



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Εφαρμογή υπολογισμού επιφανειών και υδροστατικών μεγεθών γάστρας  
πλοίου με χρήση του λογισμικού Rhinoceros 3D**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

**Αναστάσιου Αργυρίου**

**Επιβλέπων :** Γκίνης Αλέξανδρος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

## Περίληψη

Η διπλωματική αυτή πραγματεύεται την κατασκευή εργαλείων για την αυτοματοποιημένη δημιουργία επιφάνειας γάστρας και υπολογισμού των υδροστατικών μεγεθών αυτής, με χρήση του λογισμικού Rhinoceros 3D. Το Plugin που ενσωματώνει τα παραπάνω εργαλεία έχει κατασκευαστεί από τον Αθανάσιο Ντάλλα και παρέχει ολοκληρωμένο πακέτο εντολών για την παραγωγή και επεξεργασία των ναυπηγικών γραμμών. Το Plugin περιλαμβάνει μια εντολή που καλείται Shiplines, η οποία ανοίγει ένα παράθυρο (Interface) εντός του περιβάλλοντος του Rhinoceros, με όλα τα απαραίτητα εργαλεία και τις εντολές που μπορεί ο χρήστης να εκτελέσει.

Συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει αυτόματα την κλειστή επιφάνεια της γάστρας με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές. Ενώ στην συνέχεια, με διάφορες παράμετρούς και επιλογές μπορεί να υπολογίσει το υδροστατικό διάγραμμα (Hydrostatic Table), τις καμπύλες ευστάθειας (Cross Curves) και τις επιφάνειες-ροπές νομέων (Section Area Curves). Παράλληλα, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να συμπεριλάβει κυματισμό στους υπολογισμούς και στην περίπτωση των καμπυλών ευστάθειας να κατασκευάσει την καμπύλη μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών περιλαμβάνουν τους αντίστοιχους πίνακες και διαγράμματα ενώ παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης τους.

Τέλος, το Plugin είναι φιλικό ως προς τον χρήστη ενημερώνοντας τον μέσω του γραφικού περιβάλλοντος για την πρόοδο των υπολογισμών. Ενώ παράλληλα ελέγχει για τυπογραφικά ή αλλά πιθανά σφάλματα στις παραμέτρους που ο χρήστης έθεσε, εξασφαλίζοντας πως η εκτέλεση των υπολογισμών θα ολοκληρωθεί με επιτυχία.

## **Abstract**

The scope of this thesis was the development of proper tools to automatically generate hull surface and calculate hydrostatics of it by using software Rhinoceros 5. The Plugin containing the above tools has been developed by Thanasis Ntallas and includes all necessary functions to design ship lines. The Plugin with the command called Shiplines and opens the interface that envelop all mentioned tools and commands.

Specifically, the user will be able to create the surface of the hull he designed with the minimum requirements in ship lines. Then he can proceed, with a variety of parameters to calculate hydrostatic curves, cross curves and section area curves. The user has the option to include wave type at calculations and in case of cross curves calculation he can produce the static stability curve. The results include tables and diagrams and allows the user to properly save them.

In addition, Shiplines is user friendly providing information about input parameters and checks them before proceeding to calculations to ensure that they will be completed properly. Also provides real time information about the progress of calculation within the graphical interface.

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Γκίνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της διπλωματικής και την βοήθειά του, δίχως την οποία δε θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί.

Επίσης ευχαριστώ τον κ. Γιώργο Παπατζανάκη για την πολύτιμή βοήθεια και συμβουλές που παρείχε στην ανάπτυξη αλλά και επαλήθευση των υπολογισμών.

Επίσης ευχαριστώ τον Θανάση Ντάλα για την βοήθεια που μου παρείχε στην κατανόηση της διπλωματικής του.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου , φίλους και συμφοιτητές που με στήριξαν όλο αυτόν τον καιρό.

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1	Αντικείμενο διπλωματικής.....	2
1.2	Συνεισφορά.....	2
1.3	Οργάνωση κειμένου .....	3
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό υπόβαθρο</b> .....	<b>4</b>
2.1	Υδροστατικό Διάγραμμα(Hydrostatic Diagram) .....	4
2.2	Καμπύλες ευστάθειας(Cross Curves) και μοχλοβραχίονας επαναφοράς.....	6
2.3	Καμπύλες επιφανειών νομέων.....	10
2.4	Κυματισμοί.....	10
<b>3</b>	<b>Αρχιτεκτονική και υλοποίηση</b> .....	<b>12</b>
3.1	Το Plugin.....	12
3.2	Κατασκευή κλειστής επιφάνειας γάστρας. ....	14
3.3	Έλεγχος κυματισμών.....	17
3.4	Εργαλείο επεξεργασίας γάστρας Hull Edit .....	19
3.5	Υπολογισμοί.....	23
3.6	Γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) .....	25
3.7	Εμφάνιση και αποθήκευση αποτελεσμάτων. ....	28
<b>4</b>	<b>Παράδειγμα λειτουργίας</b> .....	<b>30</b>
4.1	Δεδομένα υπό μελέτη πλοίου .....	30
4.2	Κατασκευή επιφάνειας γάστρας .....	31
4.3	Μελέτη γάστρας χωρίς κυματισμούς. ....	33
4.3.1	Υδροστατικοί υπολογισμοί και διάγραμμα.....	33
4.3.2	Υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας(Cross Curves) και καμπύλης στατικής ευστάθειας.....	36
4.3.3	Υπολογισμοί επιφάνειας και ροπών νομέων (Section Area Curves).....	39

4.4 Μελέτη γάστρας με κυματισμούς.....	40
4.4.1 Ημιτονοειδής κυματισμός σε υδροστατικούς υπολογισμούς και διάγραμμα.....	40
4.4.2 Τροχοειδής κυματισμός σε υδροστατικούς υπολογισμούς και διάγραμμα.....	44
<b>5    Επαλήθευση υπολογισμών.....</b>	<b>47</b>
5.1 Υδροστατικοί υπολογισμοί.....	47
5.2 Διαγράμματα εγκάρσιας κλίσης.....	54
5.3 Διαγράμματα επιφανειών νομέων.....	58
<b>6    Επίλογος.....</b>	<b>60</b>
6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	60
6.1 Μελλοντικές επεκτάσεις.....	61
<b>7    Βιβλιογραφία.....</b>	<b>62</b>

# 1

## Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες χάρη στην ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο σε επίπεδο υλικού (hardware) αλλά και λογισμικού (software), παρατηρείται διαρκής αύξησή στην χρήση λογισμικών για σχεδίαση και μελέτη βιομηχανικών προϊόντων . Η διαπίστωση αυτή είναι λογική καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, η ακρίβεια και η καινοτομία με μικρότερο κόστος σε σχέση με προηγούμενες μεθόδους. Τα συστήματα σχεδίασης με τη βοήθεια Η/Υ (CAD) έχουν πλέον παραμερίσει παραδοσιακές προσεγγίσεις σχεδίασης προϊόντων, όπως η σχεδίαση με το χέρι και έχουν γίνει πλέον αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης μελέτης και παραγωγής σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς.

Συγκεκριμένα στη ναυπηγική βιομηχανία, ένα από τα βασικά βήματα στη μελέτη ενός πλοίου είναι ο καθορισμός της μορφής της γάστρας του, αρχικά με ναυπηγικές γραμμές και στη συνέχεια με επιφάνειες. Τα συστήματα CAD επιτρέπουν ταχύτητα και ακρίβεια κατά την σχεδίαση, ενώ έχουν δυνατότητα βελτιστοποίησης με διάφορα κριτήρια, όπως για παράδειγμα η ελαχιστοποίηση της αντίστασης του πλοίου ως προς κάποια μεγέθη ή η μεγιστοποίηση της επιβιωσιμότητας μετά από βλάβη κλπ.

Ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι το Rhinoceros®, το οποίο μέσω διάφορων Plugin βρίσκει μεγάλη εφαρμογή και στην ναυπηγική. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του εν λόγω λογισμικού είναι η αναλυτική δημιουργία και επεξεργασία καμπυλών ελευθέρως μορφής ή επιφανειών, όπως οι ναυπηγικές καμπύλες και επιφάνειες της γάστρας ενός πλοίου. Επιπλέον παρέχει την δυνατότητα ανάπτυξης Plugin, δηλαδή λογισμικών που εκτελούνται εντός του περιβάλλοντος του Rhinoceros και επιτρέπουν την εκτέλεση εντολών, λειτουργιών και δυνατοτήτων, χρησιμοποιώντας ή όχι τις βιβλιοθήκες του Rhinoceros.

Ένα από τα πιο γνωστά Plugin για το Rhinoceros είναι το Grasshopper, το οποίο αναπτύχθηκε από την ίδια εταιρία που δημιούργησε και το Rhinoceros , Robert McNeel & Associates και

βρίσκει ποικίλες εφαρμογές λόγω της παραμετροποίησης και βελτιστοποίησης που προσφέρει στο πρόγραμμα, αλλά και λόγω των πρακτικών δυνατοτήτων που παρέχει ιδιαίτερα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Ένα άλλο ενδιαφέρον Plugin, σχετικά με την παρούσα διπλωματική είναι το Orca3D® που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για ναυπηγικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει λύσεις για τη σχεδίαση πλοίων, υπολογισμό υδροστατικών ή λοιπών μεγεθών καθώς και εκτιμήσεις για την αντίσταση πρόωσης, ισχύος ρυμούλκησης και τέλος του συνολικού κόστους της κατασκευής του σκάφους.

Γενικά η σχεδίαση ενός πλοίου, είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο και πολύπλοκο ζήτημα, όπου η βέλτιστη λύση ή σχεδίαση δεν είναι προφανείς. Για τον λόγο αυτό πολλές φορές μπορεί τα υπάρχοντα λογισμικά πακέτα να μην καλύπτουν απόλυτα τις ανάγκες για την σχεδίαση σύγχρονων και πρωτοπόρων σκαφών. Συνεπώς καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη η ανάπτυξη λογισμικών σχεδίασης και μελέτης που θα βελτιστοποιούν(ή παραμετροποιούν) με ποικίλα κριτήρια τη σχεδίαση παρέχοντας λύσεις που θα εξασφαλίζουν την εξέλιξη ή βελτίωση των πλοίων.

## 1.1 Αντικείμενο διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική καλείται να προσθέσει νέες δυνατότητες στο Plugin Shiplines, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Αθανάσιο Ντάλλα και παρέχει ολοκληρωμένο πακέτο εργαλείων για την σχεδίαση και εξομάλυνση ναυπηγικών γραμμών. Οι νέες προσθήκες αφορούν την υδροστατική μελέτη της γάστρας και χωρίζονται σε 2 μέρη. Το πρώτο αφορά την αυτόματη κατασκευή επιφάνειας γάστρας πλοίου με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές αλλά και την επεξεργασία αυτής με τρόπο ώστε να συνδυάζεται ταχύτητα και αποτελεσματικότητα. Από την επεξεργασία της γάστρας παράγονται οι απαραίτητες τομές και επιφάνειες που στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των υδροστατικών μεγεθών. Το δεύτερο μέρος ασχολείται με το υπολογιστικό κομμάτι, δηλαδή την μελέτη των επιφανειών που παρήχθησαν και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτής με κατάλληλο τρόπο, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων. Φυσικά, όλες οι παραπάνω λειτουργίες είναι εκτελέσιμες από τον χρήστη μέσω γραφικού περιβάλλοντος (Interface), προσβάσιμο εντός του λογισμικού Rhinoceros με την εντολή Shiplines στην γραμμή εντολών(Command prompt) του. Το Plugin μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής αποτελεί ολοκληρωμένο πακέτο εργαλείων για την σχεδίαση και μελέτη γάστρας πλοίου.

## 1.2 Συνεισφορά

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής κατασκευάστηκαν εφαρμογές για την σχεδίαση και μελέτη της επιφάνειας γάστρας πλοίου, με γνώμονα την διαχείριση του μεγαλύτερου δυνατού εύρους περιπτώσεων, δηλαδή θέτοντας τους ελάχιστους δυνατούς περιορισμούς σε ναυπηγικές γραμμές. Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:



1. Εμπλουτισμός του περιβάλλοντος (interface) WPF (Windows Presentation Foundation) του Plugin Shiplines που λειτουργεί εντός του Rhinoceros 5.
2. Ανάπτυξη εφαρμογής που κατασκευάζει αυτόματα κλειστή επιφάνεια γάστρας, απαιτώντας τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές. Επιτυγχάνεται έτσι η ταχεία απεικόνιση της γάστρας ως επιφάνεια, εξοικονομώντας χρόνο από τον χρήστη.
3. Ανάπτυξη εφαρμογής που εφαρμόζει στην γάστρα τις παραμέτρους(π.χ βύθισμα, διαγωγή, εγκάρσια κλίση κλπ.) που έθεσε ο χρήστης στον εκάστοτε υπολογισμό(Υδροστατικό διάγραμμα, καμπύλες ευστάθειας, καμπύλες επιφανειών νομέων) και παράγει από την κλειστή επιφάνεια τις τομές που απαιτούνται για τους υπολογισμούς.
4. Ανάπτυξη εφαρμογών που εκτελούν την εκάστοτε μελέτη υπολογίζοντας τα αντίστοιχα υδροστατικά μεγέθη, από την επιφάνεια της γάστρας και τις τομές της.

Τα εργαλεία υπολογισμών που αναπτύχθηκαν είναι πλήρως επεκτάσιμα και μπορούν να μεταφερθούν εκτός του plugin καθώς χρειάζονται μόνο την τελική επιφάνεια της γάστρας. Συνεπώς παρέχουν και την δυνατότητα μελέτης επιφανειών που δεν σχεδιάστηκαν στο Shiplines αλλά βρίσκονται εντός του περιβάλλον του Rhinoceros 5. Προφανώς σε αυτή την περίπτωση η επιφάνεια πρέπει να είναι ενιαία κλειστή αλλά και να ορίσει ο χρήστης το AP(Aft point) της γάστρας, ως αρχή των αξόνων του συστήματος συντεταγμένων του λογισμικού Rhinoceros. Η τελική επιφάνεια μπορεί να δεχτεί περαιτέρω επεξεργασία ή αποθήκευση από το Rhinoceros 5 ενώ όλα τα αποτελέσματα εξάγονται σε πίνακες ή εικόνες.

### 1.3 Οργάνωση κειμένου

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια σύντομη εισαγωγή και παρουσιάζει συνοπτικά το αντικείμενο μελέτης και τα προβλήματα που καλέστηκε να λύσει η παρούσα διπλωματική. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστούν οι θεωρητικές γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση της θεωρίας πίσω από τα εργαλεία της εφαρμογής. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική παρουσίαση της αρχιτεκτονικής και της υλοποίησης των εργαλείων που αναπτύχθηκαν. Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει ολοκληρωμένο παράδειγμα λειτουργίας και χρήσης του Plugin ενώ στο Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνεται η επαλήθευση των υπολογισμών με το λογισμικό Avena Marine. Τέλος, το Κεφάλαιο 6 περιέχει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη και το Κεφάλαιο 7 την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας.

# 2

## Θεωρητικό υπόβαθρο

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση θεωρητικών εργαλείων, τα οποία είναι συναφή με το αντικείμενο της διπλωματικής. Αρχικά αναφέρονται τα υδροστατικά μεγέθη που υπολογίζονται για κάθε μελέτη, ενώ στο τέλος ο τρόπος κατασκευής των κυματισμών .

### 2.1 Υδροστατικό Διάγραμμα(Hydrostatic Diagram)

Το υδροστατικό διάγραμμα αποτελεί την ταυτότητα της γάστρας ενός πλοίου με συγκεκριμένη γεωμετρία και χρησιμοποιείται για την μελέτη της ευστάθειάς του σε κάθε κατάσταση φόρτωσης που συναντάται κατά τη λειτουργία του. Συνεπώς, συνοδεύει το πλοίο καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, με την προϋπόθεση πως δεν έχει υποστεί αλλαγές η μορφή της γάστρας του.

Όλα τα υδροστατικά μεγέθη που παρουσιάζονται στο υδροστατικό διάγραμμα εξαρτώνται αποκλειστικά από την γεωμετρία της γάστρας και είναι ανεξάρτητα της κατανομής των βαρών της. Ο υπολογισμός τους δύναται να πραγματοποιηθεί για έναν συνδυασμό βυθίσματος(Draft), διαγωγής(Trim) και εγκάρσιας κλίσης(Heel), όμως συνήθως αφορά ισοβύθιστη κατάσταση.

Σε ένα τυπικό υδροστατικό διάγραμμα, όπως και στην παρούσα διπλωματική, ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στα βυθίσματα ενώ ο οριζόντιος στα υδροστατικά στοιχεία της κάθε καμπύλης ή ομάδας καμπυλών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μεγέθη που περιλαμβάνονται στο υδροστατικό διάγραμμα και οι εξισώσεις υπολογισμού τους.

1. Όγκος εκτοπίσματος γάστρας  $\nabla$ ,

$$\nabla = \int_L A_x dx \quad (2.1.1)$$

όπου  $A_x$  το εμβαδόν εγκάρσιας τομής.

2. Διαμήκης θέση κέντρου άντωσης LCB,

$$LCB = \frac{M_{yz}}{\nabla} \quad (2.1.2)$$

όπου  $M_{yz}$  η ροπή ως προς το εγκάρσιο σωματοπαγές επίπεδο αναφοράς.

3. Κατακόρυφη θέση κέντρου άντωσης  $VCB$  (ή  $KB$ ),

$$VCB = \frac{\int_L M_{vx} dx}{\nabla}, \quad (2.1.3)$$

όπου  $M_{vx}$  η ροπή επιφάνειας μιας εγκάρσιας τομής ως προς το βασικό επίπεδο.

4. Επιφάνεια ισάλου  $A_W$ ,

$$A_W = 2 \int_L b(x) dx, \quad (2.1.4)$$

όπου  $b(x)$  το ημιπλάτος.

5. Αλλαγή εκτοπίσματος ανά εκατοστό αλλαγής βυθίσματος,

$$TPC = \gamma * A_W / 100, \quad (2.1.5)$$

6. Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας  $LCF$ ,

$$LCF = \frac{2 \int_L xb(x) dx}{A_W}, \quad (2.1.6)$$

7. Εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα  $BM_T$ ,

$$BM_T = \frac{I_{xx}^F}{\nabla}, \quad (2.1.7)$$

όπου,

$$I_{xx}^F = \frac{2}{3} \int_L b(x)^3 dx, \quad (2.1.8)$$

η δεύτερη ροπή της ισάλου ως προς τον διαμήκη άξονα δια του  $LCF$ .

8. Κατακόρυφη θέση μετάκεντρου  $KMT$ ,

$$KMT = KB + BM_T, \quad (2.1.9)$$

9. Διαμήκης μετακεντρική ακτίνα  $BM_L$ ,

$$BM_L = \frac{I_{yy}^F}{\nabla} , \quad (2.1.10)$$

οπου,

$$I_{yy}^F = 2 \int_L x^3 b(x) dx - A_W * LCF^2 , \quad (2.1.11)$$

η δεύτερη ροπή της ισάλου ως προς τον εγκάρσιο άξονα δια του LCF.

10. Ροπή διαγωγής ανά εκατοστό μεταβολής βυθισμάτων  $MTC$ ,

$$MTC = \frac{\gamma * I_{yy}^F}{100 * L} , \quad (2.1.12)$$

11. Συντελεστής γάστρας  $C_B$ ,

$$C_B = \frac{\nabla}{L * B * T} , \quad (2.1.13)$$

12. Συντελεστής μέσης τομής  $C_M$ ,

$$C_M = \frac{A_M}{B * T} , \quad (2.1.14)$$

Οπου  $A_M$  η επιφάνεια μέσης τομής.

13. Πρισματικός συντελεστής  $C_P$ ,

$$C_P = \frac{\nabla}{L * A_M} , \quad (2.1.15)$$

14. Συντελεστής ισάλου επιφάνειας  $C_{WP}$ ,

$$C_{WP} = \frac{\nabla}{T * A_W} , \quad (2.1.16)$$

## 2.2 Καμπύλες ευστάθειας(Cross Curves) και μοχλοβραχίονας επαναφοράς

Τα πλοία κατά την λειτουργία τους έρχονται αντιμέτωπα με δυσμενείς συνθήκες(λόγω καιρού, αστοχίας ή ανθρωπίνου λάθους) που δύναται να οδηγήσει σε μεγάλες εξωτερικές ροπές. Επομένως, η εγκάρσια κλίση των πλοίων που μπορεί να αναπτυχθεί έχει ιδιαίτερη σημασία για

την ευστάθεια και την ασφάλειά τους έναντι βύθισης ή ανατροπής. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η μελέτη μεγάλων γωνιών κλίσεως, στις οποίες δεν εφαρμόζεται η θεωρία μικρών μεταβολών, προκειμένου να ελεγχθεί η κάλυψη των εκάστοτε κανονισμών.

Για τον σκοπό αυτό, κατασκευάζεται η καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς, η οποία εκφράζει την ασφάλεια του πλοίου έναντι βυθίσεως ή ανατροπής λόγω εξωτερικών ροπών και παρέχει πληροφορίες για την ευστάθεια του. Η καμπύλη εξαρτάται από την γεωμετρία της γάστρας του πλοίου αλλά και την κατάσταση φόρτωσης του.

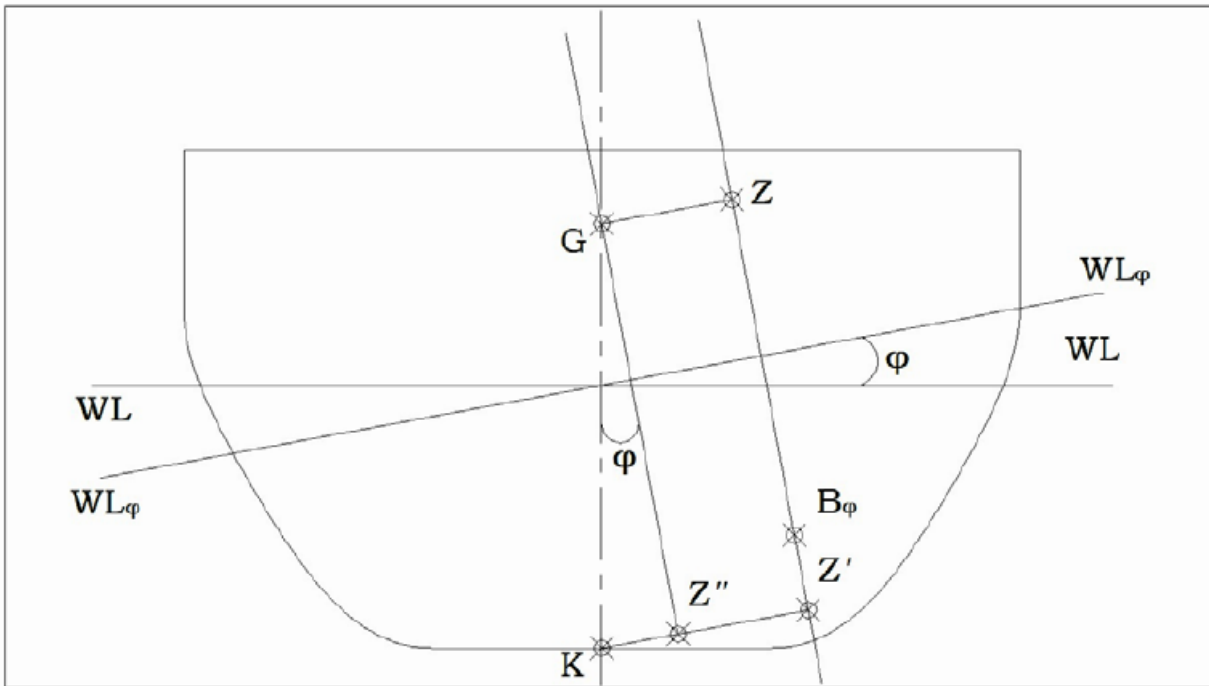
Για την κατασκευή της καμπύλης μοχλοβραχίονα επαναφοράς(GZ) χρειάζεται:

- Το διάγραμμα των καμπύλων ευστάθειας(Cross Curves).
- Το κέντρο βάρους(KG) του πλοίου.
- Δεδομένο εκτόπισμα και γωνία εγκάρσιας κλίσης( $\varphi$ ) για τα οποία γίνεται η μελέτη.

