



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΠΛΟΙΟΥ”**



**Φοιτητής: Κωνσταντίνος Νίκας (Α.Μ. 08106014)**  
**Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Τζαμπίρας**

**ΑΘΗΝΑ 2012**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο 'Πειραματική και Αριθμητική διερεύνηση Αντίστασης Δίγαστρου Πλοίου' εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2011-2012, στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Από τη θέση μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου, κ. Γ. Τζαμπίρα, για την επίβλεψη και την καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γ. Ζαραφωνίτη για τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε κάθε φορά που είχα ανάγκη, καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Μπελιμπασάκη για την αξιολόγηση της διπλωματικής.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους Ι. Τραχανά (ΕΤΕΠ), Φ. Κασάπη (ΕΕΔΙΠ) και τον υποψήφιο διδάκτορα Δ. Λιαροκάπη (ΙΔΑΧ) για την διεκπόνηση των πειραματικών μετρήσεων, τον Γ. Μυλωνά (Προτυποποιό, ΙΔΑΧ) για την κατασκευή του προτύπου μοντέλου, τον Δ. Τριπερίνα Διπλ. Ναυπηγό Μηχ. Μηχανικό (ΙΔΑΧ) και την υποψήφια διδάκτορα Δ. Δαμάλα για την καθοδήγηση και ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Σ. Πολύζο για την αναμφισβήτητα πολύτιμη βοήθειά του όσον αφορά τους αριθμητικούς υπολογισμούς με το πρόγραμμα Catamaranf, αλλά και τον Δ. Μουρκογιάννη (Υ/Δ) για την πολύτιμη και ανιδιοτελή συμμετοχή του όσον αφορά τα αποτελέσματα με το πρόγραμμα Shipflow.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b>	
1.1    Συνιστώσες αντίστασης.....	9
1.1.1    Αντίσταση τριβής.....	10
1.1.2    Υπόλοιπη αντίσταση ( $R_R$ ).....	11
1.2    Δίγαστρα σκάφη.....	13
1.3    Παρουσίαση υπό μελέτη σκάφους.....	15
1.3.1    Γεωμετρικά χαρακτηριστικά .....	15
1.3.2    Βολβοειδής πλώρη και πρύμνη.....	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ</b>	
2.1    Εισαγωγή .....	21
2.2    Πειραματική Διάταξη .....	22
2.2.1    Δεξαμενή Πειραμάτων .....	22
2.2.2    Δυναμόμετρο -Αισθητήρες.....	23
2.2.3    Μοντέλο πειραμάτων.....	25
2.3    Προετοιμασία πειραμάτων .....	26
2.3.1    Χάραξη των ισάλων γραμμών .....	26
2.3.2    Τοποθέτηση του μοντέλου στην πειραματική δεξαμενή .....	28
2.3.3    Βαθμονόμηση των οργάνων .....	29
2.4    Εκτέλεση του πειράματος .....	32
2.6    Wave Cuts.....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> - ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	
3.1    Εισαγωγή .....	35
3.2    Αναγωγή αποτελεσμάτων σε κλίμακα πλοίου.....	36
3.2.1    Μέθοδος Froude .....	36
3.2.2    Αριθμητικό παράδειγμα της μεθόδου Froude.....	38
3.3    Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	41
3.3.1    Επίδραση Εκτοπίσματος στην αντίσταση .....	41
3.3.2    Επίδραση λόγου S/L στην αντίσταση .....	46
3.3.3    Επίδραση διαγωγής στην αντίσταση .....	55

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ**

4.1	Εισαγωγή .....	57	
4.2	Αριθμητικοί υπολογισμοί με το πρόγραμμα Caratagan.f.....	59	
4.3	Γεωμετρική αναπαράσταση της γάστρας- Επιλογή πλέγματος.....	61	
4.4	Αριθμητικοί υπολογισμοί με το πρόγραμμα Shipflow .....	77	
4.5	Μέθοδος Hughes.....	78	
4.5.1	Μέθοδος Prohaska .....	78	
4.6	Σύγκριση πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων.....	82	
4.7	Σύγκριση Wave Cuts .....	90	
4.7.1	Wave cuts εξωτερικά των γαστρών .....	92	
4.7.2	Wave cuts εσωτερικά των γαστρών.....	99	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b>			
	Αποτελέσματα προγράμματος Resout .....	103	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b>			
	Διαγράμματα ολικής αντίστασης μοντέλου σε συνάρτηση με τον αριθμό Froude .....	123	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</b>			
	Διαγράμματα προνεύτασμού (pitch) του μοντέλου για την μια και τις δύο γάστρες συναρτήσεως του αριθμού Froude .....	125	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ</b>			
	Διαγράμματα ανύψωσης του κέντρου βάρους του μοντέλου (heave) για την μια και τις δύο γάστρες συναρτήσεως του αριθμού Froude .....	127	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε</b>			
	Διαγράμματα ισχύος ρυμούλκησης [EHP] σε κλίμακα πλοίου συναρτήσεως της ταχύτητας σε κόμβους [kn] .....	129	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ</b>			
	Διαγράμματα για τον υπολογισμό του αδιάστατου συντελεστή k μέσω της μεθόδου Prohaska.....	131	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η</b>			
	Παράδειγμα του αρχείου input file της κατάστασης A3, λόγου S/L=0.256 και ταχύτητας 15 kn .....	136	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ</b>			
	Πίνακας με την πυκνότητα και την κινηματική συνεκτικότητα του γλυκού και θαλασσινού νερού για διάφορες θερμοκρασίες.....	138	
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>			139

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε όλα τα σώματα τα οποία κινούνται μέσα σε ρευστά, όπως για παράδειγμα στο νερό, στην βρεχόμενη επιφάνειά τους ασκούνται δυνάμεις αντίστασης. Για ένα πλοίο το οποίο σε όλη την διάρκεια λειτουργίας του θα βρίσκεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, η μελέτη αυτών των δυνάμεων είναι ίσως το βασικότερο ζήτημα που πρέπει να μελετηθεί. Πληθώρα θεμάτων που απασχολούν τον αρχικό σχεδιασμό του, όπως η μορφή της γάστρας του, το κόστος κατασκευής της, το ωφέλιμο φορτίο, η επιλογή μηχανής και έλικα πρόωσης εξαρτώνται από αυτήν. Επίσης, η αντίσταση του πλοίου επηρεάζει και πληθώρα άλλων θεμάτων, όπως για παράδειγμα το λειτουργικό κόστος. Στην σημερινή εποχή όπου το κόστος κίνησης ολοένα και αυξάνεται, το ζήτημα αυτό αποκτά όλο και μεγαλύτερη βαρύτητα. Οι απαιτούμενοι ναύλοι, σε μεγάλο βαθμό, διαμορφώνονται από τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου.

Στα μονόγαστρα πλοία η σχεδίαση της γάστρας τους εξαρτάται κυρίως από τις ειδικές απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, οι οποίες κατά βάση έχουν σχέση με το είδος, το ειδικό βάρος και τον όγκο που καταλαμβάνει το φορτίο. Το γεγονός αυτό αναγκάζει τον μελετητή να προσαρμόσει την σχεδίαση της γάστρας του πλοίου σύμφωνα με αυτές τις απαιτήσεις.

Σε αντίθετη περίπτωση, στα πλοία διπλής γάστρας οι δύο γάστρες, οι οποίες και εξασφαλίζουν την απαιτούμενη άντωση και ευστάθεια, συνδέονται μέσω μιας υπερυψωμένης κατασκευής, η οποία παρέχει το σύνολο του εκμεταλλεύσιμου όγκου τους. Η σχεδίαση, επομένως, της γάστρας των πλοίων αυτών γίνεται με κύριο στόχο την καλύτερη συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον και φυσικά την όσο το δυνατόν μικρότερη αντίστασή τους. Σημαντικό επίσης ζήτημα προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η απόσταση των γαστρών. Η απόσταση αυτή έχει άμεση σχέση με την αντίσταση του πλοίου, καθώς οι αλληλεπιδράσεις των γαστρών την επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό. Η σωστή επιλογή της παραπάνω απόστασης είναι ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα.

Από τα παραπάνω, συνοψίζοντας, καταλαβαίνουμε την μεγάλη σημασία της μελέτης της αντίστασης και ιδιαίτερα των πλοίων με δύο γάστρες. Επίσης, λόγω της σχετικά σύντομης εισόδου αυτού του τύπου πλοίων στις θαλάσσιες μεταφορές και καθώς οι μελέτες που σχετίζονται με αυτού του είδους πλοία είναι περιορισμένες, κάθε είδους μελέτη προς αυτή την κατεύθυνση είναι σημαντική.

Στην παρούσα διπλωματική έγινε πειραματική και αριθμητική διερεύνηση της αντίστασης ενός δίγαστρου πλοίου σε ήρεμο νερό. Για τον λόγο αυτό εξετάστηκαν πέντε διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης σε τρεις διαφορετικές αποστάσεις γαστρών.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική δεξαμενή του εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), χρησιμοποιώντας μοντέλο δοκιμών κλίμακας 1/24, όμοιο με το πλοίο. Η απόσταση μεταξύ των γαστρών θα εκφράζεται με τον λόγο  $S/L$ , όπου ισούται με τον λόγο της απόστασης των διαμήκων αξόνων συμμετρίας των δύο γαστρών ( $S$ ) προς το μήκος μεταξύ καθέτων του μοντέλου ( $L_{BPmodel}=3.125m$ ). Σε κλίμακα μοντέλου οι αποστάσεις των δύο γαστρών που διερευνήθηκαν ήταν 0.578m, 0.8m και 1m, οι οποίες αντιστοιχούν σε λόγους  $S/L$  ίσους με 0.185, 0.256 και 0.320.

Η αριθμητική διερεύνηση έγινε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα catamaranf, γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) από τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Τζαμπίρα, καθώς και το πρόγραμμα Shipflow.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αρχικά, γίνεται περιγραφή των συνιστωσών αντίστασης των πλοίων. Στην συνέχεια αναφέρονται οι πιο διαδεδομένοι τύποι πλοίων διπλής γάστρας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους ως προς την αντίσταση. Τέλος, παρουσιάζεται ο υδροστατικός πίνακας του υπό μελέτη πλοίου για τα βυθίσματα που θα μελετηθούν στην συνέχεια μαζί με σχέδιο όψεων του πλοίου και σχολιάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σχεδίασης του παρόντος πλοίου. Αναφερόμαστε, δηλαδή, κυρίως στην ύπαρξη πρωαίου και πρυμναίου βολβού, κάτι που δεν είναι ευρέως διαδεδομένο σε αυτού του είδους τα πλοία.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική εγκατάσταση, τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και η πειραματική διαδικασία. Προκειμένου να έχουμε την όσο το δυνατό καλύτερη εικόνα της ελεύθερης επιφάνειας που σχηματίζεται κατά την κίνηση του σκάφους στο ήρεμο νερό, έγιναν πειράματα προσδιορισμού του ύψους κύματος του πλοίου (wave cuts). Η προετοιμασία τους περιγράφεται στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων μέσω της υπόθεσης Froude και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Ο σχολιασμός τους γίνεται εξετάζοντας, πρώτον την επίδραση του εκτοπίσματος στην αντίσταση, δεύτερον την επίδραση του λόγου S/L στην αντίσταση και τρίτον την επίδραση της διαγωγής.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται ο αριθμητικός προσδιορισμός της αντίστασης με τους κώδικες που αναφέραμε. Επίσης, γίνεται σύγκριση των αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων. Η παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων του ύψους κύματος της ελεύθερης επιφάνειας δεν έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο και έτσι στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου γίνεται από κοινού ο σχολιασμός τόσο των πειραματικών όσο και των αριθμητικών αποτελεσμάτων, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

Τέλος στα παραρτήματα Α-Θ παρουσιάζονται κατά αντιστοιχία τα εξής: τα αποτελέσματα του προγράμματος Resout, τα διαγράμματα ολικής αντίστασης, προνευτασμού (pitch), δυναμικής ανύψωσης κέντρου βάρους (heave), ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου, υπολογισμού του συντελεστή k μέσω της μεθόδου Prohaska, υπόδειγμα του αρχείου input file που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα Catamaranf και τέλος πίνακας με την πυκνότητα και τις κινηματική συνεκτικότητα σε διάφορες θερμοκρασίες.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1 Συνιστώσες αντίστασης

Η αντίσταση του πλοίου οφείλεται σε απώλειες ενέργειας λόγω επαφής της επιφάνειάς του με το περιβάλλον ρευστό. Κατά την κίνησή του στο νερό, σε κάθε σημείο στην βρεχόμενη επιφάνειά του, αναπτύσσονται υδροδυναμικές πιέσεις και τάσεις. Οι πιέσεις και τάσεις αυτές μπορούν να αναλυθούν σε επαπτομενικές τάσεις, δηλαδή εκείνες που δρουν επαπτομενικά επί της βρεχόμενης επιφάνειας του σώματος και σε ορθές πιέσεις, οι οποίες αντίστοιχα δρουν κάθετα στην επιφάνεια του σώματος. Η ολοκλήρωση των επαπτομενικών τάσεων γύρω από την βρεχόμενη επιφάνεια οδηγεί σε μια οριζόντια συνιστώσα η οποία λέγεται αντίσταση τριβής ( $R_F$ ). Η ολοκλήρωση των ορθών πιέσεων οδηγεί σε μια οριζόντια συνιστώσα η οποία ονομάζεται υπόλοιπη αντίσταση ( $R_R$ ).

Το άθροισμα της αντίστασης τριβής και της υπόλοιπης αντίστασης ονομάζεται ολική αντίσταση. Σημαντικό είναι επίσης να αναφέρουμε ότι σε περίπτωση που η γάστρα δεν έχει παρελκόμενα τότε η αντίστασή της καλείται αντίσταση γυμνής γάστρας (bare hull) ή ρυμούλκησης (towing). Στην ειδική περίπτωση γυμνής γάστρας με έλικα, καλείται αντίσταση πρόωσης και η αντίστασή της είναι λίγο προσαυξημένη σε σχέση με την προηγούμενη, λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους.

Η ολική αντίσταση ενός πλοίου κινούμενου στην επιφάνεια ήρεμου νερού προκύπτει ως εξής:

$$R_T = R_F + R_R$$

ή

$$R_T = C_T * \rho * V^2 * S / 2$$

Όπου:

$C_T$  : αδιάστατος συντελεστής ολικής αντίστασης

$V$  [m/s] : η ταχύτητα του σκάφους

$S$  [m<sup>2</sup>] : η βρεχόμενη επιφάνεια του σκάφους

$\rho$  [kr\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] : η πυκνότητα του νερού

Ο αριθμός Reynolds, από φυσικής απόψεως, αντιπροσωπεύει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις συνεκτικές δυνάμεις. Ορίζεται ως:

$$R_n = \frac{V * L}{\nu}$$

Ο αριθμός Froude είναι ο λόγος των αδρανειακών δυνάμεων προς τις βαρυτικές και σχετίζεται με τη δημιουργία κυματισμών. Ορίζεται ως:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L_{WL}}}$$

Όπου:

$L_{WL}$  [m] : μήκος ισάλου του πλοίου [m]

$\nu$  [m<sup>2</sup>/s] : κινηματικό ιξώδες νερού

$g$  [m/s<sup>2</sup>] : επιτάχυνση της βαρύτητας

### 1.1.1 Αντίσταση τριβής

Η αντίσταση τριβής, όπως έχουμε αναφέρει, είναι αποτέλεσμα της κίνησης ενός σώματος σε ένα ρευστό. Στην περίπτωση ιδανικού μη συνεκτικού ρευστού, είναι μηδέν. Σε αντίθετη περίπτωση (συνεκτικό ρευστό) ισούται με την ολοκλήρωση των εφαπτομενικών τάσεων περί την βρεχόμενη επιφάνεια του σώματος. Κατά την κίνηση του σκάφους, τα υλικά σημεία του ρευστού τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια του σώματος έχουν ίδια ταχύτητα με το κινούμενο σώμα, ενώ σε απόσταση μακριά από το σώμα είναι ανεπηρέαστα. Προκύπτει επομένως σημαντική πτώση της ταχύτητας του ρευστού προχωρώντας από το σώμα προς τα πλάγια. Οι πιο σημαντικές αλλαγές ταχύτητας παρουσιάζονται κοντά στο σώμα, στο λεγόμενο οριακό στρώμα (boundary layer). Το οριακό στρώμα στην περιοχή της πλήρης είναι λεπτόγραμμο και γίνεται βαθμιαία παχύτερο όσο κινούμαστε προς την πρύμνη του.

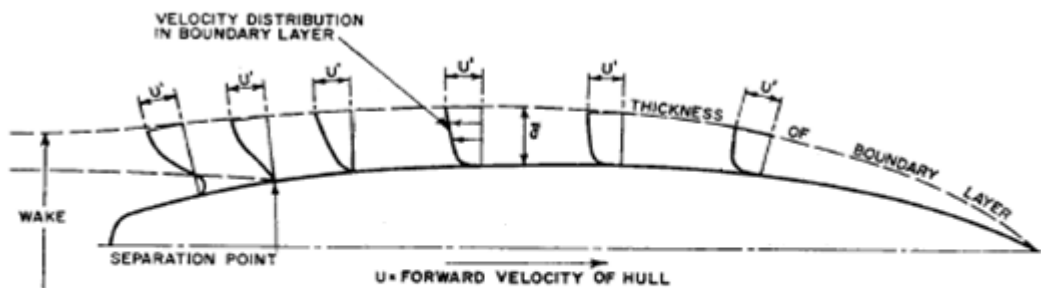


Fig. 26 Schematic diagram of boundary-layer flow

$U'$  = Velocity at any point on hull in potential flow without viscosity  
The velocity in boundary layer approaches  $U'$  asymptotically, and the thickness of layer,  $\delta$ , is usually measured to the point where the velocity is  $0.99 U'$

Σχήμα 1: Ροή γύρω από γάστρα, οριακό στρώμα, αποκόλληση, αναστροφή ροής στην περιοχή της αποκόλλησης

Ο Froude πειραματικά έδειξε ότι η αντίσταση τριβής ενός πλοίου αντιστοιχεί περίπου με την αντίσταση μιας επίπεδης πλάκας με την ίδια βρεχόμενη επιφάνεια  $S$ . Η International Towing Tank Conference (ITTC), στην σύνοδό της στην Μαδρίτη το 1957, διατύπωσε έναν κοινά αποδεκτό αδιάστατο συντελεστή υπολογισμού της αντίστασης τριβής:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}, \quad \text{όπου } Rn: \quad \text{αριθμός Reynolds}$$

Με βάση τον παραπάνω συντελεστή, η αντίσταση τριβής υπολογίζεται ως:

$$R_F = \frac{C_F * \rho * V^2 * S}{2}$$

Όπου:

$C_F$  : αδιάστατος συντελεστής αντίστασης τριβής

$V$  [m/s] : η ταχύτητα του πλοίου

$S$  [m<sup>2</sup>] : η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου

$\rho$  [kr\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] : η πυκνότητα του νερού

### 1.1.2 Υπόλοιπη αντίσταση ( $R_R$ )

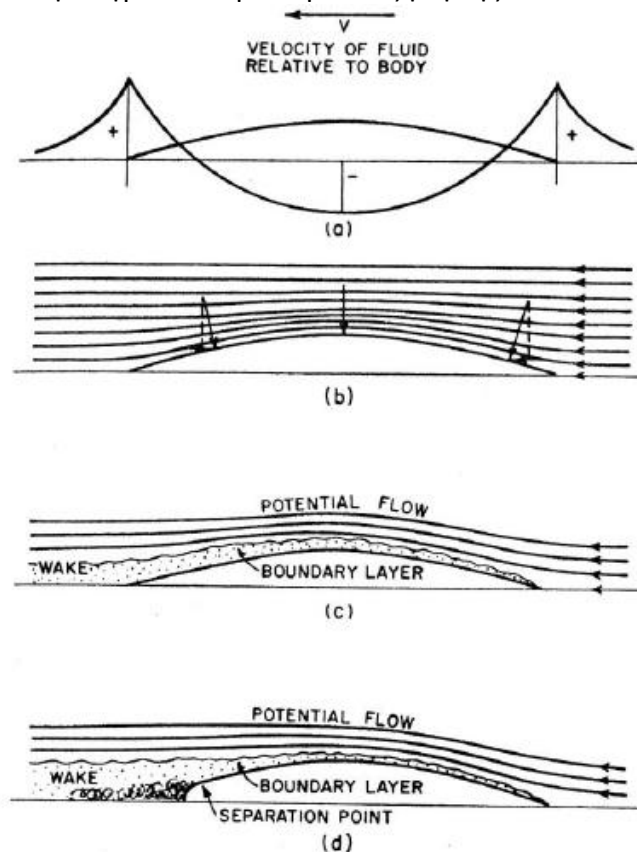
Οι κύριες συνιστώσες της υπόλοιπης αντίστασης είναι η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας ( $R_{PV}$ ) και η αντίσταση κυματισμού ( $R_W$ ).

#### 1.1.2.1 Αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας ( $R_{PV}$ )

Η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας οφείλεται στην αλλαγή κατανομής της πίεσης στο βυθισμένο τμήμα της γάστρας λόγω της ύπαρξης συνεκτικότητας.

Ένα σώμα βρίσκεται κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ιδανικό (μη συνεκτικό) ρευστό. Η κατανομή πίεσης για σταθερή ταχύτητα, σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli, θα είναι υψηλότερη στην πρύμνη και στην πλώρη και χαμηλότερη στην μέση του πλοίου (Σχήμα 2a). Αφού το σώμα βρίσκεται πλήρως βυθισμένο, δεν υπάρχει δημιουργία κυματισμών και η αντίστοιχη συνιστώσα είναι μηδέν (παράδοξο d' Alembert, σχήμα 2b).

Σε πραγματικά υγρά η κατανομή πίεσης δεν είναι ομοιόμορφη και ιδιαίτερα στην περιοχή της πρύμνης η ισορροπία διαταράσσεται. Η ύπαρξη συνεκτικότητας επομένως οδηγεί στην ανάπτυξη αντίστασης πίεσης λόγω συνεκτικότητας (Σχήμα 2c). Σε σημεία στα οποία η γεωμετρία του σώματος αλλάζει απότομα ή είναι παχύγγραμο στο πίσω μέρος, η ροή του νερού μπορεί να αποκολληθεί (Σχήμα 2d). Αυτή η περίπτωση οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της αντίστασης.

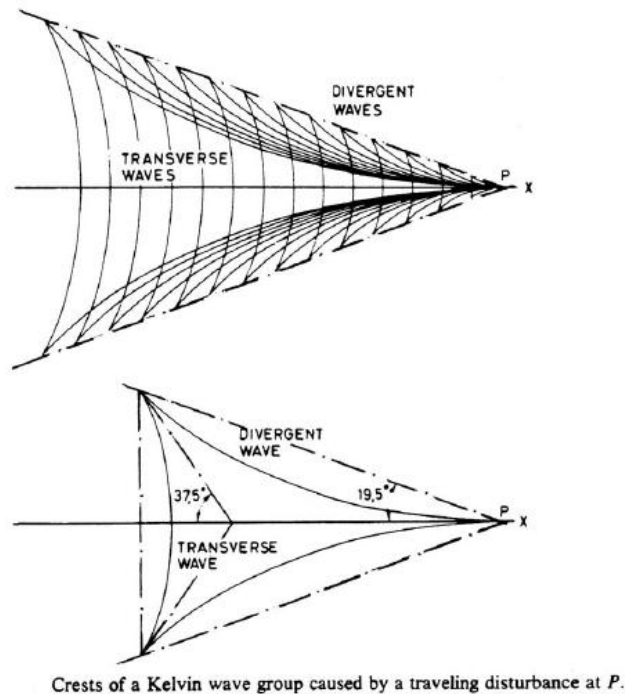


Παραδείγματα ροών γύρω από ένα σώμα βυθισμένο σε άπειρο ρευστό.

