

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πλεύριση Barge σε Bulk Carrier για τη
μεταφορά φορτίου στη θάλασσα

Μιχαήλ Ι. Κουλουράκης

Επιβλέπων Καθηγητής: Γρηγορόπουλος Γρηγόριος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο των σπουδών μου στο τμήμα της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εν λόγω εργασία εμπίπτει στον Τομέα Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής και πραγματοποιήθηκε υπό τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γ. Γρηγορόπουλο.

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η πλεύριση πλοίου τύπου μπάρτζας με φορτηγό πλοίο, προς μεταφορά φορτίου στη θάλασσα. Το πέρας της παρούσης οδηγεί στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στη ΣΝΜΜ και σηματοδοτεί την αρχή της επαγγελματικής μου σταδιοδρομίας. Οι γνώσεις που απέσπασα τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου, όσο και σε όλη την διάρκεια της πενταετούς φοίτησης μου στη σχολή, αποτελούν εφόδιο και βάση μιας αποδοτικής καριέρας στο χώρο της ναυπηγικής.

Στο σημείο αυτό, θεωρώ αναγκαίο να εκφράσω ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες στο σύνολο των Καθηγητών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, καθώς έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ολοκλήρωση της προσωπικότητας και της σκέψης μου ως νέος μηχανικός, μέσω των γνώσεων και των εμπειριών τους. Ιδιαίτερη μνεία στον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Γρηγόρη Γρηγορόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, για την συνεχή καθοδήγηση και συμπαράσταση του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και οποιαδήποτε στιγμή χρειάστηκα τη στήριξη του.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα στους γονείς μου, Γιάννη και Ευαγγελία, και στις αδερφές μου, Μαρίνα και Σεβαστή, χωρίς την συνεχή στήριξη και ώθηση των οποίων δε θα ήταν δυνατή η αποφοίτηση μου ως Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός.

Μιχαήλ Ι. Κουλουράκης

Αθήνα, Απρίλιος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για παροχή υπηρεσιών σε περισσότερα σημεία και για μείωση εξόδων στη ναυτιλία, οδηγεί σε ανάγκη δημιουργίας πιο ευέλικτων προγραμμάτων για τα πλοία, ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η απώλεια πολύτιμου χρόνου. Σημαντική παράμετρος στην προσπάθεια αυτή είναι τόσο η πρόσβαση σε περισσότερα και μικρότερα λιμάνια, όσο και η ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής σε αυτά.

Η προσπάθεια αυτή για μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτερη λειτουργία των πλοίων, οδήγησε στην διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων που θα συμβάλλουν στον παραπάνω σκοπό. Πιο συγκεκριμένα, μια εξ' αυτών, είναι η μεταφορά φορτίου από πλοίο σε πλοίο, στην ανοιχτή θάλασσα, χωρίς να χρειάζεται είσοδος και παραμονή σε λιμένα.

Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διαδικασία πλεύριση δύο πλοίων προς μεταφορά φορτίου, και συγκεκριμένα η υδροδυναμική συμπεριφορά των συμμετεχόντων πλοίων πριν και μετά την πλεύριση. Συγκεκριμένα, η εργασία αφορά στη μεταφορά φορτίου μεταξύ ενός φορτηγού πλοίου και μίας μπάρτζας. Αρχικά, αφού απεικονίσαμε τις γάστρες των προαναφερθέντων πλοίων, εξετάσαμε τη συμπεριφορά τους σε διάφορα σενάρια κυματισμών, ώστε να κατανοήσουμε τις εκάστοτε χείριστες πιθανές καταστάσεις. Αυτό πραγματοποιήθηκε με χρήση δύο λογισμικών πλατφόρμων υδροδυναμικών υπολογισμών, αφενός του προγράμματος Frank και αφετέρου του Standard Ship Motion Program SMP93-PC. Εκτός αυτού, εξετάστηκαν λύσεις τόσο για τα παραβλήματα προστασίας που θα χρησιμοποιηθούν κατά την πλεύριση, όσο και για το σύστημα πρόσδεσης των πλοίων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΠΛΟΙΟ ΣΕ ΠΛΟΙΟ - STS TRANSFERS.....	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.2 ΠΛΑΝΟ ΔΙΕΝΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΠΛΟΙΟ ΣΕ ΠΛΟΙΟ - STS TRANSFER OPERATION PLAN.....	9
1.2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΝ ΣΕ STS ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	9
1.2.2 ΠΛΑΝΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	12
1.2.3 ΜΕΣΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	13
1.2.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	14
1.2.5 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΝΑΝΤΙΟΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ, ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΑΚΤΟΥ ΑΝΑΓΚΗΣ.....	17
1.2.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ	18
1.3 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	19
1.3.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ - ΕΛΙΓΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	19
1.3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	22
1.3.3 ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	26
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
2.2 ΑΠΛΟΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ	26
2.3 ΟΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	31
2.4 Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	34
2.5 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ FRANK.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ	43
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	44
3.2 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ FRANK	45
3.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ FRANK	45
3.2.2 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ SOURCE1.....	49
3.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STANDARD SHIP MOTION COMPUTER PROGRAM - SMP	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Η ΠΛΕΥΡΙΣΗ BARGE ΣΕ BULK CARRIER ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	55
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	55
4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ	68
4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΩΔΙΚΑ FRANK.....	68
4.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SMP-93	76
4.3 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ - ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	98
4.4 ΠΑΡΑΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - FENDERS.....	100
4.5 ΡΥΜΟΥΛΚΙΑ - ΚΑΒΟΙ - ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΔΕΣΗΣ.....	105
4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	115
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΠΛΟΙΟ ΣΕ ΠΛΟΙΟ - STS TRANSFERS

1.1 Εισαγωγή

Η μεταφορά φορτίου από πλοίο σε πλοίο (STS Transfer Operation) είναι η διαδικασία μεταφόρτωσης φορτίου μεταξύ δύο πλοίων, τα οποία βρίσκονται παραπλεύρως, είτε αγκυροβολημένα είτε σε πορεία. Η συνηθέστερη χρήση της εν λόγω διαδικασίας είναι για μεταφορά αργού πετρελαίου και υγροποιημένων αερίων (LNG και LPG). Εκτός αυτών, χρησιμοποιείται και για παράγωγα πετρελαίων και φορτίο χύδην.

Η μεταφορά φορτίου μεταξύ δύο πλοίων τα οποία βρίσκονται στη θάλασσα μπορεί να φαντάζει επικίνδυνη, ωστόσο σύμφωνα με στατιστικές ατυχημάτων στη θάλασσα και τις ναυτιλιακές εταιρείες, η συνήθης αυτή τακτική είναι ασφαλής, εφόσον καλύπτονται ορισμένες απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, πρέπει να υπάρχει κατάλληλη εκπαίδευση του πληρώματος των συμμετεχόντων πλοίων, να γίνεται σωστή επιλογή, αποθήκευση και συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και να αρχειοθετούνται όλα τα απαραίτητα έγγραφα που απαιτούνται για μεταφορά φορτίου στη θάλασσα. Παράλληλα, είναι αναγκαίο να συνάγεται αξιολόγηση του ρίσκου της διαδικασίας, να γίνεται αναφορά στις τοπικές αρχές και να υπάρχει ετοιμότητα σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης.

Πλοία όπως τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία φορτίου χύδην και τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου μπορούν να μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες φορτίου. Συνηθίζεται μάλιστα, το φορτίο αυτό να προορίζεται για πλήθος λιμένων και όχι για ένα συγκεκριμένο προορισμό. Εκτός αυτού, πλέον υπάρχουν πλοία τεράστιων διαστάσεων, όπως τα VLCC και τα ULCC, τα οποία δεν δύνανται να ελλιμενιστούν σε μικρά λιμάνια, λόγω περιορισμών βυθίσματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται STS Transfers.

Προφανώς, εκτός των φυσικών περιορισμών που προαναφέρθηκαν, η μεταφορά φορτίου από πλοίο σε πλοίο δίνει τη δυνατότητα στο πλοίο που μεταφέρει το φορτίο να μην καταπλεύσει σε λιμάνι, γεγονός που την κάνει ιδιαίτερα οικονομική καθώς εκμηδενίζονται τα κόστη ελλιμενισμού. Επιπρόσθετα, με τη διαδικασία αυτή μειώνεται ο χρόνος πρόσδεσης και γενικότερα επιτρέπεται η γρηγορότερη ολοκλήρωση διαδρομής του πλοίου. Επομένως, όπως είναι φυσικό, ένας επιπλέον παράγοντας που οδηγεί σε STS μεταφορές είναι η εξοικονόμηση κεφαλαίου.

Εκτός των παραπάνω, πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη διαδικασία ενέχει κινδύνους, καθώς μπορεί να υπάρξουν σημαντικές φθορές στα συμμετέχοντα πλοία σε περίπτωση ατυχήματος. Εκτός αυτού, αν δεν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες και σωστή προετοιμασία, είναι πιθανό να υπάρξει απώλεια φορτίου και, σε περίπτωση πετρελαιοφόρων πλοίων, πρόκληση πυρκαγιάς. Για τους λόγους αυτούς, συνάγεται προηγουμένως ένα πλάνο, το οποίο εμπεριέχει όλες τις αναγκαίες πληροφορίες ώστε να ολοκληρωθεί με ασφάλεια η διαδικασία μεταφοράς φορτίου μεταξύ των δύο πλοίων.

1.2 Πλάνο Διεξαγωγής Μεταφοράς Φορτίου Από Πλοίο Σε Πλοίο - STS Transfer Operation Plan

Ένα πλάνο διεξαγωγής μεταφοράς φορτίου από πλοίο σε πλοίο (STS Transfer Operation Plan) είναι συγκεκριμένο για κάθε πλοίο και εμπεριέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και διαδικασίες που απαιτούνται για την ασφαλή διεξαγωγή της STS μεταφοράς φορτίου. Παράλληλα, αποτελεί ένα υποσύνολο του Safety Management System (SMS) του πλοίου, επομένως οι στόχοι της διαχείρισης ασφάλειας (International Safety Management - ISM) έχουν εφαρμογή και στο STS Operation Plan.

Το πλάνο για την διεξαγωγή της μεταφοράς ολοκληρώνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών 40 και 41 του Κεφαλαίου 8 του Παραρτήματος I της MARPOL και αποτελείται από τρία τμήματα:

- **Τμήμα Α:** εμπεριέχει τα κυριότερα έγγραφα για την τυποποιημένη διαδικασία STS μεταφοράς φορτίου, καθώς και συγκεκριμένες οδηγίες για το πλήρωμα, ώστε να ολοκληρωθεί ασφαλώς η διαδικασία.
- **Τμήμα Β:** εμπεριέχει λειτουργικές λίστες και λίστες ασφάλειας, σε συνδυασμό με άλλα δευτερευούσης σημασίας στοιχεία που σχετίζονται με τη διαδικασία.
- **Τμήμα Γ:** αποτελεί ένα βιβλίο ατομικών καταγραφών, σχετικών με το εν λόγω πλοίο, που λειτουργεί ως οδηγός.

1.2.1. Γενικές απαιτήσεις για πλοία που συμμετέχουν σε STS μεταφορά φορτίου.

- **Άτομο Με Γενικό Γνωμοδοτικό Έλεγχο - Person In Overall Advisory (POAC)**

Η μεταφορά φορτίου μεταξύ δύο πλοίων θα πρέπει να είναι υπό τον γνωμοδοτικό έλεγχο ενός ατόμου που ελέγχει και αποφασίζει για τη διαδικασία πρόσδεσης και απομάκρυνσης. Το ρόλο αυτό μπορεί να παίξει

ένας εκ των πλοιάρχων των συμμετεχόντων πλοίων, ωστόσο συνηθίζεται να προτιμάται ειδικός επιθεωρητής με εμπειρία σε αντίστοιχες διαδικασίες. Το άτομο αυτό πρέπει να έχει τις κατάλληλες γνώσεις ώστε να φέρει εις πέρας το έργο αυτό. Συγκεκριμένα, πρέπει να έχει εμπειρία σε αντίστοιχες διαδικασίες με πλοία ίδιου τύπου με αυτά που θα συμμετέχουν καθώς και εμπειρία στην φόρτωση και εκφόρτωση των εν λόγω πλοίων. Παράλληλα, οφείλει να γνωρίζει καλά την γεωγραφική περιοχή της μεταφοράς και να γνωρίζει τεχνικές καθαρισμού σε περίπτωση ατυχήματος. Γενικότερα, πρέπει να έχει άριστη γνώση του πλάνου διεξαγωγής μεταφοράς φορτίου από πλοίο σε πλοίο.

Το άτομο αυτό, έχει, όπως είναι αντιληπτό πολύ σημαντικές υποχρεώσεις. Αναλυτικότερα, πρέπει να εξασφαλίσει ότι η μεταφορά φορτίου γίνεται σε συμφωνία με το πλάνο διεξαγωγής και με τους κανονισμούς που αφορούν τη διαδικασία (*έντυπο Ship-to-ship transfer guide*). Επιπρόσθετα, ενημερώνει τους πλοιάρχους για κάθε κρίσιμη φάση της μεταφοράς, της πρόσδεσης και της απομάκρυνσης των πλοίων και διαβεβαιώνει πως υπάρχουν σε ετοιμότητα όλα τα απαραίτητα μέσα καθαρισμού σε περίπτωση ατυχήματος. Πριν την πλεύριση του πλοίου, αναγκαίο είναι να ενημερώσει τις τοπικές αρχές και να διασφαλίσει την επικοινωνία μεταξύ των δύο πλοίων. Παράλληλα, πολύ σημαντικό είναι να έχουν γίνει κατανοητές οι αρμοδιότητες κάθε μέλους του πληρώματος και να έχουν ολοκληρωθεί όλοι οι έλεγχοι που απαιτούνται. Τέλος, μετά το πέρας της μεταφοράς φορτίου, το άτομο με γνωμοδοτικό έλεγχο επιβλέπει τους απαραίτητους ελέγχους και καθοδηγεί την απομάκρυνση των πλοίων. Εκτός αυτών, στην αρμοδιότητα του είναι να ελέγξει τα συστήματα πρόσδεσης και τα παραβλήματα είναι κατάλληλα, αλλά και να αναβάλει ή να ακυρώσει τη διαδικασία μεταφοράς σε οποιαδήποτε έκτακτη ανάγκη.

- **Περιοχή Μεταφοράς**

Η περιοχή στην οποία θα γίνει η διαδικασία μεταφοράς πρέπει να επιλεγεί ειδικά ούτως ώστε να εξασφαλίζει την ασφαλή ολοκλήρωση της, σε συνεργασία με τις ανάλογες τοπικές αρχές. Παρακάτω, θα αναφερθούν όλοι οι παράμετροι οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη, ειδικά όταν δεν υπάρχει συγκεκριμένη εθνική νομοθεσία.

Αρχικά, εξετάζεται η πυκνότητα της κυκλοφορίας στη συγκεκριμένη περιοχή και η απόσταση από λογιστική βοήθεια στη στεριά. Παράλληλα, αναγκαίο είναι να καλύπτονται οι φυσικοί περιορισμοί της μεταφοράς. Συγκεκριμένα, πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος και μεγάλο βάθος, ώστε να γίνουν οι

απαραίτητοι ελιγμοί κατά την πρόσδεσης και απομάκρυνση. Εκτός αυτού, πρέπει να υπάρχει κατάλληλο έδαφος για ασφαλή αγκυροβόληση. Εξίσου σημαντικό είναι να υπάρχουν δελτία πρόβλεψης καιρού διαθέσιμα τόσο παρόντα όσο και μελλοντικά. Τέλος, επιλέγονται θαλάσσιες περιοχές οι οποίες δεν συνορεύουν ούτε είναι κοντά σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές.

- **Ειδοποίηση Τοπικών Αρχών**

Κάθε πλοίο το οποίο σκοπεύει να συμμετάσχει σε μεταφορά φορτίου στη θάλασσα, οφείλει να ενημερώσει τις τοπικές αρχές, είτε την αποκλειστική οικονομική ζώνη της χώρας μέλους του IMO, στην οποία θα πραγματοποιηθεί η μεταφορά, 48 ώρες νωρίτερα. Σε εξαιρετικές καταστάσεις, βέβαια, επιτρέπεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας σε λιγότερο από 48 ώρες, ωστόσο πρέπει να ενημερωθούν οι αρχές με την πρώτη ευκαιρία. Η ειδοποίηση που θα σταλεί στις τοπικές αρχές πρέπει να εμπεριέχει τα παρακάτω σημεία, σύμφωνα με τον διεθνείς κανονισμούς:

1. Όνομα, σημαία, αριθμός IMO και εκτίμηση χρόνου άφιξης των συμμετεχόντων πλοίων
2. Ημερομηνία, ώρα και γεωγραφική τοποθεσία στην εκκίνηση της προγραμματισμένης μεταφοράς
3. Αν η επικείμενη μεταφορά φορτίου γίνει με τα πλοία σε αγκυροβόλιο ή εν κινήσει
4. Προγραμματισμένη διάρκεια της διαδικασίας
5. Στοιχεία του εξειδικευμένου σε STS Transfers παρόχου υπηρεσιών είτε του προσώπου με ολικό γνωμοδοτικό έλεγχο (POAC) καθώς και τηλέφωνα επικοινωνίας μαζί του
6. Βεβαίωση ότι υπάρχει και στα δύο συμμετέχοντα πλοία πλάνο για τη μεταφορά φορτίου
7. Σε περίπτωση δεξαμενόπλοιων, ο τύπος καθώς και η ποσότητα του πετρελαίου που θα μεταφερθεί.

Σε περίπτωση που αλλάξουν τα δεδομένα είτε η ώρα τη μεταφοράς κατά 6 ώρες ή περισσότερο, πρέπει να συνταχθεί νέα ειδοποίηση ανανεωμένη με όλα τα νέα στοιχεία και η τελική προσδοκώμενη ώρα και να σταλεί στις αντίστοιχες τοπικές ναυτικές αρχές.

Σε περίπτωση που η μεταφορά γίνεται σε διεθνή ύδατα, τα συμμετέχοντα πλοία οφείλουν να εκπέμψουν μέσω ασυρμάτου, ένα ναυσιπλοϊκό μήνυμα προειδοποίησης, όπου θα δηλώνει τα παρακάτω:

1. Το όνομα και την εθνικότητα των πλοίων που συμμετέχουν στη μεταφορά
2. Τη γεωγραφική θέση της διαδικασίας και γενικές πορείες
3. Τη φύση της διαδικασίας
4. Την προγραμματισμένη ώρα έναρξης καθώς και τη διάρκεια της μεταφοράς
5. Αίτηση για μεγάλη θέση αγκυροβολίας και την ανάγκη για προσοχή κατά την πλοήγηση στην περιοχή της μεταφοράς

1.2.2. Πλάνο μεταφοράς φορτίου στη θάλασσα

Κάθε πλοίο το οποίο πρόκειται να συμμετάσχει σε μεταφορά φορτίου STS, οφείλει να έχει ένα πλάνο διεξαγωγής της διαδικασίας, εγκεκριμένο από τη σχετική εθνική ναυτική διοίκηση, το οποίο θα υπαγορεύει λεπτομερώς πως θα ολοκληρωθεί η μεταφορά. Το εν λόγω πλάνο πρέπει να είναι γραμμένο στη γλώσσα εργασίας του πλοίου και να είναι πλήρως κατανοητό από τους αξιωματικούς του σκάφους.

Ένα αντίγραφο του παραπάνω πλάνου πρέπει να υπάρχει στη γέφυρα, το μηχανοστάσιο και το κέντρο ελέγχου μεταφοράς φορτίου και να περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

1. Μία βήμα προς βήμα αναλυτική περιγραφή ολόκληρης της STS μεταφοράς φορτίου
2. Περιγραφή της διαδικασίας πρόσδεσης και απομάκρυνσης, συμπεριλαμβανομένων διαγραμμάτων όπου κρίνεται απαραίτητο
3. Ανάλυση της μεταφοράς φορτίου και έρματος, ενόσω το πλοίο είναι είτε αγκυροβολημένο είτε σε πορεία, καθώς και πληροφορίες που αφορούν σε:
 - i. Σύνδεση και λειτουργία μάνικας πολλαπλών σημείων σύνδεσης και για τις μάνικες φορτίου, σε περίπτωση πετρελαιοφόρων, είτε τη λειτουργία των γερανών σε περίπτωση φορτηγού πλοίου φορτίου χύδην
 - ii. Τους τίτλους, θέσεις εργασίας και καθήκοντα όλων των συμμετεχόντων μελών των πληρωμάτων
 - iii. Περιγραφή διαδικασίας έκτακτης διακοπής της μεταφοράς και συστήματα επικοινωνίας για ταχεία απεμπλοκής
 - iv. Αναφορά ατυχήματος και μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε περίπτωση ατυχήματος

- v. Περιγραφή σχεδίου εκτάκτου ανάγκης, το οποίο πληροί όλες τις προϋποθέσεις των κανονισμών
- vi. Πλάνο φορτίου και έρματος

Οι πλοίαρχοι των δύο πλοίων πρέπει να μεριμνήσουν ώστε ότι το πλάνο διεξαγωγής της μεταφοράς είναι επικαιροποιημένο και ότι όλα τα μέλη του πληρώματος ακολουθούν τις οδηγίες και τα βήματα που περιγράφονται σε αυτό. Επιπρόσθετα, οι κανονισμοί επιβάλλουν αρχεία καταγραφής της μεταφοράς πρέπει να κρατούνται στο πλοίο για 3 χρόνια και να είναι άμεσα διαθέσιμα για επιθεώρηση.

1.2.3. Μέσα Επικοινωνίας

Όπως είναι επόμενο, καλές και αξιόπιστες επικοινωνίες μεταξύ των συμμετεχόντων πλοίων είναι καίριας σημασίας για την ασφαλή και επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας μεταφοράς φορτίου στη θάλασσα. Προκειμένου να αποφευχθούν παρεξηγήσεις ή πιθανόν λάθος μεταφράσεις εντολών, η επικοινωνία γίνεται σε μια κοινή γλώσσα, την οποία προαποφασίζουν από κοινού οι πλοίαρχοι των σκαφών, την οποία κατέχουν καλά τα μέλη των πληρωμάτων.

Τα δύο σκάφη πρέπει να εγκαθιδρύσουν επικοινωνία όσο νωρίτερα είναι δυνατό, ώστε να σχεδιάσουν το εγχείρημα και να επιβεβαιώσουν την περιοχή της μεταφοράς. Σε αυτή την αρχική αυτή επικοινωνία, το άτομο με γενικό γνωμοδοτικό έλεγχο (POAC) πρέπει επίσης να επιβεβαιωθεί. Εκτός αυτού, λεπτομέρειες του εγχειρήματος συμπεριλαμβανομένης της προσέγγισης, της πρόσδεσης, της μεταφοράς φορτίου και της απομάκρυνσης πρέπει να συζητηθούν και να συμφωνηθούν, μαζί με την από κοινού χρήση λειτουργικών δικλίδων ασφαλείας, όπως αυτές αναλύονται στους κανονισμούς.

Στο προσωπικό με κρίσιμες για τη μεταφορά θέσεις (POAC, κέντρο ελέγχου φορτίου, μηχανοστάσιο) πρέπει να παρέχονται αξιόπιστα μέσα επικοινωνίας (ασύρματοι - walkie talkies) για όλη τη διάρκεια της μεταφοράς.

Σε περίπτωση που, λόγω τεχνικού προβλήματος, υπάρξει παύση επικοινωνίας κατά τη διάρκεια ενός ελιγμού, ο ελιγμός αυτός προτείνεται να διακοπεί, αν είναι κατάλληλο και ασφαλές, και οι ακόλουθες κινήσεις από κάθε πλοίο πρέπει να επισημανθούν με τα κατάλληλα ηχητικά σήματα, όπως υποδεικνύεται από την Σύμβαση Διεθνών Κανονισμών για Αποφυγή Συγκρούσεων στη Θάλασσα (COLREG, 1972). Σε περίπτωση πλήρους κατάρρευσης των μέσων επικοινωνίας ενός σκάφους, πρέπει να ηχήσει

προσυμφωνημένο σήμα κινδύνου. Με το άκουσμα του σήματος αυτού, η μεταφορά φορτίου πρέπει να σταματά άμεσα και να συνεχιστεί μόνο όταν τα μέσα επικοινωνίας έχουν επανέλθει.

1.2.4 Εξοπλισμός

Προηγουμένως της εκκίνησης της διαδικασίας, οι δύο πλοίαρχοι πρέπει να ανταλλάξουν πληροφορίες που αφορούν στην διαθεσιμότητα, στην ετοιμότητα και στην συμβατότητα του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη μεταφορά.

- **Παραβλήματα**

Τα δύο πλοία πρέπει να έχουν προμηθευτεί με παραβλήματα (κύρια και δευτερεύοντα). Τα παραβλήματα αυτά πρέπει να είναι ικανά να αντέξουν τις αναμενόμενες ενέργειες από την πρόσδεση και να κατανέμουν όμοια τις δυνάμεις στις κατάλληλες περιοχές της γάστρας και των δύο πλοίων. Η προτεινόμενη και βέλτιστη πρακτική είναι ότι η βαλβίδα σε πνευματικά παραβλήματα πρέπει να ελέγχεται σε χρονικά διαστήματα που δεν υπερβαίνουν τα δύο έτη.

Η πλεύριση δύο πλοίων προτείνεται να ολοκληρώνεται με τη βοήθεια εξειδικευμένου παρόχου υπηρεσιών πλεύρισης. Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες παρέχουν ειδικού τύπου πλοίο που συμβάλει στην τοποθέτηση των παραβλημάτων στα αντίστοιχα πλοία.

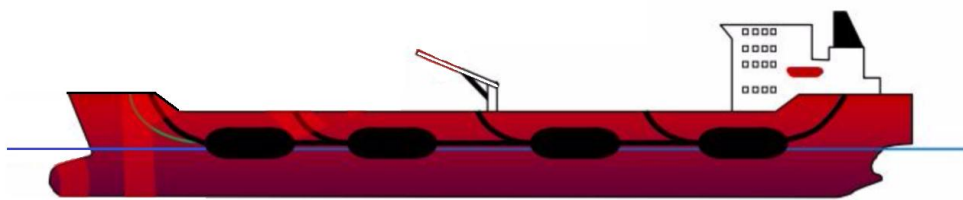
Τα παραβλήματα προστασίας τα οποία χρησιμοποιούνται στην διαδικασία μεταφοράς φορτίου από πλοίο σε πλοίο υπεράκτια χωρίζονται, όπως προαναφέρθηκε, σε δυο κατηγορίες:

- **Κύρια Παραβλήματα (*Primary Fenders*)** : Τοποθετούνται κατά μήκος του παράλληλου τμήματος του πλοίου για να προσφέρουν μέγιστη δυνατή προστασία, ενώ είναι τοποθετημένα παραπλεύρως. Τα κύρια παραβλήματα μπορεί να είναι πνευματικού τύπου και να εμπεριέχουν αφρό (*foam filled*, 0.5 έως 0.8 kg/cm²) ή τύπου χαμηλής πίεσης και πρέπει να κατασκευάζονται, να ελέγχονται και να συντηρούνται σε συμφωνία με τα διεθνή και βιομηχανικά πρότυπα. Συγκεκριμένα, το Διεθνές Πρότυπο ISO 17357-2:2014, προσδιορίζει το υλικό, την απόδοση και τις διαστάσεις ενός επιπλέοντος πνευματικού τύπου παραβλήματος από καουτσούκ, τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για πλεύριση και ελλιμενισμό πλοίου με άλλο πλοίο ή κατασκευή αγκυροβολίας. Επιπρόσθετα, προσδιορίζει τις διαδικασίες δοκιμής και επιθεώρησης για τα παραβλήματα.

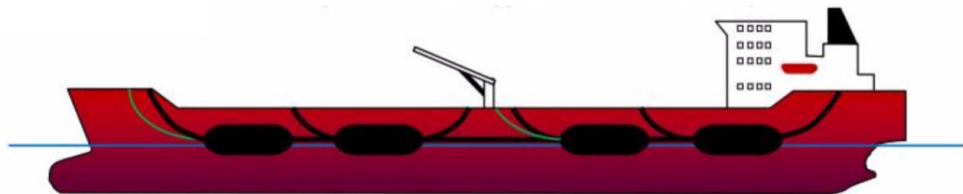
- **Δευτερεύοντα Παραβλήματα (Secondary Fenders) :** Χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν την πρύμνη και την πλώρη από ακούσια επαφή, σε περίπτωση που τα πλοία χάσουν την ευθυγράμμιση τους κατά τη διάρκεια της πρόσδεσης και απομάκρυνσης τους. Τα σημεία στα οποία είναι πιθανό να συμβεί η εν λόγω επαφή, τα οποία μπορεί να είναι σχετικά ψηλά εξαιτίας της μορφής των γαστρών, πρέπει να προσδιορίζονται προκαταβολικά της πλεύρισης ούτως ώστε τα δευτερεύοντα παραβλήματα να τοποθετούνται αναλόγως. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα σημεία ασφάλισης των δευτερευόντων παραβλημάτων, τα οποία μπορεί να μην είναι γειτονικά με δέστρες και ανυψωτικούς μηχανισμούς. Είναι σημαντικό τα δευτερεύοντα παραβλήματα να είναι ασφαλισμένα, ενώ είναι πιθανό να χρειαστεί μετακίνηση τους πριν την απομάκρυνση, σε περίπτωση που τα πιθανά σημεία επαφής αλλάξουν εξαιτίας της μεταβολής του ύψους εξάλων των πλευρισμένων πλοίων. Τα δευτερεύοντα παραβλήματα μπορεί να εμπεριέχουν είτε αέρα είτε αφρό. Ωστόσο, μπορεί να είναι συμφέρουσα η ύπαρξη ελαφρών παραβλημάτων, καθώς όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να χρειαστεί να ανυψωθούν αρκετά πάνω από την επιφάνεια του νερού και να βρίσκονται σε θέσεις με περιορισμένη πρόσβαση σε ανυψωτικό εξοπλισμό και σημεία στήριξης. Είναι, επίσης, επιθυμητό να είναι ευκόλως μετακινήσιμα για να αντιμετωπισθεί κάθε πιθανή ακούσια επαφή.

Τα παραβλήματα μπορούν να στερεωθούν σε οποιοδήποτε εκ των δύο πλοίων. Παρόλα αυτά, η επαφή σε κάποιο απροστάτευτο σημείο γάστρας είναι λιγότερο πιθανή στην περίπτωση που τα παραβλήματα στερεώνονται στο πλοίο που κάνει τον ελιγμό κατά τη διαδικασία της πλεύρισης, επομένως προτιμάται το ελισσόμενο πλοίο. Για τα παραβλήματα χρησιμοποιείται ένα καλώδιο ανά βαρούλκο.

Όταν προσαρτηθούν τα παραβλήματα στο ελισσόμενο πλοίο, τα κύρια παραβλήματα πρέπει να τοποθετηθούν ένα στην αρχή και ένα στο τέλος του παράλληλου τμήματος, με αντίστοιχες επιπρόσθετες μονάδες ενδιάμεσα. Η χορδή των παραπετασμάτων μπορεί να κατασκευασθεί ως ένα προκαθορισμένο μήκος. Διαφορετικά, σε κάποιες διαδικασίες πλεύρισης όπου χρησιμοποιούνται τέσσερα (4) παραπετάσματα, έχει βρεθεί ότι είναι επωφελής η τοποθέτηση τους ανά δύο. Οι προαναφερθείσες επιλογές φαίνονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 1: Παραβλήματα στερεωμένα σε συνεχή χορδή



Εικόνα 2: Παραβλήματα στερεωμένα κατά ζεύγη

Εικόνα 1.1: Εναλλακτικοί Τρόποι Στερέωσης Παραβλημάτων

Με κάθε γκρουπ να είναι τοποθετημένο αρκετά πρόωραθεν είτε αρκετά πρύμνηθεν του παράλληλου τμήματος, μεγαλύτερη προστασία μπορεί να επιτευχθεί. Οι προσδέσεις των παραβλημάτων πρέπει να επιβλέπονται συχνά και να φροντίζονται όπως είναι απαραίτητο, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν είναι πολύ χαλαρά ούτε τεντωμένα. Το μήκος των σχοινιών πρέπει να είναι τέτοιο ώστε τα παραβλήματα να μπορούν να διανείμουν το μέγιστο αναμενόμενο φορτίο ανάμεσα στο παράλληλο τμήμα των δύο πλοίων.

- **Εξοπλισμός Πρόσδεσης**

Ο εξοπλισμός πρόσδεσης παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία μεταφοράς φορτίου, καθώς καλείται να εξασφαλίσει την ελαχιστοποίηση των σχετικών κινήσεων των πλοίων. Συγκεκριμένα, τα ρυμούλκια πρόσδεσης πρέπει να είναι ικανά να απορροφήσουν δυνάμεις που τυχόν αναπτύσσονται εξαιτίας των αποκρίσεων των πλοίων στην κατάσταση θάλασσας.

Μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί κατά την φάση σχεδιασμού είναι οι κάβοι να είναι από το ίδιο υλικό και να έχουν τις ίδιες φυσικές ιδιότητες.

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια της πρόσδεσης, είναι σημαντικό και τα δύο σκάφη να είναι εξοπλισμένα με καλής ποιότητας κάβους καθώς και επαρκώς δυνατά βαρούλκα, δέστρες και λοιπό σχετικό εξοπλισμό που αρμόζει στο συγκεκριμένο σκοπό. Παράλληλα, πρωτεύουσας σημασίας είναι να υπάρχουν

δέστρες και όκια για όλους τους κάβους, ώστε να αποφεύγεται η φθορά τους λόγω τριβής και η επαφή τους με τα παραβλήματα ή και τις γάστρες. Εκτός αυτού, πρέπει να σημειωθεί ότι οι δέστρες πρέπει να είναι κλειστού τύπου, εκτός από την περίπτωση όπου το ένα εκ των δύο πλοίων έχουν σημαντικά μεγαλύτερο ύψος εξάλων. Σε αυτή την περίπτωση, εξασφαλίζεται ότι ακόμα και ανοιχτές δέστρες θα είναι ικανές να ελέγχουν τα σχοινιά πρόσδεσης καθώς γίνεται η μεταφορά φορτίου και τα ύψη εξάλων μεταβάλλονται.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται μεταλλικά καλώδια είτε σχοινιά συνθετικών ινών με υψηλό μέτρο ελαστικότητας για την πρόσδεση των σκαφών, πρέπει να εφαρμόζεται στο τέλος των κάβων συνθετική ουρά, ώστε να παρέχεται η επιπρόσθετη ελαστικότητα που αποτελείται για το εγχείρημα. Εκτός αυτής της λύσης, συνηθίζεται η χρήση ειδικών συστημάτων ασφαλούς πρόσδεσης, που εξασφαλίζουν την όμοια κατανομή τάσεων στους κάβους. Σε κάθε περίπτωση, τα δύο σκάφη καλούνται να έχουν ένα ελάχιστο τεσσάρων ανθεκτικών σύνθετων ορμιδιών (βιλιά), κατά προτίμηση από σύνθετο υλικό που επιπλέει.

1.2.5 Προληπτικά Μέτρα Εναντίον Ρύπανσης, Ετοιμότητα σε Κατάσταση Κινδύνου και Μέτρα Εκτάκτου Ανάγκης

Κάθε μεταφορά φορτίου υπεράκτια πρέπει να σταματάει σε περίπτωση ενός επισφαλούς ή επικίνδυνου για το περιβάλλον γεγονότος, όπως η αστοχία των σχοινιών πρόσδεσης. Εκτός αυτού, άλλοι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή της διαδικασίας είναι η απότομη επιδείνωση των καιρικών συνθηκών, η ρύπανση της θάλασσας εξαιτίας απώλειας φορτίου και αστοχία σωληνώσεων σε περίπτωση δεξαμενόπλοιων.

Σε περίπτωση ανάγκης, υπάρχουν συγκεκριμένα μέτρα τα οποία πρέπει να έχουν παρθεί ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι τόσο για τα πλοία όσο και για το περιβάλλον. Αρχικά, η κύρια μηχανή και ο μηχανισμός πηδαλίου πρέπει να διατηρούνται σε ετοιμότητα, ενώ και το πλήρωμα πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμο για να σταματήσει τη διαδικασία σε περίπτωση ανάγκης. Παράλληλα, όλα τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται κατά τη μεταφορά πρέπει να ελέγχονται προηγουμένως. Επιπρόσθετα, αναγκαία κρίνεται η ύπαρξη επιπλέον κάβων σε περίπτωση αστοχίας των αρχικών. Τέλος, σημαντική είναι η εύκολη και άμεση πρόσβαση σε πυροσβεστικά μέσα, σε περίπτωση πυρκαγιάς, ιδιαίτερα κατά τη μεταφορά εύφλεκτων φορτίων.

Εκτός των παραπάνω μέτρων, σε περίπτωση ατυχήματος, πρέπει να υπάρξει άμεση αναφορά στους αξιωματικούς που ελέγχουν το φορτίο, οι οποίοι με τη σειρά τους ενημερώνουν το άτομο με γενικό γνωμοδοτικό έλεγχο. Επομένως, όλα τα άμεσα μέτρα πρέπει να ενεργοποιηθούν και να γίνει χρήση του πλάνου εκτάκτου ανάγκης. Η μεταφορά φορτίου πρέπει να παραμείνει σε αναστολή έως ότου υπάρξει συμφωνία των σχετικών προσώπων και αρχών ότι είναι ασφαλές να συνεχιστεί η διαδικασία.

1.2.6 Αξιολόγηση Ρίσκου

Εξαιτίας της φύσης της διαδικασίας μεταφοράς φορτίου υπεράκτια και των πολλαπλών παραμέτρων που υπάρχουν, κρίνεται αναγκαίο να συντάσσεται αξιολόγηση ρίσκου (Risk Assessment), το αντικείμενο της οποίας πρέπει να εμπεριέχει πληροφορίες που αφορούν στα παρακάτω:

1. Επαρκής εκπαίδευση, προετοιμασία ή πιστοποίηση του προσωπικού
2. Επαρκής προετοιμασία των σκαφών για τη διαδικασία και επαρκής έλεγχος τους κατά τη διάρκεια της μεταφοράς
3. Κατανόηση σημάτων και εντολών
4. Επαρκής αριθμός πληρώματος που έχει ανατεθεί ο έλεγχος της μεταφοράς
5. Καταλληλότητα του πλάνου μεταφοράς φορτίου
6. Επάρκεια επικοινωνιών μεταξύ των πλοίων και των υπεύθυνων ατόμων
7. Προσοχή στη διαφορά ύψους εξάλων
8. Αναγνώριση ανάγκης για αναβολή της διαδικασίας σε περίπτωση επιδείνωσης των καιρικών και θαλάσσιων συνθηκών
9. Αρτιότητα των ναυσιπλοϊκών μέσων και μεθόδων

Με την αξιολόγηση αυτή επιτυγχάνεται ουσιαστικά η καλύτερη και εις βάθος κατανόηση των κινδύνων και επιτρέπεται ο καλύτερος σχεδιασμός της διαδικασίας. Επιπρόσθετα, έχει ως αποτέλεσμα την καταλληλότερη προετοιμασία του πληρώματος και του εξοπλισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ατυχήματος κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

1.3. Διεξαγωγή Μεταφοράς Φορτίου

1.3.1 Προετοιμασία Διαδικασίας - Ελιγμοί κατά την Προσέγγιση και Πρόσδεση Πλοίων

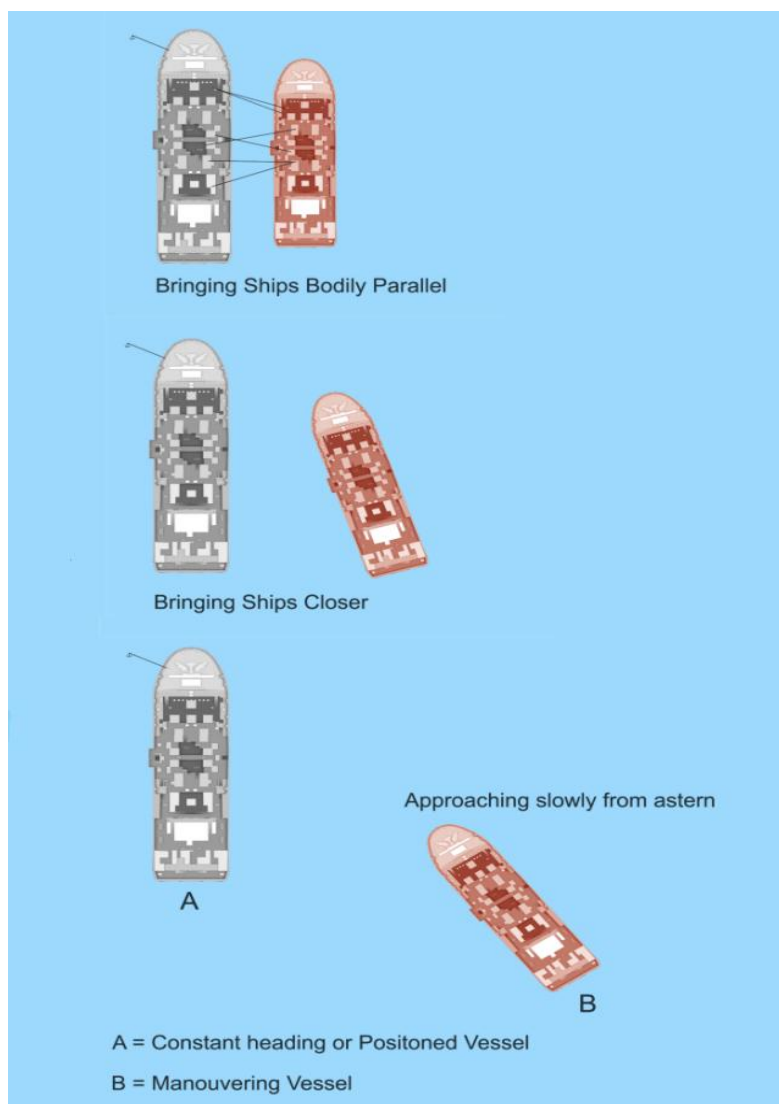
Η διαδικασία των ελιγμών, η προσέγγιση των σκαφών και η πρόσδεση τους συνηθίζεται να πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, εκτός αν τα πληρώματα που συμμετέχουν έχουν εμπειρία σε αντίστοιχους ελιγμούς κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε αυτή την περίπτωση, το κατάστρωμα, οι πλευρές των πλοίων και τα παραβλήματα πρέπει να είναι επαρκώς φωτισμένα.

Σε ορισμένες παράκτιες περιοχές, οι λιμενικές αρχές μπορεί να απαιτούν την ύπαρξη πιλότου. Σε αυτή την περίπτωση, ο ρόλος του πιλότου είναι να συμβουλευεί σε όλες τις εκφάνσεις των ελιγμών και των κινήσεων. Ωστόσο, οι πλοίαρχοι διατηρούν τον πλήρη έλεγχο των πλοίων τους.

Όπως προαναφέρθηκε, πριν αρχίσει η διαδικασία των ελιγμών, πρέπει να έχουν ακολουθηθεί συγκεκριμένα βήματα. Ειδικότερα, πρέπει να έχουν εδραιωθεί επικοινωνίες μεταξύ των δύο σκαφών, να έχουν γίνει οι απαραίτητοι έλεγχοι ασφαλείας και να έχει επιβεβαιωθεί ότι το προσωπικό έχει κατανοήσει πλήρως τα καθήκοντα του και έχει λάβει τις θέσεις του. Εν συνεχεία, αφού ο εξοπλισμός πρόσδεσης έχει προετοιμαστεί σύμφωνα με το σχέδιο πρόσδεσης και τα παραβλήματα έχουν τοποθετηθεί στις θέσεις τους, συμφωνούνται οι διαδικασίες που θα ακολουθηθούν σε περίπτωση που ηγήσει το σήμα εκτάκτου ανάγκης. Τέλος, επανελέγχεται το δελτίο καιρού για την περιοχή και τη διάρκεια της μεταφοράς, και έπειτα αρχίζει η διαδικασία των ελιγμών.

Η διαδικασία των ελιγμών και της μεταφοράς μπορεί να γίνει σε αγκυροβόλιο είτε σε πορεία. Το μεγαλύτερο εκ των δύο σκαφών παραμένει αγκυροβολημένο ή σε συγκεκριμένη σταθερή πορεία με σταθερή ταχύτητα, η οποία προτιμάται να είναι κοντά στους 5 κόμβους. Τοπικές συνθήκες υποδεικνύουν την κατάλληλη πορεία, σε σχέση με την περιοχή μεταφοράς και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. Εν συνεχεία, το μικρότερο πλοίο κάνει τους ελιγμούς και κινείται παράλληλα στο πρώτο. Συνίσταται το ελισσόμενο πλοίο να πλησιάζει και να προσδένεται στο πρώτο πλοίο με την αριστερή του πλευρά (port side) στη δεξιά πλευρά του μεγάλου πλοίου (starboard side), ενώ η κλίση προσέγγισης δεν πρέπει να είναι μεγάλη. Όταν τα δύο πλοία πλησιάσουν, η πορεία του πλοίου που κάνει τους ελιγμούς γίνεται παράλληλη με αυτή του σταθερά κινούμενου πλοίου. Στη συνέχεια τα πλοία πλησιάζουν, με συγκεκριμένους ελιγμούς που οδηγούν σε μείωση της απόστασης, με κατάλληλες κινήσεις του πηδαλίου και της μηχανής, μέχρι τα παραβλήματα να έρθουν σε επαφή. Η συγκεκριμένη διαδικασία

απεικονίζεται στην εικόνα 1.2, που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα. Σε κάθε περίπτωση, η αλληλεπίδραση των πλοίων κατά την προσέγγιση τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.



Εικόνα 1.2: Συνήθεις ελιγμοί πλοίων πριν από STS Operation

Σε περίπτωση που υπάρχει η όποια αμφιβολία από ένα εκ των δύο πλοιάρχων είτε από τον επιβλέποντα της διαδικασίας για την ασφάλεια του ελιγμού, η διαδικασία διακόπτεται. Γενικά, ανά πάσα στιγμή, κάθε πλοίο είναι υπεύθυνο να παρατηρεί τη διαδικασία και ώστε να αναφέρεται άμεσα οποιοσδήποτε κίνδυνος.

Συνήθως, κατά η διάρκεια των ελιγμών, η θέση των πλοίων είναι τέτοια ώστε η πορεία των ανέμων και των κυματισμών να βρίσκεται από την port side του μεγαλύτερου συνήθως ακίνητου πλοίου. Παρόλα αυτά, οι τοπικές συνθήκες και η εμπειρία μπορεί να υποδείξουν διαφορετική τακτική.

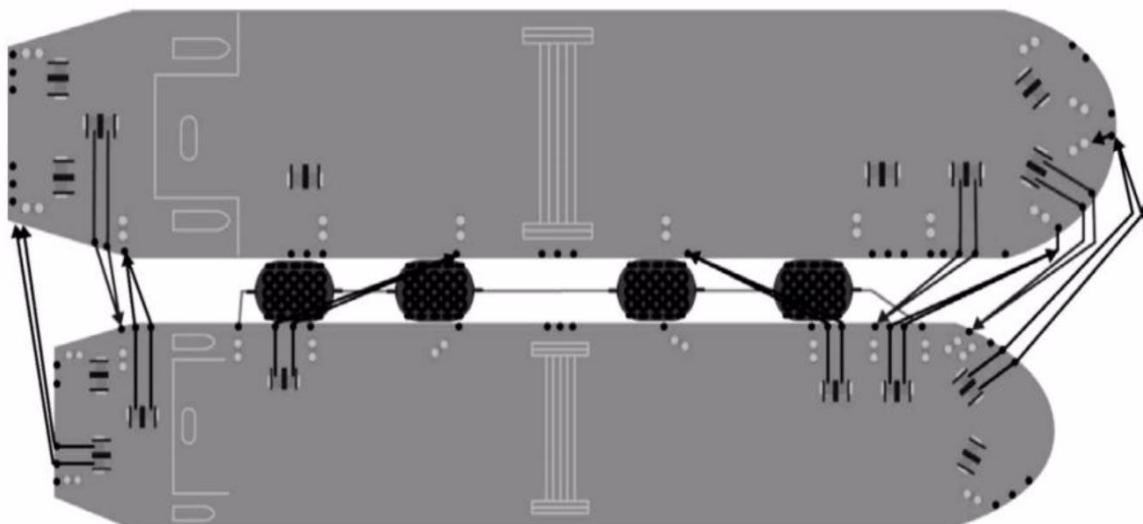
Όταν ολοκληρωθούν οι ελιγμοί και τα πλοία έχουν πλησιάσει, αρχίζει η διαδικασία της πρόσδεσης. Οι περισσότεροι πάροχοι υπηρεσιών μεταφοράς φορτίου έχουν ένα πρότυπο σχέδιο πρόσδεσης, που ταιριάζει στην εκάστοτε περιοχή μεταφοράς. Είναι σημαντικό να επιβεβαιωθεί ότι ο τρόπος πρόσδεσης επιτρέπει την κίνηση των πλοίων και τις αλλαγές ύψους εξάλων για να αποφεύγεται η υπερφόρτιση της, αλλά και ότι οι κάβοι δεν είναι τόσο μακριοί ώστε να επιτρέπονται μη αποδεκτές κινήσεις μεταξύ των πλοίων.

Η διαδικασία περάσματος των σχοινιών πρόσδεσης αποφασίζεται από τους πλοιάρχους. Συνήθως, οι κάβοι παρέχονται από το πλοίο που κάνει τους ελιγμούς, ωστόσο σε περίπτωση που το απαιτούν οι καιρικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται κάβοι και από τα δύο πλοία.

Σύμφωνα με τις τελευταίες διατάξεις των κανονισμών, ο απαιτούμενος αριθμός κάβων και για τα δύο συμμετέχοντα σκάφη πρέπει να είναι:

- Έξι σχοινιά πρόσδεσης στο πρόστεγο
- Δύο σχοινιά πρόσδεσης στο κύριο κατάστρωμα πλώραθεν
- Δύο σχοινιά πρόσδεσης στο κύριο κατάστρωμα πρύμνηθεν
- Τέσσερα σχοινιά πρόσδεσης στο επίστεγο

Μία τυπική απεικόνιση της πρόσδεσης δύο πλοίων κατά τη μεταφορά φορτίου υπεράκτια φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 1.3: Τυπικό πλάνο Πρόσδεσης για Φορτηγά Πλοία και Δεξαμενόπλοια

1.3.2 Μεταφορά του Φορτίου

Όπως προαναφέρθηκε, η μεταφορά φορτίου μπορεί να γίνει σε πορεία είτε σε αγκυροβόλιο. Στην πρώτη περίπτωση, πρέπει να υπάρχει επαρκής θαλάσσια έκταση και να μην παρακωλύεται η μεταφορά από ναυσιπλοϊκή κίνηση. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο παίζουν οι καιρικές συνθήκες και η κατάσταση της θάλασσας καθώς και η ύπαρξη δελτίων καιρού, αλλά πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάθε περίπτωση οι ταχύτητες πρέπει να είναι πολύ μικρές.