Έχοντας εξασφαλίσει τα παραπάνω δεδομένα, μπορεί να υπολογιστεί ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς από την εξίσωση:

$$\bullet \quad GZ = KZ' - KZ'' = KZ' - KG * \sin\varphi, \quad (2.2.1)$$

Όπως αντίστοιχα φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

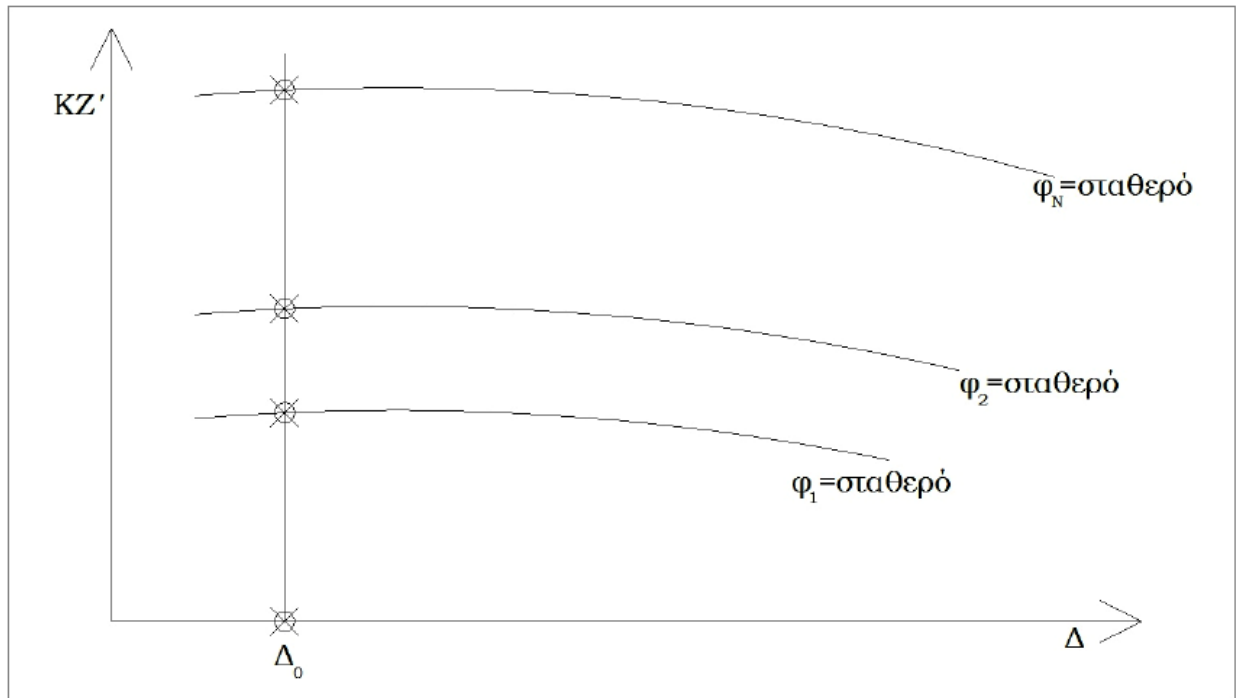


Εικόνα 2.2.1: Υπολογισμός μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

Στην συνέχεια γίνεται επεξήγηση των σημείων που εμφανίζονται στην εικόνα 2.2.1

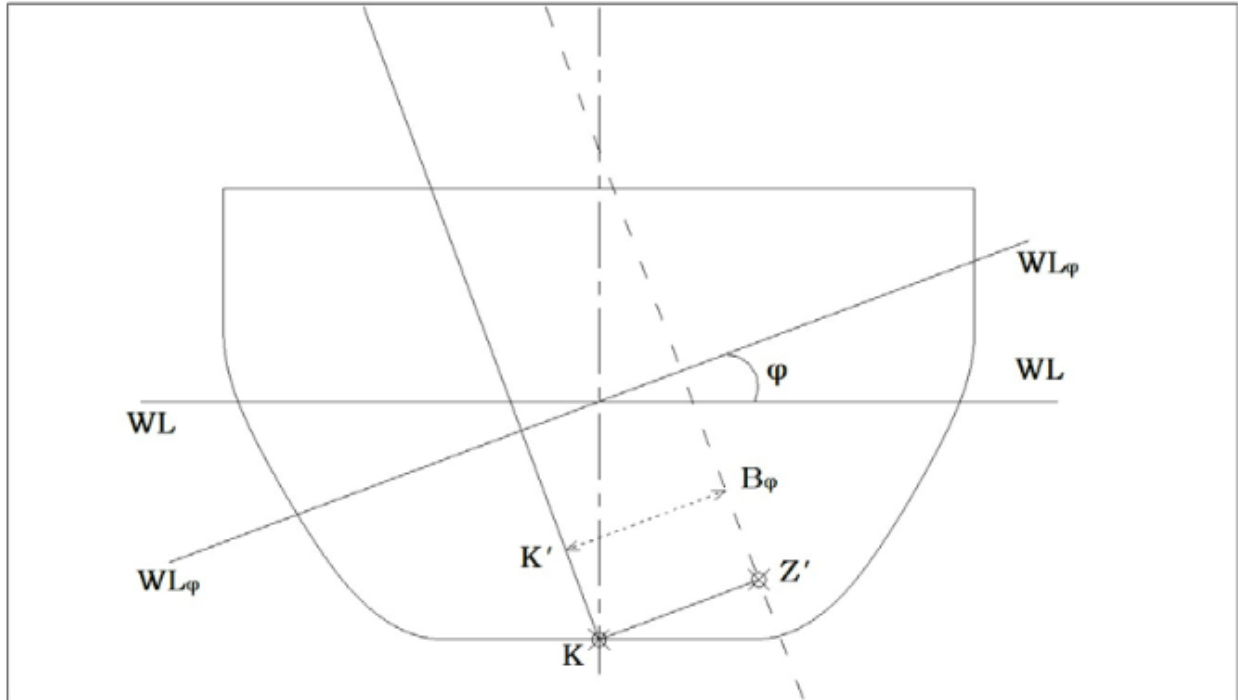
- Το σημείο  $K$  είναι η τομή του διαμήκη επιπέδου συμμετρίας με το βασικό επίπεδο αναφοράς του πλοίου.
- Το σημείο  $G$  είναι το κέντρο βάρους της αρχικής ισάλου.
- Το σημείο  $B_\varphi$  είναι το κέντρο άντωσης της κεκλιμένης ισάλου.
- Το σημείο  $Z$  είναι η προβολή του  $G$  στην ευθεία που σχηματίζει το  $B_\varphi$  με το ψευδομέτακέντρο.
- Το σημείο  $Z'$  είναι η προβολή του  $K$  στην ευθεία που σχηματίζει το  $B_\varphi$  με το  $Z$ .
- Το σημείο  $Z''$  είναι η προβολή του  $G$  στην ευθεία που σχηματίζει το  $K$  με το  $Z'$ .

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, απαραίτητες για τον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα επαναφοράς είναι οι καμπύλες ευστάθειας (Cross Curves), οι οποίες εκφράζουν την απόσταση  $KZ'$  της εικόνας 2.2.1, συναρτήσει του εκτοπίσματος για διάφορες εγκάρσιες κλίσεις. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2.2: Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας.

Όπως και το υδροστατικό διάγραμμα, οι καμπύλες ευστάθειας εξαρτώνται αποκλειστικά από την εξωτερική γεωμετρία της γάστρας του πλοίου και το συνοδεύουν καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής του, αποτελώντας γεωμετρική ταυτότητα ενός πλοίου. Ουσιαστικά από τις καμπύλες ευστάθειας υπολογίζεται ο μοχλοβραχίονας  $KZ'$  (ή  $KN$ ), δηλαδή η κάθετη απόσταση του κέντρου άντωσης της κεκλιμένης ισάλου, από το κάθετο επίπεδο στην νέα ίσαλο που διαπερνά το σημείο  $K$  της εικόνας 2.2.1. Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται γραφικά η γεωμετρική σημασία του μοχλοβραχίονα  $KZ'$  ή  $K'B_\varphi$ .



Εικόνα 2.2.3: Ορισμός μοχλοβραχίονα KZ' (ή KN).

Για τον υπολογισμό της διαγωγής που προκαλείται σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\bullet \quad Trim = \Delta * \frac{LCG - LCB}{100 * L_{BP} * MTC} \quad , \quad (2.2.2)$$

Όπου,

- LCG ορίζεται η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πλοίου.
- LCB ορίζεται η διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης του πλοίου.
- $\Delta$  το εκτόπισμα του πλοίου στην συγκεκριμένη κατάσταση.
- $MTC$  η ροπή διαγωγής ανά εκατοστό μεταβολής βυθισμάτων.

Τα μεγέθη LCB ,MTC υπολογίζονται από το υδροστατικό διάγραμμα σε ισοβύθιστη κατάσταση.

## 2.3 Καμπύλες επιφανειών νομέων.

Όπως οι καμπύλες ευστάθειας, έτσι και καμπύλες των εμβαδών των εγκάρσιων τομών (Section Area Curves) εξαρτώνται αποκλειστικά από τη γεωμετρία του πλοίου και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στους υπολογισμούς της διαμήκης ισορροπίας.

Για κάθε εγκάρσια τομή (νομέα) ενός πλοίου, υπολογίζεται το εμβαδόν της ως συνάρτηση του βυθίσματος. Παράλληλα, υπολογίζεται και η ροπή της επιφάνειας που αντιστοιχεί στα βυθίσματα ως προς το βασικό επίπεδο. Με τα παραπάνω δεδομένα υπό κλίμακα, μπορούμε να κατασκευάσουμε και τις καμπύλες Bonjean. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης απεικονίζονται οι καμπύλες ανά βύθισμα συναρτήσει του εμβαδού κάθε νομέα ( απόσταση από A.P).

## 2.4 Κυματισμοί

Καθώς τα πλοία κινούνται, βρίσκονται πάντα υπό την επίδραση κυματισμών, είτε αυτοί οφείλονται στην ίδια κίνηση τους είτε στο περιβάλλον. Συνεπώς η μελέτη τους κατά τον υπολογισμό υδροστατικών μεγεθών είναι σημαντική και προβλέπεται από τους κανονισμούς.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής γίνεται προσομοίωση δυο ειδών κυματισμού, ο ημιτονοειδής και ο τροχοειδής. Πρόκειται για τις πιο κοινές μορφές και εξαρτώνται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ύψος κύματος,  $H$
- Μήκος κύματος,  $\lambda$
- Διαμήκης απόσταση κορυφής από το Pivot Point,  $d$
- Το βύθισμα της γάστρας στο οποίο γίνεται η μελέτη, *Draft*

Ως  $i$  στις παρακάτω εξισώσεις συμβολίζεται η θέση μιας μονάδας του συνολικού μήκους του κύματος.

### Ημιτονοειδές κύμα

- $X = i - L$  (2.4.1)



- $Z = Draft + \lambda * \sin\left(\frac{2\pi}{H} * X + 2\pi * \frac{d}{H} + \frac{\pi}{2}\right)$  (2.4.2)

Τροχοειδές κύμα

- $X = \lambda * \frac{i}{2\pi} - \frac{H}{2} * \sin(i) + d - \lambda$  (2.4.3)

- $Z = Draft + \frac{H}{2} * \cos(i)$  (2.4.4)

# 3

## Αρχιτεκτονική και υλοποίηση

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η αρχιτεκτονική και υλοποίηση του Plugin, ενώ γίνεται και αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού του. Θα γίνει παρουσίαση των τμημάτων που έχουν προστεθεί στο αρχικό Plugin αλλά και των βασικών λειτουργιών τους.

### 3.1 Το Plugin.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, εμπλουτίστηκε το Plug-in «Shiplines» του λογισμικού Rhinoceros 5 3D με νέες δυνατότητες. Η ανάπτυξη της εφαρμογής υλοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Microsoft Visual Studio 17, ενώ ως κύρια γλώσσα προγραμματισμού χρησιμοποιήθηκε η C# και για το γραφικό περιβάλλον χρήστη(GUI) το πλαίσιο WPF(Windows presentation form) μέσω της γλώσσας δηλωτικού προγραμματισμού XAML.

Το Plugin ξεκινάει την λειτουργία του με την εκτέλεση της εντολής (command) «Shiplines», στην γραμμή εντολών(Command prompt) του λογισμικού Rhinoceros. Μετά την εκτέλεση της εντολής εμφανίζεται ξεχωριστό παράθυρο(Window), παράλληλα με το κύριο πρόγραμμα που περιέχει καρτέλες(Tabs), κουμπιά(Buttons), κουτιά επιλογής(Checkboxes ή Combo Boxes), πίνακες(DataGrids) και οτιδήποτε άλλο χρειάζεται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα η εφαρμογή. Το Plugin προϋποθέτει όχι μόνο την ύπαρξη του Rhinoceros 5 στον υπολογιστή, αλλά και τη λειτουργία του καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης. Σε περίπτωση που τερματιστεί η λειτουργία του Rhinoceros τερματίζεται αντίστοιχα και η λειτουργία του Shiplines.

Σε επίπεδο λογισμικού κάθε εργαλείο που υπάρχει στο παράθυρο συνδέεται είτε με κάποια μέθοδο που υπάρχει στον κώδικα, είτε με κάποια λίστα στην οποία αποθηκεύονται τα αντικείμενα όπως οι καμπύλες ή τα σημεία που δημιουργούνται από τον χρήστη.

Ο κώδικας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, όπως προδιαγράφεται από το MVVM (Model-View-ViewModel) πρότυπο αρχιτεκτονικής και επομένως κάθε κλάση έχει κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το ρόλο που κατέχει στην λειτουργία του προγράμματος, είτε ως μοντέλο(Model), είτε ως μοντέλο απεικόνισης (ViewModel), είτε ως απεικόνιση(View).

Τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την δημιουργία, επεξεργασία, μελέτη της γάστρας βρίσκονται με την μορφή μεθόδου στο μοντέλο Shiplines, από όπου και καλούνται. Κατά την εκτέλεση τους δέχονται και επιστρέφουν δεδομένα μέσω του προτύπου MVVM.

Το interface του Plugin έχει μένει στο μεγαλύτερο κομμάτι του αναλλοίωτο ενώ έχουν γίνει οι παρακάτω προσθήκες:

- Για το κομμάτι των επιφανειών έχουν προστεθεί οι εντολές “Create Surfaces” , “Delete Surfaces” , “Import Surfaces” και “Info” στην καρτέλα “Create”
- Έχει δημιουργηθεί η καρτέλα “Hull Calculations”, ακολουθώντας το πρότυπο MVVM που προϋπήρχε στο Plugin, η οποία περιλαμβάνει όλες τις εντολές και παραμέτρους για τους υπολογισμούς. Η καρτέλα αντιστοιχεί στο νέο ViewModel, ViewModelHullCalculations
- Έχουν δημιουργηθεί τρία νέα παράθυρα(windows) σε γλώσσα “xaml” που αντιστοιχούν στους υπολογισμούς που εκτελεί το πρόγραμμα(Hydrostatics, Cross Curves, Section Area Curves). Το καθένα είναι δομημένο ώστε να εμφανίζονται σωστά οι πίνακες και τα διαγράμματα με τους κατάλληλους τίτλους ή άξονες.
- Έχουν δημιουργηθεί τέσσερα νέα μοντέλα (models) που αντιστοιχούν στους υπολογισμούς που εκτελεί το πρόγραμμα(Hydrostatics, Cross Curves,GZ curves, Section Area Curves).Χρησιμοποιούνται ως κλάσεις για την αποθήκευση και οργάνωση των αποτελεσμάτων της μελέτης.
- Έχει προστεθεί μπάρα απεικόνισης της προόδου των υπολογισμών.

## 3.2 Κατασκευή κλειστής επιφάνειας γάστρας.

Όπως έχει προαναφερθεί, για την πραγματοποίηση των υπολογισμών είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενιαίας κλειστής επιφάνειας γάστρας. Επομένως, αναπτύχθηκε εφαρμογή για την αυτόματη κατασκευή της κλειστής επιφάνειας με τις λιγότερες δυνατές απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές. Με τον τρόπο αυτό, παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα υπολογισμού υδροστατικών μεγεθών της υπό μελέτης γάστρας, χωρίς να χρειάζεται ο ίδιος να κατασκευάσει αναλυτικά τις επιφάνειες.

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα μέσω των εντολών που προτέθηκαν στο γραφικό περιβάλλον του Plugin, να δημιουργήσει, αφαιρέσει ή εισάγει την κλειστή επιφάνεια. Η εντολή “Create surfaces” της καρτέλας “Create”, καλεί την συνάρτηση CreateSurfacesClick, η οποία αναλαμβάνει την κατασκευή της επιφάνειας. Η εντολή “Delete surfaces” αφαιρεί την απεικόνιση των επιφανειών από το περιβάλλον του Rhinoceros, διατηρώντας όμως την επιφάνεια αποθηκευμένη σε λίστα εντός της εφαρμογής για μελλοντική χρήση. Ενώ, η εντολή “Import” επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει επιφάνεια στο Plugin, ανεξάρτητα από το αν έχει κατασκευαστεί εντός του ShipLines. Προκειμένου να εισαχθεί μια επιφάνεια στο Plugin, είναι απαραίτητο να αναγνωρίζεται ως κλειστή(closed polysurface) από το Rhinoceros. Τέλος, η εντολή “Info” ενημερώνει τον χρήστη για τις ελάχιστες απαιτήσεις της εφαρμογής σε ναυπηγικές γραμμές, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή δημιουργία της επιφάνειας.

Το Plugin «Shiplines» διαθέτει πλήρη εργαλεία σχεδίασης και εξομάλυνσης ναυπηγικών γραμμών που αποτελούν:

- όρια(Boundaries) όπως καμπύλη πρύμνης(Stern), πλώρης(Stem), παράλληλου τμήματος πυθμένα(Flat of bottom ή FOB), πλαϊνού παράλληλου τμήματος(Flat of side ή FOS), παράλληλου μεσαίου τμήματος(Parallel mid-body ή PBM), καθρέπτη(Transom) και άξονα( Shaft)
- ίσαλοι(Waterlines)
- Νομείς(Sections)
- Buttocks

Για την κατασκευή των επιφανειών, η εφαρμογή χρησιμοποιεί όλες οι καμπύλες που δημιουργεί ο χρήστης, πέρα από το παράλληλο μεσαίο τμήμα και τις καμπύλες Buttocks. Προφανώς, η ύπαρξη ορίων(boundaries) όπως του πλαϊνού παράλληλου τμήματος(FOS) ή του παράλληλου τμήματος πυθμένα (FOB) και πληθώρα νομέων(Sections),ισάλων(Waterlines) θα οδηγήσει σε βελτιωμένο αποτέλεσμα της εφαρμογής.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές είναι οι εξής:

- Καμπύλη πλώρης (Stem) και πρύμνης (Stern) από τις όρια(Boundaries).

- Δυο καμπύλες ισάλων (Waterlines), μια στο ύψος του κοίλου(D) και άλλη μία οπουδήποτε αλλού.
- Δύο καμπύλες πλήρεις νομέων (Sections), **εκατέρωθεν** του μέσου νομέα. Στην περίπτωση που έχουμε παράλληλο τμήμα πυθμένα(FOB), δεν πρέπει ταυτόχρονα να βρίσκονται και οι δύο πριν την αρχή ή μετά το τέλος του παράλληλου τμήματος.

Ως πλήρεις νομείς(Sections) θεωρούνται οι νομείς, που στη διαμήκη απόσταση από το A.P(Aft point) που βρίσκονται, διαπερνούν την γάστρα ως μια ενιαία καμπύλη χωρίς γεωμετρική ασυνέχεια(π.χ αποκλείεται νομέας στον βολβό ή στο άξονα της έλικας) και η αρχή τους ως προς τον κατακόρυφο άξονα Z πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη του μηδενός( $Z \leq 0$ ).

Θέτοντας τον παραπάνω περιορισμό, εξασφαλίζεται ότι ο πρώτος και τελευταίος πλήρης νομέας που θα βρεθούν, είναι οι καταλληλότεροι νομείς που διατίθενται, για την δημιουργία της επιφάνειας στην πρύμνη και πλώρη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία της εφαρμογής, αποφεύγοντας πιθανά σφάλματα λόγω της περίπλοκης και απρόβλεπτης ένωσης των ναυπηγικών γραμμών στην πρύμνη και πλώρη.

Σύμφωνα με τον ορισμό του πλήρη νομέα, εάν ένα τμήμα της γάστρας προεξέχει ξεπερνώντας σε μήκος το κατάστρωμα(π.χ βολβός) και ξεκινάει από το μηδέν ή κάτω του μηδενός στον κατακόρυφο άξονα Z, ακόμα και αν δεν διαπερνά όλη την γάστρα σε ύψος τότε θα θεωρηθεί ως πλήρης νομέας. Δεν είναι ένα σενάριο που συναντάται σε συμβατικές γραμμές πλοίων, παρ' όλα αυτά αναφέρεται για λόγους πληρότητας, δεδομένου πως μια τέτοια περίπτωση θα οδηγήσει σε αδυναμία κατασκευής της επιφάνειας πρύμνης ή πλώρης.

Για τον σχηματισμό των επιφανειών έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος boundary representation ή B-ger, η οποία απεικονίζει ένα μοντέλο ως συνδυασμό γεωμετρικών και τοπολογικών χαρακτηριστικών. Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος και τα όρια λειτουργίας της εφαρμογής που εκτελείται με την εντολή "Create".

Αρχικά είναι αναγκαία η κατασκευή ενιαίων Nurbs καμπυλών από τα όρια (Boundaries) των ναυπηγικών γραμμών, που ο χρήστης έχει δημιουργήσει. Αυτό συμβαίνει διότι οι καμπύλες αποτελούνται από τμήματα(Fragments) και για την χρήση των βιβλιοθηκών του Rhinoceros χρειάζεται αυστηρά ορισμένο χωρίο που πρόκειται να κατασκευαστεί η επιφάνεια.

- Οι καμπύλες πλώρης(Stem), πρύμνης(Stern), πλαϊνού παράλληλου τμήματος (FOS) και παράλληλου τμήματος πυθμένα (FOB) κατασκευάζονται από τα επιμέρους τμήματά τους.
- Ενώ η καμπύλη του άξονα(Shaft) και του καθρέπτη(Transom) αποτελούν ήδη ενιαία καμπύλη.

Με παρόμοιο τρόπο προετοιμάζονται οι ισάλοι (waterlines), οι οποίοι ενισχύουν την ομαλότητα της τελικής επιφάνειάς.

- Εάν η ισάλος βρίσκεται εκτός πλαϊνού παράλληλου τμήματος(FOS), παράγεται μια ενιαία καμπύλη από τα τμήματα της.
- Εάν βρίσκεται εντός του πλαϊνού παράλληλου τμήματος(FOS), υπολογίζεται το ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ των τμημάτων της ισάλου και του παράλληλου τμήματος και στο τέλος ενώνονται ώστε να παραχθεί μια ενιαία καμπύλη.
- Σε κάθε περίπτωση αφαιρείται το τμήμα της πρύμνης(Stern) που συμπίπτει με τον καθρέπτη(Transom), αν τέμνονται και υπάρχει καθρέπτης.
- Τέλος ταξινομούνται οι καμπύλες με βάση το βύθισμα.

Αντίστοιχα ενώνονται και ταξινομούνται ως προς την απόσταση από το A.P(Aft point) οι καμπύλες των νομέων (Sections).

Έχοντας διαμορφώσει τις καμπύλες στην κατάλληλη μορφή και εφόσον έχουν τοποθετηθεί στις αντίστοιχες λίστες, το πρόγραμμα προχωράει στην κατασκευή των επιφανειών με δύο τρόπους. Με επαναληπτικό τρόπο μεταξύ των σημείων τομής του παράλληλου τμήματος πυθμένα(FOB)(αν δεν υπάρχει τότε με την πλώρη ή πρύμνη), των ισάλων(Waterlines) και νομέων(Sections) ή με προσαρμοσμένο τρόπο σε σημεία ιδιόμορφης γεωμετρίας.

Ο επαναληπτικός τρόπος πραγματοποιείται σε 3 φάσεις:

1. Εφαρμόζεται μεταξύ του πρώτου νομέα(Section) και της πρύμνης(Stern).
  - Αφαιρεί (trim) τα τμήματα της πρύμνης(Stern) που προεξέχουν ανάμεσα από δύο ισάλους(Waterlines), παράγοντας μία καμπύλη, η οποία μαζί με τις ισάλους και τον νομέα σχηματίζουν ένα κλειστό σχήμα.
  - Τέλος, από τις τέσσερις καμπύλες κατασκευάζεται η επιφάνεια με μορφή Brep.
2. Εφαρμόζεται μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου πλήρους νομέα.
  - Αφαιρεί (trim) τα τμήματα των δύο νομέων που προεξέχουν ανάμεσα από δύο ισάλους (waterlines), παράγοντας δύο καμπύλες, οι οποίες μαζί με τις ισάλους και τον νομέα σχηματίζουν ένα κλειστό σχήμα.
  - Τέλος, από τις τέσσερις καμπύλες κατασκευάζεται η επιφάνεια με μορφή B-Rep.
3. Εφαρμόζεται μεταξύ του τελευταίου πλήρη νομέα και της πρύμνης(Stem).
  - Αφαιρεί (trim) τα τμήματα της πλώρης(Stem) που προεξέχουν ανάμεσα από δύο ισάλους (waterlines), παράγοντας μία καμπύλη, η οποία μαζί με τις ισάλους και τον νομέα σχηματίζουν ένα κλειστό σχήμα.
  - Τέλος, από τις τέσσερις καμπύλες κατασκευάζεται η επιφάνεια με μορφή B-Rep.

Στις παραπάνω περιπτώσεις, αν αφορούν την πρώτη ισάλο(waterline) τότε η επιφάνεια παράγεται μεταξύ των ίδιων καμπύλων αλλά αντί για δεύτερη ισάλο έχουμε την καμπύλη της

πλώρης(Stem), πρύμνης(Stern) και του παράλληλου τμήματος πυθμένα(FOB), εφόσον υπάρχει ανάλογα με την θέση του πλήρη νομέα που μελετάμε. Προφανώς για συμβατικές γραμμές πλοίων, μεταξύ του πρώτου και τελευταίου πλήρους νομέα όλοι οι υπόλοιποι νομείς είναι και αυτοί πλήρεις.

Σημεία ιδιόμορφης γεωμετρίας:

- ανώτερη ίσαλος και επίπεδο συμμετρίας.
- Επιφάνεια καθρέπτη(transom) και άξονας έλικας(shaft), εάν υπάρχουν. Κατασκευάζεται Brep μεταξύ του καθρέπτη (ή άξονα έλικας) και τής πρύμνης(stern).

Τέλος, γίνεται αντικατοπτρισμός όλων των επιφανειών και ένωση τους σε μία ενιαία κλειστή επιφάνεια.

### 3.3 Έλεγχος κυματισμών.

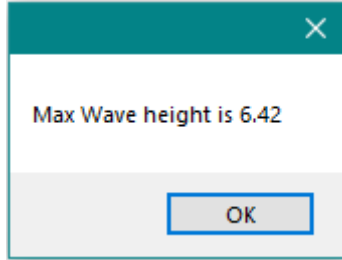
Στο πλαίσιο της ομαλής λειτουργίας του προγράμματος είναι βασική προϋπόθεση η γάστρα και το τμήμα της που μελετάται να είναι μία ενιαία κλειστή επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει διότι σε διαφορά στάδια της μελέτης χρησιμοποιούμε τον όγκο ( Κέντρο μάζας, ροπές) και επιπλέον μας εξασφαλίζει ότι τα κοπτικά εργαλεία θα παράγουν τα σωστά αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση. Για τον λόγο αυτό, απορρίπτονται οι περιπτώσεις που μέρος του καταστρώματος καλύπτεται από την κορυφή του κύματος ή που μέρος του πυθμένα βρίσκεται εκτός νερού. Αυτά τα σενάρια έχουν ως αποτέλεσμα να βρέχονται πολλαπλά, μη συνδεδεμένα μεταξύ τους τμήματα της γάστρας ή να βυθίζεται το κατάστρωμα και η μελέτη τους είναι σύνθετη, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του προγράμματος .

Υπάρχουν δύο ειδών έλεγχοι που εκτελούνται αυτόματα πριν την έναρξη των υπολογισμών και ενημερώνουν τον χρήστη εάν οι παράμετροι που έθεσε είναι ακατάλληλοι. Συνεπώς εξασφαλίζεται η ομαλή εκτέλεση του προγράμματος, αποφεύγοντας πιθανά σφάλματα.

Ο πρώτος έλεγχος είναι απλός και πραγματοποιείται σε κάθε περίπτωση που έχουμε κυματισμό. Ο αλγόριθμος ελέγχει εάν ο συνδυασμός βυθίσματος και ύψους κύματος είναι εντός των ορίων της γάστρας, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

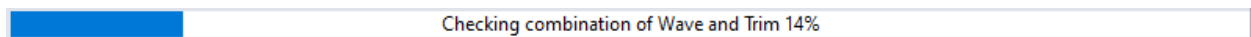
- $Bυθισμα + \frac{\upsilonψος\ κύματος}{2} < Κοίλου$
- $Bυθισμα - \frac{\upsilonψος\ κύματος}{2} < 0$  (πυθμένα)

Αν εάν κάποια από τις εξισώσεις δεν επιβεβαιώνεται, ο χρήστης λαμβάνει το παρακάτω μήνυμα.