Σχήμα 2

### 1.1.2.2 Αντίσταση Κυματισμού ( $R_w$ )

Ένα σώμα το οποίο κινείται στην ελεύθερη επιφάνεια ενός ρευστού προκαλεί διαταραχή στην επιφάνειά του, δημιουργώντας κύματα. Η αντίσταση κυματισμού μπορεί να θεωρηθεί ότι ισούται με την ενέργεια που απορροφούν τα δημιουργούμενα κύματα. Η πρώτη θεωρητική προσπάθεια μελέτης του φαινομένου έγινε από τον Lord Kelvin τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Σύμφωνα με τον Lord Kelvin, οι κυματισμοί ενός πλοίου μπορούν να περιγραφούν θεωρώντας ότι ένα κινούμενο σώμα έχει ένα μοναδικό σημείο πίεσης που κινείται με ταχύτητα ίδια με αυτή του πλοίου. Δημιουργείται έτσι ένα σύστημα εγκάρσιων κυματισμών (transverse) μαζί με μια σειρά αποκλινόντων κυματισμών (divergent) που απλώνονται πίσω από το σημείο πίεσης. Ο συνολικός σχηματισμός κυμάτων βρίσκεται ως επί το πλείστον μέσα σε δύο ευθείες γραμμές που ξεκινούν από το σημείο πίεσης και σχηματίζουν γωνίες περίπου 19.5 μοιρών ως προς τη διεύθυνση της κίνησης (σχήμα 3).



Σχήμα 3

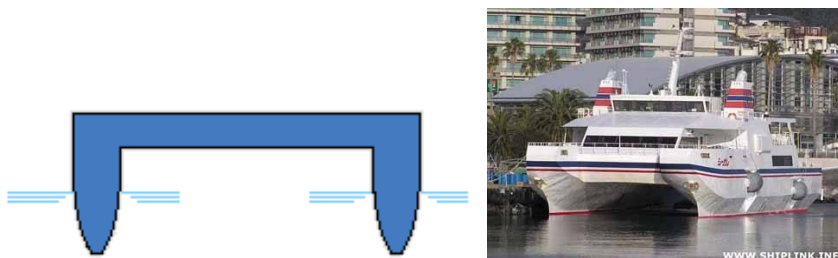
Ο ακριβής υπολογισμός της αντίστασης κυματισμού δεν είναι εύκολος. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες υπολογισμού της με την βοήθεια της χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή και ειδικών προγραμμάτων. Τα αποτελέσματά τους, αν και μπορεί να διαφέρουν από τα πραγματικά μεγέθη, είναι πολύ χρήσιμα κατά την διαδικασία αρχικής σχεδίασης ενός πλοίου. Προσφέρουν στον μελετητή ένα μέτρο σύγκρισης της αντίστασης, δίνοντάς του την δυνατότητα βελτιστοποίησης της μορφής της γάστρας.

Τέλος, αναφέρουμε ότι η χρήση πρωραίου βολβού και πρυμναίου επιδρά πολλές φορές θετικά στην μείωση της αντίστασης. Το παρόν θέμα αναλύεται εκτενέστερα στην συνέχεια.

## 1.2 Δίγαστρα σκάφη

Τα δίγαστρα σκάφη (catamaran, εικόνα 1) χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετές δεκαετίες στη σχεδίαση τόσο ταχυπλόων όσο και ιστιοπλοϊκών σκαφών. Τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των ναυπηγήσεων αυτού του τύπου πλοίων έχει αυξηθεί κατά πολύ, λόγω της αυξημένης ζήτησης σε θαλάσσιες μεταφορές αλλά και των νέων μελετών που έχουν βοηθήσει στην βελτίωση των χαρακτηριστικών τους. Είναι εντυπωσιακός ο αυξημένος αριθμός ναυπηγήσεων των τελευταίων χρόνων. Αναφέρεται ότι το 2003 παραδόθηκαν 49 και το 2006 παραδόθηκαν 48 νέα δίγαστρα σκάφη, αριθμός αρκετά υψηλός σε σχέση με προηγούμενες χρονιές. Το μέγεθός τους συνεχώς και αυξάνεται, με αποτέλεσμα νέα πλοία να έχουν μήκος πάνω από 110 m και εκτόπισμα πάνω από 1600 tones.

Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτών των σκαφών είναι το μεγάλο τους πλάτος σε σχέση με το μήκος τους. Λόγω της μεγάλης επιφάνειας καταστρώματος, τα δίγαστρα σκάφη είναι κατάλληλη για μεταφορά επιβατών και οχημάτων. Σε σύγκριση με ένα σκάφος μονής γάστρας και ίδιου εκτοπίσματος, η επιφάνεια καταστρώματος είναι 20% με 40% μεγαλύτερη. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι ο περιορισμένος διατοιχισμός τους (roll) αλλά και η καλή τους ευστάθεια, η οποία επιτρέπει την δραστηριότητά τους σε ανοικτές θάλασσες κάτω από άσχημες καιρικές συνθήκες. Το χαρακτηριστικό αυτό οφείλεται στις μεγάλες τιμές ροπών αδράνειας των δύο γαστρών, που καθιστούν τα δίγαστρα σταθερά και περιορίζουν κατά πολύ τις γωνιακές επιταχύνσεις που προκαλούν φαινόμενα έντονου διατοιχισμού.



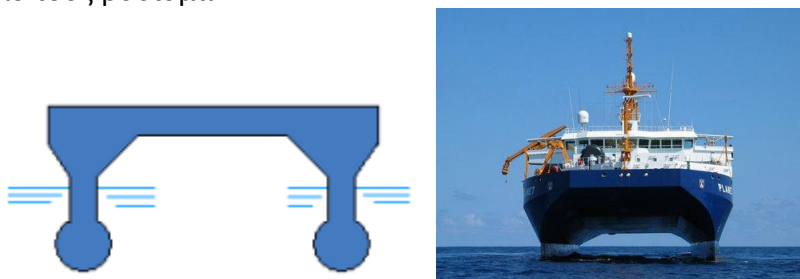
Εικόνα 1: Πλοίο Catamaran

Η αντίσταση ενός δίγαστρου σκάφους εξαρτάται κυρίως από τρεις παραμέτρους, δηλαδή το λόγο της βρεχόμενης επιφάνειας προς το εκτόπισμα  $WS/V^{2/3}$ , το λόγο λυγηρότητας  $L/V^{1/3}$  και το λόγο της απόστασης των δύο γαστρών προς το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου ( $S/L$ ).

Ο λόγος της βρεχόμενης επιφάνειας σε σχέση με άλλα σκάφη είναι σχετικά υψηλός. Για αυτό το λόγο τα δίγαστρα σκάφη έχουν υψηλή αντίσταση σε μικρές ταχύτητες ( $Fr < 0,35$ ) όπου η αντίσταση τριβής κυριαρχεί. Στις υψηλότερες ταχύτητες (με ογκομετρικό βαθμό Froude  $F_v=4,6$ ) και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή έναρξης της ολίσθησης η αντίσταση του δίγαστρου σκάφους είναι μειωμένη λόγω των μικρών γωνιών διαγωγής, σε αντίθεση με μια συμβατική γάστρα η οποία σε αυτές τις ταχύτητες λειτουργεί σε πολύ μικρές γωνίες διαγωγής. Για  $F_v=6,0$  η αντίσταση του δίγαστρου σκάφους είναι μειωμένη κατά 30% ως προς το αντίστοιχο μονόγαστρο, ενώ για  $F_v=7,0$  η διαφορά φτάνει το 45%.

Μια άλλη παράμετρος, η οποία όπως αναφέρθηκε παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίσταση ενός δίγαστρου σκάφους, είναι η απόσταση των γαστρών (ή αλλιώς λόγος S/L). Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι κάθε μια από τις δύο γάστρες ονομάζεται ημιγάστρα (demihull) και μπορεί να είναι συμμετρική (symmetrical), ασύμμετρη (asymmetrical) ή πλήρως ασύμμετρη (wall sided). Ο λόγος S/L των γαστρών σχετίζεται άμεσα με την αλληλεπίδρασή τους. Η αλληλεπίδραση αυτή συνίσταται στην υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών που δημιουργούνται από τις δύο ημιγάστρες και στη μεταβολή του πεδίου ροής γύρω από την κάθε ημιγάστρα λόγω της παρουσίας της άλλης.

Ένας τύπος δίγαστρων πλοίων, ο οποίος εμφανίζει ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την αντίστασή του, είναι τα πλοία SWATH (εικόνα 2). Τα πλοία αυτά χαρακτηρίζονται από δύο βυθισμένες κυλινδρικές γάστρες οι οποίες συνδέονται με το κατάστρωμα, το οποίο έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με δύο λεπτόγραμμα υποστηρίγματα (struts). Λόγω της πολύ μικρής ισάλου επιφάνειας αλλά και της βύθισης του εκτοπίσματος μακριά από την ελεύθερη επιφάνεια, εξασφαλίζουν εξαιρετική συμπεριφορά σε κυματισμούς. Τα πλοία αυτά δεν μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες, καθώς η μεγάλη βρεχόμενη επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή αντίσταση τριβής. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι η ευαισθησία σε φαινόμενα προνευτασμού (pitch), αλλά και το μεγάλο τους βύθισμα.



Εικόνα 2: Πλοίο SWATH

Τέλος, ένας άλλος τύπος δίγαστρων είναι τα wave piercing catamaran (εικόνα 3), των οποίων το κύριο πλεονέκτημα είναι η καλή συμπεριφορά σε κυματισμούς αλλά και σε προνευτασμό. Τα πλοία αυτά έχουν πολύ οξείες γάστρες με μειωμένο εκτόπισμα στο πρωραίο μέρος. Όταν το πλοίο συναντήσει ένα κύμα, η έλλειψη εκτοπίσματος έχει ως αποτέλεσμα το σκάφος να διαπερνά το κύμα και όχι να ακολουθεί την ελεύθερη επιφάνειά του, με άμεση συνέπεια η αντίσταση κυματισμού του να είναι μειωμένη. Ως μειονέκτημα αναφέρουμε ότι η έλλειψη άνωσης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε περίπτωση τρικυμιώδους θάλασσας.



Εικόνα 3: Πλοίο Wave piercing catamaran



## 1.3 Παρουσίαση υπό μελέτη σκάφους

### 1.3.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Το πλοίο που μελετήθηκε είναι catamaran με μήκος μεταξύ καθέτων 75m, πλάτους μονής γάστρας 7.13m και βυθίσματος σχεδίασης 5 m. Η υπηρεσιακή ταχύτητα είναι 15 kn. Πειράματα έγιναν σε πέντε εκτοπίσματα. Τα τρία από αυτά ήταν σε ισοβύθιστη κατάσταση και για την συνέχεια θα αναφέρονται ως A1,A2,A3, (η κατάσταση A1 αντιστοιχεί στο μικρότερο εκτόπισμα και η A3 στο μεγαλύτερο), ενώ τα υπόλοιπα 2 με διαγωγή και θα αναφέρονται ως B3 και C2. Η κατάσταση B3 έχει διαγωγή 1 μέτρο πρύμνηθεν με εκτόπισμα ίδιο με την A3, ενώ η κατάσταση C2 έχει διαγωγή 0.5 μέτρα πρύμνηθεν με εκτόπισμα ίδιο με αυτό της A2. Ο υδροστατικός πίνακας για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, τόσο για την μια γάστρα (demihull) όσο και για τις δύο (twin hull), είναι ο εξής:

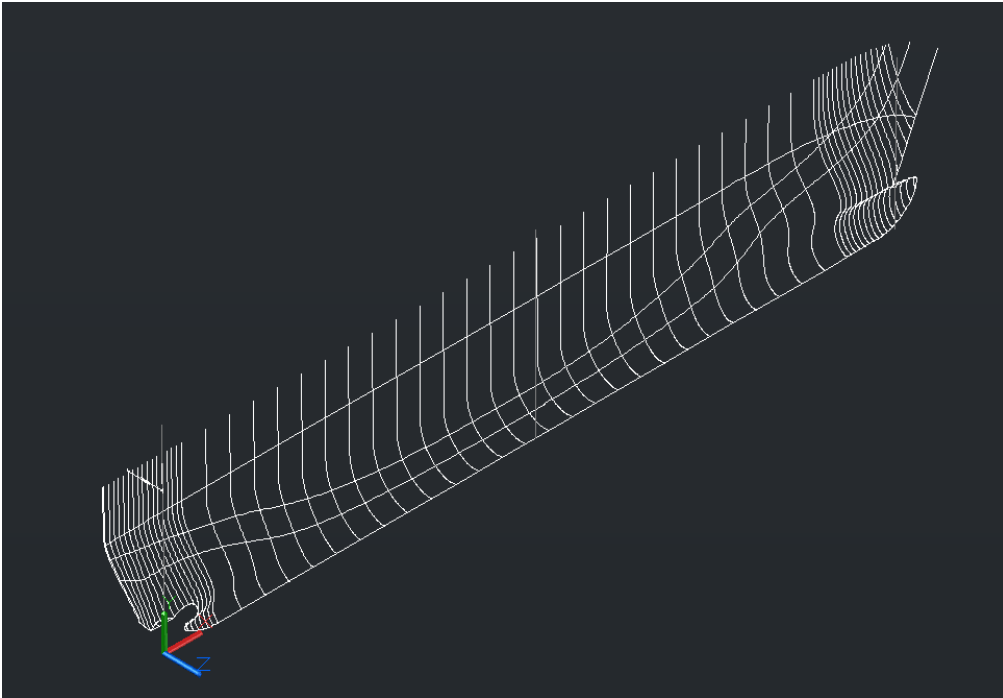
Hydrostatic Table												
Demihull Ship Scale												
A/A	Trim (m)	T(m)	DISP(t)	VOLM(m <sup>3</sup> )	Ta (m)	Tf (m)	LCB(m)	LCA(m)	WSA(m <sup>2</sup> )	Lwl(m)	Loa (m)	Bwl (m)
A1	0	3,5	1010,3	978,49	3,499	3,499	38,773	36,75	717,5	79,42	79,42	7,13
A2	0	3,874	1158,38	1122,315	3,873	3,873	38,448	35,68	783	77,94	79,733	7,13
A3	0	4,472	1405,205	1362,135	4,472	4,472	37,888	34,93	881,5	77,6	79,899	7,13
B3	-0,5	4,472	1405,205	1362,14	4,703	4,203	37,235	34,47	881	77,48	79,900	7,130
C2	-1	3,874	1158,38	1122,335	4,348	3,348	36,961	35,45	778,5	79,900	79,900	7,130

Twin hull Ship Scale												
A/A	Trim (m)	T(m)	DISP(t)	VOLM(m <sup>3</sup> )	Ta (m)	Tf (m)	LCB(m)	LCA(m)	WSA(m <sup>2</sup> )	Lwl(m)	Loa (m)	Bwl (m)
A1	0	3,5	2020,6	1956,98	3,499	3,499	38,773	36,75	1435	79,42	79,42	7,13
A2	0	3,874	2316,76	2244,63	3,873	3,873	38,448	35,68	1566	77,94	79,733	7,13
A3	0	4,472	2810,41	2724,27	4,472	4,472	37,888	34,93	1763	77,6	79,899	7,13
B3	-0,5	4,472	2810,41	2724,28	4,703	4,203	37,235	34,47	1762	77,48	79,9	7,13
C2	-1	3,874	2316,76	2244,71	4,348	3,348	36,961	35,45	1557	79,9	79,9	7,13

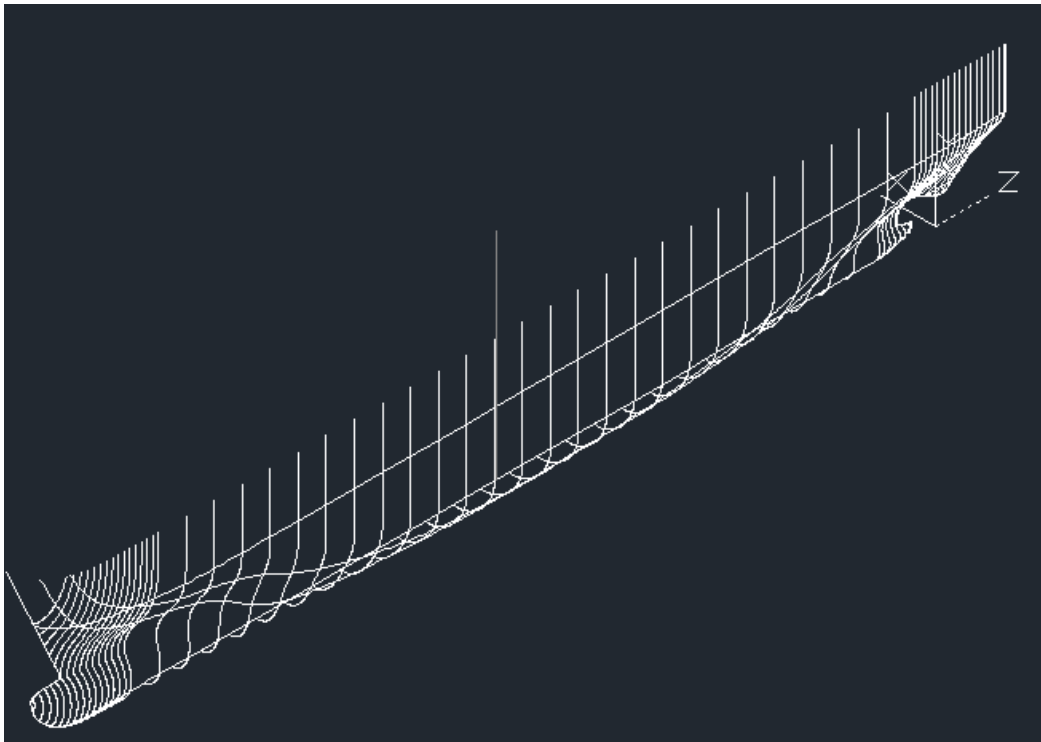
Πίνακας 1: Υδροστατικός πίνακας υπό μελέτη καταστάσεων φόρτωσης σε κλίμακα πλοίου

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται διάφορες όψεις του πλοίου και το προφίλ της γάστρας του πλοίου με χαραγμένες τις παραπάνω ισάλους. Παρατηρούμε ότι η ίσαλος γραμμή στην κατάσταση A1 αφήνει έξω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού το πάνω μέρος του βολβού στην πλώρη, ενώ στην πρύμνη τον καθρέφτη. Στην κατάσταση A2 όλος ο βολβός είναι βυθισμένος, ενώ ο καθρέφτης παραμένει έξω από την επιφάνεια του νερού και στην κατάσταση A3 ο βολβός και το κάτω μέρος του καθρέφτη είναι βυθισμένοι. Όσον αφορά τις καταστάσεις με διαγωγή (B3, C2) και στις δύο το κάτω μέρος του καθρέφτη είναι βυθισμένο, με διαφορά όσον αφορά τον βολβό. Στην πρώτη ο βολβός είναι τελείως βυθισμένος ενώ στην δεύτερη όχι.

Η ημιγάστρα του υπό μελέτη πλοίου από διάφορες όψεις είναι η εξής:



Εικόνα 4: Τρισδιάστατη όψη 1 του πλοίου

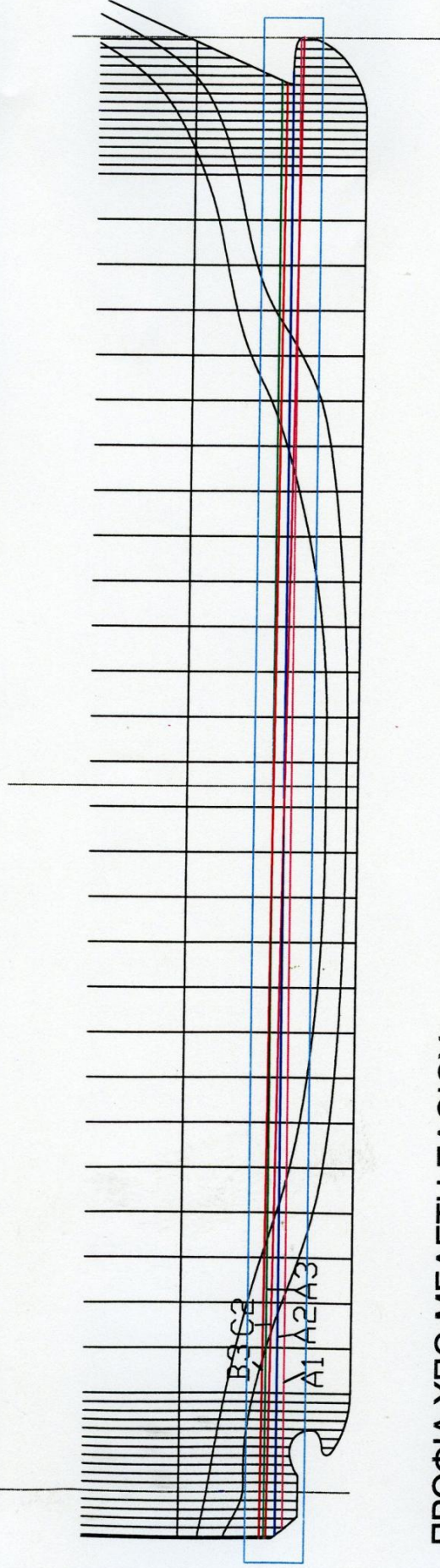
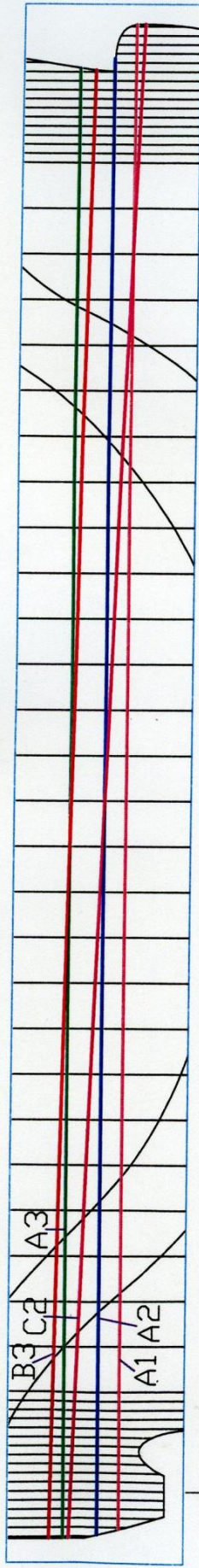


Εικόνα 5: Τρισδιάστατη όψη 2 του πλοίου



# ΜΕΓΕΝΘΥΝΣΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΣΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 3 ΦΟΡΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ

(Για την περιοχή αυτή δεν ισχύει η κλίμακα του σχεδίου)



## ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΧΕΔΙΟΥ  $\frac{1}{300}$

- Κατάσταση Α1: Καφέ χρώμα
- Κατάσταση Α2: Μπλε χρώμα
- Κατάσταση Α3: Πράσινο χρώμα
- Κατάσταση C2: Ροζ χρώμα
- Κατάσταση Β3: Κόκκινο χρώμα



### 1.3.2 Βολβοειδής πλώρη και πρύμνη

Παρατηρώντας το προφίλ της ημιγάστρας του πλοίου, γίνεται αμέσως αισθητό ότι σε σχέση με τα συνηθισμένα *catamaran*, στο υπό μελέτη υπάρχει βολβός τόσο στην πλώρη του όσο και στην πρύμνη του.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ύπαρξη βολβού στα πλοία είναι ευρέως διαδεδομένη. Πρώτος ανακάλυψε τα θετικά αποτελέσματα της ύπαρξης του βολβού ο D.W.Taylor. Αναπτύσσοντας γραμμές για την συστηματική σειρά του, έχοντας πατρικές εκκίνες του HMS *Leviathan*, παρατήρησε ότι η μορφή της πλώρης του η οποία προεξείχε στο κατώτερο μέρος έπαιζε σημαντικό ρόλο στην καλή συμπεριφορά του. Στην συνέχεια κατέβασε την προεξοχή της πλώρης ακόμα πιο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια και της έδωσε βολβοειδή μορφή. Μια τέτοια 'βολβοειδή πλώρη' ενσωματώθηκε στο πολεμικό πλοίο USS *Delaware* με θετικά αποτελέσματα. Αργότερα, ο Saunders (1957, Vol. I, p.368 και 1938-41 pt.2) και ο Havelock (1928), κάνοντας πειράματα σε βυθισμένη σφαίρα μέσα σε ομοιόμορφο ρεύμα, υπολόγισαν τη μορφή των επιφανειακών κυματισμών και διαπίστωσαν ότι πίσω από την σφαίρα ήταν μια κοιλάδα κύματος. Κατέληξαν, επομένως, στο συμπέρασμα ότι η παρουσία της στο πρωαίο τμήμα της γάστρας των πλοίων θα μπορεί να εξουδετερώσει μερικώς τους κυματισμούς που προκαλούνται από την γάστρα του πλοίου.