Το μεγαλύτερο πλοίο παραμένει σε πορεία με σταθερή μικρή ταχύτητα και συγκεκριμένη πορεία και το προηγούμενος ελισσόμενο πλοίο έχει τα παραβλήματα τοποθετημένα στο μέσον του πλοίου και παραμένει (με τις μηχανές σταματημένες) ως ρυμουλκούμενο πλοίο. Για να ελαχιστοποιηθούν τα φορτία ρυμούλκησης στην πρόσδεση, το σκάφος με σταθερή ταχύτητα πρέπει να αλλάζει τις στροφές της μηχανής με μέτρο, μεταβάλλοντας την ταχύτητα σταδιακά. Η επιλεχθείσα πορεία και ταχύτητα πρέπει να έχει προαποφασισθεί από τους δύο πλοιάρχους και τον υπεύθυνο της διαδικασίας, ώστε να οδηγεί σε ελάχιστες σχετικές κινήσεις μεταξύ των πλοίων και τις ταλαντώσεις στο κενό μεταξύ των γαστρών.

Υπό αυτές τις συνθήκες, καθώς τα πλοία είναι προσδεμένα μεταξύ τους ως μονάδα, η ασφαλής πλοήγηση και η αποφυγή σύγκρουσης είναι συνήθως αρμοδιότητα του σταθερά κινούμενου πλοίου. Μπορεί, όμως, να είναι καθήκον του ατόμου με γενικό γνωμοδοτικό έλεγχο που βρίσκεται στο άλλο πλοίο. Τα δύο πλοία μπορούν τότε να πορευτούν ελεύθερα, δεδομένου ότι οι συνθήκες είναι κατάλληλης και το μέγεθος της περιοχής μεταφοράς επαρκές. Η χρήση αυτού του μοντέλου μεταφοράς φορτίου στη θάλασσα απαιτεί συνεχή έλεγχο από τις γέφυρες και των δύο πλοίων.

Στην δεύτερη περίπτωση, το ένα εκ των δύο πλοίων βρίσκεται σε αγκυροβόλιο, σε μία προκαθορισμένη θέση. Η άγκυρα βρίσκεται από την αντίθετη πλευρά από αυτή που πρόκειται να δέσει το δεύτερο πλοίο. Η διαδικασία πρόσδεσης μπορεί να ξεκινήσει μόνο όταν το πλοίο σε αγκυροβόλιο βρίσκεται σε σταθερή κλίση σε σχέση με την πορεία του θαλάσσιου ρεύματος και των ανέμων.

Ο πλοίαρχος του αγκυροβολημένου πλοίου πρέπει να διασφαλίσει ότι η άγκυρα μπορεί να κρατήσει και τα δύο σκάφη. Η διαδικασία πρόσδεσης είναι παρόμοια με αυτή της πρόσδεσης σε σταθερή προβλήτα. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να παρθεί υπόψη στην Αξιολόγηση Ρίσκου και η πιθανή ανάγκη για ρυμούλκηση του προηγούμενου ελισσόμενου πλοίου.

Σε αυτό το μοντέλο μεταφοράς, πρέπει να υπάρχει συνεχής παρατήρηση πλώρα του αγκυροβολημένου πλοίου ώστε να αποφευχθεί η οριζόντια στροφική ταλάντωση (yaw). Σε περίπτωση που υπάρχουν τέτοιες κινήσεις πρέπει να ενημερωθεί άμεσα το δεύτερο πλοίο, ενώ όταν η ταλάντωση είναι εντονότερη προτείνεται η χρήση ρυμουλκού για να παραμείνει το αγκυροβολημένο πλοίο σε σταθερή πορεία. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμο ρυμουλκό, καθυστέρηση της διαδικασίας πρέπει να εκτιμηθεί.

Όταν προσεγγίζεται πλοίο σε αγκυροβόλιο, η συνήθης τακτική είναι να επιλέγεται μεγαλύτερη γωνία προσέγγισης, ιδιαίτερα όταν δεν είναι δυνατή η αρωγή ρυμουλκού, ώστε να αποφευχθεί επαφή σε περίπτωση που το αγκυροβολημένο πλοίο ταλαντωθεί οριζόντια ξαφνικά. Αυτό το μοντέλο επιλέγεται όταν υπάρχει περιορισμένη θαλάσσια έκταση για τη μεταφορά, ειδικά όταν υπάρχει συνδρομή ρυμουλκού είτε όταν το πλοίο που κάνει τους ελιγμούς διαθέτει έλικα πηδαλιουχίας (bow thruster).

Στη συνέχεια και καθ'όλη τη διάρκεια της μεταφοράς του φορτίου, αρχίζει η μεταφορά του φορτίου, αφού προηγουμένως υπάρχει συνεννόηση από τους δύο υπεύθυνους στα κέντρα ελέγχου φορτίων των πλοίων. Η μεταφόρτωση γίνεται με αργό ρυθμό ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Ο ρυθμός είναι ακόμα χαμηλότερος όταν οι χώροι φορτίου του πλοίου που δέχεται το φορτίο, περάσουν ένα συγκεκριμένο όριο και πλησιάζουν την πλήρωση τους. Κατά τη μεταφορά, πρέπει να γίνονται τακτικοί έλεγχοι (με μεσοδιάστημα της τάξης των 60 λεπτών) ρυθμού μεταφόρτωσης και συγκρίσεις και από τα δύο πλοία και να κρατούνται σε αρχείο. Οποιαδήποτε διαφορά ή ανωμαλία πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά, και αν είναι απαραίτητο, η μεταφόρτωση σταματά έως ότου να επιλυθούν οι διαφορές.

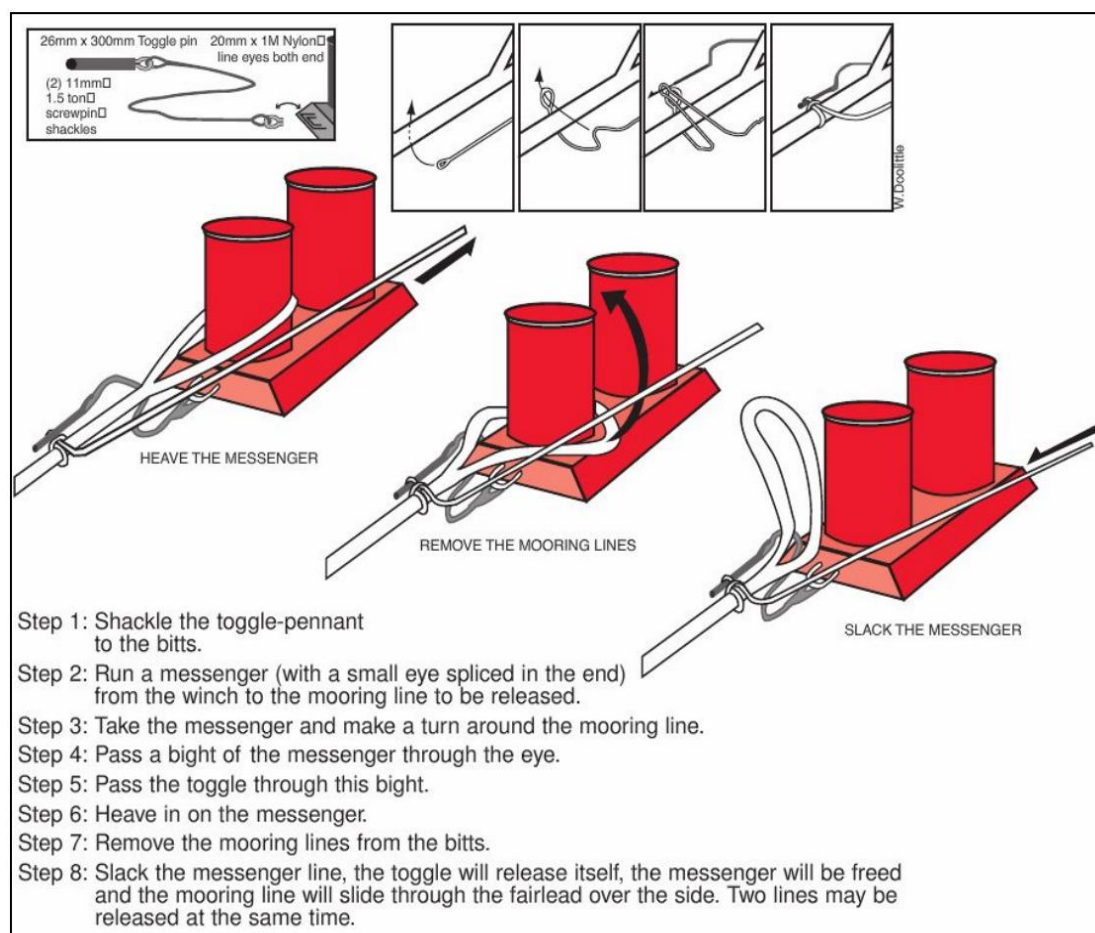
Εκτός των παραπάνω, παράλληλα με τη διαδικασία μεταφόρτωσης, κατάλληλες φορτοεκφορτώσεις έρματος και από τα δύο πλοία είναι απαραίτητες, ώστε να ελαχιστοποιήσουν τη διαφορά ύψους εξάλων μεταξύ των πλοίων, αλλά και για να αποφευχθεί μεγάλη διαμήκης κλίση πρύμνηθεν. Οποιοσδήποτε εθνικός ή τοπικός κανονισμός που αφορά στην εκφόρτωση έρματος πρέπει να υπακούγεται.

Τέλος, σημαντικό είναι να υπάρχει διαρκής προσοχή στα παραβλήματα και τις γραμμές πρόσδεσης, ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική φόρτιση και φθορά τους, ιδιαίτερα όταν αυτή προκαλείται από την αλλαγή του σχετικού ύψους εξάλων. Αν σε οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί η επανατοποθέτηση η προσαρμογή των γραμμών πρόσδεσης, αυτό πρέπει να γίνει μόνο κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες και μετά από συνεννόηση των δύο πληρωμάτων.

Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, πρέπει να υπάρξει ενημέρωση των αρχών για το πέρας της μεταφόρτωσης και του αναμενόμενου χρόνου απομάκρυνσης. Παράλληλα, καταγράφεται στα αρχεία η ώρα ολοκλήρωσης και αρχίζει η διαδικασία αποχώρησης.

1.3.3 Απομάκρυνση των Πλοίων

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να υπάρχει και κατά την απομάκρυνση των δύο πλοίων, ώστε να αποφευχθεί η επαφή. Αν και υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, η συνηθέστερη τακτική προτείνει την απελευθέρωση των γραμμών στο πρόστεγο. Εν συνεχεία λύνονται τα σχοινιά πρόσδεσης στο κύριο κατάστρωμα, πρώτα πλώραθεν και έπειτα πρύμνηθεν, και τέλος απελευθερώνονται οι γραμμές στο επίστεγο και το πλοίο είναι έτοιμο να αποχωρήσει. Ειδική μέριμνα χρειάζεται κατά το λύσιμο των τελευταίων γραμμών. Μία μέθοδος που μπορεί να διευκολύνει αυτή τη διαδικασία είναι η αυτή που απεικονίζεται παρακάτω (toggle pin technique):



Εικόνα 1.4: Απελευθέρωση με χρήση Toggle Pin Technique

Όταν έχουμε μεταφόρτωση σε αγκυροβόλιο, η διαδικασία απομάκρυνσης πρέπει να γίνει από άτομα με μεγάλη εμπειρία σε αντίστοιχες διαδικασίες, ενώ είναι ιδιαίτερης σημασίας η συνδρομή ρυμουλκού. Αν, κατά την κρίση του ατόμου με γενικό γνωμοδοτικό έλεγχο, ο καιρός και οι παρούσες συνθήκες το επιβάλλουν, το πλοίο που έχει αγκυροβολήσει πρέπει να σηκώσει την άγκυρα και η απομάκρυνση να γίνει εν κινήσει.

Σε περίπτωση που η διαδικασία της μεταφόρτωσης έχει γίνει υπό σταθερή ταχύτητα, είναι φυσικό να γίνει απομάκρυνση με τον άνεμο και το θαλάσσιο ρεύμα στα αριστερά του πλοίου. Έπειτα, το σύστημα των δύο πλοίων έρχεται με πορεία προς τον άνεμο και στη συνέχεια τα πλοία απομακρύνονται, εκτός αν οι τοπικοί περιορισμοί δεν το επιτρέπουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

2.1 Εισαγωγή

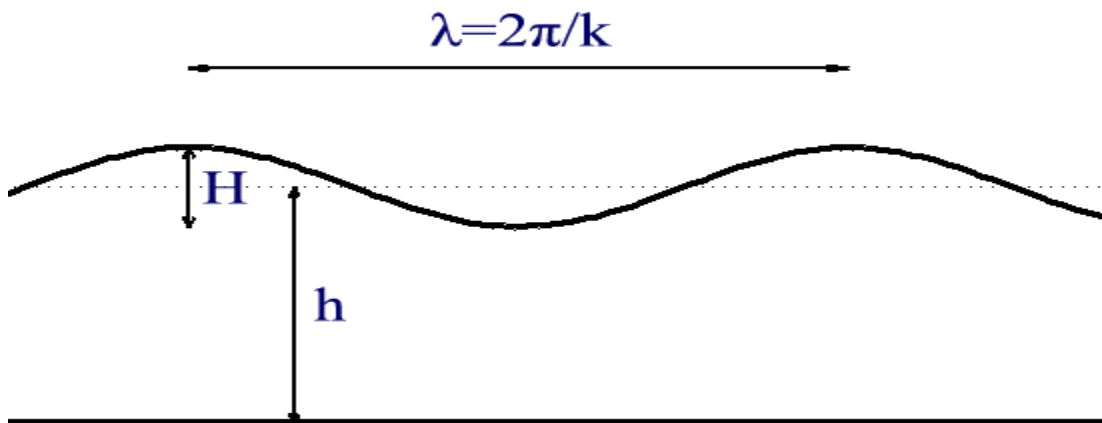
Ο όρος αξιοπλοΐα εμπεριέχει όλες εκείνες τις πτυχές σχεδίασης ενός πλοίου, οι οποίες επηρεάζουν την ικανότητα του να παραμένει ευσταθές, ανεξάρτητα των συνθηκών, και να φέρει εις πέρας την αποστολή του. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο η δύναμη, η ευστάθεια και η αντοχή ενός πλοίου, αλλά και οι παράγοντες εκείνοι που έχουν άμεση σχέση με τους κυματισμούς. Η αξιοπλοΐα, ή όπως είναι γνωστή με τον αγγλικό όρο *seakeeping*, αναλύει τις παραμέτρους αυτές, όπως οι κινήσεις του πλοίου, η ταχύτητα του, η δυναμική των κυματισμών και η σφυρόκρουση.

2.2 Απλοί Αρμονικοί Κυματισμοί

Θεωρούμε απλό αρμονικό κυματισμό με περίοδο T και μήκος κύματος λ , που μεταδίδεται σε θαλάσσιο νερό σταθερού βάθους h . Η κατεύθυνση μετάδοσης είναι παράλληλη με τον άξονα x . Η κυκλική συχνότητα ω και ο κυματαριθμός k του κυματισμού ορίζονται από τις σχέσεις $\omega = 2\pi / T$, και $k = 2\pi / \lambda$. Η μετατόπιση της ελεύθερης επιφάνειας έχει την μορφή:

$$\eta = a \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Όπου a είναι το πλάτος ταλάντωσης του κύματος. Το ύψος του κύματος H ορίζεται ως την κατακόρυφη απόσταση ανάμεσα σε μια κορυφή και μια κοιλάδα του κύματος. Για κυματισμούς του τύπου που περιγράφεται παραπάνω ισχύει ότι $H = 2 \cdot a$



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση απλού αρμονικού κυματισμού

Το δυναμικό της ροής έχει τη μορφή:

$$\Phi = \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega \cdot t) \cdot F(z)$$

Όπου $F(z)$ είναι συνάρτηση τέτοια ώστε να επαληθεύει την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{d^2 F}{dz^2} - k^2 \cdot F = 0$$

Η ανωτέρω διαφορική εξίσωση ικανοποιείται από οποιοδήποτε γραμμικό συνδυασμό των συναρτήσεων $e^{\pm kz}$. Η λύση πρέπει να ικανοποιεί την οριακή συνθήκη στον πυθμένα, όπου $z=-h$, επιλέγεται ο ακόλουθος γραμμικός συνδυασμός:

$$F = A \cdot \cosh(k(z+h)) + B \cdot \sinh(k(z+h))$$

Όπου A, B σταθερές. Η οριακή συνθήκη στον πυθμένα απαιτεί $B=0$, ενώ από την οριακή συνθήκη της ελεύθερης επιφάνειας προκύπτει για τη σταθερά A :

$$A = \frac{\alpha \cdot \omega}{k \cdot \sinh(k \cdot h)}$$

Κατά συνέπεια, το δυναμικό ροής δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Phi = \frac{\alpha \cdot \omega}{k} \cdot \frac{\cosh(k(z+h))}{\sinh(k \cdot h)} \cdot \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega \cdot t)$$

Αντικαθιστώντας τη δυναμική συνθήκη στην ελεύθερη επιφάνεια καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση:

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh(kh)$$

Η παραπάνω εξίσωση συνδέει τη συχνότητα και τον κυματαριθμό και είναι η εξίσωση διασποράς των θαλάσσιων κυματισμών.

Για μεγάλα βάθη σε σχέση με το μήκος κύματος ($kh \gg 1$), ισχύει ότι $\tanh(kh) \approx 1$, οπότε η προηγούμενη εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$\omega^2 = g \cdot k$$

Αντίθετα, για μικρά βάθη εν σχέσει με το μήκος του κύματος ($kh \ll 1$), έχουμε ότι $\tanh(kh) \approx kh$, οπότε η εξίσωση συχνότητα και κυματαριθμού παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$\omega^2 = g \cdot h \cdot k^2$$

Για μεγάλα μήκη κύματος παρατηρούμε ότι η ταχύτητα της μετάδοσης του κυματισμού είναι ίση με $(g \cdot h)^{1/2}$, επομένως δεν εξαρτάται από τον κυματαριθμό. Για μικρά μήκη κύματος, η ταχύτητα μετάδοσης του κυματισμού γίνεται $(g/k)^{1/2}$. Όπως φαίνεται από τη σχέση αυτή, σε αυτή την περίπτωση η ταχύτητα μετάδοσης του κυματισμού είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη ρίζα του κυματαριθμού. Στη γενική περίπτωση όπου $\tanh(\alpha) \leq \alpha$, έχουμε την ακόλουθη σχέση για την ταχύτητα μετάδοσης:

$$\frac{\omega}{k} \leq \sqrt{g \cdot h}$$

Οι όροι "βαθύ" και "ρηχό" νερό είναι σχετικοί με το πώς συγκρίνεται το μήκος του κύματος με το βάθος της θάλασσας και συγκεκριμένα με τις τιμές που παίρνει ο λόγος του μήκους κύματος προς το βάθος. Ειδικότερα, αν ισχύει ότι $\lambda/h > 62.8$, αναφερόμαστε σε ρηχό νερό, ενώ αν ισχύει $\lambda/h < 2$, έχουμε βαθύ

νερό. Κατά συνέπεια, μπορεί να έχουμε "ρηχά" νερά ακόμα και σε μεγάλα βάθη θάλασσας, αν έχουμε μεγάλες τιμές στα μήκη κύματος. Αντίστοιχα, σε μία πειραματική δεξαμενή μπορεί να παράγονται κυματισμοί με μήκος κύματος τέτοιο ώστε να αντιμετωπίζεται ως κατάσταση σε βαθύ νερό.

Με βάση τα προαναφερθέντα, για βαθύ νερό προκύπτει η εξής απλούστερη μορφή της έκφρασης του δυναμικού:

$$\Phi = \frac{\alpha \cdot \omega}{k} \cdot e^{kz} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Αντίστοιχα, σε ρηχό νερό, σύμφωνα με τις σχέσεις που παρουσιάζονται παραπάνω, καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση:

$$\Phi = \frac{\alpha \cdot g}{\omega} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, σε ρηχό νερό προκύπτει μονοδιάστατη ροή, παραλή με τον άξονα των x.

Το δυναμικό στο όριο του ρηχού νερού δεν εξαρτάται από το z, οπότε ικανοποιεί την εξίσωση του Laplace μόνο προσεγγιστικά, με την έννοια ότι εξαιτίας του μεγάλου μήκους κύματος, ο κυματαριθμός k παίρνει μικρές τιμές οπότε $\nabla^2 \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = -k^2 \Phi \approx 0$. Σε περίπτωση κυματισμών ρηχού νερού, δεν χρησιμοποιείται η εξίσωση δυναμικού αλλά οι εξισώσεις Euler.

Τροχιές Σωματιδίων

Οι ταχύτητες που προκαλεί το κύμα είναι περιοδικές χρονικά, όπως φαίνεται αν παραγωγίσουμε το δυναμικό ως προς x και z αντίστοιχα:

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \alpha \cdot \omega \cdot \frac{\cosh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$v = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \alpha \cdot \omega \cdot \frac{\sinh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Η μέση ταχύτητα είναι παντού μηδενική, και, κατά συνέπεια, τα σωματίδια του νερού εκτελούν μικρές ταλαντώσεις γύρω από τη θέση ισορροπίας τους.

Έστω (x,z) η θέση του σωματιδίου όταν δεν υπάρχει κύμα ($\alpha=0$), και $(x+\xi, z+\zeta)$ η στιγμιαία θέση του σωματιδίου όταν έχουμε κυματισμό. Εξ ορισμού, τα (ξ, ζ) ικανοποιούν τις ακόλουθες διαφορικές εξισώσεις:

$$\frac{d\xi}{dt} = \alpha \cdot \omega \cdot \frac{\cosh(k(z+\xi+h))}{\sinh(kh)} \cdot \cos(k \cdot (x+\xi) - \omega \cdot t)$$

$$\frac{d\zeta}{dt} = \alpha \cdot \omega \cdot \frac{\sinh(k(z+\zeta+h))}{\sinh(kh)} \cdot \sin(k \cdot (x+\zeta) - \omega \cdot t)$$

Οι εξισώσεις αυτές είναι μη γραμμικές ως προς τα ξ και ζ , και κατά συνέπεια η επίλυση τους είναι δυσχερής. Σύμφωνα με τις παραδοχές της γραμμικής θεωρίας όμως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι μετατοπίσεις των σωματιδίων είναι αρκετά μικρές, και κατά συνέπεια μπορούμε να τα αγνοήσουμε στο δεξί μέρος των παραπάνω εξισώσεων. Με αυτή την παραδοχή, ολοκληρώνοντας ως προς το χρόνο έχουμε ότι:

$$\xi = -\alpha \cdot \frac{\cosh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\zeta = \alpha \cdot \frac{\sinh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Επομένως, όπως φαίνεται από τις παραπάνω εξισώσεις, τα σωματίδια διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές με μεγάλο ημιάξονα παράλληλο με τον άξονα x και ίσο με $a \cdot \cosh(k(z+h))/\sinh(kh)$, και μικρό ημιάξονα παράλληλο με τον άξονα z και ίσο με $a \cdot \sinh(k(z+h))/\sinh(kh)$.

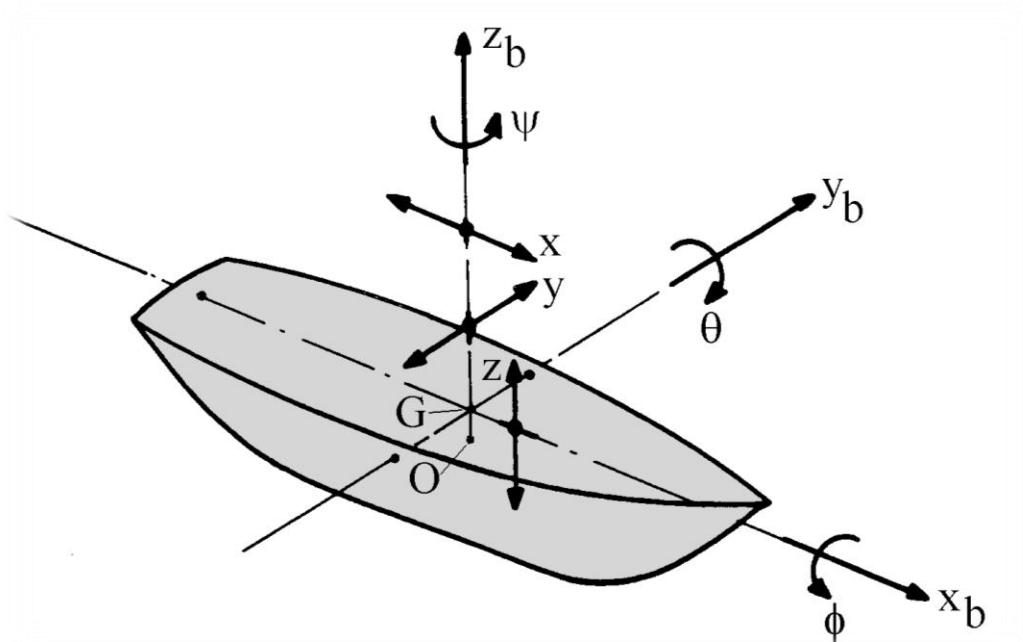
Στο βαθύ νερό ($kh \rightarrow \infty$) οι δύο ημιάξονες γίνονται ίσοι με $a \cdot \exp(kz)$, οπότε οι τροχιές γίνονται κυκλικές με ακτίνα που μειώνεται εκθετικά με το βάθος.

Σε βάθος μεγαλύτερο από το μισό του μήκους κύματος, οι κινήσεις των σωματιδίων του νερού είναι πολύ μικρές και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι παραμένουν ακίνητα. Στο ρηχό νερό όπου $kh \rightarrow 0$, ο μεγάλος ημιάξονας τείνει στην τιμή agk/ω^2 , ενώ ο μικρός ημιάξονας τείνει στο μηδέν. Το πέρασμα δηλαδή ενός κυματισμού με μεγάλο μήκος κύματος, προκαλεί γραμμική ταλάντωση των σωματιδίων του ρευστού στην κατεύθυνση του x , σε όλο το βάθος του ρευστού.

Σημειώνεται ότι όσα προαναφέρθηκαν ισχύουν σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία των κυματισμών. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, λόγω μη γραμμικών όρων που υπάρχουν στις οριακές συνθήκες, η μέση ταχύτητα των σωματιδίων του ρευστού στην x κατεύθυνση έχει μη μηδενική τιμή. Μάλιστα, αποδεικνύεται ότι η μέση ταχύτητα είναι ανάλογη με το a^2 . Κατά συνέπεια, η τιμή αυτή είναι πολύ μικρότερη της στιγμιαίας ταχύτητας, και για το λόγο αυτό αγνοείται στη γραμμική θεωρία. Ωστόσο, η τιμή της μέσης ταχύτητας είναι πολύ σημαντική σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως η μελέτη γεωφυσικών φαινομένων, καθώς προκαλεί μεταφορά μάζας νερού παράλληλη με την κατεύθυνση μετάδοσης του κύματος.

2.3 Οι Κινήσεις του Πλοίου

Όπως είναι γνωστό, ένα επιπλέον σώμα έχει 6 βαθμούς ελευθερίας. Για να γίνει αναλυτική η περιγραφή της κίνησης του πλοίου είναι απαραίτητο να οριστούν οι αποκρίσεις ως προς όλες τις 6 κατευθύνσεις των βαθμών ελευθερίας. Οι εν λόγω κινήσεις ορίζονται ως μετατοπίσεις του κέντρου βάρους του πλοίου και περιστροφές γύρω από άξονες που περνούν από το κέντρο βάρους αυτού.



Εικόνα 2.2: Ορισμός Κινήσεων Πλοίου σε έξι άξονες ελευθερίας .

Οι κινήσεις οι οποίες απεικονίζονται στην προηγούμενη εικόνα είναι οι παρακάτω:

Roll: διατοιχισμός (φ), **Pitch:** προνευτασμός (θ), **Heave:** Κατακόρυφη ταλάντωση (z), **Surge:** Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (x), **Sway:** εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (y), **Yaw:** στρωφική οριζόντια ταλάντωση (ψ).

Rolling

Έστω πλοίο με εγκάρσια κλίση φ . Η ροπή που του ασκείται θα είναι τέτοια ώστε το πλοίο να τείνει στην αρχική του θέση. Για μικρές τιμές της γωνίας εγκάρσιας κλίσης ισχύει:

$$M = -\Delta \cdot GM_T \cdot \varphi$$

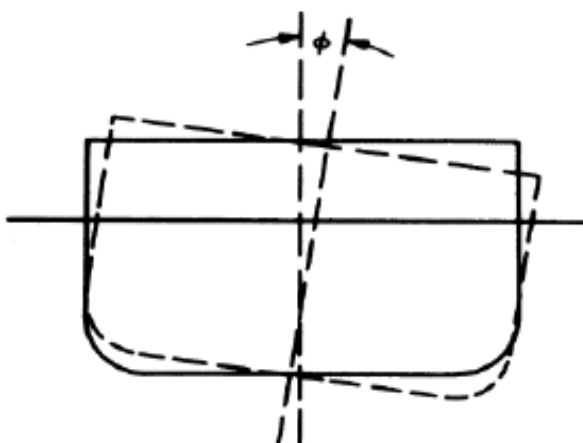
Εφαρμόζοντας το νόμο του Νεύτωνα έχουμε:

$$-\Delta \cdot \overline{GM_T} \cdot \varphi = \frac{\Delta}{g} \cdot k_{XX}^2 \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \left(g \frac{\overline{GM_T}}{k_{XX}^2} \right) \cdot \varphi = 0$$

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση περιγράφει την απλή αρμονική κίνηση με περίοδο T_φ , όπου:

$$T_\varphi = 2\pi \cdot \left(\frac{k_{XX}^2}{g \cdot \overline{GM_T}} \right)^{1/2} = \frac{2\pi \cdot k_{XX}}{(g \cdot \overline{GM_T})^{1/2}}$$



Εικόνα 2.3: Rolling

Έχει αξία να σημειωθεί ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη του φ και ότι το roll διαρκεί όσο η προσέγγιση $\overline{GZ} = \overline{GM_T} \cdot \varphi$ έχει εφαρμογή, δηλαδή για γωνίες περίπου μέχρι ± 10 μοίρες. Παράλληλα, όσο πιο μεγάλες τιμές παίρνει το $\overline{GM_T}$ τόσο πιο σταθερό είναι το πλοίο, τόσο μικρότερη η περίοδος και πιο γρήγορες οι κινήσεις.

Pitching

Σε αντιστοιχία με το roll, για γωνία διαμήκους κλίσης θ εδώ έχουμε:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \left(g \frac{\overline{GM_L}}{k_{YY}^2} \right) \cdot \theta = 0$$

με περίοδο T_θ που δίνεται από τον τύπο:

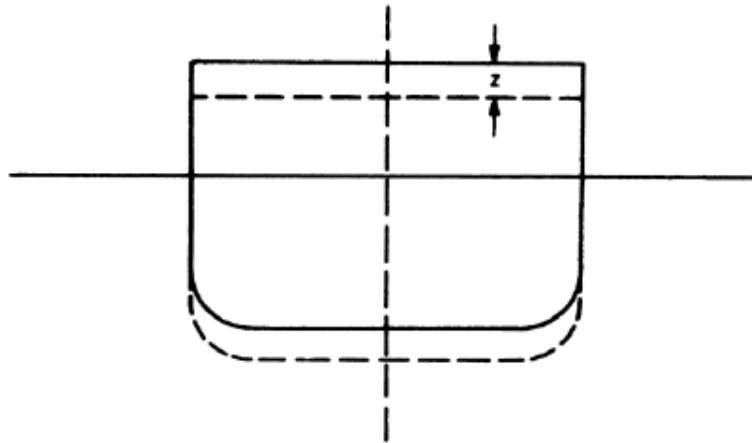
$$T_{\theta} = \frac{2\pi \cdot k_{YY}}{(g \cdot GM_L)^{1/2}}$$

Heaving

Έστω z η κατακόρυφη κίνηση του πλοίου κάθε στιγμή, όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Η ασκούμενη κατακόρυφη δύναμη F_z τείνει να μειώσει το z και έχει μέτρο:

$$F_z = \frac{A_w \cdot z}{\rho}$$

όπου ρ : η πυκνότητα του νερού.



Εικόνα 2.4: Heaving

Έτσι προκύπτει η διαφορική εξίσωση της κατακόρυφης κίνησης:

$$\frac{\Delta d^2 z}{g dt^2} = - \frac{A_w \cdot z}{\rho}$$

$$\text{ή } \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{A_w \cdot g}{\rho \cdot \Delta} z = 0$$

με περίοδο:

$$T = 2\pi \cdot \left(\frac{\rho \cdot \Delta}{g \cdot A_w} \right)^{1/2}$$

Surge

Ένα πλοίο που κινείται σε ήρεμο νερό υπό σταθερή ισχύ θα κινείται με σταθερή ταχύτητα. Όταν συναντά κυματισμούς υπάρχει μια μέση μείωση της ταχύτητας λόγω της υπάρχουσας αντίστασης και των αλλαγών στις

συνθήκες λειτουργίας της προπέλας. Η ταχύτητα πλέον δεν είναι σταθερή και ο όρος surge χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις μεταβολές της ταχύτητας γύρω από τη νέα μέση τιμή. Λαμβάνουν χώρα διάφορες επιδράσεις. Συγκεκριμένα, υπάρχει μια τροχιά σωματιδίων των κυματισμών που τείνουν να αυξάνουν την ταχύτητα του πλοίου όταν αυτό βρίσκεται στην κορυφή του κύματος και να την μειώνουν όταν βρίσκεται σε κοιλάδα.

Sway

Στην περίπτωση που το σύστημα των κυματισμών βρίσκεται υπό γωνία σε σχέση με την πορεία του πλοίου, τότε ασκούνται κάθετες δυνάμεις που προέρχονται από παρόμοιες πηγές με αυτές που προκαλούν την κίνηση surge. Οι δυνάμεις αυτές προκαλούν μια πλευρική ολίσθηση του πλοίου από την κανονική του κατεύθυνση. Ο όρος sway αφορά στις μεταβολές που συμβαίνουν γύρω από μια νέα μέση τιμή.

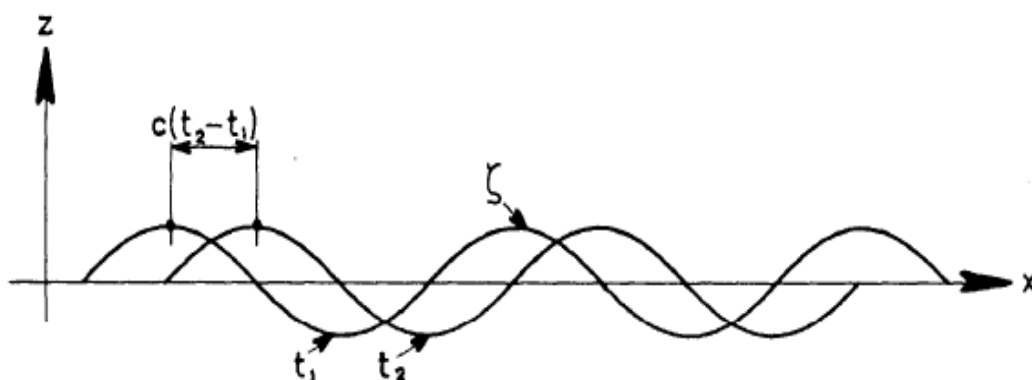
Yaw

Οι δυνάμεις που προαναφέρθηκαν στην περίπτωση του sway, έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ροπών, οι οποίες τείνουν να στρέψουν το πλοίο. Παράλληλα, αναπτύσσονται εξαιτίας της λειτουργίας του πηδαλίου ροπές που έχουν την τάση να διορθώσουν τις κινήσεις αυτές. Οι αλλαγές αυτές στην γωνία, στην οποία κατευθύνεται ένα πλοίο, γύρω από τη μέση τιμή της γωνίας, ονομάζεται yaw.

2.4 Η Συμπεριφορά του Πλοίου σε Κυματισμούς

Σημαντική παράμετρος για την αξιοπλοΐα του πλοίου αποτελεί η απόκριση κατά την αλληλεπίδραση του με τους θαλάσσιους κυματισμούς. Στα πλαίσια αυτά, τα προβλήματα συμπεριφοράς του πλοίου εξετάζονται με χρήση των αρχών θεωρίας δυναμικού που περιλαμβάνει απλούστερες εξισώσεις, σε σχέση με τις εξισώσεις Navier-Stokes. Σε αντίθεση με την περίπτωση της αντίστασης, η αλληλεπίδραση του σκάφους με τους κυματισμούς εξαρτάται ασθενώς από συνεκτικά φαινόμενα και, κατ'επέκταση, η χρήση της θεωρίας δυναμικού εισάγει μικρότερο σφάλμα στους υπολογισμούς. Η ακρίβεια σε αυτή την περίπτωση είναι ικανοποιητική για όλες τις κινήσεις του πλοίου, εκτός από την κίνηση roll, κατά την οποία οι δυνάμεις συνεκτικότητας έχουν

σημαντική επίδραση. Για την βαθύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης του σώματος με τους κυματισμούς, είναι αναγκαίο να αναφερθούν περιληπτικά ορισμένες αρχές που διέπουν τη φύση των κυματισμών. Οι θαλάσσιοι κυματισμοί μπορούν να θεωρηθούν ως μια τυχαία σύνθεση πολλών αρμονικών κυματισμών, κάθε ένας από τους οποίους έχει συγκεκριμένη συχνότητα, συγκεκριμένο πλάτος και συγκεκριμένη κατεύθυνση μετάδοσης. Ένας απλός αρμονικός κυματισμός είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου όσο και του χώρου.



Εικόνα 2.5: Απλός αρμονικός Κυματισμός

Στην περίπτωση των αρμονικών κυματισμών (regular seas), η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να εκφραστεί μέσω μιας συνάρτησης δυναμικού. Το δυναμικό είναι απλώς μια βαθμωτή συνάρτηση πολλών μεταβλητών, της οποίας η μερική παράγωγος ως προς κάποια διεύθυνση δίνει την ταχύτητα του ρευστού προς τη διεύθυνση αυτή. Στη γενική περίπτωση ισχύει:

$$\Phi_w(x, z, t) = P(z) \cdot (k \cdot x - \omega \cdot t)$$

όπου $P(z)$ αποτελεί τη συνάρτηση της απομάκρυνσης, ω η κυκλική συχνότητα και k ο κυματαριθμός:

$$k = \frac{\omega^2}{g}$$

Για βαθύ νερό, η συνάρτηση δυναμικού έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\Phi_w(x, z, t) = \frac{\zeta_a \cdot g}{\omega} \cdot e^{kz} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

όπου ζ είναι το πλάτος απομάκρυνσης κατά την ταλαντωτική κίνηση, το οποίο συμπίπτει με το πλάτος του κύματος για αρμονικό κυματισμό. Το δυναμικό αυτό αφορά τον αδιατάρακτο κυματισμό και, ως εκ τούτου, δεν σχετίζεται με την παρουσία πλωτού σώματος.

Κατά την κίνηση ενός σώματος σε θάλασσα με κυματισμό, έχουμε συνολικά τρία δυναμικά κυματισμών, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια:

- Δυναμικό προσπίπτοντος κυματισμού
- Δυναμικό περίθλασης
- Δυναμικό ακτινοβολίας

Το δυναμικό προσπίπτοντος κυματισμού περιγράφηκε νωρίτερα και αφορά τον αδιατάρακτο κυματισμό. Το δυναμικό περίθλασης προκύπτει από το αποτέλεσμα της πρόσκρουσης κυματισμών στο στερεό σύνορο του σκάφους. Σε περίπτωση που το μήκος κύματος είναι συγκρίσιμο με το μήκος του πλοίου, όπως συνηθίζεται να συμβαίνει, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό από την περίπτωση της ανάκλασης, η οποία υφίσταται μόνο σε περιπτώσεις όπου το μήκος κύματος είναι αρκετά μικρότερο συγκριτικά με το μήκος του πλοίου. Τέλος, το δυναμικό ακτινοβολίας αφορά στους παραγόμενους κυματισμούς εξαιτίας των ταλαντωτικών κινήσεων του σκάφους μέσα στο νερό. Σημειώνεται πως στη μέχρι στιγμής θεώρηση και ανάλυση, το σκάφος έχει μηδενική ταχύτητα. Στα πλαίσια της γραμμικής θεώρησης του προβλήματος της συμπεριφοράς του πλοίου, το συνολικό δυναμικό της επιφάνειας της θάλασσας προκύπτει από τη γραμμική υπέρθεση των τριών παραπάνω δυναμικών. Έτσι:

$$\Phi(x, y, z; t) = \Phi_w + \Phi_r + \Phi_d$$

Το δυναμικό αυτό πρέπει να πληροί συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες παρουσιάζονται ακολούθως.

1. Εξίσωση της συνέχειας ή Εξίσωση Laplace

$$\nabla^2 \Phi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2}$$

2. Συνοριακή συνθήκη μη εισχώρησης στον πυθμένα

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{z=-h}$$

3. Συνοριακή συνθήκη ελεύθερης επιφάνειας

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$$

4. Κινηματική οριακή συνθήκη στο στερεό σύνορο του σώματος

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = u_n(x, y, z; t) = \sum_{j=1}^6 u_j f_j(x, y, z)$$

5. Συνθήκη ακτινοβολίας

$$\log_{R \rightarrow \infty} \Phi = 0$$

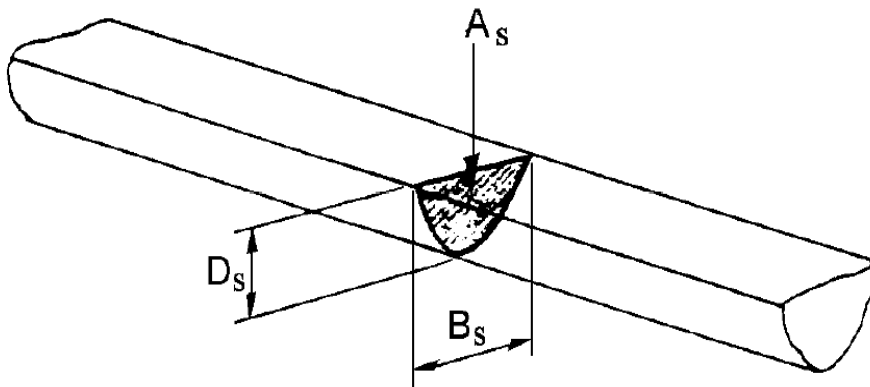
6. Συμμετρική και αντισυμμετρική συνθήκη

$$\Phi_2(-y, z) = -\Phi_2(y, z), \text{ sway}$$

$$\Phi_3(-y, z) = \Phi_3(y, z), \text{ heave}$$

$$\Phi_4(-y, z) = -\Phi_4(y, z), \text{ roll}$$

Με συναρτήσεις δυναμικού μπορούν να παρασταθούν πολλά πεδιακά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της συμπεριφοράς ενός σκάφους σε κυματισμούς όπως για παράδειγμα, της ταχύτητας του στερεού συνόρου. Αυτή η αναπαράσταση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη μελέτη της συμπεριφοράς του σκάφους, στα πλαίσια της θεωρίας λωρίδων για τον υπολογισμό μεγεθών που αφορούν εγκάρσιες τομές κατά μήκος του σκάφους. Η φιλοσοφία της θεωρίας λωρίδων φαίνεται σχηματικά την επόμενη εικόνα.



Εικόνα 2.6: Θεωρία Λωρίδων

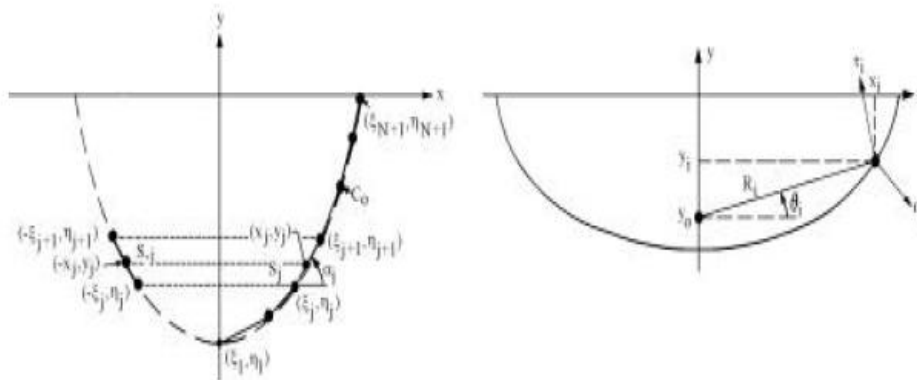
Σύμφωνα με τη θεωρία αυτήν, το τρισδιάστατο πρόβλημα του προσδιορισμού των αποκρίσεων του σκάφους επιλύεται με κατά μήκος ολοκλήρωση των αποκρίσεων στις εγκάρσιες τομές του. Κατ' αυτή την έννοια, το τρισδιάστατο πρόβλημα ανάγεται σε επιμέρους απλούστερα δισδιάστατα προβλήματα. Για την επίλυση των δισδιάστατων προβλημάτων χρησιμοποιείται η θεωρία του Frank που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

2.5 Η Θεωρία του Frank

Στη θεωρία του Frank οι εγκάρσιες τομές του σκάφους μετασχηματίζονται σε μη κυκλικής διατομής κυλίνδρους με χρήση σύμμορφου μετασχηματισμού. Το σύστημα συντεταγμένων κείται στα εγκάρσια επίπεδα, με τον άξονα x εφαπτόμενο στην ίσαλο και τον y κάθετο σε αυτή και με τα θετικά προς τα πάνω. Το σύνορο της επιφάνειας του νομέα βρίσκεται στο ημιεπίπεδο των αρνητικών τεταγμένων και ο άξονας y αποτελεί άξονα συμμετρίας του. Όπως και στην περίπτωση του δυναμικού του προσπίπτοντος κυματισμού που περιγράφηκε νωρίτερα, το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο, μη συνεκτικό, αστρόβιλο ενώ οι επιφανειακές τάσεις αμελούνται. Οι απομακρύνσεις και οι ταχύτητες θεωρούνται αρκετά μικρές ώστε να ληφθούν υπόψη μόνο οι γραμμικοί όροι της συνθήκης ελεύθερης επιφάνειας, της κινηματικής συνθήκης στο σύνορο του νομέα και η εξίσωση Bernoulli. Το δυναμικό ταχύτητας λοιπόν προκύπτει, όπως φαίνεται στη συνέχεια στα πλαίσια της θεώρησης χρονικά αρμονικού προβλήματος συμπεριφοράς, με συγκεκριμένη συχνότητα ω .

$$\Phi(x, y, t) = Re \{ \varphi^{(m)}(x, y) \cdot e^{-i\omega t} \}$$

Σε αυτή την εξίσωση οι δείκτες (m) λαμβάνουν τιμές 2,3 και 4 για κινήσεις στους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας. Το μέγεθος αναπαριστά το μιγαδικό πλάτος της ταχύτητας εξαρτώμενο από τη θέση και καλείται αλλιώς παραστατικός μιγάδας της ποσότητας. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το σύστημα συντεταγμένων και τα σημεία κατά μήκος του στερεού συνόρου που χρησιμοποιήθηκαν από τον Frank.



Εικόνα 2.7: Η εγκάρσια τομή σύμφωνα με τη θεωρία του Frank

Έστω $N+1$ σημεία (ξ, η) , που βρίσκονται στο τέταρτο τεταρτημόριο, έτσι ώστε να βρίσκονται στα αρνητικά του y άξονα. Για μερικώς βυθισμένους κυλίνδρους, τα σημεία βρίσκονται στα θετικά του άξονα x , ενώ για πλήρως βυθισμένους κυλίνδρους ισχύει ότι $\xi_{N+1} = \xi_1$ και $\eta_{N+1} < 0$.

Ενώνοντας τα σημεία αυτά με συνεχή ευθύγραμμα τμήματα, προκύπτουν N ευθύγραμμα τμήματα. Σε συνδυασμό με τον καθρεπτισμό τους στο τρίτο τεταρτημόριο δημιουργείται η επιφάνεια όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Έστω πως οι συντεταγμένες, το μήκος και η γωνία ενός τυχαίου τμήματος περιγράφονται από τον δείκτη j . Τότε, για το αντίστοιχο τμήμα στο τρίτο τεταρτημόριο ισχύει :

$$\xi_{-j} = -\xi_j \quad \text{και} \quad \eta_{-j} = \eta_j, \quad \forall 1 \leq j \leq N+1$$

Τα δυναμικά και οι πιέσεις υπολογίζονται στο μέσο των ευθύγραμμων τμημάτων. Οι συντεταγμένες του εκάστοτε μέσου είναι:

$$x_j = \frac{\xi_j + \xi_{j+1}}{2} \quad \text{και} \quad y_j = \frac{\eta_j + \eta_{j+1}}{2}, \quad \forall 1 \leq j \leq N$$

Το μήκος υπολογίζεται από:

$$|s_j| = \sqrt{(\xi_{j+1} - \xi_j)^2 + (\eta_{j+1} - \eta_j)^2}$$

Και η γωνία:

$$a_l = \arctan\left(\frac{(\eta_{j+1} - \eta_j)}{(\xi_{j+1} - \xi_j)}\right)$$

Έτσι προκύπτει το διάνυσμα που τέμνει το ευθύγραμμο τμήμα στο μέσο:

$$\vec{\eta}_i = \vec{i} \cdot \sin \alpha_i - \vec{j} \cdot \cos \alpha_i$$

Ο κύλινδρος εξαναγκάζεται σε μια απλή αρμονική κίνηση με γωνιακή ταχύτητα ω σύμφωνα με την εξίσωση:

$$S^{(m)} = A^{(m)} \cdot \cos(\omega t)$$

Με $m=2, 3, 4$, το οποίο αναφέρεται στο sway, heave, roll αντίστοιχα.

Οι ταλαντώσεις κατά το roll πραγματοποιούνται γύρω από ένα άξονα στο κέντρο συμμετρίας του κυλίνδρου.