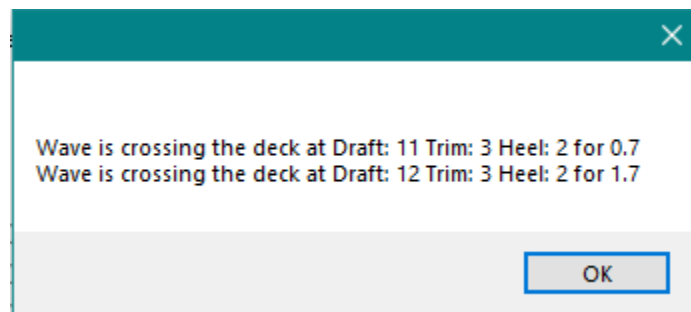
Εικόνα 3.3.1 Μήνυμα πρώτου ελέγχου για βύθισμα 14 μέτρα, ύψος κύματος 8 μέτρα και κοίλο 17.21 μέτρα.

Ο δεύτερος έλεγχος είναι πιο σύνθετος και αφορά αποκλειστικά το σενάριο όπου ο κυματισμός έχει διαγωγή. Ουσιαστικά, κατασκευάζει την επιφάνεια του κυματισμού και την συγκρίνει με την επιφάνεια της γάστρας, διαπιστώνοντας αν βρίσκεται εντός των ορίων αυτής. Υπερκαλύπτει τον πρώτο έλεγχο, όμως λόγω του ότι καταναλώνει αρκετούς υπολογιστικούς πόρους χρησιμοποιείται, μόνο όπου είναι απαραίτητο. Έχει ενσωματωθεί γραφική αναπαράσταση της προόδου του ελέγχου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.3.2 Πρόοδος αναλυτικού ελέγχου.

Στην περίπτωση που οι παράμετροι του χρήστη είναι ακατάλληλοι, θα λάβει το παρακάτω μήνυμα με αναλυτικές πληροφορίες για την κάθε περίπτωση.



Εικόνα 3.3.3 Αποτελέσματα αναλυτικού ελέγχου.



### 3.4 Εργαλείο επεξεργασίας γάστρας, Hull Edit

Η εφαρμογή Hull edit είναι το βασικό εργαλείο επεξεργασίας της γάστρας και συνεπώς ο πυρήνας του προγράμματος. Ουσιαστικά, αυτό που καλείται να υλοποιήσει, είναι η εξαγωγή από την κλειστή επιφάνεια γάστρας, των απαραίτητων τομών που θα χρειαστούν στην συνέχεια οι διάφορες εφαρμογές για την εκτέλεση των μελετών. Οι τομές αυτές αποτελούνται από την ίσαλο πλεύσης του πλοίου, την βρεχόμενη επιφάνεια και την επιφάνεια νομέα είτε στην μέση τομή είτε οπουδήποτε αλλού. Προφανώς, πριν οποιαδήποτε τομή, έχει προηγηθεί η εφαρμογή της διαγωγής, της εγκάρσιας κλίσης και του κυματισμού, εφόσον υπάρχει. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, η γάστρα του πλοίου παραμένει στατική και όλες οι περιστροφές εφαρμόζονται στην επιφάνεια της θάλασσας( επιφάνεια κοπής).

Η εφαρμογή Hull edit δέχεται ως είσοδο το είδος του υπολογισμού που θέλει ο χρήστης να πραγματοποιήσει μαζί με τις παραμέτρους που έθεσε , ενώ επιστρέφει τις επιφάνειες στις εφαρμογές υπολογισμού των ζητούμενων υδροστατικών μεγεθών.

Παράμετροι εισόδου:

- Η αρχική κλειστή επιφάνεια γάστρας.
- Βύθισμα υπολογισμών.
- Διαγωγή και εγκάρσια κλίση υπολογισμών.
- Είδος κυματισμού (Επίπεδο , Ημιτονοειδή, Τροχοειδή).
- Παράμετροι κύματος(Υψος, μήκος, απόσταση κορυφής από Pivot Point).
- Διαμήκης θέση νομέα για μελέτη επιφανειών νομέων (Section Area Curves).
- Είδος υπολογισμού (Υδροστατικό διάγραμμα, Καμπύλες ευστάθειας, καμπύλες επιφανειών νομέων).
- Μήκος μεταξύ καθέτων  $L_{BP}$ .

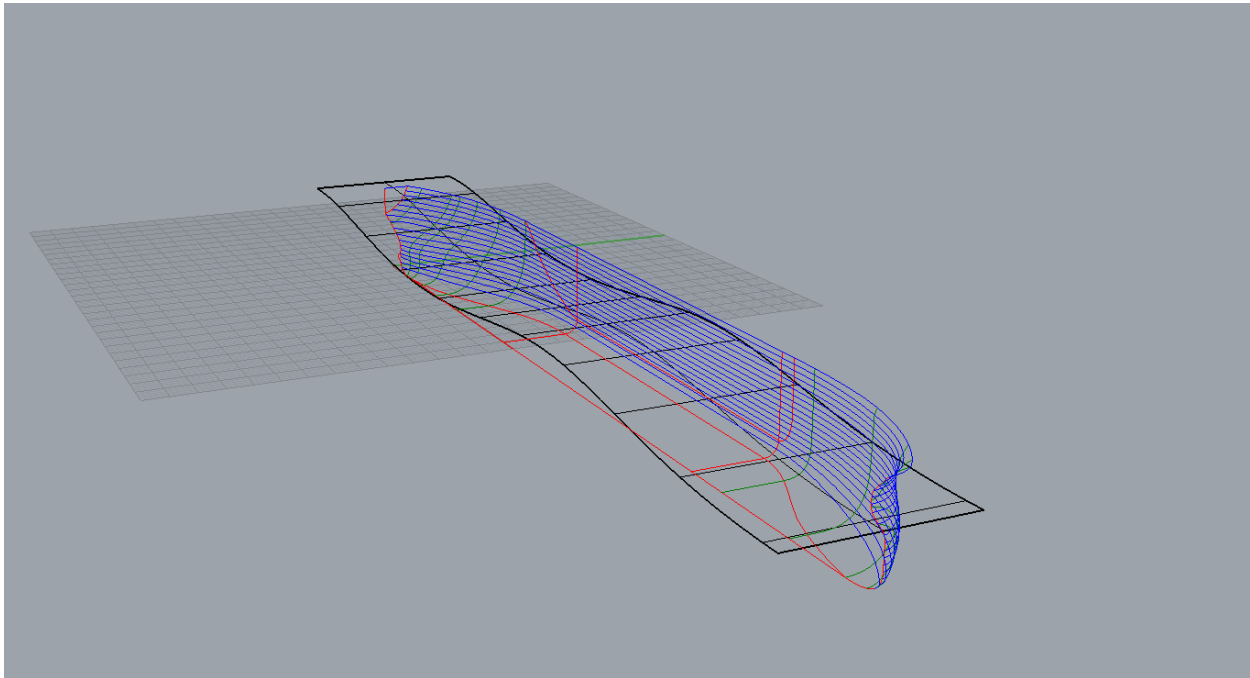
Παράμετροι εξόδου:

- Η επεξεργασμένη κλειστή επιφάνεια γάστρας.
- Η μέση τομή της γάστρας.
- Η ίσαλος πλεύσης της επεξεργασμένης γάστρας.
- Η εγκάρσια τομή στη θέση του νομέα (μία ή δύο επιφάνειες, ανάλογα την θέση του νομέα).

Όλα τα δεδομένα που επιστρέφει το hull edit είναι επιφάνειες που προστίθενται εντός της ειδικής λίστας `return_list`. Η λίστα δεν επιστρέφει συγκεκριμένο αριθμό επιφανειών, αλλά ανάλογα με το είδος της μελέτης και το αν οι τομές υλοποιήθηκαν ομαλά θα καθοριστεί και το μήκος της λίστας. Όπως στην περίπτωση του υπολογισμού των καμπυλών ευστάθειας, η λίστα

επιστρέφει κενή όταν δεν υπάρχει τομή μεταξύ γάστρας και επιφάνειας κοπής, ενημερώνοντας με αυτόν τον τρόπο την εφαρμογή μελέτης για το στάδιο που βρίσκεται ο υπολογισμός.

Το μήκος μεταξύ καθέτων  $L_{BP}$  είναι απαραίτητο για την εφαρμογή της διαγωγής, όμως δεν είναι εφικτή η αναγωγή του απευθείας από την γεωμετρία της γάστρας. Συνεπώς στην περίπτωση που η γάστρα δεν έχει σχεδιαστεί εντός του Plugin αλλά είναι εισαγμένη από το Rhinoceros, ο χρήστης χρειάζεται να συμπληρώσει την τιμή του  $L_{BP}$  στην καρτέλα Hull Calculations. Εάν δεν συμπληρώσει την παράμετρο, το πρόγραμμα αυτόματα θα θεωρήσει ως  $L_{BP}$  το μέγιστο μήκος του πλοίου στο ύψος του κοίλου(D). Προφανώς, αν το πλοίο έχει σχεδιαστεί με τα εργαλεία του Plugin, οι υπολογισμοί θα λάβουν αυτόματα το  $L_{BP}$ , όπως το έχει ορίσει ο χρήστης στο στάδιο σχεδίασης των γραμμών.

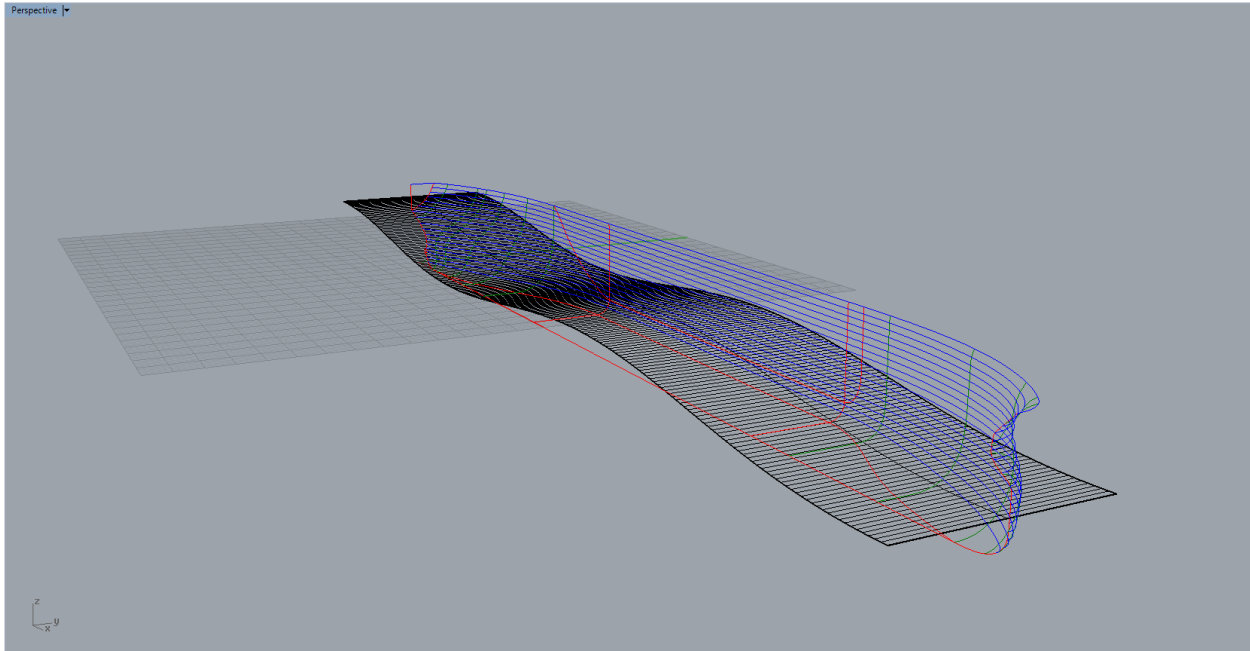


Εικόνα 3.4.1 Τροχοειδές κύμα.

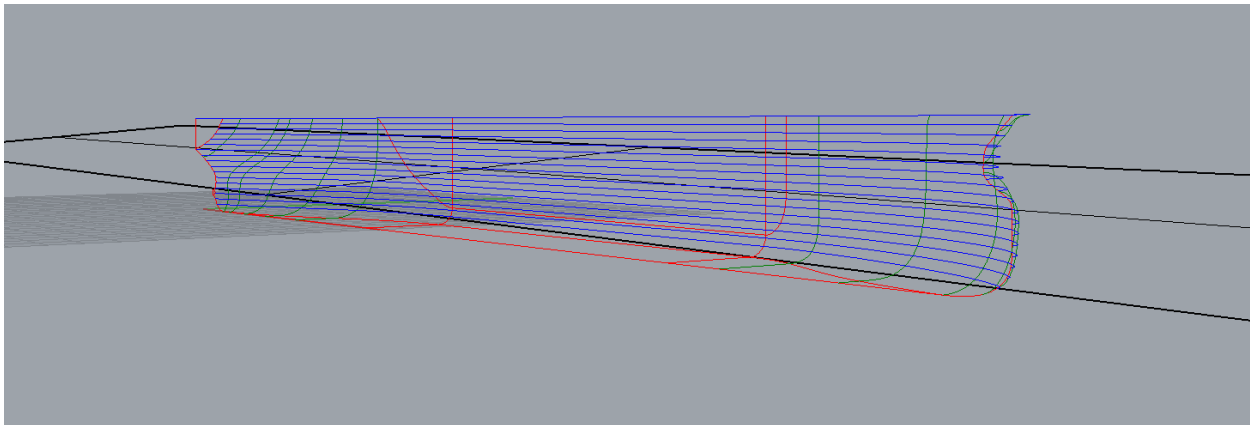
Το βασικό πρόβλημα που καλείται να λύσει το hull edit είναι η δημιουργία της επιφάνειας της θάλασσας, προκειμένου να κόψει με αυτή την κλειστή επιφάνεια της γάστρας. Αφότου κατασκευάσει το κύμα (Ημιτονοειδές, Τροχοειδές ή επίπεδη επιφάνεια), εφαρμόζει διαγωγή ως προς το κέντρο πλευστότητας(LCF) και εγκάρσια κλίση ως προς το κέντρο όγκου της γάστρας.

Οι επιφάνειες κοπής κατασκευάζονται έτσι ώστε να υπερβαίνουν σε κάθε περίπτωση τα όρια της γάστρας και πραγματοποιείται έλεγχος που διαπιστώνει αν ολοκληρώθηκε ομαλά η επεξεργασία. Στα διαφορά στάδια παραγωγής τομών έχει ενταχθεί κώδικας που στην περίπτωση αδυναμίας κοπής(Trim ή Split), εφαρμόζει μικρή μετατόπιση στις επιφάνειες και

επαναλαμβάνει την διαδικασία. Αυτό συμβαίνει διότι έχει παρατηρηθεί ότι το λογισμικό Rhinoceros αδυνατεί να εκτελέσει ορισμένες τομές μεταξύ συγκεκριμένου συνδυασμού επιφανειών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα κυματισμών με διαφορετικές παραμέτρους.



Εικόνα 3.4.2 Ημιτονοειδές κύμα.

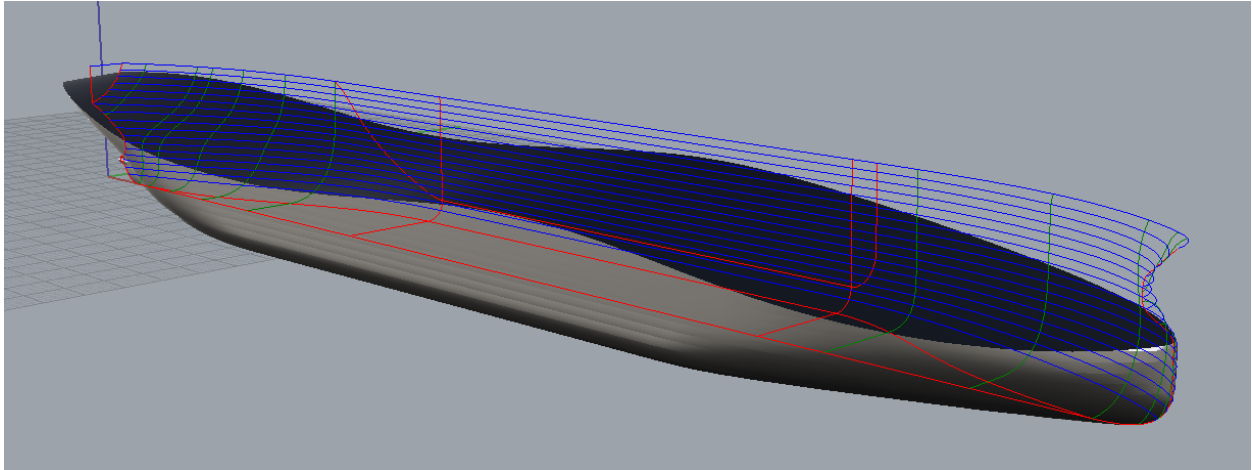


Εικόνα 3.4.3 Επίπεδη επιφάνεια με εγκάρσια κλίση και διαγωγή.

Εφόσον έχει κατασκευαστεί με επιτυχία η επιφάνεια του κυματισμού, το πρόγραμμα χωρίζει με αυτή, την κλειστή επιφάνεια γάστρας σε δύο ανοιχτές επιφάνειες. Παράλληλα χωρίζει την επιφάνεια κυματισμού σε δύο τμήματα, εντός και εκτός της γάστρας. Τέλος, κατάλληλα διαμορφωμένος κώδικας διαλέγει και ενώνει τις αντίστοιχες ανοιχτές επιφάνειες, κατασκευάζοντας το κλειστό τμήμα της γάστρας κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Παρακάτω παρουσιάζεται παράδειγμα κλειστού τμήματος γάστρας με παραμέτρους:

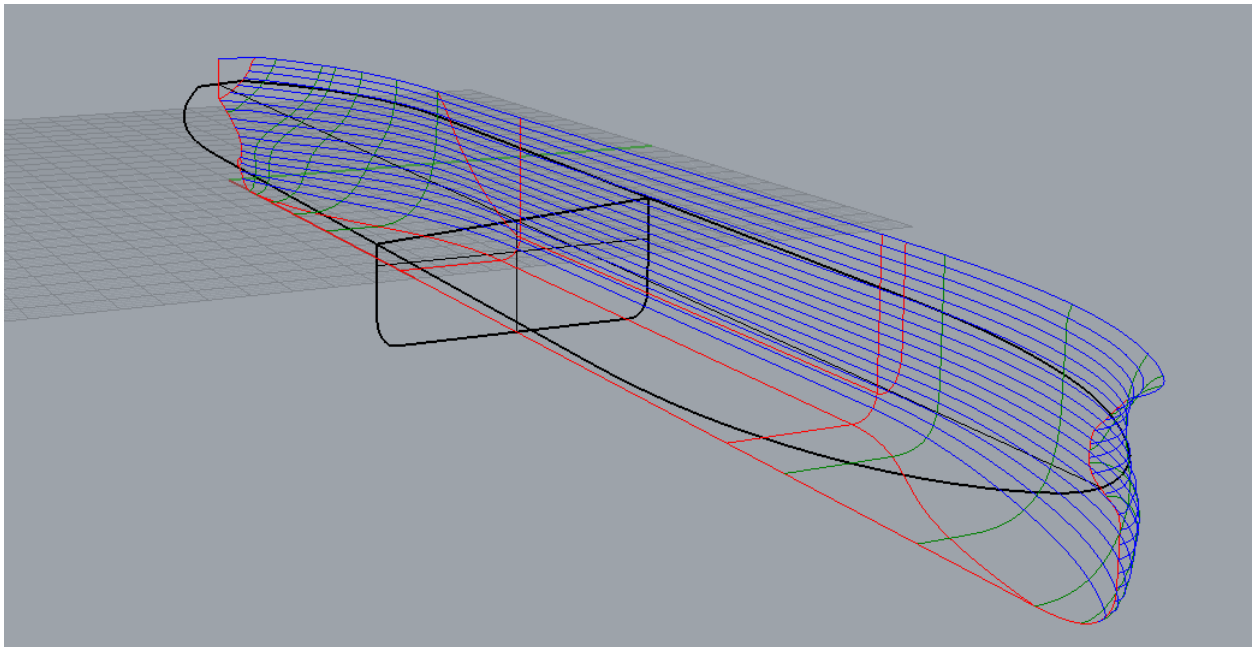
- Βύθισμα(Draft)=12 meters, διαγωγή(Trim)= -3 meters, εγκάρσια κλίση (Heel)=4 deg.

- Τύπος κύματος(Wave type)=Trochoidal, ύψος κύματος(Height)=4 meters, μήκος κύματος (Length)=120 meters



Εικόνα 3.4.4 Κλειστό τμήμα γάστρας.

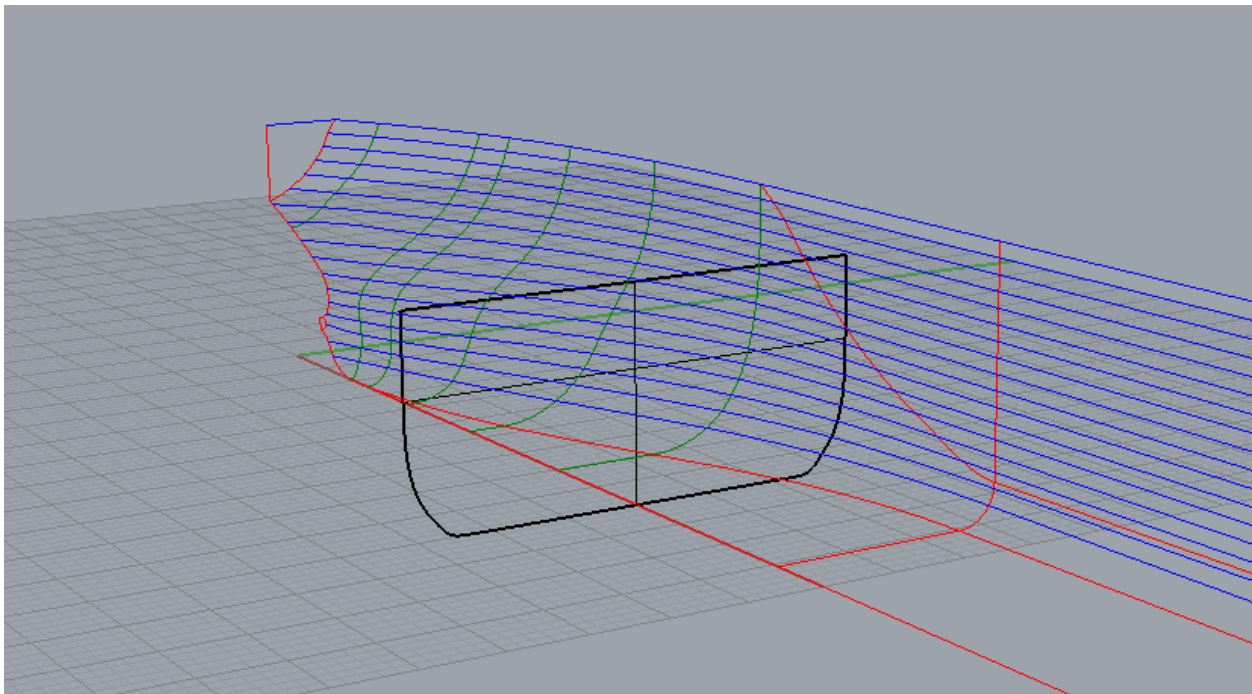
Εάν η μελέτη αφορά υδροστατικούς υπολογισμούς(Hydrostatics) το πρόγραμμα προχωράει στον υπολογισμό της μέσης τομής και την προσθέτει στην λίστα `return_list` μαζί με την επεξεργασμένη γάστρα και την ισάλο προκειμένου να επιστραφούν στην εφαρμογή εκτέλεσης της μελέτης. Συγκεκριμένα, η τομή του μέσου νομέα κατασκευάζεται από διαχωρισμό(Split) της επίπεδης επιφάνειας με το μέσο της κλειστής επιφάνειας της γάστρας. Όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα μαζί με την επιφάνεια ισάλου.



Εικόνα 3.4.5 Επιφάνεια μέσης τομής και ισάλου για βύθισμα (Draft)=12 meters, διαγωγή(Trim)= -3 meters, εγκάρσια κλίση(Heel)= 4 Deg, χωρίς κυματισμό.

Στην περίπτωση που ο τύπος υπολογισμού είναι καμπύλες ευστάθειας(Cross Curves) παρακάμπτεται η κατασκευή της μέσης τομής λόγω του ότι ενδέχεται να αδυνατεί το πρόγραμμα να την υλοποιήσει. Αυτό συμβαίνει, διότι οι τομές που λαμβάνονται αρχίζουν από μικρότερα βυθίσματα(η απόσταση από το επίπεδο XY), εξαρτόμενα από το πλάτος(B) της γάστρας και την εγκάρσια κλίση(Heel) του σταδίου μελέτης, προκειμένου να εξασφαλιστούν τομές σε όλο το εύρος του εκτοπίσματος.

Στην περίπτωση που ο τύπος υπολογισμού είναι εμβαδόν επιφανειών νομέων(Section Area Curves), το πρόγραμμα υπολογίζει την τομή του κάθε νομέα, παρακάμπτοντας την μέση τομή και την επιστρέφει στην εφαρμογή εκτέλεσης της μελέτης.



Εικόνα 3.4.6 Επιφάνεια τομής σε απόσταση 50 μέτρων από το AP . Βύθισμα (Draft)=14 meters, χωρίς διαγωγή(Trim), εγκάρσια κλίση(Heel) ή κυματισμό.

### 3.5 Υπολογισμοί

Όπως έχει αναφερθεί, το Plugin έχει την δυνατότητα να εκτελέσει τρεις μελέτες. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν αυτές, ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που επιθυμεί στην καρτέλα “Hull Calculations” και αυτά μέσω του ViewModel μεταφέρονται στο ShipLines (model) , όπου και εκτελούνται οι υπολογισμοί. Το περιβάλλον(interface) των υπολογισμών και το ViewModel είναι κοινά, αλλά για κάθε μελέτη υπάρχει διαφορετική συνάρτηση υπολογισμού στο ShipLines (model), όπως φαίνεται παρακάτω.

- Calculate για τους υδροστατικούς υπολογισμούς.
- Cross\_Curves για την μελέτη καμπυλών ευστάθειας.
- Section\_Curves την για μελέτη επιφανειών νομέων.