Ο Wigley (1935-36), βασιζόμενος στην παραπάνω μελέτη, κατέληξε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1) Το εύρος ταχυτήτων στις οποίες η παρουσία ενός βολβού είναι πλεονέκτημα είναι εκείνες που αντιστοιχούν σε  $F_n=0,24-0,57$  περίπου.
- 2) Με εξαίρεση αν οι γραμμές ενός πλοίου είναι εξαιρετικά κοίλες, η καλύτερη θέση για το βολβό είναι στο κέντρο και με την μύτη του να προεξέχει από την γάστρα.
- 3) Ο βολβός πρέπει να εκτείνεται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερου μήκους και μεγαλύτερου πλάτους και να συνδέεται ομαλά με τις γραμμές της γάστρας.
- 4) Το πάνω μέρος του βολβού δεν πρέπει να πλησιάζει την ελεύθερη επιφάνεια.

Νεότερες έρευνες έχουν επιβεβαιώσει ότι ένας προεξέχων βολβός παίζει σημαντικό ρόλο στην υδροδυναμική του πλοίου. Σε πολλές περιπτώσεις προστίθεται βολβός και στην πρύμνη. Ένα πλοίο με βολβό στην πλώρη και στην πρύμνη απαιτεί λιγότερη δύναμη ρυμούλκησης από ένα όμοιο πλοίο με κανονική πλώρη και πρύμνη. Ο προεξέχων βολβός, όπως έχουμε πει και παραπάνω, παίζει σημαντικό ρόλο στην υδροδυναμική του πλοίου. Δημιουργώντας μια ομαλή ροή γύρω από την γάστρα του πλοίου, μπορούμε να πούμε ότι προσφέρει μείωση ακόμα και στην αντίσταση τριβής του πλοίου. Η αποτελεσματικότητα του βολβού έχει σχέση με την σχεδιάσή του, δηλαδή με το μέγεθος, τη θέση και τη μορφή του.

Παράδειγμα μιας έρευνας η οποία επιβεβαιώνει τους παραπάνω ισχυρισμούς είναι αυτή του Y. Balasubramanyam και R. Natarajan από το πολυτεχνείο της Ινδίας. Σε αυτή την έρευνα έγιναν πειράματα αντίστασης σε δύο τύπους γάστρας *catamaran*. Ο τύπος (A) είχε γάστρα χωρίς διαμόρφωση βολβού στην πλώρη και στην πρύμνη και ο άλλος τύπος (B) έχει γάστρα με διαμόρφωση

βολβού στην πλώρη και στην πρύμνη. Ο τύπος A και B παρουσιάζονται στις φωτογραφίες παρακάτω:



Ordinary bow



Skeg

(a) Hull configuration-1



Bulbous stern



Bulbous bow

(b) Hull configuration-2

Τα πειράματα αντίστασης αυτού του μοντέλου έδειξαν ότι στην υπηρεσιακή ταχύτητα των 17 kn η αντίσταση ήταν λιγότερη στην γάστρα τύπου (B), δηλαδή αυτή με βολβό στην πλώρη και στην πρύμνη. Αυτή η μείωση, όπως αναφέρεται, οφείλεται κυρίως στην αλλαγή της μορφής της γάστρας στην πλώρη και στην πρύμνη.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της αντίστασης του πλοίου, κάνοντας πειράματα με μοντέλο γεωμετρικά όμοιο με το πλοίο, κλίμακας 1/24. Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην ειδική δεξαμενή που διαθέτει το εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Αρχικά πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης στην μια από τις δύο γάστρες του Catamaran και στη συνέχεια και στις δύο γάστρες του. Τα πειράματα αντίστασης έγιναν σε 5 καταστάσεις φόρτωσης, των οποίων το υδροστατικό διάγραμμα παρουσιάζεται στη συνέχεια, και σε ένα εύρος ταχυτήτων σε κλίμακα πλοίου από 3 έως 22 kn. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται στη πρώτη στήλη η ταχύτητα του πλοίου σε κόμβους [kn], στην δεύτερη στήλη η ταχύτητα του μοντέλου σε [m/s] και στην τρίτη στήλη η ταχύτητα σε αριθμούς Froude. Οι αριθμοί Froude υπολογίστηκαν με βάση το μήκος ισάλου της κατάστασης A3 ( $L_{WLA3}=3.23\text{m}$ ).

Ταχύτητα πλοίου Vs [kn]	Ταχύτητα μοντέλου Vm [m/s]	Αριθμοί Froude [Fn]
3	0.315	0.056
4	0.42	0.075
5	0.525	0.093
6	0.63	0.112
7	0.735	0.131
8	0.84	0.149
9	0.945	0.168
10	1.05	0.186
11	1.155	0.205
12	1.26	0.224
13	1.365	0.242
14	1.47	0.261
15	1.575	0.280
16	1.68	0.298
17	1.785	0.317
18	1.89	0.336
19	1.995	0.354
20	2.1	0.373
21	2.205	0.392
22	2.31	0.410

Πίνακας 1: Υπό μελέτη ταχύτητες σε κλίμακα πλοίου, μοντέλου και αριθμούς Froude

## 2.2 Πειραματική Διάταξη

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ο εξειδικευμένος εξοπλισμός που διαθέτει το εργαστήριο. Πρόκειται κυρίως για: α) την δεξαμενή πειραμάτων και το φορείο, β) το δυναμόμετρο και τους αισθητήρες και γ) το μοντέλο πειραμάτων.

### 2.2.1 Δεξαμενή Πειραμάτων

Η δεξαμενή πειραμάτων έχει ωφέλιμο μήκος 91 m, πλάτος 4.56 m και 3 m βάθος. Διαθέτει κινούμενο φορείο τοποθετημένο σε ράγες, ικανό για ρυμούλκηση μοντέλων πλοίων μέχρι και 5.2 m/sec. Πάνω στο φορείο τοποθετείται όλος ο αναγκαίος εξοπλισμός που απαιτείται όσον αφορά υπολογιστές και άλλα μετρητικά όργανα. Επίσης, υπάρχει χώρος παρακολούθησης των πειραμάτων παρέχοντας οπτική επαφή του μοντέλου από όλες τις μεριές. Στο πίσω μέρος του φορείου υπάρχει μηχανισμός, ο οποίος αποτελείται από μεταλλική επίπεδη επιφάνεια σε γωνία σε σχέση με την επιφάνεια του νερού (σιδερώστρα) και η οποία, μετά το τέλος του εκάστοτε πειράματος και μέχρι την επιστροφή του φορείου στην θέση εκκίνησης, κατεβαίνει μέχρι την επιφάνεια του νερού με σκοπό την απόσβεση των πρυμναίων κυματισμών που δημιουργούνται από ανάκλασή τους στα τοιχώματα της δεξαμενής.

Στο ένα άκρο της δεξαμενής υπάρχει εγκατάσταση αναπαραγωγής αρμονικών και τυχαίων κυματισμών (κυματιστήρας). Αποτελείται από πτερύγιο ανοξείδωτου χάλυβα πλάτους 4.56 m και ύψους 2m, εδρασμένο σε βάθρο χάλυβα ύψους 1.30 m από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το πτερύγιο κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ισχύος 15KW. Το νερό αντλείται από την πίσω μεριά του πτερυγίου πριν και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Το σύστημα αναπαραγωγής κυματισμών δεν χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα, καθώς τα πειράματα που διεξήχθησαν έγιναν σε ήρεμο νερό.

Στο απέναντι άκρο υπάρχει κατάλληλα διαμορφωμένη κεκλιμένη ακτή μήκους 11.1m για την απορρόφηση των κυματισμών και τον περιορισμό των ανακλάσεων (αποσβεστήρας).



Εικόνα 1: Πειραματική δεξαμενή ΕΝΘΥ ΕΜΠ

### 2.2.2 Δυναμόμετρο -Αισθητήρες

Το δυναμόμετρο (εικόνα 2) είναι απαραίτητο για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Βρίσκεται πακτωμένο πάνω στο φορείο και είναι υπεύθυνο για την μέτρηση της απόκρισης του μοντέλου στις διάφορες κινήσεις και την μέτρηση της αντίστασής του. Συγκεκριμένα, αποτελείται από μια γέφυρα Wheatstone για την μέτρηση της αντίστασης, ένα ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση του προνευτασμού (pitch) και ένα πηνίο για την μέτρηση των κάθετων κινήσεων (heave).

Το δυναμόμετρο αποτελείται από δύο μέρη: Ένα σταθερό κατά την διάρκεια των πειραμάτων και ένα κινητό, το οποίο μπορεί να εκτελεί απειροστά μικρές κινήσεις ως προς τον διαμήκη άξονα της δεξαμενής. Μέσω αυτών των πολύ μικρών κινήσεων η γέφυρα Wheatstone μετράει την αντίσταση. Το βάρος φόρτισης του οργάνου πάνω στο μοντέλο είναι 7,360 kg.

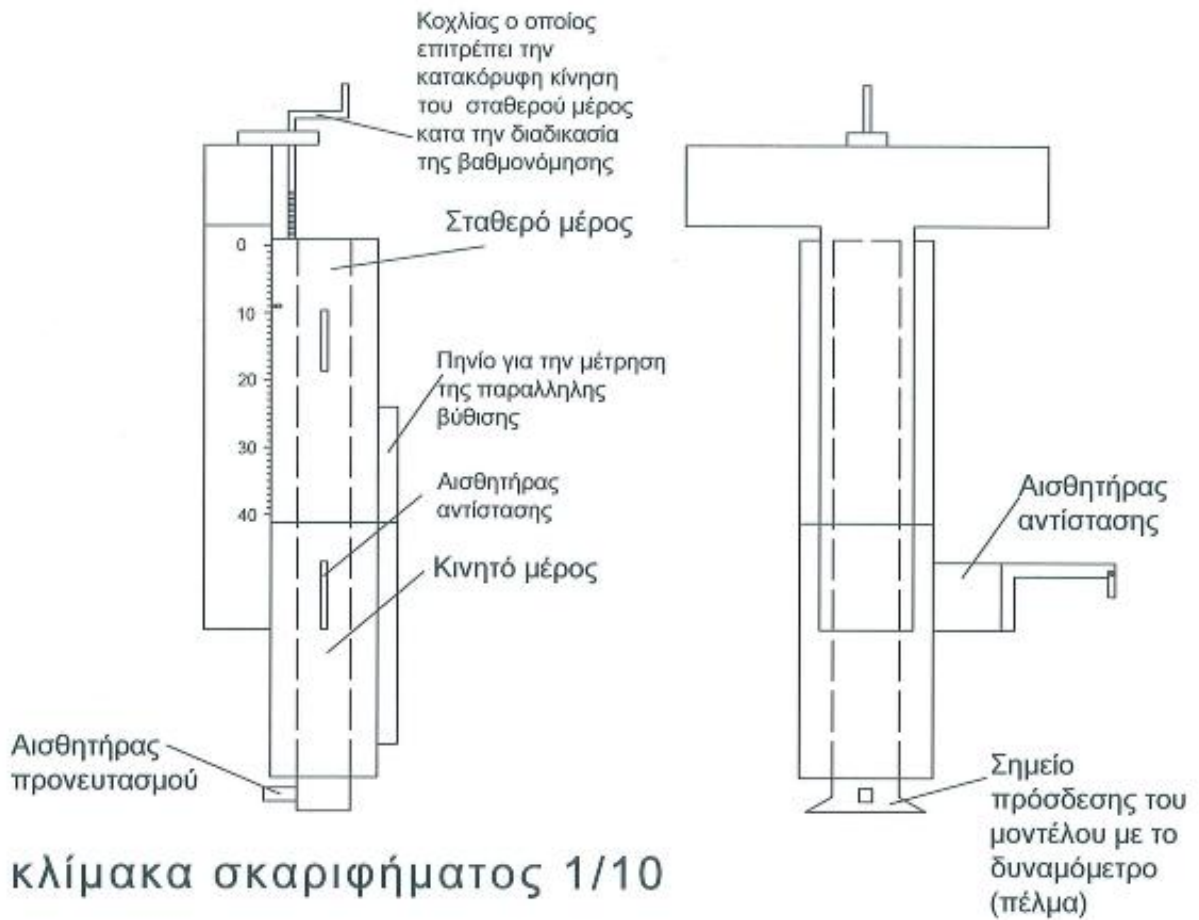
Το σταθερό μέρος του οργάνου έχει την δυνατότητα, μέσω ενός κοχλία στο πάνω μέρος του, να μετακινείται κατακόρυφα. Αυτό είναι απαραίτητο κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης όπως θα εξηγηθεί στην συνέχεια.

Στο κέντρο των δύο αυτών μερών υπάρχει εσοχή, στην οποία άξονας, ο οποίος στο κάτω του μέρος είναι προσδεδεμένος στο μοντέλο, έχει την δυνατότητα να ακολουθεί τις κινήσεις του μοντέλου στην κατακόρυφη διεύθυνση (heave). Οι αποκρίσεις των κινήσεων αυτών καταγράφονται μέσω ενός πηνίου.

Το σημείο πρόσδεσης του μοντέλου με το δυναμόμετρο είναι ικανό να κινείται ανάλογα με τον προνευτασμό του μοντέλου (pitch). Οι αποκρίσεις αυτές μετρούνται με ιδικό ποτενσιόμετρο. Στα πειράματα όμως και με τις δύο γάστρες χρησιμοποιούνταν ξεχωριστός αισθητήρας για την μέτρηση του προνευτασμού, ο οποίος ήταν τοποθετημένος σε μια από τις δυο γάστρες του μοντέλου. Για τον λόγο αυτό στο σημείο πρόσδεσης με το μοντέλο τοποθετούνταν σφήνες βάρους 0,5kg, ώστε στο σημείο αυτό να μην είναι δυνατή η κίνηση σε αυτή την διεύθυνση.



Εικόνα 2: Δυναμόμετρο πειραμάτων



Σχήμα 1: Σκαρίφημα δυναμόμετρου με τους αισθητήρες (πλάγια όψη αριστερά, μπροστά όψη δεξιά)



### 2.2.3 Μοντέλο πειραμάτων

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το NTUA 208/10, το οποίο κατασκευάστηκε στο προτυποποιείο του εργαστηρίου. Το υλικό κατασκευής του ήταν το ξύλο και το χρώμα του άσπρο. Το μοντέλο ήταν υπό κλίμακα 1/24 ως προς το υπό μελέτη πλοίο. Οι παρακάτω συντελεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να γίνει αναγωγή των διαφόρων μεγεθών σε κλίμακα πλοίου.

#### SCALING FACTORS

Length	$\lambda = 24.000$
Area	$\lambda^2 = 576.000$
Volume	$\lambda^3 = 13824.000$
Displacement	$1.025 \lambda^3 = 14169.600$
Speed	$\lambda^{0.5} = 4.890$

Το υδροστατικό διάγραμμα του μοντέλου στις υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης είναι το εξής:

Hydrostatic Table												
Demihull Model Scale												
A/A	Trim (m)	T(m)	DISP(t)	VOLM(m <sup>3</sup> )	Ta (m)	Tf (m)	LCB(m)	LCA(m)	WSA(m <sup>2</sup> )	Lwl(m)	Loa (m)	Bwl (m)
A1	0	0,145833	71,30053	0,07078197	0,14579167	0,145792	1,615542	1,53125	1,2456597	3,309167	3,309167	0,297083
A2	0	0,161417	81,75107	0,08118598	0,161375	0,161375	1,602	1,486667	1,359375	3,2475	3,322208	0,297083
A3	0	0,186333	99,17041	0,09853407	0,18633333	0,186333	1,578667	1,455417	1,5303819	3,233333	3,329125	0,297083
B3	-0,5	0,186333	99,17041	0,09853443	0,19595833	0,175125	1,551458	1,43625	1,5295139	3,228333	3,329	0,297
C2	-1	0,161417	81,75107	0,08118743	0,18116667	0,1395	1,540042	1,477083	1,3515625	3,329	3,329	0,297

Twin hull Model Scale												
A/A	Trim (m)	T(m)	DISP(t)	VOLM(m <sup>3</sup> )	Ta (m)	Tf (m)	LCB(m)	LCA(m)	WSA(m <sup>2</sup> )	Lwl(m)	Loa (m)	Bwl (m)
A1	0	0,145833	142,6011	0,14156395	0,14579167	0,145792	1,615542	1,53125	2,4913194	3,309167	3,309167	0,297083
A2	0	0,161417	163,5021	0,16237196	0,161375	0,161375	1,602	1,486667	2,71875	3,2475	3,322208	0,297083
A3	0	0,186333	198,3408	0,19706814	0,18633333	0,186333	1,578667	1,455417	3,0607639	3,233333	3,329125	0,297083
B3	-0,5	0,186333	198,3408	0,19706887	0,19595833	0,175125	1,551458	1,43625	3,0590278	3,228333	3,329167	0,297083
C2	-1	0,161417	163,5021	0,16237775	0,18116667	0,1395	1,540042	1,477083	2,703125	3,329167	3,329167	0,297083

Πίνακας 2: Υδροστατικός πίνακας στις υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης σε κλίμακα μοντέλου

Το μοντέλο δεν φέρει παρελκόμενα, διαθέτει οδηγό στο πρόσθιο τμήμα του και ορθογώνια πλάκα στο εσωτερικό της γάστρας του, στην οποία προσδένει η υπόλοιπη κατασκευή, όπως θα περιγραφεί στην συνέχεια. Το βάρος της κάθε γάστρας του μαζί με τα παραπάνω είναι 36,7 kg. Επίσης, στο πρόσθιο τμήμα έχει διεγέρτες τύρβης με την μορφή μικρού σύρματος προκειμένου να γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση της φυσικής του κλίμακας.

## 2.3 Προετοιμασία πειραμάτων

Πριν αρχίσει η πειραματική διαδικασία είναι απαραίτητο να γίνει προετοιμασία της πειραματικής διαδικασίας. Περιληπτικά περιλαμβάνει την χάραξη των ισάλων γραμμών των εκτοπισμάτων που θα μελετηθούν, την βαθμονόμηση των οργάνων και την τοποθέτηση του μοντέλου στην πειραματική δεξαμενή.

### 2.3.1 Χάραξη των ισάλων γραμμών

Η χάραξη των ισάλων γραμμών είναι μια διαδικασία η οποία γίνεται μια φορά, πριν την έναρξη των πειραμάτων και απαιτεί μεγάλη προσοχή. Σκοπός είναι να χαραχτούν στην γάστρα του μοντέλου τα βυθίσματα στα οποία θα γίνει η πειραματική διερεύνηση. Η χάραξη των ισάλων γίνεται σε τρία μέρη του πλοίου: στην πλώρη, στην μέση του μοντέλου και στην πρύμνη (εικόνα 3). Με βάση αυτές τις γραμμές, όταν μπει το μοντέλο στο νερό ελέγχεται αν τελικά το μοντέλο έχει το απαραίτητο εκτόπισμα και διαγωγή. Οι γραμμές αυτές θα πρέπει να εφάπτονται με την επιφάνεια του νερού. Εφόσον η ίσαλος γραμμή δεν εφάπτεται με την επιφάνεια του νερού, σημαίνει ότι το μοντέλο μας έχει λάθος εκτόπισμα από το ζητούμενο ή λάθος διαγωγή.

Στο πείραμά μας οι δύο γάστρες έχουν μηδενικό διατοιχισμό (roll). Αν παρατηρηθεί ότι κάποια από τις δύο γάστρες είναι περισσότερο βυθισμένη, εξετάζοντας βεβαίως πάλι την ίσαλο γραμμή, τότε θα πρέπει να μετακινηθεί κάποιο βάρος από την μια γάστρα στην άλλη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο γάστρες μπορεί να έχουν μικρή διαφορά βάρους μεταξύ τους.

Η χάραξη των ισάλων έγινε στο προτυποποιείο της σχολής και χρησιμοποιήθηκε ειδικό όργανο χάραξης ισάλων (εικόνα 4). Αρχικά οι γάστρες γυρίστηκαν ανάποδα και η ακίδα του οργάνου τοποθετήθηκε στον πυθμένα την γάστρας. Στην συνέχεια ακολούθησε μηδενισμός του οργάνου και η ακίδα κατέβηκε μηχανικά μέχρις ότου η ηλεκτρονική ένδειξη του οργάνου να δείξει το απαιτούμενο βύθισμα. Η ακίδα του οργάνου, τέλος, τοποθετήθηκε πάνω στην γάστρα, στα σημεία της πρύμνης, της πλώρης και στη μέση του μοντέλου και χαραχτηκε ένα ευθύγραμμο τμήμα σε κάθε μέρος της. Επιπλέον, προσοχή χρειάστηκε στην περίπτωση χάραξης της ισάλου με διαγωγή, καθώς σε αυτή την περίπτωση με βάση την εκάστοτε διαγωγή διευκρινίστηκαν πρώτα τα βυθίσματα στην πλώρη και την πρύμνη, τα οποία ήταν φυσικά διαφορετικά.



