7	2599.2	2769.8	2951.2

Πίνακας 6: Ολική αντίσταση συμβατικού VLCC- Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Το δεξαμενόπλοιο Triality έχει τα εξής χαρακτηριστικά στην κατάσταση Full Load Departure:

$$L_{BP} = 351 \text{ m}$$

$$B = 70 \text{ m}$$

$$D = 27.52 \text{ m}$$

$$T_{design} = 21.589 \text{ m}$$

$$t = - 0.608 \text{ (έμπρυνη διαγωγή)}$$

$$C_B = 0.6046$$

$$C_M = 0.7378$$

$$C_P = 0.8195$$

$$C_W = 0.7364$$

$$LCB = 184.03 \text{ m}$$

$$V_s = 15 \text{ kn}$$

$$WSA = 28058.832 \text{ m}^2$$

$$A_M = 1114.985 \text{ m}^2,$$

$$L_{WL} = 357.644 \text{ m}$$

$$\nabla = 320690.156 \text{ m}^3$$

$C_B = 0.5933$ , βασισμένος στο μήκος ισάλου,

$C_{Pd} = 0.8042$ , βασισμένος στο μήκος ισάλου

Επομένως έχουμε:

$R_F = 0.5\rho V^2 S C_F$ , με  $C_F = \frac{0,075}{(\log(Re)-2)^2}$ , με  $Re = V_s[\text{m/s}] \cdot L/v$ , όπου  $v = 1.18831 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $\rho = 104.6127 \text{ kps}^2/\text{m}^4$  για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15 βαθμών κελσίου και το L μήκος ισάλου.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω μεθόδων γίνονται για ένα εύρος ταχυτήτων από -3 έως +2 kn, γύρω από την απαιτούμενη από τον πλοιοκτήτη, ταχύτητα υπηρεσίας  $V_s = 15 \text{ kn}$ .

Επομένως για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων, προκύπτουν:

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$Re \cdot 10^{-9}$	1.858	2.013	2.168	2.322	2.477	2.555	2.632
$10^3 C_F$	1.419	1.406	1.394	1.382	1.372	1.367	1.362
$R_F$ [kp]	79390.7	92289.1	106096.4	120805.5	136409.7	144545.5	152904.4

Πίνακας 7: Αντίσταση τριβής του Ttriality- Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

$$1+k_1 = c_{13} [ 0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497} (0.95 - C_{Pd})^{-0.521448} (1-C_{Pd} + 0.0225LCB)^{0.6906} ],$$

με

$$c_{12} = (T/L)^{0.2228446} = 0.535 \quad (\text{επειδή } T/L > 0.05),$$

$c_{13} = 1 + 0.003C_{stern} = 0.97$ , όπου  $C_{stern} = -10$  για V σχήμα νομέων πρύμα,

$L_R/L = 1 - C_{Pd} + 0.06C_{Pd}LCB/(4C_{Pd} - 1) = 1 - 0.8042 + 0.06 \cdot 0.8042 \cdot 1.456 / (4 \cdot 0.8042 - 1) = 0.227$  ή  $L_R = 81.36$  m με  $LCB = 1.456\%L$  πλώραθεν του  $0.5L$  και

$C_{Pd} = 0.8042$ , ο πρισματικός συντελεστής βασισμένος στο μήκος ισάλου.

$B = 70$ m, το πλάτος του πλοίου

Άρα:  $1 + k_1 = 1.34677$

Για την αντίσταση κυματισμού υπολογίζουμε:

$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}$ , όπου

$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$ ,

$c_7 = B/L = 0.1957$ , επειδή  $0.11 < B/L < 0.25$ ,

$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{BT(0.31 A_{BT}^{0.5} + T_F - h_B)\}$ ,  $h_B = 10$  m και  $A_{BT} = 70.336$  m<sup>2</sup>

$c_2 = \exp(-1.89 c_3^{0.5})$ ,

$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (BT C_M)$ , με  $A_T = 29.134$  m<sup>2</sup>

$i_E = 1 + 89 \exp\{-(L/B)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} (1 - C_{Pd} - 0.0225 LCB)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302}\} = 41.524$  μοίρες

Άρα:  $c_1 = 6.2346$ ,  $c_7 = 0.1957$ ,  $c_3 = 0.0157$ ,  $c_2 = 0.789$ ,  $c_5 = 0.979$

$\lambda = 1.446 C_P - 0.03 L/B = 1.0096$ ,  $c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_P = 1.1618$ ,

$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16} = -2.2028$ ,

$m_2 = c_{15} C_P^2 \exp(-0.1 F_n^{-2})$ , όπου  $c_{15} = -1.69385$

Επομένως για τους αριθμούς Froude για εύρος ταχυτήτων 12,13,14,15,16,16.5,17 kn έχουμε:

**Πίνακας 8:** Αντίσταση κυματισμού του Triality- Μέγιστη κατάσταση φόρτωσης

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>n</sub></b>	0.104	0.113	0.122	0.130	0.139	0.143	0.148
<b>m<sub>2</sub></b>	-0.00011	- 0.00043	- 0.00127	- 0.00303	-0.00618	-0.00842	- 0.01116
<b>R<sub>w</sub>[kN]</b>	0.741	2.394	6.579	15.980	34.780	49.310	69.760

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού, R<sub>B</sub> δίνεται από τον τύπο:

$R_B = 0.11 \exp(-3P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$ , όπου ο συντελεστής P<sub>B</sub> είναι ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης και F<sub>ni</sub> ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση:

$$P_B = 0.56 A_{BT}^{0.5} / (T_F - 1.5h_B) = 0.7128, \text{ με } h_B = 10 \text{ m και } A_{BT} = 70.336 \text{ m}^2$$

$$F_{ni} = V / [g(T_F - h_B - 0.25 A_{BT}^{0.5}) + 0.15V^2]^{0.5} \quad V \text{ η ταχύτητα του πλοίου}$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>ni</sub></b>	0.631	0.680	0.728	0.775	0.822	0.845	0.868
<b>R<sub>B</sub>[kN]</b>	0.544	0.651	0.764	0.882	1.004	1.067	1.130

**Πίνακας 9:** Πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης του Triality - Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης εξαιτίας του βυθισμένου transom είναι

$$R_{TR} = 0.5 \rho V^2 A_T c_6, \text{ όπου } c_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{nT}) \quad \text{για } F_{nT} < 5 \text{ ή}$$

$$c_6 = 0 \quad \text{για } F_{nT} \geq 5, \text{ με } A_T = 29.134 \text{ m}^2$$

$$F_{nT} = V / [2gA_T / (B + BC_{WP})]^{0.5}$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
---------------------------	----	----	----	----	----	------	----



<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>nT</sub></b>	2.841	3.077	3.314	3.551	3.787	3.906	4.024
<b>c<sub>6</sub></b>	0.086	0.077	0.067	0.058	0.049	0.044	0.039
<b>R<sub>TR</sub>[kN]</b>	49.194	51.406	52.279	51.589	49.109	47.129	44.617

**Πίνακας 10:** Πρόσθετη αντίσταση πίεσης εξαιτίας του βυθισμένου transom του Triality- Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Τέλος ισχύει:  $R_A = 0.5\rho V^2 S C_A$ ,

όπου  $C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003(L/7.5)^{0.5} C_B^4 c_2(0.04 - c_4) = 0.00020$ , με

$c_4 = 0.04$  για  $T_F/L = 0.06 > 0.04$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>R<sub>A</sub>[kN]</b>	110.510	129.696	150.416	172.672	196.462	208.933	221.787

**Πίνακας 11:** Αντίσταση συσχετισμού μοντέλου-πλοίου του Triality- Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Η ολική αντίσταση του πλοίου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα:

$R_{total} = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$ , όπου  $R_{APP} = 0.10R_{total}$  η αντίσταση παρελκομένων

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$R_F(1+k_1)$ [kp]	106921	124292.2	142887.4	162697.2	183712.5	194669.5	205927.1
$R_F(1+k_1)$ [kN]	1048.5	1218.9	1401.2	1595.5	1801.6	1909.1	2019.5
$R_W$ [kN]	0.741	2.394	6.579	15.980	34.780	49.310	69.760
$R_B$ [kN]	0.544	0.651	0.764	0.882	1.004	1.067	1.130
$R_{TR}$ [kN]	49.194	51.406	52.279	51.589	49.109	47.129	44.617
$R_A$ [kN]	110.510	129.696	150.416	172.672	196.462	208.933	221.787
$R_{TOTAL}$ [kN]	1343.9	1558.9	1790.3	2040.7	2314.4	2461.7	2618.6

Πίνακας 12: Ολική αντίσταση του Triality-Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της μεθόδου που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της ολικής αντίστασης του TRIALITY και του συμβατικού VLCC.