Σε όλους τους τύπους των υπολογισμών, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει το μήκος μεταξύ καθέτων  $L_{BP}$ , πυκνότητα νερού, διαγωγή, εγκάρσια κλίση και τις παραμέτρους κυματισμού, εάν αυτός υπάρχει. Στην περίπτωση που κάποιο από τα δεδομένα δεν έχει συμπληρωθεί, θα λάβει προκαθορισμένη τιμή από το πρόγραμμα. Παράλληλα, υποχρεωτικά ο χρήστης συμπληρώνει τα βυθίσματα, την διαμήκη θέση των νομέων και τις εγκάρσιες κλίσεις, ανάλογα με το είδος της μελέτης που θέλει να εκτελέσει. Στην περίπτωση που κάποια από τις απαραίτητες παραμέτρους δεν έχει λάβει τιμή, το πρόγραμμα ενημερώνει τον χρήστη καθώς δεν μπορεί να προχωρήσει σε υπολογισμό.

Αρχικά, η εφαρμογή λαμβάνει και τοποθετεί όλα τα δεδομένα που έθεσε ο χρήστης στις αντίστοιχες μεταβλητές, ενώ επιβεβαιώνει την ύπαρξη της κλειστής επιφάνειας γάστρας(σε αντίθετη περίπτωση ενημερώνει τον χρήστη). Ενώ στη συνέχεια, εάν ο χρήστης έχει συμπεριλάβει κυματισμό, η εφαρμογή ελέγχει τη συμβατότητα του με την γάστρα του πλοίου(είναι απαραίτητο να μην ξεπερνάει τα όρια της γάστρας). Τέλος, το πρόγραμμα προχωράει στην επεξεργασία της γάστρας με το εργαλείο Hull Edit για κάθε βύθισμα (υπολογισμός υδροστατικών),εγκάρσια κλίση(υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας) και συνδυασμό βυθισμάτων-νομέων(Section Area Curves).

Παρακάτω περιγράφονται οι μέθοδοι που υπολογίζονται τα μεγέθη ξεχωριστά για κάθε τύπο μελέτης.

Στην περίπτωση υδροστατικών υπολογισμών χρησιμοποιούνται οι βιβλιοθήκες του Rhinoceros για την εύρεση επιφάνειας, όγκου, κέντρου, ροπών της βρεχόμενη γάστρας, μέσης τομής και ισάλου πλευσης. Με τα παραπάνω μεγέθη, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που αναφέρονται στο θεωρητικό υπόβαθρο, υπολογίζονται τα υδροστατικά χαρακτηριστικά για κάθε βύθισμα. Για τον υπολογισμό των συντελεστών μορφής γάστρας χρησιμοποιείται το μήκος μεταξύ καθέτων, το πλάτος στο ύψος του κοίλου και το εκάστοτε βύθισμα(με εγκάρσια κλίση και διαγωγή).Επίσης υπολογίζεται το μέγιστο μήκος, πλάτος της ισάλου πλευσης και εμφανίζεται στον πίνακα αποτελεσμάτων για λογούς πληρότητας.

Στην περίπτωση μελέτης καμπυλών ευστάθειας, ο υπολογισμός του μοχλοβραχίονα  $KZ'$ (ή  $KN$ ) και κατά συνέπια του μοχλοβραχίονα επαναφοράς  $GZ$  γίνεται γεωμετρικά. Αρχικά, κατασκευάζεται η παράλληλη της κεκλιμένης ισάλου που περνάει από το σημείο  $K$ (εικόνα 2.2.1) και η κάθετη στην νέα ίσαλο που περνάει από το νέο κέντρο άντωσης( $KB$ ). Η απόσταση του σημείου τομής των δύο ευθειών δίνει το μέγεθος  $KZ'$ , το οποίο είναι το ζητούμενο για τις καμπύλες ευστάθειας. Ως προς τον υπολογισμό της καμπύλης στατικής ευστάθειας ( $GZ$ -φ), ο χρήστης ορίζει το εκτόπισμα και το κέντρο βάρους της γάστρας ( $KG$ ,  $LCG$ ) για την κατάσταση φόρτωσης που θέλει να μελετήσει. Το πρόγραμμα στην συνέχεια, υπολογίζει από το  $LCG$  και το υδροστατικό διάγραμμα ισοβύθιστης κατάστασης τη διαγωγή (σχέση 2.2.2) και την εφαρμόζει

για στην μελέτη του εκάστοτε εκτοπίσματος. Μετά την ολοκλήρωση του υπολογισμού των καμπυλών ευστάθειας, προχωράει σε υπολογισμό του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ(σχέση 2.2.1) χρησιμοποιώντας το KG και την εκάστοτε εγκάρσια κλίση. Τέλος, στο παράθυρο των αποτελεσμάτων καμπυλών ευστάθειας ο χρήστης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το εργαλείο γραμμικής παρεμβολής του KN ως προς το εκτόπισμα. Συγκεκριμένα, ο χρήστης ορίζει την τιμή εκτοπίσματος που τον ενδιαφέρει και ο αλγόριθμος θα εκτελέσει γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο κοντινότερων τιμών που την παρεμβάλουν για κάθε γωνία εγκάρσιας κλίσης.

Στην περίπτωση μελέτης επιφανειών νομέων (Section area curves), το hull\_edit επιστρέφει την τομή σε κάθε απόσταση από το A.P που έχει ορίσει ο χρήστης. Στη συνέχεια, η συνάρτηση Section\_Curves υπολογίζει το εμβαδό, ροπή της κάθε τομής. Στην περίπτωση που ο νομέας δεν είναι ενιαίος τα υπολογίζει ξεχωριστά και τα αθροίζει.

Τέλος, τα αποτελέσματα κάθε μελέτης αποθηκεύονται σε λίστα ObservationCollection, η οποία όταν τροποποιείται ενημερώνει αυτόματα το ViewModel. Όταν προστεθούν σε αυτή τα αποτελέσματα όλων των συνδυασμών, ανοίγει αυτόματα το αντίστοιχο παράθυρο (window) όπου και εμφανίζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα. Παρουσιάζεται αναλυτικά η εμφάνιση των αποτελεσμάτων στο κεφάλαιο 4.

### 3.6 Γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI)

Το γραφικό περιβάλλον μέσα από το οποίο αλληλοεπιδρά ο χρήστης με το πρόγραμμα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι κάθε plugin, καθώς μέσω αυτού μπορεί ο χρήστης να αξιοποιεί τις δυνατότητες του προγράμματος. Συνεπώς, είναι σημαντικό να είναι εύχρηστο και κατανοητό, μεγιστοποιώντας την αξιοποίηση του προγράμματος από τον χρήστη αλλά παράλληλα αποφεύγοντας και τυχόν σφάλματα. Για την ανάπτυξη του, χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο(framework) WPF της Microsoft, το οποίο χρησιμοποιεί την γλώσσα δηλωτικού προγραμματισμού XAML. Η XAML είναι βασισμένη στην XML και χρησιμοποιείται εκτενώς στο .NET Framework 3.0 και .NET Framework 4.0. Στο WPF η XAML αποτελεί το βασικό εργαλείο για τον ορισμό και διασύνδεση των επιμέρους στοιχείων του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη (GUI) με το ViewModel μέσω κατάλληλων DataBindings.

Για την χρήση των εφαρμογών μελέτης γάστρας πλοίου που αναπτύχθηκαν, σχεδιάστηκε και ενσωματώθηκε στο περιβάλλον(interface) του Plugin «Shiplines» η καρτέλα “Hull Calculations”(εικόνα 3.6.1). Αποτελείται από τρεις στήλες, με την κάθε μια να διαδραματίζει ξεχωριστό ρόλο στην υλοποίηση των υπολογισμών. Στην πρώτη στήλη περιλαμβάνονται οι κοινοί παράμετροι για όλους τους υπολογισμούς, ενώ η συμπλήρωσή τους είναι προαιρετική. Στην μεσαία στήλη εμφανίζονται τα δεδομένα υπολογισμού των υδροστατικών(Hydrostatics), του εμβαδού επιφανειών νομέων(Section area curves) καθώς και οι εντολές εκτέλεσής τους.

Τέλος στην Τρίτη στήλη περιέχονται τα δεδομένα και η εντολή εκτέλεσης υπολογισμού των καμπυλών ευστάθειας, καθώς και της καμπύλης στατικής ευστάθειας.

The image shows a software interface with a tabbed menu at the top: 'General', 'Create', 'Edit', 'Options', and 'Hull Calculations'. The 'Hull Calculations' tab is active, displaying several sections:

- Common Properties:** Includes input fields for 'Lbp' (187 m), 'Density' (1.025 kg/m<sup>3</sup>), and 'Trim' (meters).
- Wave Properties:** Includes 'Height' (0), 'Length' (0), and 'Crest from pivot point' (0). Radio buttons are selected for 'None', 'Sinusoidal', and 'Trochoidal'.
- Pivot Point:** Includes input fields for 'X' (0), 'Y' (0), and 'Z' (0).
- Drafts:** Includes input fields for 'Single', 'From', 'To', and 'Step', an 'Add' button, and a 'Draft' data grid.
- Heel:** Includes an input field for 'Heel' (deg).
- Heel Angles:** Includes input fields for 'Single', 'From', 'To', and 'Step', an 'Add' button, and a 'Heel Angles' data grid.
- Hydrostatics:** Includes a 'Calculate Hydrostatics' button.
- Section Area Curves:** Includes input fields for 'Single', 'From', 'To', and 'Step', an 'Add' button, and a 'Section' data grid.
- Cross Curves:** Includes a 'Calculate Cross Curves' button.
- Displacement:** Includes input fields for 'Displacement' (tonnes), 'KG' (meters), and 'LCG' (meters).
- Calculate GZ:** Includes a checkbox for 'Calculate GZ'.

Εικόνα 3.6.1. Περιεχόμενα καρτέλας(Tab) “Hull Calculations”.

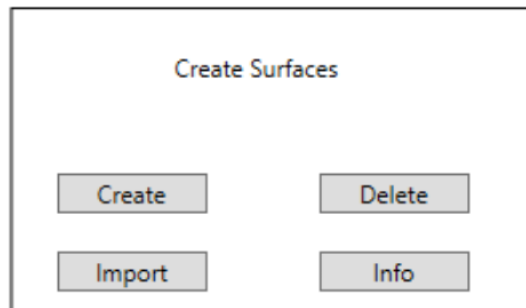
Όπως είναι εμφανές από την εικόνα (3.6.1), η καρτέλα περιλαμβάνει αναλυτικά:

- Τρεις πίνακες δεδομένων(DataGrid) για βυθίσματα(Drafts), εγκάρσια κλίση (Heel) και νομείς(Sections) τα οποία ενημερώνονται όταν ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που επιθυμεί στα αντίστοιχα κουτιά(textboxes) και πατήσει προσθήκη(Add). Προτού ολοκληρωθεί η εισαγωγή ελέγχεται η αριθμητική εγκυρότητα τους.(πχ. From{από} μικρότερο του To{μέχρι} και Step{βήμα} μικρότερο της διαφοράς τους). Τέλος, λόγω της αναγκαιότητας των δεδομένων αυτών για τους υπολογισμούς, εάν ο χρήστης δεν εισάγει δεδομένα, θα ενημερωθεί με messageBox(παράθυρο σφάλματος).



- Τρία κουτιά(textboxes) για πυκνότητα (density), διαγωγή(trim), εγκάρσια κλίση (heel) τα οποία αν δεν συμπληρωθούν, θα θεωρηθούν μηδενικές οι τιμές τους.
- Τρία κουτιά(textboxes) για τις παραμέτρους του κυματισμού και τρία για τις συντεταγμένες του Pivot Point. Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται μόνο όταν ο χρήστης έχει επιλέξει κυματισμό (ημιτονοειδή ή τροχοειδή) στα κουμπιά επιλογής(Radio buttons) και αφότου ελεγχθεί η συμβατότητά τους με την γάστρα.
- Τρία κουτιά (textboxes) για εκτόπισμα(Displacement), διαμήκη και κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους(LCG,KG). Τα μεγέθη αυτά αξιοποιούνται για τον υπολογισμό της καμπύλης στατικής ευστάθειας GZ-φ, ο οποίος εκτελείται μόνο όταν ο χρήστης τσεκάρει το κουτί επιλογής(Checkbox)“Calculate GZ”.
- Το κουτί(textbox) του μήκους  $L_{BP}$  συμπληρώνεται αυτόματα από τα δεδομένα των γραμμών ενώ αν η επιφάνεια έχει εισαχθεί μέσω του “import” χρειάζεται να συμπληρωθεί από τον χρήστη. Στην περίπτωση που είναι κενό, το πρόγραμμα θα θεωρήσει ως μήκος  $L_{BP}$  το μέγιστο μήκος του πλοίου.

Για την χρήση του εργαλείου κατασκευής κλειστής επιφάνειας γάστρας από τις ναυπηγικές γραμμές, έχουν προστεθεί οι αντίστοιχες εντολές στην καρτέλα “Create” του Plugin.



Εικόνα 3.6.2. Εντολές που προστέθηκαν στην καρτέλα “Create”.

Περιλαμβάνει τέσσερα κουμπιά(buttons) που αντιστοιχούν στις εξής εντολές:

- Η εντολή “Create” κατασκευάζει την επιφάνεια γάστρας.
- Η εντολή “Delete” αποκρύπτει την επιφάνεια από το γραφικό περιβάλλον του Rhinoceros.
- Η εντολή “Import” εισάγει στο Plugin κλειστή επιφάνεια που βρίσκεται στο περιβάλλον του Rhinoceros.
- Η εντολή “Info” εμφανίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές της εντολής “Create”.

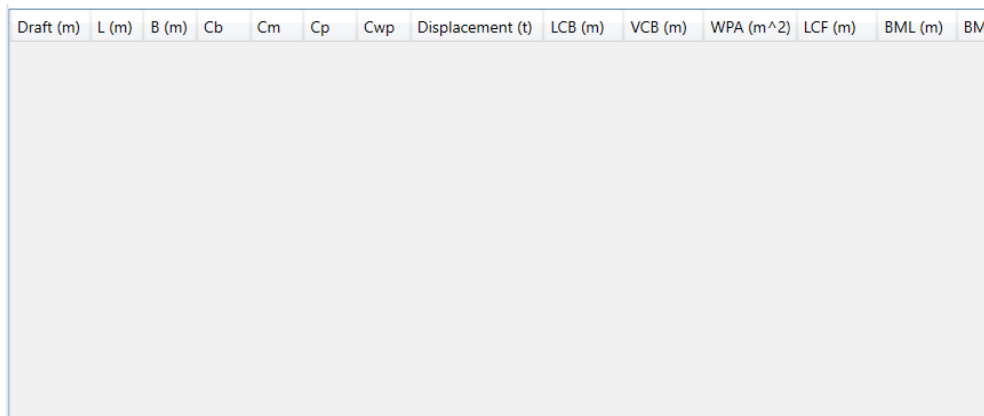
### 3.7 Εμφάνιση και αποθήκευση αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της κάθε μελέτης είναι σημαντικό να παρουσιάζονται με τρόπο κατανοητό ως προς τον χρήστη και να του επιτρέπουν την περαιτέρω ανάλυση τους. Για τον λόγο αυτό, έχουν κατασκευαστεί και διαμορφωθεί κατάλληλα τρία παράθυρα(window) παρουσίασης αποτελεσμάτων, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε ένα τύπο μελέτης. Εντός των παραθύρων εμφανίζονται πίνακες δεδομένων (DataGrid) σε συνδυασμό με διαγράμματα, ενώ παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης αυτών.

Κατά την διάρκεια των υπολογισμών, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στη ObservationCollection λίστα της εκάστοτε μελέτης και όταν συμπληρωθούν όλες οι τιμές της, ενημερώνεται το ViewModel. Το ViewModel που αντιστοιχεί στην μελέτη της γάστρας, αναλαμβάνει την δέσμευση(Binding) της λίστας που περιέχει τα αποτελέσματα, με τον πίνακα(DataGrid) του κάθε παραθύρου. Ενώ, στην συνέχεια κατασκευάζει τις καμπύλες, τους άξονες και όλες τις παραμέτρους των διαγραμμάτων.

#### Πίνακες

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται παράδειγμα κενού πίνακα (υδροστατικών υπολογισμών), ενώ η κάθε μελέτη έχει τους αντίστοιχους πίνακες δεδομένων(DataGrid) για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της.



Draft (m)	L (m)	B (m)	Cb	Cm	Cp	Cwp	Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)	BMT
-----------	-------	-------	----	----	----	-----	------------------	---------	---------	-----------------------	---------	---------	-----

Εικόνα 3.7.1. Πίνακας δεδομένων(DataGrid) υδροστατικών υπολογισμών.

Όπως είναι εμφανές, είναι διαμορφωμένος ώστε να υποστηρίζει τα εκάστοτε δεδομένα με προκαθορισμένο τίτλο και αποστάσεις, μέσω διασύνδεσης δεδομένων(Data Binding).

## Διαγράμματα

Τα διαγράμματα αποτελούν μια ιδιαίτερα σημαντική λειτουργία του Plugin καθώς καθιστούν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα στον χρήστη και αφετέρου, του εξοικονομούν χρόνο καθώς θα έπρεπε ο ίδιος να τα κατασκευάσει. Για την απεικόνιση έχει χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη OxyPlot, που αποτελεί εργαλείο δημιουργίας διαγραμμάτων.

Ο σχεδιασμός και η τροφοδοσία με δεδομένα, πραγματοποιείται στο ViewModel όταν ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί. Για κάθε μελέτη υπάρχει και διαφορετικός κώδικας για την κατασκευή του διαγράμματος, ενώ στην περίπτωση του υδροστατικού διαγράμματος διαθέτει και τους αντίστοιχους πολλαπλούς άξονες. Η βιβλιοθήκη OxyPlot ενσωματώνει διάφορα εργαλεία που καθιστούν πιο κατανοητές τις καμπύλες των διαγραμμάτων, καθώς ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει ή μεγεθύνει/σμικρύνει τους άξονες. Επίσης, τοποθετώντας τον κέρσορα σε μια θέση της καμπύλης, έχει την δυνατότητα να δει την ονομασία της(ιδιαίτερα χρήσιμο εάν υπάρχουν πολλαπλές καμπύλες) και τις συντεταγμένες της στο σημείο αυτό.

## Αποθήκευση αποτελεσμάτων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πρόγραμμα επιτρέπει την αποθήκευση των πινάκων σε αρχείο xlsx, το οποίο διαθέτει την κατάλληλη διαμόρφωση, ενώ τα διαγράμματα εξάγονται με την μορφή εικόνας Png. Παράλληλα, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ονομάσει το κάθε αρχείο και να επιλέξει την τοποθεσία αποθήκευσης του.

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι εντολές για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων της κάθε μελέτης.



Εικόνα 3.7.2. Εντολές αποθήκευσης των αποτελεσμάτων.

Η εντολή “Export Table” καλεί την συνάρτηση Export\_to\_CSV ( Export\_to\_CSV\_crosscurves για Cross Curves και Export\_to\_CSV\_Sectioncurves για Section Area Curves) του model ShipLines, η οποία αποθηκεύει τα δεδομένα σε αρχείο Excel (.xlsx). Η εντολή “Export Plot” αποθηκεύει το εκάστοτε διάγραμμα σε αρχείο Png.

# 4

## Παράδειγμα λειτουργίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των βημάτων χρήσης του Plugin ShipLines, της κατασκευής των επιφανειών καθώς και των μελετών που μπορεί να πραγματοποιήσει.

### 4.1 Δεδομένα του υπό μελέτης πλοίου

Το πλοίο που θα γίνουν οι μελέτες έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

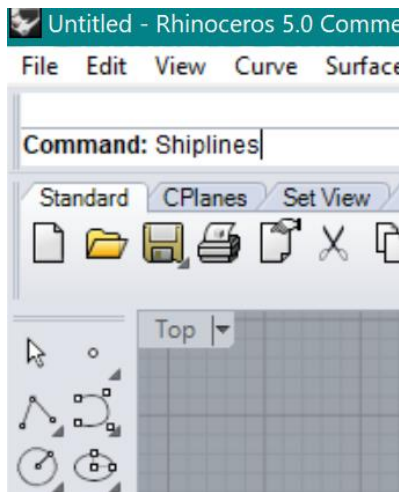
- Μήκος μεταξύ καθέτων  $L_{BP} = 187 \text{ m}$
- Πλάτος  $B = 31.30 \text{ m}$
- Κοίλο  $D = 17.215 \text{ m}$
- Παράλληλο τμήμα  $L_{AFT} = 65.45 \text{ m}$  και  $L_{FOR} = 140.25 \text{ m}$

Η πρύμνη του υπό σχεδίαση πλοίου είναι τύπου καθρέπτη (Transom), έχει άξονα έλικας (Shaft), πλαϊνό παράλληλο τμήμα (FOB), παράλληλο τμήμα πυθμένα (FOS) και οι πλευρές του στη μέση τομή είναι κάθετες. Για τη δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν αρχεία εισόδου για τους νομείς καθώς και για τις εξής καμπύλες ορίων (Boundaries):

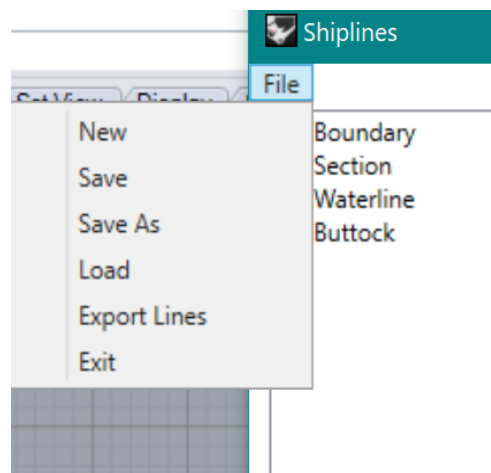
- Πρύμνη (Stern) και πλώρη (Stem)
- Πλαϊνό παράλληλο τμήμα (FOS ή flat of side)
- Παράλληλο τμήμα πυθμένα (FOB ή Flat of bottom)
- Καθρέπτη (Transom) και άξονα (Shaft)

## 4.2 Κατασκευή επιφάνειας γάστρας

Αρχικά ο χρήστης ανοίγει το λογισμικό Rhinoceros 3D, και εκτελεί την εντολή “Shiplines” στην γραμμή εντολών του (Command prompt)(εικόνα 4.2.1). Στην συνέχεια, είτε σχεδιάζει από την αρχή τις ναυπηγικές γραμμές, αξιοποιώντας τα εργαλεία που υπάρχουν στο Plugin, είτε τις φορτώνει(Load) από το xpl αρχείο, όπου είναι αποθηκευμένες(εικόνα 4.2.2). Εφόσον έχει εξασφαλιστεί η ύπαρξη των ναυπηγικών γραμμών, εκτελεί ο χρήστης την εντολή “Create” της καρτέλας “Create”, η οποία θα κατασκευάσει την κλειστή επιφάνεια γάστρας που χρειάζεται για τις μελέτες. Παρακάτω φαίνεται η κλειστή γάστρα.

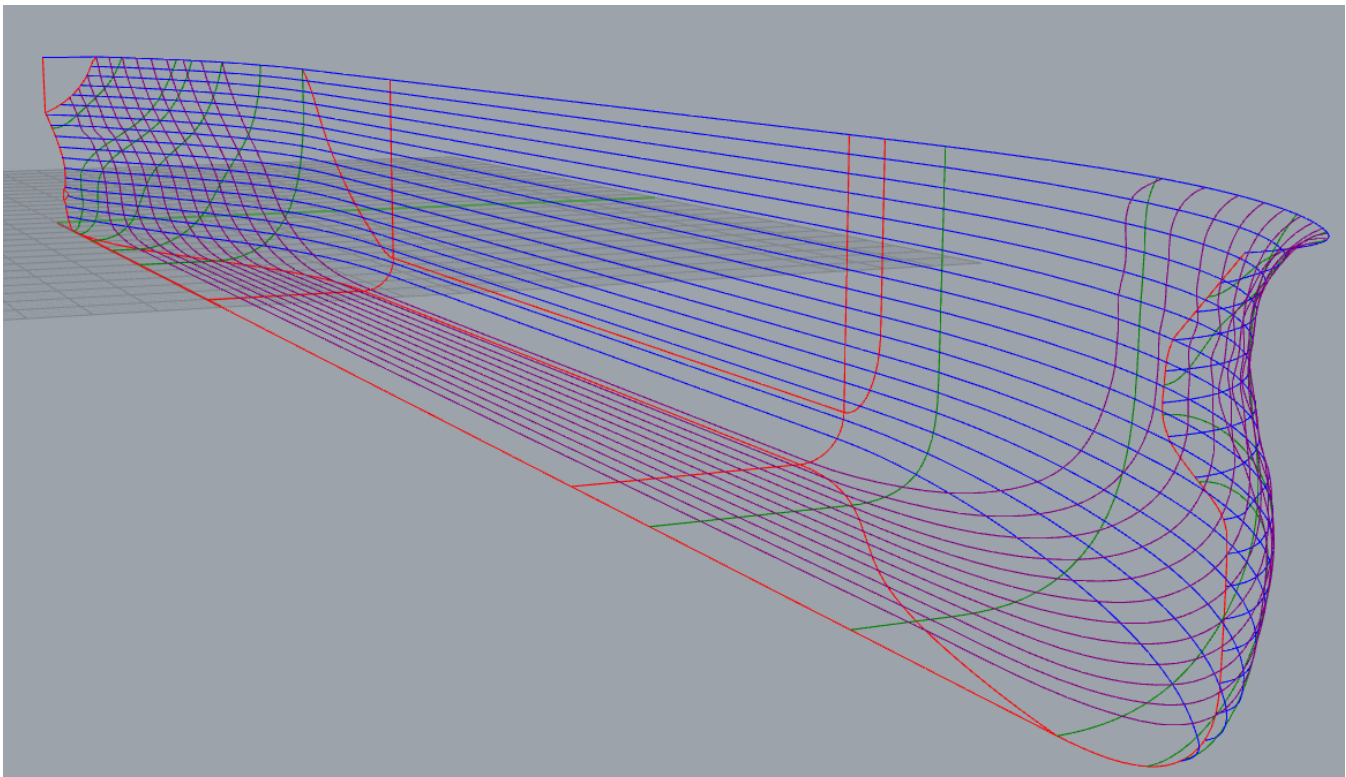


Εικόνα 4.2.1. Εντολή εκκίνησης Plugin Shiplines.