Οποιοδήποτε σημείο του κυλίνδρου κινείται με ταχύτητες:

$$Sway: v^{-(2)} = -i \cdot A^{-(2)} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

$$Heave: v^{-(3)} = -j \cdot A^{-(3)} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

Η κίνηση του roll γύρω από ένα σημείο $(0, y_0)$ του άξονα περιγράφεται από την παραπάνω εικόνα. Θεωρώντας ένα σημείο (x, y) προκύπτει:

$$|R_i| = \sqrt{x^2 + (y - y_0)^2}$$

και για τη γωνία:

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{y - y_0}{x}\right) = \arcsin\left(\frac{y - y_0}{R_i}\right) = \arccos\left(\frac{x}{R_i}\right)$$

Έτσι, έχουμε το διάνυσμα κίνησης, ως προς τη γωνία θ :

$$\tau_i = \vec{i} \cdot \sin \theta - \vec{j} \cdot \cos \theta \Rightarrow$$

$$\tau_i = \vec{i} \cdot \frac{y - y_0}{R_i} - \vec{j} \cdot \frac{x}{R_i}$$

Έτσι ώστε Roll:

$$v^{(4)} = R_i \cdot A^{(4)} \cdot \tau_i \Rightarrow$$

$$v^{(4)} = \omega \cdot A^{(4)} \cdot \{(y - y_0) \cdot \vec{i} - x \cdot \vec{j}\} \cdot \sin(\omega t)$$

Οι ταχύτητες στο μέσο είναι:

$$\text{Sway:} \quad v^{(2)} = -\omega \cdot A^{(2)} \cdot \sin(a) \cdot \sin(\omega t)$$

$$\text{Heave:} \quad v^{(3)} = \omega \cdot A^{(3)} \cdot \cos(a) \cdot \sin(\omega t)$$

$$\text{Roll:} \quad v^{(4)} = \omega \cdot A^{(4)} \cdot \{(y - y_0) \cdot \sin(a) - x \cdot \cos(a)\} \cdot \sin(\omega t)$$

Και μετά από απλοποίηση:

$$\text{Sway:} \quad v^{(2)} = -\sin(a)$$

$$\text{Heave:} \quad v^{(3)} = \cos(a)$$

$$\text{Roll:} \quad v^{(4)} = (y - y_0) \cdot \sin(a) - x \cdot \cos(a)$$

Εύκολα συμπεραίνεται η κίνηση του Heave είναι συμμετρική ως προς τον y άξονα. Αντιθέτως, οι δύο άλλες κινήσεις είναι αντισυμμετρικές. Οι παραπάνω εξισώσεις εφαρμόζονται και στα N μέσα σημεία των ευθύγραμμων τμημάτων και θεωρείται ότι ο μιγαδικός αριθμός $Q(s)$ που περιγράφει τη δύναμη σε κάθε κομμάτι παραμένει σταθερός, ωστόσο διαφέρει σε κάθε ένα από αυτά.

Έτσι προκύπτουν $2N$ αλγεβρικές εξισώσεις και το παρακάτω σύστημα:

$$\text{Re} \{Q^{(m)}(s)\} = Q \cdot j^{(m)} \quad \text{και} \quad \text{Im} \{Q^{(m)}(s)\} = Q_{N+j}^{(m)}$$

Επομένως, για $i=1,2,\dots,N$ ισχύει:

$$\sum_{j=1}^N \{Q^{(m)} \cdot I_{ij}^{(m)}\} + \sum_{j=1}^N \{Q^{(m)} \cdot J_{ij}^{(m)}\} = 0$$

$$-\sum_{j=1}^N \{Q^{(m)} \cdot J_{ij}^{(m)}\} + \sum_{j=1}^N \{Q_{N+j}^{(m)} \cdot J_{ij}^{(m)}\} = 0$$

Τέλος, η υδροδυναμική πίεση σε κάθε σημείο κατά μήκος του κυλίνδρου υπολογίζεται από τις ταχύτητες:

$$p^{(m)}(x, y, \omega, t) = -\rho \cdot \frac{\theta \Phi^{(m)}}{\theta t}(x, y, \omega, t)$$

$$p^{(m)}(x, y, \omega, t) = p_a^{(m)}(x, y, \omega, t) \cdot \cos(\omega t) + p_v^{(m)}(x, y, \omega, t) \cdot \sin(\omega t)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση της ροής γύρω από ένα αυτοπροωθούμενο πλοίο είναι ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει το επάγγελμα του Ναυπηγού Μηχανικού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της ελεύθερης επιφάνειας και η ελεύθερη κίνηση του πλοίου, εξαιτίας της οποίας το υδροδυναμικό πρόβλημα πρέπει να αντιμετωπιστεί σε σύζευξη με τη δυναμική του συστήματος.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες ανάγκες για ταχύτερους και πιο πολύπλοκους υπολογισμούς στις επιστήμες οδήγησαν στην ανάπτυξη λογισμικών πακέτων υπολογιστικής υδροδυναμικής και δυναμικής ροής που υπολογίζουν τις ταχύτητες των ρευστών και την κατανομή των υδροδυναμικών πιέσεων σε πλωτά σώματα και επιλύουν αριθμητικά τις εξισώσεις συνέχειας και ορμής. Τα πακέτα αυτά δίνουν δυνατότητα μείωσης του χρόνου, και επομένως του κόστους της μελέτης της ροής γύρω από ένα πλοίο.

Εκτός από την ανάγκη για ταχείς και ακριβείς υπολογισμούς, η σύνταξη υδροδυναμικών κωδικών δυναμικής ροής καλείται να έχει ανοιχτή αρχιτεκτονική, ώστε να επιτρέπει τροποποιήσεις είτε προσθήκες νέων λειτουργιών. Επιπρόσθετα, σημαντικό στοιχείο είναι η προσαρμογή του μεγέθους του κώδικα, ανάλογα με τις δυνατότητες της κάθε υπολογιστικής μονάδας και την πολυπλοκότητα του προβλήματος.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα τέτοιο υπολογιστικό πακέτο είναι η ευκολία διαχείρισης των δεδομένων μέσα στον κώδικα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι δεδομένη η ύπαρξη πολλών μεγάλων πινάκων και τμημάτων δεδομένων. Επομένως, η μη ορθή διαχείριση τους μπορεί να κάνει τον κώδικα αργό, πολύ μεγάλου μεγέθους και ανεπαρκή.

Οι πλατφόρμες λογισμικών χρησιμοποιούν τις παρακάτω παραδοχές για τη ροή γύρω από ένα τρισδιάστατο σώμα. Αρχικά, θεωρούμε ότι το πεδίο ροής είναι μη συνεκτικό, αστρόβιλο και ασυμπίεστο. Τα πλωτά σώματα σχεδιάζονται ως κλειστές επιφάνειες που χωρίζουν το χώρο στο πεδίο ροής και το πεδίο του σώματος.

Κατά τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο υπολογιστικά υδροδυναμικά πακέτα, ο κώδικας Frank (εκδοχή Frank42) και το πρόγραμμα Ship Motion Computer Program,

SMP (εκδοχή SMP-93), τα οποία μελετούν τόσο τις ταλαντωτικές κινήσεις όσο και τις περιστροφικές ταλαντώσεις πλωτών σωμάτων στους τρεις άξονες.

3.2. Ο κώδικας Frank

Το πρώτο υπολογιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το πρόγραμμα Frank. Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί τη θεωρία λωρίδων για να υπολογίσει τις κινήσεις του πλοίου. Ειδικότερα, γίνεται χρήση τύπου Lewis είτε εκτεταμένος τύπος Lewis για να χαρτογραφηθούν οι νομείς του πλοίου σε ημικύκλια και να λυθεί το δισδιάστατο πρόβλημα, που ακολουθεί την πηγή που δίνεται από Ursell (1949a and 1949b) για την κατακόρυφη ταλάντωση, την εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση και τον διατοιχισμό κυλίνδρου.

Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της πρόσθετης αντίστασης του πλοίου σε έντονες περιβαλλοντικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας την ενεργειακή μέθοδο των Λουκάκη και Σκλαβούνου (1978).

3.2.1. Γενική περιγραφή του κώδικα Frank

Όπως προαναφέρθηκε, ο κώδικας χρησιμοποιεί τη θεωρία λωρίδων, όπως προτάθηκε από τον Salvesen (1970) σε δισδιάστατα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους νομείς του πλοίου από τη μέθοδο Φρανκ (1967). Ως δεδομένα, ο κώδικας δέχεται τις συντεταγμένες των σημείων τα οποία εναπόκεινται στο περίγραμμα κάθε εγκάρσιας τομής της γάστρας του πλοίου, και υπολογίζει το αντίστοιχο δισδιάστατο μιγαδικό δυναμικό για κάθε μία από τις κινήσεις κατακόρυφης ταλάντωσης, εγκάρσιας οριζόντιας ταλάντωσης και του διατοιχισμού, ορίζοντας τις δυνάμεις που κατανέμονται στο περίγραμμα της εγκάρσιας τομής. Έπειτα, ολοκληρώνοντας, υπολογίζονται οι υδροδυναμικοί συντελεστές πρόσθετης μάζας και απόσβεσης για τη δεδομένη συχνότητα.

Οι υπολογισμοί που γίνονται στον συγκεκριμένο κώδικα βασίζονται στις εξής παραδοχές:

- a) Το υγρό θεωρείται ασυμπίεστο και μη συνεκτικό.
- b) Η επιφανειακή τάση δεν λαμβάνεται υπόψη

- c) Το περιβάλλον υδροδυναμικό πεδίο θεωρείται αστρόβιλο
d) Οι κινήσεις θεωρείται πως είναι αρκετά μικρές, ώστε οι γραμμικοί όροι ελεύθερης επιφάνειας και η γραμμικοποιημένη εξίσωση Bernoulli να ισχύουν.

Το δυναμικό της ταχύτητας που καλούμαστε να υπολογίσουμε είναι:

$$\Phi^{(m)}(x, y, t) = \text{Re}\{\phi^{(m)}(x, y) \cdot e^{-i\omega t}\}$$

όπου (m) δείχνει τον τύπο της ταλάντωσης και ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

1. Εξίσωση Laplace:

$$\nabla^2 \Phi^{(m)} = \frac{\partial^2 \Phi^{(m)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi^{(m)}}{\partial y^2} = 0, \text{ στο υδροδυναμικό πεδίο}$$

2. Η οριακή συνθήκη ελεύθερης επιφάνειας:

$$\frac{\partial^2 \Phi^{(m)}}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi^{(m)}}{\partial y} = 0, \text{ για } y = 0 \text{ και μετά από την εγκάρσια επιφάνεια}$$

3. Η οριακή συνθήκη του βυθού της θάλασσας:

$$\lim_{y \rightarrow -\infty} |\nabla \Phi^{(m)}| = 0$$

4. Η κινηματική οριακή συνθήκη για την ταχύτητα στο περίγραμμα της εγκάρσιας τομής:

$$\vec{n} \cdot \overline{\nabla \Phi^{(m)}} = v_n$$

5. Η συνθήκη ακτινοβολίας:

Η συνθήκη αυτή απαιτεί ότι η διαταραγμένη επιφάνεια μακριά από το ταλαντώμενο σώμα να έχει κύματα ημιτονοειδούς μορφής τα οποία διαδίδονται μακριά από το σώμα. Το ακόλουθο δυναμικό κατανομής πρέπει να ικανοποιεί και τις πέντε συνθήκες εκτός από την οριακή κινηματική συνθήκη:

$$G(z, \zeta) = \frac{1}{2\pi} \text{Re} \left\{ \log(z - \zeta) - \log(z - \bar{\zeta}) + 2PV \int_0^\infty \frac{e^{-ik(z-\bar{\zeta})}}{v-k} dk \right\} - i \text{Re} \{ e^{-iv(z-\bar{\zeta})} \}$$

$$v = \frac{\omega^2}{g}, \quad z = x + iy, \quad \zeta = \xi + i\eta$$

Εξαιτίας της υπόθεσης γραμμικότητας μπορούμε να εκφράσουμε το δυναμικό της ταχύτητας όπως παρακάτω:

$$\Phi^{(m)}(x, y, t) = \operatorname{Re} \left\{ \int_{C_0} Q(s) \cdot G(z, \zeta) \cdot e^{-i\omega t} ds \right\}$$

όπου C_0 το βυθισμένο περίγραμμα της γάστρας στο μέσο, και $Q(s)$ αντιπροσωπεύει την μιγαδική πυκνότητα πηγής σας συνάρτηση της θέσεως κατά μήκος του C_0 . Μπορεί να υπολογιστεί εφαρμόζοντας την κινηματική οριακή συνθήκη στον κύλινδρο στο z :

$$\operatorname{Re} \left\{ (\vec{n} \cdot \vec{\nabla}) \int_{C_0} Q(s) \cdot G(z, \zeta) ds \right\} = 0$$

$$\operatorname{Im} \left\{ (\vec{n} \cdot \vec{\nabla}) \int_{C_0} Q(s) \cdot G(z, \zeta) ds \right\} = A^{(m)} \omega n^{(m)}$$

όπου $A^{(m)}$ περιγράφει το πλάτος της ταλάντωσης και $n^{(m)}$ το συνημίτονο κατεύθυνσης της ταχύτητας στο z στον κύλινδρο. Οι παραπάνω συζευγμένες ακέραιες εξισώσεις λύνονται για πραγματικές συναρτήσεις $\operatorname{Re}\{Q(s)\}$ και $\operatorname{Im}\{Q(s)\}$. Εδώ, το περίγραμμα της τομής που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας χωρίζεται σε N τμήματα. Σε κάθε τμήμα θεωρείται σταθερή δύναμη $Q(s)$. Τα δυναμικά και οι πιέσεις υπολογίζονται στα μέσα σημεία των τμημάτων, αποδίδοντας μια ομάδα $2N$ γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων.

$$\operatorname{Re}\{Q^{(m)}(s_j)\} = Q_j^{(m)} \quad \text{και} \quad \operatorname{Im}\{Q^{(m)}(s_j)\} = Q_{N+j}^{(m)}$$

Η υδροδυναμική πίεση στο (x_i, y_i) κατά μήκος του κυλίνδρου δίνεται από το δυναμικό ταχύτητας σύμφωνα με τη γραμμικοποιημένη εξίσωση Bernoulli:

$$P^{(m)}(x_i, y_i, \omega; t) = -\rho \frac{\partial \Phi^{(m)}(x_i, y_i, \omega; t)}{\partial t} = P_a^{(m)}(x_i, y_i, \omega) \cos \omega t + P_u^{(m)}(x_i, y_i, \omega) \sin \omega t$$

όπου τα a και u είναι οι πιέσεις σε συμφωνία με το εκτόπισμα και την ταχύτητα, αντίστοιχα.

Οι υδροδυναμικές δυνάμεις ή ροπές (για $m=4$) ανά μονάδα μήκους κατά μήκος του κυλίνδρου απαραίτητες για να διατηρηθούν οι ταλαντώσεις είναι το ολοκλήρωμα των $p^{(m)} \cdot n^{(m)}$ πάνω στο βυθισμένο τμήμα του περιγράμματος της τομής, C_0 . Υποθέτοντας ότι η πίεση κατά μήκος του i -οστού τμήματος είναι ίση με αυτή του i -οστού μέσου σημείου, η ολοκλήρωση γίνεται άθροιση.

Επομένως, το ακόλουθο αλγεβρικό σύστημα χρησιμοποιείται για να πάρουμε την προστιθέμενη μάζα και τις δυνάμεις ή ροπές απόσβεσης, αντίστοιχα:

$$M^{(m)}(\omega) = 2 \sum_{j=1}^N P_a^{(m)}(x_j, y_j, \omega) n_j^{(m)} |s_j|$$

$$N^{(m)}(\omega) = 2 \sum_{j=1}^N P_u^{(m)}(x_j, y_j, \omega) n_j^{(m)} |s_j|$$

Για να αναπαρασταθούν τα αποτελέσματα σε μια αδιαστατοποιημένη μορφή, διαιρούνται από τα παρακάτω:

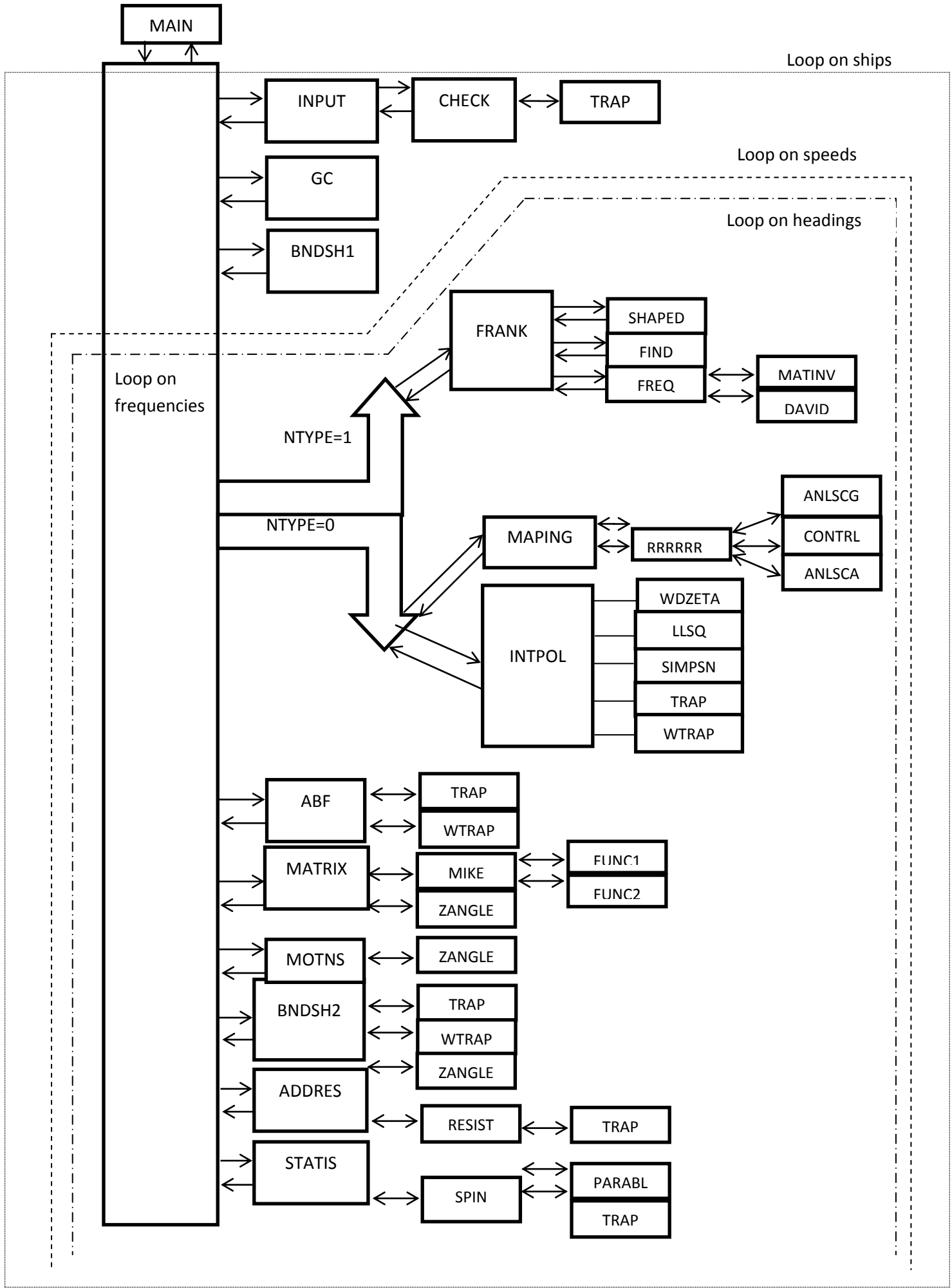
$$\rho \omega^2 \frac{\pi}{2} \left(\frac{B}{2}\right)^2 \text{ για το Heave}$$

$$\rho \omega^2 \frac{\pi}{2} T^2 \text{ για το Sway}$$

$$\rho \omega^2 \frac{\pi}{2} T^4 \text{ για το Roll}$$

Για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα ως δεδομένα στο πρόγραμμα FIVE-D, πρέπει πρώτα να διαστατοποιηθούν. Επιπρόσθετα, υπάρχει στον κώδικα προσθήκη για υπολογισμό των δυνάμεων που δρουν. Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με αυτή του FIVE-D αλλά οι δυνάμεις περίθλασης υπολογίζονται σύμφωνα με τη μέθοδο του Frank αντί να χρησιμοποιούνται πολλαπλοί πόλοι.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του FIVE-D, τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά από άποψη ακρίβειας. Οι διαφορές στα τελικά αποτελέσματα των αποκρίσεων και των αντίστοιχων στατιστικών δεδομένων είναι αμελητέες. Οι διαφορές που αφορούν σε δισδιάστατους συντελεστές ήταν περίπου 2-3% για αδιαστατοποιημένο μήκος κύματος $1 < \lambda/L < 10$ και περίπου 10% για $\lambda/L < 1$. Η μεγαλύτερη διαφορά προκύπτει στον υπολογισμό των συντελεστών απόσβεσης όπου σε μερικές περιπτώσεις οι διαφορές έφταναν το 20%. Τέλος, ακλουθεί σχηματική αναπαράσταση του τροποποιημένου προγράμματος FIVE-D:



3.2.2. Ο κώδικας SOURCE1

Ο κώδικας SOURCE1 ενσωματώθηκε στον κώδικα Frank για να επιλύσει τα δισδιάστατα προβλήματα περίθλασης και ακτινοβολίας για ένα πλωτό σώμα σε νερό απείρου βάθους. Ο κώδικας Frank, ο οποίος εμπεριέχει τη θεωρία λωρίδων των Salvesen, Tuck και Faltinsen (1970) για να αποτυπώσει και να επιλύσει το πρόβλημα αλληλεπίδρασης πλοίου-κύματος, καλεί τον κώδικα SOURCE1 ως υπορουτίνα για να υπολογίσει τις δισδιάστατες υδροδυναμικές ποσότητες χρησιμοποιώντας την κλειστή μέθοδο Frank. (Frank, 1967)

Ειδικότερα, μέσα στο SOURCE1 και στις σχετικές υπορουτίνες υπολογίζονται οι παρακάτω ποσότητες του προβλήματος ακτινοβολίας:

- Υδροδυναμικοί συντελεστές (πρόσθετη μάζα και απόσβεση)
- Κατανομή πίεσης κατά μήκος της βρεχόμενης επιφάνειας
- Ύψη και φάσεις των κυμάτων ακτινοβολίας

3.3. Το πρόγραμμα Standard Ship Motion Computer Program - SMP

Το νέο **Standard Ship Motion Computer Program, SMP**, αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ναυπηγικής Έρευνας και Ανάπτυξης David W. Taylor, ούτως ώστε να παράσχει ένα εργαλείο πρόβλεψης κίνησης του πλοίου για χρήση στη διαδικασία σχεδίασης πλοίων του Ναυτικού. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται αποτελούν τις πλέον προηγμένες στην τεχνολογία κίνησης του πλοίου. Επομένως, το SMP μεταφέρει την παρούσα τεχνολογία στη διαδικασία σχεδίασης πλοίου.

Το SMP παρέχει προβλέψεις για τις κινήσεις, π.χ. μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις για πλοίο που πλέει με σταθερή ταχύτητα και τυχαίες γωνίες πρόσκρουσης κυμάτων σε αρμονικούς (regular) και τυχαίους κυματισμούς (irregular seas), ενώ παράγονται αποτελέσματα για short-crested και long-crested κυματισμούς.

Συγκεκριμένα, το SMP παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού των παρακάτω:

1. **Κινήσεις Άκαμπτου Σώματος.** Οι ανταποκρίσεις άκαμπτου σώματος εμπεριέχουν τον υπολογισμό εκτοπισμάτων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων των αποκρίσεων στους έξι άξονες ελευθερίας (**surge - sway - heave- roll - pitch - yaw**).

2. **Κινήσεις σε ένα σημείο.** Οι εν λόγω αποκρίσεις αφορούν στις διαμήκεις, οριζόντιες και κάθετες μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις έως και 10 διαφορετικών αυθαίρετων σημείων.
3. **Σχετικές κινήσεις και ταχύτητες για έως και 10 αυθαίρετα σημεία** (τα σημεία αυτά μπορούν να διαφέρουν από τα αντίστοιχα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς για κινήσεις σε σημείο).
4. **Πιθανότητα και συχνότητα να συμβεί slamming, ανάδυση ή/και κατάδυση των σημείων που υπολογίστηκαν σχετικές κινήσεις.**

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε καθώς δίνει καλύτερα και πληρέστερα αποτελέσματα για την περιστροφή γύρω από τον διαμήκη άξονα (Roll), σε σχέση με το πρόγραμμα Frank. Επιπρόσθετα, λειτούργησε ως επαλήθευση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν από το Frank για την κατακόρυφη κίνηση (Heave).

Το Standard Motion Program (SMP) παρέχει προβλέψεις αποκρίσεων σε τυχαίους κυματισμούς. Οι αποκρίσεις αυτές υπολογίζονται από τα αποτελέσματα των συντελεστών απόκρισης (Response Amplitude Operators - RAO's) σε συνδυασμό με τα φάσματα της θάλασσας (Sea Spectra) και την απεικόνιση συχνοτήτων (Frequency Mapping). Οι αρμονικοί ημιτονοειδείς κυματισμοί παρέχουν τις απαραίτητη βάση δεδομένων από την οποία αποκτούνται οι συντελεστές αποκρίσεως.

Στο πλαίσιο χρήσης του SMP-93, θεωρούμε ότι το πλοίο πλέει σε αρμονικούς κυματισμούς. Αναλυτικότερα, θεωρούμε ότι το πλοίο πορεύεται με σταθερή πρόσω ταχύτητα με τυχαία κλίση πρόσκρουσης σε αρμονικά ημιτονοειδή κύματα μοναδιαίου πλάτους. Οι αποκρίσεις αυτές θεωρούνται μικρές, γραμμικές και αρμονικές σε ότι αφορά ένα κύμα του οποίου η μέγιστη ανύψωση βρίσκεται στην αρχή των αξόνων (Εικόνα 2.3).

Πρέπει να αναφερθεί ότι ένα πλοίο που πλέει σε αρμονικούς κυματισμούς απαντά στη συχνότητα συνάντησης που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\omega_E = |\omega - (\omega^2 \cdot V/g) \cos \mu|$$

όπου V : μέση πρόσω ταχύτητα, μ : η γωνία πρόσπτωσης κύματος και ω : η συχνότητα του κύματος. Η απόλυτη τιμή παίρνεται για να αποφευχθεί η χρήση αρνητικών συχνοτήτων συνάντησης. Όσον αφορά στη γωνία μ , 180° αφορούν σε μετωπικά κύματα (heading beam waves), 90° σε κύματα που προσπίπτουν από τα δεξιά (starboard beam waves) και 0° σε κύματα που ακολουθούν.

Παρόλο που οι εξισώσεις που αφορούν στις αποκρίσεις των 6 κινήσεις του πλοίου θεωρούνται γραμμικές, πειράματα με μοντέλα δείχνουν ότι ο διατοιχισμός παρουσιάζει μη γραμμική συμπεριφορά για αυξανόμενα ύψη κύματος. Επιπρόσθετα, ο συντελεστής απόσβεσης στην εξίσωση κίνησης σε φυσική συχνότητα διατοιχισμού τείνει να αποκλίνει από τη γραμμική συμπεριφορά καθώς αυξάνεται η κλίση διατοιχισμού. Η εν λόγω μη γραμμική συμπεριφορά αντιμετωπίζεται στο SMP με τροποποιήσεις που γίνονται στο συντελεστή απόσβεσης.

Απόσβεση Διατοιχισμού

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μια σημαντική προσθήκη του SMP - 93 είναι η δυνατότητα εισαγωγής της απόσβεσης στους υπολογισμούς του διατοιχισμού. Πειράματα κατέδειξαν πως καθώς η γωνία διατοιχισμού αυξάνεται, υπάρχει αύξηση της απόσβεσης διατοιχισμού. Εκτός αυτού, η συνολική απόσβεση φαίνεται να αυξάνεται γενικώς, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Πράγματι, πριν την προαναφερθείσα τροποποίηση, τα αποτελέσματα του προγράμματος για το roll είχαν πολύ μικρές αποκλίσεις από τις τιμές που προέκυπταν κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων. Ωστόσο, οι αποκλίσεις μεγάλωναν σημαντικά σε μεγαλύτερες ταχύτητες.

Ο Schmitke απέδειξε ότι μπορούμε να έχουμε σε σημαντικό επίπεδο συμφωνία των αποτελεσμάτων για τον διατοιχισμό σε κάθε ταχύτητα, εισάγοντας την απόσβεση διατοιχισμού συναρτήσεως της ταχύτητας. Η απόσβεση οφείλεται στην ύπαρξη δυναμικής άνωσης, η οποία προκύπτει στα πηδάλια, τα πτερύγια και τα bilge keels. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, έχει πλέον τη δυνατότητα να εισάγει τους συντελεστές απόσβεσης που εξαρτώνται από την ταχύτητα καθώς και τη μη γραμμική απόσβεση συνεκτικότητας.

Έχει παρατηρηθεί πως, για πλοία χωρίς bilge keels, ο διατοιχισμός τείνει να γίνει περισσότερο γραμμικός με αυξανόμενη ταχύτητα. Μία εμπειρική διαδικασία χρησιμοποιείται στο SMP ούτως ώστε να μειώσει τη μη γραμμική απόσβεση συνεκτικότητας σε μηδενική ταχύτητα, καθώς η ταχύτητα μεγαλώνει. Η απόσβεση συνεκτικότητας λόγω bilge keels είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη της ταχύτητας.

Συνάρτηση Μεταφοράς Κίνησης Αρχής των Αξόνων

Οι συναρτήσεις μεταφοράς των έξι κινήσεων (ανά μονάδα ύψους του κυματισμού) προκύπτουν ως επίλυση δύο ανεξάρτητων ομάδων τριών συζευγμένων εξισώσεων κίνησης. Η διαμήκης οριζόντια ταλάντωση καθώς και οι κατακόρυφες αποκρίσεις της κατακόρυφης ταλάντωσης και του προνευτασμού, λύνονται ανεξάρτητα από τις πλευρικές αποκρίσεις της εγκάρσιας οριζόντιας ταλάντωσης, ης στροφικής οριζόντιας ταλάντωσης και του διατοιχισμού, διότι θεωρείται ότι το πλοίο είναι συμμετρικό ως προς το διαμήκη άξονα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η κίνηση του διατοιχισμού δείχνει μη γραμμική συμπεριφορά με την αύξηση του ύψους κύματος. Εμμέσως, η εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση και η στροφική οριζόντια ταλάντωση επηρεάζονται, καθώς είναι συζευγμένες με το διατοιχισμό. Η μη γραμμική κίνηση του διατοιχισμού είναι αποτέλεσμα μη γραμμικής συμπεριφοράς κάποιων στοιχείων της απόσβεσης του roll, συναρτήσει της αύξησης της γωνίας. Οι εξισώσεις πλευρικών κινήσεων λύνονται για ένα σύνολο οχτώ μέσων γωνιών διατοιχισμού από 0.5 έως 40 μοίρες. Οι μέσες τιμές των γωνιών χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μη γραμμικών στοιχείων της απόσβεσης διατοιχισμού. Παρόλο που η απόσβεση που υπολογίζεται μπορεί να είναι κατάλληλη για μεγάλες γωνίες κλίσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η θεωρία κίνησης του πλοίου αναπτύχθηκε με θεώρηση μικρών γωνιών. Άλλες θεωρίες ναυσιπλοΐας που θεωρούν μη γραμμικό συντελεστή επαναφοράς roll μπορεί να είναι καταλληλότερες για πρόβλεψη ακραίων γωνιών διατοιχισμού.

Οι συναρτήσεις μεταφοράς των έξι κινήσεων υπολογίζονται για διάφορες ταχύτητες, γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών και μέσες γωνίες διατοιχισμού.

Διαμήκης Οριζόντια Ταλάντωση, Εγκάρσια Οριζόντια Ταλάντωση Και Στροφική Οριζόντια Ταλάντωση Σε Κυματισμούς 0 Και 45 Μοιρών

Σε κυματισμούς 0 και 45 μοιρών, η συχνότητα συνάντησης του πλοίου γίνεται μικρότερη από τη συχνότητα του κύματος καθώς η ταχύτητα αυξάνεται (όπως φαίνεται στην εξίσωση συχνότητας συνάντησης, σελ.49). Καθώς η συχνότητα συνάντησης τείνει προς το μηδέν για συγκεκριμένους συνδυασμούς ταχύτητας, γωνίας πρόσκρουσης κύματος και συχνότητας κυματισμού, οι τιμές του yaw, του surge και του sway τείνουν να γίνουν υπερβολικά μεγάλες εξαιτίας της έλλειψης όρων αποκατάστασης στις αντίστοιχες εξισώσεις κίνησης.

Έχει αναπτυχθεί μια διαδικασία, ώστε να εφαρμοστούν αριθμητικά όρια στις προβλεπόμενες συναρτήσεις μεταφοράς του yaw, του surge και του sway. Τα όρια που εφαρμόζονται προκύπτουν εμπειρικά από μετρήσεις μοντέλων σε ακραίες καταστάσεις yaw, surge και sway.

Κινήσεις Σημείου

Οι μετατοπίσεις κάθε σημείου (x^*, y^*, z^*) του πλοίου, με βάση το σύστημα αξόνων που έχει θεωρηθεί (εικόνα 2.3), του οποίου η αρχή κινείται με σταθερή ταχύτητα, δίνονται από τα στοιχεία \vec{i}, \vec{j} και \vec{k} του:

$$(\vec{i} \cdot x + \vec{j} \cdot y + \vec{k} \cdot z) + (\vec{i} \cdot \varphi + \vec{j} \cdot \theta + \vec{k} \cdot \psi) \cdot (\vec{i} \cdot x^* + \vec{j} \cdot y^* + \vec{k} \cdot z^*)$$

Παραδείγματος χάρη:

$$L_O = x - y^* \cdot \psi + z^* \cdot \theta$$

$$L_A = y - z^* \cdot \varphi + x^* \cdot \psi$$

$$L_V = z - x^* \cdot \theta + y^* \cdot \varphi$$

όπου L_O , L_A και L_V οι αποκλίσεις του πλοίου στο διαμήκη, τον εγκάρσιο και τον κατακόρυφο άξονα και x, y, z και φ, θ, ψ είναι το surge, sway, heave, roll, pitch και yaw στην αρχή των αξόνων. Εξαιτίας του ότι οι κινήσεις σε σημείο εμπεριέχουν συνδυασμούς κατακόρυφων και εγκάρσιων αποκρίσεων, πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μη γραμμικές και να λύνονται για ένα σύνολο οχτώ τιμών του φ . Τα όρια των κυματισμών 0 και 45 μοιρών στο surge, στο sway καθώς και στο yaw επιβάλλονται, εάν αυτό είναι απαραίτητο, πριν από τη χρήση του στον υπολογισμό των κινήσεων σημείου.

Σχετική Κίνηση

Η σχετική κίνηση (Relative Motion - RM) υπολογίζεται σε μορφή συναρτήσεως μεταφοράς, ως εξής:

$$RM = L_V - \zeta$$

όπου το L_V είναι η απόλυτη κατακόρυφη κίνηση και λαμβάνεται με βάση τον τύπο που προαναφέρθηκε στο υποεδάφιο "Κινήσεις Σημείου", ενώ ζ είναι ο μη διαταραγμένος προσπίπτοντας κυματισμός και ορίζεται ως:

$$\zeta = \exp[-i \cdot k \cdot (x^* \cdot \cos \mu + y^* \cdot \sin \mu)]$$

όπου k είναι ο κυματαριθμός, (x^*, y^*) το σημείο που μελετάμε, με αναφορά το LCG, και μ η γωνία πρόσπτωσης κυματισμού ($180^\circ =$ κυματισμοί με πορεία αντίθετη του πλοίου, $90^\circ =$ κυματισμοί που προσπίπτουν εκ δεξιών του πλοίου).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΠΛΕΥΡΙΣΗ BARGE ΣΕ BULK CARRIER ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

4.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τη πλευρίση μίας μπάρτζας (barge) και ενός φορτηγού πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην (bulk carrier) για μεταφορά φορτίου στη θάλασσα. Ειδικότερα, έγινε μελέτη της συμπεριφοράς των δύο πλοίων σε διαφορετικούς κυματισμούς και αναλύθηκε ο τρόπος πρόσδεσης τους, συμπεριλαμβανομένων των μέσων πρόσδεσης και των μέσων προστασίας προς αποφυγή επαφής των γαστρών των πλοίων.

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί ότι η μπάρτζα που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται ALPASLAN 2 και έχει τα παρακάτω κύρια χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.1: Κύρια χαρακτηριστικά Barge Alpaslan 2

LENGTH OA	65.22 m
LENGTH WL	63.96 m
BREADTH	21.34 m
DEPTH (MLD.)	4.88 m
DRAUGHT (scantling)	3.50 m
DECK LOAD	8 tons / m ²
SUMMER DISPLACEMENT	4325.42 tons

Αντιστοίχως, το Bulk Carrier τύπου Panamax που χρησιμοποιήθηκε, ονομάζεται M/V MAIRINI και έχει τις παρακάτω κύριες διαστάσεις

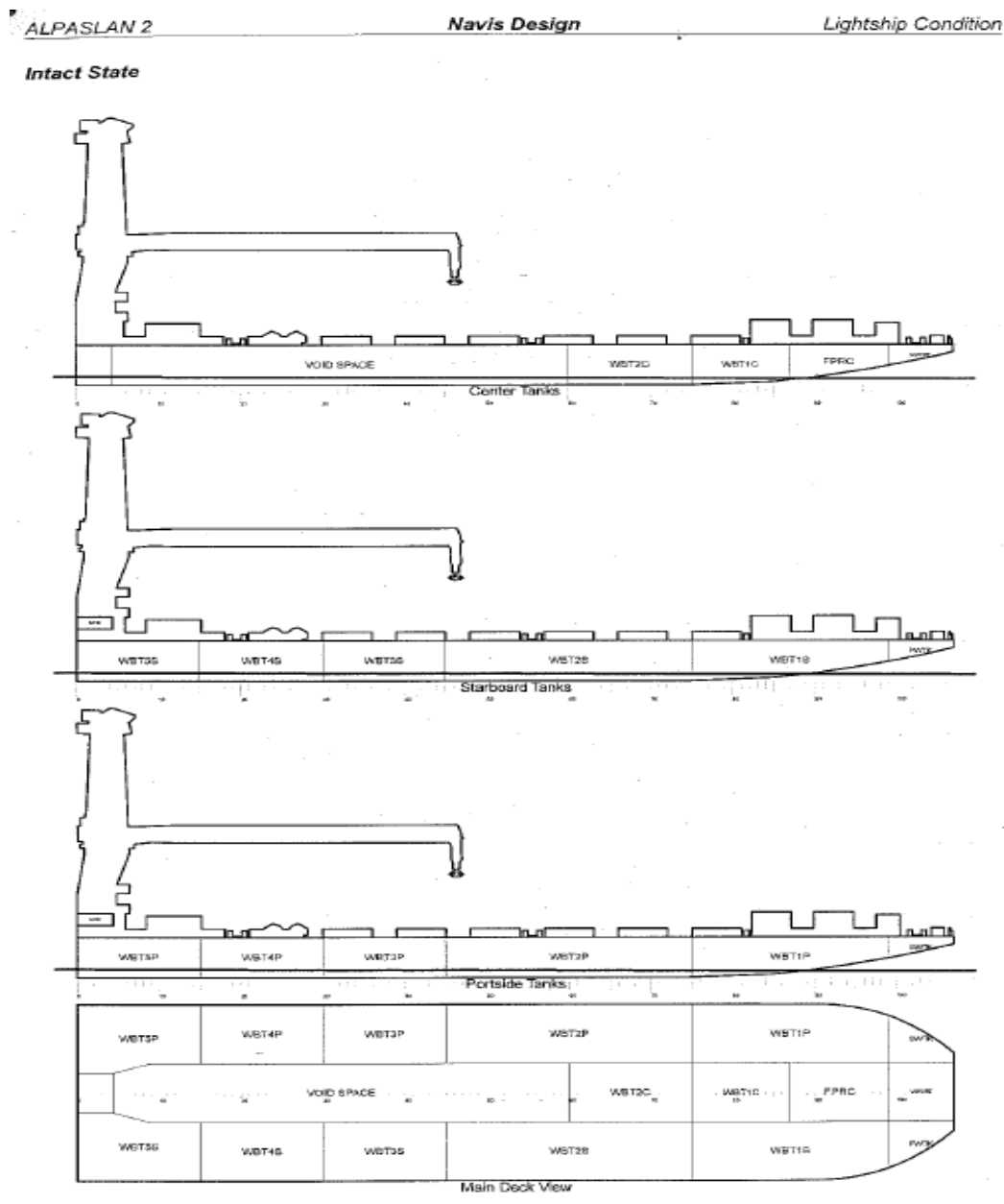
Πίνακας 4.2: Κύρια χαρακτηριστικά Bulk Carrier M/V Mairini

LENGTH OA	abt. 229.00 m
LENGTH WL	222.00 m
BREADTH (MLD.)	32.26 m
DEPTH (MLD.)	20.25 m
DRAUGHT (MLD.)	14.62 m
DEADWEIGHT	79023 tons

Εν συνεχεία, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που παρέχονται από το ALPASLAN 2 - Stability Booklet και το M.V. MAIRINI - Final Loading Manual Part (I) - Typical Loading για να ληφθούν τα αντίστοιχα απαραίτητα στοιχεία για την πραγματοποίηση των υπολογισμών. Συγκεκριμένα, ελήφθησαν υπόψη η κατάσταση φόρτωσης Lightship Condition και η κατάσταση φόρτωσης Uniformly Full Load Departure Condition για τη μπάρτζα, ενώ για το Bulk Carrier ελήφθησαν στοιχεία για την κατάσταση φόρτωσης Heavy Ballast Midway και για την Full Homogenous Loading Departure. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

Barge Alpaslan 2

Lightship Condition



Intact State**Intact State**

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
Lightweight					986.6	24.35	0.00	4.88	0.0	
Deadweight					0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
Total Displacement					986.6	24.35	0.00	4.88	0.0	
Buoyancy					987.1	24.33	0.00	0.47	44209.5	
Total Buoyancy					987.1	24.33	0.00	0.47	44209.5	

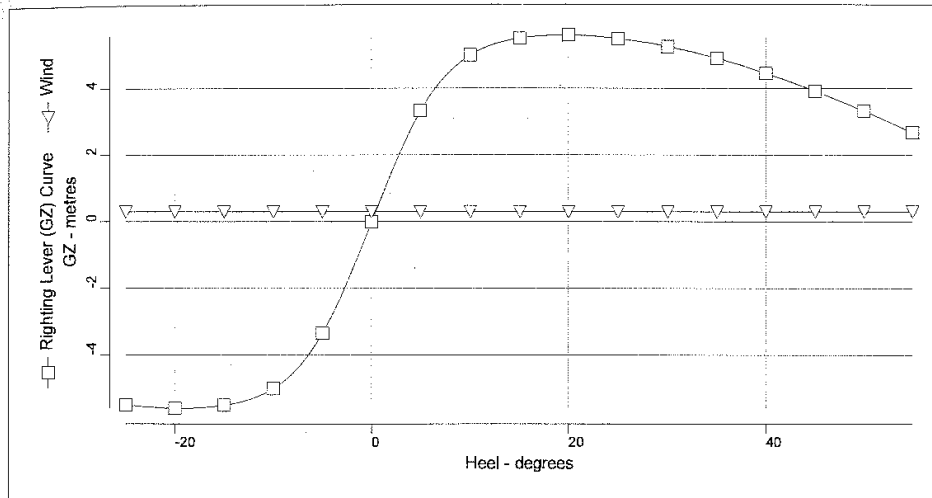
Intact State**Drafts at equilibrium angle**

Draft at LCF	0.907	metres
Draft aft at marks	1.028	metres
Draft fwd at marks	0.780	metres
Draft at AP	1.030	metres
Draft at FP	0.738	metres
Mean draft at midships	0.884	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.292	metres
KG	4.880	metres
FSC	0.000	metres
KGf	4.880	metres
GMt	40.381	metres
BMt	44.787	metres
BMI	287.808	metres
Waterplane area	1147.45	sq.metres
LCF	26.893	metres
TCF	0.000	metres
TPC	11.761	tonnes/cm
MTC	44.390	tonnes-m/cm

Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	GM (m)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
-25.00	-5.4923	-1.9332	-1.310	-0.237	0.04[9]	0.2968
-20.00	-5.5977	-0.0816	-1.142	0.247	0.59[9]	0.2968
-15.00	-5.4985	3.1050	-0.940	0.656	1.22[9]	0.2968
-10.00	-4.9988	10.1659	-0.697	0.951	1.94[9]	0.2968
-5.00	-3.3310	34.1196	-0.397	1.043	2.85[9]	0.2968
0.00	0.0000	40.3813	-0.292	1.030	3.82[0]	0.2968
5.00	3.3310	34.1203	-0.397	1.043	2.85[0]	0.2968
10.00	4.9989	10.1667	-0.697	0.951	1.94[0]	0.2968
15.00	5.4986	3.1057	-0.941	0.656	1.22[0]	0.2968
20.00	5.5978	-0.0812	-1.142	0.247	0.59[0]	0.2968
25.00	5.4924	-1.9330	-1.310	-0.237	-0.04[0]	0.2968
30.00	5.2561	-3.2862	-1.457	-0.772	-0.46[0]	0.2968
35.00	4.9043	-4.5006	-1.633	-1.311	-0.95[0]	0.2968
40.00	4.4512	-5.5088	-1.851	-1.829	-1.45[0]	0.2968
45.00	3.9167	-6.3324	-2.089	-2.324	-1.95[0]	0.2968
50.00	3.3188	-6.9926	-2.327	-2.796	-2.44[0]	0.2968
55.00	2.6725	-7.4981	-2.555	-3.244	-2.91[0]	0.2968

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Area to leeward (Area b)	1.86742	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00109	m-radians
Gust angle	0.422	degrees
Rollback angle	46.990	degrees
Steady state angle	0.281	degrees
Max. angle to leeward	25.376	degrees

Εικόνα 4.1: Lightship Condition

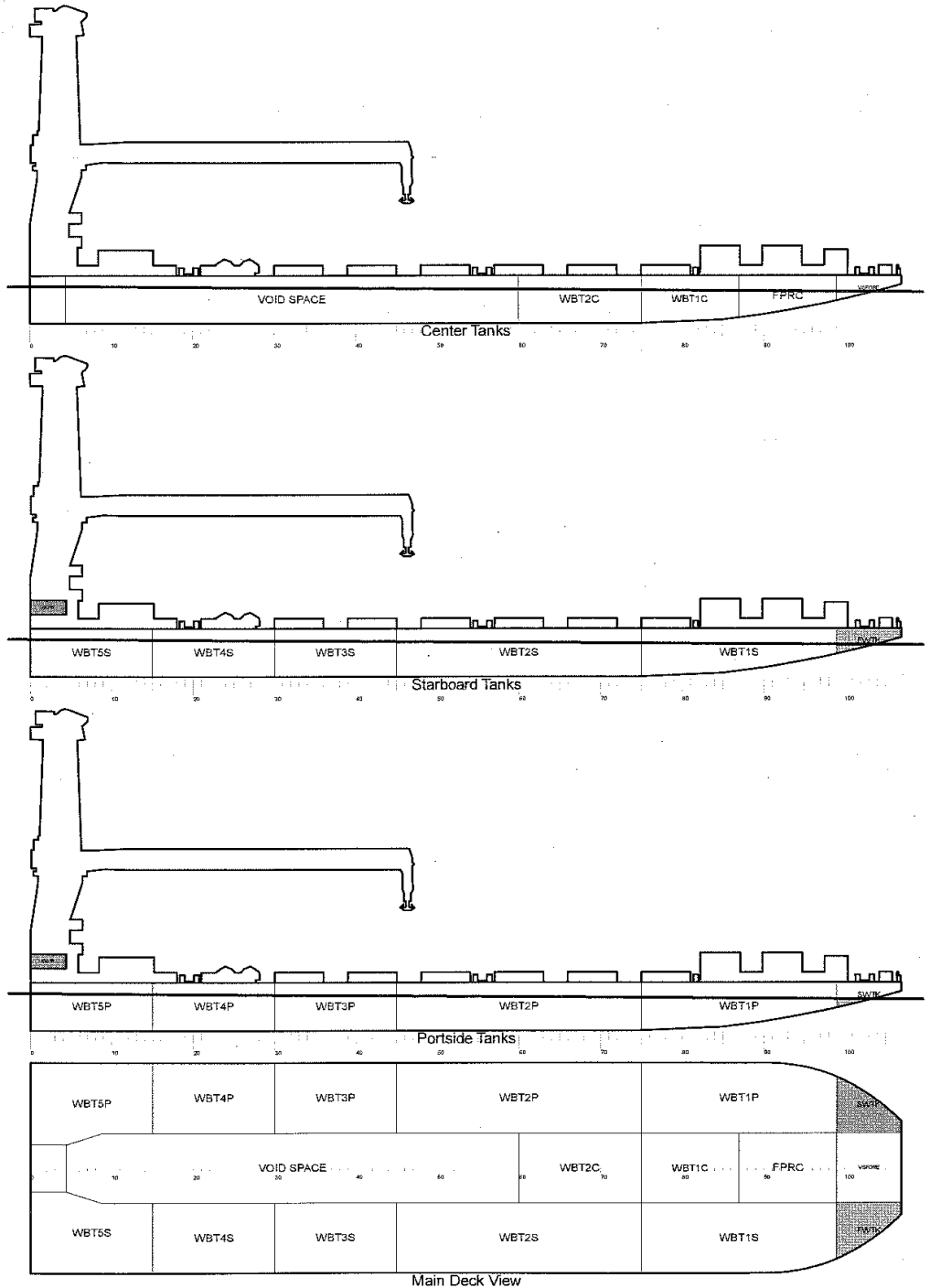
Uniformly Full Load Departure Condition

ALPASLAN 2

Navis Design

Uniformly Full Load Departure Condition

Intact State



Intact State

Intact State

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
FRESH WATER										
Fresh Water Tk. S	99-107	FW	100.0	1.000	30.4	62.00	5.52	3.94	0.0	
Total FRESH WATER					30.4	62.00	5.52	3.94	0.0	
OTHER										
Sewage Tk. P	99-107	OTH	10.0	1.000	3.0	61.06	-5.40	2.79	10.3	
Total OTHER					3.0	61.06	-5.40	2.79	10.3	
MDO										
MDO Tk. P	0-4	MDO	98.0	0.850	10.4	1.32	-4.03	7.00	4.0	
MDO Tk S	0-4	MDO	98.0	0.850	10.4	1.32	4.03	7.00	4.0	
Total MDO					20.8	1.32	0.00	7.00	8.0	
Deck Load										
Deck Load					3289.0	28.55	0.00	5.80	0.0	
Total Deck Load					3289.0	28.55	0.00	5.80	0.0	
Crew & Provision										
Crew					2.5	52.50	0.00	5.80	0.0	
Provision					5.0	52.50	0.00	6.40	0.0	
Total Crew & Provision					7.5	52.50	0.00	6.20	0.0	
Lightweight					986.6	24.35	0.00	4.88	0.0	
Deadweight					3350.8	28.77	0.05	5.79	18.3	
Total Displacement					4337.3	27.76	0.03	5.58	18.3	
Buoyancy					4336.9	27.73	0.05	1.84	49512.1	
Total Buoyancy					4336.9	27.73	0.05	1.84	49512.1	