**Εικόνα 3: Ίσαλοι μοντέλου στο πρωραίο τμήμα**



**Εικόνα 4: Όργανο χάραξης ισάλων**

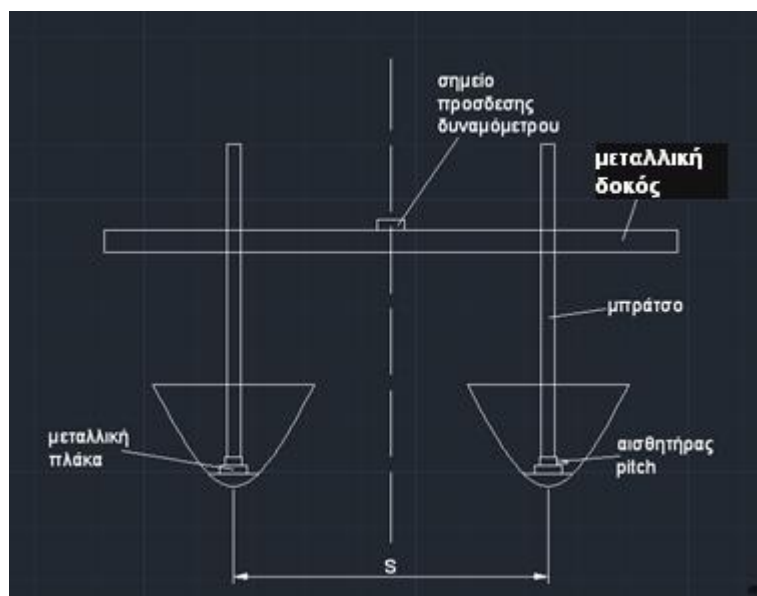
### 2.3.2 Τοποθέτηση του μοντέλου στην πειραματική δεξαμενή

Όπως έχει αναφερθεί, έγιναν πειράματα και στη μονή γάστρα και σε δίγαστρο μοντέλο. Ο τρόπος σύνδεσης του μοντέλου με το δυναμόμετρο διέφερε σε κάθε περίπτωση.

Όσον αφορά τα πειράματα με μια γάστρα, η διαδικασία ήταν απλή. Στον πυθμένα της γάστρας, στην μέση του μοντέλου τοποθετήθηκε μεταλλική ορθογώνια πλάκα διαστάσεων μήκους 21 cm, πλάτους 10 cm, ύψους 1,5cm και βάρους 0,75kg. Η πλάκα αυτή ήταν το μέσο σύνδεσης του μοντέλου με το δυναμόμετρο.

Για τα πειράματα με το δίγαστρο έπρεπε οι δύο γάστρες να ενωθούν μεταξύ τους. Η διαδικασία ήταν η εξής: αρχικά τοποθετήθηκαν όμοιες πλάκες όπως στην παραπάνω περίπτωση στη μέση του μοντέλου, στη συνέχεια σε κάθε μια από τις πλάκες αυτές τοποθετήθηκαν μπράτσα τα οποία ενώθηκαν με σταθερή μεταλλική δοκό. Στην μέση αυτής υπήρχε κατάλληλη διαμόρφωση με την οποία η σύνδεση με το δυναμόμετρο ήταν εφικτή (σχήμα 2). Τα μπράτσα και η μεταλλική δοκός ήταν βάρους 4.200kg και 11,050kg αντίστοιχα.

Στο μοντέλο, τέλος, πριν τοποθετηθεί στο δυναμόμετρο, τοποθετήθηκαν βάρη μέχρις ότου αποκτήσει το ζητούμενο εκτόπισμα. Με την ηλεκτρονική ζυγαριά του εργαστηρίου ελέγχονταν αν το βάρος που τοποθετήθηκε ήταν σωστό. Το μοντέλο ζυγίζονταν με όλα τα εξαρτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, ανάλογα με το αν γινότουσαν πειράματα στην μονή ή διπλή γάστρα. Πρώτα ζυγίστηκαν τα σαμπάνια (ιμάντες με τους οποίους ο γερανός σηκώνει το μοντέλο) και χωρίς να αφαιρεθούν έγινε μηδενισμός την ζυγαριάς. Έτσι ουσιαστικά αφαιρούσαμε το βάρος τους από το τελικό μετρούμενο βάρος. Τοποθετήσαμε έπειτα το μοντέλο και επιβεβαιώσαμε το βάρος του. Σε αυτό το βάρος συνυπολογίζονταν και η δύναμη η οποία ασκεί το δυναμόμετρο στο μοντέλο, βάρους 7.360kg.



Σχήμα 2: Σύνδεση γαστρών δίγαστρου μοντέλου

### 2.3.3 Βαθμονόμηση των οργάνων

Πριν την εκτέλεση των πειραμάτων, τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι βαθμονομημένα. Τα όργανα αντιλαμβάνονται τις φυσικές μεταβολές ως μεταβολές ρεύματος και για αυτό τον λόγο μετράνε σε Volts. Προκειμένου τα Volts να μετατραπούν σε μονάδες S.I. πρέπει να προσδιοριστεί η καμπύλη βαθμονόμησης. Για να γίνει αυτή η αντιστοιχία των μονάδων, τα όργανα μετρούν γνωστά εκ των προτέρων πρότυπα μεγέθη και στην συνέχεια από τις τιμές αυτές προσδιορίζεται η καμπύλη, η οποία είναι της μορφής  $Y = \alpha X + \beta$ . Η χρήση αυτής της εξίσωσης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο αγνοούμε τον παράγοντα  $\beta$ . Αυτό γίνεται στην περίπτωση που πριν από κάθε μέτρηση έχουμε κάνει και μια μέτρηση σε κατάσταση ηρεμίας. Έτσι στο  $X$  βάζουμε την διαφορά της μέτρησης που πήραμε από την κατάσταση ηρεμίας και παίρνουμε στο  $Y$  την μέτρηση στο S.I. Μπορούμε να πούμε δηλαδή ότι ο παράγοντας  $\beta$  είναι η ευαισθησία του οργάνου, η οποία έχει συνυπολογιστεί αφού έχει γίνει μέτρηση στην κατάσταση ισορροπίας.

Σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο και εφόσον δεν έχουμε πάρει μέτρηση στην κατάσταση ηρεμίας, βάζουμε στον  $X$  την τιμή που πήραμε και όπως και στην προηγούμενη περίπτωση παίρνουμε στον  $Y$  την μέτρηση στο S.I.

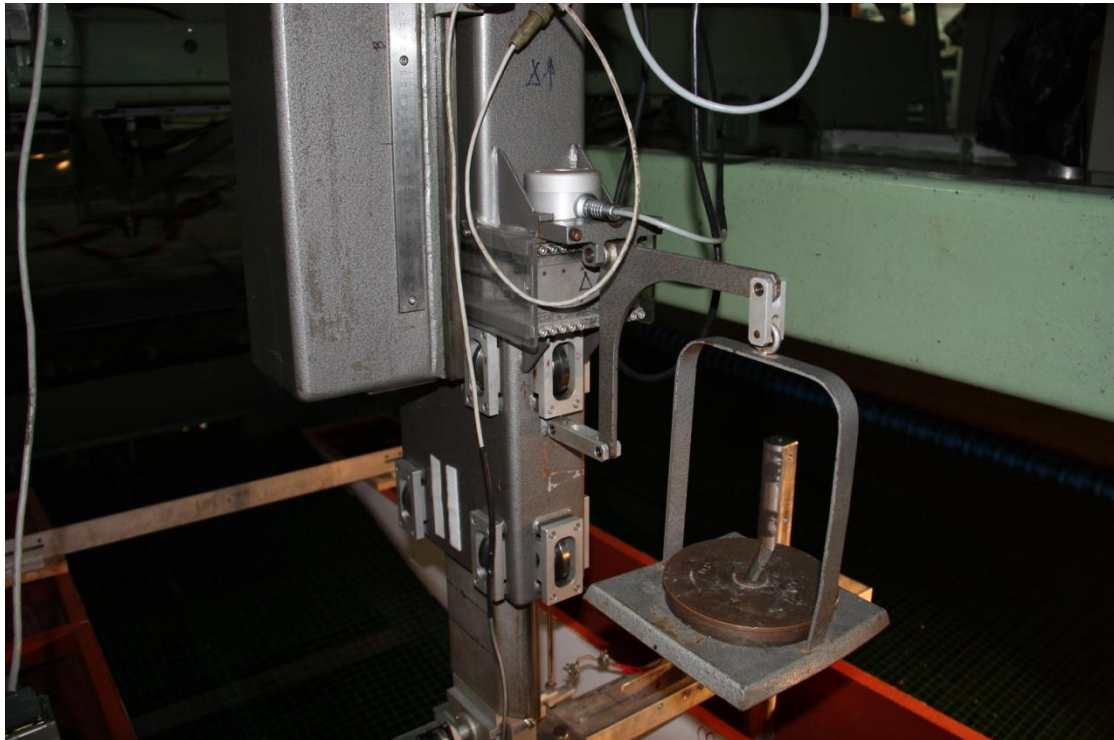
Στα πειράματα που έγιναν πριν από κάθε μέτρηση παίρνονταν μέτρηση στην κατάσταση ηρεμίας, οπότε η χρήση της εξίσωσης γίνονταν σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο.

Στο παρόν πείραμα είχαμε αισθητήρες που μετρούσαν: την αντίσταση του μοντέλου (resistance), την ανύψωση του κέντρου μάζας του (heave) και τον προνευτασμό του (pitch). Ο αισθητήρας του προνευτασμού διέφερε στα πειράματα με μια γάστρα από αυτά με δύο γάστρες, οπότε η διαδικασία βαθμονόμησης ήταν διαφορετική.



### 2.3.3.1 Βαθμονόμηση αισθητήρα αντίστασης

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα της αντίστασης έγινε τοποθετώντας πρότυπα βάρη στον πρόβολο του δυναμόμετρου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Αρχικά παίρνονταν μια μέτρηση χωρίς κανένα βάρος. Ακολούθως τοποθετούνταν η ζυγαριά βάρους 0.54kg και στην συνέχεια τα βάρη των 2,5,7 kg συν το βάρος της ζυγαριάς. Τέλος, παίρνονταν εκ νέου μια μέτρηση μόνο με την ζυγαριά και μια χωρίς κανένα βάρος.



Εικόνα 5: Βαθμονόμηση του αισθητήρα της αντίστασης

### 2.3.3.2 Βαθμονόμηση αισθητήρα ανύψωσης κέντρου βάρους (heave)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η βαθμονόμηση του αισθητήρα της παράλληλης βύθισης (heave), η οποία γίνεται μέσω ενός πηνίου. Προκειμένου να επιτύχουμε έκταση ή σύμπτυξη του πηνίου, θα έπρεπε κανονικά να βυθίζαμε ή να ανυψώναμε την γάστρα από την επιφάνεια του νερού. Κάτι τέτοιο φυσικά δεν είναι δυνατόν. Για τον λόγο αυτό, κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης, το σταθερό μέρος του δυναμόμετρου έχει την δυνατότητα να κινείται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Μέσω ενός κοχλία στο πάνω μέρος του δυναμόμετρου, όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα του δυναμόμετρου (σχήμα 1), μπορούμε να μετακινούμε το σταθερό τμήμα σε συγκεκριμένες θέσεις χρησιμοποιώντας χάρακα που βρίσκεται στο σημείο πάκτωσης με το φορείο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε έκταση και σύμπτυξη του πηνίου χωρίς να χρειάζεται να μετακινούμε την γάστρα κατακόρυφα.

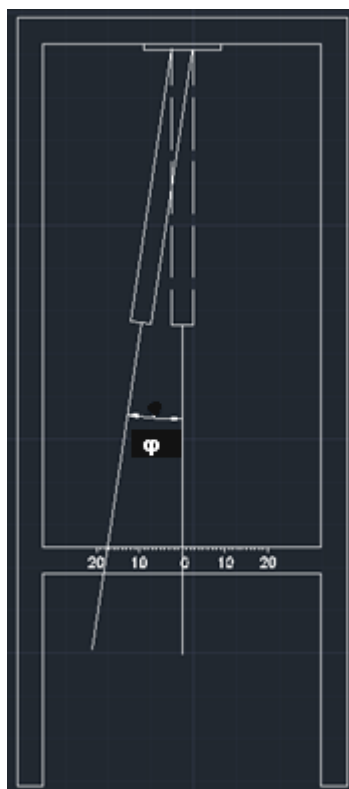
### 2.3.3.3 Βαθμονόμηση των αισθητήρων προνευτασμού (pitch)

Όπως έχουμε αναφέρει, για την μέτρηση του προνευτασμού (pitch) στην περίπτωση της μονής γάστρας χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας πάνω στο δυναμόμετρο, ενώ στην περίπτωση της διπλής γάστρα χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας πάνω στο μπράτσο (σχήμα 2).

Η διαφορά αυτή οφείλονταν στο γεγονός ότι το δυναμόμετρο, στην περίπτωση των δύο γαστρών, δεν ενωνόταν απευθείας με τις γάστρες αλλά παρεμβάλλονταν η κατασκευή η οποία συγκρατούσε τις γάστρες συνδεδεμένες. Για αυτόν το λόγο έπρεπε να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί αισθητήρες σε κάθε περίπτωση και επομένως να βαθμολογηθούν με διαφορετική διαδικασία. Προκειμένου το πέλμα του δυναμόμετρου να αποκλειστεί από οποιαδήποτε κίνηση η οποία μπορούσε να επηρεάσει τα αποτελέσματα του πειράματος, τοποθετήθηκαν σφήνες οι οποίες το κρατούσαν σταθερό.

Η βαθμονόμηση του προνευτασμού (pitch) με τον αισθητήρα του δυναμόμετρου γίνεται δίνοντας στο πέλμα του δυναμόμετρου συγκεκριμένες κλίσεις. Για να γίνει αυτό τοποθετούμε κεκλιμένες σφήνες με συγκεκριμένες γωνίες κάτω από το πέλμα του. Οι γωνίες αυτές ήταν ίσες με: 2.5 , 5 και 7 μοιρών.

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα με τις δύο γάστρες και βρίσκεται πάνω στο μπράτσο, έγινε τοποθετώντας το μπράτσο ανάποδα και εκτρέποντάς το από τη θέση ισορροπίας του. Σε αυτή τη θέση, όπως βλέπουμε και στο σχήμα 3, σχηματίζεται ένα ορθογώνιο τρίγωνο, στο οποίο γνωρίζουμε το μήκος των δύο κάθετων πλευρών του και επομένως την γωνία εκτροπής. Για διάφορες γωνίες εκτροπής έγινε αντιστοιχία των μετρούμενων Volt με τις πραγματικές γωνίες όπως προέκυψαν σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία και με αυτόν τον τρόπο προέκυψε η καμπύλη βαθμονόμησης.



Σχήμα 3: Βαθμονόμηση αισθητήρα προνευτασμού (pitch) στο δίγαστρο μοντέλο

## 2.4 Εκτέλεση του πειράματος

Μετά το τέλος των παραπάνω διαδικασιών και αφού το μοντέλο τοποθετήθηκε στο δυναμόμετρο, πριν αρχίσει η πειραματική διαδικασία για κάθε υπό μελέτη βύθισμα, γινόταν αρχικά έλεγχος των ισάλων του μοντέλου. Κοιτώντας την ίσαλο από την εξωτερική μεριά της δεξαμενής έπρεπε και στα τρία σημεία του πλοίου (πρύμνη, πλώρη, μέση του μοντέλου) η ίσαλος γραμμή να εφάπτεται με την επιφάνεια του νερού. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, τα βάρη από την γάστρα του μοντέλου ανακατανέμονταν σε αυτήν. Αν έπειτα από την παραπάνω διαδικασία παρατηρούνταν περαιτέρω απόκλιση, τότε το μοντέλο έβγαινε από την δεξαμενή και ζυγίζονταν ξανά ώστε να επιβεβαιωθεί το βάρος του.

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας και πριν αρχίσει η μέτρηση της αντίστασης του μοντέλου παίρνονταν μια μέτρηση στην κατάσταση ηρεμίας για όλες τις υπό μελέτη ταχύτητες. Στην συνέχεια το φορείο επιτάχυνε και αφού η ταχύτητα του μοντέλου είχε σταθεροποιηθεί, γίνονταν η καταγραφή των μετρούμενων μεγεθών. Καθώς το ωφέλιμο μήκος της δεξαμενής είναι 91 m, ο επιτρεπόμενος χρόνος καταγραφής ήταν ανάλογος με την ταχύτητα του μοντέλου. Έτσι για μικρές ταχύτητες η διάρκεια της μέτρησης ήταν 35 sec, ενώ όσο η ταχύτητα μεγάλωνε ο χρόνος αυτός μειωνόταν μέχρι την ταχύτητα των 22 kn όπου ο αντίστοιχος χρόνος ήταν 15 sec.

Στο τέλος κάθε μέτρησης η μεταλλική επιφάνεια στο πίσω μέρος του φορείου (σιδερώστρα) κατέβαινε, ώστε η απόσβεση των δημιουργούμενων κυματισμών να γίνει όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη ιδίως στις υψηλές ταχύτητες στις οποίες το ύψος των κυματισμών ήταν ιδιαίτερα μεγάλο. Ανάμεσα στα "τρεξίματα" υπήρχε εύλογο χρονικό διάστημα αναμονής μέχρις ότου η επιφάνεια του νερού να είναι απόλυτα ήρεμη. Να αναφέρουμε ότι στις δύο διαμήκη άκρες τις δεξαμενής είχαν τοποθετηθεί πλωτήρες, οι οποίοι βοηθούσαν στην απόσβεση των κυματισμών. Ο χρόνος ηρεμίας διέφερε ανάλογα με την ταχύτητα σε ένα εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 8 και 12 λεπτά.



Εικόνα 6: Πειραματικό μοντέλο σε δοκιμή αντίστασης, κατάσταση B3,  $S/L=0.185$ ,  $F_n=0.41$



## 2.6 Wave Cuts

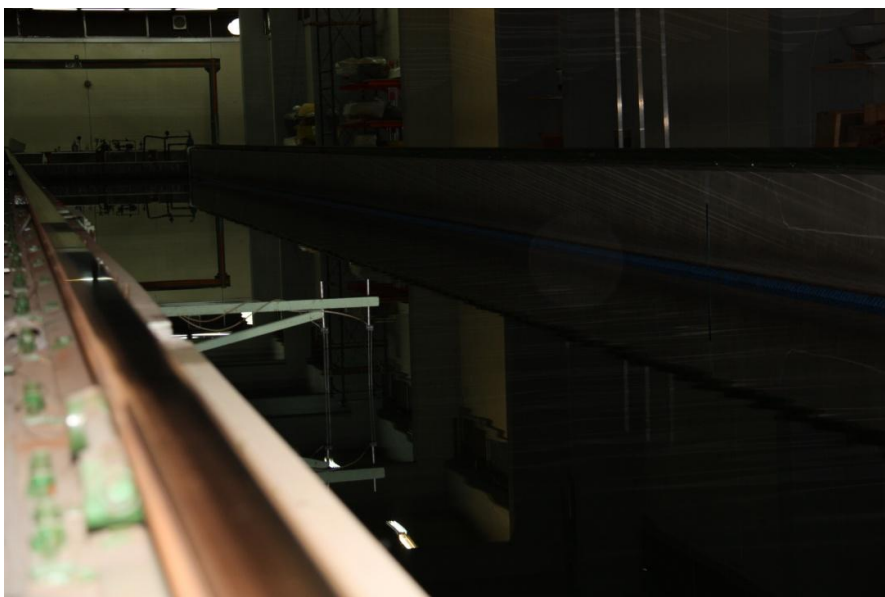
Κατά την κίνηση ενός σκάφους στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού προκαλείται διαταραχή της ελεύθερης επιφάνειας του και έχει την μορφή κυματισμών. Αποτελεί αδιαμφισβήτητα μεγάλο ενδιαφέρον η μελέτη αυτών των κυματισμών. Ο ποσοτικός προσδιορισμός του συστήματος κυματισμών μπορεί να επιτευχτεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες (waveprobs), οι οποίοι σε συγκεκριμένη θέση μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες ως προς την μορφή τους. Συγκεκριμένα μας δίνουν πληροφορίες όπως το ύψος του κύματος ή την συχνότητά τους.

Επίσης, εφόσον εκτός από πειράματα γίνονται και αριθμητικοί υπολογισμοί, η μελέτη τους είναι πολύ σημαντική καθώς δείχνουν κατά πόσο το πρόγραμμα έχει προσεγγίσει σωστά την αντίσταση και άρα η εκτίμηση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού από το πρόγραμμα είναι σωστή. Στο παρόν πείραμα πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις στην δεξαμενή τόσο εξωτερικά των γαστρών όσο και εσωτερικά για την ισοβύθιστη κατάσταση βυθίσματος σε κλίμακα μοντέλου  $T=0.18$  (κατάσταση A3) και στις ταχύτητες 1,260 m/s, 1,575 m/s και 1.890 m/s.

Εξωτερικά τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες σε πρόβολο και σε απόσταση 1.20m και 1m από την άκρη της δεξαμενής (εικόνα 7). Οι αντίστοιχες αποστάσεις από την άκρη της γάστρας του μοντέλου για τις διάφορες αποστάσεις των γαστρών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

<u>Waveprobs</u>			
A/A	S1	S2	S3
<b>waveprob1 [m]</b>	0.64	0.53	0.43
<b>waveprob2[m]</b>	0.84	0.73	0.63

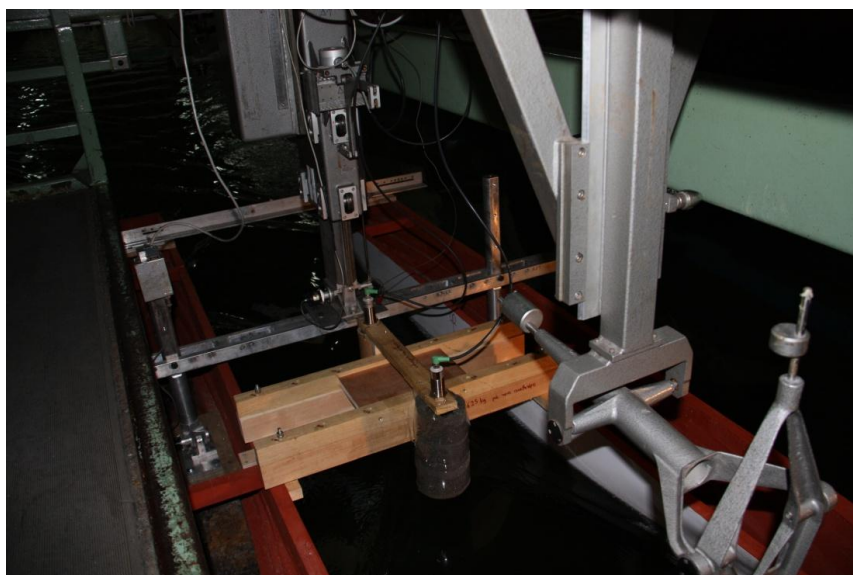
Πίνακας 3: Αποστάσεις εξωτερικών αισθητήρων από την άκρη της γάστρας του μοντέλου



Εικόνα 7: Αισθητήρες (waveprob) στον πρόβολο σε ήρεμο νερό

Οι αισθητήρες αυτοί κατέγραφαν τη μεταβολή του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας ανά 0.05 sec. Είναι στατικοί ως προς την κίνηση του μοντέλου και μας παρέχουν με μεγάλη ακρίβεια όλη την ιστορία του κύματος από την στιγμή που το κύμα έφτασε σε αυτούς. Πριν από την έναρξη των πειραμάτων οι αισθητήρες βαθμονομήθηκαν. Απαραίτητος εξοπλισμός που απαιτείται είναι επίσης ηλεκτρονικός υπολογιστής καθώς και ενισχυτής ρεύματος.