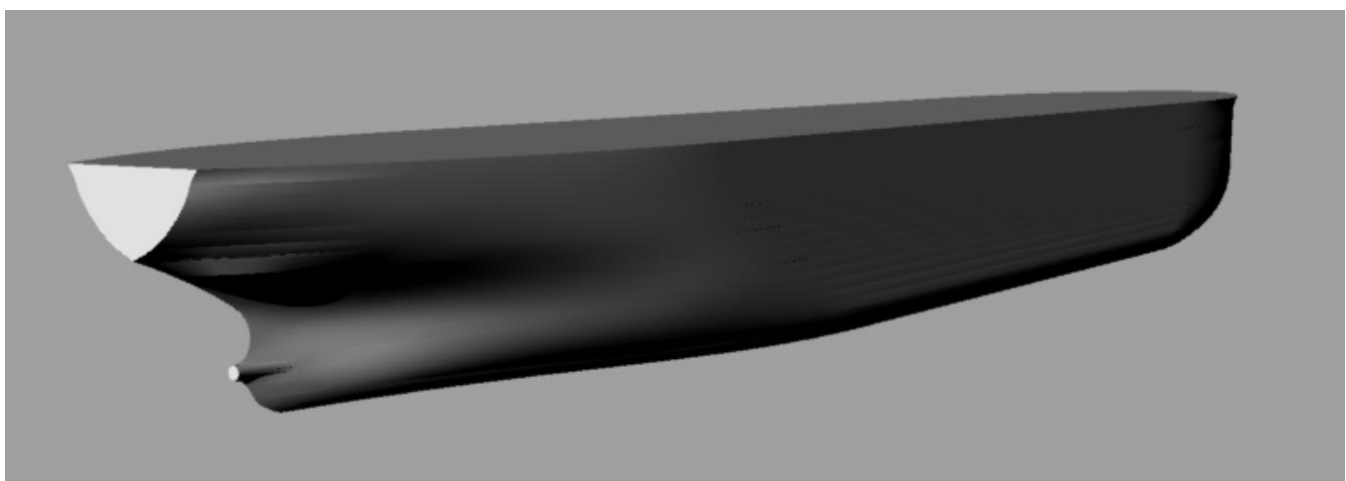


Εικόνα 4.2.2. Εντολή φόρτωσης(Load) ναυπηγικών γραμμών.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ναυπηγικές γραμμές, πάνω στις οποίες θα κατασκευαστεί η κλειστή επιφάνεια και στην συνέχεια οι υπολογισμοί.



Εικόνα 4.2.3. Ναυπηγικές γραμμές της υπό μελέτης γάστρας.



Εικόνα 4.2.4. Επιφάνεια κλειστής γάστρας με χρήση της εντολής "Create".

### 4.3 Μελέτη γάστρας χωρίς κυματισμούς.

Στο σημείο αυτό θα δοθούν παραδείγματα των τριών μελετών(υδροστατικό διάγραμμα, καμπύλες ευστάθειας, καμπύλες επιφανειών νομέων) που προσφέρει το πρόγραμμα, παρουσιάζοντας τα δεδομένα εισαγωγής και τα αποτελέσματα τους.

#### 4.3.1 Υδροστατικοί υπολογισμοί και διάγραμμα.

Αρχικά εισάγουμε στην καρτέλα «Hull Calculations» τα παρακάτω δεδομένα:

- Βύθισμα(Draft) 2,4...14 μέτρα.
- Διαγωγή(Trim) 1 μέτρο.
- Εγκάρσια κλίση(Heel) 5 μοίρες.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

The screenshot shows the 'Hull Calculations' window with the following settings:

- Common Properties:** Lbp: 187 m, Density: 1.025 kg/m<sup>3</sup>, Trim: 1 meters.
- Wave Properties:** Height: 0, Length: 0, Crest from pivot point: 0. Wave type: None (selected), Sinusoidal, Trochoidal.
- Pivot Point:** X: 0, Y: 0, Z: 0.
- Drafts:** Single: [empty], From: [empty], To: [empty], Step: [empty]. Draft list: 2, 4, 6, 8, 10, 12. Add button.
- Heel:** 5 deg.
- Heel Angles:** Single: [empty], From: [empty], To: [empty], Step: [empty]. Add button.
- Hydrostatics:** Calculate Hydrostatics button.
- Section Area Curves:** Single: [empty], From: [empty], To: [empty], Step: [empty]. Add button. Calculate button.
- Cross Curves:** Calculate Cross Curves button.
- Displacement:** [empty] tonnes.
- KG:** [empty] meters.
- LCG:** [empty] meters.
- Calculate GZ.

Εικόνα 4.3.2.1 Δεδομένα εκτέλεσης υδροστατικού υπολογισμού

Εκτελώντας την εντολή “Calculate Hydrostatics” ξεκινάει ο υπολογισμός των υδροστατικών μεγεθών και με την ολοκλήρωση του ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο(window) με τα αποτελέσματα. Αυτά απαρτίζονται από έναν πίνακα(DataGrid) που περιλαμβάνει όλα τα μεγέθη που υπολογίστηκαν. Παράλληλα έχει κατασκευαστεί και το υδροστατικό διάγραμμα όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

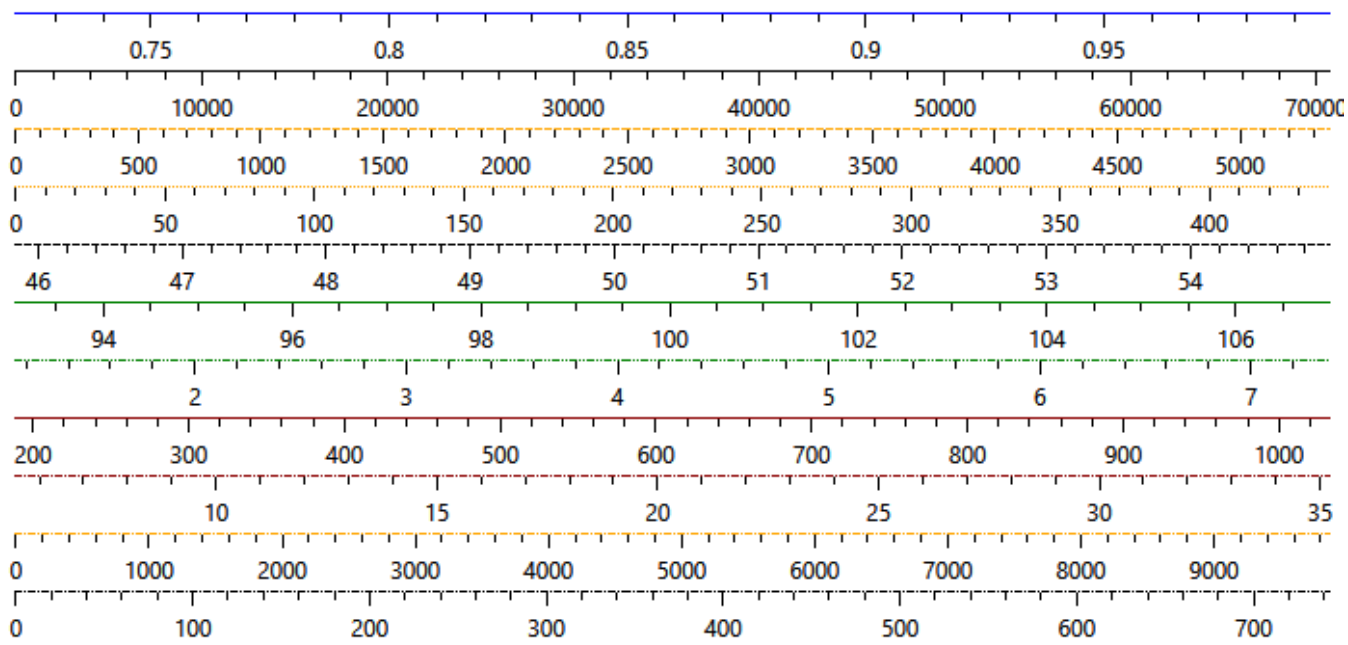
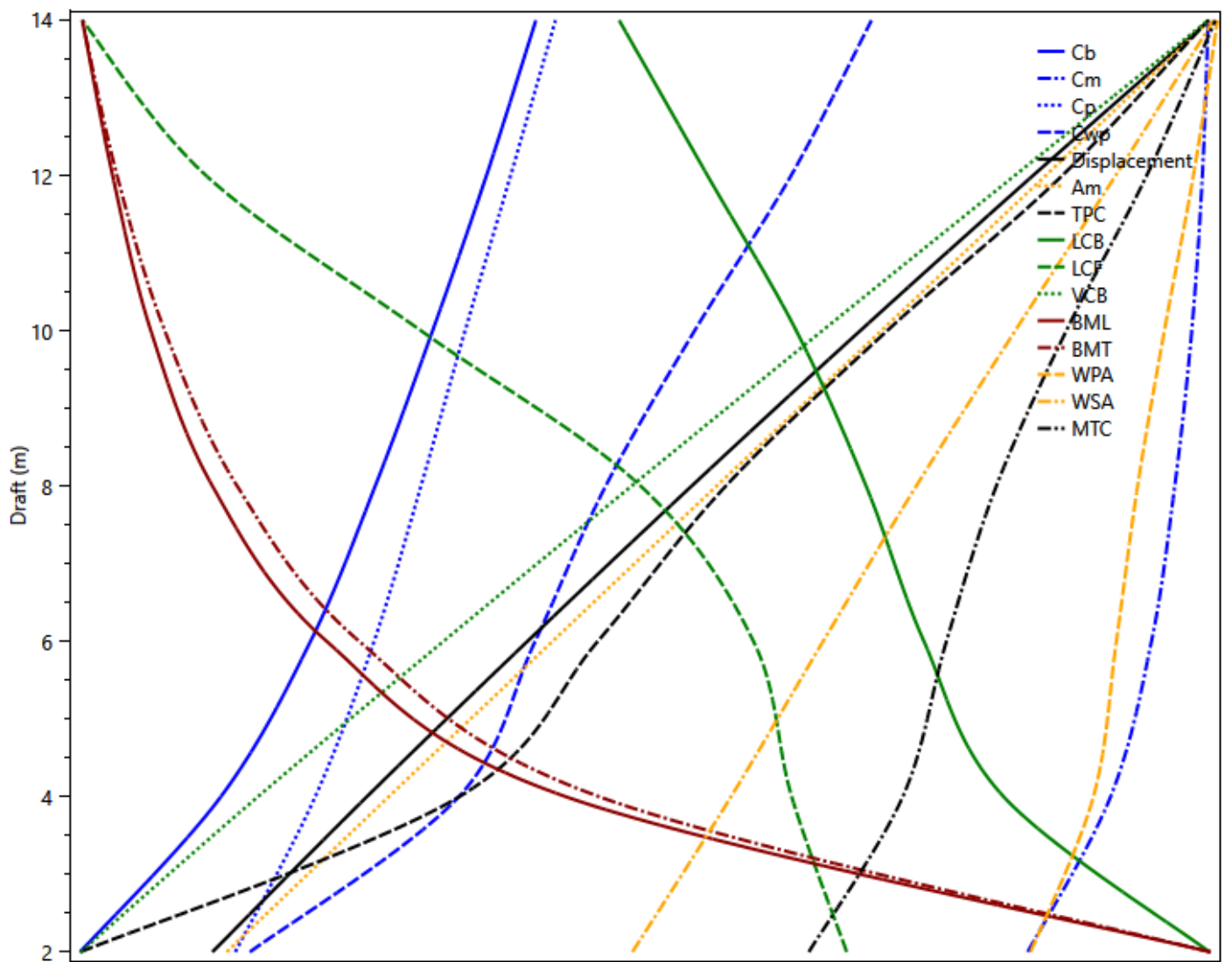
Draft (m)	L (m)	B (m)	Cb	Cm	Cp	Cwp	Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)	BMT (m)
2.00	187.00	30.84	0.724	0.951	0.761	0.765	8694.55	106.87	1.20	4479.75	102.47	1025.73	34.97
4.00	187.00	31.43	0.758	0.971	0.780	0.815	18199.97	104.37	2.16	4773.26	101.80	552.44	19.15
6.00	187.00	31.43	0.779	0.981	0.794	0.833	28074.72	103.41	3.17	4880.55	101.34	376.93	12.93
8.00	187.00	31.43	0.795	0.986	0.806	0.850	38178.55	102.71	4.18	4979.67	99.98	292.99	9.77
10.00	187.00	31.42	0.808	0.990	0.816	0.871	48549.75	101.86	5.22	5104.61	97.31	247.81	7.90
12.00	187.00	31.42	0.821	0.993	0.827	0.894	59191.09	100.78	6.26	5240.28	94.71	219.69	6.66
14.00	187.00	31.42	0.833	0.994	0.838	0.914	70053.80	99.71	7.31	5353.32	93.21	197.49	5.76

Εικόνα 4.3.1.2 Πίνακας αποτελεσμάτων υδροστατικών υπολογισμών, μέρος 1.

Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)	BMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)	Am (m <sup>2</sup> )
8694.55	106.87	1.20	4479.75	102.47	1025.73	34.97	4819.12	45.92	476.91	59.60
18199.97	104.37	2.16	4773.26	101.80	552.44	19.15	5665.88	48.93	537.67	121.69
28074.72	103.41	3.17	4880.55	101.34	376.93	12.93	6456.60	50.03	565.90	184.38
38178.55	102.71	4.18	4979.67	99.98	292.99	9.77	7256.04	51.04	598.17	247.24
48549.75	101.86	5.22	5104.61	97.31	247.81	7.90	8105.41	52.32	643.37	310.33
59191.09	100.78	6.26	5240.28	94.71	219.69	6.66	8968.00	53.71	695.39	373.36
70053.80	99.71	7.31	5353.32	93.21	197.49	5.76	9810.55	54.87	739.83	436.20

Εικόνα 4.3.1.2 Πίνακας αποτελεσμάτων υδροστατικών υπολογισμών, μέρος 2.





Εικόνα 4.3.1.4 Υδροστατικό διάγραμμα.

#### 4.3.2 Υπολογισμός καμπυλών ευστάθειας(Cross Curves) και καμπύλης στατικής ευστάθειας.

Αρχικά εισάγουμε στην καρτέλα «Hull Calculations» τα παρακάτω δεδομένα:

- Διαγωγή(Trim) 1 μέτρο.
- Εγκάρσια κλίση(Heel) 0,10...60 μοίρες.
- Εκτόπισμα(Displacement) 65000 τόνους.
- Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους KG= 12 μετρά.
- Διαμήκης θέση κέντρου βάρους LCG= 98 μέτρα.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

The screenshot shows the 'Hull Calculations' window with the following sections and values:

- Common Properties:** Lbp: 187 m, Density: 1.025 kg/m<sup>3</sup>, Trim: (empty) meters.
- Wave Properties:** Height: 0, Length: 0, Crest from pivot point: 0. Wave type:  None,  Sinusoidal,  Trochoidal.
- Pivot Point:** X: 0, Y: 0, Z: 0.
- Drafts:** Single: (empty), From: (empty), To: (empty), Step: (empty). Add button. Draft list: (empty).
- Heel:** (empty) deg.
- Heel Angles:** Single: (empty), From: (empty), To: (empty), Step: (empty). Add button. Heel list: 0, 10, 20, 30, 40, 50.
- Hydrostatics:** Calculate Hydrostatics button.
- Section Area Curves:** Single: (empty), From: (empty), To: (empty), Step: (empty). Add button. Section list: (empty). Calculate button.
- Cross Curves:** Calculate Cross Curves button.
- Displacement:** 65000 tonnes.
- KG:** 12 meters.
- LCG:** 98 meters.
- Calculate GZ.

Εικόνα 4.3.2.1 Δεδομένα υπολογισμών εγκάρσιας κλίσης.

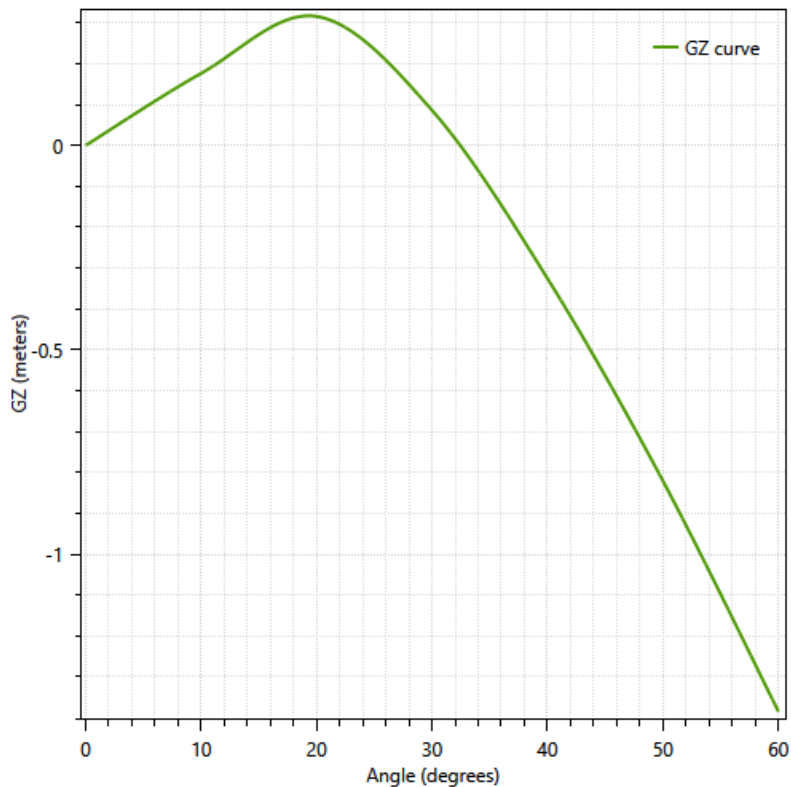
Προκειμένου να υπολογιστή ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς έχει συμπληρωθεί το αντίστοιχο κουτί όπως φαίνεται στην εικόνα (4.3.2.1). Εκτελώντας την εντολή "Calculate Cross Curves" ξεκινάει ο υπολογισμός και με την ολοκλήρωση του ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο(window)

με τα αποτελέσματα. Αυτά αποτελούνται από έναν πίνακα(DataGrid) που περιλαμβάνει τα υπολογισμένα μεγέθη καθώς και δύο διαγράμματα(καμπυλών ευστάθειας και καμπύλης στατικής ευστάθειας).

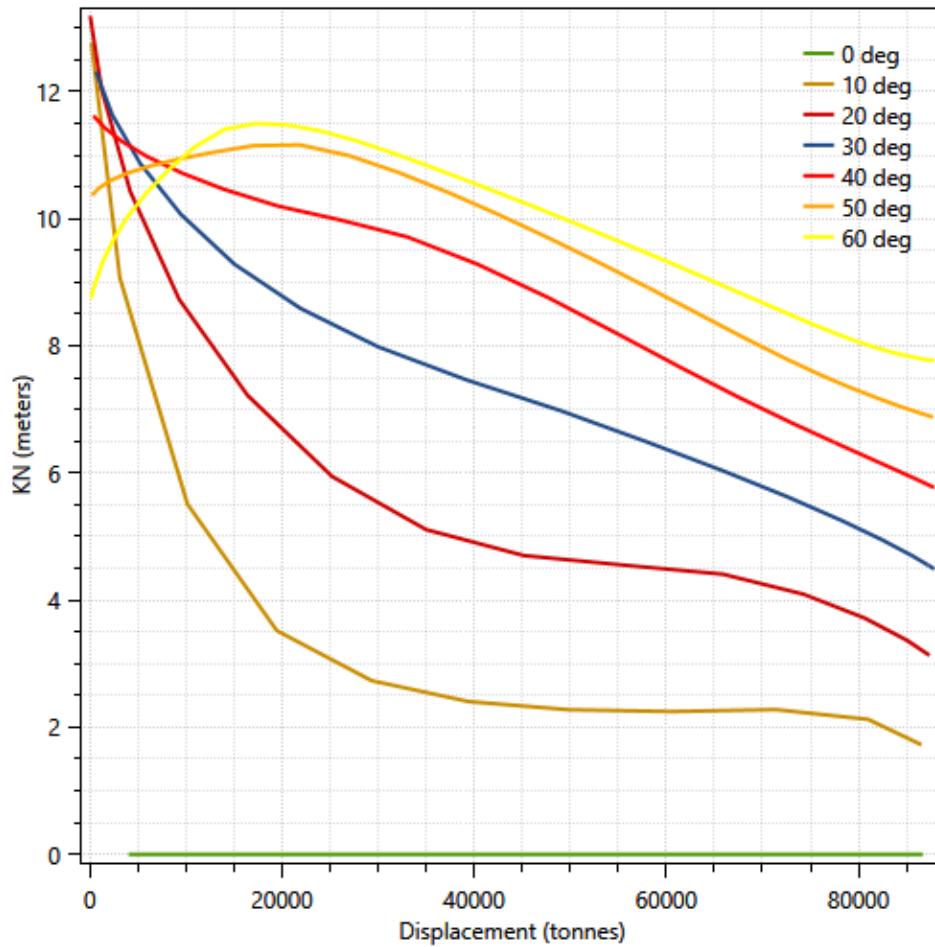
Heel	Displacement (t)	KN (meter)
0.00	81085.11	0.00
0.00	86672.36	0.00
10.00	5364.32	7.59
10.00	9130.28	5.88
10.00	13592.55	4.51
10.00	18325.28	3.66
10.00	23191.60	3.13
10.00	28141.93	2.79
10.00	33159.49	2.56
10.00	38244.76	2.42
10.00	43398.82	2.32
10.00	48632.24	2.27
10.00	53916.93	2.25
10.00	59256.48	2.24
10.00	64651.28	2.25
10.00	70101.68	2.27
10.00	75484.10	2.28

Export Table      Export Plot

Εικόνα 4.3.2.2 Πίνακας αποτελεσμάτων καμπυλών ευστάθειας.



Εικόνα 4.3.2.3 Καμπύλη στατικής ευστάθειας.



Εικόνα 4.3.2.4 Καμπύλες KN

Παρακάτω φαίνεται παράδειγμα χρήσης του εργαλείου γραμμικής παρεμβολής που βρίσκεται στο παράθυρο αποτελεσμάτων, για εκτόπισμα(Displacement) 50000 τόνους.

Displacement (tonnes)

Heel (deg)	KN (meters)
0.00	0.00
10.00	2.27
20.00	4.63
30.00	6.93
40.00	8.58
50.00	9.53
60.00	9.96

<  >

Εικόνα 4.3.2.5 Γραμμική παρεμβολή στις καμπύλες KN.

### 4.3.3 Υπολογισμοί επιφάνειας και ροπών νομέων (Section Area Curves).

Αρχικά εισάγουμε στην καρτέλα «Hull Calculations» τα παρακάτω δεδομένα:

- Βύθισμα(Draft) 2,4,6...16 μέτρα.
- Διαγωγή(Trim) 1 μέτρο.
- Εγκάρσια κλίση(Heel) 5 μοίρες.
- Διαμήκης θέση νομέων στα 0,20...180 μέτρα.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

The screenshot shows the 'Hull Calculations' window with the following sections and inputs:

- General:** Lbp: 187 m, Density: 1.025 kg/m<sup>3</sup>, Trim: [ ] meters.
- Wave Properties:** Height: 0, Length: 0, Crest from pivot point: 0. Radio buttons:  None,  Sinusoidal,  Trochoidal.
- Pivot Point:** X: 0, Y: 0, Z: 0.
- Drafts:** Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button, Draft list: 2, 4, 6, 8, 10, 12.
- Heel:** [ ] deg.
- Heel Angles:** Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button, Heel: [ ].
- Hydrostatics:** Calculate Hydrostatics button.
- Section Area Curves:** Sections: Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button, Section list: 0, 20, 40, 60, 80, 100, Calculate button.
- Cross Curves:** Calculate Cross Curves button.
- Displacement:** [ ] tonnes, KG: [ ] meters, LCG: [ ] meters,  Calculate GZ.

Εικόνα 4.3.3.1 Δεδομένα υπολογισμού επιφάνειας και ροπών νομέων.

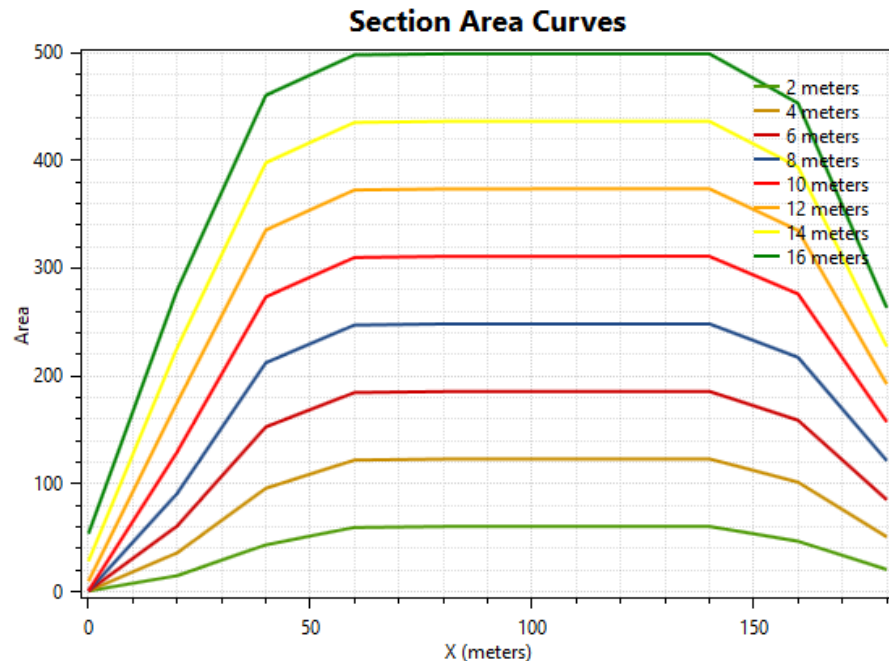
Εκτελώντας την εντολή “Calculate” ξεκινάει ο υπολογισμός και με την ολοκλήρωση του ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο(window) με τα αποτελέσματα. Στην συγκεκριμένη μελέτη τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε δύο πίνακες(DataGrids), για τα εμβαδά και τις ροπές των νομέων. Ενώ κατασκευάζεται και το διάγραμμα των εμβαδών.

Draft	Section	Area
2.00	0.00	0.00
2.00	20.00	14.22
2.00	40.00	42.82
2.00	60.00	58.98
2.00	80.00	59.75
2.00	100.00	59.79
2.00	120.00	59.83
2.00	140.00	59.87
2.00	160.00	46.10

Draft	Section	First M
2.00	0.00	0.00
2.00	20.00	16.23
2.00	40.00	45.50
2.00	60.00	60.30
2.00	80.00	60.97
2.00	100.00	60.99
2.00	120.00	61.02
2.00	140.00	61.04
2.00	160.00	46.04

Export Table

Export Plot



Εικόνα 4.3.3.2 Πίνακες και διάγραμμα υπολογισμού εμβαδού και ροπών νομέων.

#### 4.4 Μελέτη γάστρας με κυματισμούς.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν μελέτες υδροστατικών υπολογισμών με ημιτονοειδή και τροχοειδή κυματισμό. Οι παράμετροι με τους οποίους θα εκτελεστούν, είναι ίδιοι προκειμένου τα παραγόμενα μεγέθη να είναι συγκρίσιμα.

##### 4.4.1 Ημιτονοειδής κυματισμός σε υδροστατικούς υπολογισμούς και διάγραμμα.

Αρχικά επιλέγουμε "Sinusoidal" κυματισμό και εισάγουμε στην καρτέλα «Hull Calculations» τα παρακάτω δεδομένα:

- Βύθισμα(Draft) 5,6,7...12 μέτρα
- Διαγωγή(Trim) 1 μέτρα
- Εγκάρσια κλίση(Heel) 5 μοίρες.
- Ύψος κύματος(Height) 4 μέτρα.
- Μήκος Κύματος(Length) 187 μέτρα
- Διαμήκης απόσταση κορυφής από το Pivot Point(0,0,0) , 50 μέτρα.