$V_s$ [kn]	12	13	14	<b>15</b>	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b><u>TRIALITY</u></b>							
$R_T$ [kp]	137039.7	158963.6	182559.8	<b>208093.5</b>	236003.1	251023.5	267022.9
EHP[PS]	11279.3	14174	17531	21409	25898	28410	31135
<b><u>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</u></b>							
$R_T$ [kp]	152080.5	177124.7	204055.4	<b>233178.5</b>	265044.6	282440.9	300938.6
EHP[PS]	12518	15793	19595	<b>23990</b>	29085	31965	35090

Πίνακας 13: Ολική αντίσταση, ισχύς ρυμούλκησης των δύο πλοίων-Μέγιστη έμφορτη κατάσταση

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι στην κατάσταση Full Load Departure το πλοίο TRIALITY έχει κατά 10-11.5 % μειωμένη ολική αντίσταση και ισχύς

ρυμούλκησης σε σχέση με το συμβατικό VLCC. Ειδικά στην ταχύτητα υπηρεσίας των 15 kn που μας ενδιαφέρει αλλά και στις υπόλοιπες ταχύτητες, **10.8%** περίπου μικρότερη ολική αντίσταση και επομένως απαιτεί και **10.8%** μικρότερη ισχύ ρυμούλκησης (Effective Horsepower, E.H.P).

Τώρα θα εξετάσουμε τα 2 παραπάνω πλοία σε κατάσταση ερματισμού.

Για το συμβατικό VLCC έχουμε:

$$L_{BP} = 324 \text{ m}$$

$$B = 60 \text{ m}$$

$$D = 37.305 \text{ m}$$

$$T_{\text{mean}} = 9.51 \text{ m}$$

$$T_F = 7.56 \text{ m}$$

$$T_A = 11.46 \text{ m}$$

$$t = 3.9 \text{ m (έμπρυμνη διαγωγή)}$$

$$C_B = 0.7755$$

$$C_M = 0.9953$$

$$C_P = 0.7792$$

$$C_W = 0.850$$

$$LCB = 168.972 \text{ m}$$

$$V_s = 15 \text{ kn}$$

$$WSA = 20616.426 \text{ m}^2$$

$$A_M = 567.918 \text{ m}^2,$$

$$L_{WL} = 316.869 \text{ m},$$

$$\nabla = 143374.094 \text{ m}^3,$$

$$C_{Pd} = 0.7967, \text{ βασισμένος στο μήκος ισάλου}$$

Επομένως έχουμε:

$R_F = 0.5\rho V^2 S C_F$ , με  $C_F = \frac{0,075}{(\log(Re)-2)^2}$ , με  $Re = V_s[m/s]*L/v$ , όπου  $v=1.18831*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $\rho=104.6127\text{kps}^2/\text{m}^4$  για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15 βαθμών κελσίου και το  $L$  μήκος ισάλου.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω μεθόδων γίνονται για ένα εύρος ταχυτήτων από -3 έως +2 kn, γύρω από την απαιτούμενη από τον πλοιοκτήτη ταχύτητα υπηρεσίας

$V_s=15 \text{ kn}$ .

Επομένως για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων, προκύπτουν:

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$Re \cdot 10^{-9}$	1.646	1.783	1.921	2.058	2.195	2.263	2.332
$10^3 C_F$	1.440	1.426	1.414	1.402	1.392	1.387	1.382
$R_F$ [kp]	59186.0	68796.9	79084.6	90043.5	101668.7	107729.7	113955.5

Πίνακας 14: Αντίσταση τριβής του συμβατικού VLCC- Κατάσταση ερματισμού

$1+k_1 = c_{13} [ 0.93 + c_{12}(B/L_R)^{0.92497} (0.95 - C_{Pd})^{-0.521448} (1-C_{Pd} + 0.0225LCB)^{0.6906} ]$ ,  
με

$c_{12} = 48.20(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948 = 0.483$  (επειδή  $0.02 < T/L < 0.05$ ),

$c_{13} = 1 + 0.003C_{stern} = 1$ , όπου  $C_{stern} = 0$  για κανονικό σχήμα νομέων πρύμα,

$L_R/L = 1 - C_{Pd} + 0.06C_{Pd}LCB / (4C_{Pd} - 1) = 1 - 0.7967 + 0.06*0.7967*2.23 / (4*0.7967 - 1) = 0.276$  ή  $L_R = 87.457 \text{ m}$  με  $LCB = 3.326 \%L$  πλώραθεν του  $0.5L$  και

$C_{Pd} = 0.7967$  ο πρισματικός συντελεστής βασισμένος στο μήκος ισάλου.

$B=60\text{m}$

Άρα:  $1+k_1=1.3048$

Για την αντίσταση κυματισμού υπολογίζουμε:

$$\mathbf{R}_W = c_1 c_2 c_3 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}, \text{ με}$$

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565},$$

$$c_7 = B/L = 0.1894, \text{ επειδή } 0.11 < B/L < 0.25,$$

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{BT(0.31 A_{BT}^{0.5} + T_F - h_B)\}, h_B = 4.7 \text{ m και } A_{BT} = 60.791 \text{ m}^2$$

$$c_2 = \exp(-1.89 c_3^{0.5}),$$

$$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (BT C_M), \text{ με } A_T = 0 \text{ m}^2$$

$$i_E = 1 + 89 \exp\left\{-\frac{(L/B)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} (1 - C_P - 0.0225 LCB)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302}}{C_P}\right\} = 51.396 \text{ μοίρες}$$

$$\text{Άρα : } c_1 = 3.667, c_7 = 0.1894, c_3 = 0.0882, c_2 = 0.5706, c_5 = 1$$

$$\lambda = 1.446 C_P - 0.03 L/B = 0.9936, c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_P = 1.1671,$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16} = -1.8964,$$

$$m_2 = c_{15} C_P^2 \exp(-0.1 F_n^{-2}), \text{ όπου } c_{15} = -1.69385$$

Επομένως για τους αριθμούς Froude για εύρος ταχυτήτων 12,13,14,15,16,16.5,17 kn έχουμε:

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$F_n$	0.110	0.1197	0.1289	0.138	0.147	0.152	0.1565
$m_2$	-0.00031	-0.00103	-0.00268	-0.00581	-0.01094	-0.01438	-0.01847
$R_W$ [KN]	3.243	8.423	19.290	39.550	74.600	99.000	133.200

Πίνακας 15: Αντίσταση κυματισμού του συμβατικού VLCC- Κατάσταση ερματισμού

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού,  $R_B$  δίνεται από τον τύπο:

$R_B=0.11 \exp(-3P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$ , όπου ο συντελεστής  $P_B$  είναι ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης και  $F_{ni}$  ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση:

$$P_B = 0.56 A_{BT}^{0.5} / (T_F - 1.5h_B) = 8.561, \text{ με } h_B = 4.7 \text{ m και } A_{BT} = 60.791 \text{ m}^2$$

$$F_{ni} = V / [g(T_F - h_B - 0.25 A_{BT}^{0.5}) + 0.15V^2]^{0.5}, \text{ όπου } V \text{ η ταχύτητα του πλοίου}$$

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$F_{ni}$	1.613	1.691	1.762	1.826	1.884	1.910	1.936
$R_B$ [kN]	586.762	630.961	671.031	707.289	740.072	755.265	769.711

Πίνακας 16: Πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης συμβατικού VLCC-Κατάσταση ερματισμού

Τέλος ισχύει:  $R_A = 0.5\rho V^2 S C_A$ ,

όπου  $C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003(L/7.5)^{0.5} C_B^4 c_2(0.04 - c_4) = 0.000306$ , με  $c_4 = 0.02386$  για  $T_F/L < 0.04$ .