Εσωτερικά των γαστρών έγινε μέτρηση του ύψους του κύματος στην ενδιάμεση απόσταση (center line) των γαστρών. Η μέτρηση έγινε σε 6 σημεία ανάμεσα στις γάστρες, στις ταχύτητες μοντέλου 1.260 m/s, 1.575 m/s και 1.890 m/s και στην κατάσταση A3. Οι αποστάσεις των σημείων από τον καθρέφτη του μοντέλου ήταν: 0, 40, 80, 120, 160, 200. Σε αυτή την περίπτωση οι αισθητήρες κινούνταν μαζί με το μοντέλο. Από την στιγμή που το μοντέλο αποκτούσε σταθερή ταχύτητα, οι σχηματιζόμενοι κυματισμοί παρέμεναν αναλλοίωτοι σε όλη την χρονική ιστορία. Έτσι οι αισθητήρες μετρούσαν σταθερή απόσταση ανάλογα με το ύψος του κύματος στα συγκεκριμένα σημεία. Για την τοποθέτηση των αισθητήρων ανάμεσα στις γάστρες του μοντέλου κατασκευάστηκε στο προτυποποιείο ξύλινη κατασκευή, η οποία στηριζόταν στις γάστρες του μοντέλου (εικόνα 8). Η κατασκευή μπορούσε, ανάλογα με την εκάστοτε απόσταση των γαστρών, να αυξομειώνει το πλάτος της. Οι αισθητήρες, για να πάρουν αξιόπιστες μετρήσεις, έπρεπε να βρίσκονται τουλάχιστον 25 cm από την επιφάνεια του νερού. Επομένως, συνυπολογίζοντας το παραγόμενο μέγιστο ύψος κύματος ίσο με περίπου 10 cm, αυτή η απόσταση τελικώς θεωρήθηκε ότι πρέπει να υπερβαίνει τα 35cm. Γύρω από αυτούς τοποθετήθηκε πορώδες υλικό, το οποίο προστάτευε τους αισθητήρες από ανακλάσεις σήματος στο νερό της δεξαμενής, με σκοπό να μην σημειωθούν αλλοιώσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων.



Εικόνα 8: Αισθητήρες (waveprob) ανάμεσα στο μοντέλο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Έχοντας από τα πειράματα ως δεδομένο την αντίσταση του μοντέλου μέσω της υπόθεσης Froude, θα υπολογιστεί η αντίσταση του πλοίου.

Για την υπόθεση Froude χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Resout. Τα αποτελέσματα του προγράμματος για όλες τις υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης και τους λόγους  $S/L$  παρουσιάζονται στο παράρτημα Α. Στις σελίδες αυτές, για κάθε κατάσταση φόρτωσης δίνονται, αρχικά, γενικές πληροφορίες τόσο για το μοντέλο όσο και το πλοίο. Ο αναγνώστης μπορεί να πληροφορηθεί για θέματα όπως: το βύθισμα, την διαγωγή, το μήκος της ισάλου, την βρεχόμενη επιφάνεια. Επίσης, αναφέρεται και η θερμοκρασία στην οποία βρίσκονταν το νερό της δεξαμενής. Στην συνέχεια αναφέρεται για κάθε ταχύτητα, σε πινακοποιημένη μορφή, η ολική αντίσταση, οι αριθμοί Reynolds και Froude, αλλά και οι συντελεστές, ολικής αντίστασης, τριβής και υπόλοιπης αντίστασης. Τέλος, επίσης σε πινακοποιημένη μορφή και έχοντας πραγματοποιήσει την υπόθεση Froude, παρουσιάζονται οι πληροφορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω για το πλοίο.

Η περιγραφή της μεθόδου Froude που ακολουθήθηκε θα γίνει στην συνέχεια. Για την περιγραφή της θα χρησιμοποιηθεί επίσης αριθμητικό παράδειγμα με δεδομένα από τα πειράματα που διεξήχθησαν και συγκεκριμένα για το εκτόπισμα A3 με αποστάσεις μεταξύ των γαστρών λόγου  $S/L = 0.185$  και στην ταχύτητα με αριθμό Froude 0.28. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με αυτά του προγράμματος Resout.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τρεις παραμέτρους. Η πρώτη παράμετρος αφορά την επίδραση του εκτοπίσματος στην αντίσταση. Η δεύτερη αφορά την αλληλοεπίδραση των γαστρών, η οποία θα εξεταστεί σύμφωνα με τον αδιάστατο δείκτη IF αλλά και συγκρίνοντας την υπόλοιπη αντίσταση σε σχέση με τους τρεις λόγους  $S/L$ . Τέλος, η τρίτη αφορά την επίδραση της διαγωγής στην αντίσταση.

## 3.2 Αναγωγή αποτελεσμάτων σε κλίμακα πλοίου

Η αντίσταση ενός πλοίου ( $R$ ) το οποίο κινείται στην επιφάνεια του νερού εξαρτάται από έξι διαστατά μεγέθη, τα οποία είναι: η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g$ ), το μήκος τους ( $L$ ), η ταχύτητά τους ( $V$ ), η πυκνότητα ( $\rho$ ) και η συνεκτικότητα ( $\nu$ ) του νερού:

$$R = f(g, L, V, \rho, \nu)$$

Κάνοντας όμως χρήση του αριθμού Froude, του αριθμού Reynolds και του συντελεστή αντίστασης πλοίου ( $C_T$ ), η αντίσταση του πλοίου μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει τριών αδιάστατων μεταβλητών. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η αντίσταση του πλοίου ισούται με:

$$R = \frac{1}{2} \rho C_T V^2 S$$

Όπου:

$C_T$  : αδιάστατος συντελεστής ολικής αντίστασης

$V$  [m/s] : η ταχύτητα του πλοίου

$S$  [m<sup>2</sup>] : η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου

$\rho$  [kr\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] : η πυκνότητα του νερού

Σημειώνεται ότι, αν δύο πλοία είναι γεωμετρικά όμοια και οι αριθμοί Froude και Reynolds είναι ίδιοι, τότε θα ήταν ίδιος και ο συντελεστής ολικής αντίστασης  $C_T$ . Αυτό όμως είναι αδύνατον, όπως θα φανεί στην συνέχεια, γι' αυτό γίνεται χρήση της υπόθεσης Froude.

### 3.2.1 Μέθοδος Froude

Τα πειράματα στις πειραματικές δεξαμενές γίνονται υπό συνθήκες πλήρους ομοιότητας με το πλοίο. Αν θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής ολικής αντίστασης  $C_T$  είναι ίσος (δηλαδή ισχύει:  $(C_T)_s = (C_T)_m$ ), θα πρέπει, όπως είπαμε και παραπάνω, οι αριθμοί Froude και Reynolds να είναι ομοίως ίσοι.

Δηλαδή, πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι:

$$(\text{Re})_s = (\text{Re})_m \quad \acute{\eta} \quad \frac{V_m}{V_s} = \frac{L_s}{L_m} * \frac{\nu_m}{\nu_s}$$

και:

$$(\text{Fn})_s = (\text{Fn})_m \quad \acute{\eta} \quad \frac{V_m}{V_s} = \left(\frac{g_m}{g_s}\right)^{1/2} * \left(\frac{L_m}{L_s}\right)^{1/2}$$

Στο παρόν πείραμα έχουμε λόγο ομοιότητας  $L_m/L_s = 1/24$  και άρα οι παραπάνω σχέσεις παίρνουν την μορφή:

$$\frac{V_m}{V_s} = 24 \left( \frac{v_m}{v_s} \right) \text{ και } \frac{V_m}{V_s} = \frac{1}{\sqrt{24}} \left( \frac{g_m}{g_s} \right)^{1/2}$$

Προκειμένου να ικανοποιούνται και οι δύο παραπάνω απαιτήσεις, θα πρέπει ο λόγος των ταχυτήτων να είναι ίδιος και στις δύο περιπτώσεις, καθώς μόνο η ταχύτητα είναι κοινή μεταβλητή στους αριθμούς Froude και Reynolds. Επομένως, πρέπει είτε:

- i. Να γίνουν πειράματα με συνηθισμένο νερό (δηλ.  $v_m/v_s=1$ ) σε έναν διαστημικό σταθμό με προσαρμοζόμενη τροχιά και προσαρμοζόμενο  $g_m$ , ώστε  $(g_m/g_s=576*24^2)$

ή

- ii. Να γίνουν πειράματα στη γη (δηλ.  $g_m/g_s=1$ ), αλλά με ένα εξωτικό ρευστό με  $v_m/v_s = 1/(24\sqrt{24})$

Τα παραπάνω, φυσικά, δεν είναι ρεαλιστικά και άρα δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η ισότητα των δύο αριθμών. Προκειμένου να απλοποιηθούν οι παραπάνω σχέσεις, θεωρώντας ίδιο ρευστό και ίδια επιτάχυνση της βαρύτητας για το πλοίο και το μοντέλο, έχουμε ( $\lambda = L_m/L_s$ ):

$$(Re)_s = (Re)_m \Rightarrow \frac{V_m}{V_s} = \lambda \quad (1)$$

$$(Fn)_s = (Fn)_m \Rightarrow \frac{V_m}{V_s} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (2)$$

Επειδή  $\lambda \gg 1$ , η ισότητα των αριθμών Reynolds δεν είναι πρακτική, οπότε το καλύτερο που μπορεί να γίνει είναι η ισότητα των αριθμών Froude. Το πρόβλημα δηλαδή του πώς να υπολογιστεί ο συντελεστής ολικής αντίστασης του πλοίου  $C_{TS}$  από τον συντελεστή ολικής αντίστασης του μοντέλου  $C_{Tm}$  παραμένει. Η λύση δόθηκε από τον W. Froude, ο οποίος πειραματικά απέδειξε ότι η διαφορά  $C_T - C_F$ , όπου  $C_F$  είναι ο συντελεστής αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας, είναι περίπου σταθερή και ανεξάρτητη από τον αριθμό Reynolds για όμοια μοντέλα του πλοίου τα οποία βρίσκονται στον ίδιο αριθμό Froude. Η διαφορά αυτή όμως είναι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης. Η υπόθεση Froude, επομένως, ορίζει ότι για ίδιους αριθμούς Froude ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης πλοίου και μοντέλου είναι ίσος.

Η ΙΤΤC (International Towing Tank Conference) υιοθέτησε τον παρακάτω τύπο για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}, \quad \text{όπου } Rn: \quad \text{αριθμός Reynolds}$$

### 3.2.2 Αριθμητικό παράδειγμα της μεθόδου Froude

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστεί η μέθοδος Froude μέσω ενός παραδείγματος, χρησιμοποιώντας αριθμητικά δεδομένα από τα πειράματα που διεξήχθησαν και συγκεκριμένα από το εκτόπισμα A3 με αποστάσεις μεταξύ των γαστρών λόγου  $S/L = 0.185$  και στην ταχύτητα με αριθμό Froude 0.28. Στο τέλος, τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με το πρόγραμμα Resout.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η υπόθεση Froude θεωρεί τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ίσο σε πλοίο και μοντέλο ( $C_{Rm} = C_{Rs}$ ) όταν υπάρχει γεωμετρική ομοιότητα. Επιπλέον, σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, οι αριθμοί Froude του πλοίου και του μοντέλου θεωρούνται ίσοι ( $F_{rm} = F_{rs}$ ) και ισχύει δηλαδή ότι  $V_s = V_m \sqrt{\lambda}$ . Ο συντελεστής αντίστασης τριβής του πλοίου ( $C_{Fs}$ ) και ο συντελεστής αντίστασης τριβής του μοντέλου ( $C_{Fm}$ ) υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο της IPTC και με αντίστοιχους αριθμούς Reynolds.

Αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή αντίστασης  $C_{Tm}$  με δεδομένο την ολική αντίσταση του μοντέλου, ως εξής:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \rho V_m^2 S_m} = \frac{2,066}{\frac{1}{2} 101,89 * 1,575 * 3,06} = 5,342 * 10^{-3}$$

$R_{Tm}$  [kr] : η αντίσταση του μοντέλου όπως μετρήθηκε στο πείραμα.  
=2,066 [kr]

$V_m$  [m/s] : η ταχύτητα του μοντέλου όπως προέκυψε από τις μετρήσεις του πειράματος. =1,575 [m/s]

$S_m$  [m<sup>2</sup>] : η βρεχόμενη επιφάνεια (χωρίς τα παρελκόμενα, δηλαδή, το πηδάλιο).

Επειδή μετρήσαμε στο πείραμα και κάποια ανύψωση κέντρου βάρους (heave), η βρεχόμενη επιφάνεια του μοντέλου κατά την διάρκεια του πειράματος δε θα ταυτίζεται με τη βρεχόμενη επιφάνεια των υδροστατικών. Επειδή, όμως, η ανύψωση κέντρου βάρους είναι μικρή, θεωρείται ότι η βρεχόμενη επιφάνεια του μοντέλου είναι ίδια με την κατάσταση ηρεμίας του.

Υπολογίζουμε τον αριθμό Re του μοντέλου με την σχέση:

$$Re_m = \frac{V_m L_{bulb}}{\nu_m} = \frac{1,575 * 3,329}{1,10966 * 10^{-6}} = 4725028$$

$\nu_m$  [m<sup>2</sup>/s] : η κινηματική συνεκτικότητα για γλυκό νερό στους 16°C.  
=1,10966\*10<sup>-6</sup>

$V_m$  [m/s] : η ταχύτητα του μοντέλου. =1,575 [m/s]

$L_{bulb}$  [m] : το μήκος του μοντέλου έως την άκρη του βολβού. =3,329 [m]

$\rho$  [kr\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>]: η πυκνότητα του νερού της δεξαμενής στους 16°C.

Στην συνέχεια, με βάση τους αριθμούς Reynolds που αντιστοιχούν σε κάθε ταχύτητα, υπολογίζουμε την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας του μοντέλου  $C_F(Re_m)$ , λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρική καμπύλη της I.T.T.C. 1957, η οποία είναι:

$$C_{Fm}(Re_m) = \frac{0,075}{(\log_{10} Re_m - 2)^2} = 3,432 * 10^{-3}$$

Με βάση τα παραπάνω, συγκεντρωτικά για το μοντέλο έχουμε:

A/A	Ταχύτητα Προτύπου $V_m$ [m/s]	Αντίσταση $R_{Tm}$ [Κρ]	Συντελ. Ολικής Αντίστασης $C_{Tm}$	Αριθμός Reynolds	Συντελεστής τριβής επίπεδης πλάκας $C_{Fm}$
Αναλυτική μέθοδος	1.575	2.066	0.005343	4725028	0.003432
Πρόγραμμα Resout	1.575	2.066	0.005344	4725000	0.003432

Πίνακας 1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων μοντέλου και σύγκρισή τους με το πρόγραμμα Resout

Τα αντίστοιχα μεγέθη του γεωμετρικά όμοιου πλοίου υπολογίζονται ως εξής: Υπολογίζουμε τον αριθμό Re του πλοίου με την σχέση:

$$Re_s = \frac{V_s L_s}{\nu_s} = \frac{7,715 * 79,9}{1,18831 * 10^{-6}} = 518803869$$

$\nu_s$  [m<sup>2</sup>/s] : η κινηματική συνεκτικότητα για θαλασσινό νερό στους 16°C. =  $1,18831 * 10^{-6}$

$V_s$  [m/s] : η ταχύτητα του πλοίου.  $V_s = V_m \sqrt{\lambda} = 1,575 * \sqrt{24} = 7,715$  [m/s]

$L_{bulb}$  [m] : το μήκος του πλοίου έως την άκρη του βολβού. = 79,9 [m]

Για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής επίπεδης πλάκας θα ληφθεί υπόψη η εμπειρική καμπύλη της I.T.T.C. 1957, που έχει ως εξής:

$$C_{Fs}(Re_s) = \frac{0,075}{(\log_{10} Re_s - 2)^2} = 1,663 * 10^{-3}$$

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, με την υπόθεση Froude, όταν μεταξύ πλοίου και μοντέλου υπάρχει γεωμετρική ομοιότητα και επιπλέον αριθμός Froude πλοίου και μοντέλου είναι ίσοι ( $Fr_m = Fr_s$ ), τότε για τους συντελεστές υπόλοιπης αντίστασης πλοίου και μοντέλου ισχύει ότι:

$$C_{Rs}(Fr_s) = C_{Rm}(Fr_m)$$

Τέλος, υπολογίζουμε την ολική αντίσταση του πλοίου από τη σχέση:

$$C_{Ts} = (C_F)_s + (C_R)_s = (C_F)_s + (C_R)_m = (C_F)_s + (C_T)_m - (C_F)_m = 3,574 * 10^{-3}$$

Η ολική αντίσταση του πλοίου δίνεται από την σχέση:

$$R_{Ts} = \frac{1}{2} \rho S_s V_s^2 C_{Ts} = \frac{1}{2} 104,61 * 1763 * 7,715^2 3,574 * 10^{-3} = 19619[kp]$$

όπου:

- $S_s$  [m<sup>2</sup>] : η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου.=1763[m<sup>2</sup>]  
 $V_s$  [m/s] : η ταχύτητα του πλοίου.=7,716 m/s  
 $C_{Ts}$  : ο συντελεστής ολικής αντίστασης του πλοίου 3,574\*10<sup>-3</sup>  
 $\rho$ [kp\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] : η πυκνότητα του θαλασσινού νερού στους 15°C.

Η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου [EHP] δίνεται από την σχέση:

$$EHP = \frac{R_{Ts} * V_s}{75} = \frac{19619 * 7,715}{75} = 2018[PS]$$

Με βάση τα παραπάνω συγκεντρωτικά για το πλοίο έχουμε:

A/A	Ταχύτητα Πλοίου Vs[m/s]	Συντελ. Ολικής Αντίστασης CTs	Συντελεστής επίπεδης πλάκας CFs	Συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης CRs	Ολική αντίσταση του πλοίου RTs [kp]	Ισχύς ρυμούλκησης EHP [PS]
<b>Αναλυτική μέθοδος</b>	7.716	0.003574	0.001663	0.001910	19619	2018
<b>Πρόγραμμα Resout</b>	7.72	0.003575	0.001663	0.001912	19621	2019

Πίνακας 2: Παρουσίαση αποτελεσμάτων πλοίου και σύγκρισή τους με το πρόγραμμα Resout

Όπως βλέπουμε, τα αποτελέσματα ταυτίζονται.

Αναφέρουμε ότι στο παράρτημα Θ υπάρχει πίνακας στον οποίο αναγράφεται η πυκνότητα και η κινηματική συνεκτικότητα τόσο του γλυκού όσο και του θαλασσινού νερού για διάφορες θερμοκρασίες.



### 3.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

#### 3.3.1 Επίδραση Εκτόπισματος στην αντίσταση

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστεί η σχέση του εκτόπισματος και κατ' επέκταση του βυθίσματος ως προς την αντίσταση. Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται σε κοινά διαγράμματα, αρχικά για την μονή γάστρα (demihull) και στην συνέχεια για τους διάφορους λόγους  $S/L$ , ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης σε κάθε ένα εκτόπισμα σε συνάρτηση με την ταχύτητα του μοντέλου εκφρασμένη σε αριθμούς Froude. Επίσης, στα παραρτήματα Β, Γ και Δ ο αναγνώστης μπορεί να βρει κατά αντιστοιχία τα διαγράμματα ολικής αντίστασης, δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης του κέντρου μάζας του μοντέλου, όλα συναρτησεί της ταχύτητας εκφρασμένης στον αριθμό Froude. Τέλος, στο παράρτημα Ε παρουσιάζεται η ισχύς ρυμούλκησης του πλοίου συναρτησεί της ταχύτητας σε κόμβους.

Όπως έχει αναφερθεί, η αντίσταση επηρεάζεται κυρίως από το εκτόπισμα, τα βρεχόμενα μήκη και τις βρεχόμενες επιφάνειες. Στο παρόν, καθώς αλλάζει το εκτόπισμα σε κάθε υπό μελέτη κατάσταση, και οι τρεις παραπάνω συνιστώσες επηρεάζονται.

Η διαφορά της ισάλου επιφάνειας και της βρεχόμενης επιφάνειας όμως δεν είναι σημαντική, οπότε και ο συντελεστής τριβής  $C_F$  δεν διαφέρει πολύ από την μια κατάσταση στην άλλη. Τον σπουδαιότερο ρόλο σε αυτή την περίπτωση διαδραματίζει η διαφορά στα εκτόπισματα, η οποία επηρεάζει κυρίως τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$ . Με βάση τα παραπάνω, επομένως, είναι απαραίτητη η παρουσίαση και ο σχολιασμός του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για κάθε λόγο  $S/L$  ξεχωριστά.

Οι κύριες συνιστώσες της υπόλοιπης αντίστασης είναι η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας και η αντίσταση κυματισμού.

Η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας επηρεάζεται από την μορφή της γάστρας και την βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου. Όσον αφορά την μορφή της γάστρας, έχει σημασία να εξετάσουμε αν υπάρχουν σημεία στα οποία υπάρχει πιθανή αποκόλληση ροής. Ένα τέτοιο πιθανό σημείο είναι η πρύμνη του πλοίου. Στο παρόν πλοίο, στις καταστάσεις A1, A2, ο καθρέφτης του πλοίου βρίσκεται έξω από την επιφάνεια του νερού. Αντίθετα, στις καταστάσεις A3, B3, C2 το κάτω μέρος του καθρέφτη βρίσκεται βυθισμένο. Όσον αφορά την βρεχόμενη επιφάνεια, αν και όπως αναφέραμε δεν διαφέρει πολύ από την μια κατάσταση στην άλλη, διαδραματίζει κάποιο μικρό ρόλο στην υπόλοιπη αντίσταση.

Η αντίσταση λόγω κυματισμού οφείλεται κυρίως στα δημιουργούμενα κύματα. Οι κυματισμοί εξαρτώνται από τον όγκο της γάστρας που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Μια άλλη παράμετρος είναι η επίδραση του βολβού. Όπως έχει αναφερθεί, ο βολβός μπορεί να εξουδετερώσει μερικώς τους κυματισμούς που προκαλούνται από την γάστρα του πλοίου. Από τις καταστάσεις που μελετήθηκαν στην κατάσταση A1 και στην C2, η ίσαλος επιφάνεια βρίσκεται στην άκρη του βολβού, ενώ στις υπόλοιπες ολόκληρος ο βολβός είναι βυθισμένος.