Όπως φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα

The screenshot shows the 'Hull Calculations' window with the following sections and fields:

- Common Properties:** Lbp (187 m), Density (1.025 kg/m<sup>3</sup>), Trim (1 meters).
- Wave Properties:** Height (4), Length (187), Crest from pivot point (50). Wave type:  Sinusoidal,  Trochoidal,  None.
- Pivot Point:** X (0), Y (0), Z (0).
- Drafts:** Single, From, To, Step. Draft list: 5, 6, 7, 8, 9, 10. Add button.
- Heel:** 5 deg.
- Heel Angles:** Single, From, To, Step. Heel list: 0, 10, 20, 30, 40, 50. Add button.
- Hydrostatics:** Calculate Hydrostatics button.
- Section Area Curves:** Single, From, To, Step. Section list. Add button. Calculate button.
- Cross Curves:** Calculate Cross Curves button.
- Displacement:** 65000 tonnes, KG (12 meters), LCG (98 meters).  Calculate GZ.

Εικόνα 4.4.1.1 Παράμετροι υπολογισμού υδροστατικών μεγεθών με ημιτονοειδή κυματισμό.

Εκτελώντας την εντολή “Calculate Hydrostatics” ξεκινάει αρχικά ο έλεγχος συμβατότητας του κυματισμού με την γάστρα και στην συνέχεια ο υπολογισμός. Με την ολοκλήρωση του ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο(window) με τα αποτελέσματά.

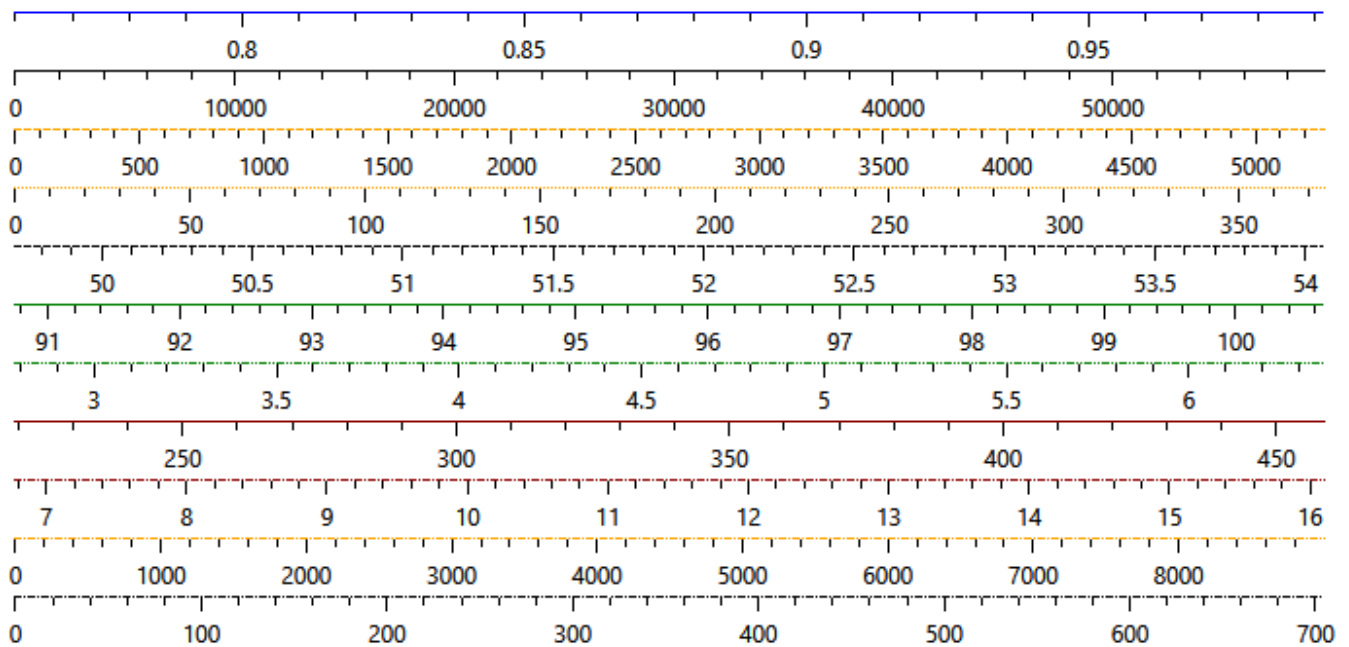
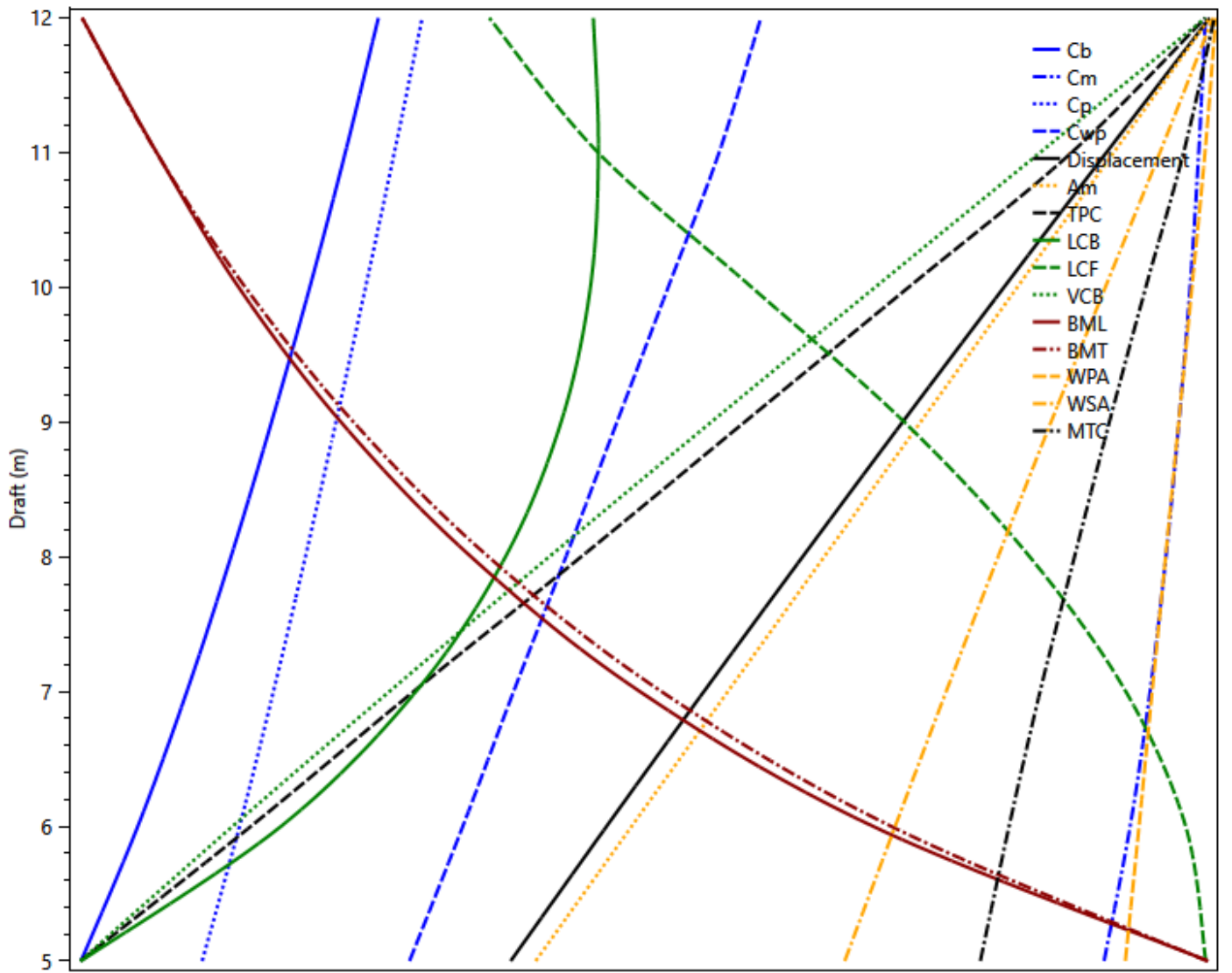
Draft (m)	L (m)	B (m)	Cb	Cm	Cp	Cwp	Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)
5.00	184.37	31.45	0.770	0.965	0.798	0.837	22879.52	90.84	2.81	4853.57	100.57	456.85
6.00	184.22	31.44	0.782	0.971	0.806	0.849	27869.56	92.57	3.29	4916.71	100.40	386.90
7.00	184.55	31.44	0.791	0.975	0.811	0.858	32931.38	93.74	3.78	4976.90	99.88	338.25
8.00	185.63	31.43	0.796	0.978	0.813	0.864	38064.20	94.51	4.28	5038.90	99.05	303.02
9.00	186.76	31.42	0.799	0.981	0.815	0.869	43265.76	95.00	4.79	5099.38	97.96	275.85
10.00	187.16	31.42	0.805	0.983	0.819	0.877	48537.51	95.25	5.30	5160.04	96.65	254.52
11.00	187.96	31.42	0.809	0.985	0.821	0.884	53866.25	95.32	5.82	5220.37	95.32	237.40
12.00	189.83	31.42	0.808	0.987	0.819	0.884	59245.83	95.27	6.33	5269.96	94.37	221.82

Εικόνα 4.4.1.2 Πίνακας αποτελεσμάτων κυματισμού σε υδροστατικούς υπολογισμούς, μέρος 1.

Cement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)	BMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)	Am (m <sup>2</sup> )
52	90.84	2.81	4853.57	100.57	456.85	16.02	6074.99	49.75	558.96	151.78
56	92.57	3.29	4916.71	100.40	386.90	13.45	6471.35	50.40	576.61	183.13
38	93.74	3.78	4976.90	99.88	338.25	11.58	6871.46	51.01	595.67	214.53
20	94.51	4.28	5038.90	99.05	303.02	10.18	7279.11	51.65	616.81	245.99
76	95.00	4.79	5099.38	97.96	275.85	9.08	7694.73	52.27	638.23	277.47
51	95.25	5.30	5160.04	96.65	254.52	8.20	8120.85	52.89	660.62	309.01
25	95.32	5.82	5220.37	95.32	237.40	7.48	8549.41	53.51	683.84	340.51
33	95.27	6.33	5269.96	94.37	221.82	6.87	8966.65	54.02	702.78	371.98

Εικόνα 4.4.1.3 Πίνακας αποτελεσμάτων κυματισμού σε υδροστατικούς υπολογισμούς, μέρος 2.





Εικόνα 4.4.1.4 Υδροστατικό διάγραμμα με ημιτονοειδή κυματισμό.

#### 4.4.2 Τροχοειδής κυματισμός σε υδροστατικούς υπολογισμούς και διάγραμμα.

Αρχικά επιλέγουμε “Trochoidal” κυματισμό και εισάγουμε στην καρτέλα «Hull Calculations» τα παρακάτω δεδομένα:

- Βύθισμα(Draft) 5,6,7...12 μέτρα
- Διαγωγή(Trim) 1 μέτρα
- Εγκάρσια κλίση(Heel) 5 μοίρες.
- Ύψος κύματος(Height) 4 μέτρα.
- Μήκος Κύματος(Length) 187 μέτρα
- Διαμήκης απόσταση κορυφής από το Pivot Point(0,0,0) , 50 μέτρα.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα

The screenshot shows the 'Hull Calculations' window with the following sections and values:

- General:** Lbp: 187 m, Density: 1.025 kg/m<sup>3</sup>, Trim: 1 meters.
- Wave Properties:** Height: 4, Length: 187, Crest from pivot point: 50. Wave type:  Trochoidal.
- Pivot Point:** X: 0, Y: 0, Z: 0.
- Drafts:** Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button. Draft list: 5, 6, 7, 8, 9, 10.
- Heel:** 5 deg.
- Hydrostatics:** Calculate Hydrostatics button.
- Section Area Curves:** Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button, Calculate button.
- Heel Angles:** Single: [ ], From: [ ], To: [ ], Step: [ ], Add button.
- Cross Curves:** Calculate Cross Curves button.
- Displacement:** [ ] tonnes, KG: [ ] meters, LCG: [ ] meters.  Calculate GZ.

Εικόνα 4.4.2.1 Παράμετροι υπολογισμού υδροστατικών μεγεθών με τροχοειδή κυματισμό.

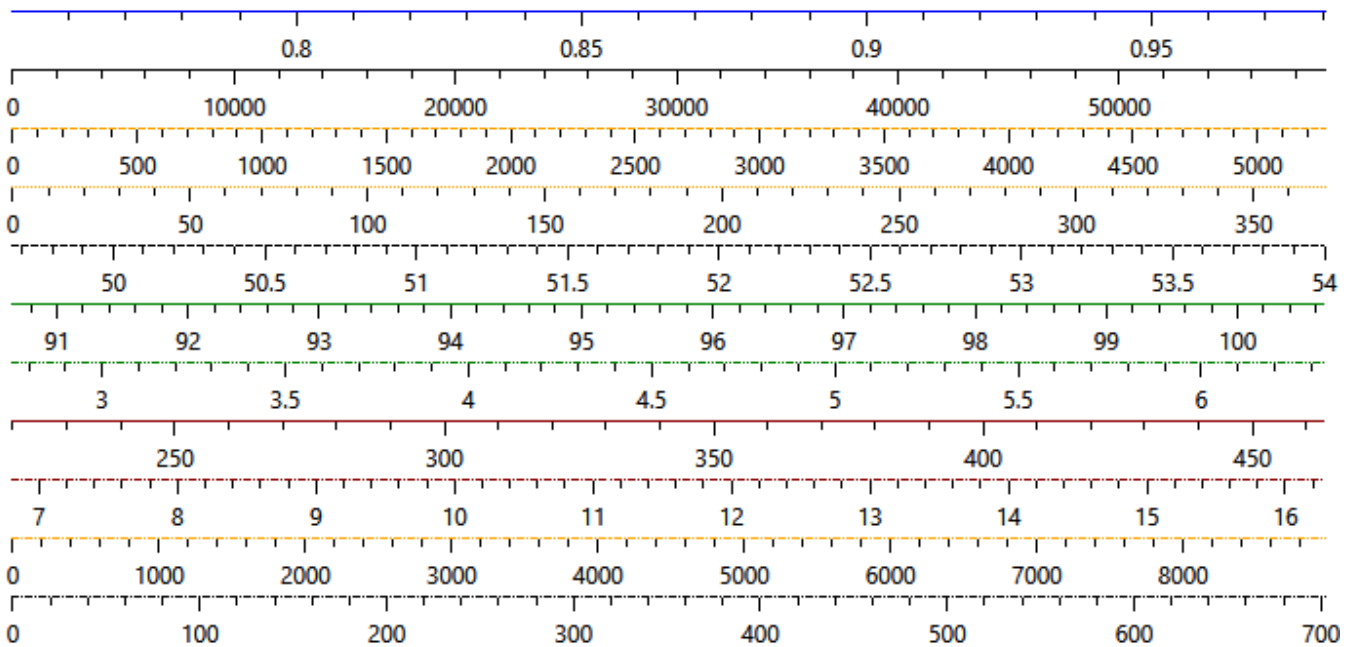
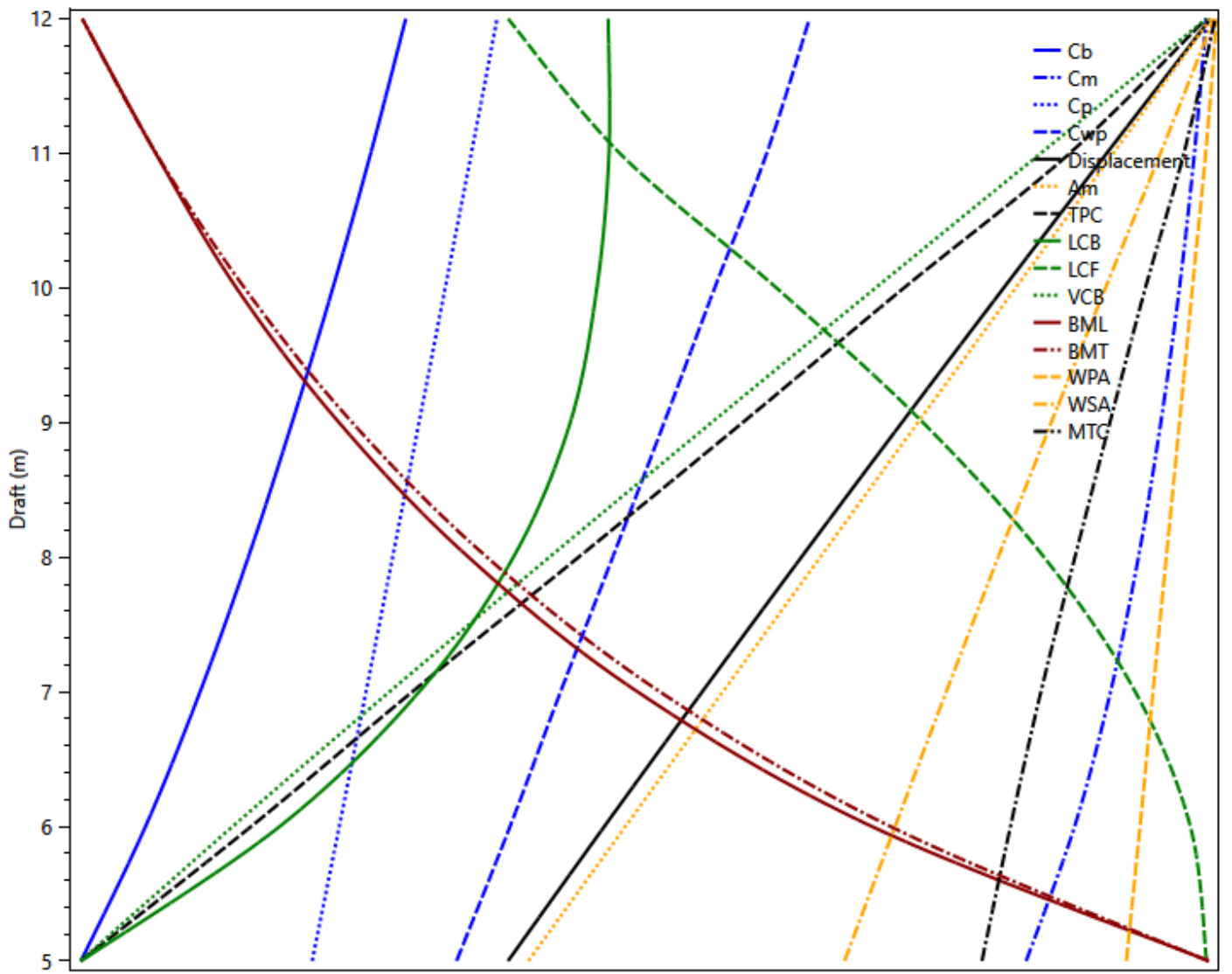
Εκτελώντας την εντολή “Calculate Hydrostatics” ξεκινάει αρχικά ο έλεγχος συμβατότητας του κυματισμού με την γάστρα και στην συνέχεια ο υπολογισμός. Με την ολοκλήρωση του ανοίγει το αντίστοιχο παράθυρο(window) με τα αποτελέσματα.

Draft (m)	L (m)	B (m)	Cb	Cm	Cp	Cwp	Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)
5.00	184.44	31.45	0.760	0.939	0.810	0.836	22589.05	90.75	2.79	4849.15	100.57	461.60
6.00	184.21	31.44	0.774	0.948	0.816	0.848	27573.41	92.48	3.26	4912.10	100.43	389.99
7.00	184.51	31.44	0.784	0.956	0.820	0.857	32629.23	93.70	3.75	4971.47	99.95	340.26
8.00	185.45	31.43	0.790	0.961	0.822	0.863	37755.43	94.52	4.25	5032.77	99.15	304.37
9.00	186.67	31.42	0.794	0.966	0.822	0.868	42949.89	95.02	4.76	5093.26	98.09	276.87
10.00	187.10	31.42	0.800	0.970	0.825	0.876	48213.31	95.25	5.27	5152.69	96.82	255.08
11.00	187.80	31.42	0.805	0.973	0.827	0.884	53536.74	95.36	5.78	5213.80	95.45	237.94
12.00	189.54	31.42	0.804	0.975	0.825	0.884	58911.01	95.35	6.30	5264.20	94.48	222.33

Εικόνα 4.4.2.2 Πίνακας αποτελεσμάτων κυματισμού σε υδροστατικούς υπολογισμούς, μέρος 1.

Displacement (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	BML (m)	BMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)	Am (m <sup>2</sup> )
25	90.75	2.79	4849.15	100.57	461.60	16.21	6048.04	49.70	557.60	147.56
41	92.48	3.26	4912.10	100.43	389.99	13.58	6444.12	50.35	575.05	178.90
63	93.70	3.75	4971.47	99.95	340.26	11.68	6843.36	50.96	593.72	210.30
83	94.52	4.25	5032.77	99.15	304.37	10.25	7249.84	51.59	614.52	241.75
109	95.02	4.76	5093.26	98.09	276.87	9.14	7664.34	52.21	635.91	273.23
141	95.25	5.27	5152.69	96.82	255.08	8.25	8088.46	52.82	657.66	304.77
179	95.36	5.78	5213.80	95.45	237.94	7.52	8518.20	53.44	681.20	336.28
223	95.35	6.30	5264.20	94.48	222.33	6.91	8936.21	53.96	700.42	367.75

Εικόνα 4.4.2.3 Πίνακας αποτελεσμάτων κυματισμού σε υδροστατικούς υπολογισμούς, μέρος 2.



Εικόνα 4.4.2.4 Υδροστατικό διάγραμμα με τροχοειδή κυματισμό.

# 5

## Επαλήθευση υπολογισμών.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει επαλήθευση των υπολογισμών, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Plugin Shiplines με αυτά του λογισμικού Avena marine. Οι γάστρες στις οποίες υπολογίστηκαν τα συγκρινόμενα μεγέθη, έχουν σχεδιαστεί από τις ίδιες ναυπηγικές γραμμές, όμως η εξομάλυνση των γραμμών έχει πραγματοποιηθεί ξεχωριστά σε κάθε λογισμικό, όπως και δημιουργία των επιφανειών. Αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι εφικτή η απευθείας μεταφορά επιφάνειας γάστρας μεταξύ των δύο προγραμμάτων.

### 5.1 Υδροστατικοί υπολογισμοί.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται πίνακες με τα αποτελέσματα υδροστατικών υπολογισμών για κάθε συνδυασμό διαγωγής (trim) και εγκάρσιας κλίσης(heel). Το πρώτο μέρος των πινάκων αφορά τα αποτελέσματα του Plugin Shiplines και το δεύτερο μέρος τα αποτελέσματα του Avena marine. Ενώ στο τρίτο μέρος, παρουσιάζονται οι διαφορές των υπολογισμένων μεγεθών επί τοις εκατό. Τα βυθίσματα(Drafts) για τα οποία έγιναν οι μελέτες, είναι από 4 έως 16 μέτρα και οι παράμετροι των υπολογισμών αντίστοιχα, με την σειρά που εμφανίζονται οι πίνακες, είναι για:

- Ισοβύθιστη κατάσταση.
- 30 μοίρες εγκάρσιας κλίσης(heel).
- 0.5 μέτρο διαγωγής(trim).
- 1 μέτρο διαγωγής(trim) και 60 μοίρες εγκάρσιας κλίσης(heel).

Trim=0 meters		Heel=0 degrees		Shiplines Plugin						
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	18161.99	101.44	2.08	4767.78	101.50	554.94	21.19	5673.49	48.87	536.96
5	23079.96	101.44	2.59	4825.97	101.39	450.60	17.96	6068.21	49.47	552.94
6	28051.81	101.41	3.11	4874.98	101.10	381.49	15.95	6460.47	49.97	567.61
7	33074.62	101.32	3.62	4926.97	100.53	334.14	14.67	6857.05	50.50	584.58
8	38154.82	101.16	4.14	4987.22	99.63	300.96	13.85	7263.99	51.12	605.63
9	43300.81	100.91	4.66	5054.12	98.41	276.67	13.33	7683.40	51.80	629.87
10	48520.22	100.55	5.18	5132.61	96.75	259.55	13.04	8123.13	52.61	660.00
11	53814.71	100.10	5.70	5193.24	95.35	242.93	12.89	8554.61	53.23	682.69
12	59165.88	99.62	6.23	5248.60	94.25	228.70	12.85	8978.42	53.80	703.88
13	64573.61	99.14	6.75	5302.29	93.45	216.62	12.89	9398.07	54.35	724.71
14	70032.43	98.67	7.28	5348.26	92.83	205.53	13.00	9814.45	54.82	742.46
15	75536.69	98.23	7.81	5391.53	92.47	195.91	13.16	10230.48	55.26	759.83
16	81084.95	97.83	8.33	5435.14	92.37	187.68	13.37	10647.82	55.71	777.69

Aveva										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4.00	18129.06	101.47	2.08	4762.78	101.51	554.93	21.18	5667.41	48.82	535.97
5.00	23042.09	101.47	2.60	4821.10	101.40	450.53	17.95	6066.02	49.42	551.94
6.00	28009.30	101.43	3.11	4870.81	101.10	381.53	15.94	6464.62	49.93	566.81
7.00	33028.79	101.34	3.63	4924.29	100.51	334.43	14.66	6870.26	50.47	584.27
8.00	38107.13	101.17	4.14	4985.90	99.59	301.39	13.85	7288.04	51.11	605.73
9.00	43252.21	100.91	4.66	5053.83	98.36	277.25	13.33	7716.52	51.80	630.48
10.00	48467.07	100.56	5.18	5120.69	96.92	257.96	13.03	8151.05	52.49	655.17
11.00	53746.17	100.14	5.70	5178.33	95.59	240.96	12.89	8580.82	53.08	676.17
12.00	59079.93	99.68	6.23	5228.12	94.62	225.99	12.84	8998.59	53.59	694.31
13.00	64461.72	99.23	6.75	5271.52	93.93	212.74	12.89	9410.70	54.03	710.08
14.00	69885.21	98.80	7.28	5310.27	93.46	201.10	13.00	9821.24	54.43	724.35
15.00	75346.98	98.40	7.80	5346.90	93.19	191.10	13.15	10230.62	54.81	738.55
16.00	80848.73	98.04	8.32	5389.66	93.20	183.16	13.36	10644.60	55.24	755.88

Σύγκριση										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	0.18	-0.03	-0.08	0.10	-0.01	0.00	0.04	0.11	0.10	0.18
5	0.16	-0.03	-0.05	0.10	-0.01	0.02	0.06	0.04	0.09	0.18
6	0.15	-0.02	-0.04	0.09	-0.01	-0.01	0.07	-0.06	0.08	0.14
7	0.14	-0.02	-0.04	0.05	0.02	-0.09	0.05	-0.19	0.06	0.05
8	0.12	-0.01	-0.05	0.03	0.03	-0.14	0.00	-0.33	0.02	-0.02
9	0.11	-0.01	-0.04	0.01	0.05	-0.21	0.00	-0.43	0.01	-0.10
10	0.11	-0.01	-0.04	0.23	-0.18	0.62	0.06	-0.34	0.23	0.73
11	0.13	-0.03	-0.01	0.29	-0.26	0.83	0.05	-0.31	0.28	0.96
12	0.15	-0.06	0.00	0.39	-0.39	1.22	0.03	-0.22	0.39	1.36
13	0.17	-0.09	0.03	0.58	-0.52	1.85	0.03	-0.13	0.59	2.02
14	0.21	-0.13	0.06	0.71	-0.67	2.23	0.06	-0.07	0.71	2.44
15	0.25	-0.17	0.08	0.83	-0.77	2.56	0.11	0.00	0.82	2.80
16	0.29	-0.22	0.11	0.84	-0.90	2.52	0.13	0.03	0.84	2.80

Πίνακας 5.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων για ισοβύθιστη κατάσταση.