Intact State

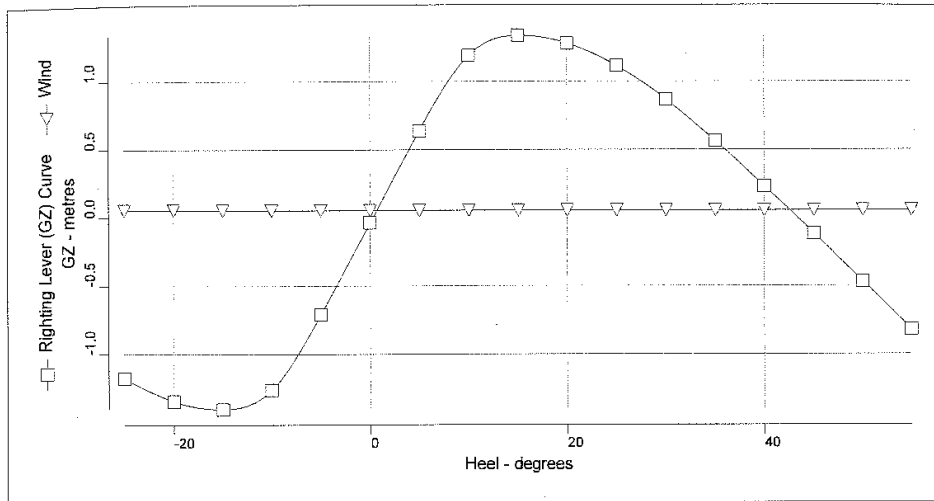
Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	3.510	metres
Draft aft at marks	3.781	metres
Draft fwd at marks	3.295	metres
Draft at AP	3.786	metres
Draft at FP	3.213	metres
Mean draft at midships	3.500	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0250	tonnes/cu.m
Heel to starboard	0.26	degrees
Trim by the stern	0.572	metres
KG	5.582	metres
FSC	0.004	metres
KGf	5.586	metres
GMt	7.667	metres
BMt	11.416	metres
BMI	99.352	metres
Waterplane area	1315.47	sq.metres
LCF	30.838	metres
TCF	0.021	metres
TPC	13.484	tonnes/cm
MTC	67.325	tonnes-m/cm

Intact State



Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	GM (m)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Wind (m)
-25.00	-1.1788	-2.1268	-1.946	4.952	-5.21[9]	0.0545
-20.00	-1.3447	-1.0942	-1.533	4.547	-3.74[9]	0.0545
-15.00	-1.4047	0.5120	-1.129	4.156	-2.30[9]	0.0545
-10.00	-1.2603	3.8727	-0.775	3.858	-0.97[9]	0.0545
-5.00	-0.7067	7.7723	-0.594	3.779	0.10[9]	0.0545
0.00	-0.0348	7.6669	-0.572	3.786	1.04[0]	0.0545
5.00	0.6373	7.7777	-0.594	3.779	0.10[0]	0.0545
10.00	1.1917	3.8850	-0.776	3.858	-0.97[0]	0.0545
15.00	1.3375	0.5301	-1.129	4.155	-2.30[0]	0.0545
20.00	1.2793	-1.0704	-1.533	4.547	-3.74[0]	0.0545
25.00	1.1157	-2.0974	-1.946	4.952	-5.21[0]	0.0545
30.00	0.8681	-2.9157	-2.421	5.373	-6.69[0]	0.0545
35.00	0.5632	-3.3773	-2.957	5.799	-8.17[0]	0.0545
40.00	0.2310	-3.6551	-3.491	6.192	-9.61[0]	0.0545
45.00	-0.1161	-3.8133	-4.004	6.539	-10.97[0]	0.0545
50.00	-0.4677	-3.8879	-4.463	6.820	-12.23[0]	0.0545
55.00	-0.8193	-3.9158	-4.863	7.035	-13.38[0]	0.0545

IMO Wind heeling

Property	Value	Units
Area to leeward (Area b)	0.02708	m-radians
Area to windward (Area a)	0.00052	m-radians
Gust angle	0.668	degrees
Rollback angle	27.304	degrees
Steady state angle	0.532	degrees
Max. angle to leeward	5.475	degrees

Εικόνα 4.2: Uniformly Full Load Departure Condition

Bulk Carrier M.V. Mairini

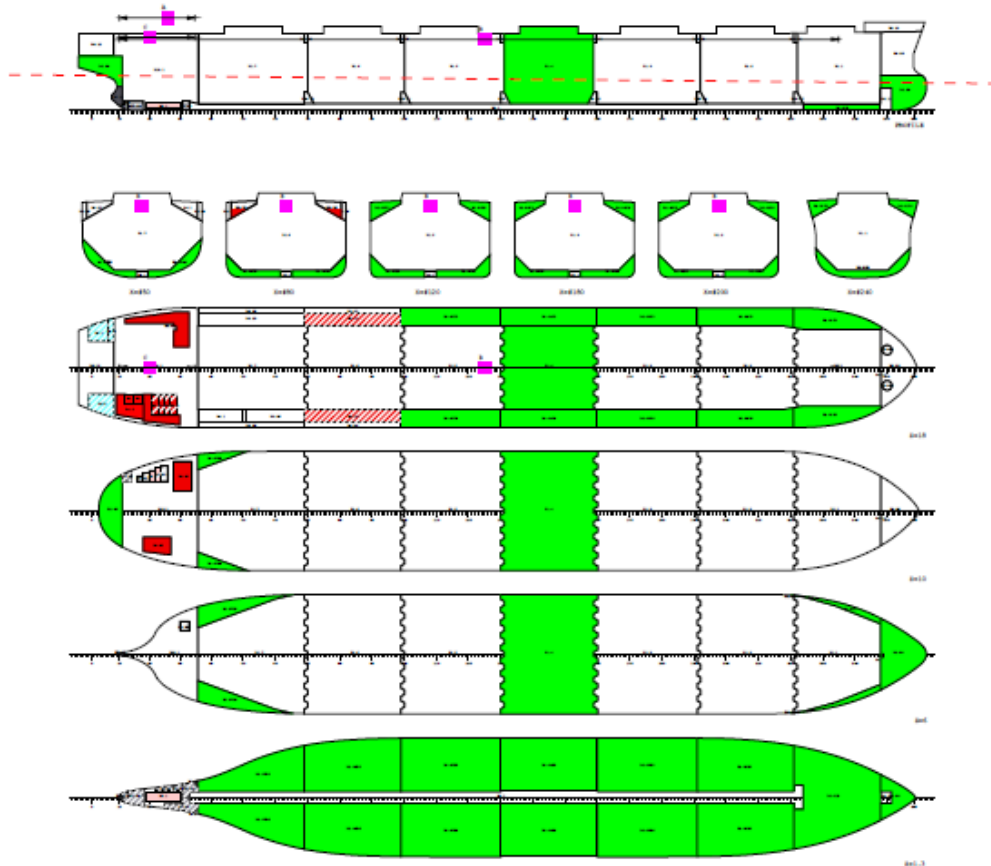
Heavy Ballast Midway

SDARI
79100DWT

FINAL LOADING MANUAL PART (I)
TYPICAL LOADING

SC4504-050-02JS
PAGE 233

LOADING CONDITION LOAD09 HEAVY BALLAST MIDWAY



FLOATING POSITION

Draught moulded	8.427 m	KM	14.94 m
Trim	-1.988 m	KG	10.37 m
Heel, PS=>	-0.3 deg		
TA	9.420 m	GMD	4.57 m
TF	7.433 m	GMCORR.	-0.04 m
Trimming moment	-210741 tonm	GM	4.53 m
Corr.draft	8.404 m		

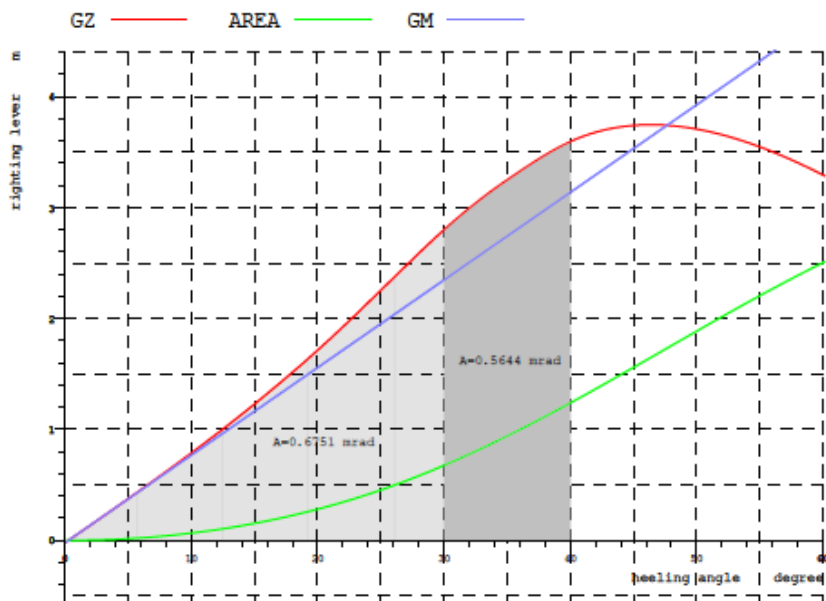
SDARI
79100DWT

FINAL LOADING MANUAL PART (I)
TYPICAL LOADING

LOAD	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm
Cargo	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0
CREW & EFFECT	5.80	20.550	0.000	25.000	0.0
PROVISION	9.50	15.630	0.000	19.800	0.0
SPARE	20.00	106.180	0.000	19.200	0.0
Cooling water	16.20	7.316	0.000	3.440	0.0
Fresh Water	198.77	2.873	0.001	16.137	163.4
Heavy Fuel Oil	1354.91	30.533	-0.002	15.356	1485.1
Diesel Oil	178.96	10.494	-10.209	17.115	357.7
Lubricating Oil	75.41	17.851	7.425	8.728	87.4
Miscellaneous	85.51	18.168	1.585	3.995	136.2
Water Ballast	34457.30	125.420	0.000	9.211	0.0
Deadweight	36402.36	120.071	-0.031	9.511	2229.8

DES	FILL %	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FRSM tm
CONTENTS=Water Ballast (RHO=1.025)						
NO.4 CARGO HOLD	100.0	14102.44	123.580	-0.000	11.279	0.0

DES	FILL %	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm
CONTENTS=Water Ballast (RHO=1.025)						
NO.1 B.W.B.TK.C	100.0	1309.52	201.195	0.000	2.096	0.0
NO.1 T.W.B.TK.P	100.0	566.38	200.030	12.033	18.935	0.0
NO.1 T.W.B.TK.S	100.0	566.38	200.030	-12.033	18.935	0.0
NO.2 B.W.B.TK.P	100.0	841.20	176.226	9.917	1.516	0.0
NO.2 B.W.B.TK.S	100.0	841.20	176.226	-9.917	1.516	0.0
NO.2 T.W.B.TK.P	100.0	622.64	176.737	13.060	18.684	0.0
NO.2 T.W.B.TK.S	100.0	622.64	176.737	-13.060	18.684	0.0
NO.3 B.W.B.TK.P	100.0	924.18	150.113	10.226	1.502	0.0
NO.3 B.W.B.TK.S	100.0	924.18	150.113	-10.226	1.502	0.0
NO.3 T.W.B.TK.P	100.0	638.88	150.115	13.071	18.683	0.0
NO.3 T.W.B.TK.S	100.0	638.88	150.115	-13.071	18.683	0.0
NO.4 B.W.B.TK.P	100.0	894.56	123.580	10.227	1.502	0.0
NO.4 B.W.B.TK.S	100.0	894.56	123.580	-10.227	1.502	0.0
NO.4 T.W.B.TK.P	100.0	618.27	123.580	13.071	18.683	0.0
NO.4 T.W.B.TK.S	100.0	618.27	123.580	-13.071	18.683	0.0
NO.5 B.W.B.TK.P	100.0	924.30	97.046	10.227	1.502	0.0
NO.5 B.W.B.TK.S	100.0	924.30	97.046	-10.227	1.502	0.0
NO.5 T.W.B.TK.P/WASHING	100.0	638.88	97.045	13.071	18.683	0.0
NO.5 T.W.B.TK.S/SLOP TA	100.0	638.88	97.045	-13.071	18.683	0.0
NO.6 B.W.B.TK.P	100.0	841.56	70.939	9.930	1.523	0.0
NO.6 B.W.B.TK.S	100.0	841.56	70.939	-9.930	1.523	0.0
NO.7 B.W.B.TK.P	100.0	976.85	41.173	9.860	4.071	0.0
NO.7 B.W.B.TK.S	100.0	976.85	41.173	-9.860	4.071	0.0
Fore Peak Tank	100.0	1020.43	217.741	0.001	5.562	0.0
Aft Peak Tank	100.0	1049.48	3.437	0.000	12.418	0.0
SUBTOTAL		20354.86	126.694	0.000	7.778	0.0
Lightweight		14354.18	102.455	0.000	12.561	
Deadweight		36402.36	120.071	-0.031	9.511	
Total weight		50756.54	115.089	-0.022	10.374	



Stability Criteria

RCR	TEXT	REQ	ATTN	UNIT	STAT
AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg.	0.055	0.675	mrad	OK
AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.090	1.240	mrad	OK
AREA3040	Area under GZ curve btw. 30-40 deg.	0.030	0.564	mrad	OK
GZ0.2	Max GZ > 0.2	0.200	3.747	m	OK
MAXGZ15	The angle corr. to Max. GZ	25.000	46.069	deg	OK
GMD.15	GM > 0.15 m	0.150	4.526	m	OK
K	IMO weather criterion	1.000	5.280		OK
VSTAB	vanishing Angle of stability	-	80.000	deg	-
DOWNFLD	Downflooding angle	-	66.425	deg	-
VISIBILITY	Visibility < min(2Loa,500)	458.000	339.013	M	OK
TDP	Propeller should immersed in water	50.000	94.300	%	OK

HEEL	degree	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
KN	m	0.000	2.618	5.298	8.027	10.309	11.703	12.328	12.390
GZ	m	-0.022	0.787	1.714	2.799	3.595	3.708	3.294	2.593

Εικόνα 4.3: Heavy Ballast Midway

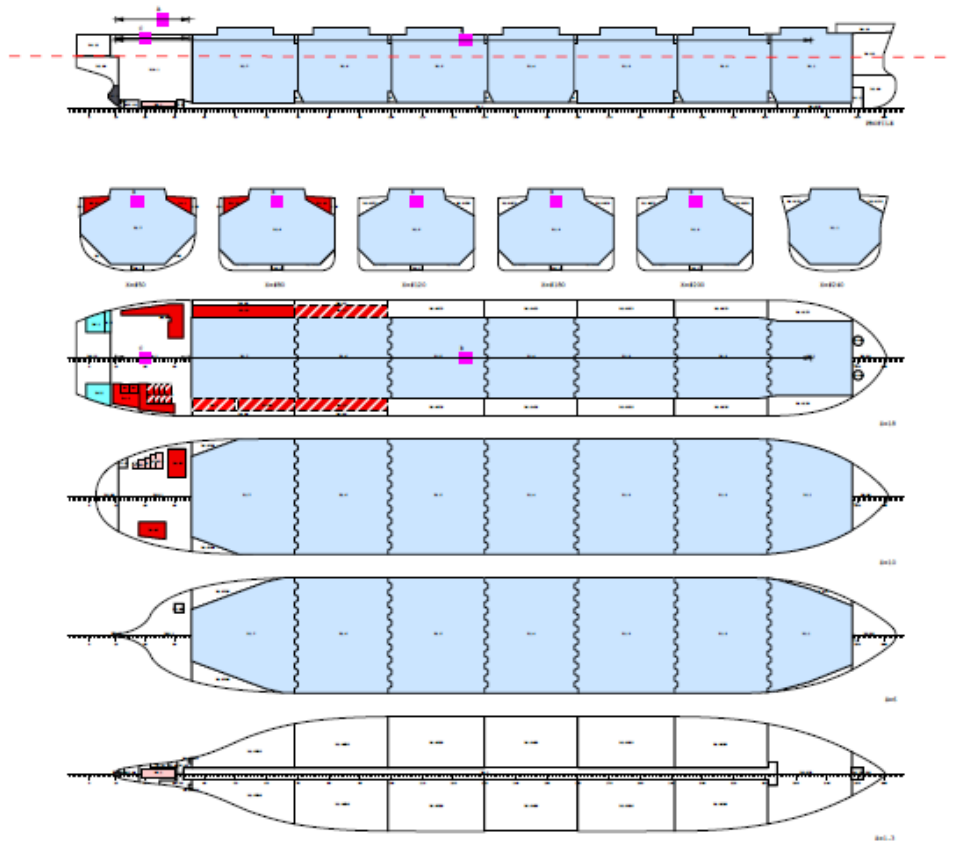
Full Homogenous Loading Departure

SDARI
79100DWT

FINAL LOADING MANUAL PART (I)
TYPICAL LOADING

SC4504-050-02JS
PAGE 241

LOADING CONDITION LOAD11: FULL HOMOG LOADING DEPARTURE



FLOATING POSITION

Draught moulded	14.616 m	KM	13.81 m
Trim	-0.213 m	KG	11.75 m
Heel, PS=+	-0.0 deg		
TA	14.723 m	GMD	2.06 m
TF	14.510 m	GMCORR	-0.22 m
Trimming moment	-25779 tonm	GM	1.84 m
Corr. draft	14.62 m		

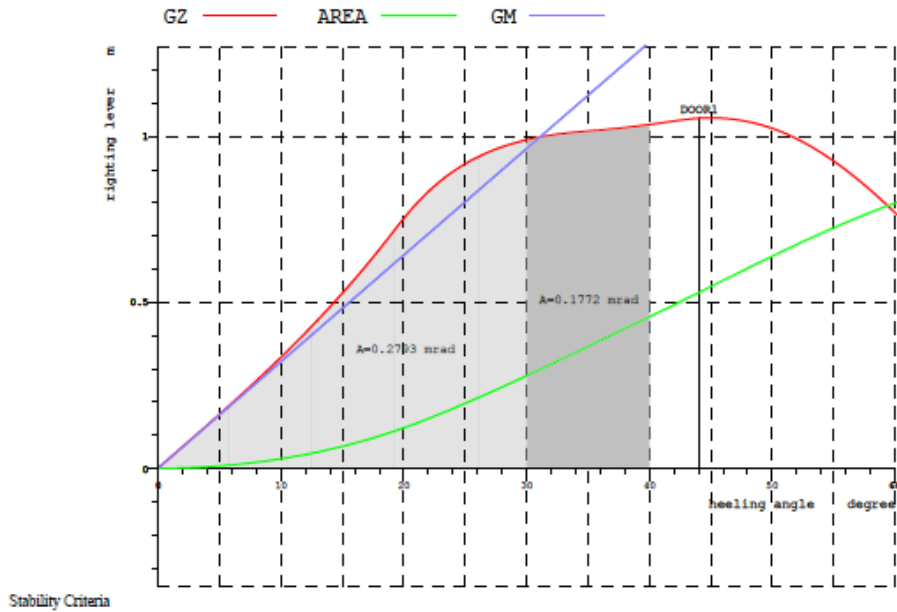
SDARI
79100DWT

FINAL LOADING MANUAL PART (I)
TYPICAL LOADING

LOAD	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm
Cargo	75352.31	120.527	-0.000	11.335	0.0
CREW & EFFECT PROVISION	5.80	20.550	0.000	25.000	0.0
SPARE	19.00	15.630	0.000	19.800	0.0
Cooling water	20.00	105.310	0.000	19.200	0.0
Fresh Water	16.20	7.316	0.000	3.440	0.0
Heavy Fuel Oil	397.53	2.866	0.002	17.618	163.4
Diesel Oil	2709.78	43.597	1.001	17.260	1485.1
Lubricating Oil	356.94	22.633	-11.276	18.003	357.7
Miscellaneous	145.46	17.338	8.618	10.028	87.4
Water Ballast	0.00	0.000	0.000	0.000	136.2
	0.00	0.000	0.000	0.000	18249.7
Deadweight	79023.02	116.606	-0.001	11.601	20479.5

DES	FILL %	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FRSM tm
CONTENTS=Cargo (RHO=0.76925)						
NO.1 CARGO HOLD	100.0	8199.18	200.963	-0.000	11.597	0.0
NO.2 CARGO HOLD	100.0	11036.65	177.153	0.000	11.227	0.0
NO.3 CARGO HOLD	100.0	11851.50	150.121	0.000	11.164	0.0
NO.4 CARGO HOLD	100.0	10583.66	123.580	-0.000	11.279	0.0
NO.5 CARGO HOLD	100.0	11409.69	97.550	0.000	11.212	0.0
NO.6 CARGO HOLD	100.0	11042.98	71.021	0.000	11.225	0.0
NO.7 CARGO HOLD	100.0	11228.65	44.059	0.000	11.719	0.0
SUBTOTAL		75352.31	120.527	-0.000	11.335	0.0

DES	FILL %	WEIGHT t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm
CONTENTS=Water Ballast (RHO=1.025)						
NO.7 B.W.B.TK.P	0.0	0.00	41.173	9.860	4.071	2650.3
NO.7 B.W.B.TK.S	0.0	0.00	41.173	-9.860	4.071	2650.3
Aft Peak Tank	0.0	0.00	3.437	0.000	12.418	12949.0
SUBTOTAL		0.00	0.000	0.000	0.000	18249.7
Lightweight		14354.18	102.455	0.000	12.561	
Deadweight		79023.02	116.606	-0.001	11.601	
Total weight		93377.20	114.430	-0.001	11.749	



Stability Criteria

RCR	TEXT	REQ	ATTN	UNIT	STAT
AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg.	0.055	0.279	mrad	OK
AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.090	0.456	mrad	OK
AREA3040	Area under GZ curve btw. 30-40 deg.	0.030	0.177	mrad	OK
GZ0.2	Max GZ > 0.2	0.200	1.055	m	OK
MAXGZ25	The angle corr. to Max. GZ	25.000	44.035	deg	OK
GMD.15	GM > 0.15 m	0.150	1.839	m	OK
K	IMO weather criterion	1.000	5.030		OK
VSTAB	vanishing Angle of stability	-	76.785	deg	-
DOWNFLD	Downflooding angle	-	44.035	deg	-
VISIBILITY	Visibility < mm(2Loa, 500)	458.000	174.697	M	OK
NDP	Propeller should immersed in water	50.000	179.817	%	OK

HEEL	degree	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
RN	m	-0.000	2.412	4.846	6.973	8.728	10.192	11.135	11.589
GZ	m	0.001	0.335	0.753	0.990	1.036	1.025	0.770	0.343

Εικόνα 4.4. Full Homogenous Loading Departure

Τα στοιχεία που ελήφθησαν από τις παραπάνω εικόνες, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί που αφορούν στο seakeeping με τη χρήση του κώδικα Frank καθώς και του υπολογιστικού πακέτου Standard Ship Motion Computer Program, SMP-93.

Εν συνεχεία, έγιναν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί που αφορούν στα ρυμούλκια που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της πλευρίσης, καθώς και τα αντίστοιχα παραβλήματα και λοιπά προστατευτικά, ούτως ώστε να συμβαδίζουν με τους διεθνείς κανονισμούς που διέπουν τη συγκεκριμένη διαδικασία και αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 1.

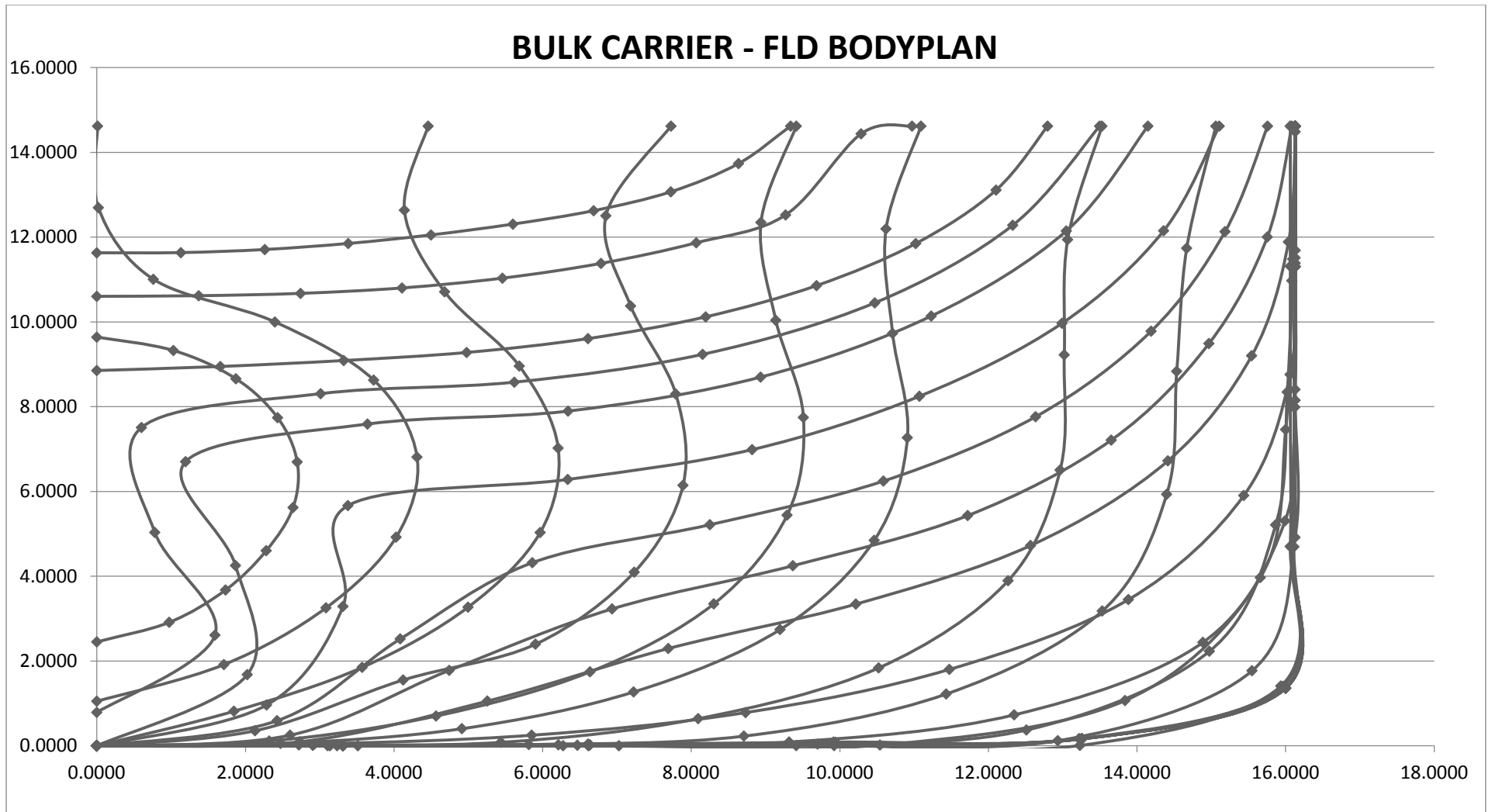
4.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προγραμμάτων Δυναμικής Ροής

4.2.1. Αποτελέσματα Κώδικα Frank

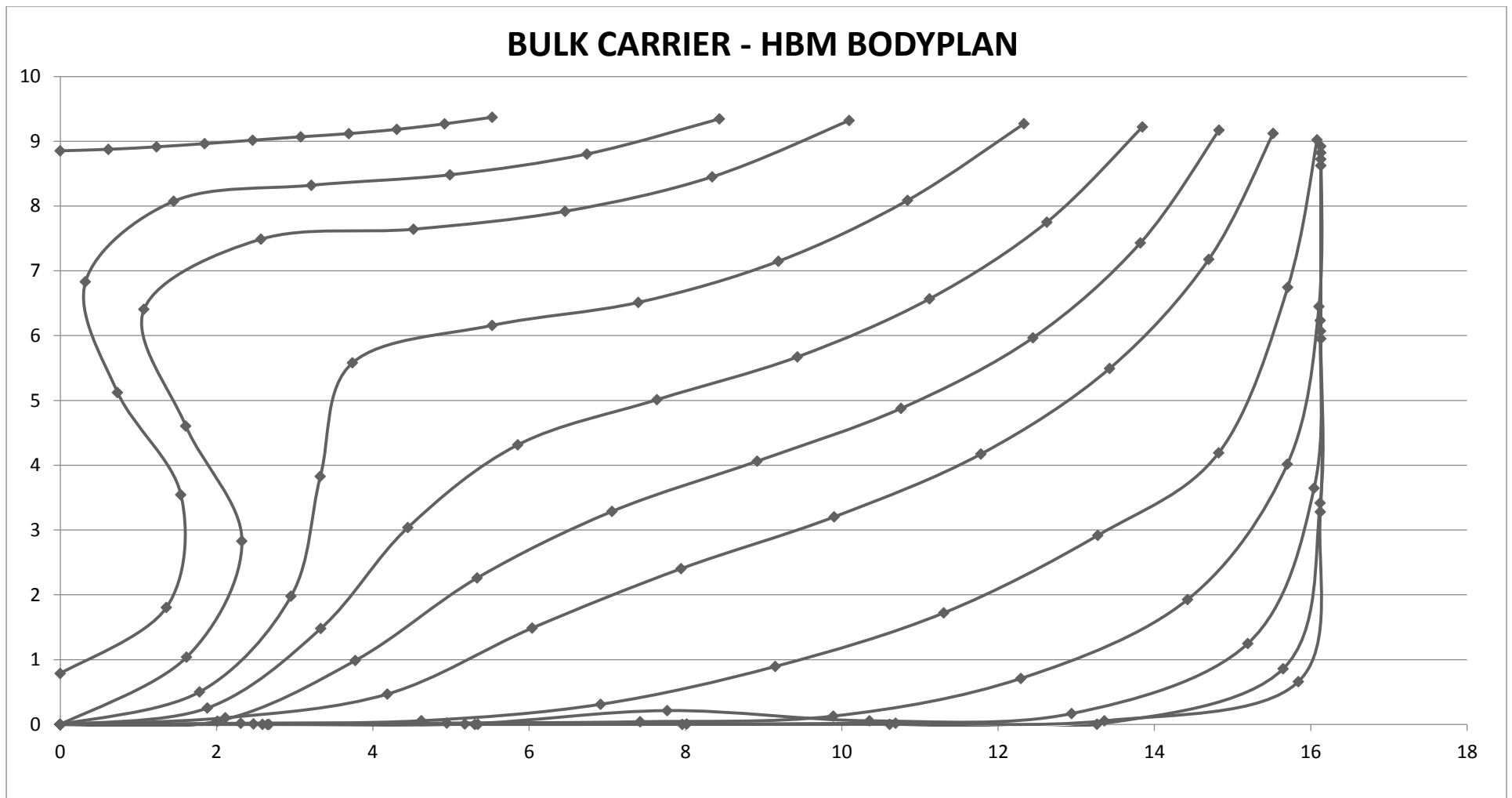
Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν 10 σημεία του περιγράμματος της εκάστοτε τομής ως δεδομένα για το αρχείο input του κώδικα. Στην περίπτωση του Bulk Carrier, πήραμε δεδομένα για τριάντα δύο τομές του πλοίου, ενώ για τη μπάρτζα για έντεκα τομές. Προφανώς, το πολύ μεγαλύτερο μέγεθος αλλά και η πολυπλοκότητα της μορφής της γάστρας του φορτηγού πλοίου σε σχέση με τη μπάρτζα δικαιολογεί την επιλογή μας αυτή. Ο αριθμός των τομών αυτών, ήταν τέτοιος ώστε να ισχύουν οι αντίστοιχοι περιορισμοί.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχέδια γραμμών που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος για τον κώδικα Frank για το Bulk Carrier σε Full Load Departure και Heave Ballast Midway, καθώς και για τη Barge σε Full Load Departure αντίστοιχα. Όλες οι περαιτέρω οδηγίες, με βάση τις οποίες συμπληρώθηκαν τα input αρχεία παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ε.

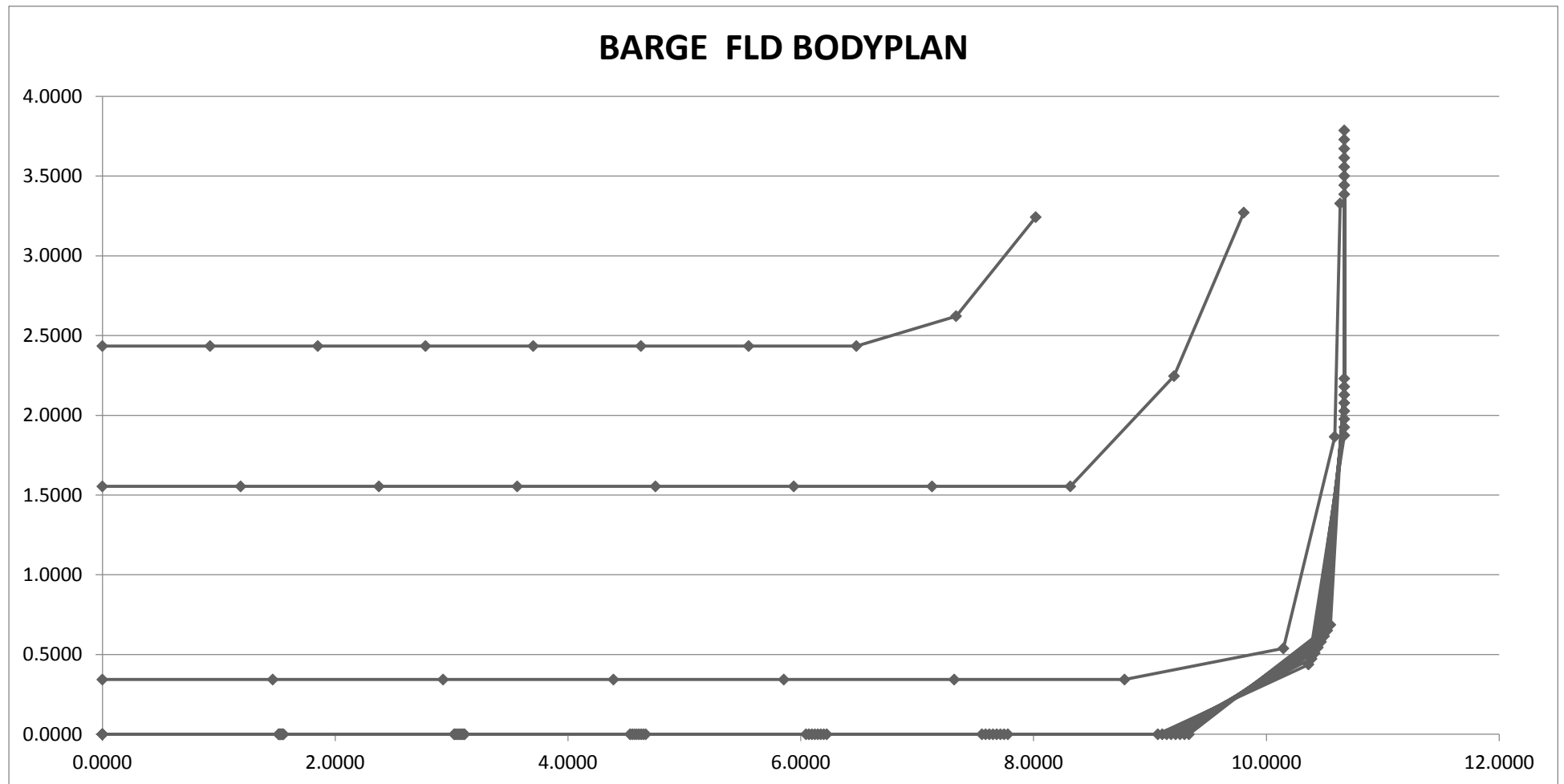
Σημειώνεται πως οι διαφορές στην τετμημένη του ακραίου σημείου κάθε τομής οφείλονται στην ύπαρξη διαμήκους κλίσης που διαφοροποιείται ανάλογα με την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης των πλοίων, η οποία δεν μπορεί να εισαχθεί σαν δεδομένο στο πρόγραμμα. Επομένως, υπολογίστηκε για κάθε κατάσταση φόρτωσης το βύθισμα σε κάθε εγκάρσια τομή και εν συνεχεία βρέθηκαν τα δέκα σημεία του περιγράμματος τους. Τα σημεία αυτά είναι τέτοια ώστε να ορίζονται ισομήκη διαστήματα ανάμεσα τους. Για να υπολογιστούν, λοιπόν οι συντεταγμένες τους, αρχικά περάσαμε τις καμπύλες στο πρόγραμμα Autodesk AutoCAD, και εν συνεχεία τις ισοδιαμερίσαμε σε εννέα ίσα τμήματα. Τα σημεία αρχής και τέλους του κάθε ισομήκους ευθύγραμμου τμήματος ήταν τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 4.1:Bodyplan Bulk Carrier σε FLD κατάσταση φόρτωσης



Διάγραμμα 4.2: Bodyplan Bulk Carrier σε HBM κατάσταση φόρτωσης



Διάγραμμα 4.3: Bodyplan Barge σε FLD κατάσταση φόρτωσης

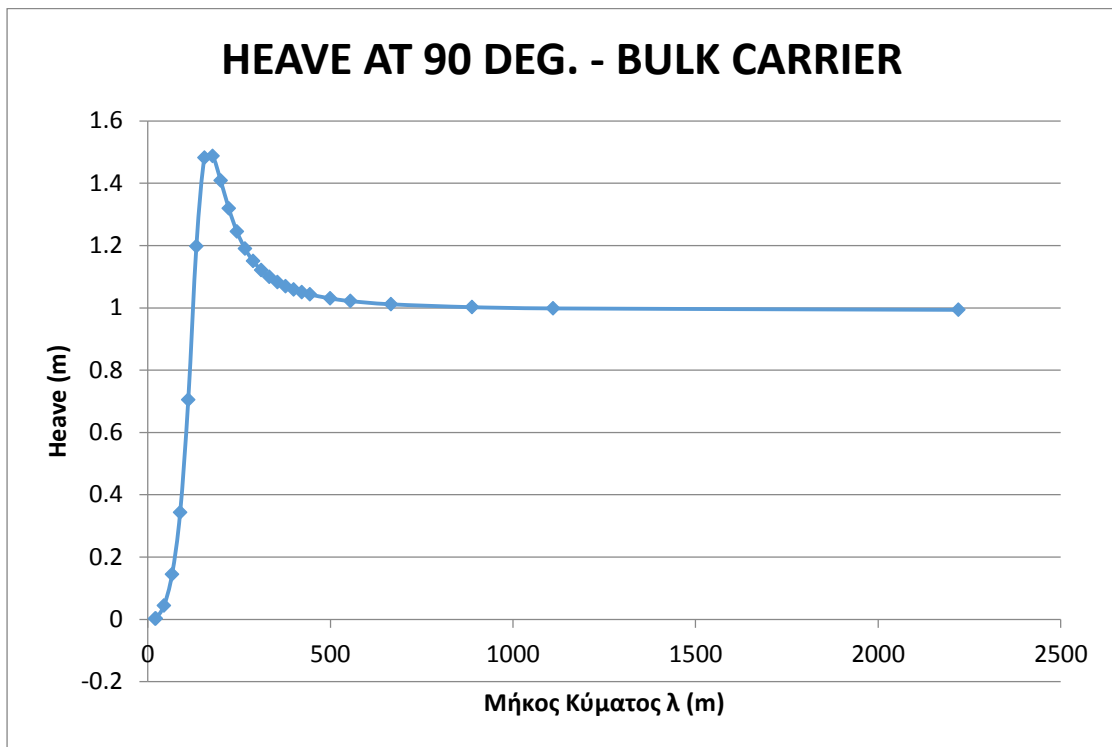
Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, μας ενδιαφέρει η κατάσταση πλήρους φόρτωσης τόσο του Bulk Carrier όσο και της μπάρτζας. Ουσιαστικά, έχοντας ένα πλήρως φορτωμένο φορτηγό πλοίο, θεωρήσαμε ότι μετά τη μεταφόρτωση η διαφορά του βυθίσματος και των υδροστατικών μεγεθών του είναι αρκετά μικρή ώστε να επιτρέπεται να θεωρήσουμε πως έχουμε μια κατάσταση πολύ κοντά στην αρχική. Μετά τη μεταφόρτωση εμπορεύματος στη μπάρτζα, θα έχουμε και εκεί κατάσταση πλήρους φόρτωσης.

Οι κινήσεις που μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα είναι η οριζόντια ταλάντωση (heave) και ο διατοιχισμός (roll). Αναλυτικότερα, θεωρούμε ότι ο τρόπος πρόσδεσης μεταξύ των πλοίων έχει ως αποτέλεσμα την κοινή ταλάντωση των δύο πλοίων ως προς το διαμήκη (surge) και τον εγκάρσιο άξονα (sway). Επιπρόσθετα θεωρούμε πως το ίδιο ισχύει και για τη στρωφική οριζόντια ταλάντωση (yaw). Επομένως, οι κινήσεις που μας ενδιαφέρουν είναι η οριζόντια ταλάντωση, ο διατοιχισμός και ο προνευτασμός (pitch). Ωστόσο, τα αποτελέσματα του προγράμματος έδειξαν ότι η κίνηση του pitch περιορίζεται σε πολύ μικρές τιμές, που στην περίπτωση του bulk carrier παραμένουν κάτω της μίας μοίρας, ενώ στη μπάρτζα δεν ξεπερνούν τις δύο ή τρεις μοίρες σε μεγάλους κυματισμούς. Οι τιμές αυτές έχουν πολύ μικρό αντίκτυπο στη σχετική κίνηση των δύο πλοίων και στη διαφορά του ύψους εξάλων τους, και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται.

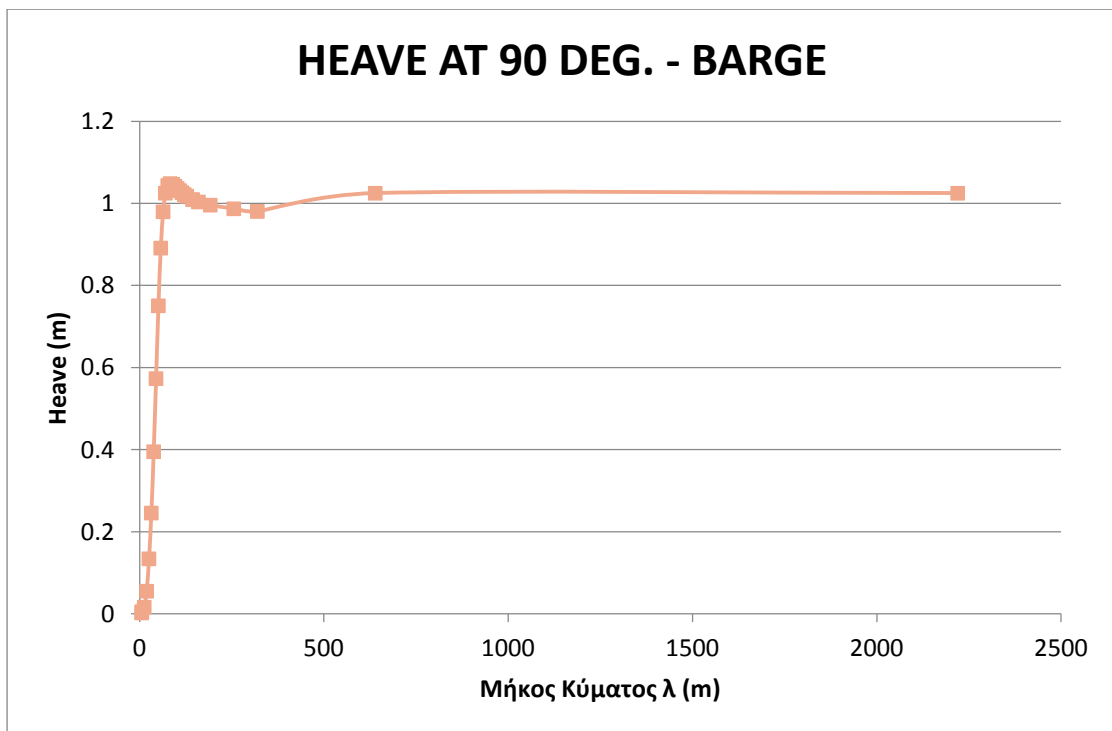
Σε συνέχεια όσων προαναφέρθηκαν, σημειώνεται ότι δεν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του roll, καθώς για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το έτερο πρόγραμμα (SMP-93) που παρέχει δυνατότητα εισαγωγής της απόσβεσης διατοιχισμού.

Εν συνεχεία, παρατίθενται τα γραφήματα με τα αποτελέσματα της κίνησης της κατακόρυφης ταλάντωσης των πλοίων. Τα αποτελέσματα που παρατίθενται είναι για ακινητοποιημένα πλοία ($V=0$ m/s), σε κυματισμούς με μήκος κύματος τέτοιο ώστε $\lambda/L_{BP}=[0.1, 0.2, 0.3, \dots, 1.8, 1.9, 2.0, 2.25, 2.50, 3, 4, 5, 10]$, με ύψος κύματος ένα μέτρο.

- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):

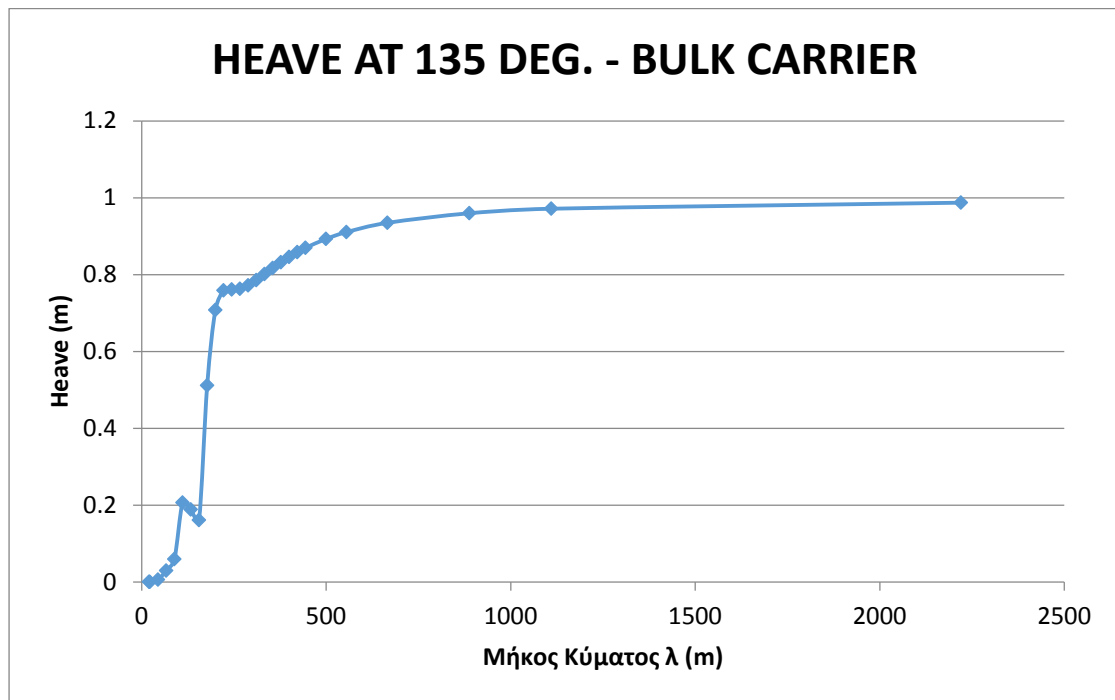


Διάγραμμα 4.4.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90°

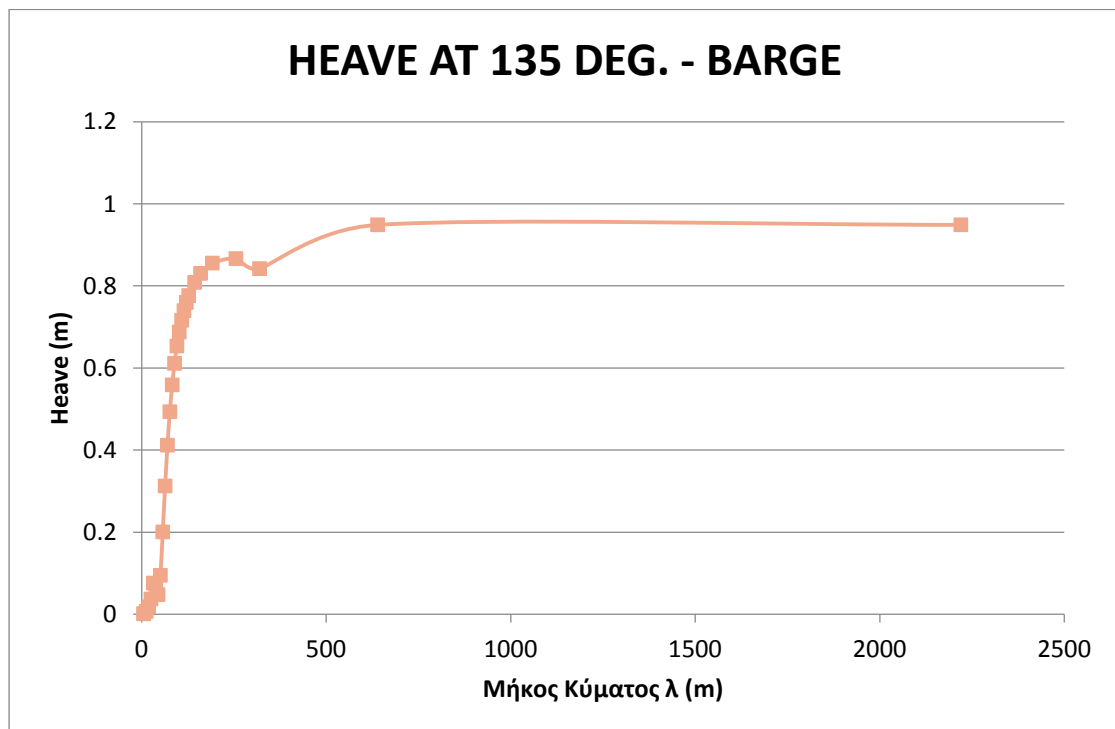


Διάγραμμα 4.4.β :Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90°

- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).