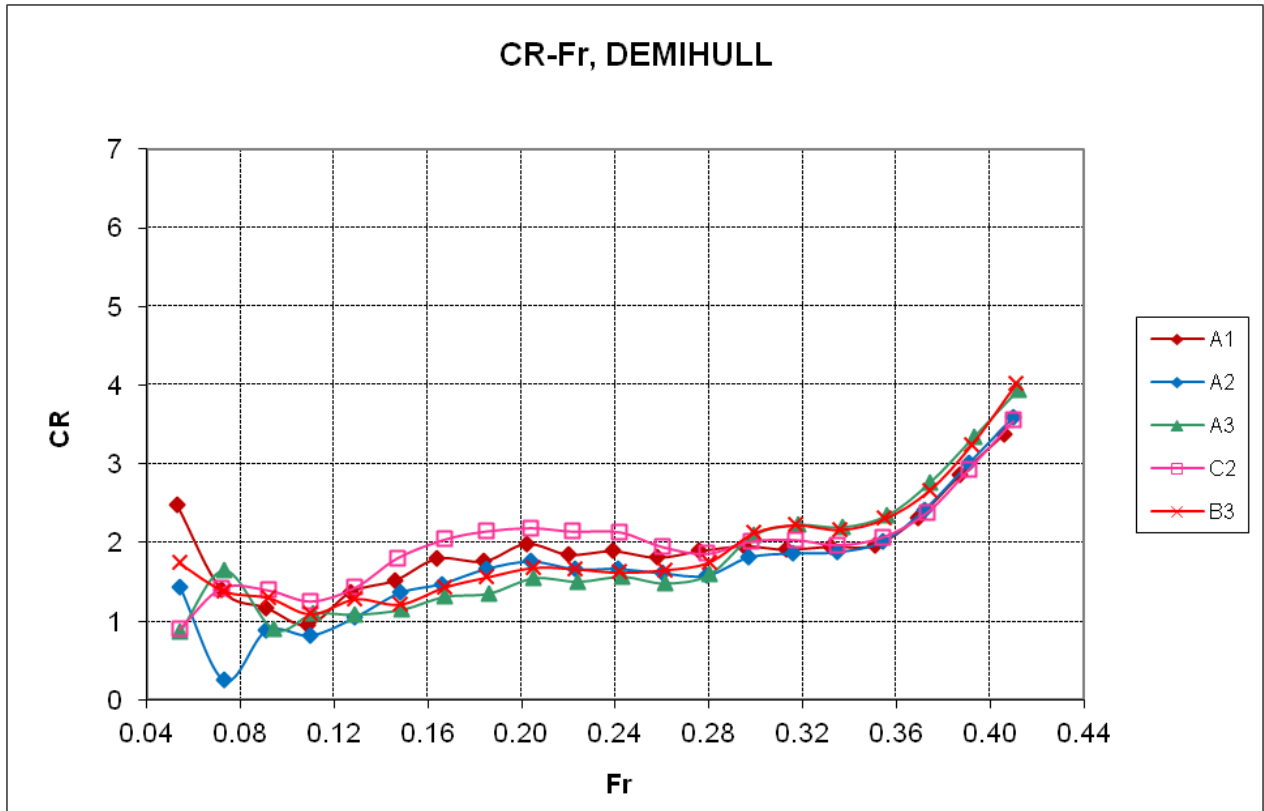
Όσον αφορά τα διαγράμματα ολικής αντίστασης μοντέλου συναρτήσει του αριθμού Froude ( $R_m-Fn$ ) του παραρτήματος Β, συγκεντρωτικά παρατηρούμε ότι, τόσο για την μονή γάστρα όσο και για τους τρεις λόγους  $S/L$ , όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η ολική αντίσταση του μοντέλου. Επίσης παρατηρούμε ότι στη μονή γάστρα η αύξηση της ολικής αντίστασης σε σχέση με την ταχύτητα είναι περίπου γραμμική, ενώ αντίθετα στην περίπτωση του δίγαστρου εμφανίζονται δύο περιοχές στις οποίες το διάγραμμα παίρνει καμπύλη μορφή. Η ιδιαίτερη μορφή αυτή της καμπύλης οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γαστρών. Το φαινόμενο αυτό θα αναλυθεί εκτενέστερα στην επόμενη παράγραφο.

Όσον αφορά τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής του παραρτήματος Γ συναρτήσει του αριθμού Froude παρατηρούμε ότι μέχρι τον αριθμό Froude 0.205 η δυναμική διαγωγή είναι πολύ μικρή ( $<0.05^\circ$ ). Στην συνέχεια, μέχρι τον αριθμό Froude 0.336 η δυναμική διαγωγή είναι κατά το πλείστον θετική. Οι θετικές τιμές του διαγράμματος αντιστοιχούν σε έμπρομη διαγωγή. Για ακόμα μεγαλύτερους αριθμούς Froude οι τιμές των καμπυλών γίνονται αρνητικές, κάτι που αντιστοιχεί σε έμπρυμη διαγωγή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι καταστάσεις με διαγωγή σε κατάσταση ηρεμίας τείνουν να έχουν μικρότερη δυναμική διαγωγή από τις αντίστοιχες ισοβύθιστες καταστάσεις. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στην κατάσταση C2, στην οποία για αριθμούς Froude μέχρι 0.336 η δυναμική διαγωγή είναι σχεδόν μηδενική.

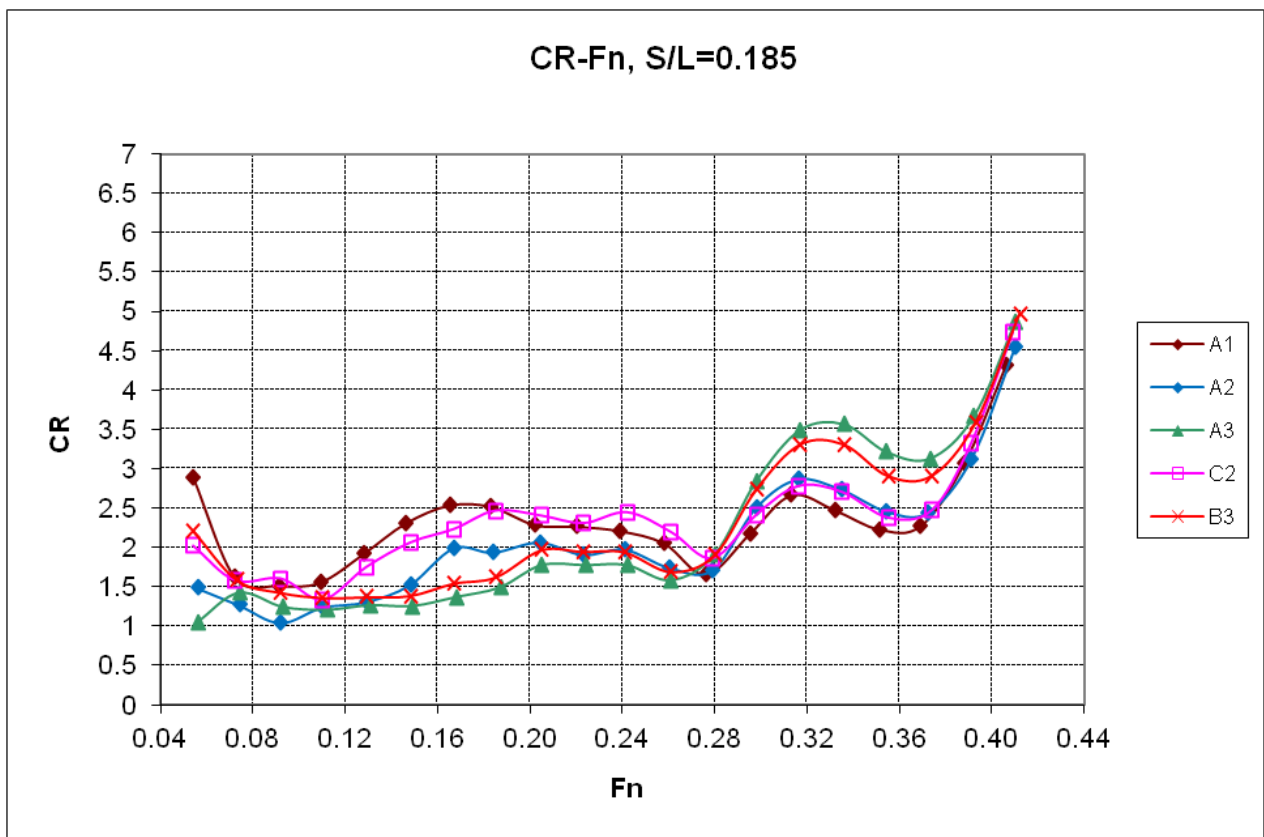
Όσον αφορά τα διαγράμματα δυναμικής ανύψωσης συναρτήσει του αριθμού Froude, παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι καμπύλες βρίσκονται στα αρνητικά του άξονα  $\gamma$ , κάτι που σημαίνει ότι έχουμε βύθιση του κέντρου μάζας του πλοίου. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη λόγω της μεγάλης ποσότητας όγκου κάτω από την επιφάνεια του νερού και της ύπαρξης του βολβού.

Τέλος, για τα διαγράμματα ισχύος ρυμούλκησης [EHP] σε συνάρτηση με την ταχύτητα του πλοίου σε κόμβους παρατηρούμε ότι η μορφή τους είναι ανάλογη με την μορφή της ολικής αντίστασης του μοντέλου, αφού εξαρτάται μόνο από αυτή όπως φαίνεται και από τον τύπο:  $EHP = R \cdot V/75$ , όπου  $R$  η αντίσταση και  $V$  η ταχύτητα.

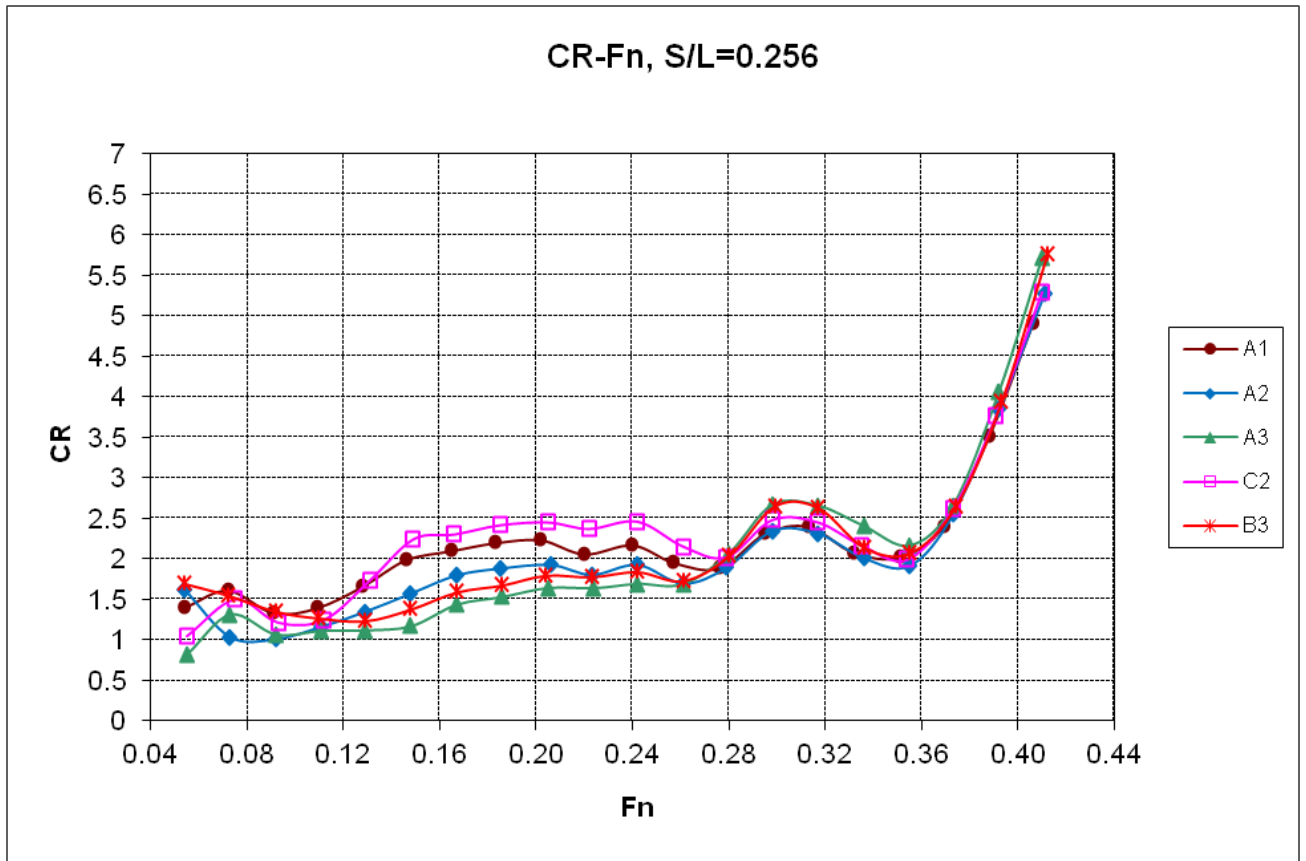
Πειράματα έγιναν σε πολύ μικρές ταχύτητες προκειμένου να προσδιοριστεί ο αδιάστατος συντελεστής  $k$  ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ολικής αντίστασης μέσω της μεθόδου Hughes, η οποία περιγράφεται στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι λόγω των μικρών ταχυτήτων και επομένως και των μικρών δυνάμεων αντίστασης, τα λάθη στις μετρήσεις σε αυτές τις ταχύτητες είναι μεγάλα. Το παραπάνω είναι εμφανές από τα διαγράμματα του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης που ακολουθούν, απ' όπου για τις ταχύτητες των 3, 4, 5 kn με αντίστοιχους αριθμούς Froude 0.055, 0.074, 0.093 παίρνουμε μη ρεαλιστικές τιμές και επομένως στην συνέχεια δεν θα λαμβάνονται υπόψη στον σχολιασμό.



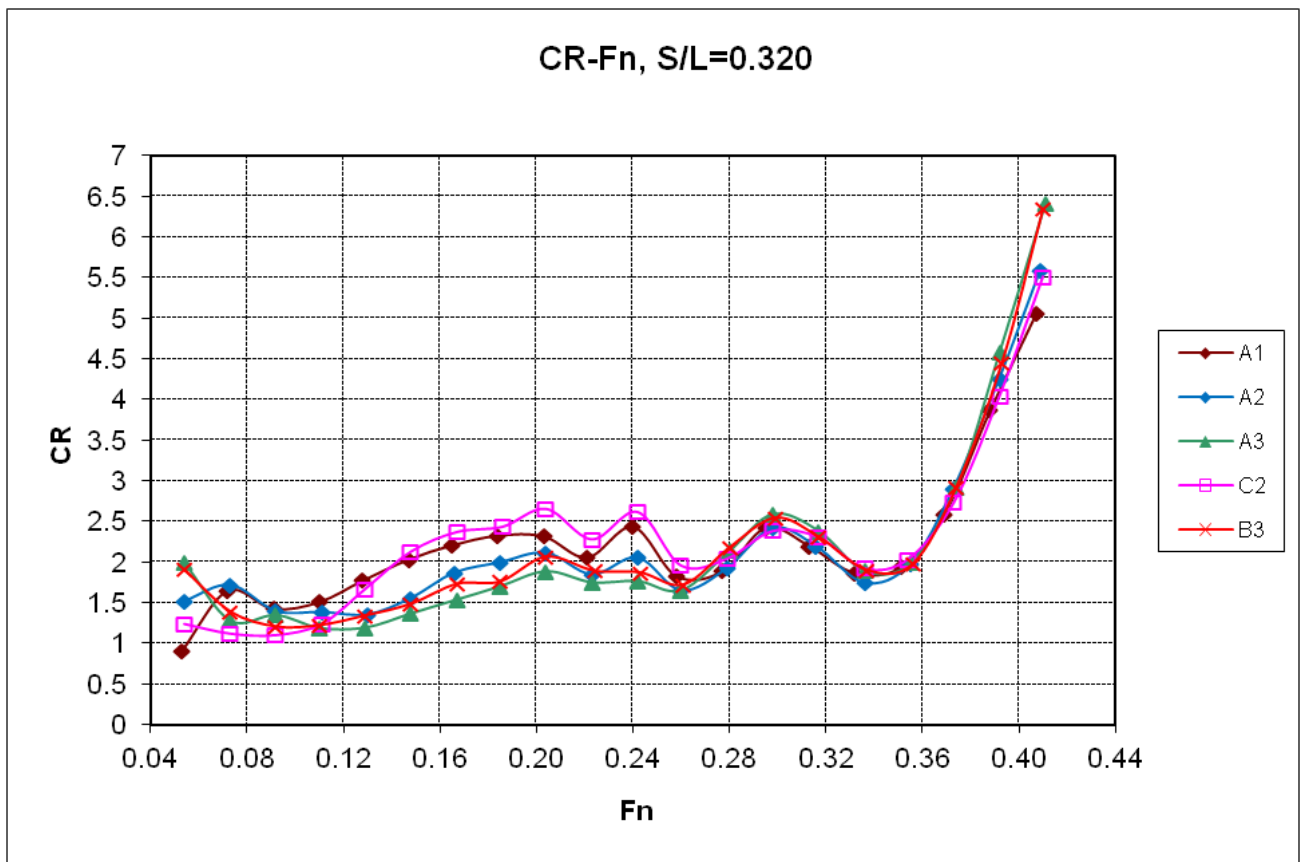
Διάγραμμα 1: Υπόλοιπη αντίσταση μονής γάστρας συναρτήσει του αριθμού Froude



Διάγραμμα 2: Υπόλοιπη αντίσταση διπλής γάστρας συναρτήσει του αριθμού Froude



Διάγραμμα 3: Υπόλοιπη αντίσταση διπλής γάστρας συναρτήσει του αριθμού Froude



Διάγραμμα 4: Υπόλοιπη αντίσταση διπλής γάστρας συναρτήσει του αριθμού Froude

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι για αριθμό Froude μέχρι 0.28 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης ( $C_R$ ) είναι μεγαλύτερος για τις καταστάσεις με μικρότερο εκτόπισμα (όπως η A1 ή C2) και μικρότερη για τις καταστάσεις με μεγαλύτερο εκτόπισμα (όπως η A3). Για μεγαλύτερους, όμως, αριθμούς Froude παρατηρείται το αντίθετο φαινόμενο.

Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται κατά βάση από την επίδραση του βολβού στην αντίσταση του μοντέλου. Υπενθυμίζεται ότι στις καταστάσεις A1 και C2 ο βολβός δεν είναι βυθισμένος, ενώ στην κατάσταση A3 ολόκληρος ο βολβός βρίσκεται βυθισμένος.

Για χαμηλούς αριθμούς Froude (μικρές ταχύτητες) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση βολβού επιδρά θετικά στην μείωση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ σε αντίθετη περίπτωση για υψηλότερους αριθμούς Froude οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται εντονότερο στην μικρότερη απόσταση των γαστρών, διότι οι δημιουργούμενοι κυματισμοί σε αυτή την περίπτωση εμφανίζονται ενισχυμένοι, λόγω της έντονης αλληλεπίδρασης των γαστρών.

Τέλος, παρατηρώντας τις καμπύλες που αναφέρονται στην διπλή γάστρα, βλέπουμε ότι παρουσιάζονται δύο σημεία καμψής στα οποία ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζει τοπικό ελάχιστο. Αυτή η συμπεριφορά δεν εμφανίζεται στην περίπτωση της μονής γάστρα στην οποία η καμπύλη είναι περισσότερο ομαλή. Η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται από τις αλληλεπιδράσεις των γαστρών και τα σημεία όπου παρουσιάζεται αυτή η συμπεριφορά είναι εκείνα στα οποία οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι ευνοϊκές και οδηγούν σε μείωση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.

### 3.3.2 Επίδραση λόγου S/L στην αντίσταση

Η αλληλεπίδραση των γαστρών είναι ένα πολύ σημαντικό φαινόμενο κατά την σχεδίαση ενός δίγαστρου πλοίου. Η ισαπόσταση των γαστρών ή αλλιώς ο λόγος L/S επηρεάζει την αντίσταση του σκάφους. Η αλληλεπίδραση αυτή συνίσταται στην υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών που δημιουργούνται από τις δύο ημιγάστρες και στη μεταβολή του πεδίου ροής γύρω από την κάθε ημιγάστρα λόγω της παρουσίας της άλλης.

Στην παρούσα διπλωματική το φαινόμενο αυτό αποτελεί σημαντικό μέρος της μελέτης. Σε αυτό το κεφάλαιο το φαινόμενο θα εξεταστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους.

Αρχικά η αλληλεπίδραση (interactions) θα εξεταστεί σύμφωνα με τον δείκτη  $IF_{wpc}$ . Ο δείκτης αυτός είναι ένα αδιάστατο μέγεθος με το οποίο είναι εφικτό να προσδιοριστεί ο βαθμός συσχέτισης της μονής γάστρας με το δίγαстро μοντέλο.

Στην συνέχεια, σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο, θα διερευνηθεί η συσχέτιση των γαστρών συγκρίνοντας τους λόγους S/L μεταξύ τους. Η σύγκριση αυτή θα γίνει μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ( $C_R$ ).

#### 3.3.2.1 Βαθμός συσχέτισης (interaction) μονόγαστρου με δίγαстро

Σε αυτή την ενότητα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θα προσδιοριστεί ο βαθμός συσχέτισης της μονής γάστρας με το δίγαстро μοντέλο χρησιμοποιώντας τον αδιάστατο δείκτη  $IF_{wpc}$ . Σκοπός της μεθόδου είναι να προσδιοριστεί αν υπάρχουν αριθμοί Froude αλλά και σε ποιον λόγο S/L βρίσκονται, στους οποίους η αντίσταση του δίγαστρου είναι μικρότερη από το διπλάσιο της αντίστασης του μονόγαστρου (θετική αλληλεπίδραση, positive interaction). Οι περιοχές αυτές είναι περιοχές βέλτιστης λειτουργίας, στις οποίες η υπέρθεση των κυματισμών που δημιουργούνται από τις δύο γάστρες επιδρούν θετικά στην αντίσταση του μοντέλου. Είναι λογικό για ένα δίγαстро πλοίο η ταχύτητα υπηρεσίας του να βρίσκεται σε αυτές τις περιοχές.