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16.5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$R_A$ [kN]	123.470	144.905	168.056	192.921	219.502	233.435	247.797

Πίνακας 17: Αντίσταση συσχετισμού μοντέλου-πλοίου συμβατικού VLCC- Κατάσταση ερματισμού

Η ολική αντίσταση του συμβατικού VLCC σε κατάσταση ερματισμού προκύπτει από τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

$$R_{total} = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A, \text{ με } R_{APP} = 0.035R_{total},$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>R<sub>F</sub> (1+k<sub>1</sub>)[kp]</b>	77224.65	89764.75	103187.93	117486.87	132655.18	140563.45	148686.35
<b>R<sub>F</sub> (1+k<sub>1</sub>)[kN]</b>	757.32	880.29	1011.93	1152.15	1300.90	1378.46	1458.12
<b>R<sub>W</sub>[kN]</b>	3.243	8.423	19.290	39.550	74.600	99.000	133.200
<b>R<sub>B</sub>[kN]</b>	586.762	630.961	671.031	707.289	740.072	755.265	769.711
<b>R<sub>TR</sub>[kN]</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>R<sub>A</sub>[kN]</b>	123.470	144.905	168.056	192.921	219.502	233.435	247.797
<b>R<sub>TOTAL</sub>[kN]</b>	1523.6	1725.0	1938.1	2167.8	2419.8	2555.6	2703.4

**Πίνακας 18:** Ολική αντίσταση συμβατικού VLCC- Κατάσταση ερματισμού

Για το TRIALITY σε κατάσταση ερματισμού έχουμε:

$$L_{BP} = 351 \text{ m}$$

$$B = 70$$

$$D = 27.52 \text{ m}$$

$$T_{mean} = 6.259 \text{ m}$$

$$T_F = 4.123 \text{ m}$$

$$T_A = 8.395 \text{ m}$$

$$t = - 4.272 \text{ m (έμπρυμνη διαγωγή)}$$

$$C_B = 0.2967$$

$$C_M = 0.3894$$

$$C_P = 0.762$$

$$C_{Pd} = 0.777, \text{ βασισμένος στο μήκος ισάλου}$$

$C_{Bd} = 0.3024$ , βασισμένος στο μήκος ισάλου

$C_{WP} = 0.5311$

$LCB = 164.138$  m

$V_s = 15$  kn

$WSA = 12309.61$  m<sup>2</sup>

$A_M = 170.608$  m<sup>2</sup>

$L_{WL} = 344.424$  m

$V = 45630.312$  m<sup>3</sup>

Επομένως έχουμε:

$R_F = 0.5\rho V^2 S C_F$ , με  $C_F = \frac{0,075}{(\log(Re)-2)^2}$ , με  $Re = V_s[m/s]*L/v$ , όπου  $v = 1.18831*10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s και  $\rho = 104.6127$  kps<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας 15 βαθμών κελσίου και το  $L$  μήκος ισάλου.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω μεθόδων γίνονται για ένα εύρος ταχυτήτων -3 έως +2 kn, γύρω από την απαιτούμενη από τον πλοιοκτήτη, ταχύτητα υπηρεσίας

$V_s = 15$  kn.

Επομένως για το εξεταζόμενο εύρος ταχυτήτων, προκύπτουν:

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16,5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
$Re \cdot 10^{-9}$	1.789	1.938	2.088	2.237	2.386	2.460	2.535
$10^3 C_F$	1.426	1.412	1.400	1.389	1.378	1.373	1.368
$R_F$ [kp]	34986.6	40669.9	46753.6	53234.5	60109.6	63694.3	67376.4

Πίνακας 19: Αντίσταση τριβής του Triality-Κατάσταση ερματισμού



$$\mathbf{1+k_1} = c_{13} [ 0.93 + c_{12} (B/L_R)^{0.92497} (0.95 - C_{Pd})^{-0.521448} (1 - C_{Pd} + 0.0225 LCB)^{0.6906} ],$$

με

$$c_{12} = 0.479948 \quad (\text{επειδή } T/L < 0.02),$$

$$c_{13} = 1 + 0.003 C_{stern} = 0.97, \quad \text{όπου } C_{stern} = -10 \quad \text{για } V \text{ σχήμα νομέων πρύμα,}$$

$$L_R/L = 1 - C_{Pd} + 0.06 C_{Pd} LCB / (4 C_{Pd} - 1) = 1 - 0.777 + 0.06 * 0.777 * (-2.319) / (4 * 0.777 - 1) = 0.172 \quad \text{ή } L_R = 59.309 \text{ m με } LCB = -2.319\% L.$$

$$C_{Pd} = 0.7765, \quad \text{ο πρισματικός συντελεστής βασισμένος στο μήκος ισάλου.}$$

$$\text{Άρα: } \mathbf{1+k_1} = 1.3021$$

Για την αντίσταση κυματισμού υπολογίζουμε:

$$\mathbf{R_W} = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}, \quad \text{με}$$

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565},$$

$$c_7 = B/L = 0.203, \quad \text{επειδή } 0.11 < B/L < 0.25,$$

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{BT(0.31 A_{BT}^{0.5} + T_F - h_B)\}, \quad h_B = 3.24 \text{ m και } A_{BT} = 3.318 \text{ m}^2$$

$$c_2 = \exp(-1.89 c_3^{0.5}),$$

$$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (BT C_M), \quad \text{με } A_T = 0 \text{ m}^2$$

$$i_E = 1 + 89 \exp\{-(L/B)^{0.80856} (1 - C_{WP})^{0.30484} (1 - C_{Pd} - 0.0225 LCB)^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302}\} = 39.607 \text{ μοίρες}$$

$$\text{Άρα : } c_1 = 1.7907, \quad c_7 = 0.2032, \quad c_3 = 0.0053, \quad c_2 = 0.871, \quad c_5 = 1$$

$$\lambda = 1.446 C_P - 0.03 L/B = 0.9752, \quad c_{16} = 8.07981 * C_P - 13.8673 * C_P^2 + 6.984388 * C_P^3 = 1.183, \quad \text{επειδή } C_P \text{ (βασισμένος στο μήκος ισάλου)} < 0.80$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16} = -1.566,$$

$$m_2 = c_{15} C_P^2 \exp(-0.1 F_n^{-2}), \quad \text{όπου } c_{15} = -1.69385 + (L/\nabla^{1/3} - 8)/2.36 = -0.9996$$

Επομένως για τους αριθμούς Froude για εύρος ταχυτήτων 12,13,14,15,16,16.5,17 kn έχουμε:

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16,5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>n</sub></b>	0.106	0.115	0.124	0.133	0.142	0.146	0.150
<b>m<sub>2</sub></b>	-0.000085	-0.000322	-0.00089	-0.00207	-	-	-
					0.00411	0.00554	0.007278
<b>R<sub>w</sub>[kN]</b>	5.464	12.400	25.130	46.600	80.360	100.310	129.600

**Πίνακας 20:** Αντίσταση κυματισμού του Tiality-Κατάσταση ερματισμού

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης κοντά στην επιφάνεια νερού **R<sub>B</sub>** δίνεται από τον τύπο:

$R_B = 0.11 \exp(-3P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$ , όπου ο συντελεστής  $P_B$  είναι ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης και  $F_{ni}$  ο αριθμός Froude βασισμένος στην βύθιση:

$$P_B = 0.56 A_{BT}^{0.5} / (T_F - 1.5h_B) = -1.384, \text{ με } h_B = 3.24 \text{ m και } A_{BT} = 3.318 \text{ m}^2$$

$$F_{ni} = V / [g(T_F - h_B - 0.25 A_{BT}^{0.5}) + 0.15V^2]^{0.5} \text{ V η ταχύτητα του πλοίου}$$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16,5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>F<sub>ni</sub></b>	1.961	2.025	2.081	2.130	2.172	2.191	2.209
<b>R<sub>B</sub>[kN]</b>	2.175	2.276	2.363	2.439	2.505	2.535	2.563

**Πίνακας 21:** Πρόσθετη αντίσταση πίεσης βολβοειδούς πλώρης του Tiality-Κατάσταση ερματισμού

Η πρόσθετη αντίσταση πίεσης εξαιτίας του βυθισμένου transom είναι 0

Τέλος ισχύει:  $R_A = 0.5\rho V^2 S C_A$ ,

όπου  $C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003(L/7.5)^{0.5} C_B^4 c_2(0.04 - c_4) = 0.000216$ , με

$c_4 = 0.012$  για  $T_F/L = 0.012 < 0.04$

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>R<sub>A</sub>[kN]</b>	52.027	61.060	70.815	81.293	92.493	98.364	104.416

**Πίνακας 22:** Αντίσταση συσχετισμού μοντέλου-πλοίου του Triality-Κατάσταση ερματισμού

Η ολική αντίσταση του TRIALITY σε κατάσταση ερματισμού προκύπτει από τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

$R_{total} = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$  , με  $R_{APP} = 0.1R_{total}$  η αντίσταση παρελκομένων

<b>V<sub>s</sub> [kn]</b>	12	13	14	15	16	16.5	17
<b>V<sub>s</sub> [m/s]</b>	6.173	6.687	7.202	7.716	8.230	8.488	8.745
<b>R<sub>F</sub> (1+k<sub>1</sub>)[kp]</b>	45556.1	52956.3	60877.9	69316.6	78268.7	82936.3	87730.8
<b>R<sub>F</sub> (1+k<sub>1</sub>)[kN]</b>	446.8	519.3	597.0	679.8	767.6	813.3	860.3
<b>R<sub>W</sub>[kN]</b>	5.464	12.400	25.130	46.600	80.360	100.310	129.600
<b>R<sub>B</sub>[kN]</b>	2.175	2.276	2.363	2.439	2.505	2.535	2.563
<b>R<sub>TR</sub>[kN]</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>R<sub>A</sub>[kN]</b>	52.027	61.060	70.815	81.293	92.493	98.364	104.416
<b>R<sub>TOTAL</sub>[kN]</b>	562.7	661.2	769.2	900.1	1047.7	1130.3	1218.9

**Πίνακας 23:** Ολική αντίσταση του Triality-Κατάσταση ερματισμού

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της μεθόδου που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της αντίστασης πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου, στο εύρος ταχυτήτων  $V_s = 12,13,14,15,16,16.5,17$  kn.

$V_s$ [kn]	12	13	14	15	16	16,5	17
$V_s$ [m/s]	6.173	6.687	7.202	<b>7.716</b>	8.230	8.488	8.745
<b><u>TRIALITY</u></b>							
$R_T$ [kp]	57379.4	67423.6	78436.6	<b>91784.7</b>	106835.7	115258.5	124293.2
EHP[PS]	4723	6012	7532	<b>9443</b>	11724	13045	14493
<b><u>ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ VLCC</u></b>							
$R_T$ [kp]	155364.0	175901	197631.2	221054.1	246750.9	260598.7	275670.1
EHP[PS]	12788	15684	18978	<b>22743</b>	27077	29493	32144

**Πίνακας 24:** Ολική αντίσταση και ισχύς ρυμούλκησης του Triality και του συμβατικού VLCC- Κατάσταση ερματισμού

Όπως παρατηρούμε η ολική αντίσταση και επομένως και ισχύ ρυμούλκησης του πλοίου Triality είναι μειωμένη κατά **55-63%** σε σχέση με το συμβατικό VLCC στην κατάσταση ερματισμού. Στην ταχύτητα υπηρεσίας (15 kn) η ισχύς ρυμούλκησης του Triality είναι μειωμένη κατά **58.5%** συγκριτικά με την αντίστοιχη του συμβατικού VLCC.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ GRID.

Το πρόγραμμα Grid χρησιμοποιήθηκε κατά την επιλογή των ελίκων του TRIALITY VLCC.

Παρακάτω παρατίθενται πιο αναλυτικά το input και το output του προγράμματος για το συγκεκριμένο πλοίο.

Στο αρχείο input του προγράμματος εισήχθησαν τα εξής δεδομένα:

- $D_{prop} = 7$  m, η διάμετρος των ελίκων
- $Z = 4$ , ο αριθμός των πτερυγίων κάθε έλικας
- $A_E/A_o = 0.40$ , ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας των ελίκων
- $V_s = 15$  kn = 7.716 m/s, η ταχύτητα του πλοίου
- $R_T = 208093.5$  kp, η ολική αντίσταση του πλοίου
- $w = 0.212$ , ο συντελεστής ομόρου
- $t = 0.170$ , ο συντελεστής μείωσης της ώσης
- $n_R = 0.847$ , ο συντελεστής σχετικής περιστροφής
- Shaft efficiency = 0.99

Το output είναι το εξής:

7.000000 0.4000000 4

0.9900000

2

104.6100

10 1

Diam (m)= 7.000 AE/A0= 0.400 No of blades= 4

Shaft efficiency= 0.990

no of propellers= 2

fluid density (kp\*s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)= 104.61

Wagenigen B-series

V (m/s) R (kp) w t nr F (kp)

7.716 208093.5 0.212 0.170 0.847 0.0

\*\*\*\*\* iso - P/D \*\*\*\*\*

P/D= 0.500 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

141.3 15.000 125357.5 121570.2 23986.7 24229.0 0.442

P/D= 0.600 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

124.8 15.000 125357.4 126446.8 22037.6 22260.2 0.481

P/D= 0.700 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

112.4 15.000 125357.4 134182.7 21061.5 21274.2 0.503

P/D= 0.800 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

102.8 15.000 125357.4 143690.0 20623.6 20831.9 0.514

P/D= 0.900 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

95.2 15.000 125357.4 154398.2 20513.6 20821.1 0.515

P/D= 1.000 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

87.2 15.000 125357.4 165927.5 20612.9 20720.8 0.517

P/D= 1.100 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

83.9 15.000 125357.4 177937.8 20841.8 21052.3 0.508

P/D= 1.200 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

79.6 15.000 125357.4 190044.3 21134.8 21348.3 0.501

P/D= 1.300 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

76.1 15.000 125357.4 201762.7 21428.8 21645.2 0.495

P/D= 1.400 number of propellers= 2

rpm V (knots) T (kp) Q (kp\*m) DHP (PS) SHP (PS) P.C.