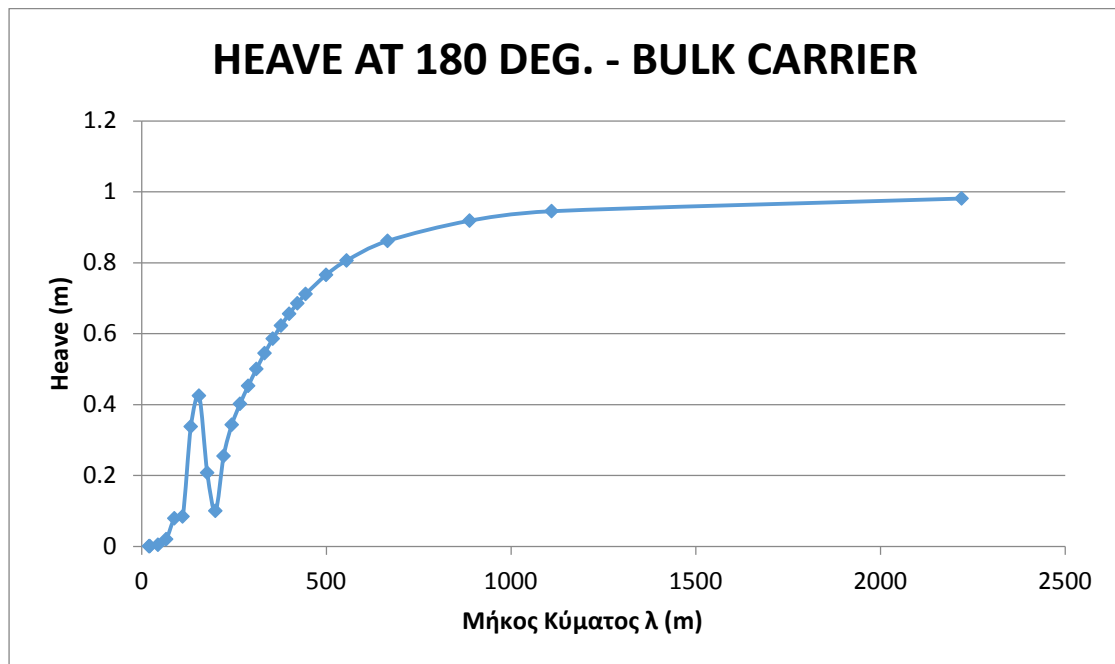


Διάγραμμα 4.5.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135°

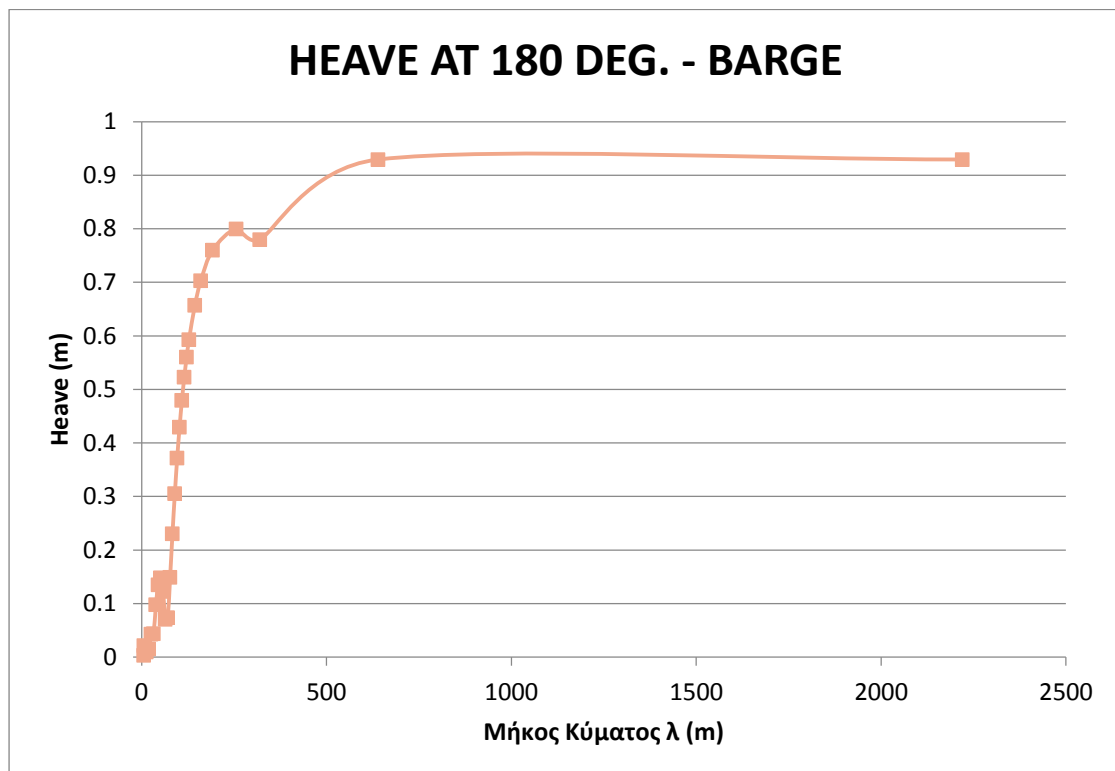


Διάγραμμα 4.5.β:Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 135°

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



Διάγραμμα 4.6.α: ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180°



Διάγραμμα 4.6.β:Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 180°

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω γραφήματα, η μέγιστες τιμές οριζόντιας ταλάντωσης εμφανίζονται σε κυματισμούς που προσπίπτουν στην πλευρά του πλοίου. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η υδροδυναμική σχεδίαση του πλοίου είναι τέτοια ώστε να υπάρχει απόσβεση των κυματισμών από την πλώρη, ειδικά στην περίπτωση ύπαρξης βολβού στο Bulk Carrier.

Οι τιμές σε αυτή την περίπτωση φτάνουν τα 1.487 m σε μήκος κύματος 177.6 m για το bulk carrier και τα 1.049 m σε μήκος κύματος 83.2 m για τη μπάρτζα. Προφανώς, η εμφάνιση μεγίστων σε διαφορετικά μήκη κύματος είναι λογική, καθώς ανάλογα με το μήκος κύματος του πλοίου, υπάρχει και συντονισμός με τα αντίστοιχα μήκη κύματος. Στις άλλες δύο περιπτώσεις τα αντίστοιχα μέγιστα παραμένουν κάτω από το 1 m και εμφανίζονται στις μέγιστες τιμές του μήκους κύματος που θεωρήσαμε.

Όπως προαναφέρθηκε, οι τιμές για το roll θα παρουσιαστούν στα αποτελέσματα του SMP-93 που ακλουθούν στην επόμενη παράγραφο.

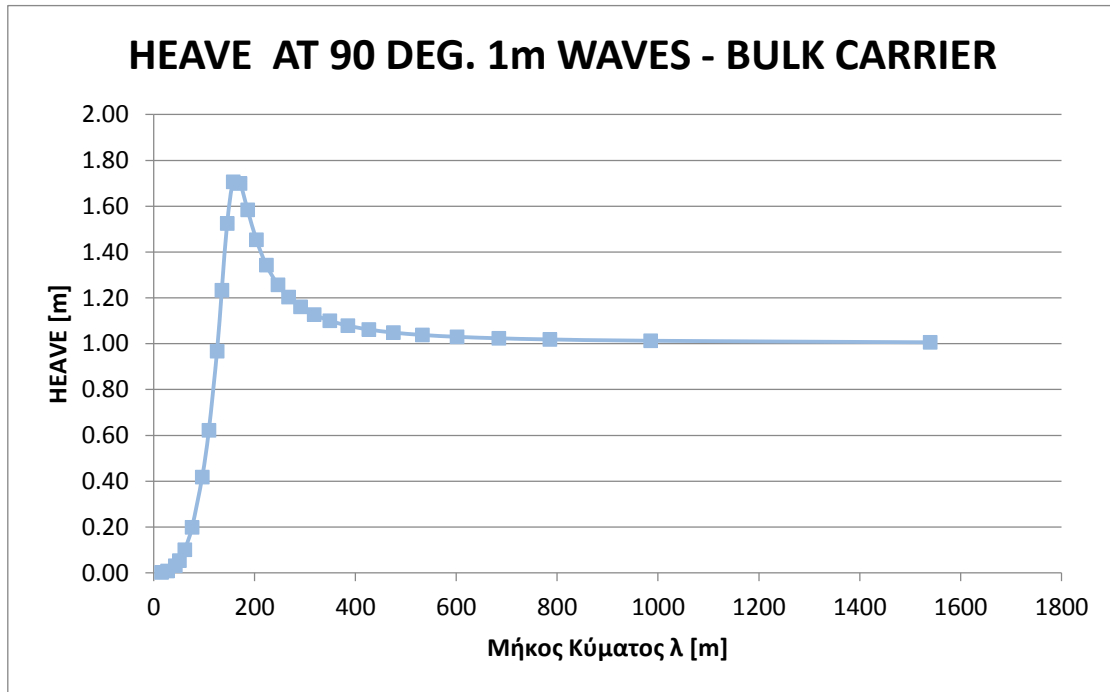
4.2.2. Αποτελέσματα Προγράμματος SMP-93

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου προγράμματος, αποφασίσαμε να επαναλάβουμε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη χρήση του κώδικα Frank, αυτή τη φορά για κυματισμούς με ύψος κύματος ενός, δύο και τεσσάρων μέτρων. Επίσης, οι συχνότητες των κυμάτων ήταν τέτοιες ώστε το μήκος κύματος λ να παίρνει τιμές έως 1540 m. Οι γωνίες πρόσπτωσης που επιλέχτηκαν είναι οι ίδιες με την προηγούμενη εφαρμογή. Οι υπόλοιπες εκφάνσεις όπως τα σημεία ανά εγκάρσια τομή και τα υπόλοιπα δεδομένα παρέμειναν ίδια με την περίπτωση του κώδικα του Frank.

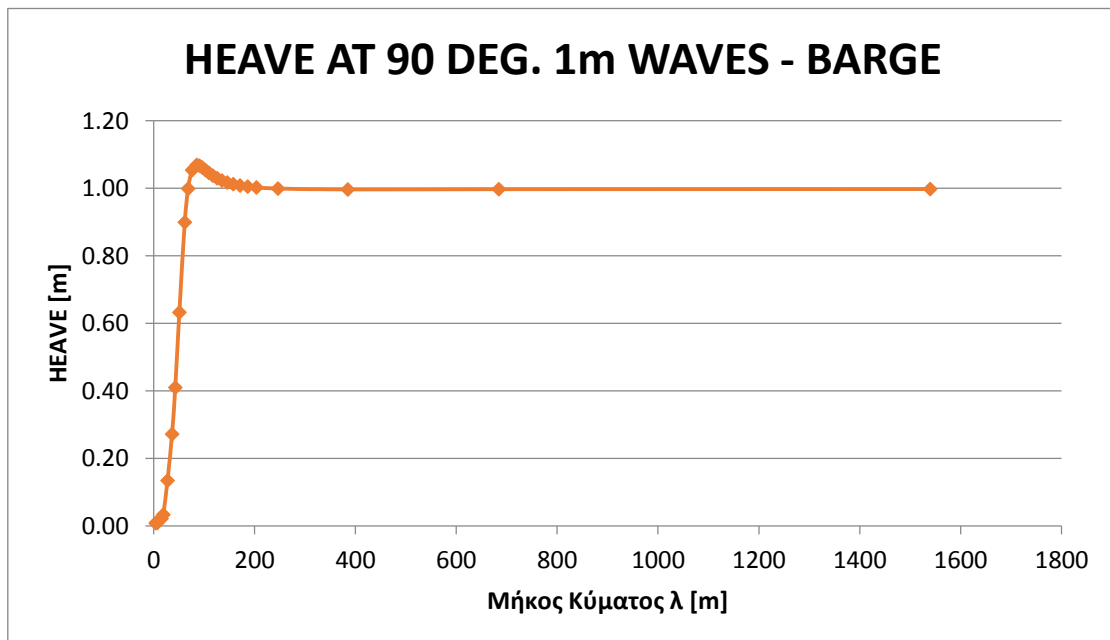
Αξίζει να αναφερθεί ότι σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται τόσο τα αποτελέσματα του roll, όσο και τα αποτελέσματα του pitch. Αφενός, όσον αφορά στο διατοιχισμό, αναφέραμε τη σημαντική προσθήκη του προγράμματος που επιτρέπει την εισαγωγή της απόσβεσης διατοιχισμού και προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα. Αφετέρου, όσον αφορά στο pitch, τα αποτελέσματα παρατίθενται, καθώς για μεγαλύτερα κύματα αποκτούν σημαντικές τιμές. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν σε long-crested κυματισμούς, καθώς οι αποκρίσεις σε τέτοιου είδους κυματισμούς είναι έως και 35% μεγαλύτερες. Επομένως, επιλέξαμε αυτή την περίπτωση ως τη δυσμενέστερη. Παρόλα αυτά, οι διαφορές στο ύψος εξάλων των πλοίων είναι και πάλι αποτέλεσμα του heave και του roll.

Κυματισμοί Ύψους 1m

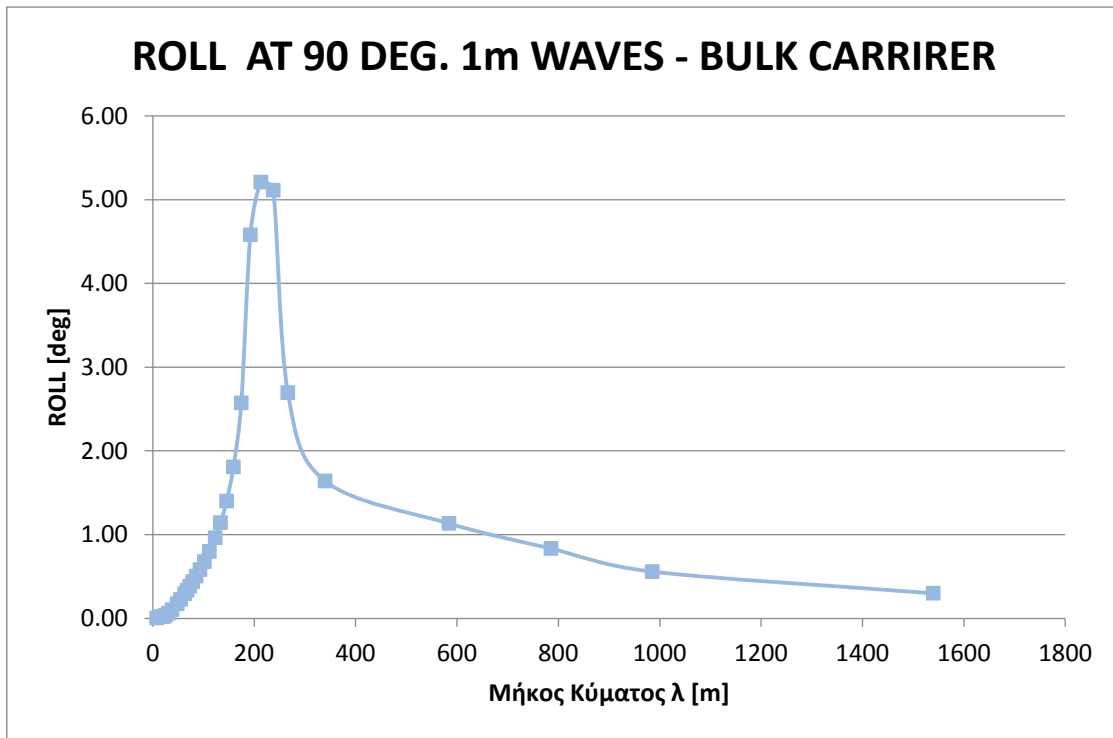
- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):



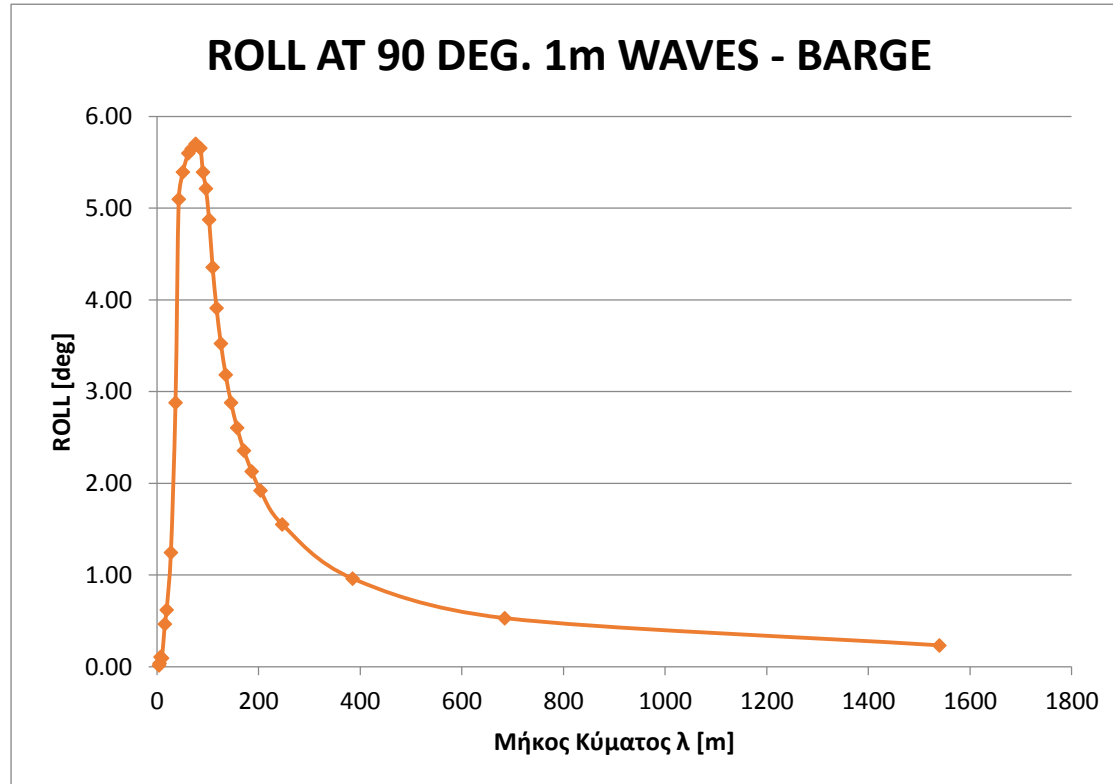
Διάγραμμα 4.7.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.



Διάγραμμα 4.7.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.

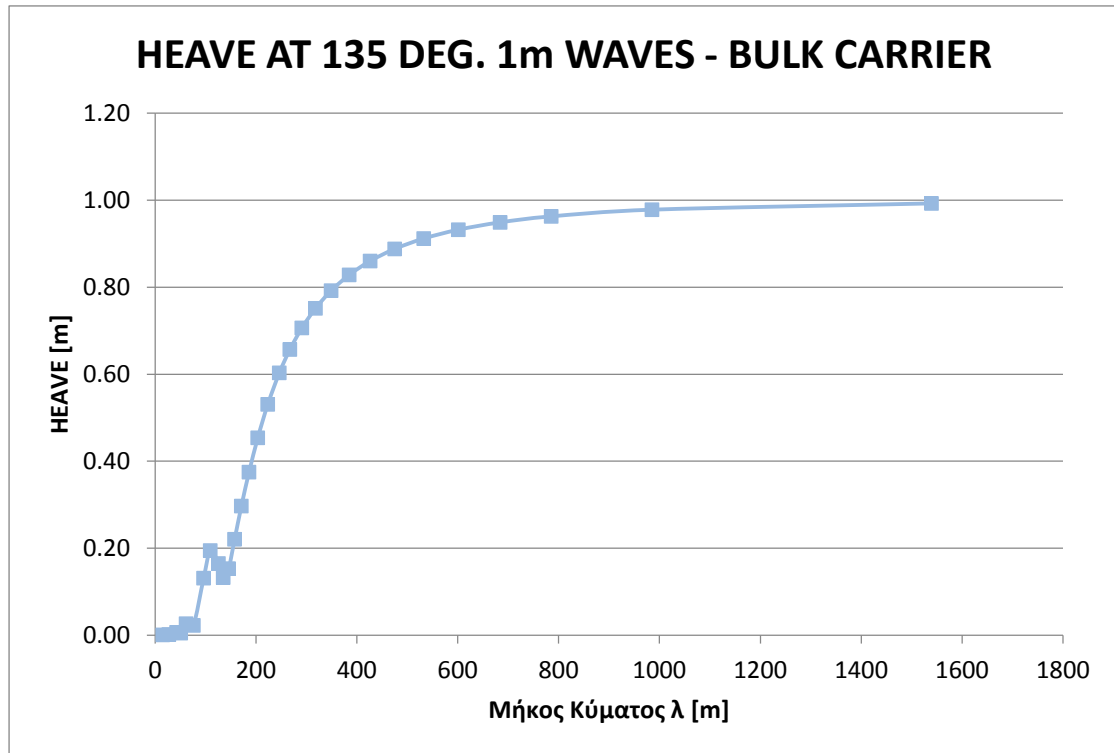


Διάγραμμα 4.7.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.

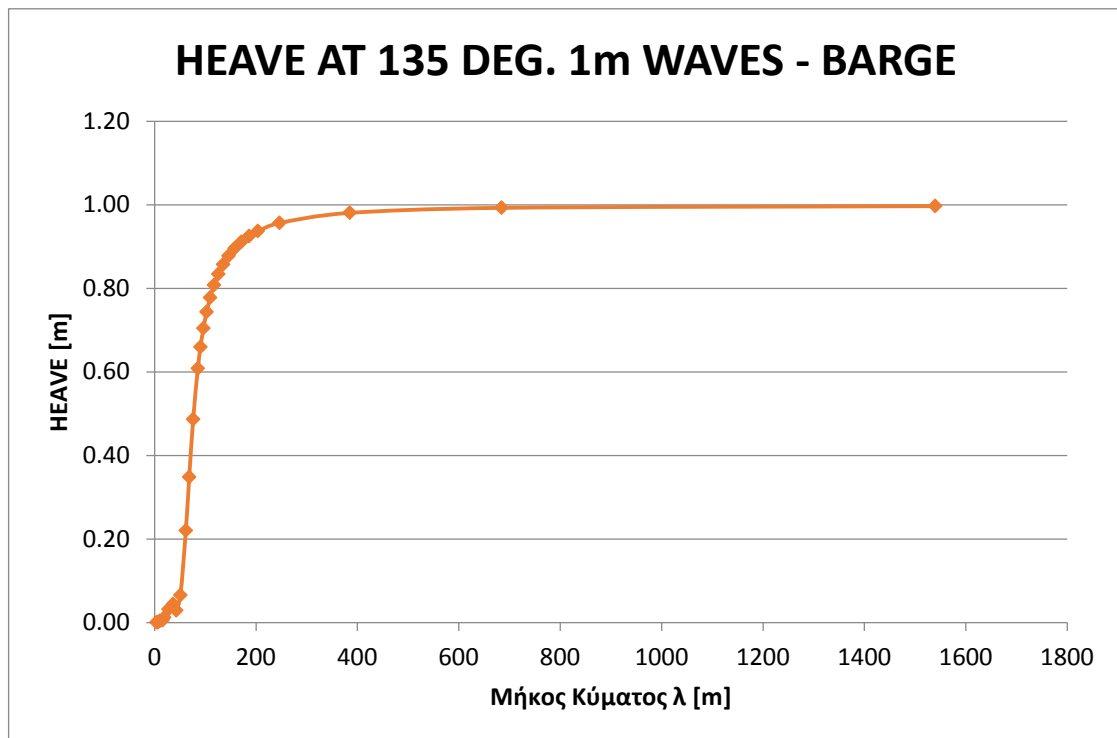


Διάγραμμα 4.7.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.

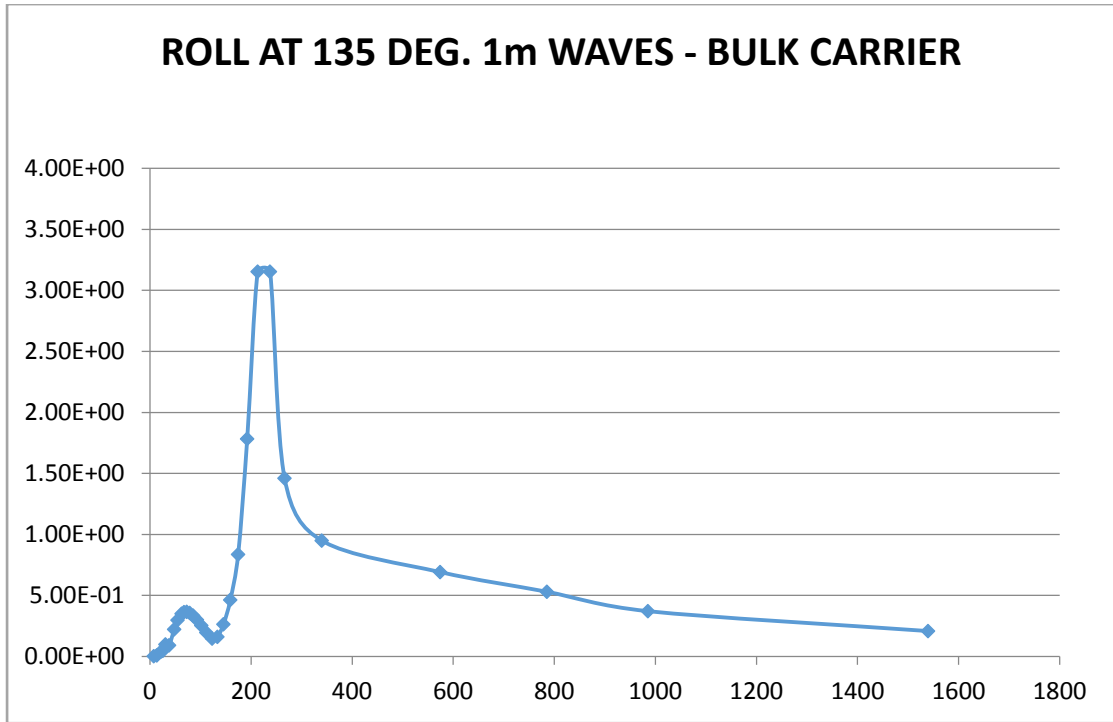
- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).



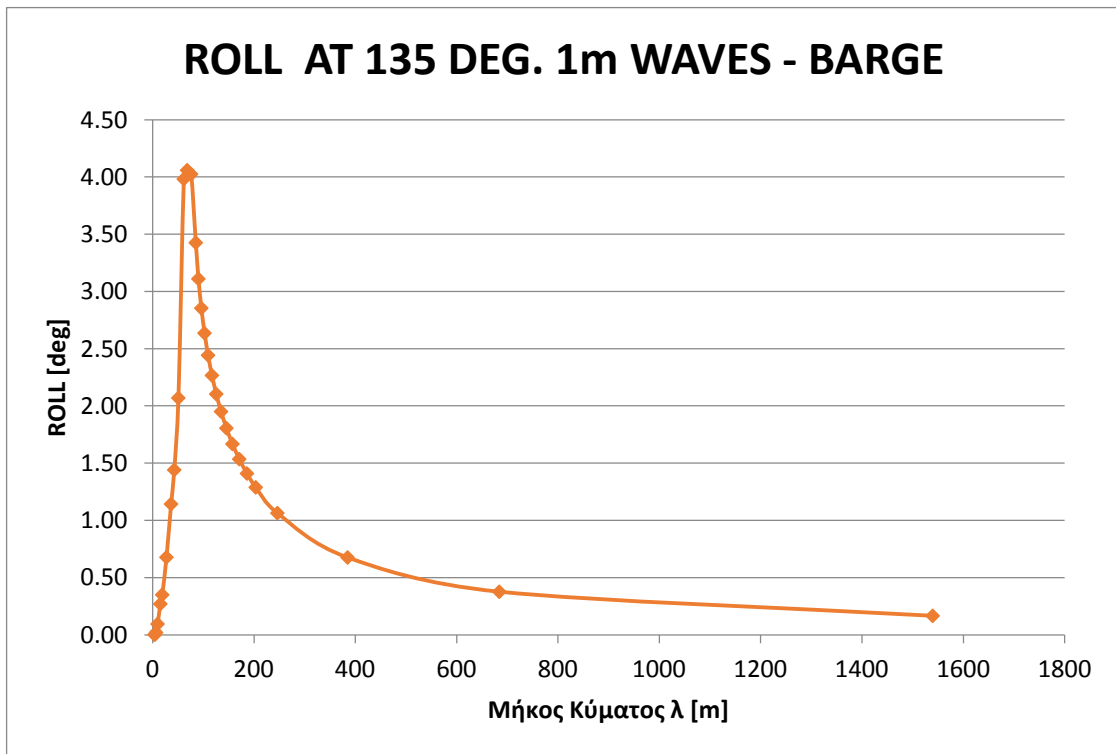
Διάγραμμα 4.8.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.



Διάγραμμα 4.8.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.

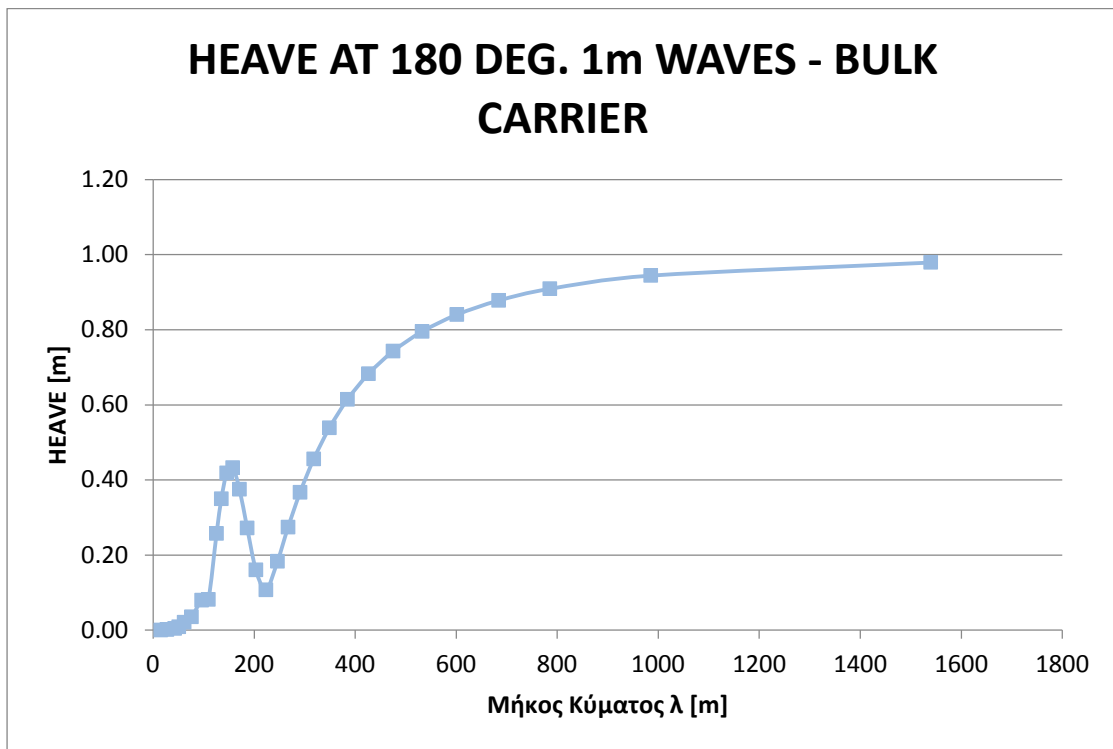


Διάγραμμα 4.8.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.

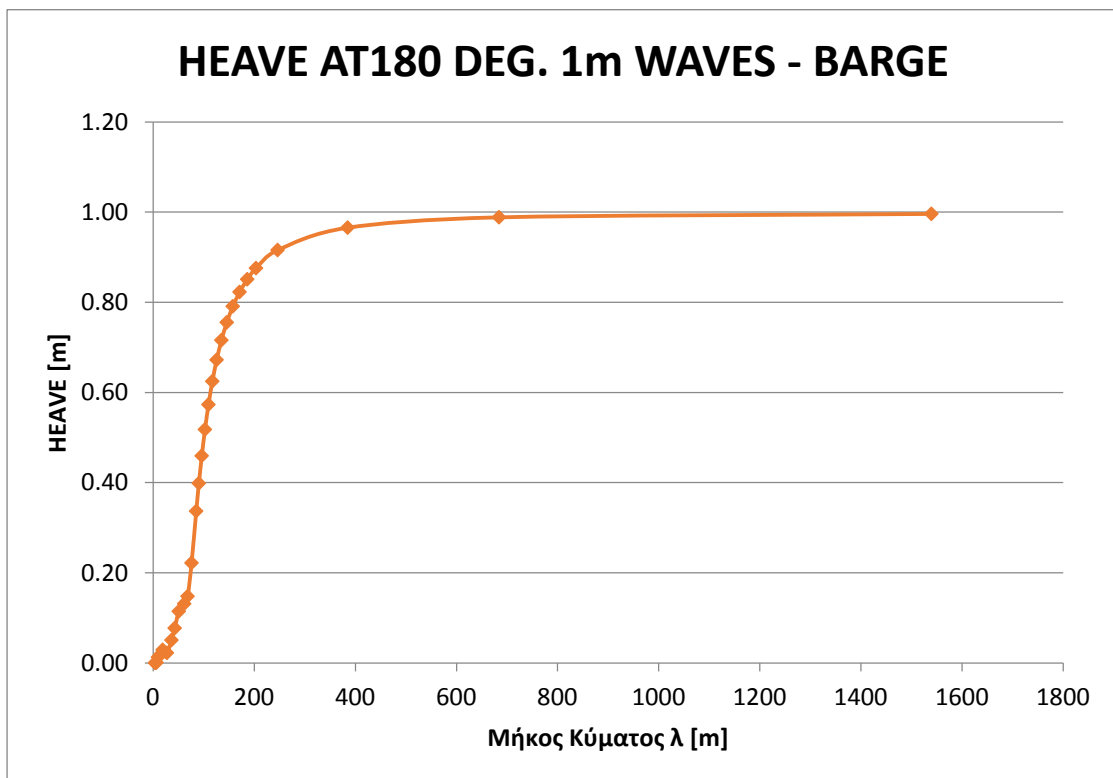


Διάγραμμα 4.8.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



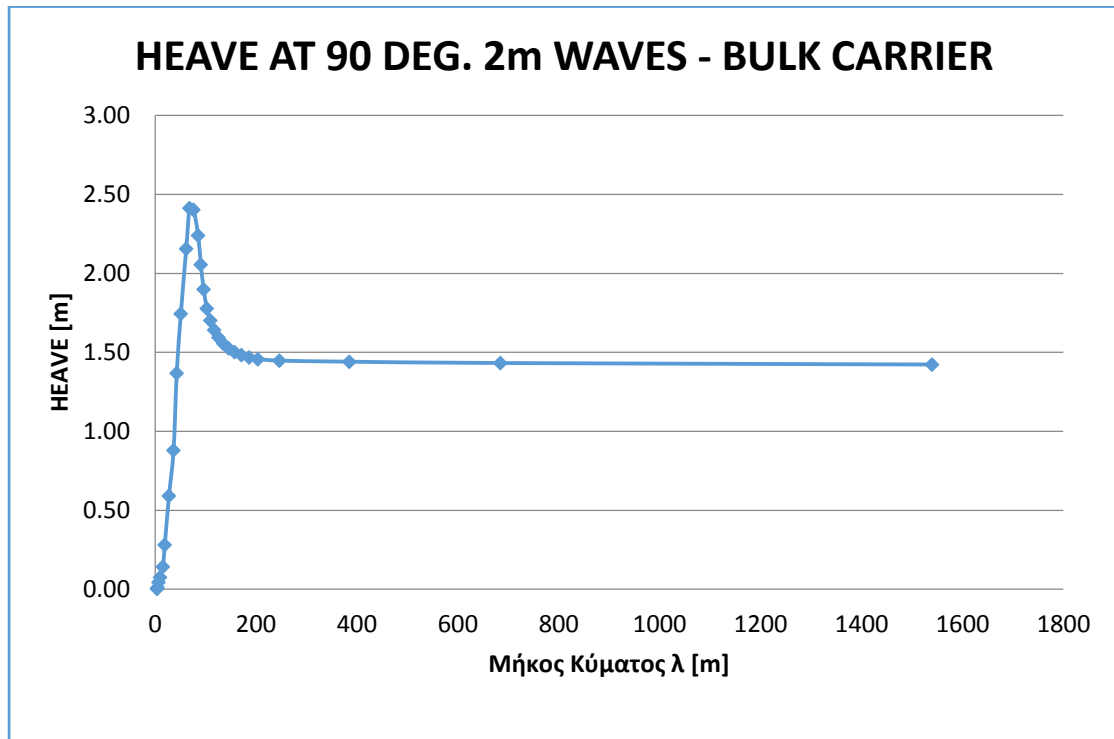
Διάγραμμα 4.9.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 1m.



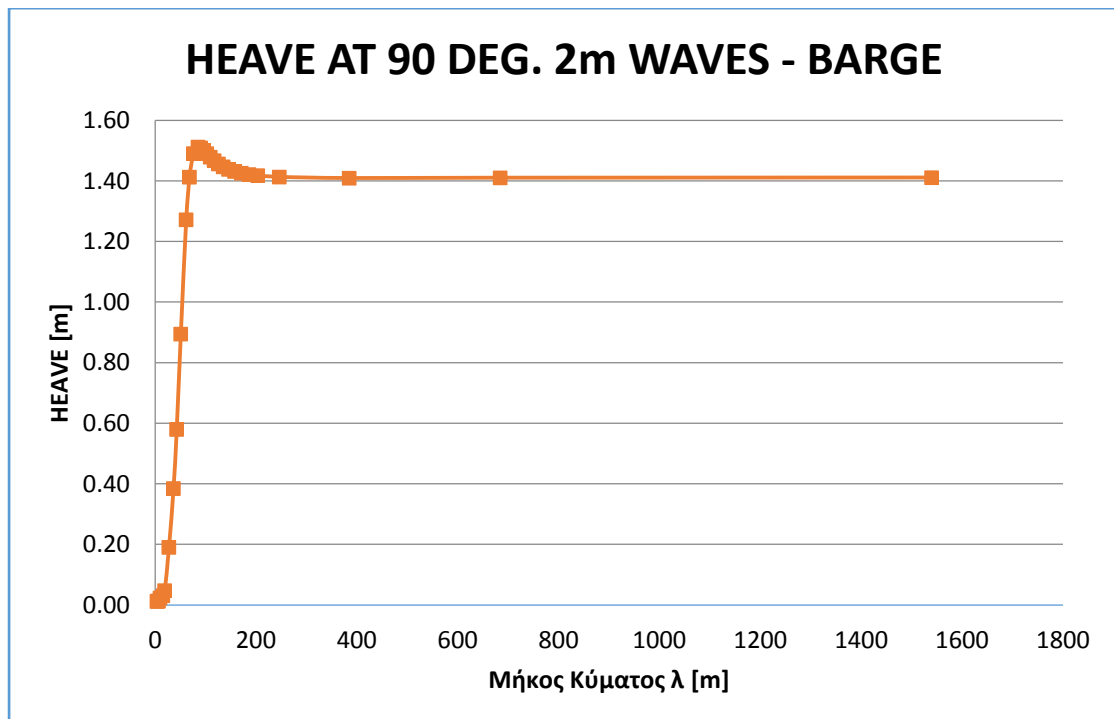
Διάγραμμα 4.9.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 1m.

Κυματισμοί Ύψους 2m

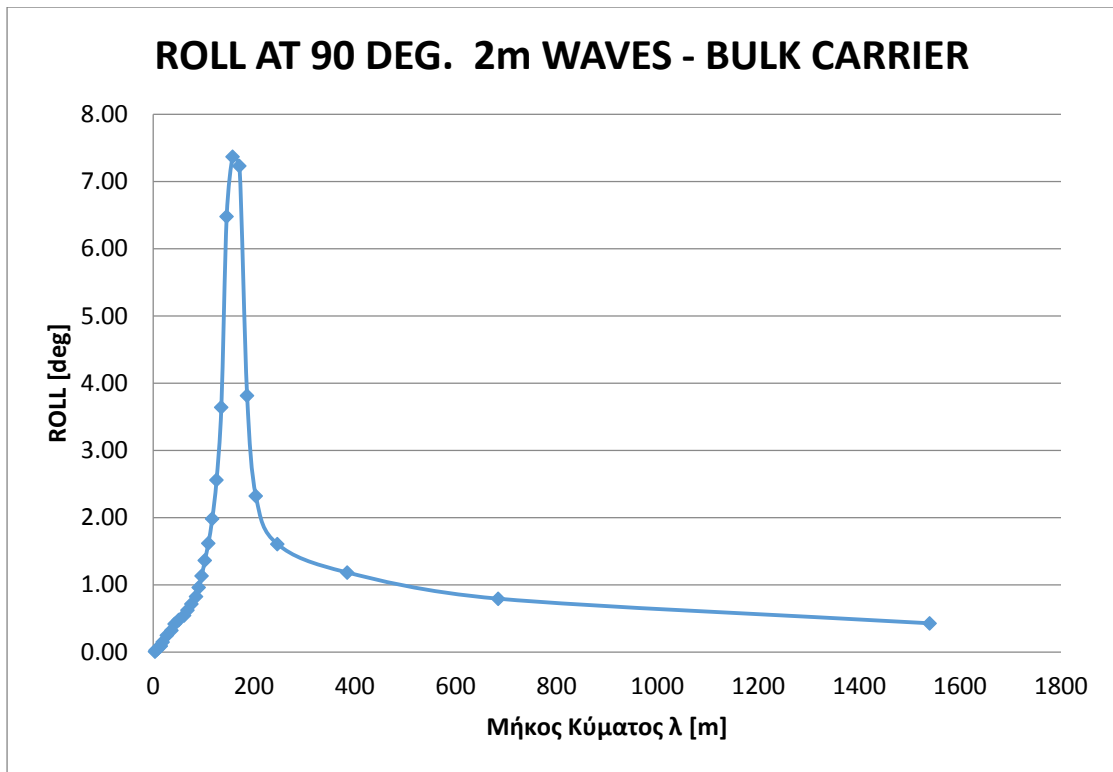
- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):



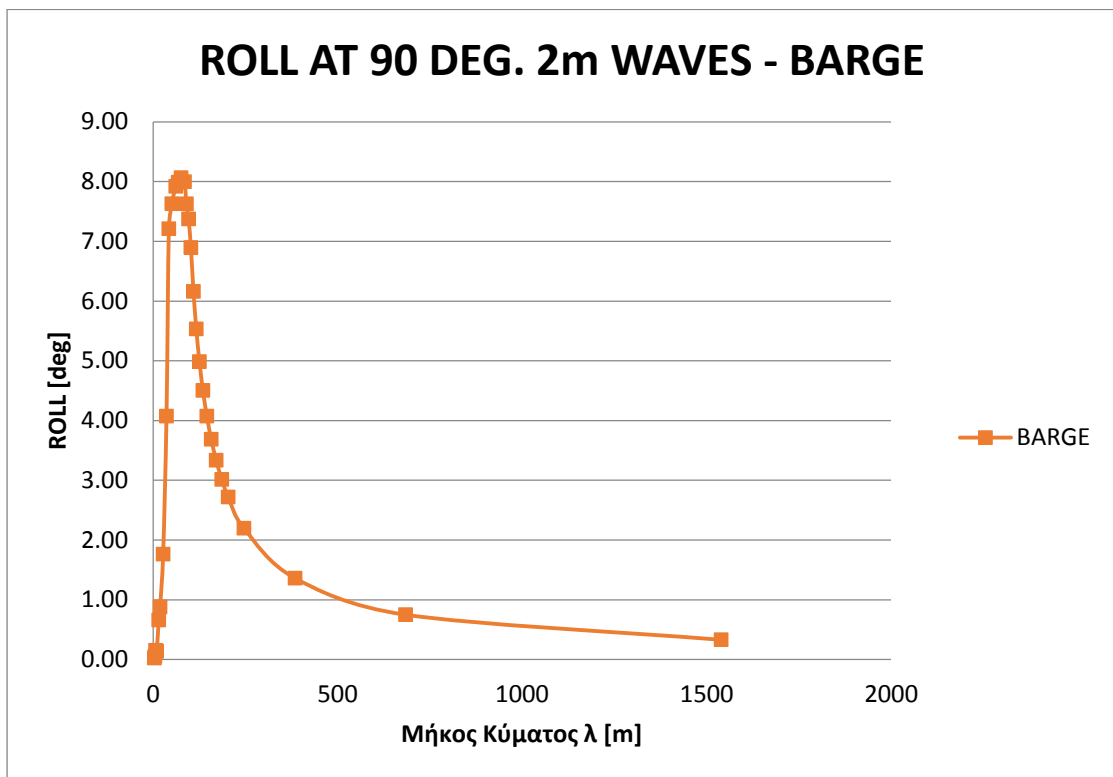
Διάγραμμα 4.10.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 2m.



Διάγραμμα 4.10.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 2m.

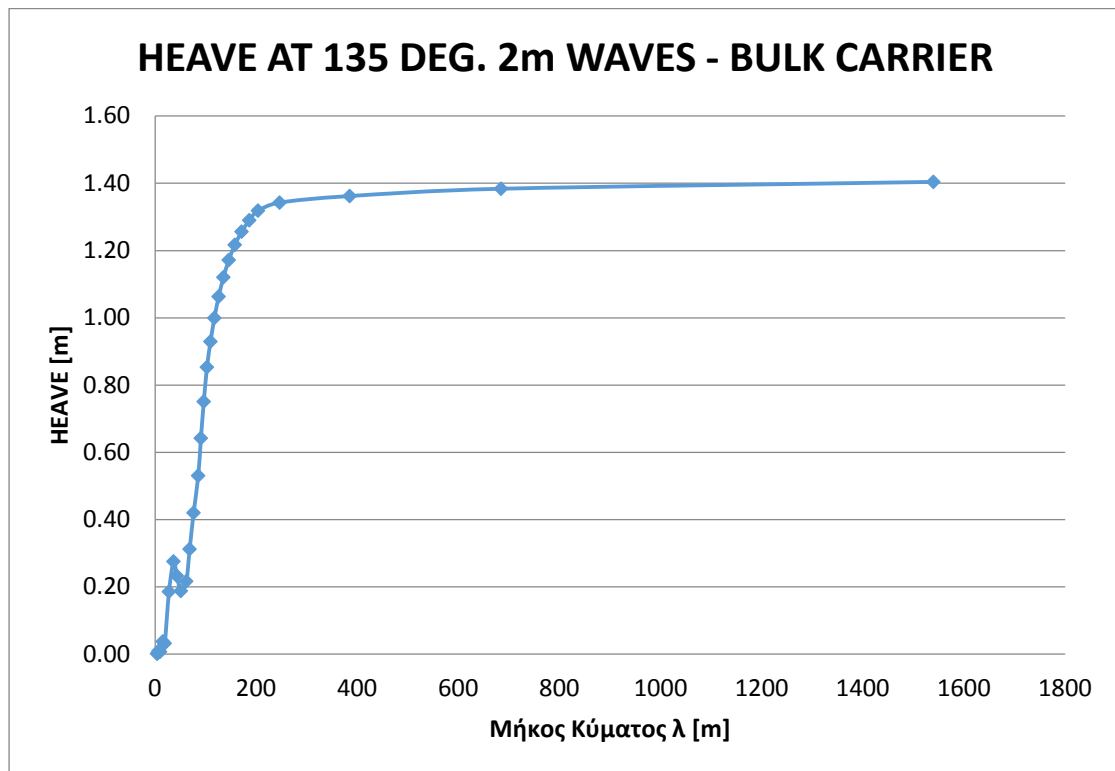


Διάγραμμα 4.10.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 2m.

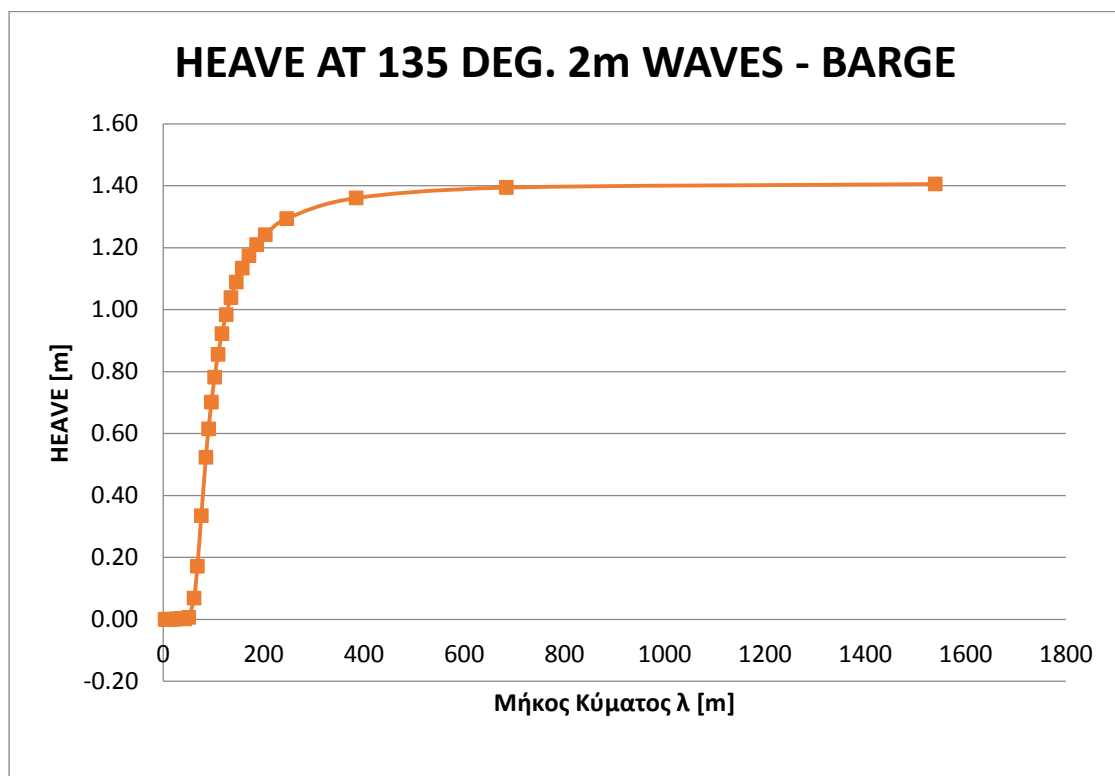


Διάγραμμα 4.10.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 2m.

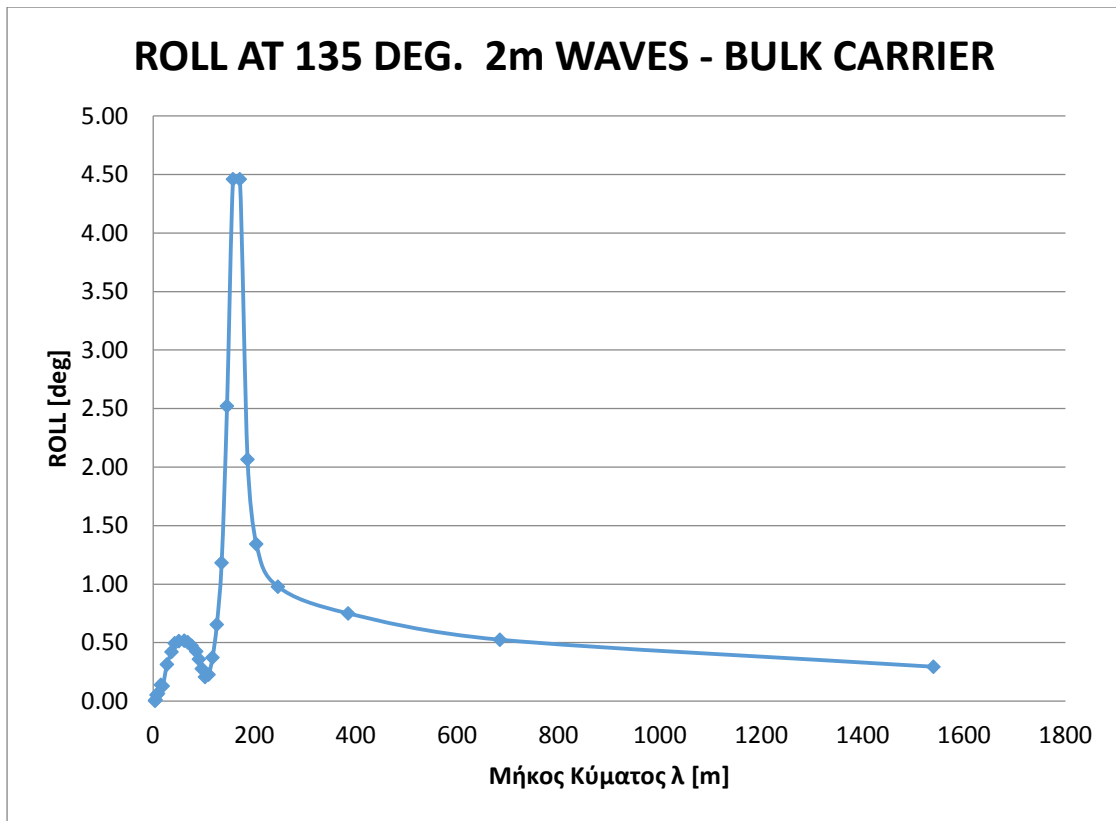
- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).