Ο δείκτης  $IF_{wpc}$  ορίζεται ως εξής:

$$IF_{wpc} = \frac{R_{wpc} - 2R_{wpd}}{2R_{wpd}}$$

Όπου:

$R_{wpc}$  [kr] : αντίσταση ρυμούλκησης του δίγαστρου

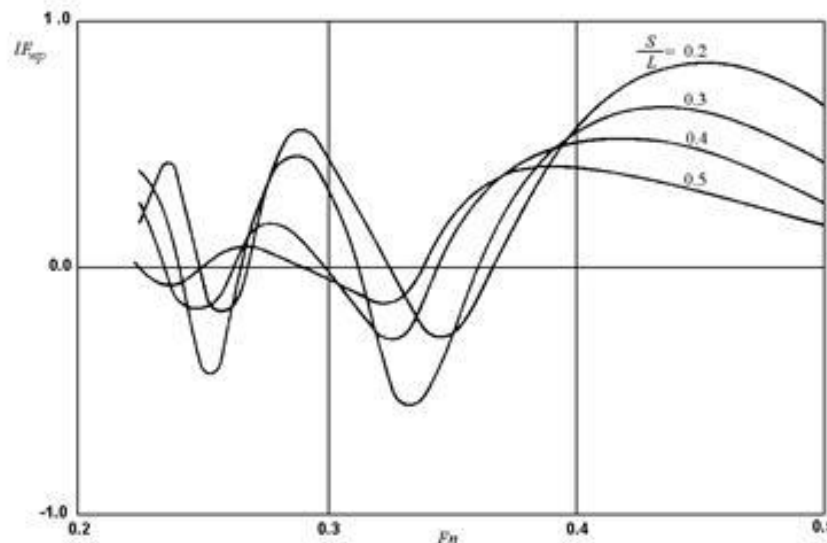
$R_{wpd}$  [kr] : αντίσταση ρυμούλκησης της μονής γάστρας

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται για κάθε αριθμό Froude όπου έχουμε πειραματικά αποτελέσματα και στην συνέχεια παρουσιάζεται σε διάγραμμα όπου στον άξονα Y έχουμε τον παραπάνω δείκτη και στον άξονα X τον αριθμό Froude.

Όταν ο δείκτης  $IF_{wpc}$  ισούται με μηδέν σημαίνει ότι η αντίσταση του δίγαστρου είναι ακριβώς διπλάσια της αντίστασης του μονόγαστρου. Όταν ο δείκτης πάρει την τιμή 1 σημαίνει όταν η αντίσταση του δίγαστρου είναι τετραπλάσια της αντίστασης του μονόγαστρου. Τέλος, όταν ο δείκτης πάρει τιμή -1 σημαίνει ότι η αντίσταση του

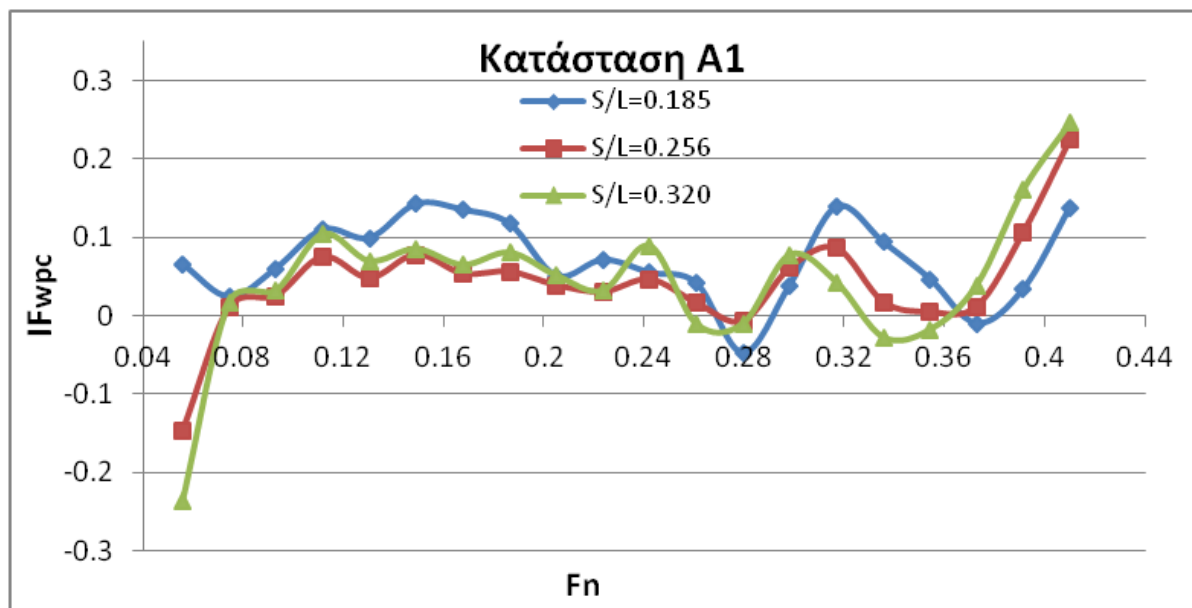
δίγαστρου σε σχέση με την αντίσταση του μονόγαστρου είναι υποτετραπλάσια. Φυσικά οι τιμές 1 και -1 στην πραγματικότητα δεν μπορούν να υπάρξουν.

Θετικές αλληλεπιδράσεις (αριθμοί Froude στους οποίους θέλουμε να κινείται το πλοίο) έχουμε όταν βρισκόμαστε στα αρνητικά του διαγράμματος.



Διάγραμμα 5: Δείκτης αλληλεπίδρασης μονόγαστρου-δίγαστρου σε συνάρτηση με τον αριθμό Froude για διάφορους λόγους S/L

### Κατάσταση A1

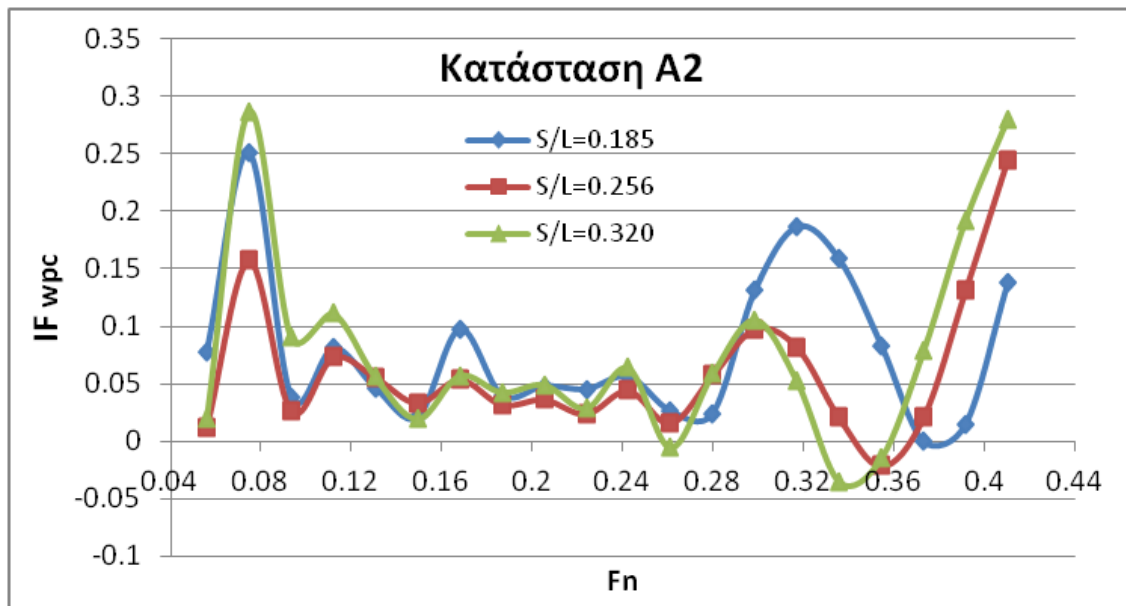


Διάγραμμα 6: Δείκτης αλληλεπίδρασης μόνης με διπλής γάστρας για την κατάσταση A1

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι έχουμε: για λόγο  $S/L=0.185$  δύο θετικές αλληλεπιδράσεις για Froude 0,28 και 0.373, για λόγο  $S/L=0.256$  μια θετική για αριθμό Froude 0.28 και για λόγο  $S/L=0.320$  τέσσερεις θετικές στους αριθμούς Froude 0.261, 0.28, 0.336 και 0.354. Από τις παραπάνω ταχύτητες, μέγιστη θετική αλληλεπίδραση έχουμε για λόγο γαστρών  $S/L=0.185$  και αριθμό Froude 0.28.



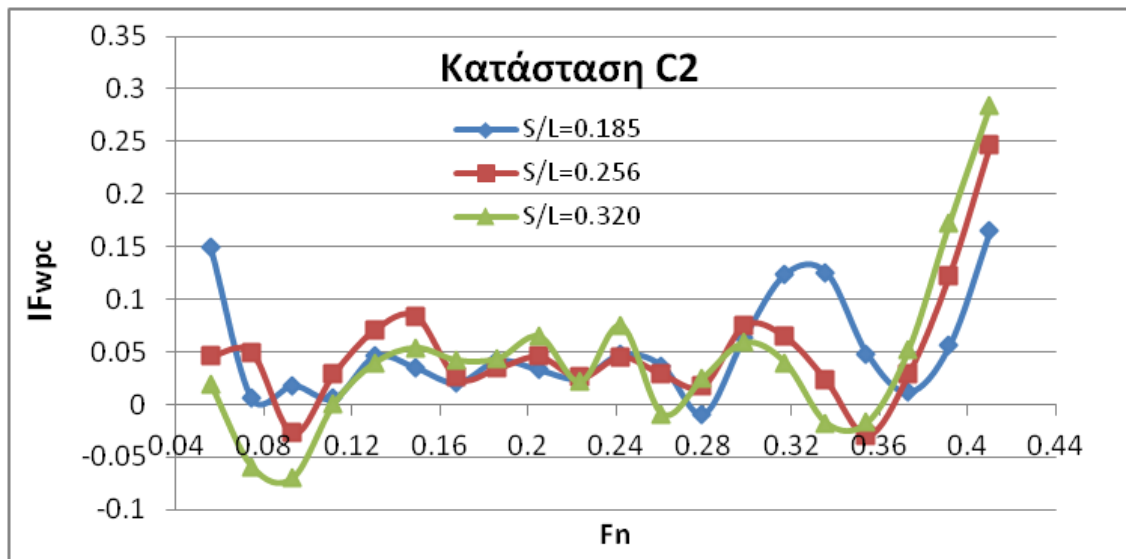
### Κατάσταση A2



Διάγραμμα 7: Δείκτης αλληλεπίδρασης μονής με διπλής γάστρας για την κατάσταση A2

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι: για λόγο  $S/L=0.185$  δεν έχουμε καμία θετική αλληλεπίδραση, για λόγο  $S/L=0.256$  έχουμε μια, για αριθμό Froude 0.28 και για λόγο  $S/L=0.320$  τέσσερις, στους αριθμούς Froude 0.261, 0.28, 0.336 και 0.354. Από τις παραπάνω ταχύτητες, μέγιστη θετική αλληλεπίδραση έχουμε για λόγο γαστρών  $S/L=0.320$  και αριθμό Froude 0.336.

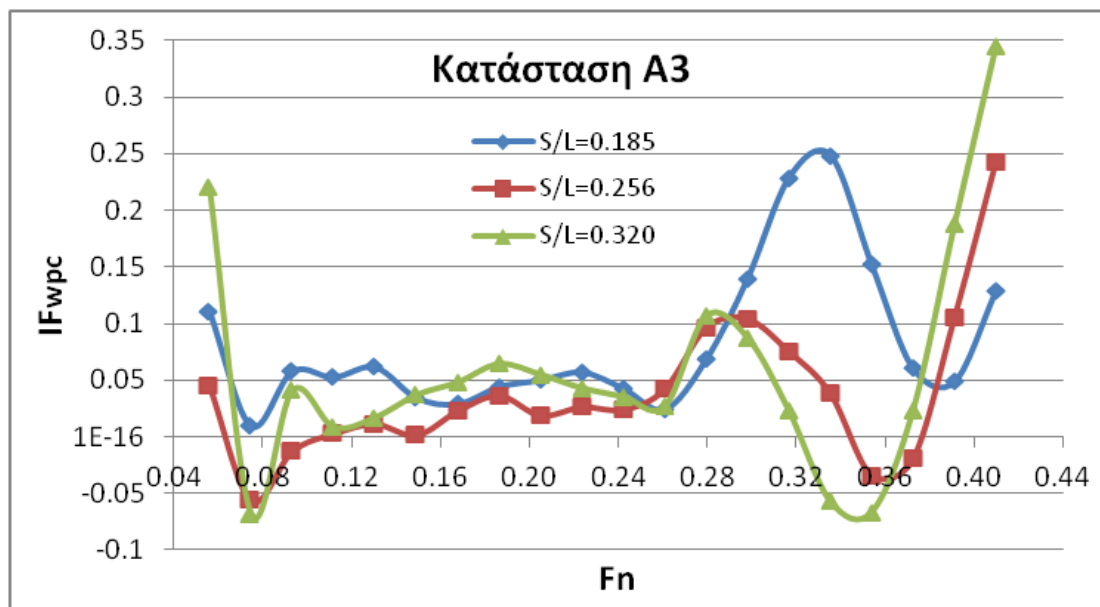
### Κατάσταση C2



Διάγραμμα 8: Δείκτης αλληλεπίδρασης μονής με διπλής γάστρας για την κατάσταση C2

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι έχουμε: για λόγο  $S/L=0.185$  μια θετική αλληλεπίδραση για Froude 0,28, για λόγο  $S/L=0.256$  μια θετική για αριθμό Froude 0.354 και για λόγο  $S/L=0.320$  τρεις στους αριθμούς Froude 0.261, 0.336 και 0.354. Ωστόσο, η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται για λόγο γαστρών  $S/L=0.256$  και αριθμό Froude 0.354. Συγκρίνοντας αυτή την κατάσταση (με διαγωγή) με την προηγούμενη (ισοβύθιστη), παρατηρούμε ότι η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται στον λόγο  $S/L=0.256$  σε αντίθεση με την προηγούμενη κατάσταση που παρουσιαζόταν στον λόγο  $S/L=0.320$ .

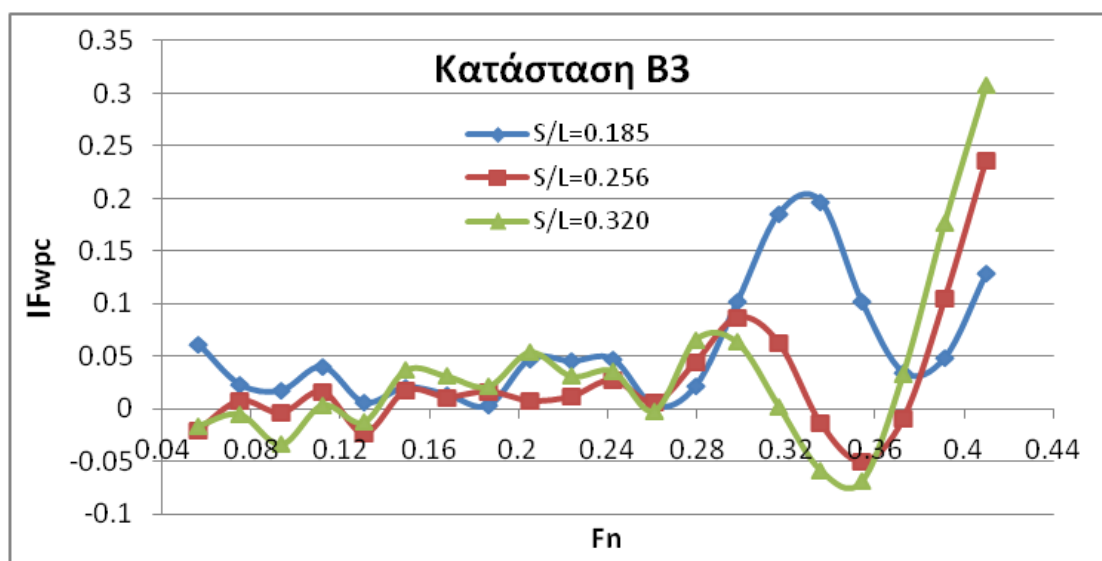
### Κατάσταση A3



Διάγραμμα 9: Δείκτης αλληλεπίδρασης μόνης με διπλής γάστρας για την κατάσταση A3

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι: για λόγο  $S/L=0.185$  δεν έχουμε καμία θετική αλληλεπίδραση, για λόγο  $S/L=0.256$  έχουμε δύο για αριθμούς Froude 0.354, 0.373 και για λόγο  $S/L=0.320$  έχουμε τρεις στους αριθμούς Froude 0.336 και 0.354. Σε αυτή την κατάσταση, η οποία είναι η μεγαλύτερη από άποψη εκτοπίσματος σε σχέση με τις προηγούμενες, παρατηρούνται οι μεγαλύτερες τιμές θετικών αλληλεπιδράσεων. Σημειώνουμε ότι η μέγιστη παρατηρείται για λόγο γαστρών  $S/L=0.320$  και αριθμό Froude 0.336.

### Κατάσταση Β3



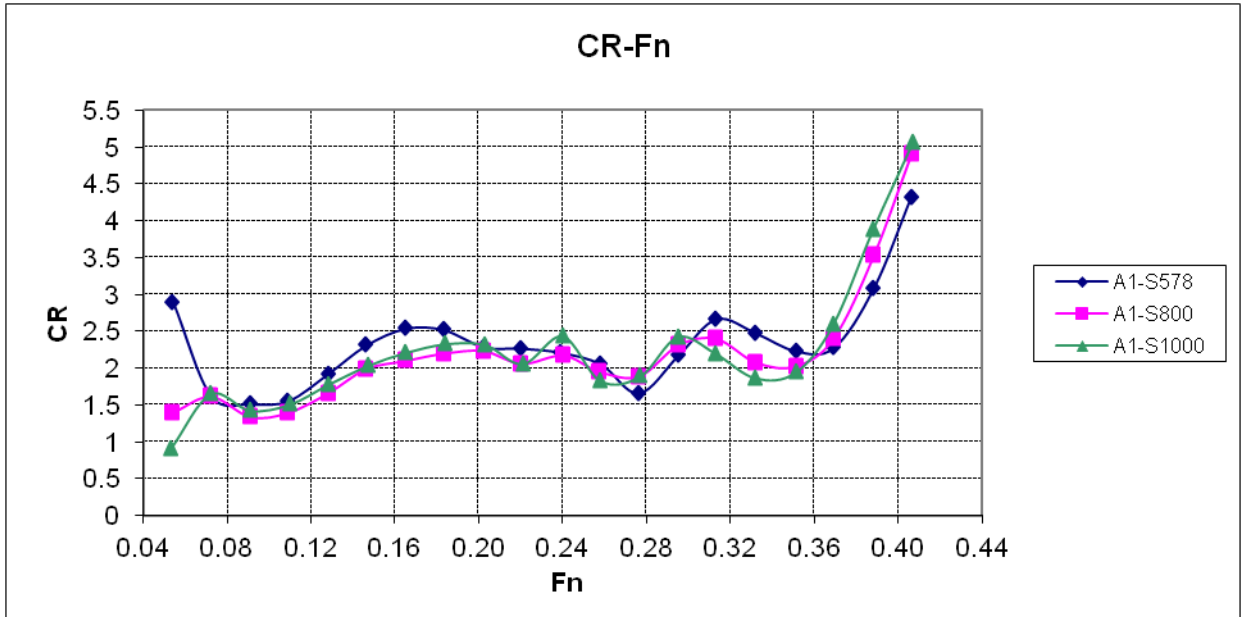
Διάγραμμα 10: Δείκτης αλληλεπίδρασης μονής με διπλής γάστρας για την κατάσταση Α3

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι: για λόγο  $S/L=0.185$  δεν έχουμε καμία θετική αλληλεπίδραση, για λόγο  $S/L=0.256$  έχουμε τρεις για αριθμούς Froude 0.336, 0.354, 0.373 και για λόγο  $S/L=0.320$  έχουμε δύο στους αριθμούς Froude 0.336 και 0.354. Η τιμή της μέγιστης θετικής αλληλεπίδρασης παρουσιάζεται στον ίδιο αριθμό Froude σε σχέση με την προηγούμενη ισοβύθιστη κατάσταση, ωστόσο σε αυτή την κατάσταση βλέπουμε ότι παρουσιάζονται θετικές αλληλεπιδράσεις για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων.

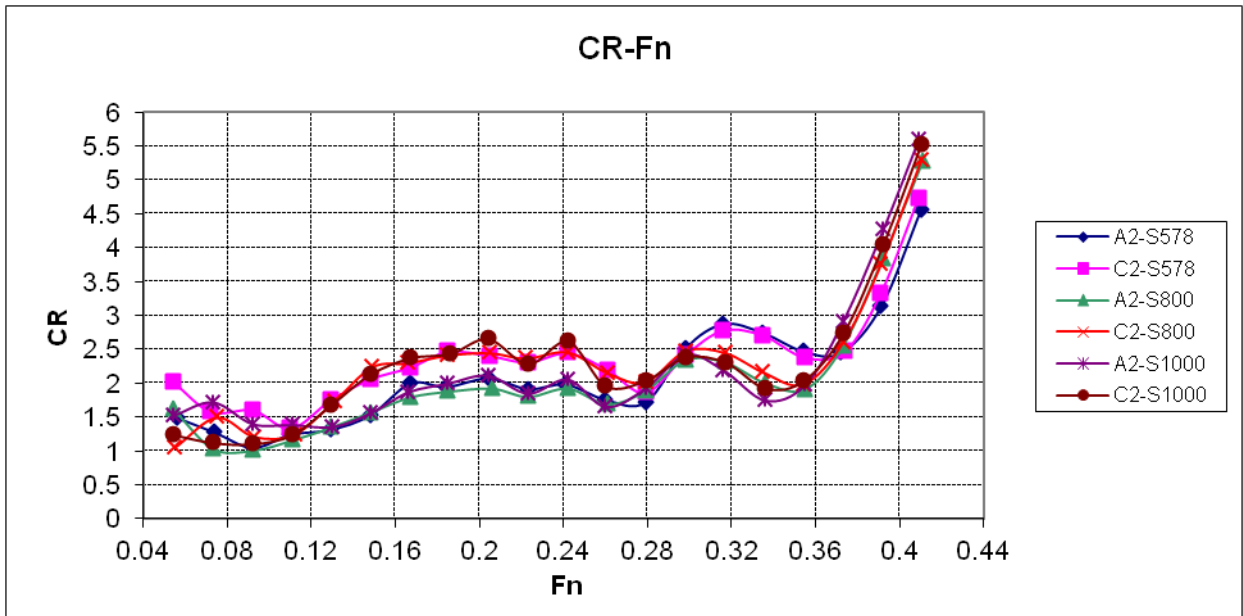
#### 3.3.2.2 Βαθμός συσχέτισης (interaction) των δύο γαστρών

Σε αυτή την ενότητα θα διερευνηθεί η συσχέτιση των γαστρών συγκρίνοντας τους λόγους  $S/L$  μεταξύ τους. Η σύγκριση θα γίνει μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ( $C_R$ ). Ο συντελεστής ολικής αντίστασης, όπως έχει αναφερθεί, είναι άθροισμα του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης και του συντελεστή τριβής. Όμως, ο συντελεστής τριβής παραμένει σταθερός αφού για κάθε απόσταση γαστρών συγκρίνουμε τα ίδια βυθίσματα. Έτσι, από τις δύο συνιστώσες, ο συντελεστής ο οποίος διαφοροποιεί τον συντελεστή ολικής αντίστασης είναι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης. Για αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε η σύγκριση να γίνει μέσω αυτού του συντελεστή.