73.0 15.000 125357.4 212463.7 21655.0 21873.7 0.489

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ EEDI ΤΟΥ TRIALITY

Ο Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index) εντάσσεται στα σχεδιαστικά μέτρα που έχει αναλάβει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ( IMO ) για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η εφαρμογή της απαίτησης συμμόρφωσης του EEDI των πλοίων , σε σχέση με την αντίστοιχη γραμμή αναφοράς , που ορίζεται ως μια καμπύλη που αντιπροσωπεύει την μέση τιμή του δείκτη (βασισμένη σε ένα σύνολο επιμέρους τιμών του δείκτη για μια καθορισμένη ομάδα πλοίων), επιτυγχάνεται μέσω των όρων «Επιτευχθείς Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» ( attained EEDI) και «Απαιτούμενος Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» ( required EEDI) και αφορά τα «νέα πλοία» , με ακαθάριστη χωρητικότητα (gross tonnage) 400 τόνων και άνω, δηλαδή τα πλοία:

- για τα οποία το συμβόλαιο ναυπήγησης τοποθετήθηκε κατά ή μετά την 1 Ιανουαρίου 2013,
- των οποίων η καρίνα έχει τεθεί ή που βρίσκονται σε ανάλογο στάδιο κατασκευής, κατά ή μετά την 1 Ιουλίου 2013 σε περίπτωση απουσίας συμβολαίου ναυπήγησης
- των οποίων η παράδοση είναι την ή μετά την 1 Ιουλίου 2015.

Η τιμή του «Επιτευχθέντος Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας»(attained EEDI) πρέπει να είναι κάτω από την τιμή του «Απαιτούμενου Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (required EEDI). Ουσιαστικά, ο Απαιτούμενος EEDI είναι η μέγιστη τιμή του Επιτευχθέντος EEDI.

Για κάθε τύπο πλοίου έχει αναπτυχθεί μια γραμμή αναφοράς, της οποίας η τιμή είναι συνάρτηση της χωρητικότητας (DWT) και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

**Γραμμή αναφοράς** =  $a \cdot DWT^{-c}$  , όπου a,c σταθερές που προσδιορίζονται από την προσαρμογή της καμπύλης παλινδρόμησης.



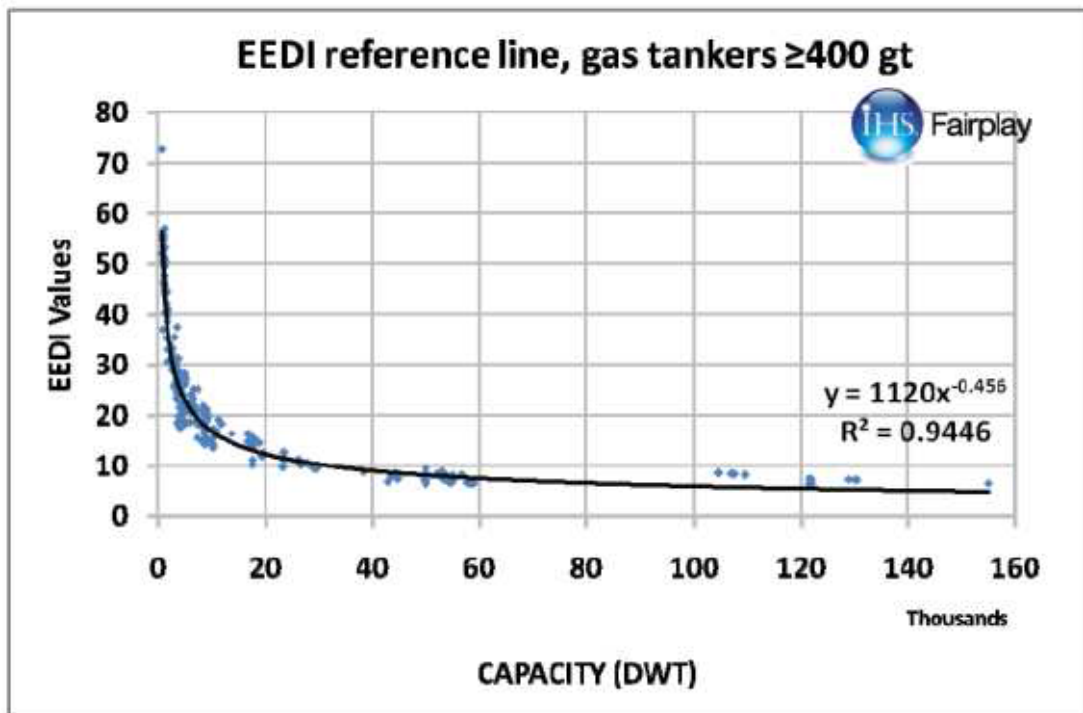
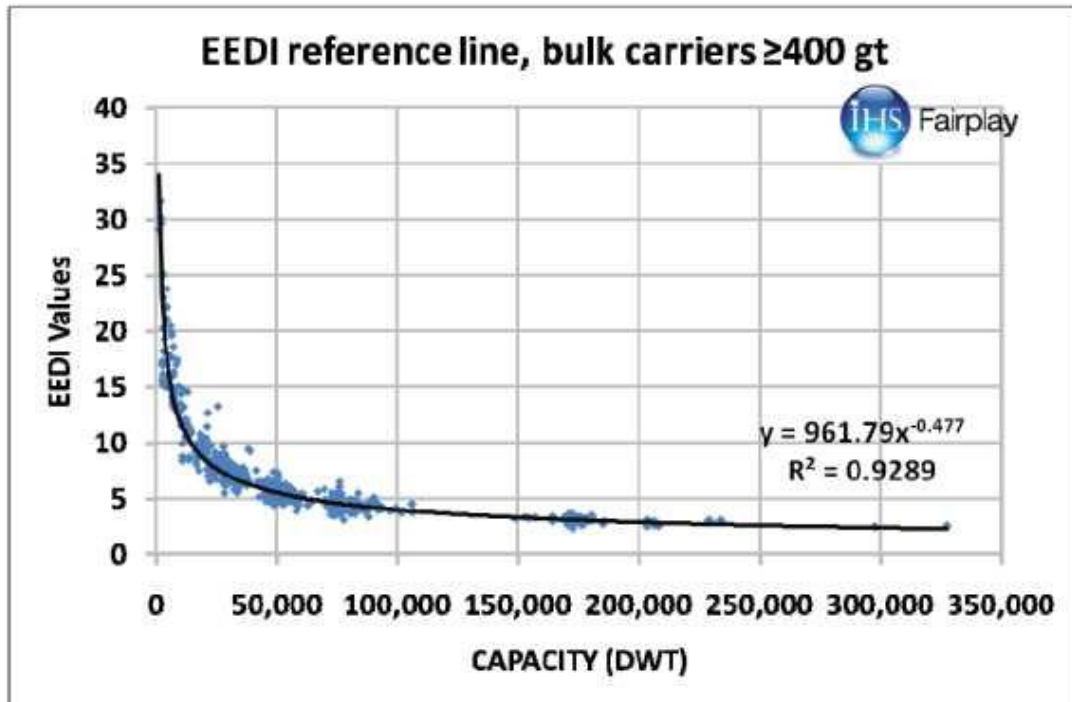
Ουσιαστικά αυτός ο τύπος δίνει τον «Απαιτούμενο Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (required EEDI).