Drafts	Trim=0 meters	Heel=30 degrees		Shiplines Plugin						
	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	22086.61	100.78	4.33	4231.54	99.66	448.45	14.63	5531.33	43.37	524.55
5	25990.05	100.59	4.68	4562.21	99.31	413.45	15.49	6030.87	46.76	568.13
6	30183.14	100.38	5.03	4883.05	98.86	383.32	16.33	6524.73	50.05	610.58
7	34655.26	100.15	5.39	5191.03	98.32	357.00	17.12	7011.79	53.21	651.61
8	39392.80	99.89	5.76	5470.91	97.71	334.07	17.74	7480.67	56.08	691.60
9	44267.56	99.63	6.12	5455.82	97.28	305.69	16.53	7976.00	55.92	709.15
10	49045.28	99.38	6.45	5295.93	96.80	275.75	14.93	8485.74	54.28	706.30
11	53653.65	99.13	6.74	5079.30	96.19	248.61	13.50	9007.37	52.06	693.95
12	58045.84	98.89	7.02	4805.65	95.68	222.45	12.27	9538.59	49.26	668.72
13	62174.74	98.66	7.27	4492.98	95.39	196.92	11.28	10073.75	46.05	630.53
14	66016.33	98.47	7.51	4160.10	95.20	173.07	10.52	10614.21	42.64	584.47
15	69556.71	98.30	7.73	3815.91	95.02	151.27	9.95	11156.68	39.11	533.92
16	72789.23	98.15	7.93	3466.49	94.76	131.61	9.54	11697.34	35.53	481.43

Drafts	Aveva									
	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4.00	22054.87	100.81	4.33	4228.15	99.66	448.28	14.62	5526.98	43.34	523.59
5.00	25954.43	100.61	4.68	4557.24	99.30	412.94	15.48	6029.68	46.71	566.64
6.00	30143.04	100.40	5.03	4878.68	98.86	383.05	16.32	6530.83	50.01	609.34
7.00	34611.99	100.17	5.39	5187.83	98.34	356.95	17.12	7027.24	53.18	650.69
8.00	39346.22	99.91	5.76	5466.21	97.76	333.83	17.74	7505.14	56.03	690.28
9.00	44215.31	99.65	6.12	5448.65	97.31	305.27	16.51	8001.82	55.85	707.33
10.00	48988.51	99.40	6.45	5292.83	96.82	275.61	14.93	8514.98	54.25	705.13
11.00	53588.26	99.16	6.75	5060.04	96.52	245.46	13.50	9027.13	51.87	684.09
12.00	57955.09	98.96	7.02	4771.01	96.34	217.18	12.25	9549.95	48.90	651.32
13.00	62050.66	98.78	7.27	4453.25	96.26	191.30	11.25	10080.71	45.65	610.64
14.00	65857.23	98.63	7.50	4121.62	96.12	167.97	10.49	10613.42	42.25	565.13
15.00	69365.79	98.50	7.72	3782.27	95.86	147.10	9.92	11147.40	38.77	517.03
16.00	72569.96	98.38	7.92	3436.42	95.52	128.15	9.51	11679.14	35.22	466.58

Drafts	Σύγκριση									
	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	0.14	-0.03	-0.03	0.08	0.01	0.04	0.04	0.08	0.08	0.18
5	0.14	-0.02	-0.02	0.11	0.01	0.12	0.07	0.02	0.11	0.26
6	0.13	-0.02	-0.02	0.09	0.00	0.07	0.04	-0.09	0.08	0.20
7	0.12	-0.02	-0.01	0.06	-0.02	0.02	-0.01	-0.22	0.05	0.14
8	0.12	-0.02	-0.01	0.09	-0.05	0.07	0.03	-0.33	0.08	0.19
9	0.12	-0.02	-0.02	0.13	-0.03	0.14	0.15	-0.32	0.13	0.26
10	0.12	-0.02	-0.02	0.06	-0.02	0.05	-0.04	-0.34	0.06	0.17
11	0.12	-0.03	-0.01	0.38	-0.35	1.30	0.01	-0.22	0.37	1.42
12	0.16	-0.07	0.01	0.72	-0.69	2.45	0.29	-0.12	0.73	2.60
13	0.20	-0.12	0.05	0.88	-0.91	2.96	0.71	-0.07	0.88	3.15
14	0.24	-0.17	0.09	0.93	-0.96	3.08	1.01	0.01	0.92	3.31
15	0.27	-0.21	0.11	0.88	-0.89	2.90	1.19	0.08	0.88	3.16
16	0.30	-0.23	0.14	0.87	-0.80	2.80	1.45	0.16	0.88	3.08

Πίνακας 5.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων για 30 μοίρες εγκάρσια κλίση (heel).

Trim=0.5 meters		Heel=0 degrees		Shiplines Plugin						
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	18163.11	102.91	2.08	4767.57	101.66	555.21	21.18	5669.24	48.87	537.25
5	23080.92	102.64	2.60	4823.56	101.53	450.05	17.95	6064.99	49.44	552.28
6	28052.79	102.42	3.11	4869.87	101.24	380.33	15.94	6456.93	49.92	565.89
7	33075.85	102.20	3.63	4917.75	100.71	332.23	14.65	6852.25	50.41	581.23
8	38156.34	101.95	4.14	4973.41	99.84	298.39	13.83	7257.20	50.98	600.41
9	43302.39	101.63	4.66	5035.77	98.63	273.58	13.31	7675.43	51.62	622.72
10	48522.34	101.23	5.18	5108.14	97.05	255.63	13.02	8111.55	52.36	649.85
11	53816.11	100.74	5.70	5176.88	95.54	240.64	12.87	8547.90	53.06	676.12
12	59167.32	100.22	6.23	5235.59	94.46	227.01	12.83	8972.14	53.66	698.57
13	64574.91	99.70	6.75	5292.32	93.63	215.46	12.88	9393.24	54.25	720.72
14	70033.61	99.20	7.28	5341.13	93.00	204.80	12.99	9811.04	54.75	739.73
15	75537.87	98.73	7.81	5388.15	92.64	195.64	13.15	10228.99	55.23	758.76
16	81086.28	98.31	8.33	5436.45	92.55	187.88	13.37	10648.16	55.72	778.53

Aveva										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4.00	18234.72	102.94	2.09	4763.73	101.68	552.29	21.08	5671.34	48.83	536.51
5.00	23147.37	102.66	2.61	4819.65	101.54	448.18	17.88	6069.89	49.40	551.54
6.00	28111.65	102.44	3.12	4866.35	101.24	379.13	15.90	6467.29	49.88	565.25
7.00	33124.47	102.22	3.64	4915.92	100.68	331.74	14.63	6870.65	50.39	581.18
8.00	38191.69	101.96	4.15	4972.71	99.80	298.29	13.81	7285.48	50.97	600.73
9.00	43320.92	101.63	4.67	5036.45	98.58	273.88	13.30	7712.02	51.62	623.66
10.00	48516.49	101.23	5.19	5101.10	97.13	254.69	13.01	8145.88	52.29	647.32
11.00	53777.12	100.76	5.71	5162.61	95.78	238.68	12.87	8576.44	52.92	669.96
12.00	59097.15	100.26	6.23	5216.73	94.79	224.53	12.83	8995.02	53.47	689.88
13.00	64468.90	99.78	6.75	5263.52	94.07	211.84	12.88	9408.24	53.95	707.05
14.00	69885.52	99.31	7.28	5304.89	93.59	200.60	12.99	9819.26	54.38	722.48
15.00	75343.45	98.89	7.80	5345.11	93.34	191.02	13.15	10229.77	54.79	738.20
16.00	80845.54	98.51	8.32	5392.93	93.39	183.56	13.36	10645.97	55.28	757.58

Σύγκριση										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	-0.39	-0.02	-0.60	0.08	-0.02	0.53	0.52	-0.04	0.08	0.14
5	-0.29	-0.02	-0.49	0.08	-0.01	0.42	0.43	-0.08	0.08	0.13
6	-0.21	-0.02	-0.38	0.07	0.00	0.32	0.34	-0.16	0.07	0.11
7	-0.15	-0.01	-0.30	0.04	0.03	0.15	0.23	-0.27	0.03	0.01
8	-0.09	-0.01	-0.24	0.01	0.05	0.03	0.14	-0.39	0.01	-0.05
9	-0.04	0.00	-0.19	-0.01	0.06	-0.11	0.08	-0.48	-0.01	-0.15
10	0.01	0.00	-0.13	0.14	-0.08	0.38	0.10	-0.42	0.13	0.39
11	0.07	-0.02	-0.06	0.28	-0.25	0.84	0.08	-0.33	0.27	0.91
12	0.12	-0.05	-0.02	0.36	-0.35	1.13	0.07	-0.26	0.36	1.24
13	0.16	-0.08	0.01	0.54	-0.47	1.74	0.04	-0.16	0.55	1.90
14	0.21	-0.12	0.05	0.68	-0.64	2.13	0.09	-0.08	0.67	2.33
15	0.26	-0.16	0.09	0.80	-0.75	2.46	0.12	-0.01	0.79	2.71
16	0.30	-0.20	0.12	0.80	-0.90	2.41	0.13	0.02	0.80	2.69

Πίνακας 5.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για 0.5 μέτρο διαγωγή (trim).



Trim=1 meters		Heel=60 degrees			Shiplines Plugin					
Drafts	isplacemer	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	35062.71	98.60	7.72	3605.46	96.36	298.25	11.16	7120.97	36.96	544.76
5	36913.07	98.49	7.76	3614.76	96.29	286.31	11.03	7372.88	37.05	549.84
6	38767.17	98.38	7.81	3619.97	96.23	274.79	10.91	7621.26	37.10	553.48
7	40622.68	98.28	7.86	3620.25	96.20	263.45	10.80	7867.54	37.11	555.23
8	42476.85	98.19	7.90	3613.86	96.24	251.79	10.70	8110.47	37.04	554.00
9	44325.81	98.11	7.94	3600.81	96.38	239.81	10.61	8349.58	36.91	549.62
10	46166.97	98.05	7.98	3583.63	96.53	228.08	10.52	8586.56	36.73	543.40
11	47998.59	97.99	8.01	3563.80	96.67	216.86	10.45	8822.28	36.53	536.05
12	49819.44	97.95	8.05	3541.62	96.81	206.13	10.37	9056.91	36.30	527.71
13	51628.54	97.91	8.08	3518.04	96.93	196.04	10.31	9290.73	36.06	518.92
14	53425.23	97.88	8.12	3493.13	97.03	186.54	10.25	9523.73	35.80	509.75
15	55208.72	97.85	8.15	3466.59	97.12	177.53	10.19	9755.95	35.53	500.09
16	56978.12	97.83	8.18	3437.99	97.19	168.91	10.14	9987.40	35.24	489.76

Aveva										
Drafts	isplacemer	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4.00	35022.44	98.62	7.72	3602.00	96.46	297.71	11.16	7122.47	36.92	543.12
5.00	36869.88	98.52	7.77	3607.23	96.51	284.72	11.02	7378.83	36.97	546.06
6.00	38719.13	98.42	7.81	3608.42	96.55	272.21	10.90	7628.82	36.99	547.44
7.00	40567.17	98.34	7.86	3602.18	96.69	259.41	10.78	7872.51	36.92	545.72
8.00	42410.46	98.27	7.90	3590.30	96.88	246.72	10.68	8111.20	36.80	541.63
9.00	44246.57	98.22	7.94	3574.68	97.08	234.46	10.58	8347.42	36.64	535.99
10.00	46073.90	98.18	7.97	3555.72	97.27	222.60	10.50	8582.50	36.45	528.80
11.00	47890.85	98.14	8.01	3534.51	97.43	211.34	10.42	8816.64	36.23	520.74
12.00	49696.69	98.12	8.04	3512.42	97.58	200.87	10.35	9049.26	36.00	512.45
13.00	51490.89	98.10	8.07	3489.30	97.70	191.08	10.28	9280.58	35.77	503.90
14.00	53272.99	98.09	8.11	3465.16	97.80	181.89	10.22	9511.06	35.52	495.08
15.00	55042.35	98.08	8.14	3439.41	97.88	173.18	10.16	9740.74	35.25	485.81
16.00	56797.99	98.08	8.16	3411.54	97.93	164.85	10.11	9969.70	34.97	475.91

Σύγκριση										
Drafts	isplacemer	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
4	0.11	-0.02	-0.02	0.10	-0.11	0.19	-0.11	-0.02	0.10	0.30
5	0.12	-0.03	-0.01	0.21	-0.22	0.57	0.11	-0.08	0.22	0.69
6	0.12	-0.04	0.00	0.32	-0.33	0.97	0.38	-0.10	0.31	1.09
7	0.14	-0.05	0.02	0.50	-0.51	1.58	0.67	-0.06	0.51	1.71
8	0.16	-0.08	0.03	0.65	-0.66	2.08	0.88	-0.01	0.65	2.23
9	0.18	-0.10	0.04	0.73	-0.73	2.31	1.01	0.03	0.73	2.48
10	0.20	-0.13	0.06	0.78	-0.76	2.49	1.05	0.05	0.77	2.69
11	0.22	-0.15	0.08	0.82	-0.79	2.64	1.13	0.06	0.82	2.86
12	0.25	-0.18	0.10	0.82	-0.79	2.66	1.20	0.08	0.83	2.89
13	0.27	-0.20	0.11	0.82	-0.79	2.64	1.24	0.11	0.80	2.90
14	0.28	-0.22	0.13	0.80	-0.79	2.61	1.24	0.13	0.79	2.88
15	0.30	-0.24	0.14	0.78	-0.79	2.57	1.25	0.16	0.80	2.85
16	0.32	-0.25	0.15	0.77	-0.76	2.53	1.33	0.18	0.76	2.83

Πίνακας 5.1.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων για 1 μέτρο διαγωγή (trim) και 60 μοίρες εγκάρσια κλίση (heel).

Από τους παραπάνω πίνακες συμπεραίνουμε πως, οι διαφορές μεταξύ των υπολογισμένων μεγεθών ακολουθούν την διαφορά μεταξύ των εκτοπισμάτων(Displacement) ή της επιφάνειας ισάλου( $A_W$ ). Συγκεκριμένα παρατηρούμε:

- πως τα μεγέθη  $LCB, KB$  ακολουθούν την διαφορά του εκτοπίσματος(Displacement) όπως είναι και αναμενόμενο σύμφωνα με τις σχέσεις 2.1.2 και 2.1.3 αντίστοιχα.
- πως τα μεγέθη  $TPC, LCF$  ακολουθούν την διαφορά της επιφάνειας ισάλου( $A_W$ ) όπως είναι και αναμενόμενο σύμφωνα με τις σχέσεις 2.1.5 και 2.1.6 αντίστοιχα.
- πως το μέγεθος  $KMT$  ακολουθεί την διαφορά της επιφάνειας ισάλου( $A_W$ ). Στην περίπτωση που εφαρμόζουμε εγκάρσια κλίση (Heel) παρατηρούμε πως αυξάνεται σημαντικά η διαφορά του μεγέθους αυτού. Αυτό συμβαίνει διότι σύμφωνα με την σχέση 2.1.9, το  $KMT$  υπολογίζεται συνδυαστικά μεταξύ του εκτοπίσματος και της δεύτερης ροπής ισάλου ως προς τον διαμήκη άξονα δια του  $LCF$ . Συνεπώς, η αυξανόμενη αυτή απόκλιση οφείλεται στην αλλαγή της ροπής αδράνειας, λόγω διαφοράς γεωμετρίας της γάστρας, η οποία εκδηλώνεται σε συνδυασμούς παραμέτρων που δίνουν έμφαση στην πρύμνη ή πλώρη. Στην περίπτωση της διαγωγής η διαφορά οφείλεται στην απόκλιση του VCB(ή KB).
- πως τα μεγέθη  $KML, MTC$  ακολουθούν την διαφορά της επιφάνειας ισάλου( $A_W$ ) και έχουν την τάση να αποκλίνουν σημαντικά για μεγάλα βυθίσματα. Αυτό οφείλεται, όπως προκύπτει και από τις σχέσεις 2.1.10, 2.1.11 στο ότι χρησιμοποιούν στους υπολογισμούς τα μεγέθη  $A_W$  και  $LCF$  που ήδη παρουσιάζουν απόκλιση. Σε συνδυασμό λοιπόν, με μια ελαφρώς διαφορετική τιμή της ροπής αδράνειας λόγω γεωμετρίας, εμφανίζεται η διαφορά των μεγεθών αυτών.
- Ως προς τα μεγέθη  $KB, LCF, KMT$  υπάρχει μικρή καθυστέρηση ή διαφοροποίηση σε σχέση με την αλλαγή της διαφοράς των εκτοπισμάτων ή επιφανειών, η οποία οφείλεται στις ροπές που υπολογίζονται για τα μεγέθη αυτά.

Στις περιπτώσεις που υπάρχει εγκάρσια κλίση ή διαγωγή, στα πολύ μικρά ή μεγάλα βυθίσματα παρατηρούμε μεγαλύτερη απόκλιση, λόγω του ότι στις περιπτώσεις αυτές η συνεισφορά της πρύμνης ή της πλώρης είναι μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει διότι οι διαφορές στις γραμμές υπάρχουν κυρίως στα τμήματα που είναι εκτός του παράλληλου τμήματος .

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υδροστατικών υπολογισμών σε ημιτονοειδή και τροχοειδή κυματισμό. Τα βυθίσματα είναι από 6 έως 11 μετρά προκειμένου να μην τέμνεται ο πυθμένας ή το κατάστρωμα από τον κυματισμό και αφορούν ισοβύθιστες καταστάσεις.

	Trim=0 meters	Heel=0 degrees			Shiplines Plugin	Sinusoidal Wave	Height= 9 meters	Length= 187 meters		
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6	24529.90	107.29	3.65	5126.07	96.78	507.29	20.80	6635.52	52.54	660.65
7	29795.22	105.31	4.06	5206.08	95.37	433.82	18.55	7068.45	53.36	684.74
8	35134.23	103.71	4.51	5275.00	94.27	382.33	17.03	7495.36	54.07	709.87
9	40538.08	102.39	4.98	5331.03	93.43	342.11	15.99	7916.06	54.64	730.82
10	45995.03	101.29	5.47	5381.35	92.86	310.30	15.31	8333.61	55.16	749.77
11	51502.72	100.37	5.97	5429.56	92.58	285.00	14.87	8751.33	55.65	768.50
<b>Aveva</b>										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6.00	24486.61	107.32	3.65	5078.48	97.05	499.76	18.79	6665.40	52.05	649.63
7.00	29734.62	105.38	4.05	5156.00	95.68	427.26	16.84	7114.29	52.85	672.93
8.00	35050.41	103.83	4.50	5214.45	94.70	374.27	15.53	7778.89	53.45	693.08
9.00	40421.09	102.57	4.97	5263.58	94.00	333.50	14.68	8002.03	53.95	710.13
10.00	45838.57	101.53	5.45	5306.58	93.55	301.47	14.12	8381.06	54.39	725.61
11.00	51299.68	100.66	5.95	5349.91	93.34	276.44	13.78	8796.51	54.84	742.03
<b>Σύγκριση</b>										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6	0.18	-0.03	0.07	0.93	-0.27	1.50	11.74	-0.45	0.94	1.67
7	0.20	-0.07	0.13	0.96	-0.32	1.53	11.82	-0.65	0.96	1.73
8	0.24	-0.12	0.18	1.15	-0.45	2.13	11.94	-3.78	1.14	2.37
9	0.29	-0.17	0.24	1.27	-0.61	2.55	11.94	-1.09	1.27	2.83
10	0.34	-0.23	0.31	1.39	-0.74	2.90	12.05	-0.57	1.39	3.22
11	0.39	-0.29	0.35	1.47	-0.82	3.07	12.18	-0.52	1.46	3.44

Πίνακας 5.1.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων με ημιτονοειδή κυματισμό, 9 μετρά ύψος και 187 μήκος.

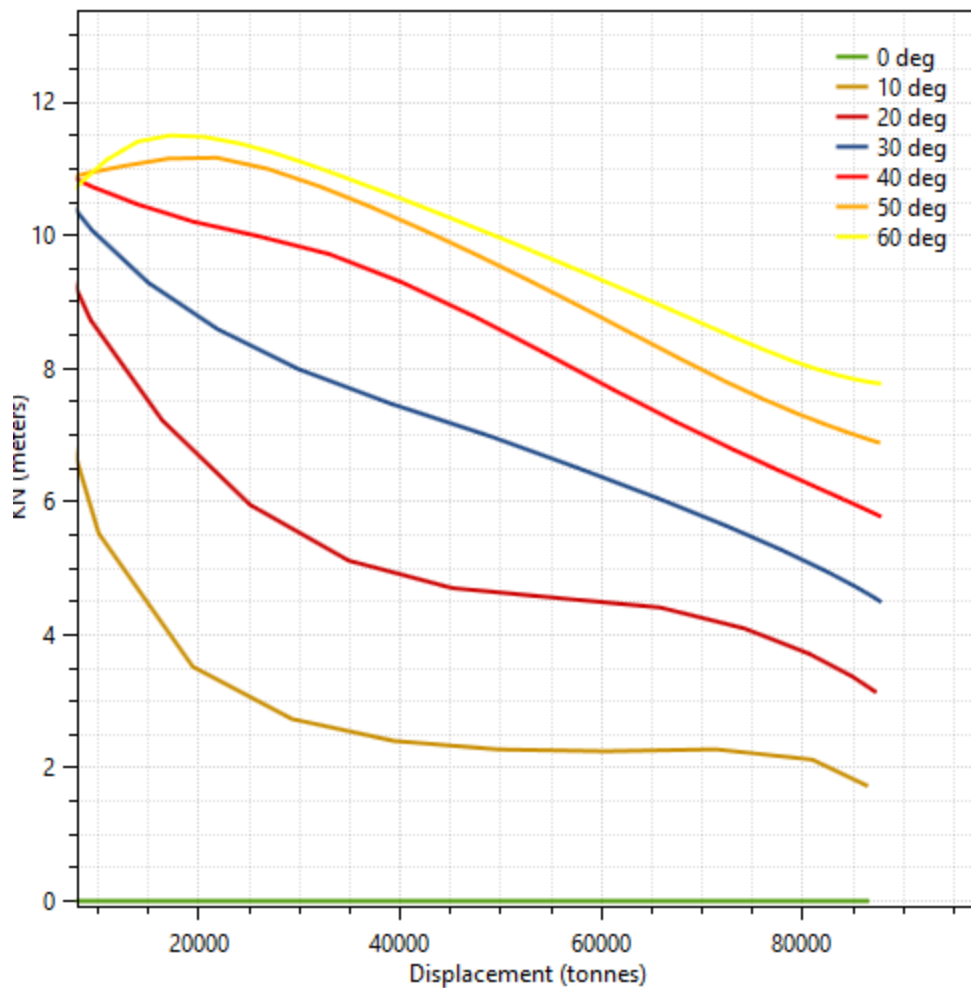
	Trim=0 meters	Heel=0 degrees			Shiplines Plugin	Trochoidal Wave	Height= 9 meters	Length= 187 meters		
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6	22629.62	107.83	3.47	5101.66	97.08	544.98	21.77	6499.66	52.29	655.31
7	27875.57	105.84	3.87	5187.79	95.61	460.52	19.16	6934.90	53.17	680.72
8	33197.47	103.99	4.31	5260.33	94.45	402.45	17.42	7363.62	53.92	706.81
9	38590.67	102.74	4.78	5320.25	93.57	357.96	16.25	7785.75	54.53	728.85
10	44038.37	101.59	5.27	5372.21	92.96	322.97	15.46	8204.09	55.07	748.18
11	49538.37	100.64	5.77	5422.15	92.65	295.43	14.96	8622.28	55.58	767.34
<b>Aveva</b>										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6.00	22586.15	108.29	3.47	5056.45	97.32	536.66	19.73	6529.91	51.83	644.00
7.00	27814.21	106.09	3.86	5138.76	95.90	453.19	17.43	6980.57	52.67	668.32
8.00	33114.17	104.37	4.30	5200.98	94.86	393.70	15.91	7651.33	53.31	689.55
9.00	38472.66	102.99	4.77	5253.26	94.13	348.64	14.93	7910.45	53.85	707.46
10.00	43881.01	101.86	5.26	5298.78	93.64	313.60	14.28	8270.02	54.31	723.56
11.00	49334.79	100.94	5.75	5343.51	93.41	286.37	13.87	8677.24	54.77	740.33
<b>Σύγκριση</b>										
Drafts	Displacement	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	WSA	TPC	MTC
6	0.19	-0.43	-0.03	0.89	-0.25	1.54	11.17	-0.47	0.88	1.73
7	0.22	-0.23	0.06	0.95	-0.30	1.60	11.32	-0.66	0.95	1.82
8	0.25	-0.36	0.15	1.13	-0.44	2.20	11.49	-3.91	1.13	2.44
9	0.31	-0.24	0.22	1.26	-0.60	2.64	11.52	-1.60	1.25	2.93
10	0.36	-0.27	0.30	1.37	-0.74	2.95	11.63	-0.80	1.37	3.29
11	0.41	-0.30	0.37	1.45	-0.83	3.13	11.79	-0.64	1.45	3.52

Πίνακας 5.1.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τροχοειδή κυματισμό με 9 μετρά ύψος και 187 μετρά μήκος.