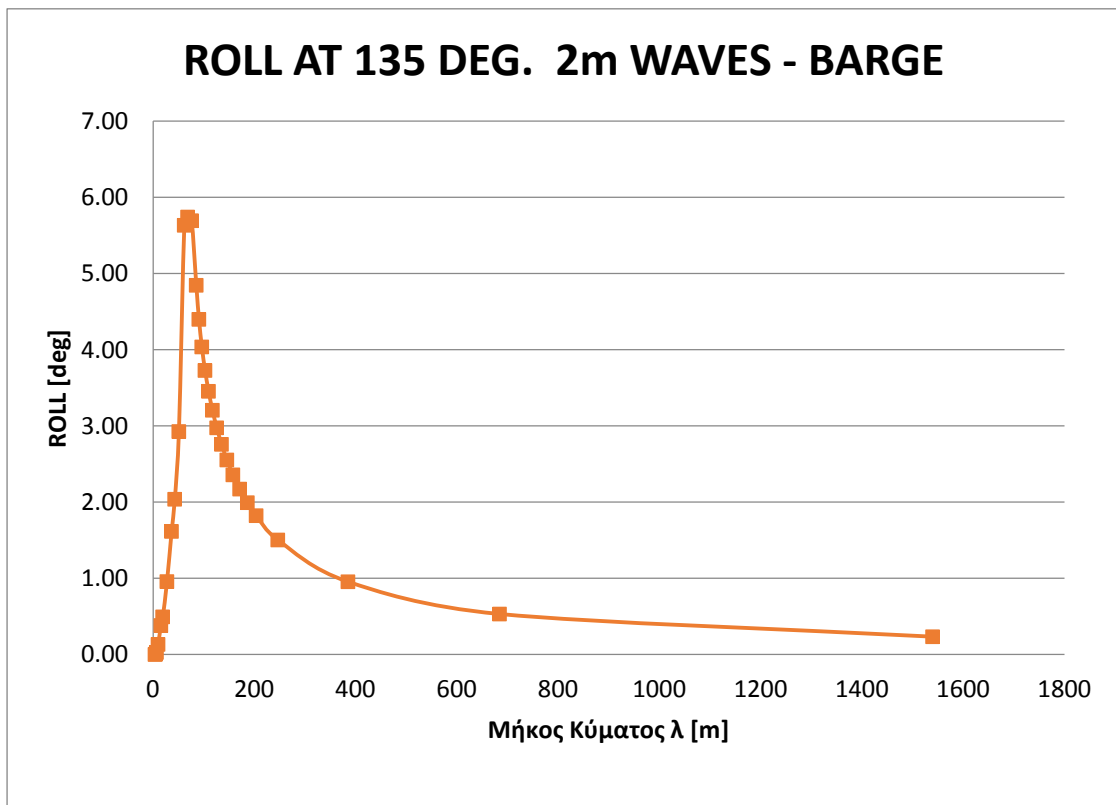
Διάγραμμα 4.11.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 2m.



Διάγραμμα 4.11.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 2m.

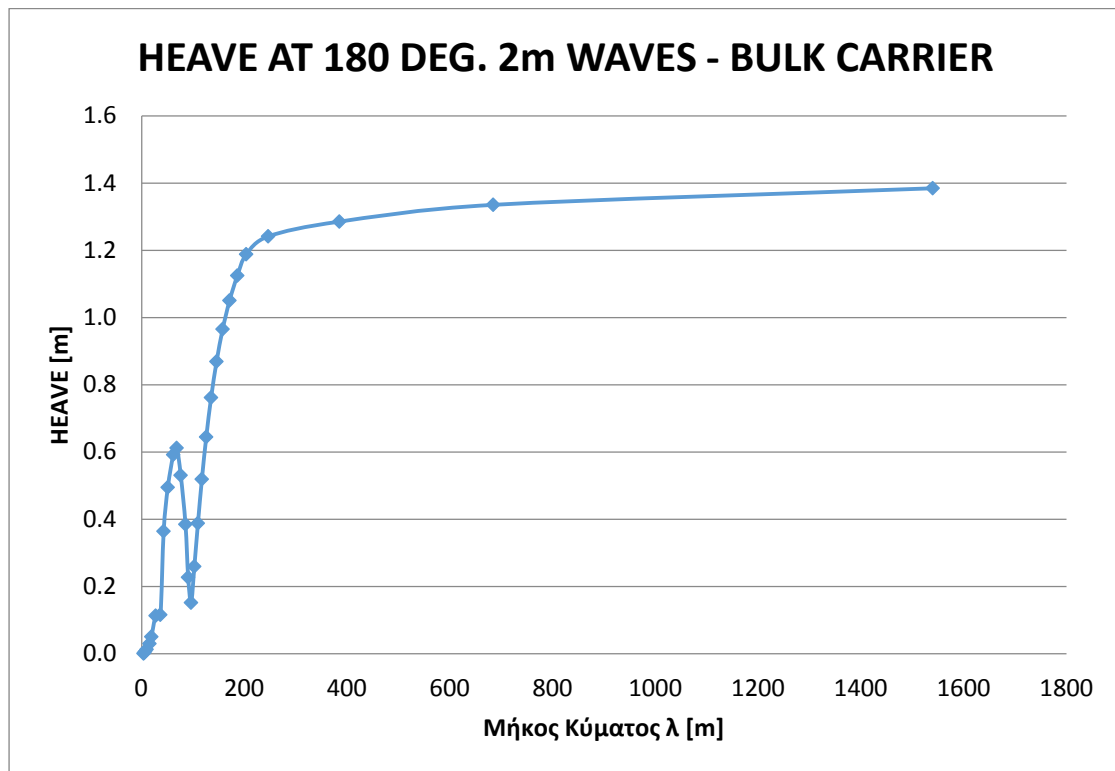


Διάγραμμα 4.11.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 2m.

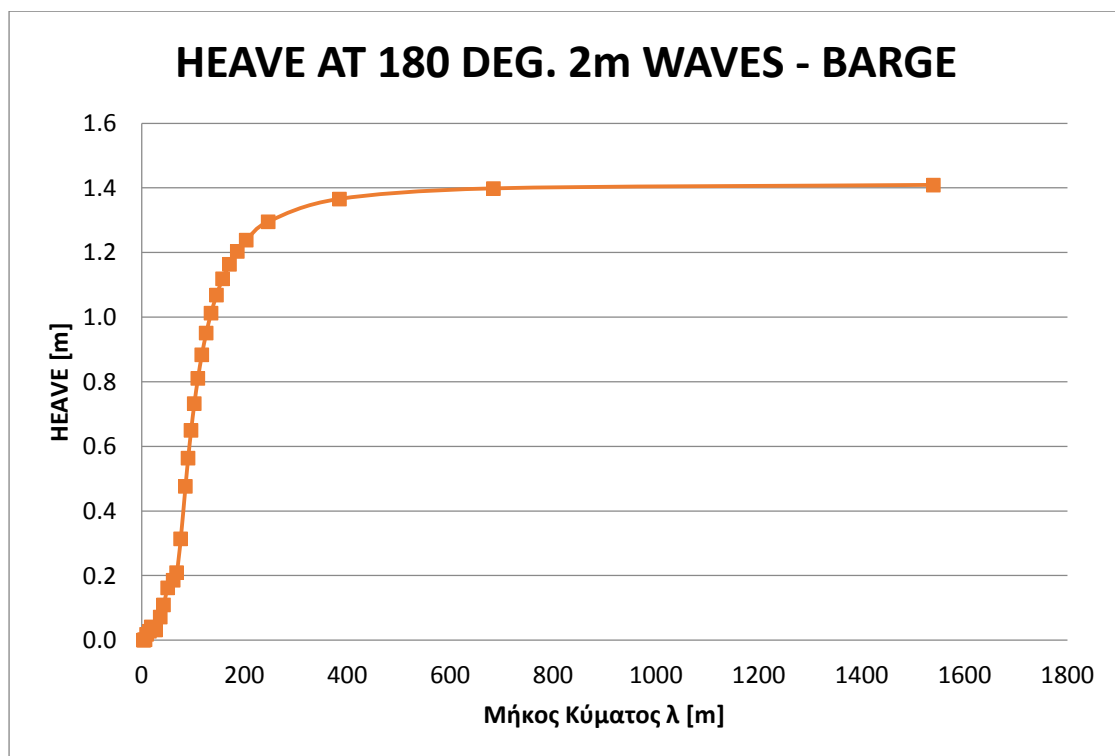


Διάγραμμα 4.11.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 2m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



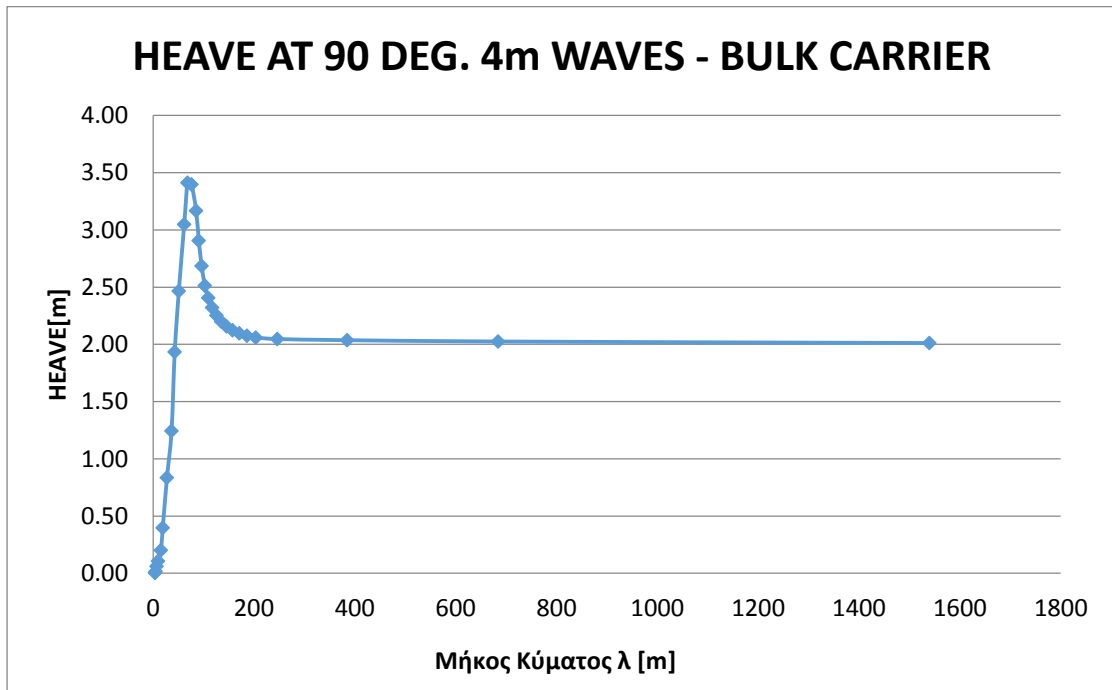
Διάγραμμα 4.12.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 2m.



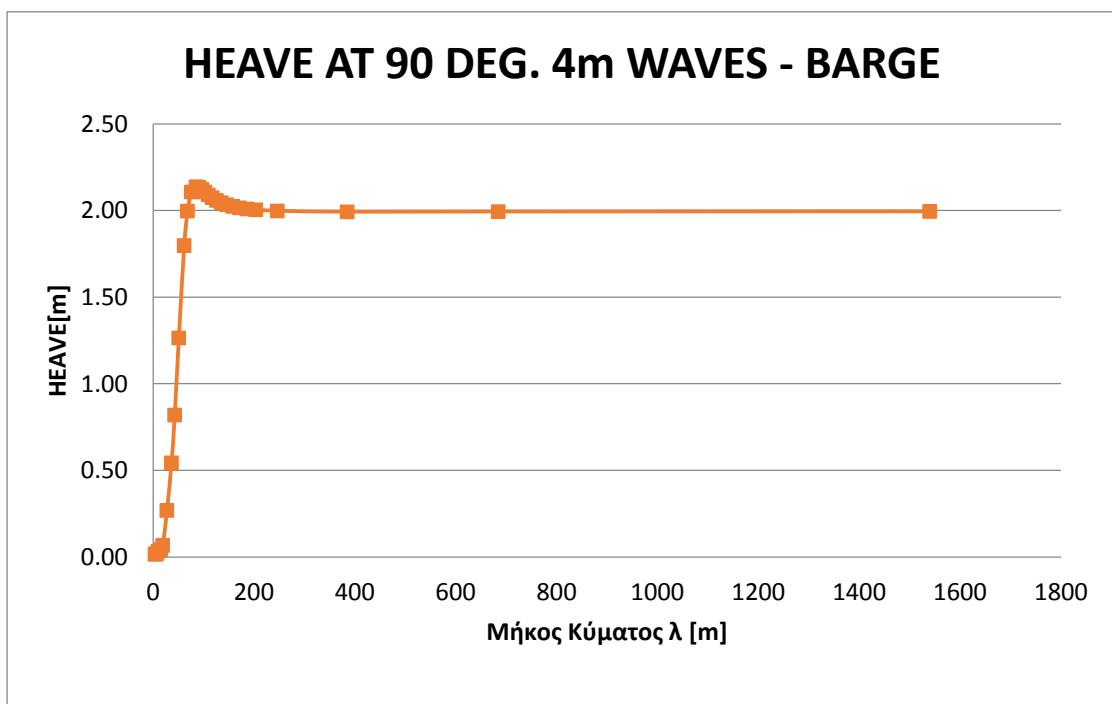
Διάγραμμα 4.12.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 2m.

Κυματισμοί Ύψους 4m

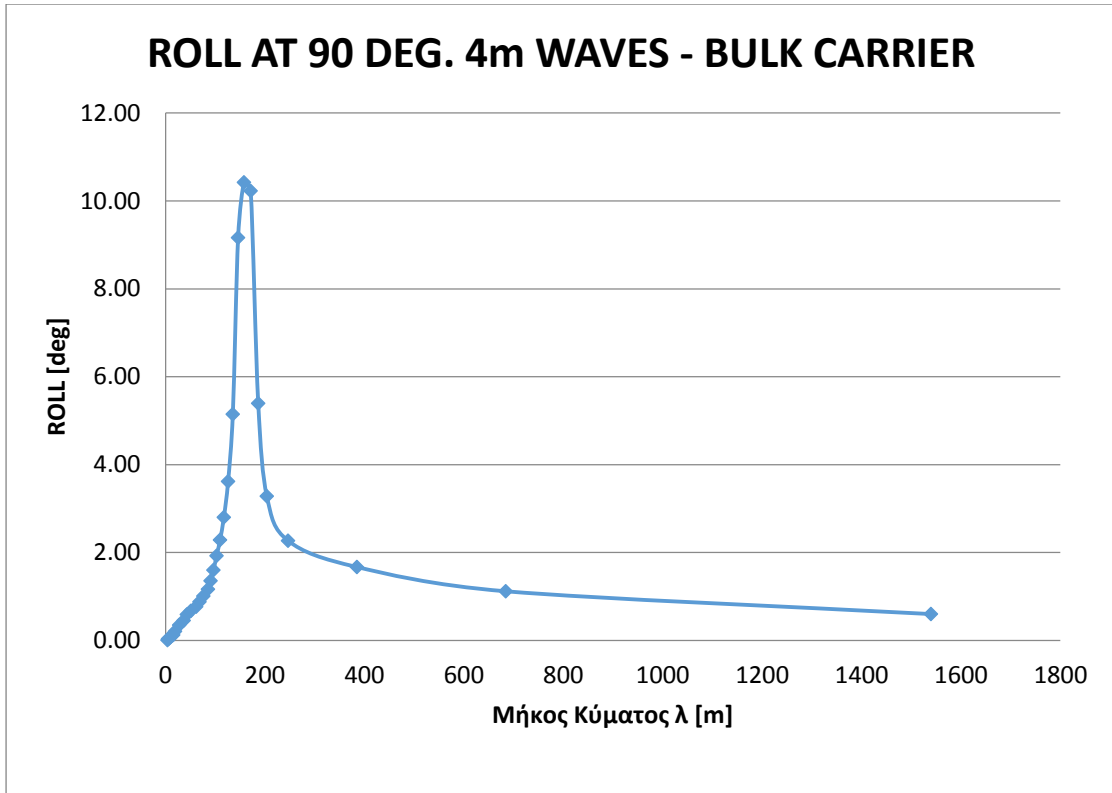
- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):



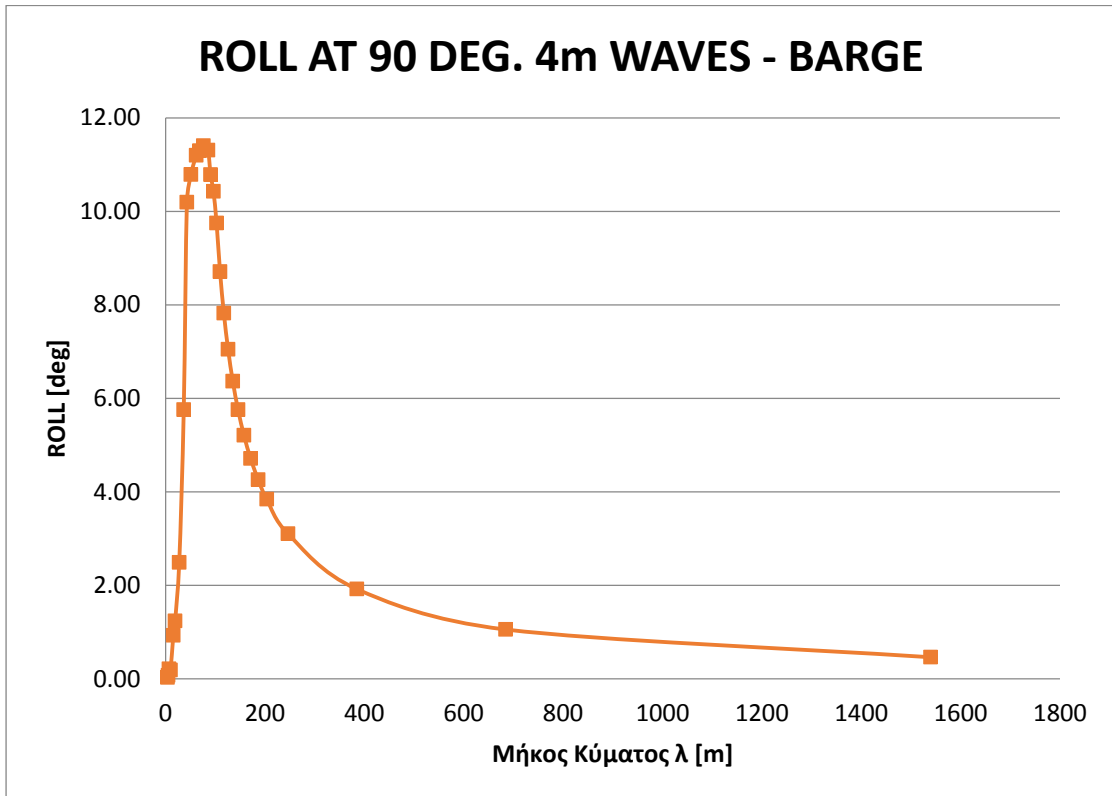
Διάγραμμα 4.13.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.



Διάγραμμα 4.13.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.

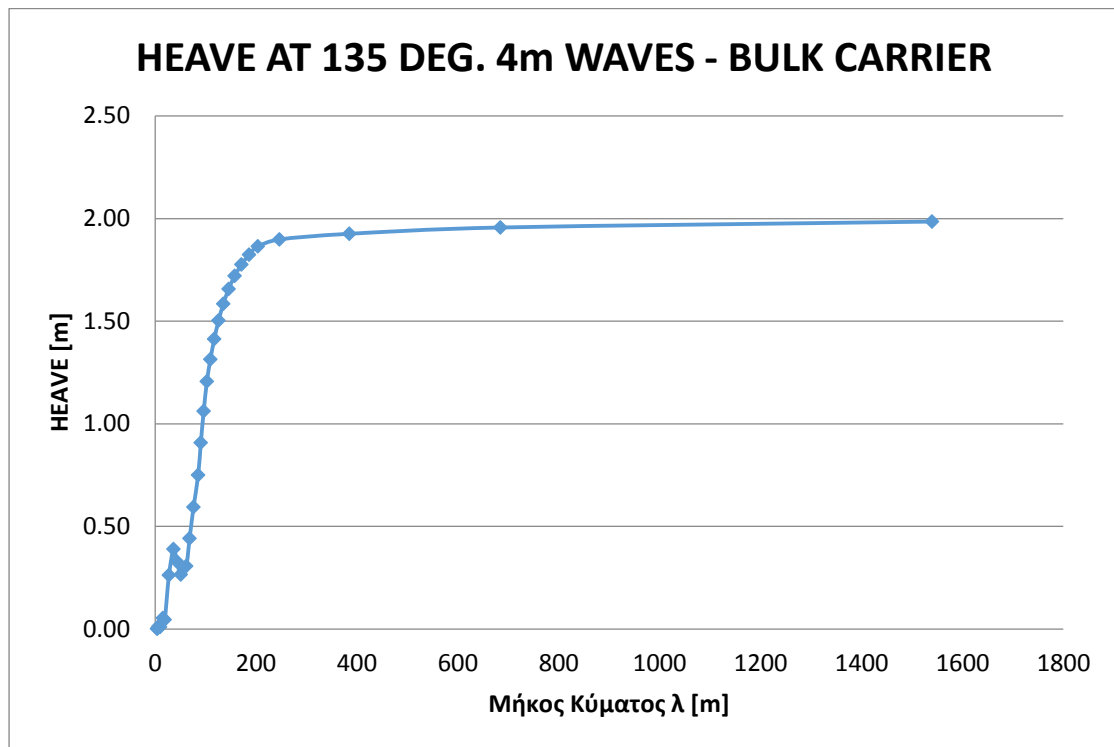


Διάγραμμα 4.13.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.

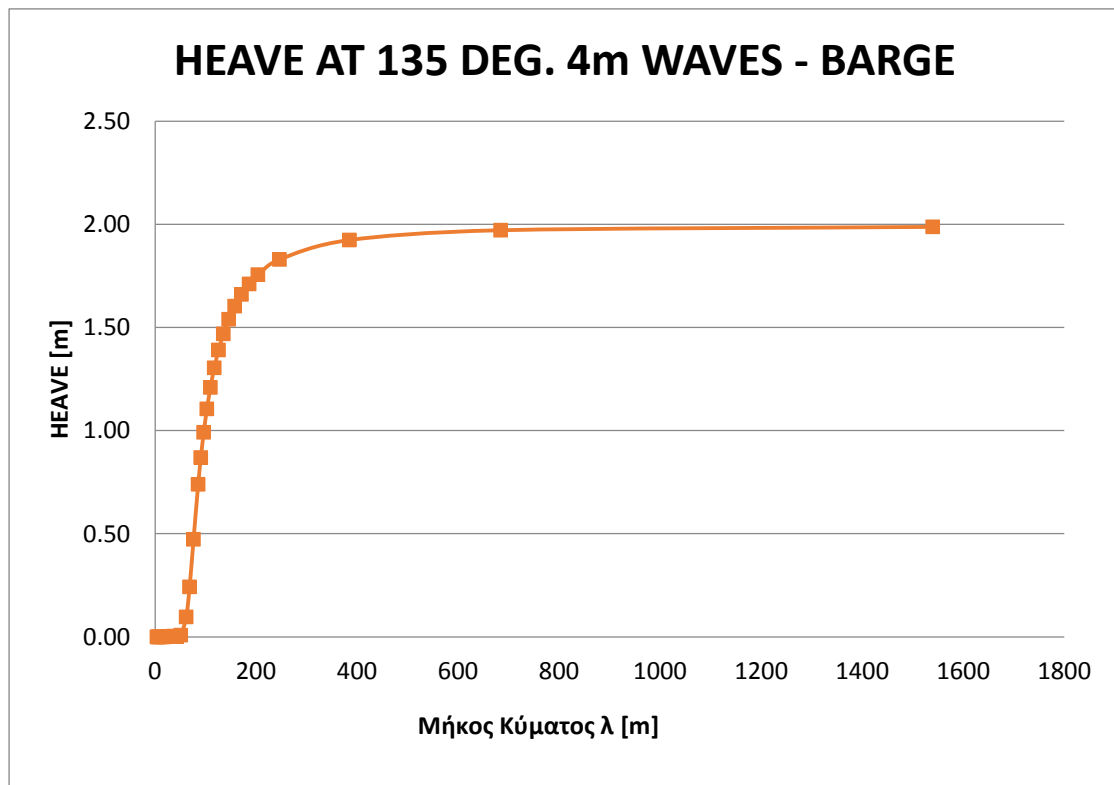


Διάγραμμα 4.13.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.

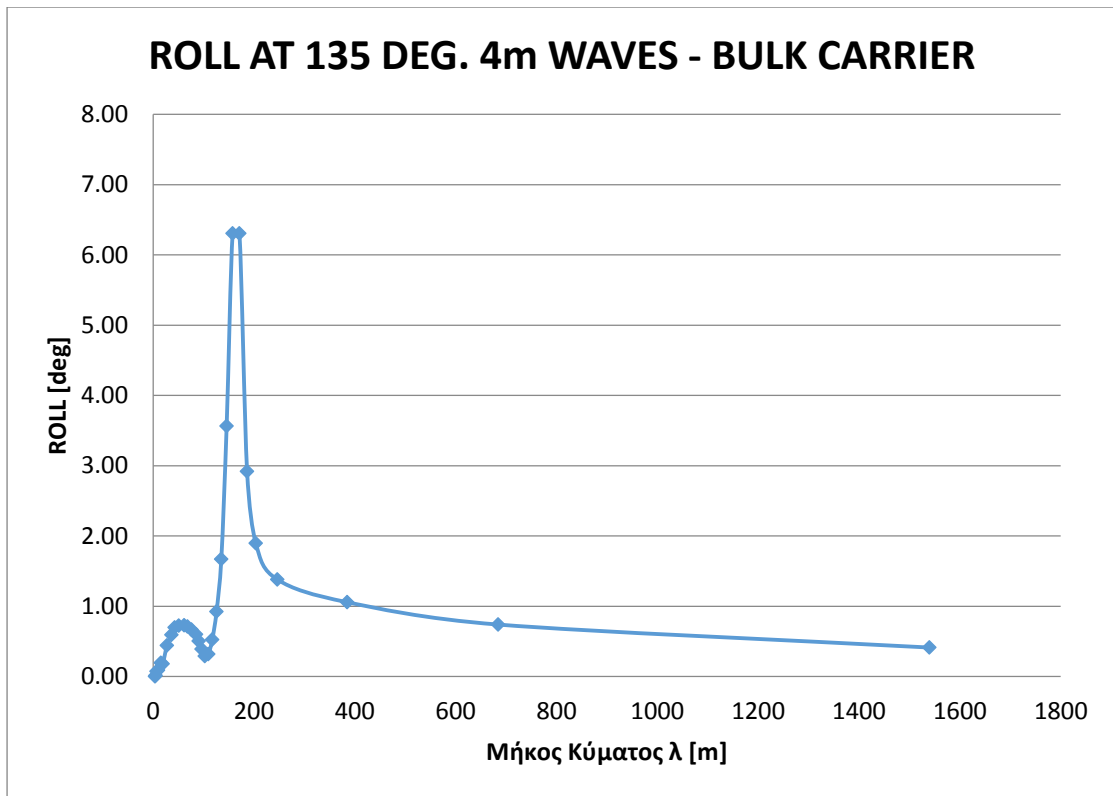
- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).



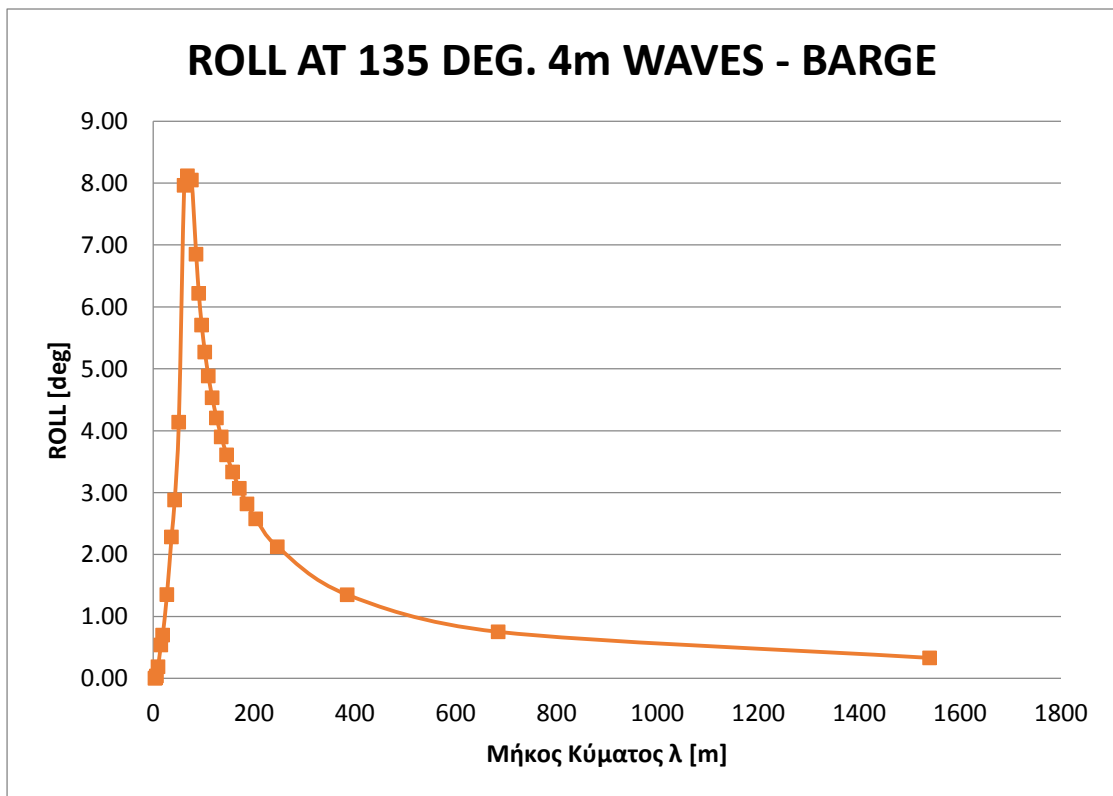
Διάγραμμα 4.14.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.



Διάγραμμα 4.14.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

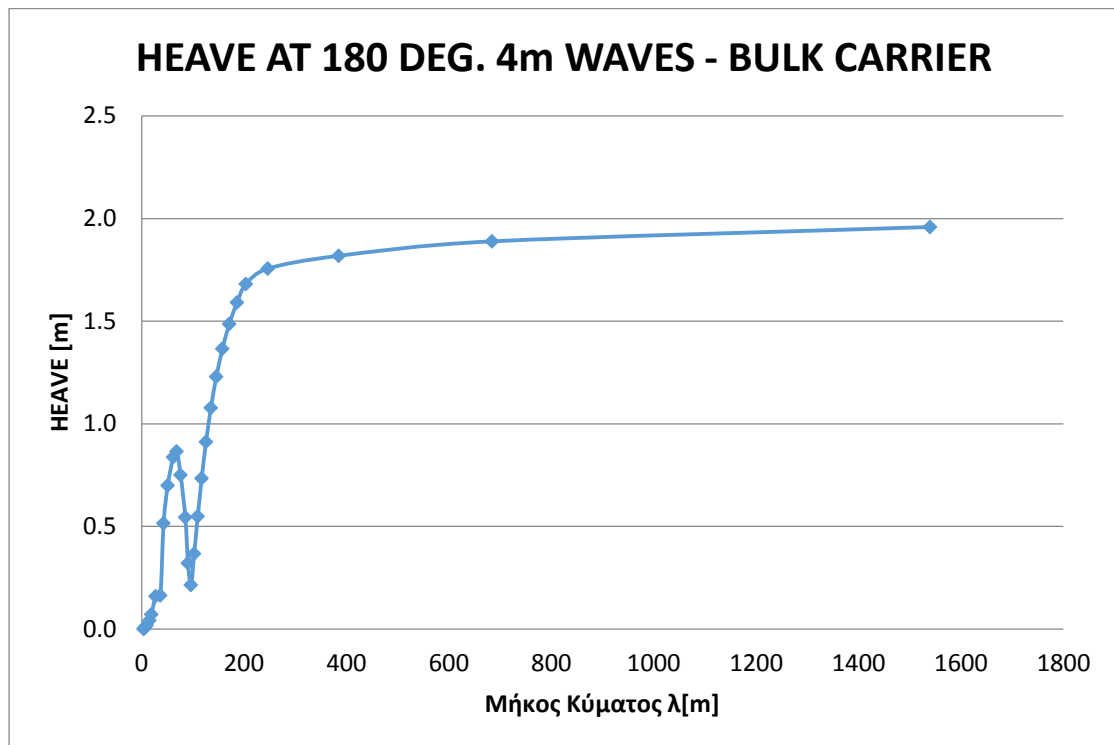


Διάγραμμα 4.14.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

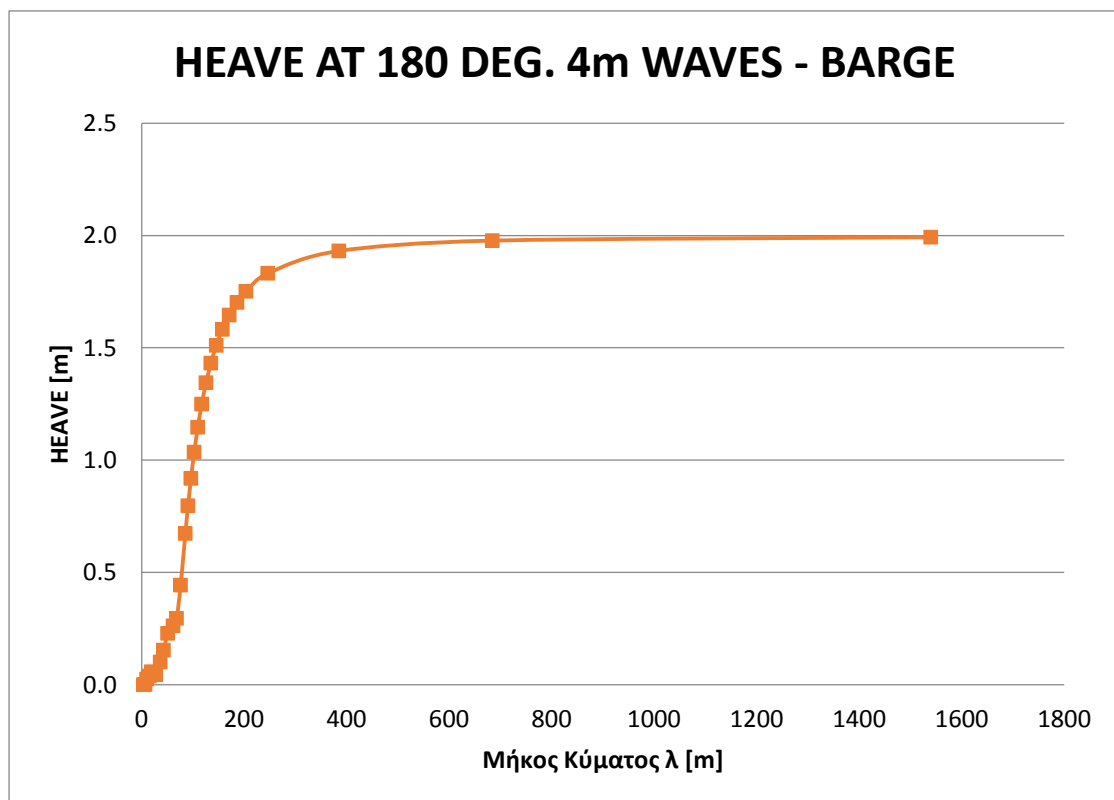


Διάγραμμα 4.14.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



Διάγραμμα 4.15.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 4m.

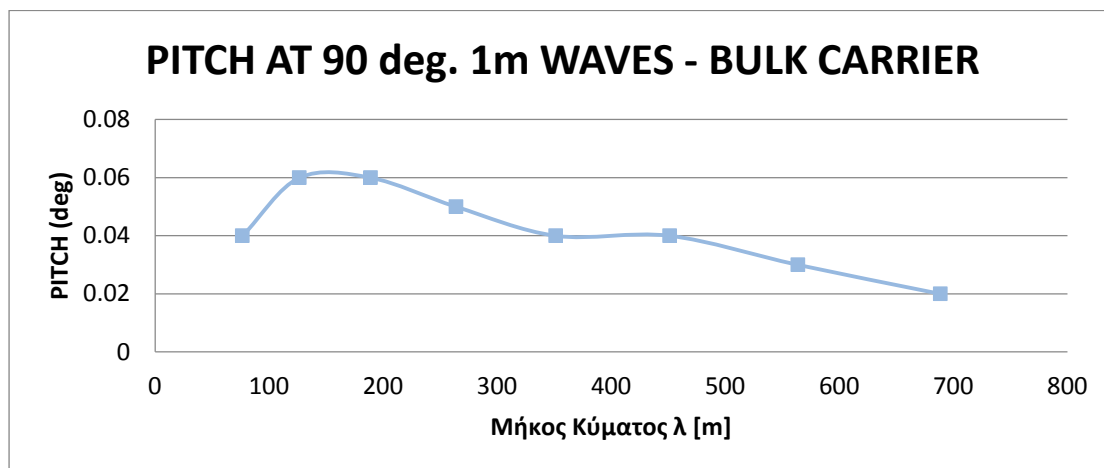


Διάγραμμα 4.14.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 4m.

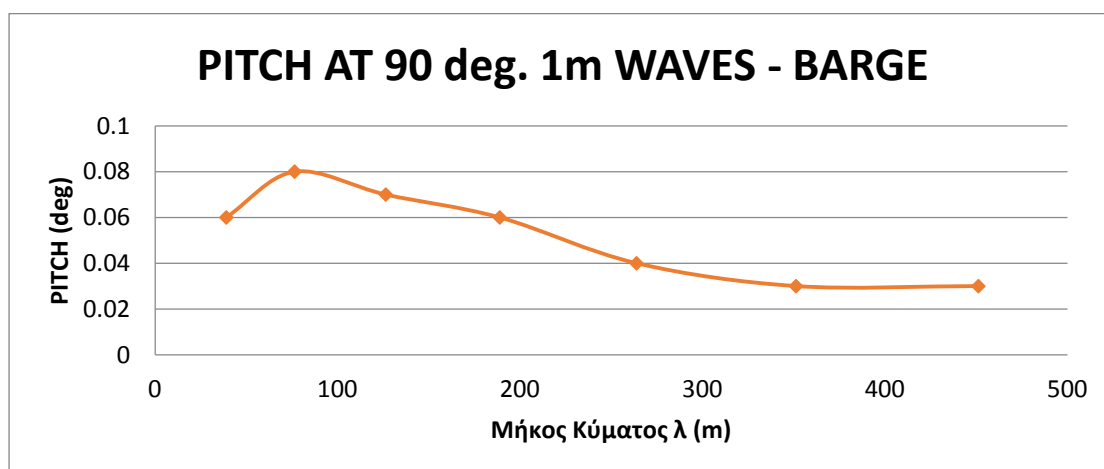
Εν συνεχεία, θα παρατεθούν τα διαγράμματα για τον προνευτασμό (pitch). Πρέπει να αναφερθεί ότι τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αφορούν σε αποθαλασσιά (long-crested waves), δηλαδή σε κυματισμούς με σχετικά μεγάλο μήκος, συνήθως μονής διεύθυνσεως, οι οποίοι προσομοιάζουν με δισδιάστατους κυματισμούς. Το πρόγραμμα SMP-93 δίνει τη δυνατότητα υπολογισμών και για ανεμογενείς κυματισμούς (short-crested waves) οι οποίοι έχουν μικρότερα μήκη και διάφορες κατευθύνσεις. Ωστόσο, επιλέξαμε τον υπολογισμό για θάλασσες με long-crested waves, καθώς αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα δείχνουν μεγαλύτερες αποκρίσεις των πλοίων κατά έως και 25%.

Κυματισμοί Ύψους 1m

- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):

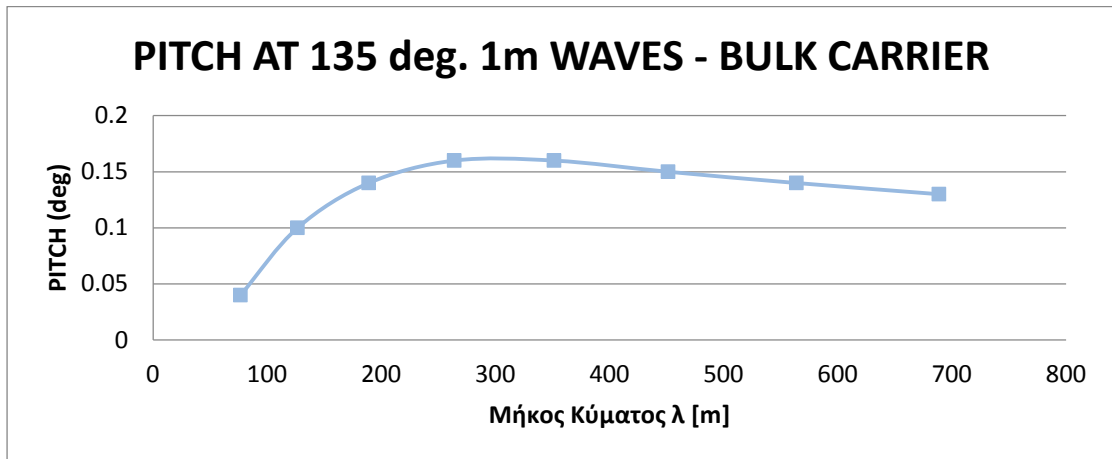


Διάγραμμα 4.15.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 1m.

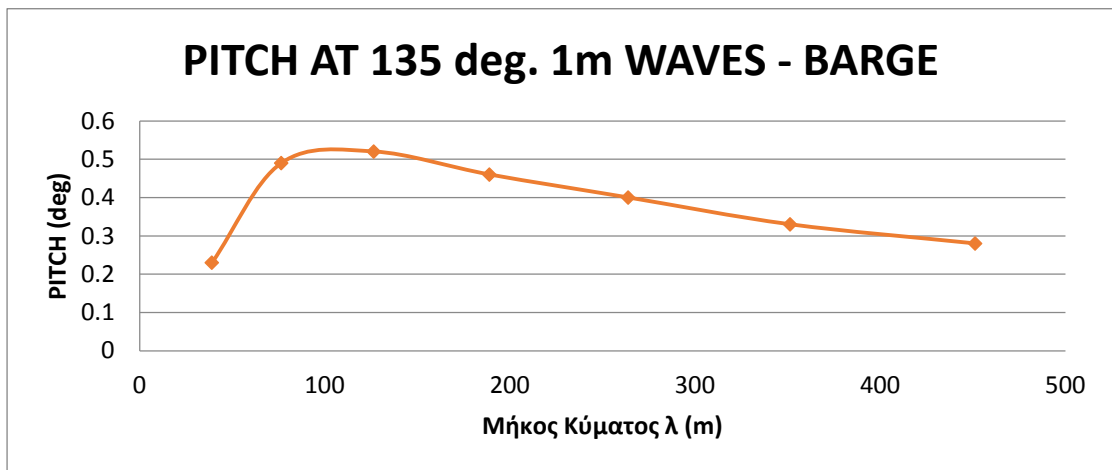


Διάγραμμα 4.15.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 1m.

- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).

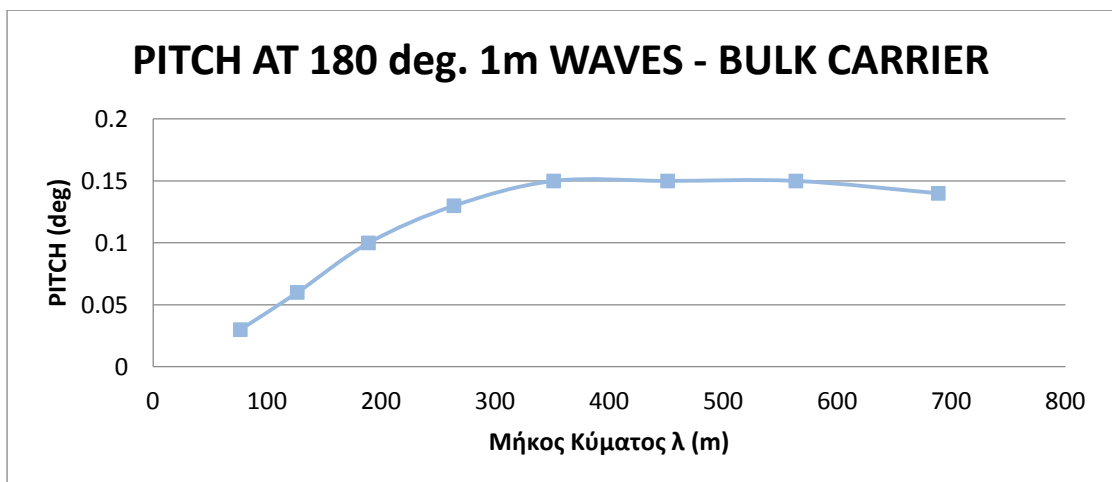


Διάγραμμα 4.15.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 1m.

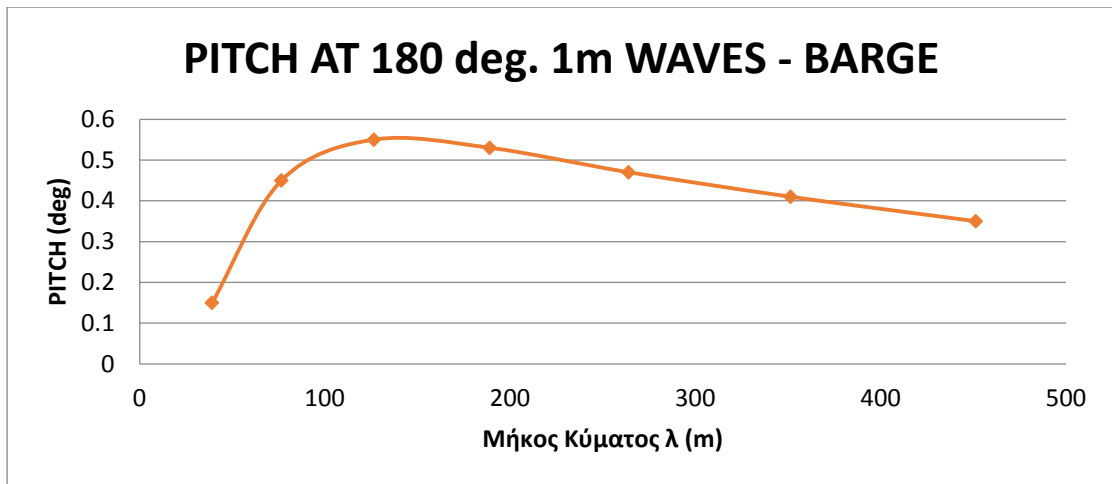


Διάγραμμα 4.15.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 1m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



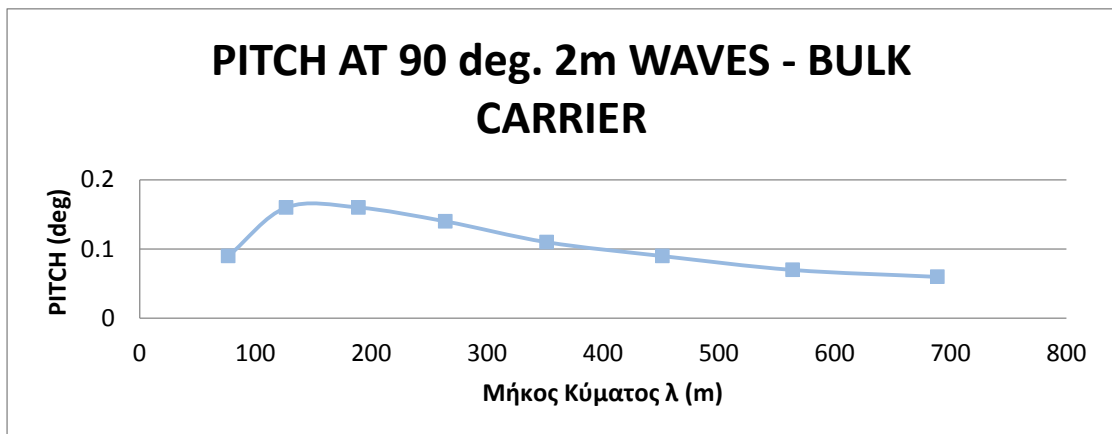
Διάγραμμα 4.15.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 1m.



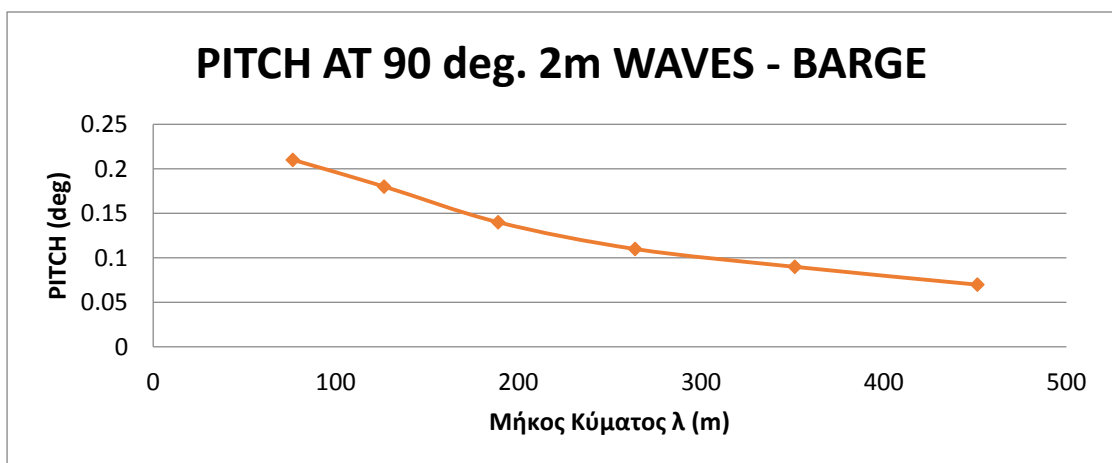
Διάγραμμα 4.15.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 1m.