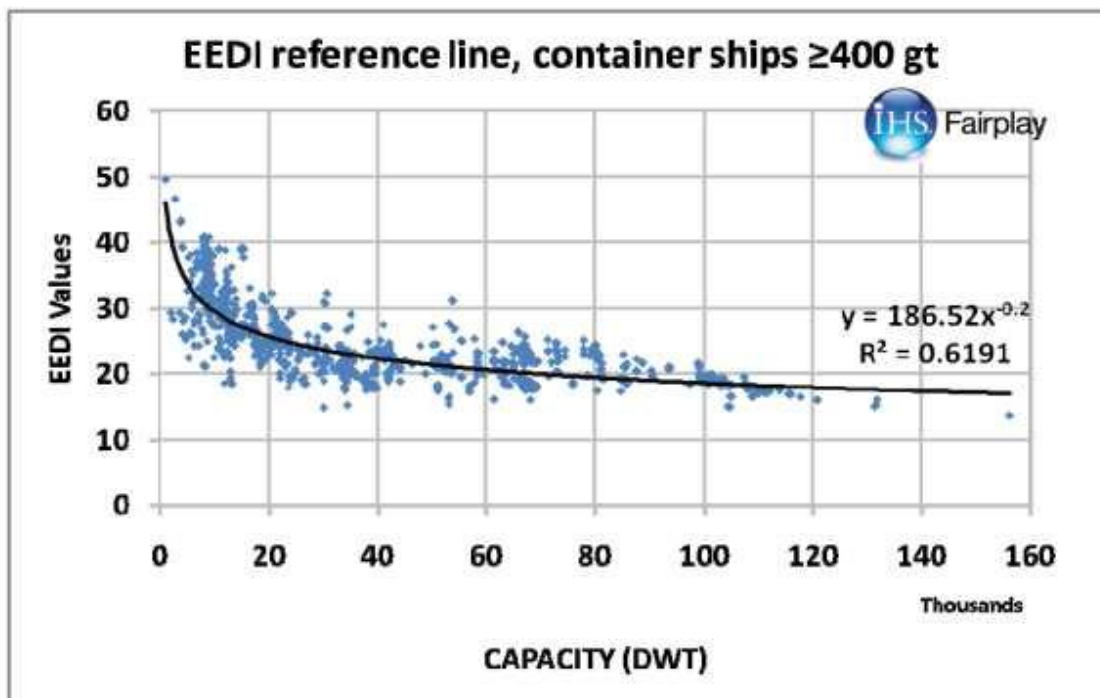
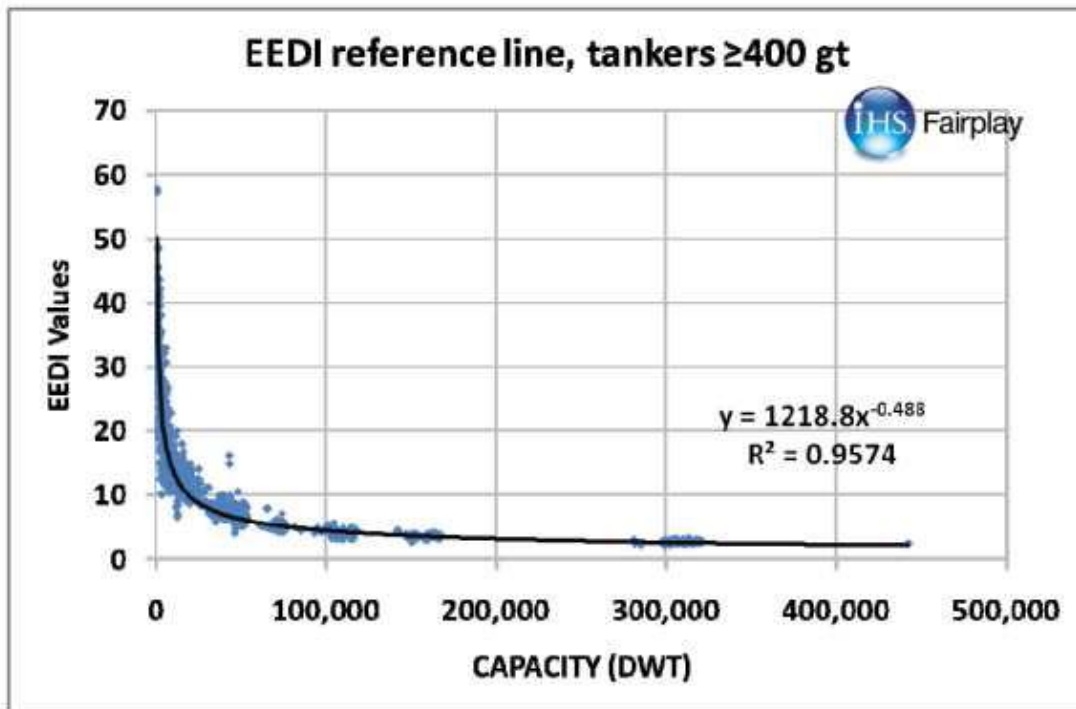
Οι σταθερές **a,c** των γραμμών αναφοράς, ανά τύπο πλοίου, δίνονται στον παρακάτω πίνακα (International Maritime Organization (IMO), 2011, Report of the marine environment protection committee on its sixty-second session, MEPC 62/24/Add.1)

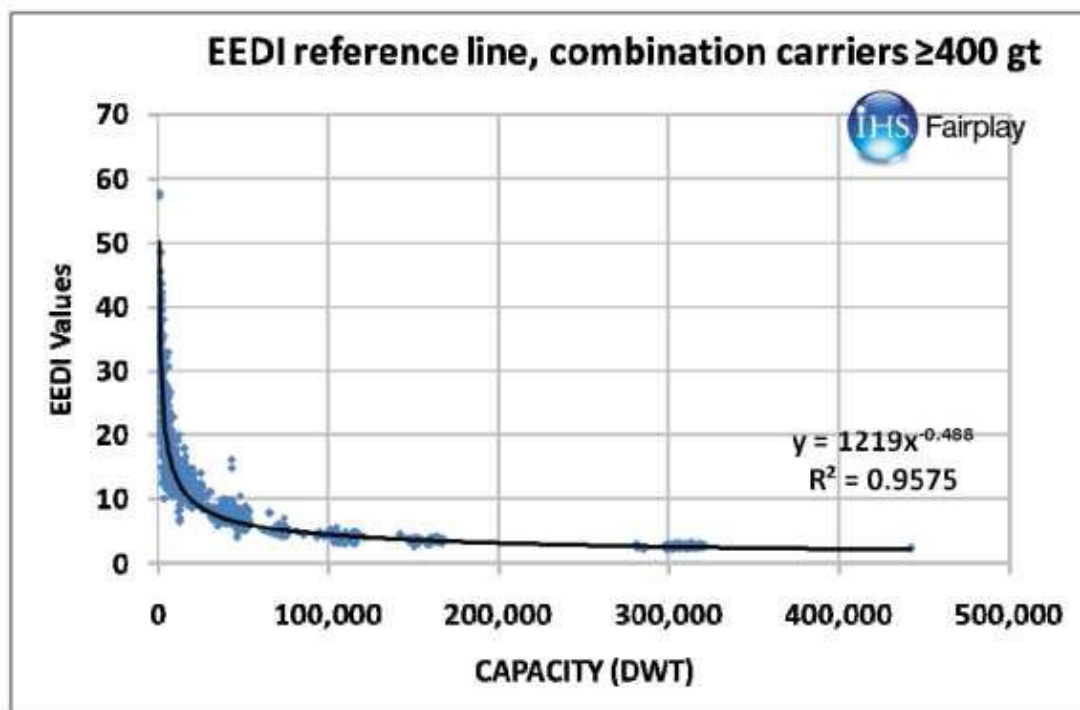
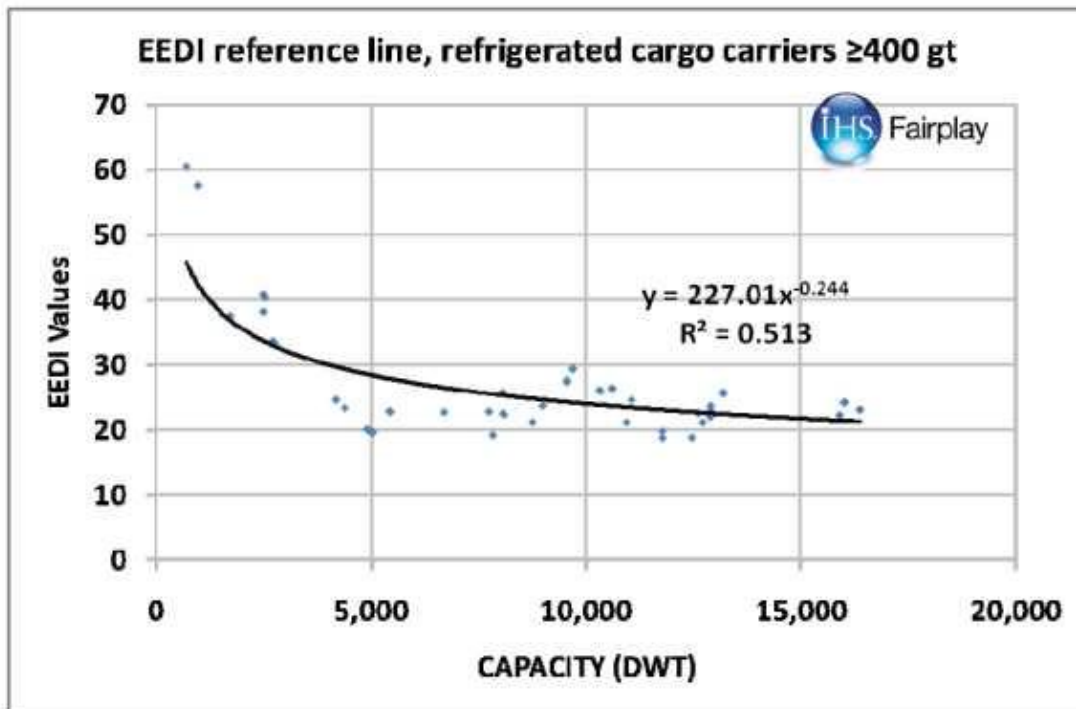
Ship type	A	b	c
Bulk carriers	961.79	DWT	0.477
Gas carriers	1120.20	DWT	0.456
Tankers	1218.80	DWT	0.488
Container ships	174.22	DWT	0.201
General cargo ships	107.48	DWT	0.216
Refrigerated cargo ships	227.01	DWT	0.244
Combination carriers	1219.00	DWT	0.488
Vehicle / car carriers	(DWT/GT)-0.7 · 780.36 where DWT/GT < 0.3; (DWT/GT)-0.7 · 1812.63 where DWT/GT ≥ 0.3	DWT	0.471
Ro-Ro cargo ships	1405.15	DWT	0.498
Ro-Ro passenger ships	752.16	DWT	0.381
LNG carriers	2253.7	DWT	0.474
Cruise passenger ships having non conventional propulsion	170.84	GT	0.214