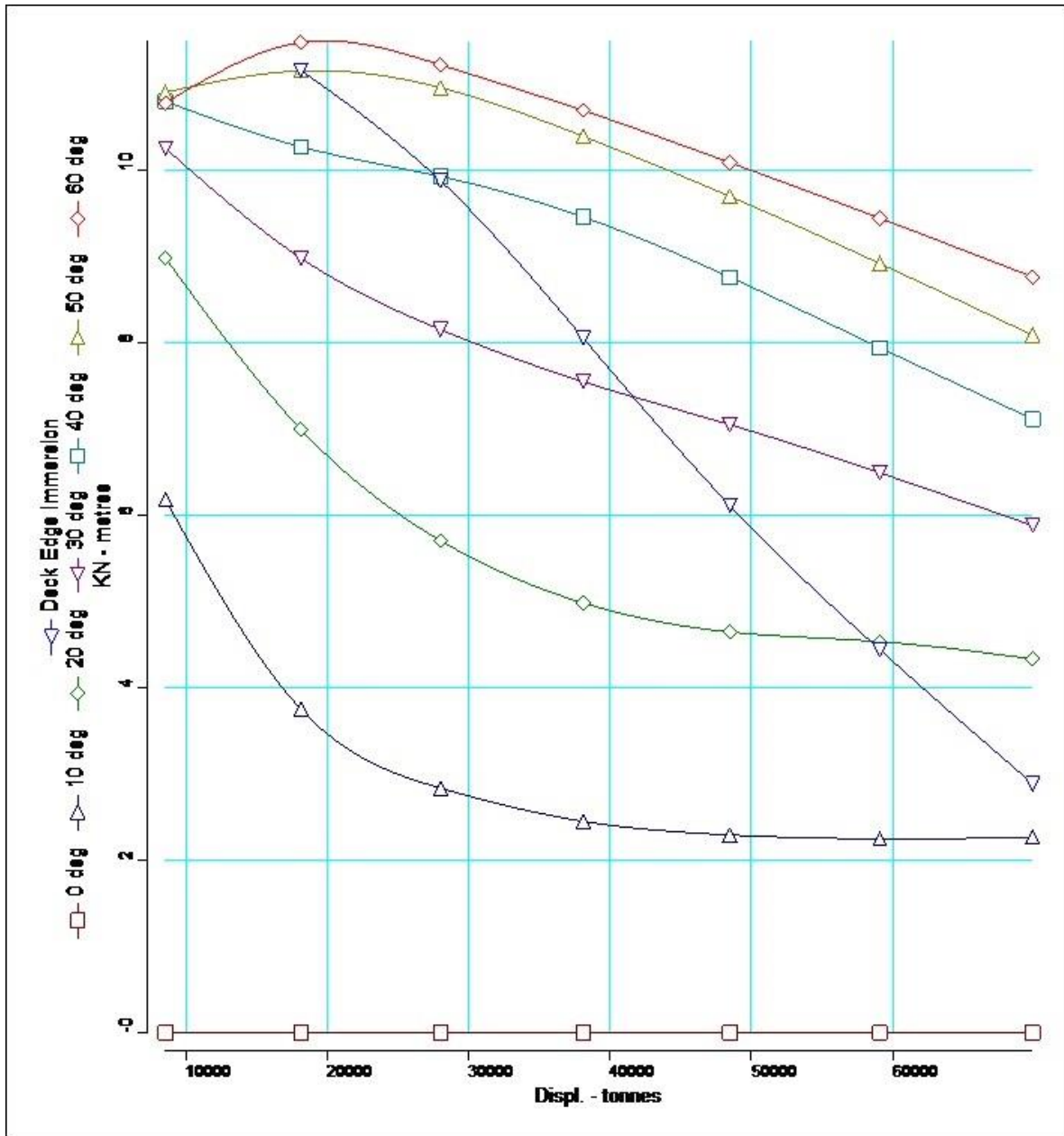
Παρατηρούμε πως όλα τα μεγέθη, πλην του KMT, συνάπτουν με τα συμπεράσματα των υπόλοιπων πινάκων. Ως προς το μέγεθος KMT, η διαφορά σύμφωνα με τις σχέσεις 2.1.7, 2.1.9 οφείλεται στην ροπή αδράνειας της σχέσης 2.1.8.

## 5.2 Διαγράμματα εγκάρσιας κλίσης.

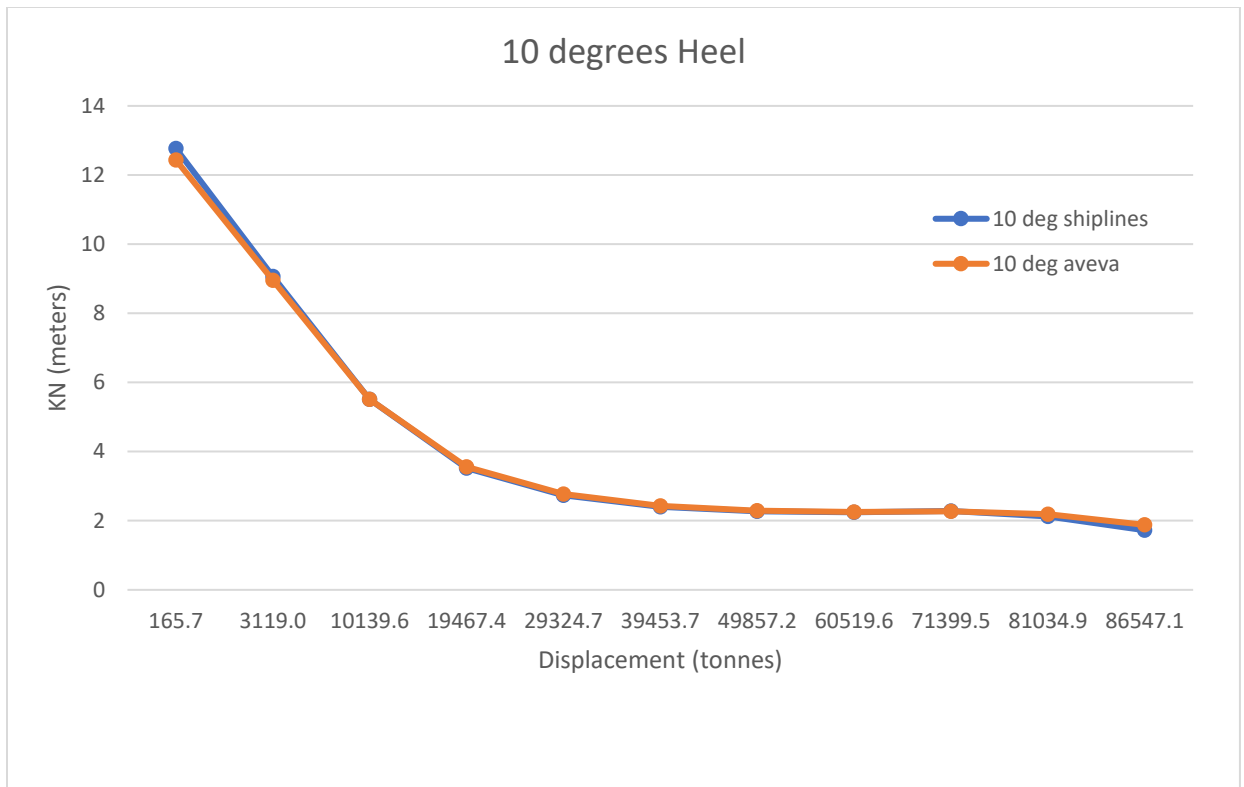
Παρακάτω γίνεται σύγκριση των διαγραμμάτων καμπυλών ευστάθειας που υπολογίστηκαν στο Plugin Shiplines και το λογισμικό Avena marine αντίστοιχα. Αρχικά εμφανίζονται τα διαγράμματα όπως υπολογίζεται από το κάθε πρόγραμμα ενώ στην συνέχεια γίνεται απευθείας σύγκριση των μεγεθών για ορισμένες εγκάρσιες κλίσεις.



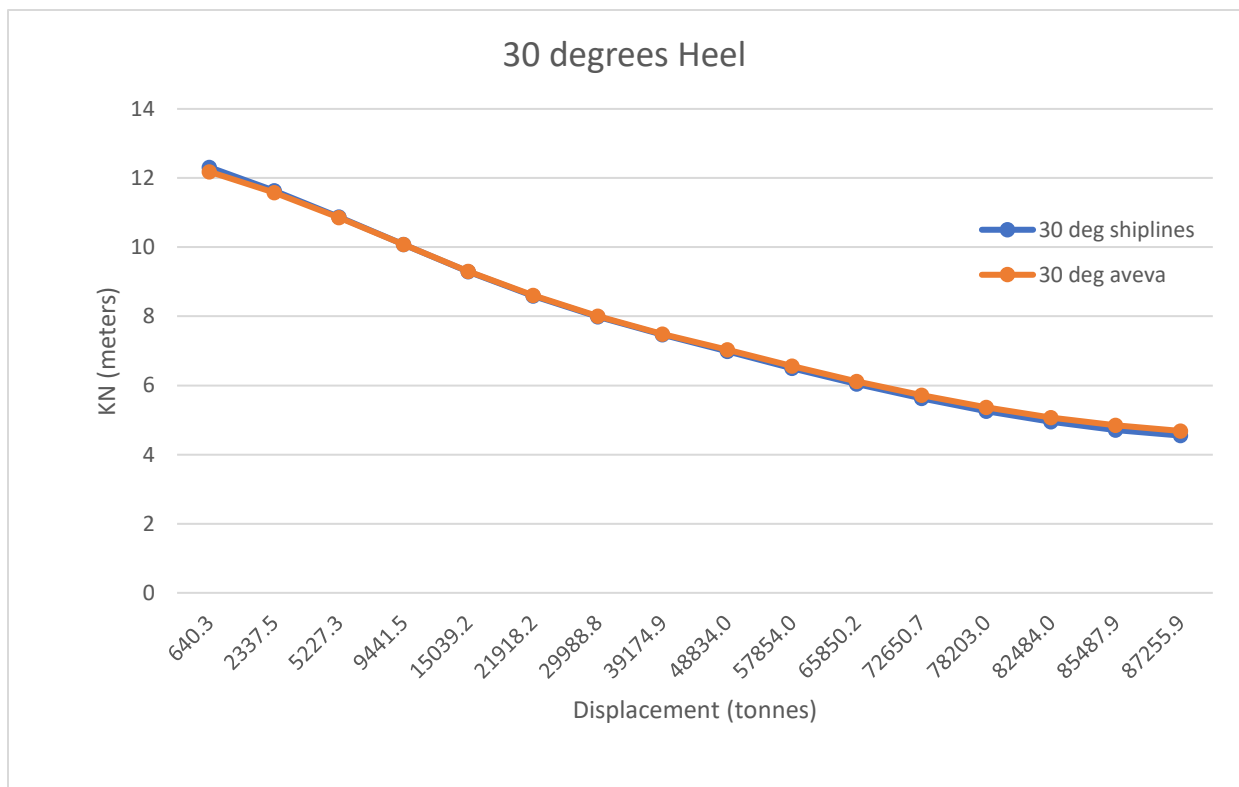
Εικόνα 5.2.1 Καμπύλες ευστάθειας(Cross Curves) του Plugin Shiplines.



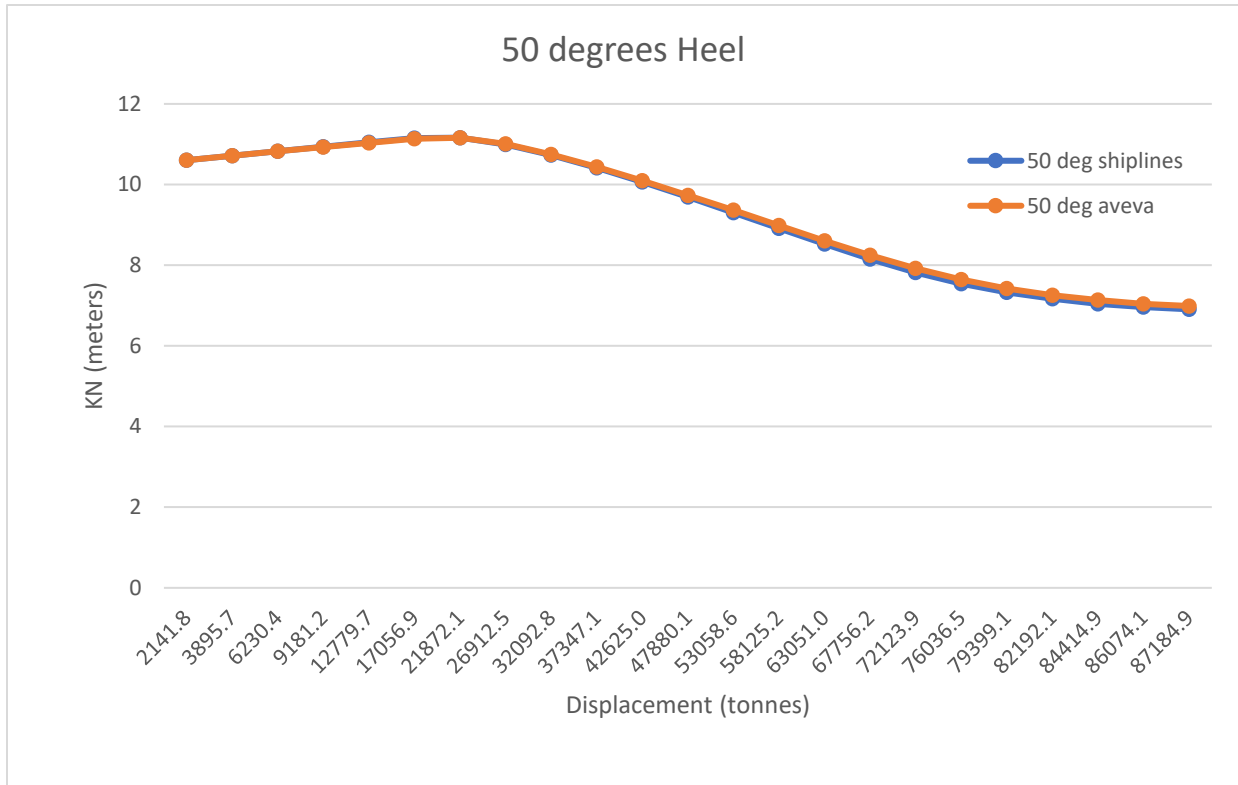
Εικόνα 5.2.2 Καμπύλες ευστάθειας(Cross Curves) του λογισμικού Avena Marine.



Εικόνα 5.2.3 Σύγκριση μοχλοβραχίονα ΚΖ' (ή ΚΝ) για 10 μοίρες εγκάρσιας κλίσης.



Εικόνα 5.2.4 Σύγκριση μοχλοβραχίονα ΚΖ' (ή ΚΝ) για 30 μοίρες εγκάρσιας κλίσης

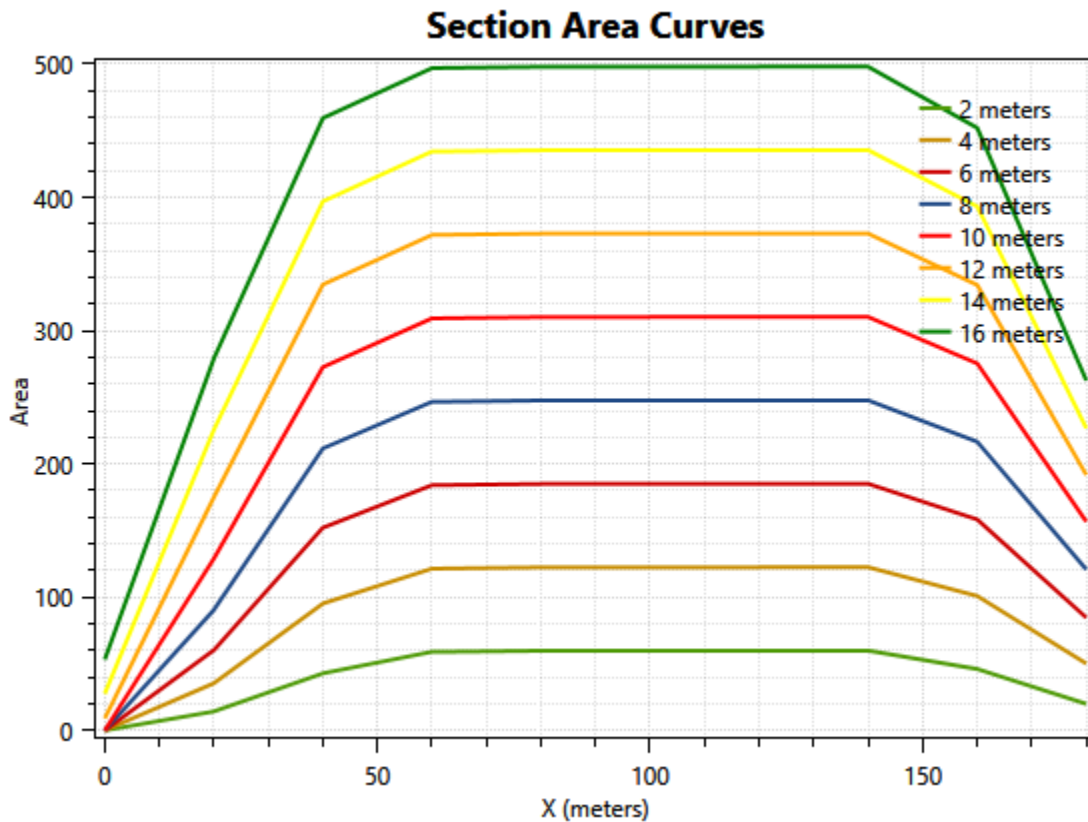


Εικόνα 5.2.5 Σύγκριση μοχλοβραχίονα KZ' (ή KN) για 50 μοίρες εγκάρσιας κλίσης

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα οι τιμές των KN ταυτίζονται με μικρή απόκλιση σε μεγάλα εκτοπίσματα.

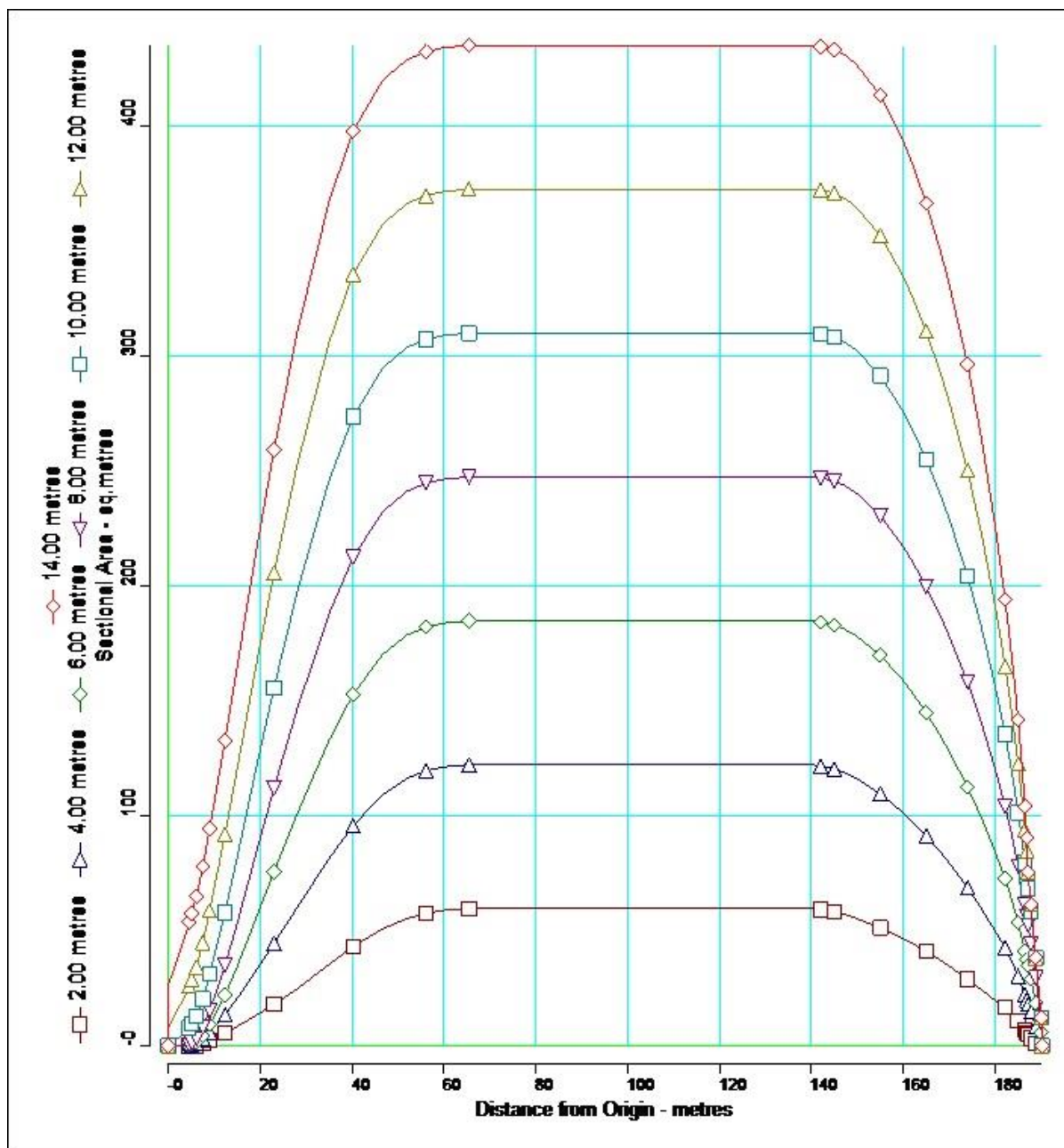
### 5.3 Διαγράμματα επιφανειών νομέων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα επιφανειών νομέων (Section Area Curves) υπολογισμένα στο Plugin Shiplines και το λογισμικό Avena marine αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι κατανομές έχουν όμοιες τιμές και κοινή κλίση. Όποιες αποκλίσεις υπάρχουν οφείλονται αποκλειστικά στην εξομάλυνση των νομέων που πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά σε κάθε πρόγραμμα ή τις διαφορές στις επιφάνειες.



Εικόνα 5.3.1 Καμπύλες εμβαδού νομέων (Section Area Curves) του Plugin Shiplines.





Εικόνα 5.3.2 Καμπύλες εμβαδού νομέων (Section Area Curves) του λογισμικού Avena Marine.

# 6

## Επίλογος

### 6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Το Plugin έχει αναπτυχθεί στο λογισμικό Rhinoceros 3D, το οποίο περιλαμβάνει ολοκληρωμένα πακέτα για την τρισδιάστατη σχεδίαση και μελέτη γεωμετρικών μορφών, δυνατότητες τις οποίες ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει συνδυαστικά με το Plugin ώστε να σχεδιάσει ή να διαμορφώσει όπως επιθυμεί την γάστρα. Το Plugin μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής αποτελεί ολοκληρωμένο πακέτο εργαλείων για την σχεδίαση και μελέτη εξωτερικής επιφάνειας γάστρας πλοίου.

Σημαντικότερο κομμάτι των προσθηκών που υλοποιήθηκαν, αποτελούν τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την πραγματοποίηση των υπολογισμών, καθώς μπορούν γίνουν και κομμάτι ενός ευρύτερου προγράμματος, με δυνατότητες βελτιστοποίησης. Τα εργαλεία αυτά είναι:

- Η αυτόματη κατασκευή επιφάνειας γάστρας ανεξάρτητα από τον χρήστη, με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ναυπηγικές γραμμές.
- Η επεξεργασία της γάστρας και η εξαγωγή τομών αυτής σε οποιαδήποτε κατάσταση θάλασσας .
- Τέλος, η αξιοποίηση των παραπάνω για την παραγωγή υδροστατικών μεγεθών, απαραίτητων κατά την σχεδίαση ή μελέτη ενός πλοίου.

Το Shiplines Plugin μελετάει την γάστρα ως μια ενιαία κλειστή επιφάνεια και αντλεί τα μεγέθη που χρειάζονται για κάθε μελέτη, απευθείας και αποκλειστικά από αυτήν. Όμως, η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μεγάλο αριθμό υπολογισμών, άρα υφίστανται και πρακτικοί ή χρονικοί περιορισμοί ως προς το τι μπορεί να εκτελέσει.

Ο χρήστης στην μορφή που έχει το plugin, μπορεί να σχεδιάζει και παράλληλα να έχει εικόνα διαφόρων συντελεστών ή μεγεθών της γάστρας που μελετά. Ενώ, στο τέλος εάν επιθυμεί, έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει με τα εργαλεία του Rhinoceros, αναλυτικά την επιφάνεια γάστρας επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και έπειτα να την εισάγει στο plugin για την τελική μελέτη.

## 6.1 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα διπλωματική είναι κομμάτι ενός ευρύτερου συνόλου, που αν αναπτυχθεί θα προσφέρει εξαιρετικά χρήσιμες λειτουργίες για την σχεδίαση πλοίων, εξοικονομώντας χρόνο από τον σχεδιαστή αλλά και βελτιώνοντας το αποτέλεσμα. Ορισμένα από τα εργαλεία που δύναται να αναπτυχθούν αναφέρονται παρακάτω.

- Εργαλείο για την τροποποίηση των ναυπηγικών γραμμών ως προς κάποιο γεωμετρικό μέγεθος ή συντελεστή (Πχ αύξηση του συντελεστή  $C_b$  που συνεπάγεται παχύγραμμη σχεδίαση ή μείωση της αντίστασης μειώνοντας το πλάτος του πλοίου)
- Εργαλείο για την κατασκευή, τροποποίηση ή αφαίρεση διαμερισμάτων εντός γάστρας και υπερκατασκευών.
- Εργαλείο μελέτης της πρόωσης του πλοίου ώστε να υπολογίζει την αντίσταση της γάστρας και τον συνδυασμό μηχανής-έλικας.
- Εισαγωγή βάσης δεδομένων ναυπηγικών γραμμών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι εμφανές ότι μπορεί να αναπτυχθεί πρόγραμμα για την προσέγγιση ή βελτιστοποίηση γάστρας πλοίου, με τον χρήστη να ορίζει μόνο τις αρχικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, από μια βάση δεδομένων(απαιτήσεων και τελικό αποτέλεσμα) θα επιλέγει το πλησιέστερο Lines Plan και αξιοποιώντας τα εργαλεία της παρούσας διπλωματικής(κατασκευή επιφανειών και υπολογισμό υδροστατικών μεγεθών) με επαναληπτική διαδικασία θα προσεγγίζει την βέλτιστη σχεδίαση ως προς κάποια μεγέθη(γεωμετρικά χαρακτηριστικά, φορτίο, συντελεστές κλπ.)

# 7

## Βιβλιογραφία

1. Γεώργιος Δ. Τζαμπίρας , Καθηγητής ΕΜΠ ,Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου 1, τόμος Α
2. Γεώργιος Δ. Τζαμπίρας , Καθηγητής ΕΜΠ ,Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου 1, τόμος Β
3. Γεώργιος Δ. Τζαμπίρας , Καθηγητής ΕΜΠ, Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου ΙΙ, Ευστάθεια πλοίου μετά από βλάβη
4. Αθανάσιος Ντάλλας ,Εφαρμογή Σχεδίασης Ναυπηγικών Γραμμών Με Χρήση Του Λογισμικού Rhinoceros 3D