Κυματισμοί Ύψους 2m

- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):

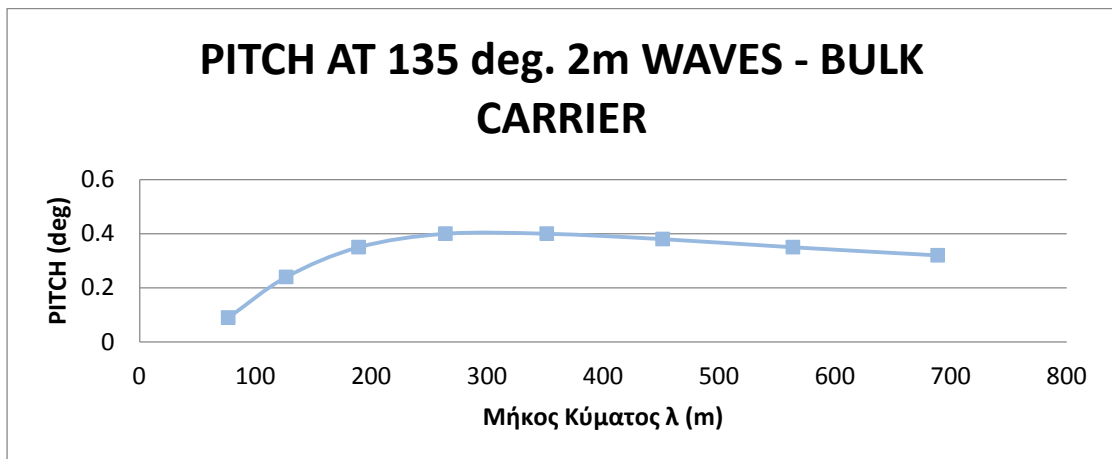


Διάγραμμα 4.16.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 2m.

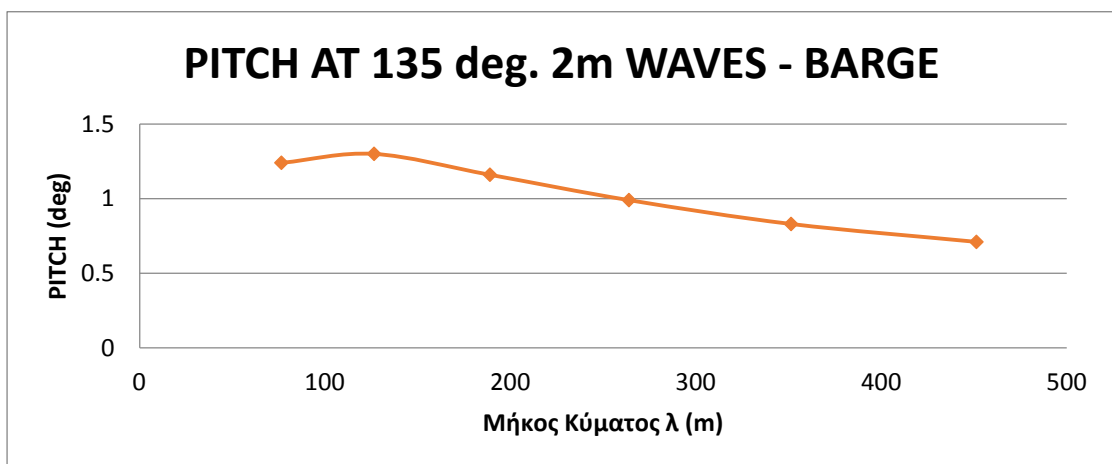


Διάγραμμα 4.16.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 2m.

- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).

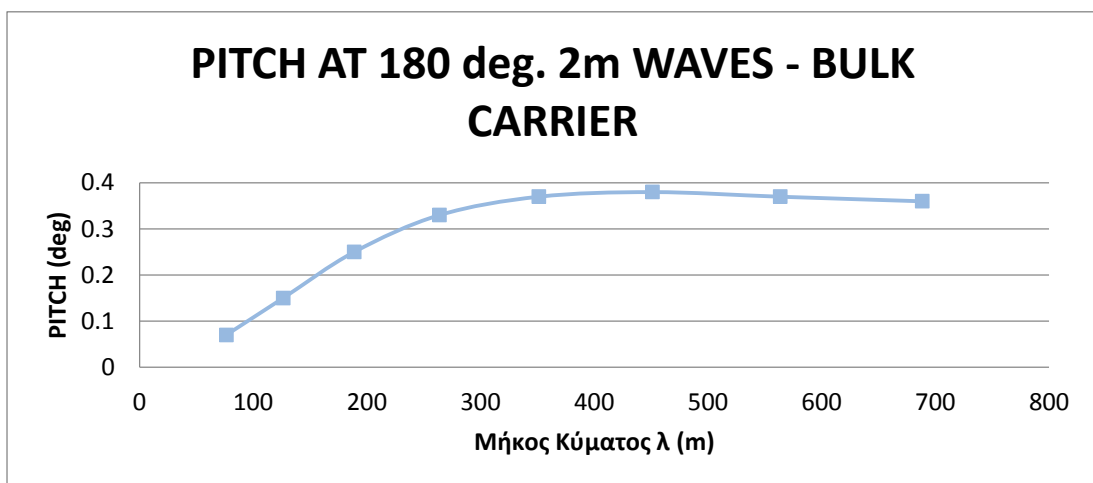


Διάγραμμα 4.16.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 2m.

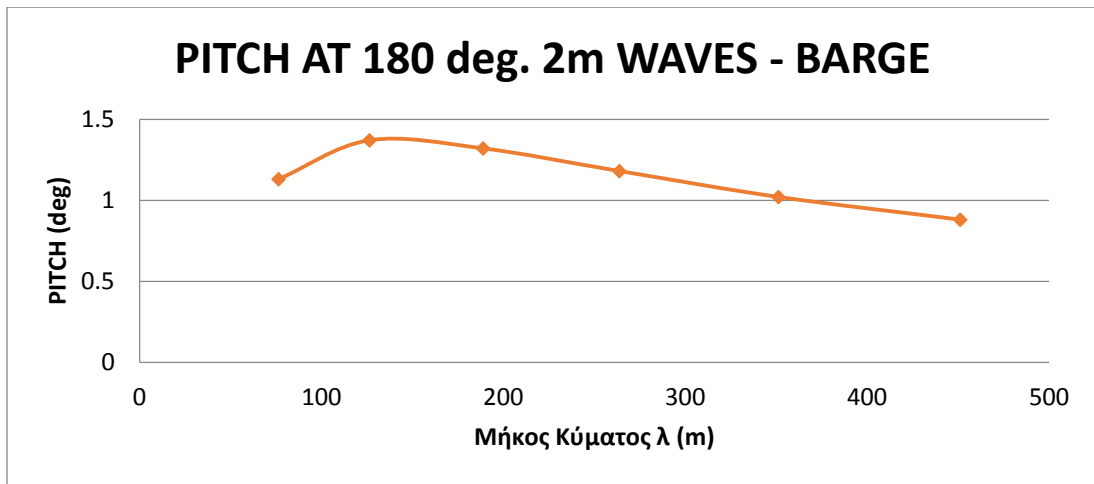


Διάγραμμα 4.16.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 2m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



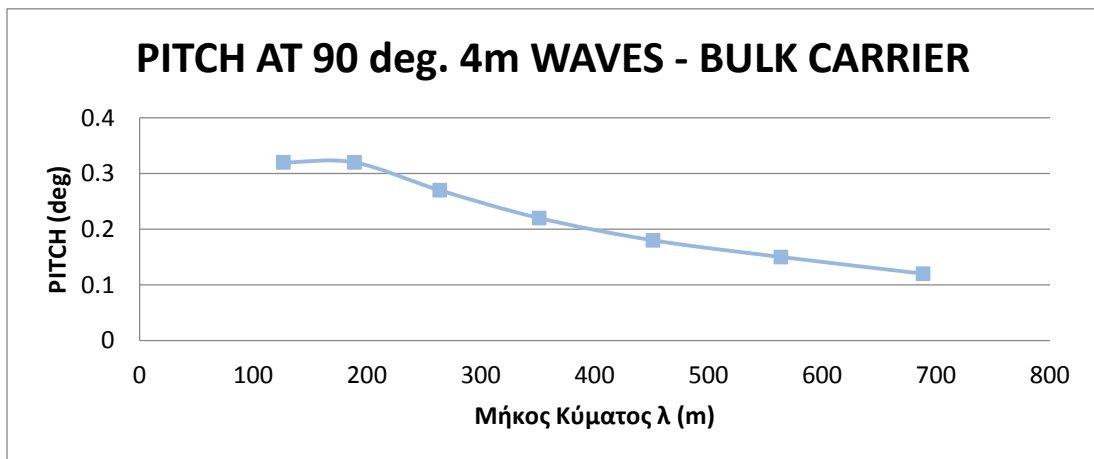
Διάγραμμα 4.16.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 2m.



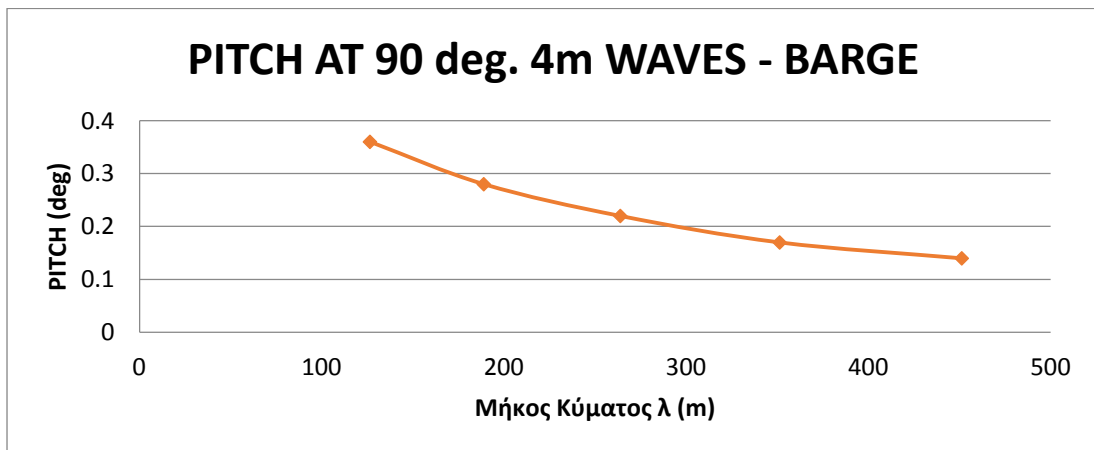
Διάγραμμα 4.16.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 2m.

Κυματισμοί Ύψους 4m

- Κυματισμοί 90° (προσπίπτοντες στα πλάγια του πλοίου):

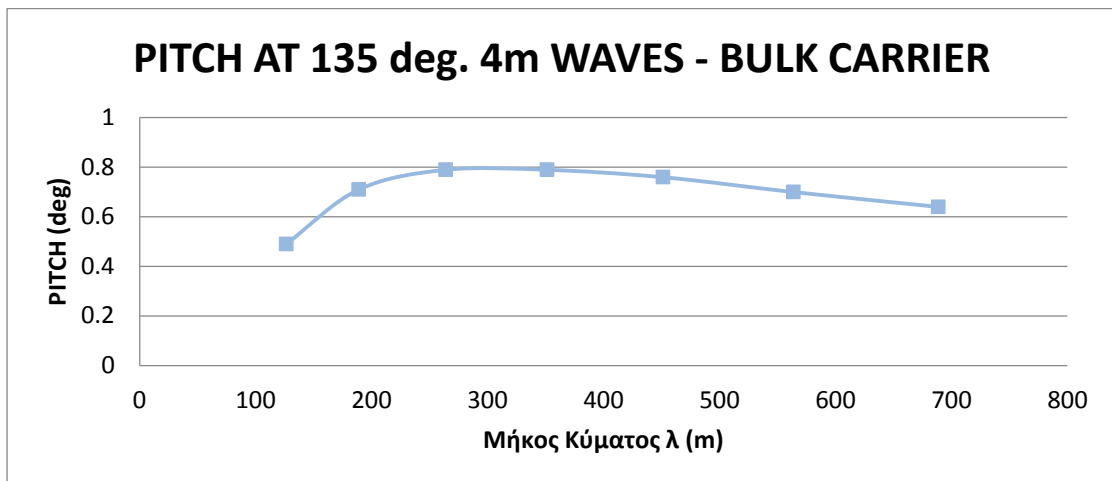


Διάγραμμα 4.17.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 4m.

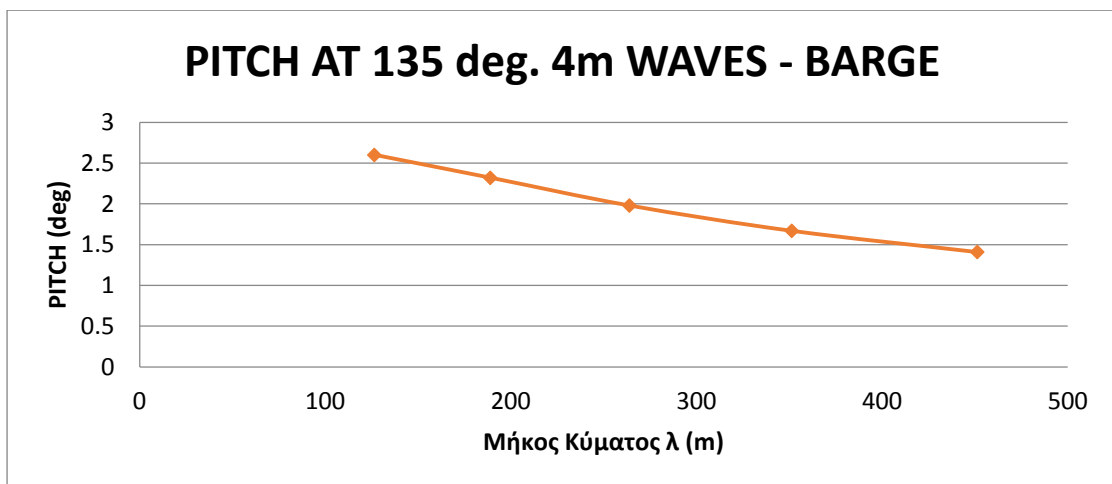


Διάγραμμα 4.17.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 4m.

- Κυματισμοί 135° (προσπίπτοντες σε γωνία 45° με τον διαμήκη άξονα).

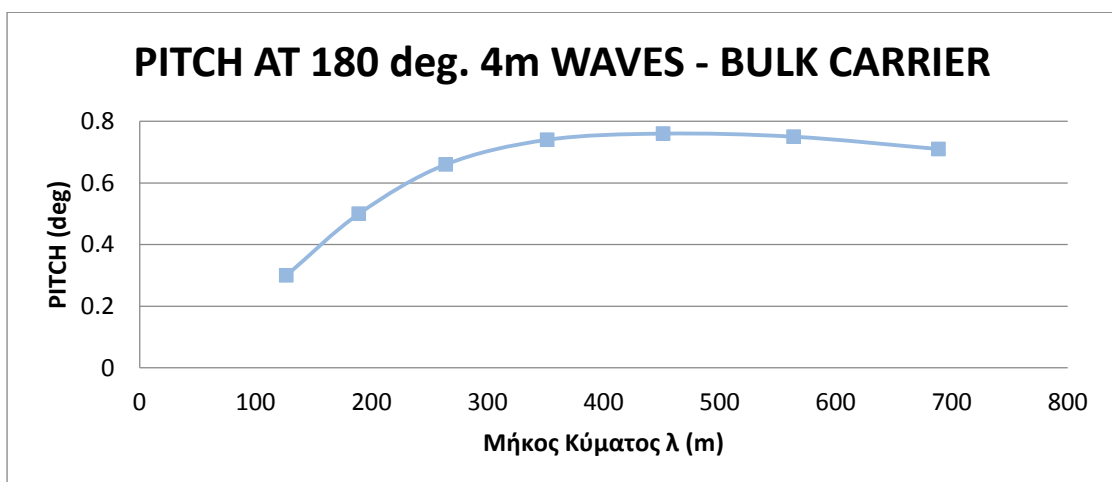


Διάγραμμα 4.17.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

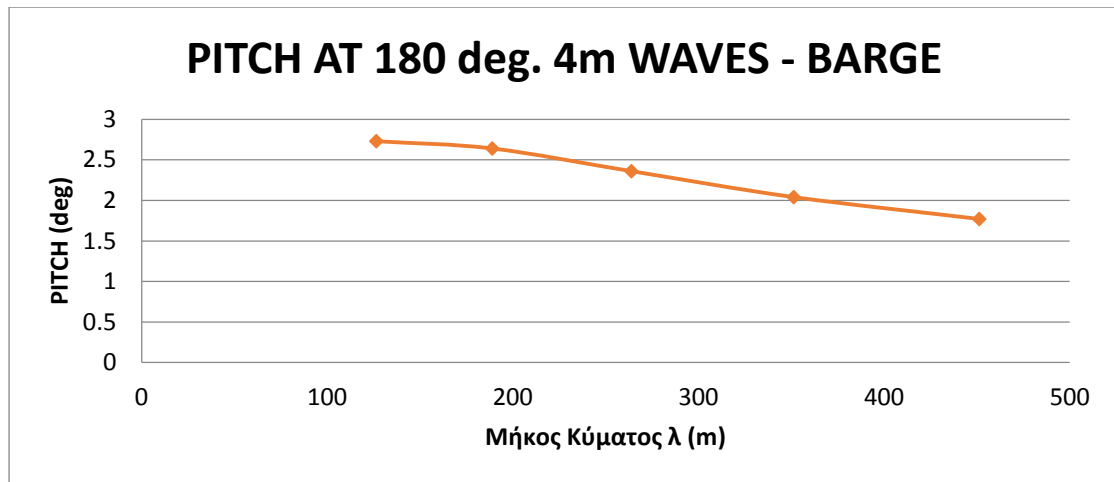


Διάγραμμα 4.17.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

- Κυματισμοί 180° (προσπίπτοντες σε γωνία 0° με τον διαμήκη άξονα).



Διάγραμμα 4.17.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 4m.



Διάγραμμα 4.17.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 4m.

Όπως προαναφέραμε στην αρχή της παραγράφου και αποδεικνύεται από τα διάγραμμα του SMP-93 για τον προνευτασμό, οι αποκρίσεις του pitch οδηγούν σε πολύ μικρότερες κλίσεις σε σχέση με το διατοιχισμό. Κατά συνέπεια, η διαφορά που προκύπτει στο ύψος εξάλων οφείλεται, σχεδόν αποκλειστικά, στην κατακόρυφη ταλάντωση και στο διατοιχισμό.

4.3. Μέγιστες αποκλίσεις - Δυσμενέστερα Σενάρια

Οι σχετικές κινήσεις μεταξύ των δύο πλοίων καθόσον ταλαντώνονται, προκαλεί διαφοροποίηση της διαφοράς ύψους εξάλων. Το μέγεθος αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο, καθώς επηρεάζει την πρόσδεση των πλοίων. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει η διαφοροποίηση της απόστασης των κύριων καταστρωμάτων, καθώς οδηγεί σε αυξομειώσεις των τάσεων που εφαρμόζονται στους κάβους.

Για να υπολογιστούν τις μέγιστες αποκλίσεις, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές για την κατακόρυφη ταλάντωση, το διατοιχισμό και τον προνευτασμό. Αναλυτικότερα, λάβαμε από το SMP-93 τα αποτελέσματα για τις συγκεκριμένες κινήσεις, τόσο τα πλάτη όσο και τις φάσεις των αποκρίσεων. Έπειτα, θεωρώντας τις αποκρίσεις ως ημιτονοειδείς ταλαντώσεις, για κάθε πλοίο, υπολογίστηκαν οι συνολικές διαφορές των εξάλων σε σχέση με την αρχική θέση ισορροπίας. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω:

- για την κατακόρυφη ταλάντωση:

$$\begin{aligned} M\Delta Y E_{heave} &= \text{Μέγιστη Διαφοροποίηση Υ.Ε. (heave)} = \\ &= A_1 \cdot \sin(\varphi) - A_2 \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) \end{aligned}$$

- για το διατοιχισμό:

$$\begin{aligned} M\Delta Y E_{roll} &= \text{Μέγιστη Διαφοροποίηση Υ.Ε. (roll)} = \\ &= \frac{B_{Bulk Carrier}}{2} \cdot A_1 \cdot \sin(\varphi) + \frac{B_{Barge}}{2} \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) \end{aligned}$$

- για τον προνευτασμό:

$$\begin{aligned} M\Delta Y E_{pitch} &= \text{Μέγιστη Διαφοροποίηση Υ.Ε. (pitch)} = \\ &= \frac{L_{BP-Bulk Carrier}}{2} \cdot A_1 \cdot \sin(\varphi) + \frac{L_{BP-Barge}}{2} \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) \end{aligned}$$

όπου A_1 και A_2 τα πλάτη των αποκρίσεων στην εκάστοτε κίνηση και $\Delta\varphi$ η διαφορά των φάσεων μεταξύ των δύο πλοίων αντίστοιχα. Επίσης, φ είναι η γωνία στην οποία παρουσιάζεται η μέγιστη απόκλιση στους αντίστοιχους κυματισμούς.

Ο υπολογισμός αυτός έγινε για όλους τους κυματισμούς (μήκος κύματος λ - γωνία πρόσπτωσης - ύψος κύματος) και για όλες τις κινήσεις που αφορούν στην εφαρμογή (κατακόρυφη ταλάντωση - διατοιχισμός - προνευτασμός). Συγκεκριμένα, έγιναν υπολογισμοί για όλο το εύρος γωνιών, τις αντίστοιχες διαφορές φάσεων και τα αντίστοιχα πλάτη αποκρίσεων για κάθε κύμα. Τέλος έχοντας υπολογίσει τις μέγιστες διαφορές σε κάθε κίνηση, βρέθηκε η δυσμενέστερη κατάσταση, για την οποία υπολογίσαμε τις τελικές μέγιστες διαφοροποιήσεις της διαφοράς ύψους εξάλων. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι προηγούμενοι τύποι σε συνδυασμό με τις κύριες διαστάσεις των δύο πλοίων, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Μέγιστη Διαφορά} = M\Delta Y E_{heave} + M\Delta Y E_{roll} + M\Delta Y E_{pitch}$$

η οποία αφορά στη γωνία που παρουσιάζεται η δυσμενέστερη απόκλιση.

Αφού ολοκληρώθηκαν οι υπολογισμοί για όλους τους κυματισμούς που μελετήθηκαν, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4.3: Πίνακας μέγιστων διαφοροποιήσεων διαφοράς ύψους εξάλων.

Ύψος Κύματος	Διαφοροποίηση Απόσταση καταστρωμάτων [m]	Μήκος Κύματος λ [m]
1m WAVES	1.018	at 76.5 m
2m WAVES	2.345	at 76.5 m
4m WAVES	3.388	at 126.5 m

Πρέπει σε αυτό το σημείο να υπογραμμιστεί πως οι διαφορές αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που αναμένεται να παρουσιαστούν κατά την εφαρμογή της διαδικασίας. Αναλυτικότερα, σε ανάλογες περιπτώσεις πλεύρισης μικρών σχετικά πλοίων σε αρκετά μεγαλύτερου μεγέθους σκάφη, επιτρέπεται να θεωρηθεί το μεγαλύτερο πλοίο ως σταθερό σημείο πρόσδεσης για το μικρότερο. Πράγματι, το bulk carrier λειτουργεί ως κυματοθραύστης και προστατεύει τη μάρτζα. Επομένως, οι τιμές των αποκρίσεων της μάρτζας στην πραγματικότητα θα είναι αρκετά μικρότερες, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερες τελικές διαφοροποιήσεις στις αποστάσεις των κύριων καταστρωμάτων.

4.4. Παραβλήματα Προστασίας - Fenders

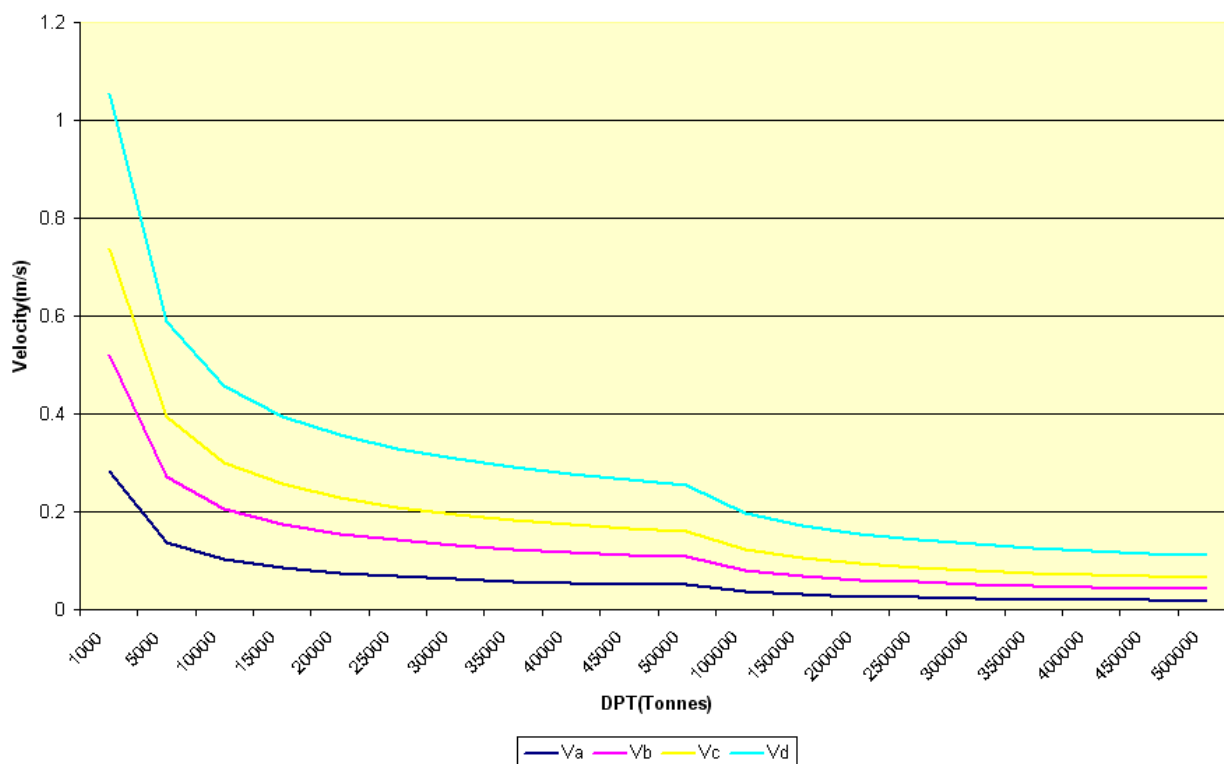
Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2.4, τα παραβλήματα που χρησιμοποιούνται κατά την πρόσδεση πλοίων χωρίζονται σε κύρια και δευτερεύοντα. Παρακάτω ακολουθεί ο υπολογισμός των μεγεθών των παραβλημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόσδεση της μάρτζας στο Bulk Carrier που μελετάμε, καθώς και οι αντίστοιχες ταχύτητες προσέγγισης και πρόσδεσης σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς.

Επιλογή Παραβλημάτων Προστασίας

Υπάρχουν κατά κύριο λόγο δύο τύποι παραβλημάτων που χρησιμοποιούνται κατά την πρόσδεση πλοίων σε πλεύριση, τα πνευματικού τύπου παραβλήματα και τα παραβλήματα αφρού. Η επιλογή ανάμεσα στα δύο βασίζεται στα χαρακτηριστικά απορροφούμενης ενέργειας και το μέγεθος τους μαζί με το μέγεθος του πλοίου και την ταχύτητα προσέγγισης του, όπως θα φανεί παρακάτω.

Οι παράμετροι που εισάγονται κατά τον υπολογισμό απαιτήσεων λειτουργίας των παραβλημάτων είναι οι επόμενες:

Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Ταχύτητας πρόσδεσης



- Το εκτόπισμα των πλοίων που συμμετέχουν στην πλευρίση
- Η ταχύτητα προσέγγισης και οι καιρικές συνθήκες
- Ο τύπος των διαθέσιμων παραβλημάτων

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, προτείνονται οι παρακάτω μέγιστες ταχύτητες προσέγγισης, ανάλογα με το εκτόπισμα και τις καιρικές συνθήκες, όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, όπου:

- V_a : Εύκολη πρόσδεση, προστατευόμενη
- V_b : Δύσκολη πρόσδεση, προστατευόμενη
- V_c : Εύκολη πρόσδεση, μη προστατευόμενη
- V_d : Δύσκολη πρόσδεση, μη προστατευόμενη

Στην περίπτωση πρόσδεσης που μελετάμε, το συνολικό εκτόπισμα του Bulk Carrier και της μάρτζας είναι $\nabla_{ολικό} = \nabla_{bulkcarrier} + \nabla_{barge} = 93377.2 + 4325.4 = 97702.6$ tons. Επομένως, η σχετική ταχύτητα προσέγγισης αναλόγως των καιρικών συνθηκών πρέπει να είναι μέσα στα όρια που δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 4.4: Πίνακας ταχύτητας πρόσδεσης συναρτήσει της κατάστασης θάλασσας.

ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ	ΗΡΕΜΗ ΘΑΛΑΣΣΑ κατάσταση θάλασσας:0-3 ύψος κύματος:0- 1.25 m	ΜΕΤΡΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ κατάσταση θάλασσας:4 ύψος κύματος:1.25-2.5 m	ΤΡΙΚΥΜΙΩΔΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑ κατάσταση θάλασσας:5 ύψος κύματος:2.5-4 m
66800-130000 tons	0.20 m/s	0.25 m/s	0.30 m/s

Η παραπάνω ταχύτητες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της μέγιστης αναμενόμενης ενέργειας πρόσδεσης. Αυτό σημαίνει ότι τα παραβλήματα είναι σχεδιασμένα να αντέχουν το ελεγχόμενο αντίκτυπο των πλοίων, δεδομένου ότι οι παραπάνω ταχύτητες δεν ξεπερνιούνται.

Η OCIMF (Διεθνές Ναυτικό Φόρουμ Πετρελαϊκών Εταιρειών) προτείνει μια διαδικασία επιλογής παραβλημάτων με βάση τον συντελεστή ισοδύναμου εκτοπίσματος C για πνευματικά παραβλήματα με αρχική πίεση 50 KPa, στην οποία λαμβάνεται υπόψη η ενέργεια πρόσδεσης σε συνάρτηση με τις καιρικές συνθήκες.

Ο συντελεστής ισοδύναμου εκτοπίσματος C ορίζεται σε σχέση με τα εκτοπίσματα των δύο πλοίων ως:

$$C = \frac{2 \cdot (\text{Εκτόπισμα } A \cdot \text{Εκτόπισμα } B)}{\text{Εκτόπισμα } A + \text{Εκτόπισμα } B} = 8267.8 \text{ tons}$$

από τον οποίο προκύπτουν τα εξής, σύμφωνα με την OCIMF:

Πίνακας 4.5: Πίνακας προτεινόμενων παραβλημάτων

Συντελεστής Ισοδύναμου Εκτοπίσματος C	Σχετική Ταχύτητα	Ενέργεια Πρόσδεσης	Προτεινόμενα Παραβλήματα	
Tonnes	m/s	Tonnes x m	Diameter x Length	Quantity
6000	0.30	14.0	2.5 x 5.5	3 ή παραπάνω
10000	0.25	17.0	2.5 x 5.5	3 ή παραπάνω
8267.8	0.28	15.3	2.5 x 5.5	3 ή παραπάνω

Επιλέγουμε με βάση τα προαναφερθέντα παραβλήματα 4 παραβλήματα ανά ζεύγη με διάμετρο 2.5 μέτρα και μήκος 5.5 μέτρα. Τα επιλεγθέντα είναι πνευματικά παραβλήματα (Yokohama Net Type Pneumatic Fenders). Ακολουθεί χαρακτηριστική εικόνα τέτοιου τύπου παραβλημάτων:



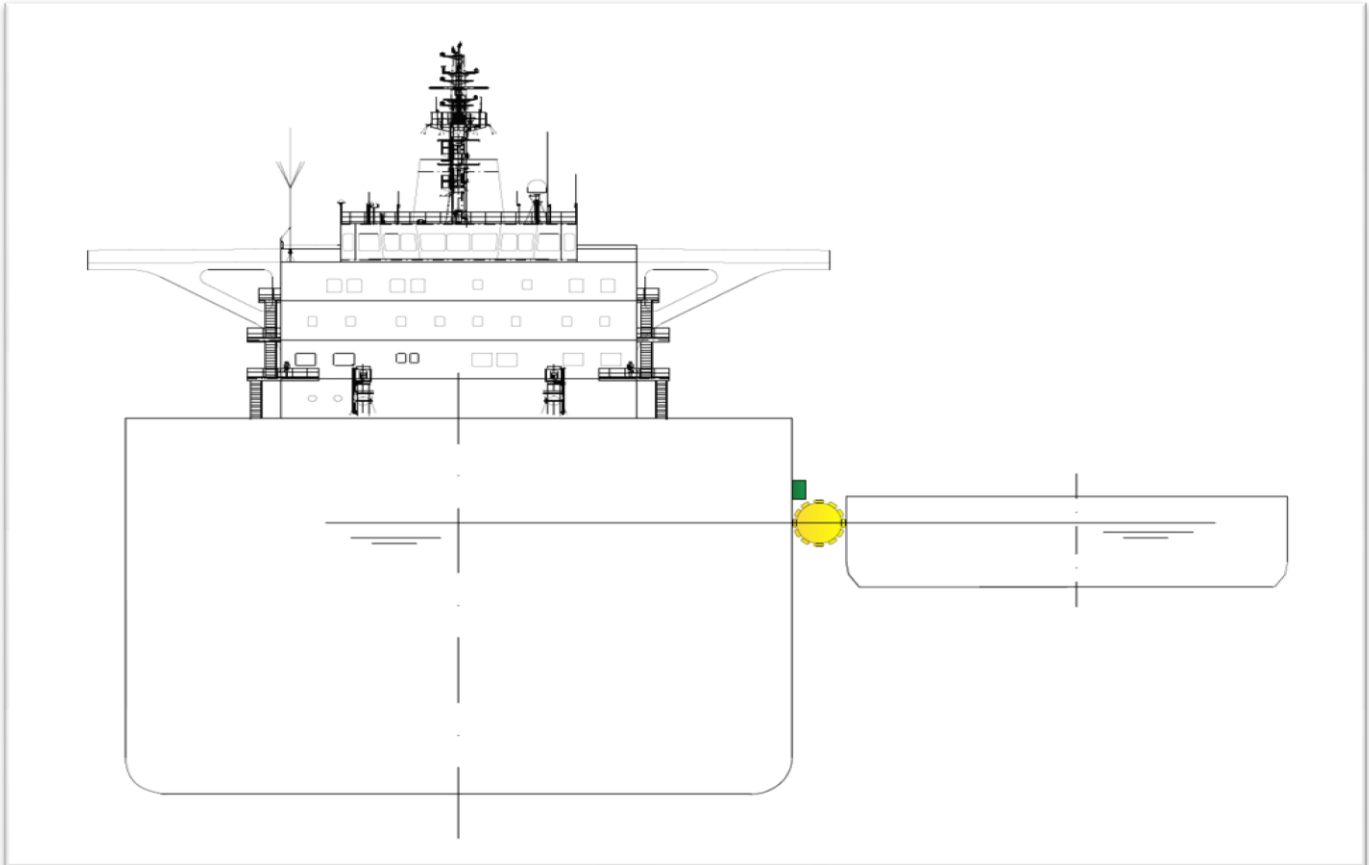
Εικόνα 4.6: Yokohama Net Type Pneumatic Fender

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων παραβλημάτων με αρχική πίεση 50KPa φαίνονται στον πίνακα της επόμενης σελίδας:

Πίνακας 4.6: Πίνακας στοιχείων επιλεγθέντων παραβλημάτων.

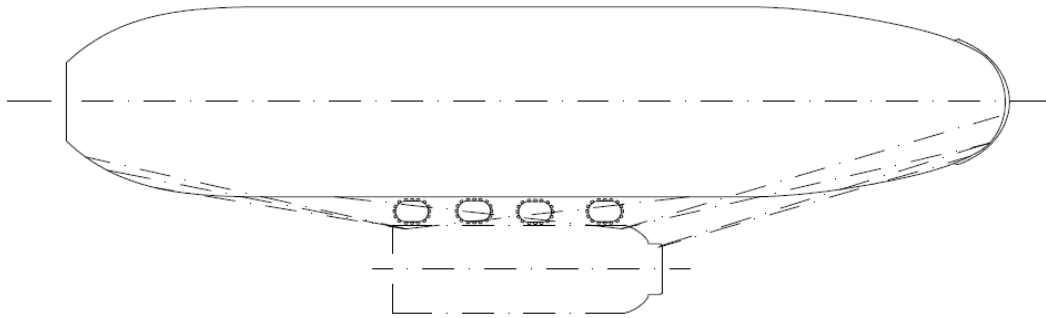
Διάμετρος x Μήκος (mm)	Απορροφούμενη Ενέργεια (E) Δύναμη Αντίδρασης (R) Πίεση Γάστρας (P) Αρχική Εσωτερική Πίεση 50 KPa			Κατά Προσέγγιση Βάρος Παραβλήματος (kg)	Δίκτυο Αλυσίδων (kg)
	E (ton- force.m)	R (ton- force)	P (ton- force/m ²)		
2500x5500	95	204	15	1200	1630

Εκτός του κύριου παραβλήματος, τοποθετούνται, όπως προαναφέρθηκε και δευτερεύοντα παραβλήματα. Τα δευτερεύοντα παραβλήματα χρησιμοποιούνται για να αποφευχθεί η ακούσια επαφή στην πρύμνη και την πλώρη, αλλά και για να αποφευχθεί η επαφή στο παράλληλο τμήμα σε περίπτωση roll. Η τοποθέτηση τους φαίνεται στο σκαρίφημα που ακολουθεί:



Εικόνα 4.7:Σκαρίφημα Πρόσδεσης Bulk Carrier με Barge με χρήση παραβλημάτων

Σημειώνεται ότι με κίτρινο χρώμα φαίνεται το κύριο παράβλημα (Pneumatic Net Type), ενώ με πράσινο το δευτερεύων παράβλημα. Στη συνέχεια ακολουθεί σκαρίφημα της κάτοψης της αντίστοιχης πρόσδεσης.



Εικόνα 4.8:Σκαρίφημα Πρόσδεσης Bulk Carrier με Barge με χρήση παραβλημάτων (κάτοψη)

4.5. Ρυμούλκια - Κάβροι - Σύστημα Πρόσδεσης

Σύμφωνα με όσα έχουν προαναφερθεί, ο εξοπλισμός πρόσδεσης που χρησιμοποιείται αποτελείται από:

- Έξι σχοινιά πρόσδεσης στο πρόστεγο
- Δύο σχοινιά πρόσδεσης στο κύριο κατάστρωμα πλώραθεν
- Δύο σχοινιά πρόσδεσης στο κύριο κατάστρωμα πρύμνηθεν
- Τέσσερα σχοινιά πρόσδεσης στο επίστεγο

Στο κομμάτι αυτό, θα γίνει ο υπολογισμός του Δείκτη Εξαρτισμού (Equipment Number) του πλοίου, προκειμένου να επιλεγθούν τα κατάλληλα μέσα πρόσδεσης για τη μεταφορά του φορτίου. Ο υπολογισμός του, όπως και ο υπολογισμός του αριθμού των αγκυρών, των καδενών, των ρυμουλκίων και των κάβρων που θα χρησιμοποιηθούν για τον εξαρτισμό του, θα γίνουν σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναλύεται στο βιβλίο "Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου I, Συλλογή Βοηθημάτων".

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως λόγω της πολύ μεγάλης διαφοράς μεγέθους των δύο πλοίων που θα χρησιμοποιηθούν στη μεταφορά φορτίου, θα γίνει χρήση των ρυμούλκιων και των κάβρων του bulk carrier, ώστε να υπάρχει επάρκεια αντοχής αυτών.

Ο δείκτης εξαρτισμού EN δίνεται από τον τύπο:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A$$

σε μετρικές μονάδες.

Όπου:

Δ : το εκτόπισμα της γάστρας σε μετρητικούς τόνους στη θερινή έμφορτη ίσαλο:

$$\Delta_{\Gamma\Phi} = 93377.20 \text{ t}$$

B: μέγιστο πλάτος του πλοίου,

$$B = 32.26 \text{ m}$$

h: , τα δρώντα ύψη των υπερστεγασμάτων, δηλαδή τα ύψη στον κεντρικό διαμήκη άξονα των υπερστεγασμάτων με πλάτος μεγαλύτερο από B/4 , συν το ύψος εξάλων μέχρι τη θερινή έμφορτη ίσαλο,

$$h = a + \sum_i h_i = 5.63 + 17.65 \text{ m} = 23.28 \text{ m} .$$

A: το εμβαδόν της πάνω από τη θερινή ίσαλο, πλευρικής επιφάνειας του σκάφους, των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων, που βρίσκονται μέσα στο μήκος των κανόνων, όπως μετρήθηκε από κατάλληλη επιλογή του προγράμματος Autocad:

$$A = 1583.01 \text{ m}^2$$

Οπότε τελικά:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0.1A = 93377.20^{2/3} + 2 \cdot 32.26 \cdot 23.28 + 0.1 \cdot 1583.01$$

\Rightarrow

$$EN = 2967.6$$

Από πίνακες για εξαρτισμό αυτοπροωθούμενων ωκεανοπόρων πλοίων (Πίνακας 28.2 σελ. E-11 , Μελέτη και Εξοπλισμό Πλοίου Ι, Συλλογή Βοηθημάτων) και για δείκτη εξαρτισμού U40 με αριθμό εξαρτισμού EN=3040, βρίσκουμε ότι το πλοίο πρέπει να διαθέτει τα ρυμούλκια και τους κάβους που αναφέρονται στον πίνακα παρακάτω:

Πίνακας 4.7: Πίνακας ρυμούλκιων σχοινιών και κάβων του Bulk Carrier.

Equipment Number	:	5130.9
Typical Equipment Number/Letter	:	3040 / U40
Tow Line		
Minimum Length	:	280 m
Breaking Strength	:	150000 kg
Mooring Lines		
Number	:	6
Minimum Length of Each	:	200 m
Minimum Breaking Strength	:	53000 kg

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι κάβοι που δίνονται από το δείκτη εξαρτισμού είναι 6, ωστόσο οι αντίστοιχες απαιτήσεις των κανονισμών για την πρόσδεση πλοίων και μεταφορά φορτίου απαιτεί ύπαρξη δεκατεσσάρων κάβων στο σύνολο. Για το λόγο αυτό, πρέπει να μεριμνήσουν τα πληρώματα των δύο πλοίων είτε ο πάροχος υπηρεσιών μεταφοράς φορτίου από πλοίο σε πλοίο, ούτως ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες για την εφαρμογή. Παράλληλα, οι γραμμές πρόσδεσης πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις αντοχής που αναφέρονται παραπάνω.

Εκτός των παραπάνω, αξίζει να σημειωθεί πως σε μια τέτοια εφαρμογή, προτείνεται από τους κανονισμούς η χρήση ειδικών συστημάτων υποβοήθησης της πρόσδεσης. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην επιλογή κάβων και ρυμούλκιων σχοινιών, με τα οποία θα γίνει η πρόσδεση των δύο πλοίων κατά την πλευρίση, επιλέξαμε το σύστημα για ασφαλή πρόσδεση της ShoreTension.

Το συγκεκριμένο σύστημα, κρατάει όλους τους κάβους σε ίση και σταθερή φόρτιση, ακόμα και σε καταστάσεις θάλασσας με κύμα. Με τον τρόπο αυτό, αποτρέπονται διαφορές στην τάση οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε κίνηση των πλοίων και σπάσιμο των κάβων. Συγκεκριμένα, το εν λόγω σύστημα μειώνει έως και 90% τις κινήσεις του πλοίου, ενώ δίνει τη δυνατότητα ενημέρωσης σε περίπτωση που ξεπεραστούν οι επιτρεπόμενες τάσεις.

Για την παραπάνω εφαρμογή, χρησιμοποιούνται ειδικοί κάβοι που κατασκευάζονται από την εταιρεία Dyneema.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα πρόσδεσης της ShoreTension έχει πιστοποιηθεί από τον Lloyd's Register.

Όπως είναι προφανές από όσα έχουν προαναφερθεί, η παρουσία των μέσων πρόσδεσης είναι καίριας σημασίας για την ασφαλή ολοκλήρωση της διαδικασίας μεταφοράς φορτίου μεταξύ δύο πλοίων. Επαρκής εξοπλισμός πρόσδεσης εξασφαλίζει πως η μπάρτζα δε θα απομακρυνθεί από το bulk carrier, εξαιτίας του ανέμου. Ειδικότερα, η χρήση κατάλληλου εξοπλισμού πρόσδεσης εξασφαλίζει πως τα δύο πλοία θα ταλαντώνονται ως ένα σώμα κατά το διαμήκη οριζόντιο άξονα (surge), τον εγκάρσιο οριζόντιο άξονα (sway) καθώς και πως θα κάνουν την ίδια στροφική οριζόντια ταλάντωση (yaw). Για τον λόγο αυτό, μελετήσαμε μόνο την κατακόρυφη ταλάντωση καθώς και το διατοιχισμό και τον προνευτασμό. Σε συνέχεια των παραπάνω, η προσφορά κατάλληλου εξοπλισμού πρόσδεσης διευκολύνει τη μεταφορά φορτίου από πλοίο σε πλοίο, καθώς εκμηδενίζει τις σχετικές εγκάρσιες κινήσεις των δύο πλοίων, με αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη λειτουργία των μέσων μεταφοράς του φορτίου (γερανοί, σωλήνες κλπ).

4.6. Συμπεράσματα

Όπως έχει αναφερθεί, κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της πλευρίσης μπάρτζας σε bulk carrier και της διαδικασίας της μεταφοράς φορτίου από πλοίο σε πλοίο. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συμπεριφορά των δύο πλοίων σε διάφορες καταστάσεις θάλασσας, καθώς και ο τρόπος πρόσδεσης τους, σε συνδυασμό με όλα τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία για την ασφαλή και επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας. Για την πλήρωση της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δύο προγράμματα δυναμικής ροής, ο κώδικας του Frank και το Standard Ship Motion Computer Program, SMP-93. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι αποκρίσεις των δύο πλοίων σε κυματισμούς με πλάτος έως 4 μέτρα και για διαφορετικές γωνίες πρόσκρουσης. Εν συνεχεία, υπολογίστηκαν τα κατάλληλα μέσα πρόσδεσης και προστασίας των πλοίων.

Από τη μελέτη αυτή παρείχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν στη διαδικασία πλευρίσης δυο πλοίων για μεταφορά φορτίου. Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα έδειξαν την υπεροχή του SMP-93 ως προς τη

χρήση, την εισαγωγή διαφορετικών παραμέτρων και τον ορθότερο υπολογισμό των αποκρίσεων των πλοίων.

Παράλληλα, παρατηρήθηκε η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων αναλόγως των προσπιπτόντων κυματισμών. Αρχικά, παρατηρήθηκε, όπως ήταν αναμενόμενο, πως οι αποκρίσεις των πλοίων σε κατακόρυφη ταλάντωση (heave) είναι σχεδόν ίδιες, ανεξάρτητα από την γωνία πρόσκρουσης των κυματισμών. Η διαφοροποίηση, ωστόσο, ήταν φανερή στις στρεπτικές κινήσεις του πλοίου, δηλαδή στο διατοιχισμό και τον προνευτασμό, όπου οι διαφορές ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης έφταναν το 25% σε κύματα πλάτους 1m, ενώ έφτανε σχεδόν το 40% σε κυματισμούς με πλάτος 4 μέτρων.

Εκτός των παραπάνω, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων, η κατακόρυφη ταλάντωση των πλοίων παρουσιάζει μία κορυφή και στη συνέχεια σταθεροποιείται, έχοντας μέγιστο σε κύματα με μήκος μικρότερο των 200 μέτρων, ενώ μετά από αυτή την τιμή φαίνεται να μην υπάρχει διακύμανση της απόκρισης ανάλογα με το μήκος κύματος.

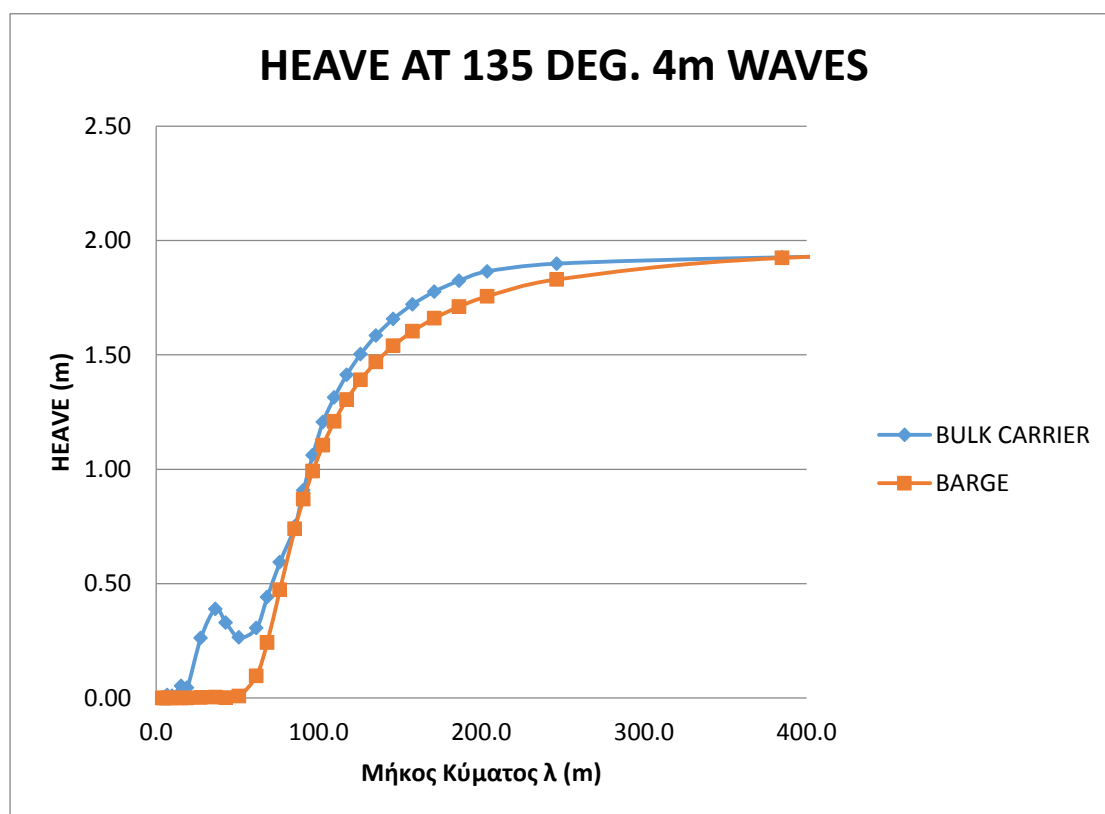
Όσον αφορά στα διαγράμματα του διατοιχισμού, έχουν σε όλες τις περιπτώσεις σχήμα καμπάνας, με κορυφή της καμπύλης να εμφανίζεται, όπως και στην περίπτωση της κατακόρυφης ταλάντωσης, σε κύματα μικρότερου μήκους, και στη συνέχεια να έχει πτωτική τάση και να σταθεροποιείται για τιμές μήκους κύματος πάνω από 1000 μέτρα.