**Πίνακας 1:** Σταθερές των γραμμών αναφοράς

Οι γραφικές παραστάσεις των γραμμών αναφοράς κάποιων τύπων πλοίων φαίνονται παρακάτω (International Maritime Organization (IMO), 2011, Calculation of parameters for determination of EEDI reference values MEPC 62/6/4):







Ο Επιτευχθείς EEDI θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη:

**Επιτευχθείς EEDI  $\leq$  Απαιτούμενος EEDI**

$= \left(1 - \frac{X}{100}\right) * \text{Γραμμή αναφοράς}$ , όπου **X** είναι ο παράγοντας μείωσης, όπως καθορίζεται στον πίνακα 2 που παρατίθεται παρακάτω:

Ship type	Size in DWT	Phase 0 1 Jan 2013- 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015- 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020- 31 Dec 2024	Phase 3 1 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carriers	20.000 and above	0	10	20	30
	10.000-20000	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carries	10.000 and above	0	10	20	30
	2.000 –10.000	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tankers	20.000 and above	0	10	20	30
	4.000-20.000	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ships	15.000 and above	0	10	20	30
	10.000-15.000	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General cargo ships	15.000 and above	0	10	15	30
	3.000-15.000	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo ships	5.000 and above	0	10	15	30
	3.000-5.000	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carriers	20.000 and above	0	10	20	30
	4.000-20.000	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

**Πίνακας 2:** Συντελεστές μείωσης επί τους εκατό του EEDI σχετικά με τον EEDI των γραμμών αναφοράς

\*Ο συντελεστής μείωσης θα υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο τιμών, εξαρτώμενος από το μέγεθος του πλοίου. Η χαμηλότερη τιμή εφαρμόζεται στο μικρότερο μέγεθος πλοίου.

n/a: δεν εφαρμόζεται EEDI.

### Υπολογισμός Δείκτη EEDI

$$\frac{\left( \left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left( \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{eff}} P_{TI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left( \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{ME} \cdot SFC_{ME} \right) \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

\*Αν ένας μέρος της μέγιστης συνήθους βοηθητικής ισχύος εν πλω παρέχεται από γεννήτριες άξονα, τότε δύναται να χρησιμοποιήσουμε την  $SFC_{ME}$  αντί της  $SFC_{AE}$ , για αυτό το μέρος της ισχύος .

Ο παράγοντας  $\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right)$ , εκφράζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των κύριων μηχανών.

Ο παράγοντας ( $P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*$ ) εκφράζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των βοηθητικών μηχανών.

Η παράσταση:

$$\left( \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{neff} P_{TI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff(i)}} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right)$$

εκφράζει τις εκπομπές των γεννητριών/κινητήρων αξόνων.

Τέλος ο παράγοντας ( $\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{ME} \cdot SFC_{ME}$ ) αναφέρεται σε μια μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω καινοτόμων και πρωτοποριακών τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας, όπου και αν αυτές έχουν εγκατασταθεί.

Η επεξήγηση των συμβόλων αναφέρεται παρακάτω:

$C_{FME}, C_{FAE}$  : είναι αδιάστατοι συντελεστές μετατροπής μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου σε γραμμάρια (gr) και των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε γραμμάρια (gr), βασισμένα στην περιεκτικότητα άνθρακα για τις κύριες μηχανές και βοηθητικές μηχανές αντίστοιχα. Αυτοί οι συντελεστές αντιστοιχούν στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο που αναγράφεται στο εφαρμοζόμενο πιστοποιητικό «Engine International Air Pollution Prevention Certificate».

Η τιμή του  $C_F$  είναι:

$C_F = 3.1144 \text{ t-CO}_2/\text{t-Fuel}$ , για Heavy Fuel Oil, με περιεκτικότητα άνθρακα 0.849

$C_F = 2.750 \text{ t-CO}_2/\text{t-Fuel}$ , για LNG, με περιεκτικότητα άνθρακα 0.750

$C_F = 3.206 \text{ t-CO}_2/\text{t-Fuel}$ , για Diesel/Gas Oil, με περιεκτικότητα άνθρακα 0.874

$C_F = 3.151 \text{ t-CO}_2/\text{t-Fuel}$ , για Light Fuel Oil, με περιεκτικότητα άνθρακα 0.859

### Capacity(χωρητικότητα) ορίζεται ως:

- Το πρόσθετο βάρος DWT για bulk carries, tankers, gas carries, , general cargo ships , ro-ro ships,
- Το 70% του πρόσθετου βάρους για container ships,
- Η ολική χωρητικότητα (gross tonnage) για ro-ro επιβατηγά και επιβατηγά.

$V_{ref}$ : η ταχύτητα του πλοίου, μετρούμενη σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (knots), σε βαθύ νερό, στην μέγιστη κατάσταση φόρτωσης ( σε DWT για bulk carries, tankers, gas carries, , general cargo ships , ro-ro ships, στο 70% του πρόσθετου βάρους για container ships και σε gross tonnage για ro-ro επιβατηγά και επιβατηγά), στην ισχύ άξονα των μηχανών , εικάζοντας ήρεμη θάλασσα και καιρός. Η μέγιστη κατάσταση φόρτωσης ορίζεται στο μέγιστο βύθισμα και διαγωγή στα οποία το πλοίο είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί.

$P_{ME}, P_{AE}$  : η ισχύς των κύριων και βοηθητικών μηχανών σε KW αντίστοιχα. Το σύμβολο  $nMe$  αντιστοιχεί στον αριθμό των μηχανών.