Τέλος, όσον αφορά στα διαγράμματα του προνευτασμού, παρατηρήθηκε και εδώ μια πτωτική πορεία των διαγραμμάτων με την αύξηση του μήκους κύματος. Εξάλλου, όπως προαναφέρθηκε, οι αποκρίσεις των δύο πλοίων σε προνευτασμό είναι μικρότερες από τις αποκρίσεις σε κατακόρυφη ταλάντωση και διατοιχισμό, αφού οι μέγιστες τιμές για το bulk carrier δεν ξεπερνούν τις 0.6 μοίρες, ενώ για τη μπάρτζα η αντίστοιχη τιμή δεν ξεπερνά τις 1.4 μοίρες.

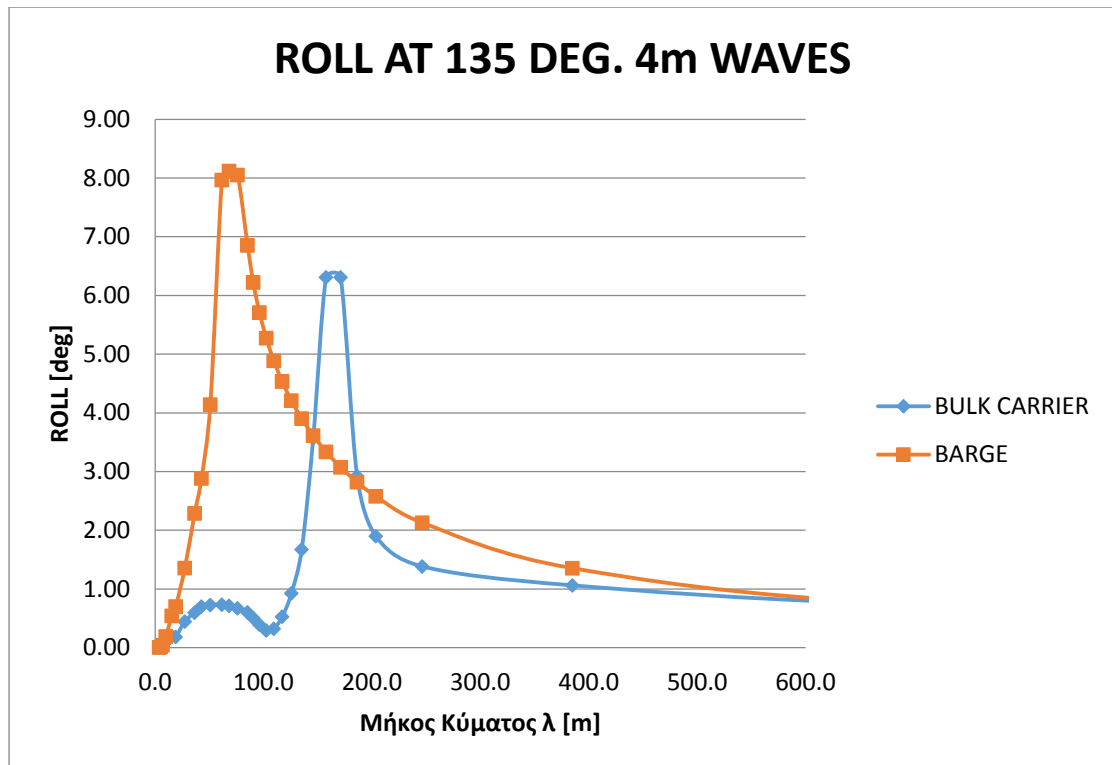
Συνεχίζοντας, αξίζει να γίνει αναφορά στα σενάρια δυσμενέστερων καταστάσεων, τα οποία προέκυψαν από τους υπολογισμούς. Όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο, υπολογίστηκαν οι δυσμενέστερες για την πρόσδεση καταστάσεις, αφού συνυπολογίστηκαν οι αποκρίσεις σε κατακόρυφη ταλάντωση, διατοιχισμό και προνευτασμό. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα, τόσο σε κυματισμούς ενός όσο και δύο μέτρων, το χειρότερο σενάριο εμφανίζεται σε κύματα με μήκος 76.5 μέτρα. Στους κυματισμούς των τεσσάρων μέτρων η δυσμενέστερη κατάσταση παρουσιάζεται σε μήκη κύματος 126.5 μέτρων. Οι τιμές οι οποίες προέκυψαν φτάνουν, τα 1.02 μέτρα σε κύματα ενός μέτρου, τα 2.35 μέτρα για

κυματισμούς δύο μέτρων και τα 3.39 σε κυματισμούς τεσσάρων μέτρων. Πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες των πραγματικών αποκρίσεων, καθώς όπως αναλύσαμε στην αντίστοιχη παράγραφο, το bulk carrier λειτουργεί ως κυματοθραύστης για τη μπάρτζα και την προστατεύει από μεγάλες ταλαντώσεις λόγω των προσπιπτόντων κυματισμών. Επομένως, μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε ότι οι πραγματικές τιμές στο δυσμενέστερο σενάριο δεν ξεπερνούν τα 2.5 μέτρα στους κυματισμούς με πλάτος τεσσάρων μέτρων.

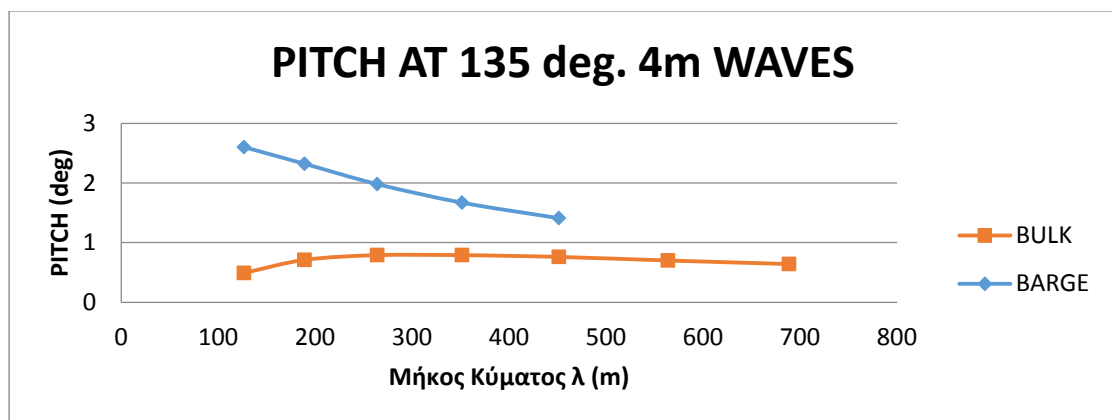
Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί πως το σημαντικότερο συμπέρασμα της παρούσας εργασίας προκύπτει από τις διαφορές που παρουσιάζουν οι αποκρίσεις των δύο πλοίων στους ίδιους κυματισμούς. Πράγματι, παρουσιάζοντας σε κοινό διάγραμμα τις αποκρίσεις στην εκάστοτε κίνηση των δύο πλοίων, προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Χαρακτηριστικά, παρατίθενται στη συνέχεια τα κοινά διαγράμματα της κατακόρυφης ταλάντωσης, του διατοιχισμού και του προνευτασμού για κύματα γωνίας πρόσπτωσης 45° και ύψους κύματος ίσο με 4 μέτρα.



Διάγραμμα 4.18.α. Κοινό διάγραμμα κατακόρυφης ταλάντωσης Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.



Διάγραμμα 4.18.β. Κοινό διάγραμμα διατοιχισμού Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.



Διάγραμμα 4.18.γ. Κοινό διάγραμμα προνευτασμού Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, σε όλες τις κινήσεις των δύο πλοίων, οι αποκρίσεις τους διαφέρουν σημαντικά. Χαρακτηριστικά, σε μήκη κύματος μικρότερα των 100 μέτρων, υπάρχουν σαφείς διαφορές στις ταλαντωτικές κινήσεις της μάρτζας και του bulk carrier, αφού η μάρτζα ταλαντώνεται εντονότερα ως προς το διατοιχισμό και λιγότερο έντονα από το φορτηγό ως προς την κατακόρυφη ταλάντωση και τον προνευτασμό.

Εκτός των παραπάνω, παρακάτω ακολουθεί πίνακας με τις διαφορές φάσεων της κατακόρυφης ταλάντωσης και του διατοιχισμού για τον συγκεκριμένο κυματισμό (οι διαφορές φάσης στην περίπτωση του προνευτασμού ήταν μικρότερες των 5° και, για το λόγο αυτό, δεν παρατίθενται).

Πίνακας 4.7: Πίνακας διαφοράς φάσεων αποκρίσεων Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

PHASE DIFFERENCE		
135 deg. 4.00m waves		
Μήκος Κύματος λ (m)	HEAVE	ROLL
	PHASE DIFFERENCE (DEG)	PHASE DIFFERENCE (DEG)
563.7	0	27.7
451.3	0	46.5
351.4	0	58
263.9	10	60
189	23	51
126.5	33	68
76.5	45	62
39	42	73.4

Συμπεραίνεται από τον παραπάνω πίνακα ότι πέρα του πλάτους των αποκρίσεων, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις και στη φάση των ταλαντώσεων, γεγονός που περιπλέκει επιπλέον τη μελέτη. Με βάση τα παραπάνω προέκυψαν όσα προαναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3. Έτσι, φτάσαμε στο συμπέρασμα πως τα δύο πλοία, παρόλο τον εξοπλισμό πρόσδεσης, εξακολουθούν να κινούνται διαφορετικά ως προς το heave, το roll και το pitch, γεγονός που δυσχεραίνει τη μεταφορά του φορτίου. Παρόλα αυτά, οι μέγιστες αποκλίσεις φτάνουν τα 3.39 μέτρα σύμφωνα με τους υπολογισμούς, ενώ οι πραγματικές τιμές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά καθώς σε ανάλογες περιπτώσεις πλεύρισης μικρών σχετικά πλοίων σε αρκετά μεγαλύτερου μεγέθους σκάφη, επιτρέπεται να θεωρηθεί το μεγαλύτερο πλοίο ως σταθερό σημείο πρόσδεσης με αποτέλεσμα οι τιμές των αποκρίσεων της μάρτζας να είναι αρκετά μικρότερες των υπολογισμών.

Σαφέστατα, συμβαδίζοντας με όσα προβλέπουν οι κανονισμοί, θα έπρεπε να αποφεύγεται η μεταφορά φορτίου σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως στην παραπάνω περίπτωση όπου έχουμε κύματα 4 μέτρων. Ωστόσο, ακόμα και σε τέτοιους κυματισμούς, οι σχετικές κινήσεις μεταξύ των δύο πλοίων είναι τέτοιες ώστε η μεταφορά φορτίου να μην είναι απαγορευτική. Σε κάθε περίπτωση, οποιαδήποτε εφαρμογή των παραπάνω υπολογισμών είναι αναγκαίο να επιβεβαιωθεί με χρήση μοντέλων, πειραματικά, πριν την τελική εφαρμογή τους.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία μεταφοράς φορτίου στη θάλασσα μετά από πλεύριση της μπάρτζας στο bulk carrier μπορεί να επιτευχθεί, αρκεί η διαδικασία να γίνει με συγκεκριμένα κριτήρια. Συγκεκριμένα, είναι προφανές πως προτιμάται να ολοκληρώνεται η διαδικασία σε σημεία που οι κυματισμοί έχουν χαμηλές τιμές πλάτους, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι αντίστοιχες αποκρίσεις των συμμετεχόντων πλοίων. Παράλληλα, είναι αναγκαίο να τηρούνται συγκεκριμένοι κανόνες ασφαλείας ώστε να ολοκληρωθεί το εγχείρημα ασφαλώς. Συγκεκριμένα, ιδιαίτερη σημασία έχει η εγκαθίδρυση επικοινωνιών μεταξύ των δύο πληρωμάτων, η ύπαρξη κατάλληλου εξοπλισμού πρόσδεσης και προστασίας των πλοίων, καθώς και η σύνταξη σχεδίου εκτάκτου ανάγκης. Παράλληλα, αναγκαία κρίνεται η αξιολόγηση του ρίσκου της διαδικασίας και η ύπαρξη προληπτικών μέτρων ενάντια στη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Σαφέστατα, η ασφάλεια του εξοπλισμού και του περιβάλλοντος είναι πρώτιστης σημασίας, ωστόσο από ότι φαίνεται από τους υπολογισμούς, η διαδικασία μεταφοράς φορτίου δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη στις περιπτώσεις μεγαλύτερων κυματισμών. Συγκεκριμένα, με την ύπαρξη του κατάλληλου εξοπλισμού πρόσδεσης, υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης των τάσεων που εμφανίζονται στις γραμμές πρόσδεσης, με αποτέλεσμα να μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία με ασφάλεια. Παράλληλα, σε αντίθεση με τη μεταφορά φορτίου μεταξύ πετρελαιοφόρων δεξαμενόπλοιων, η μεταφορά φορτίου από bulk carrier σε μπάρτζα, μπορεί να έχει αρκετά μικρότερο κίνδυνο μόλυνσης του περιβάλλοντος. Πράγματι, στη συγκεκριμένη μεταφορά φορτίου δε χρησιμοποιούνται μάνικες και σωληνώσεις για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος απώλειας σύνδεσης των σωληνώσεων. Παράλληλα, σε συγκεκριμένα είδη φορτίων bulk carrier, όπως το σιτάρι ή το χαλίκι, ο κίνδυνος για μόλυνση του περιβάλλοντος είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με τη μεταφορά πετρελαίου.

Μπορούμε επομένως, καταλήγοντας, να εξάγουμε συγκεκριμένα χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν στη μεταφορά φορτίου από bulk carrier σε μπάρτζα:

1. Υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις αποκρίσεις των πλοίων ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών.
2. Το πλάτος των κυμάτων αυξάνει το μέγεθος της απόκρισης των πλοίων, χωρίς ωστόσο να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στις μορφές των αντίστοιχων διαγραμμάτων.

3. Καίρια σημασία έχει η εγκαθίδρυση επικοινωνίας μεταξύ των πληρωμάτων και η σωστή επιλογή του σημείου όπου θα ολοκληρωθεί η μεταφορά του φορτίου
4. Ιδιαίτερης σημασία για την ολοκλήρωση της διαδικασίας έχει η σωστή και έγκαιρη προετοιμασία του εξοπλισμού από τα δύο πληρώματα.
5. Σημαντικό είναι να επιλεγθεί κατάλληλο σύστημα πρόσδεσης και κάβων για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος αστοχίας των κάβων.
6. Οι αποκρίσεις που δίνονται από το SMP-93 είναι πιο ακριβείς καθώς εμπεριέχουν το συντελεστή απόσβεσης.
7. Τα μεγέθη των αποκρίσεων που υπολογίστηκαν για κάθε πλοίο ξεχωριστά είναι μεγαλύτερες από τις πραγματικές τους αποκρίσεις μετά από πλεύριση, καθώς το bulk carrier λειτουργεί ως κυματοθραύστης.
8. Σε κάθε περίπτωση, όλα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από υπολογιστικές διαδικασίες, κρίνεται απαραίτητο να ελέγχονται με εκτέλεση πειραμάτων σε κλίμακα μοντέλου σε πειραματική δεξαμενή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Λογισμικά και γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκαν

1. Microsoft Word
2. Microsoft Excel
3. Microsoft Powerpoint
4. Γλώσσα προγραμματισμού Fortran 77
5. Υπολογιστικό πακέτο Frank42
6. Πρόγραμμα Δυναμικής Ροής Standard Ship Motion Computer Program
7. Σχεδιαστικό πρόγραμμα Autodesk AutoCAD 2016
8. MATLAB R2011a

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Λίστα εικόνων

1. Εικόνα 1.1: Εναλλακτικοί Τρόποι Στερέωσης Παραβλημάτων
2. Εικόνα 1.2: Συνήθεις ελιγμοί πλοίων πριν από STS Operation
3. Εικόνα 1.3: Τυπικό πλάνο Πρόσδεσης για Φορτηγά Πλοία και Δεξαμενόπλοια
4. Εικόνα 1.4: Απελευθέρωση με χρήση Toggle Pin Technique
5. Εικόνα 2.1: Απεικόνιση απλού αρμονικού κυματισμού
6. Εικόνα 2.2: Ορισμός Κινήσεων Πλοίου σε έξι άξονες ελευθερίας .
7. Εικόνα 2.3: Rolling
8. Εικόνα 2.4: Heaving
9. Εικόνα 2.5: Απλός αρμονικός Κυματισμός
10. Εικόνα 2.6: Θεωρία Λωρίδων
11. Εικόνα 2.7: Η εγκάρσια τομή σύμφωνα με τη θεωρία του Frank
12. Εικόνα 4.1: Lightship Condition
13. Εικόνα 4.2: Uniformly Full Load Departure Condition
14. Εικόνα 4.3: Heavy Ballast Midway
15. Εικόνα 4.4. Full Homogenous Loading Departure
16. Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Ταχύτητας πρόσδεσης
17. Εικόνα 4.6: Yokohama Net Type Pneumatic Fender
18. Εικόνα 4.7: Σκαρίφημα Πρόσδεσης Bulk Carrier με Barge με χρήση παραβλημάτων
19. Εικόνα 4.8: Σκαρίφημα Πρόσδεσης Bulk Carrier με Barge με χρήση παραβλημάτων (κάτοψη)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ - Λίστα Διαγραμμάτων

1. Διάγραμμα 4.1: Bodyplan Bulk Carrier σε FLD κατάσταση φόρτωσης
2. Διάγραμμα 4.2: Bodyplan Bulk Carrier σε HBM κατάσταση φόρτωσης
3. Διάγραμμα 4.3: Bodyplan Barge σε FLD κατάσταση φόρτωσης
4. Διάγραμμα 4.4.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90°
5. Διάγραμμα 4.4.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90°
6. Διάγραμμα 4.5.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135°
7. Διάγραμμα 4.5.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 135°
8. Διάγραμμα 4.6.α: ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180°
9. Διάγραμμα 4.6.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 180°
10. Διάγραμμα 4.7.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.
11. Διάγραμμα 4.7.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.
12. Διάγραμμα 4.7.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.
13. Διάγραμμα 4.7.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 1m.
14. Διάγραμμα 4.8.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
15. Διάγραμμα 4.8.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
16. Διάγραμμα 4.8.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
17. Διάγραμμα 4.8.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
18. Διάγραμμα 4.9.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 1m

19. 4.9.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 1m
20. Διάγραμμα
21. Διάγραμμα 4.10.α: Κατακόρυφη ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 2m
22. 4.10.β: Κατακόρυφη ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 2m
23. Διάγραμμα
24. Διάγραμμα 4.10.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 2m
25. 4.10.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 2m
26. Διάγραμμα
27. Διάγραμμα 4.11.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 2m
28. Διάγραμμα 4.11.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 2m
29. Διάγραμμα 4.11.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 2m
30. Διάγραμμα 4.11.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 2m
31. Διάγραμμα 4.12.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 2m
32. Διάγραμμα 4.12.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 2m.
33. Διάγραμμα 4.13.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.
34. Διάγραμμα 4.13.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.
35. Διάγραμμα 4.13.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 90° με πλάτος 4m.
36. Διάγραμμα 4.13.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 90° με πλάτος 4m
37. Διάγραμμα 4.14.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
38. Διάγραμμα 4.14.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

39. Διάγραμμα 4.14.γ: Διατοιχισμός Bulk Carrier για κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
40. Διάγραμμα 4.14.δ: Διατοιχισμός Barge για κυματισμό 135° με πλάτος 4m
41. Διάγραμμα 4.15.α: Κατακόρυφη Ταλάντωση Bulk Carrier για κυματισμό 180° με πλάτος 4m.
42. Διάγραμμα 4.14.β: Κατακόρυφη Ταλάντωση Barge για κυματισμό 180° με πλάτος 4m.
43. Διάγραμμα 4.15.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 1m.
44. Διάγραμμα 4.15.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 1m
45. 4.15.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
46. Διάγραμμα 4.15.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 1m.
47. Διάγραμμα 4.15.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 1m.
48. Διάγραμμα 4.15.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 1m
49. Διάγραμμα 4.16.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 2m.
50. Διάγραμμα 4.16.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 2m.
51. Διάγραμμα 4.16.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 2m.
52. Διάγραμμα 4.16.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 2m.
53. Διάγραμμα 4.16.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 2m.
54. Διάγραμμα 4.16.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 2m.
55. Διάγραμμα 4.17.α: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 90° με πλάτος 4m.
56. Διάγραμμα 4.17.β: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 90° με πλάτος 4m.
57. Διάγραμμα 4.17.γ: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
58. Διάγραμμα 4.17.δ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
59. Διάγραμμα 4.17.ε: Προνευτασμός Bulk Carrier σε κυματισμό 180° με πλάτος 4m.
60. Διάγραμμα 4.17.στ: Προνευτασμός Barge σε κυματισμό 180° με πλάτος 4m.

61. Διάγραμμα 4.18.α. Κοινό διάγραμμα κατακόρυφης ταλάντωσης Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
62. Διάγραμμα 4.18.β. Κοινό διάγραμμα κατακόρυφης ταλάντωσης Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.
63. Διάγραμμα 4.18.γ. Κοινό διάγραμμα προνευτασμού Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ - Λίστα Πινάκων

1. Πίνακας 4.1: Κύρια χαρακτηριστικά Barge Alpaslan 2
2. Πίνακας 4.2: Κύρια χαρακτηριστικά Bulk Carrier M/V Mairini
3. Πίνακας 4.1: Πίνακας μέγιστων διαφοροποιήσεων διαφοράς ύψους έξαλλων.
4. Πίνακας 4.3: Πίνακας ταχύτητας πρόσδεσης συναρτήσει της κατάστασης θάλασσας.
5. Πίνακας 4.4: Πίνακας προτεινόμενων παραβλημάτων
6. Πίνακας 4.5: Πίνακας στοιχείων επιλεχθέντων παραβλημάτων.
7. Πίνακας 4.6: Πίνακας ρυμούγκιων σχοινιών και κάβων του Bulk Carrier.
8. Πίνακας 4.7: Πίνακας διαφοράς φάσεων αποκρίσεων Barge και Bulk Carrier σε κυματισμό 135° με πλάτος 4m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε - Απαιτούμενα Έγγραφα / Φόρμες για STS Operation

FORM REF # -DESCRIPTION
OCIMF CHECK-LIST 1 – PRE FIXTURE INFORMATION
OCIMF CHECK-LIST 2 – BEFORE OPERATIONS COMMENCE
OCIMF CHECK-LIST 3 – BEFORE RUN-IN AND MOORING
OCIMF CHECK-LIST 4 – BEFORE CARGO TRANSFER
OCIMF CHECK-LIST 5 – BEFORE UNMOORING
OCIMF CHECK-LIST 6 – PRE-TRANSFER CHECKLIST
OCIMF CHECK-LIST 6A – CHECKS DURING TRANSFER
OCIMF CHECK-LIST PERSONNEL TRANSFER BY CRANE – PERSONNEL TRANSFER
OCIMF CHECK-LIST FOR TRANSFERS INVOLVING VAPOUR BALANCING – TRANSFERS INVOLVING VAPOUR BALANCING
IMO NOTIFICATION – NOTIFICATION TO COASTAL AUTHORITIES
STS-7 - USCG DOI – DECLARATION OF INSPECTION FOR TANKER VESSELS
STS-8 ONLINESTS ASSESSMENT – STS OPERATION PERFORMANCE EVALUATION
STS-9 ONLINESTS SP AND POAC – STS SERVICE PROVIDER AND POAC QUALITY ASSURANCE
STS-10 – NON CONFORMITY REPORTS
STS-11 – FENDER SELECTION CALCULATION
STS-12 – FENDER SELECTION ASSISTANCE REQUEST FORM
ECQ-1 IDENTIFICATION OF STS EQUIPMENT
ECQ-2 RECORDING HOSE ASSEMBLY SERVICE AND TESTS
ECQ-3 RECORDING FENDER ASSEMBLY SERVICE AND TESTS
ECQ-4 PERSONNEL TRANSFER BASKET INSPECTION
ECQ-5 LOG BOOK OF STS EQUIPMENT INSPECTION
ISGOTT CHECKLIST - ISGOTT SHIP/SHORE SAFETY CHECK-LIST

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ - ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΡΧΕΙΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΚΩΔΙΚΑ
FRANK ΚΑΙ SMP-93.**

CARD SET # 1 : NCS, FORMAT (15)

NCS = number of ships

The card sets 2 to 26 should be repeated for each ship

CARD SET # 2 : (NAME (I), I=1, 40)

Alphanumeric data used to describe the case particulars.

CARD SET # 3 : NSTA, NROMS, NENC, NVL, NMOT, NSP, NP, MP, NTURB, HASBK, NB, NBEND, NWT, NPCH, NFQ, NFR Format(16 I5)

NSTA = # of ship stations (max 32)

NROMS = # of regular wave frequencies (max 38)

NENC = # of heading angles (max 16)

NVL = # of ship speeds (max 16)

NMOT = # of points at which motions, velocities and accelerations are to be calculated (max 10)

NSP = 0 for even spacing of ship stations

= 1 for uneven spacing of ship stations

NP = # of points used to define each ship section (max 15)

MP = # of multipoles to be used in determination of the hydrodynamic potential coefficients (max = min (9 , NP-2))

NTURB : necessary for viscous roll damping

= 0 for model without bilge keels

= 1 for model or ship with bilge keels

HASBK = -1 if only vertical motions will be computed

= 0 if all five degrees of motion will be computed for a ship without bilge keels

= 1 if all five degrees of motion will be computed for ship with bilge keels

NB : necessary only for one station bending moment calculations. NB is the station number for which bending moments are to be computed (the FP is defined as station # 1, the AP as station # NSTA).

NBEND : for bending moment calculations

= 0 : no bending moment calculations

= 1 : bending moment calculation for station NB

= 2 : bending moment calculations for all stations

NWT = # of weight ordinates if NBEND 2 ; otherwise leave NWT blank (max 120)

NPCH : integer controlling the printing of the matrices of motion and the hydrodynamic coefficients

= -1 only the non-linear viscous roll damping Coefficients will be printed.

= 0 supresses print

	=	1 prints the matrices of motion (linear terms), the linear hydrodynamic coefficients, and the non – linear viscous roll damping coefficient.
NFQ	:	integer specifying the dimensions of the input regular wave frequencies.
	=	0 if frequencies are input as [rad/sec]
	=	1 if frequencies are input as λ/L (wave length to ship length between perpendiculars)
NFR	:	control integer for ship speed
	=	0 if dimensional units are used (ft/sec or m/sec)
	=	1 if Froude numbers are used
NTYPE	=	0 if the complex potential is calculated with the multipoles method and the subroutines MAPING and INTPOL are used
	=	1 if the complex potential is calculated with distributed sources on the section's contour and the Frank program is used
NSECT	=	0 the dimensionless results of Frank program for the hydrodynamic elements and the pressure distribution across the section's contour are not printed
	=	1 the above results are printed

The card set input 4-9 are used only if NTYPE = 1

CARD SET # 4 : MAXB, NH, NOSYM (FORMAT (3 I5))

MAXB	=	the number representing the section with the maximum breadth. It should be noted that in Frank method each section is described by a set of points
NH	=	the number of different drafts for submerged bodies. Only the last calculation is taken into account in the cooperation of the main program with the Frank program while the rest of the computations are used for the calculation of dimensionless factors inside Frank subroutine. For floating bodies NH = 1
NOSYM	=	0 if the section is symmetric with respect to its middle vertical axis, so only half of the section will be described with points
	=	1 if the section is not symmetric

Next figure shows how the numbering of points that are used for sections definition is being done for symmetric and non-symmetric sections.

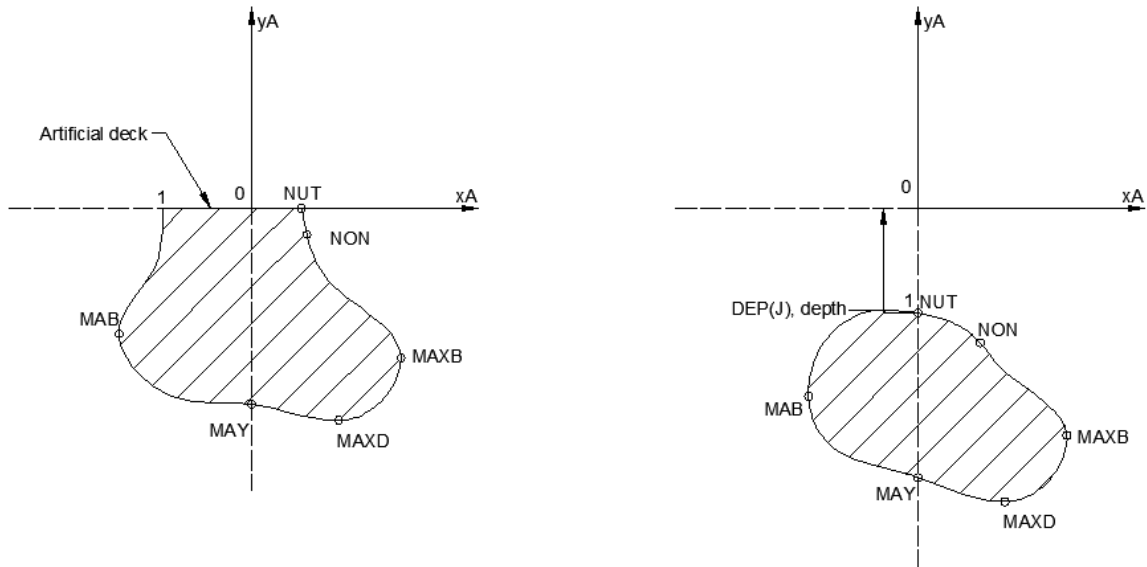


Figure E.1a. Non-symmetric sections

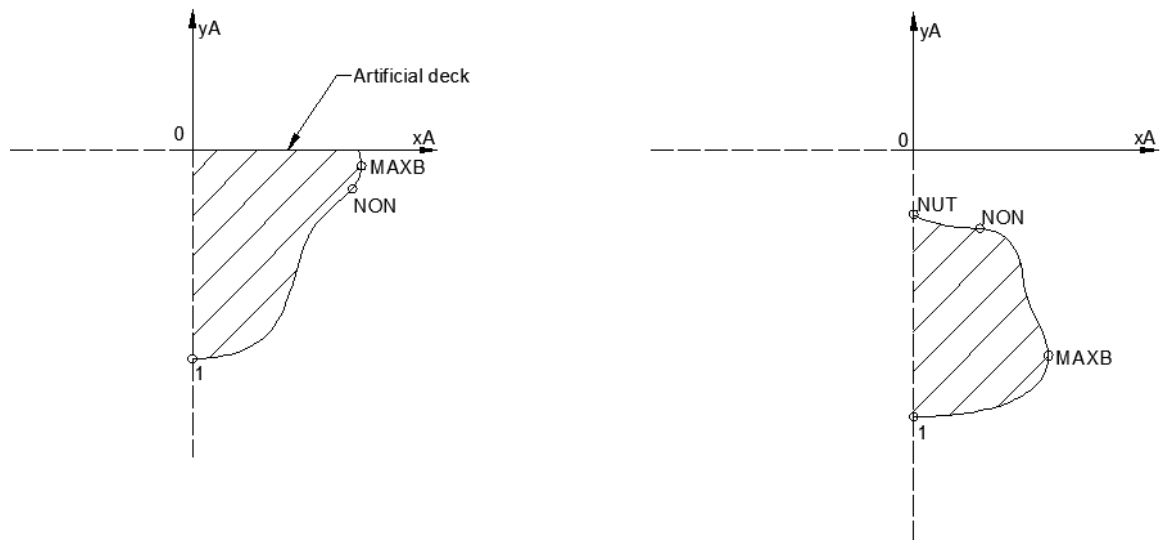


Figure E.1b. Symmetric sections

CARD SET # 5 : MAB, MAXD, MAY (FORMAT (3 I5))

This card can be ignored if NOSYM = 0

MAB = the number representing the point with the smaller abscissa

MAXD = the number representing the point with the smaller ordinate

MAY = the number representing the point at which the section contour hits the vertical middle axis

CARD SET # 6 : (DEP (J), J = 1, NH), CR with FORMAT (2 F10.4)

DEP (J) = The values of the drafts (positive values). For a floating body DEP(1) = 0.0

CR = a negative number representing the distance of the centre of rolling from the free surface, if the body floats and the distance of the upper intersection point between the vertical axis and the body's contour, if

the body is submerged. If roll motion is not of interest CR = 0.0

CARD SET # 7 : MD1, NON, MONO (FORMAT (3 I5))

- MD1 = 1 if the body is fully submerged
- = 2 if the body floats
- NON = the number of line segments that are needed to describe the contour
- MONO = half of the number of the line segments that we assume that close up the section instead of straight deck

There should be NON+MONO ≤ 45 due to memory usage limitations. If the body is symmetrical then NON and MONO values refer to half of the section

CARD SET # 8 : (XAP (I,J), I = 1, NUT , J = 1, NSTA) with FORMAT (F10.4)

They are the abscissas of the points that lie on the contour of the section and their origin is the vertical axis. The number NUT = NON+1 is the total number of points of the section. The numbers representing the points increase as we move counter clockwise and begin from the keel for symmetric bodies and from the intersection of the contour with the free surface if the body floats. For submerged bodies XAP (1,J) = XAP (NUT,J) = 0.0

CARD SET # 9 : (YAP (I,J), I = 1, NUT , J = 1, NSTA) with FORMAT (F10.4)

They are the ordinates of the previous points and are always negative numbers or zero. For submerged bodies their origin is placed at the intersection point of the vertical axis and the contour of the section.

CARD SET # 10 : NSEA, NWX, NSOMS, NS, NSPC, IO, NADR, NEVT with FORMAT (8 I5)

- NSEA = 0 if only regular wave calculations desire
- = 1 if only irregular wave results will be printed
- = 2 if both regular and irregular wave results will be printed
- NWX = number of sea states (max 10)

If NWX = 0 and NSEA # 0 the following eight default sea states for fully developed seas will be assumed

- H1/3/LBP = 0.015, 0.020, 0.025, 0.030, 0.040, 0.050, 0.075, 0.100
- NSOMS = number of spectral frequencies if NS ≠ 0 (max 40), blank otherwise (if NS = 0)
- NS = 0 for default set of 40 spectral frequencies and ordinates
- = 1 for input spectral frequencies; spectral ordinates will be calculated
- = 2 for input spectral frequencies and ordinates
- NSPC = 1 for print of the 0th , 2nd and 4th moments and broadness factor of the response spectral ordinates
- = 0 suppresses print of above data
- IO : specifies the output device where the mean squares of the responses are to be output (if short crested sea calculations are desired IO should be 0 to suppress output)
- NADR = 1 if added resistance calculations are desired
- = 0 otherwise
- NEVT = 1 if events such as deck wetness and/or propeller racing and/or slamming are desired
- = 0 otherwise

CARD SET # 11 : CB, XLBP, BREAM, DRAFT, GRAV, XCG, VCG, GM, FORMAT (8 F10.4)

- CB : block coefficient
- XLBP : ship length between perpendiculars

BEAM : midship beam
 DRAFT : midship draft
 GRAV : acceleration constant due to gravity
 XCG : longitudinal centre of gravity measured from amidships (positive fwd)
 VCG : vertical centre of gravity measured from the waterline (positive up)
 GM : metacentric height

CARD SET # 12 : RYY, RXX, RZZ, XZI, RHO, XRHO, NU, WSURFA, FORMAT (8 F10.4)

RYY : radius of gyration about the y-axis
 RXX : radius of gyration about the x-axis
 RZZ : radius of gyration about the z-axis
 XZI : mass moment of inertia about the x-z axis
 RHO : mass density of fluid in the unit system used to define the principal characteristics of the ship
 XRHO : mass density of fluid in English Units (slugs/ft³ or lbf.sec²/ft⁴)
 ~ 1.94 for fresh water
 ~ 1.99 for salt water
 NU : kinematic viscosity of fluid
 WSURFA : wetted surface. When the Frank program is used there is no need to be filled because it is calculated

CARD SET # 13 : UNIT, ORIGIN, ZETAA, ALFA (I10, 3 F10.4)

UNIT : units of input data
 UNIT = 0 English units
 UNIT = 1 Metric units
 ORIGIN = x-coordinate of desired origin where motions are to be calculated (measured from amidships, positive fwd)
 ZETAA = wave amplitude
 ALFA = maximum wave slope
 The user has the option of specifying either constant wave amplitude or constant wave slope. When ALFA = 0.0, the program will use the value specified for ZETAA; otherwise ALFA will be used.

CARD SET # 14 : (XI(I), YM(I), ZM(I), SIGMA(I), ZCB(I), GIRTH(I), RIFLR(I),ALPH (I), I=1, NSTA), FORMAT (8F10.4)

I = 1 for the fwd station, I = NSTA for the aft station
 XI(I) = distance to ship station I measured from amidship (positive fwd)
 YM(I) = full beam at waterline of station I
 ZM(I) = draft at station I
 SIGMA(I) = area coefficient of station I (defined as section area divided by beam · draft of station I). If NTYPE = 0, the value is given
 ZCB(I) = vertical centre of buoyancy of station I measured from the waterline (positive up). If NTYPE = 0 the value is given
 GIRTH(I) = girth of ship station I. When the Frank program is used, the girth is calculated
 RIFLR(I) = rise of floor at ship station I, only necessary for sections with bilge keels

ALPH(I) = angle between ship side and vertical only for Type 1 or Type 6 sections (defined later on)

CARD SET # 15 : (IWBK(I), BKRAD(I), BILRAD(I), BKGIR(I), BKWID(I), PHI(I), PSI(I), LIWO(I), I=NSTA),
FORMAT (I10, 7F10.4)

Do not include Card Set #15 if HASBK = -1

- Type 1 section : IWBK(I) = 1 or 6 : sections with a deep U or V shape and small radius at the keel (typically at the fwd portion of ship)
- Type 2 section : IWBK(I) = 2 or 7 : sections with an area coefficient greater than 0.95
- Type 3 section : IWBK(I) = 3 or 8 : sections having a triangular shape as the extreme aft section of a cruiser stern ship
- Type 4 section : IWBK(I) = 4 or 9 : sections which are unlikely to produce eddies as the ship rolls
 When IWBK(I) > 5 there are bilge keels at the sections (=0 for zero sections)

The rest of the attributes are defined by the following figures and refer to the bilge keels.

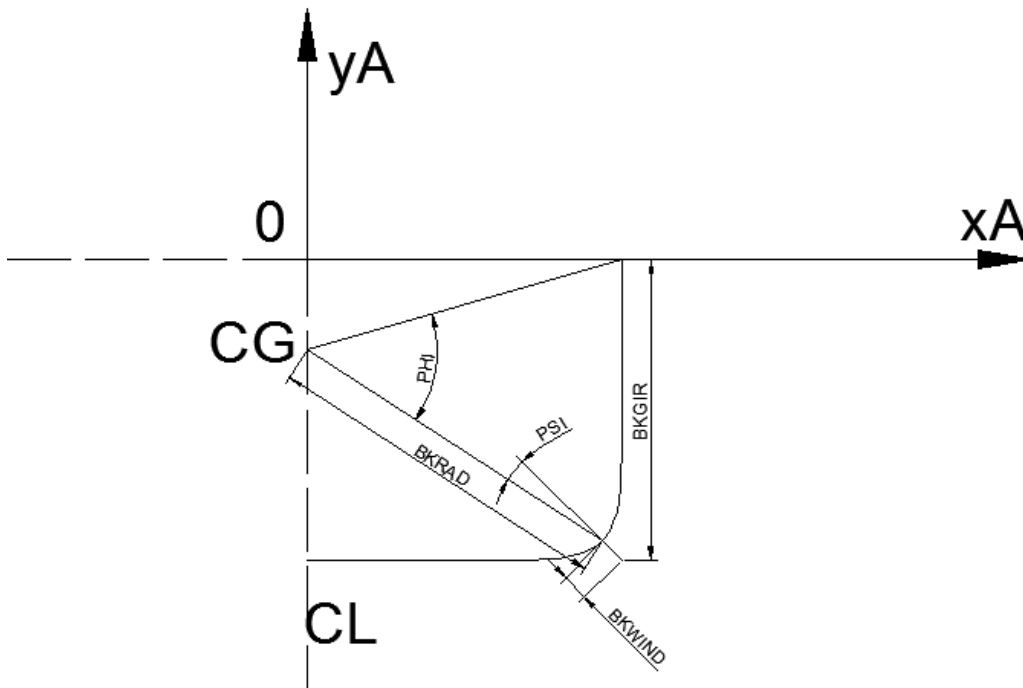


Figure E.2. Cross section dimensions referring to bilge keels

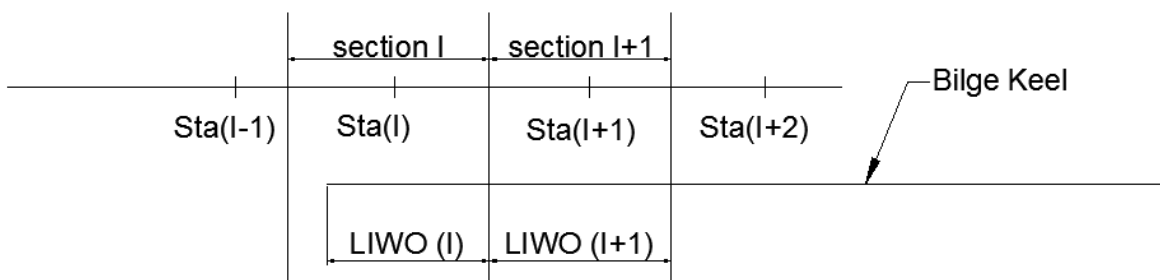


Figure E.2. Longitudinal dimensions referring to bilge keels

BILRAD(I) = bilge radius at station I, only necessary for Type 2 sections or with bilge keels

LIWO (I) = length of bilge keel at station I as shown in the next figure

CARD SET # 16 : (XW (N), WT1(N), WT2(N), ZCG(N), RXG(N), N = 1,NWT), **FORMAT (5 F10.4)**

Do not include Card Set # 16 if NBEND ≠ 2

Weight description must start with the foremost weight station and proceed consecutively to the aftermost weight station.

XW(N) = distance to weight station measured from amidships positive forward

WT1(N) = weight density (loading) coming in from Station N

WT2(N) = weight density (loading) going out from Station N

ZCG(N) = average vertical centre of gravity between weight station N and N+1 (measured from the waterline, positive up)

RXG(N) = average radius of gyration between weight station N and N+1 about a longitudinal axis through the CG of that section.

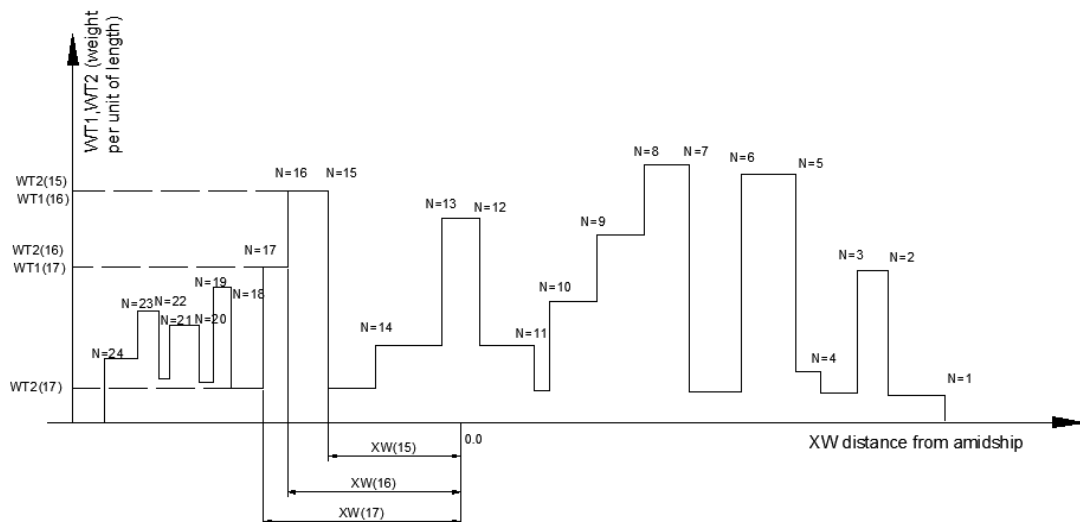


Figure E.3. Longitudinal weight distribution

CARD SET # 17 : **FWGT, FXCG, FZCG, FRY, FRXX, FXZI, FORMAT (6 F10.4)**

Do not include Card Set # 17 if NBEND ≠ 1

FWGT = weight forward of station NB (card set #3)

FXCG = distance of centre of gravity of the weight forward of station NB measured from station NB

FZCG = distance of vertical centre of gravity of weight forward of station NB measured from the water plane

FRYY = forward radius of gyration of part of ship forward of NB about the y-axis measured from the CG of the forward section

FRXX = forward radius of gyration about the x-axis measured from the CG of the forward section

FXZI = forward weight moment of inertia of part of ship forward of NB about the x-z axis measured from the CG of the forward section

CARD SET # 18 : (XMOT(N), YMOT(N), ZMOT(N), N=1, NMOT), FORMAT (3 F10.4)

Do not include Card Set # 18 if NMOT = 0

Defines the x, y and z co-ordinates of points, where motions, velocities and accelerations are to be calculated. Origin is set at the middle section and at the middle of his waterline.

CARD SET # 19 : (VOB(N), N=1, NVL), FORMAT (F10.4)

Defines the velocities of the ship in units that have been set by NFR (card set #3)

CARD SET # 20 : (BETA(M), M=1, NENC) FORMAT (F10.4)

Heading angles of ship with the waves

If IO ≠ 0 heading angles should be in ascending order.

CARD SET # 21 : (OMEGA(L), L=1, NROMS), FORMAT (F10.4)

Wave frequencies for regular wave calculation

If NFQ = 0 units should be (rad/T)

If NFQ = 1 units should be (λ/L)

If NSEA ≠ 0 (sea state calculations desired) wave frequencies must be in ascending order for NFQ = 0 and in descending order for NFQ = 1.

The card sets 22 to 26 include data for irregular results

If NSEA = 0 then omit the card sets 22 to 26

If NWX = 0 then omit the card sets 22 to 25

CARD SET # 22 : (H13(NW), NW =1, NWX), FORMAT (F10.4)

The significant wave height of the seas that will be examined

CARD SET # 23 : (OMP(NW), NW = 1, NWX) FORMAT (F10.4)

Peak spectral frequency corresponding to the above wave heights. If blank fully developed seas will be assumed.

CARD SET # 24 : (SPONS (NW, J), J=1, NSOMS), FORMAT (F10.4)

This is given only if NS ≠ 0

Spectral frequencies of sea state NW

CARD SET # 25 : (SPCTM (NW, J), J=1, NSOMS), FORMAT (F10.4)

This is given only if NS = 2

Spectral amplitude of sea state NW

The card sets 24 and 25 are repeated for every sea state

CARD SET # 26 : This is given only if NEVT = 1, FORMAT (7F10.4)

Βιβλιογραφία

1. K.J Rawson & E.C Tupper (2001), . Basic Ship Theory, Butterworth Heinemann, London, United Kingdom.
2. TU Delft, (2002) Introduction in Ship Hydromechanics , Delft, Netherlands
3. TU Delft, (2001), Offshore Hydromechanics , Delft, Netherlands.
4. Salvesen N., Tuck E.O. , Faltinsen O. (1970) , .Ship motions and sea loads. s.l, Transactions SNAME Vol. 78.
5. Lewis, Edward V. (1988) ,Principles of Naval Architecture. Vol. 3 Motions in Waves and Controllability
6. Αθανασούλης Γ.Α., Μπελιμπασάκης Κ.Α (2008)Δυναμική Πλοίου κι Εργαστήριο, Αθήνα, Ελλάδα.
7. Loukakis, T.A. and Sclavounos, P.D. (1978). Some Extensions of the Classical Approach to Strip Theory of Ship Motions, Including the Calculation of Mean Added Forces and Moments', J.S.R., Vol. 22, No. 1, p. 1, Athens, Greece.
8. Sclavounos, P.D. (1996), Computation of Wave Ship Interactions, Advances in Marine Hydrodynamics, ed. by M. Qhkusu, Computational Mechanics Publ. , Athens, Greece.
9. Grigoropoulos, G. (2011), Experimental Evaluation of the Dynamic Responses of Ship Models Moored in Scaled Ports, Athens, Greece.
10. Graham, R. , Baitis, A.E. & Meyers, W.G. (1992), On the Development of Seakeeping Criteria, Washington D.C., USA.
11. Πολίτης, Γ.Κ (2011), Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα, Ελλάδα.
12. Lewis, Edward V. (1988), Principles of Naval Architecture. Vols. 2 Resistance, Propulsion and Vibration.
13. Kurian ,V.J. & Liew, N.S. (2014), Dynamic Responses of Classis Spar Platform: Short Crested Waves vs. Long Crested Waves, Trans Tech Publications, Switzerland.

14. Ashby, D.L. (1999), Potential Flow Theory and Operation Guide for the Panel Code PMARC, CA, USA.
15. Carmichael, R. (2015), Public Domain Aeronautical Software, Santa Cruz, CA, USA.
16. Smith, T.c. & Meyers, T.G. (1994), SMP93-PC: Standard Ship Motion Program For Personal Computer With Small Boat Capability, Washington D.C., USA.
17. Meyers, W.G. & Applebee, T.R. (1981), User's Manual for the Standard Ship Motion Program, SMP, Washington D.C., USA.
18. Grigoropoulos, G. (2016), Frank Manual, Athens, Greece.
19. Politis, K. (1982) User's Manual of SOURCE1.for Frank Close-fit Application Program, NTUA, Athens, Greece.
20. Frank, W. (1967), Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids, NSRDC, Rep. No. 2375, Washington D.C., USA.
21. American Bureau of Shipping (2016), STS Transfer Operations Plan, Revision 3, Houston , TX, USA.
22. DYNAMRINe (2013), Ship to Ship Transfer Plan, Athens, Greece.
23. OCIMF (2009), Ship to Ship Transfers - Considerations Applicable to Reverse Lightering Operations, London, United Kingdom.
24. ANCO Maritime Activities Ltd. (2010), Ship to Ship Transfer (STS) Operation Plans, Piraeus, Greece.

25. OCIMF (2006), Recommendations for Ships' Fitting for Use with Tugs with Particular Reference to Escorting and Other High Load Operations London, United Kingdom.
26. DYNARINe (2015), Fender Selection Procedures for Ship to Ship Transfer Operations, Athens, Greece.
27. Demaco (2011), Fender Design Criteria, Guayanilla, Puerto Rico.
28. OCIMF (2008), Guidelines On the Use of High-Modulus Synthetic Fibre Ropes as Mooring Lines On Large Tankers, London, United Kingdom.
29. OCIMF (2016), Mooring Equipment Guidelines (MEG), London, United Kingdom.
30. OCIMF (1989), Effective Mooring, London, United Kingdom.
31. IMO (2005), Standard Marine Communication Phrases, London, United Kingdom.
32. IMO (1997), International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGS), London, United Kingdom.
33. IMO (2004), Ship and Port Facility Security Code (ISPS), London, United Kingdom.
34. IMO (2004), International Convention on Standards and Training, Certification and Watch Keeping and STCW Code, London, United Kingdom.
35. Παπανικολάου, Α. (1989), Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι, Συλλογή Βοηθημάτων, Αθήνα, Ελλάδα.