$P_{ME(i)}$ : το 75% της διαφοράς της ορισμένης εγκατεστημένης ισχύος (MCR) για κάθε κύρια μηχανή ( $i$ ) με την οποιαδήποτε εγκατεστημένη στον άξονα γεννήτριας:

$$P_{ME(i)} = 0.75(MCR_{ME(i)} - P_{PTO(i)})$$

Σε καμία περίπτωση όμως η τιμή της παραπάνω ισχύος δεν μπορεί να είναι μικρότερη από το 75% της ισχύος που το σύστημα πρόωσης μπορεί να προσδώσει μέσω των ελίκων.

$P_{PTO(i)}$  : το 75% της ισχύος εξόδου της κάθε εγκατεστημένη γεννήτριας άξονα, διηρημένο με την σχετική της απόδοση,

$P_{PTI(i)}$ : το 75% της εγκατεστημένης ονομαστικής ισχύος του κάθε κινητήρα άξονα, διηρημένο με την σταθμισμένη μέση απόδοση των γεννητριών (weighted efficiency of generators),

$P_{AEeff(i)}$  : η μείωση της βοηθητικής ισχύος σε περίπτωση ύπαρξης πρωτοποριακών και καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας,

$P_{\text{eff}(i)}$  : το 75% της μείωσης της ισχύος των κύριων μηχανών σε περίπτωση ύπαρξης πρωτοποριακών και καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας,

$P_{\text{AE}}$  : η απαιτούμενη ισχύς βοηθητικής μηχανής για την λειτουργία των κύριων μηχανών που παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για τα συστήματα πρόωσης και ενδαιτήσεων (αντλίες κύριας μηχανής, συστήματα και συσκευές ναυσιπλοΐας).

$$P_{\text{AE}(MCR(ME)>10000 \text{ kW})} = \left( 0.025 \times \left( \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \left( \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{75} \right) \right) \right) + 250$$

$$P_{\text{AE}(MCR(ME)<10000 \text{ kW})} = \left( 0.05 \times \left( \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \left( \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{75} \right) \right) \right) = 1054 \text{ kW} ,$$

όπου:

$\sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} = 32160 \text{ kW}$  είναι το σύνολο της ονομαστικής ισχύος των δύο κύριων μηχανών και  $\sum P_{PTI(i)} = 0$  καθώς δεν έχουμε κινητήρες άξονα.

$SFC_{ME(i)}$  : η πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου των κυρίων μηχανών η οποία παίρνεται και είναι καταγεγραμμένη στον τεχνικό φάκελο του πιστοποιητικού EIAPP σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NOx , στο 75% του MCR της ισχύος ( πιστοποιημένες μηχανές για κύκλο λειτουργίας E2 ή E3 του Τεχνικού Κώδικα NOx) και στο 50% του MCR της ισχύος ( πιστοποιημένες μηχανές για κύκλο λειτουργίας D2 ή C1 του Τεχνικού Κώδικα NOx), μετρούμενη σε g/kWh.

$SFC_{AE(i)}$  : η πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου των βοηθητικών μηχανών η οποία παίρνεται και είναι καταγεγραμμένη στον τεχνικό φάκελο του πιστοποιητικού EIAPP σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NOx , στο 50% του MCR της ισχύος, μετρούμενη σε g/kWh.

$SFC_{AE}$  : ο σταθμισμένος κατασκευαστικός μέσος μεταξύ των  $SFC_{AE(i)}$  για πλήθος ( $i$ ) βοηθητικών μηχανών.

$f_j$  : ένας συντελεστής διόρθωσης που λαμβάνει υπόψη ειδικά κατασκευαστικά στοιχεία. Για όλους τους τύπους πλοίων λαμβάνεται ίσος με 1, εκτός από τα ice-classed πλοία, τα shuttle tankers,



$f_w$  : ένας αδιάστατος συντελεστής που εκφράζει την μείωση της ταχύτητας σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις θάλασσας, αναφορικά με την συχνότητα και το ύψος κύματος αλλά και την ταχύτητα ανέμου. Ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας σε κάποια κατάσταση θάλασσας με την ταχύτητα αναφοράς σε ήρεμο νερό. Και οι δύο ταχύτητες αυτές αναφέρονται στο 75% του MCR των κυρίων μηχανών. Ο συντελεστής αυτός θα λαμβάνεται ίσος με 1 μέχρι να είναι διαθέσιμες οδηγίες προσομοίωσης συμπεριφοράς του πλοίου σε αντιπροσωπευτικές καταστάσεις θάλασσας ή οδηγίες που να περιέχουν πίνακες/καμπύλες τυποποιημένου  $f_w$ .

$f_{\text{eff}(i)}$  : ο συντελεστής διαθεσιμότητας κάθε καινοτόμου τεχνολογίας ενεργειακής αποδοτικότητας. Όσον αφορά συστήματα μετατροπής της απολυόμενης ενέργειας, ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται ίσος με 1.

$f_i$  : ο συντελεστής χωρητικότητας για κάθε τεχνικό περιορισμό της χωρητικότητας, όπως για ice-classed πλοία, για πλοία με ειδικές εθελοντικές δομικές ενισχύσεις. Για πλοία άλλου τύπου λαμβάνεται ίσος με 1.

Τα δεδομένα του **TRIALITY** που απαιτούνται για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος και απαιτούμενου EEDI είναι τα παρακάτω:

**Είδος πλοίου:** Tanker

**Capacity:** 286358 DWT

**$V_{\text{REF}}$ :** 15.0 knots

**$MCR_{\text{ME}}$ :** 21440 kW

**$P_{\text{ME}}$ :** 16080 kW

**Αριθμός μηχανών:** n=2

**Είδος καυσίμου κύριων μηχανών:** LNG

**$C_{\text{FME}}$ :** 2.750 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**$SFC_{\text{ME}}$ :** 155 g/kWh

**$P_{\text{AE}}$ :** 1322 kW

**Είδος καυσίμου βοηθητικών μηχανών:** LNG

**$CF_{\text{AE}}$ :** 2.750 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel

**$SFC_{\text{AE}}$ :** 210.0 g/kWh

**Βοηθητική Είσοδος Ισχύος  $P_{\text{PTI}}=0$**

**Βοηθητική Είσοδος Ισχύος  $P_{\text{PTO}}=0$**

Διαθεσιμότητα καινοτόμων τεχνολογιών  $P_{\text{eff}} = 0$

$$f_{\text{eff}}=f_j=f_i=f_w=1$$

Επομένως :

**Επιτευχθείς EEDI=3.369**

**Απαιτούμενος EEDI=**  $a \cdot b^{-c} = 1218.80 \cdot 286453^{-0.488} = 2.648$ , με a,c για πλοίο tanker από τον πίνακα που παραθέσαμε παραπάνω και b ίσο με το DWT του πλοίου.

Όπως παρατηρούμε, με τα παραπάνω δεδομένα ο Επιτευχθείς EEDI είναι μεγαλύτερος από τον Απαιτούμενο EEDI, οπότε το πλοίο δεν ικανοποιεί το κριτήριο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- “ Technical Report: Triality – The VLCC of the future” DNV Extraordinary Innovation Project, Det Norske Veritas, Report No 2010-1670, Norway 2010
- ABS Rules for Building and Classing Steel Vessels, 2014
- OpCost Report , Moore Stephens, 2013
- Clarkson Research Services, Market Report, 2014
- “AVEVA M12” Calculating Program
- “North European LNG Infrastructure Project Report”, Danish Maritime Authority, 2012
- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)
- Σημειώσεις μαθήματος “Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου”, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008
- “2012 Guidelines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)” , IMO Resolution MEPC 214(63).
- “A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fuelled by Gas”, ME-GI Dual fuel MAN B&W Engines

## SITES

- [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)
- [www.imo.org](http://www.imo.org)
- [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)
- [www.eagle.org](http://www.eagle.org)
- [www.esrdc.mit.edu/library](http://www.esrdc.mit.edu/library)
- <http://www.meps.co.uk/ShipBuildingIndex.htm>