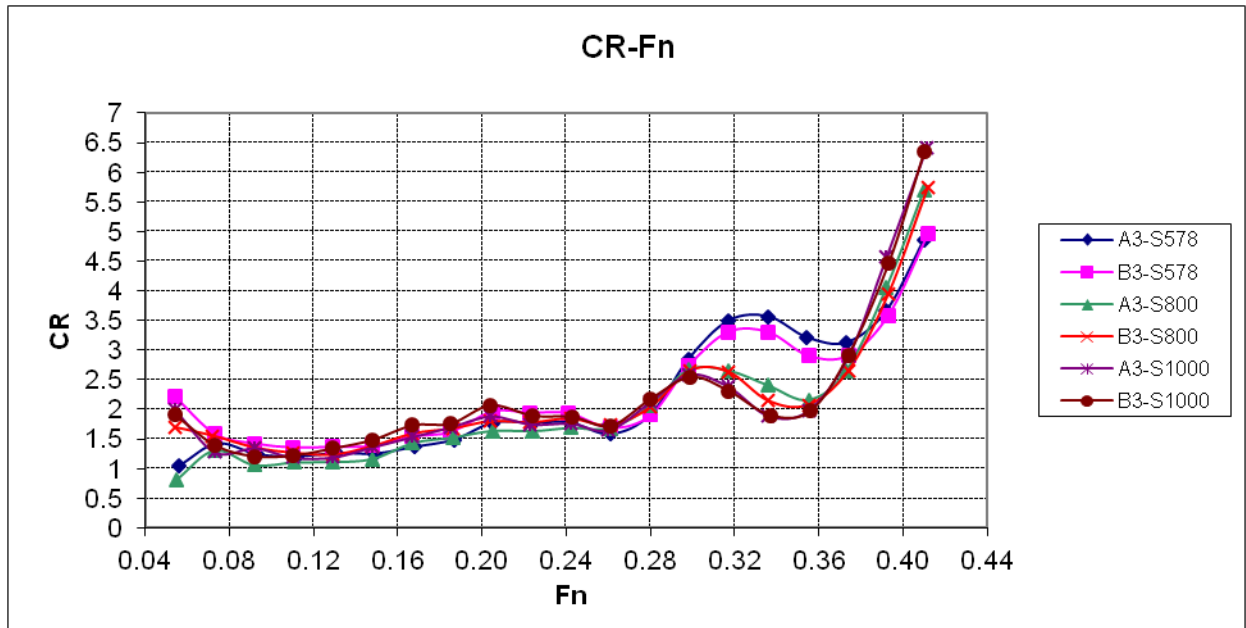
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ( $C_R$ ) συναρτήσει του αριθμού Froude για τους τρεις διαφορετικούς λόγους  $S/L$ .



Διάγραμμα 11: Υπόλοιπη αντίσταση για την κατάσταση A1 για τους τρεις λόγους S/L



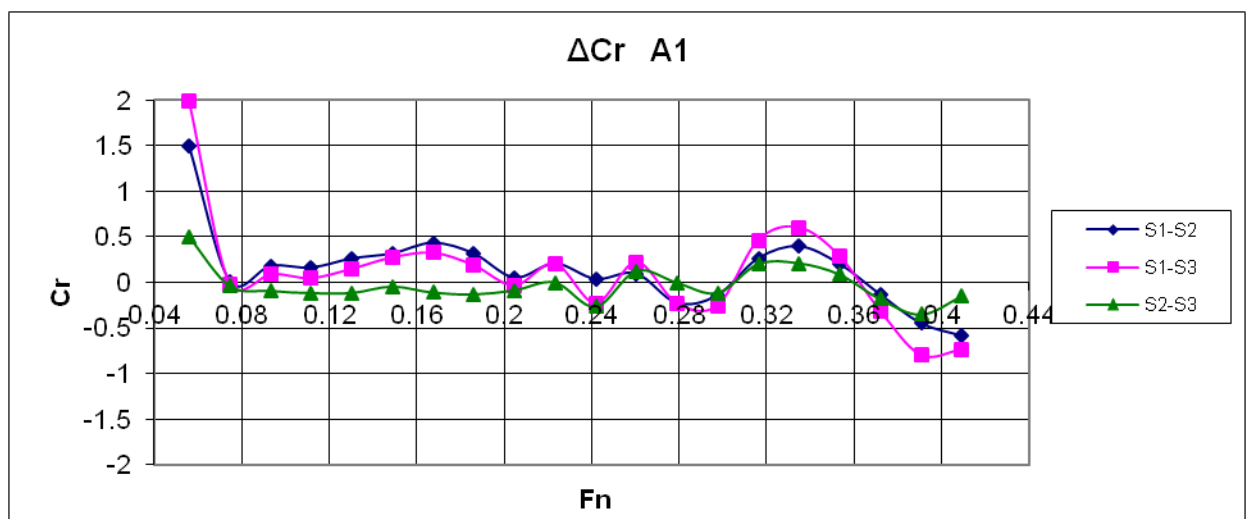
Διάγραμμα 12: Υπόλοιπη αντίσταση για την κατάσταση A2 και C2 για τους τρεις λόγους S/L



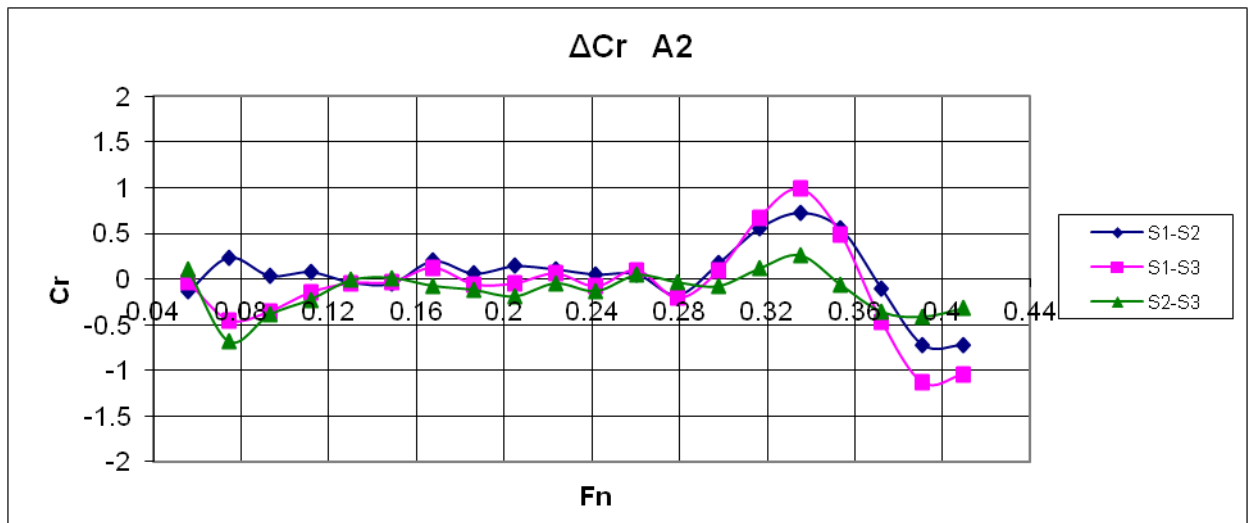
Διάγραμμα 13: Υπόλοιπη αντίσταση για την κατάσταση A3 και B3 για τους τρεις λόγους S/L

Επειδή, ωστόσο, από τα παραπάνω διαγράμματα είναι δύσκολο να βγουν συμπεράσματα καθώς οι διαφορές στις τιμές του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης (εκτός από της περιοχής 0.3-0.36 όπου η διαφορά είναι ορατή) είναι πολύ μικρές, στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται για κάθε υπό μελέτη κατάσταση οι διαφορές του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την μια κατάσταση στην άλλη. Φυσικά καταλαβαίνουμε ότι όταν η διαφορά των μεγεθών είναι θετική, σημαίνει ότι το πρώτο μέγεθος είναι μεγαλύτερο από το δεύτερο κατά το μέτρο της διαφοράς τους, ενώ όταν είναι αρνητική το αντίθετο. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ξεκάθαρο σε ποιους αριθμούς Froude η αλληλεπίδραση των γαστρών είναι μεγαλύτερη.

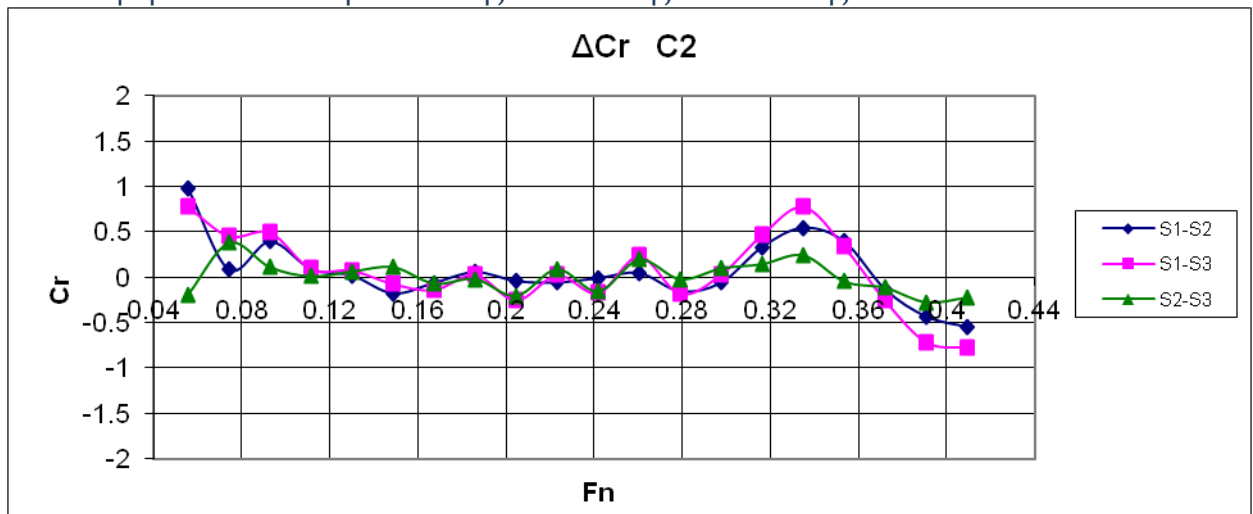
#### Διαφορά συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης κατάστασης A1



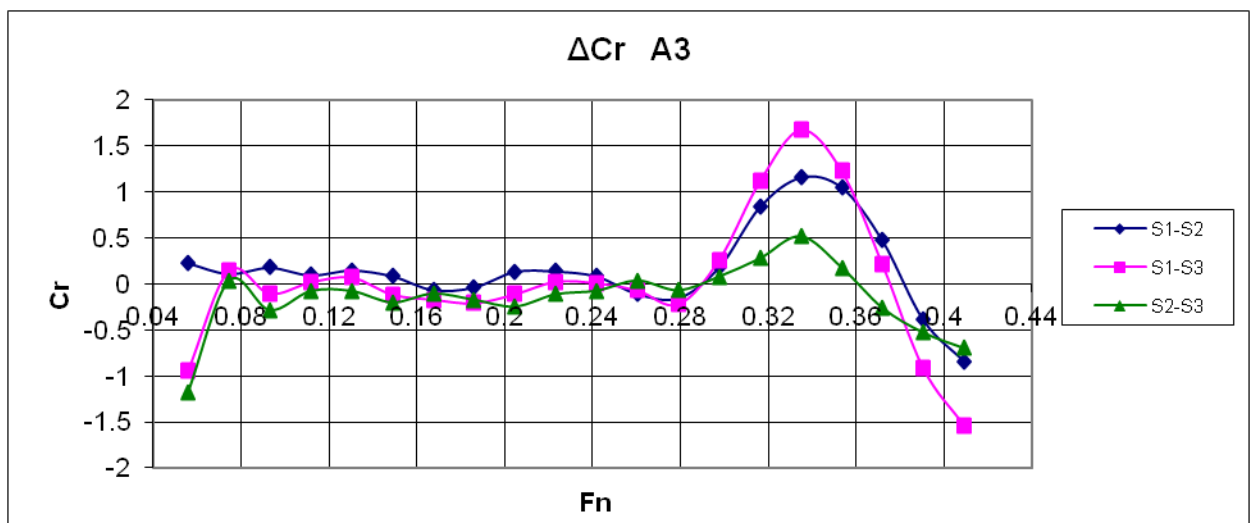
Διαφορά συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης κατάστασης A2



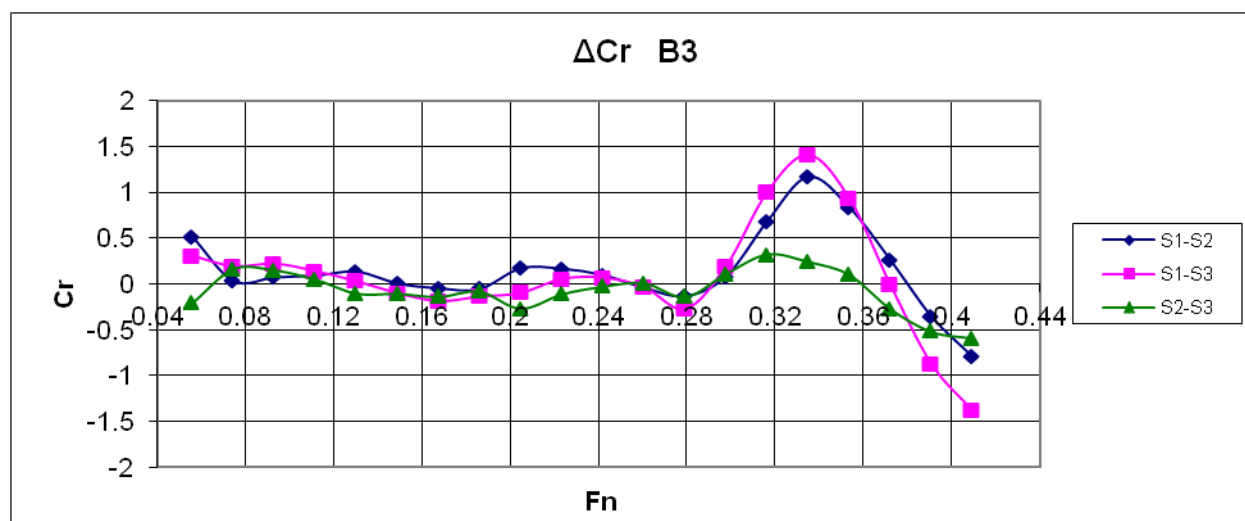
Διαφορά συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης κατάστασης C2



Διαφορά συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης κατάστασης A3



### Διαφορά συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης κατάστασης B3



Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε, αρχικά, ότι μέχρι και για αριθμό Froude 0.28 δεν παρατηρούνται ουσιαστικές διαφορές ως προς την υπόλοιπη αντίσταση. Οι μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζονται στο εύρος των αριθμών Froude από 0.298 έως 0.354.

Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση προκύπτει συγκρίνοντας την μικρότερη απόσταση των γαστρών με την μεγαλύτερη, με αντίστοιχους λόγους  $S/L$  0.185 και 0.320 (ροζ γραμμή). Σε αυτή την περίπτωση ιδιαίτερα για αριθμούς Froude από 0.298 έως 0.354 παρατηρούνται οι μεγαλύτερες τιμές των διαφορών.

Συγκρίνοντας τις δύο μεγαλύτερες αποστάσεις γαστρών με λόγους  $S/L=0.256$  και  $S/L=0.320$  (πράσινη γραμμή), παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις ως προς τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Παρόλα αυτά, μικρή διαφορά παρατηρείται όπως και προηγουμένως στους αριθμούς Froude από 0.298 έως 0.354.

Τέλος, συγκρίνοντας την μικρότερη με την ενδιάμεση απόσταση των γαστρών με λόγους  $S/L$  0.185 και 0.256 αντίστοιχα (μπλε γραμμή), παρατηρούμε ότι στο εύρος των αριθμών Froude 0.298 έως 0.354 η καμπύλη βρίσκεται ελαφρώς χαμηλότερα από την διαφορά των λόγων  $S/L$  0.185 και 0.320 (ροζ γραμμή).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις έχουν άμεση σχέση με τις αλληλεπιδράσεις των γαστρών και την υπέρθεση των κυματισμών που δημιουργούνται ανάμεσα στις γάστρες. Για λόγο  $S/L=0.185$ , επειδή η απόσταση μεταξύ των γαστρών είναι ιδιαίτερα μικρή, οι αλληλεπιδράσεις είναι περισσότερο έντονες, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε υψηλές τιμές υπόλοιπης αντίστασης, κάτι που δεν συμβαίνει με τις δύο άλλες καταστάσεις. Το φαινόμενο αυτό γίνεται εντονότερο σε υψηλούς αριθμούς Froude, στους οποίους οι παραγόμενοι κυματισμοί από τις δύο γάστρες είναι μεγαλύτεροι.

Η χαμηλότερη αλληλεπίδραση των γαστρών, σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, εμφανίζεται όπως ήταν αναμενόμενο στην μεγαλύτερη απόσταση των δύο γαστρών, δηλαδή στον λόγο  $S/L=0.320$ .



### 3.3.3 Επίδραση διαγωγής στην αντίσταση

Όπως έχει αναφερθεί, μελετήθηκαν δύο καταστάσεις με διαγωγή. Η πρώτη (C2) είχε ίδιο εκτόπισμα με την κατάσταση A2 και έμπρυμνη διαγωγή ίση με 0.5 m. Στην κατάσταση αυτή το πάνω μέρος του βολβού βρισκόταν έξω από την επιφάνεια του νερού. Η δεύτερη (B3) είχε το ίδιο εκτόπισμα με την κατάσταση (A3) και έμπρυμνη διαγωγή ίση με 1 m. Ομοίως και σε αυτή την κατάσταση το πάνω μέρος του βολβού ήταν έξω από την επιφάνεια του νερού.

Οι καταστάσεις αυτές όσον αφορά την βρεχόμενη επιφάνεια δεν διέφεραν πολύ, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

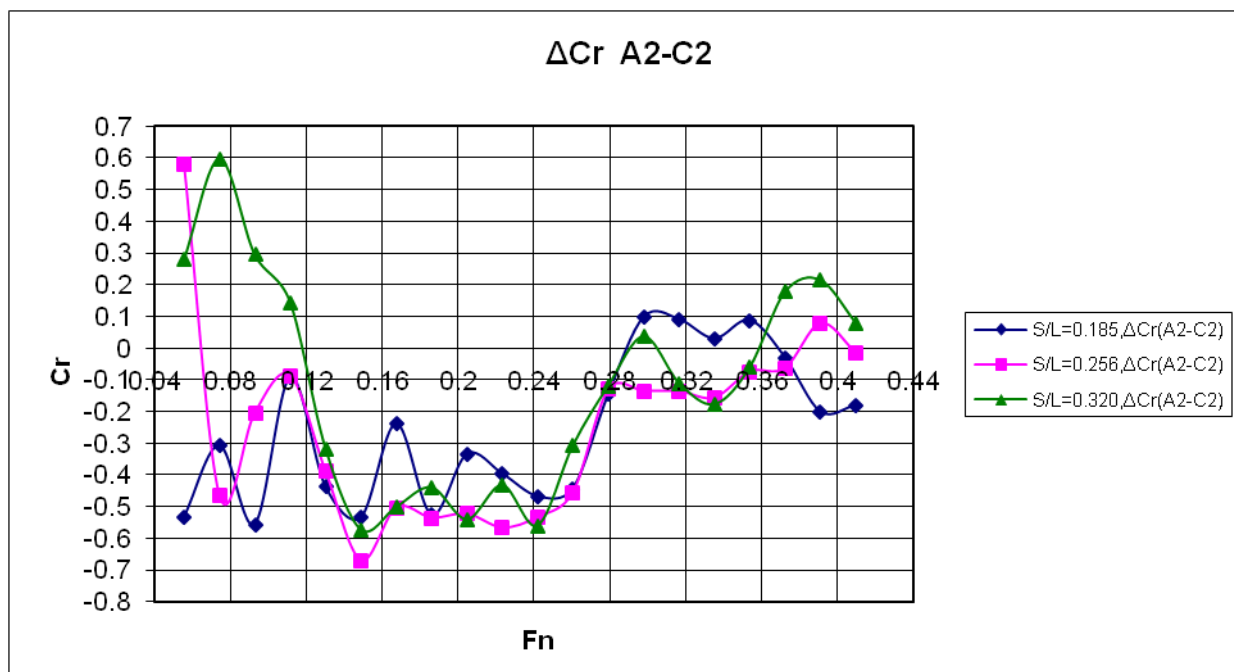
A/A	A2	C2	A3	B3
WSA(m <sup>2</sup> )	1566	1557	1763	1762

Πίνακας 3: Βρεχόμενη επιφάνεια στις καταστάσεις A2, C2, A3, B3

Για αυτό τον λόγο μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής αντίστασης τριβής τους είναι σχεδόν ίσος. Η διαφορά, έστω και μικρή, όπως αναφέραμε, οφείλεται στην υπόλοιπη αντίσταση.

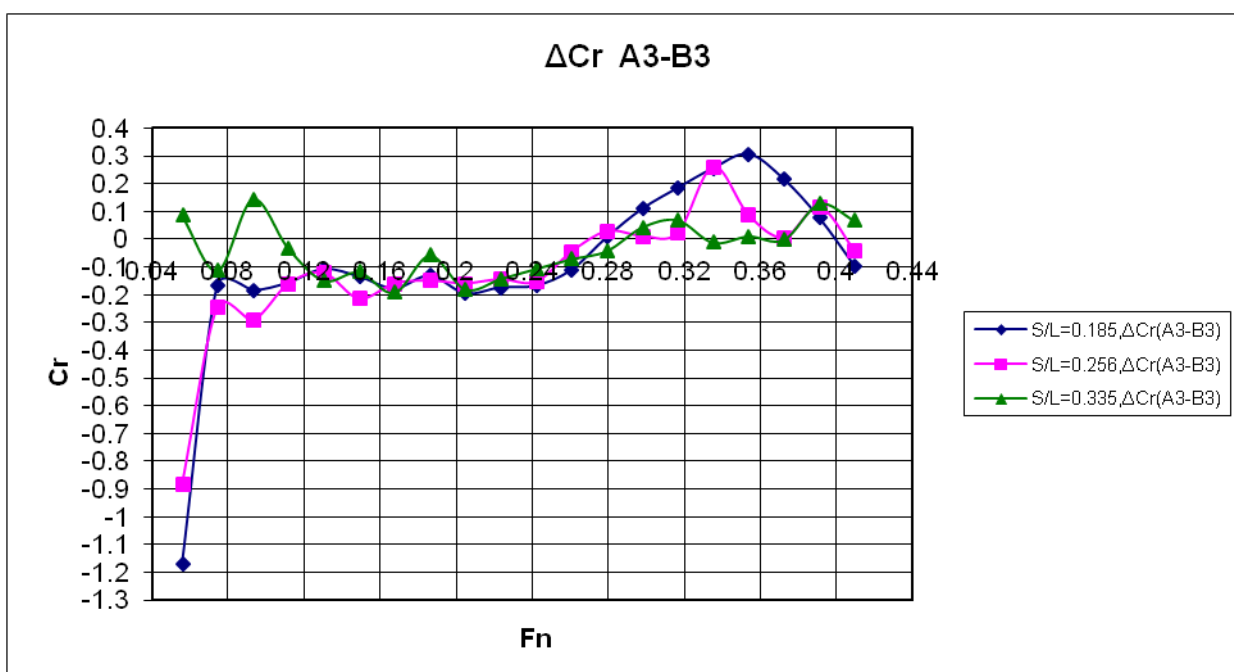
Αρχικά πρέπει να αναφέρουμε ότι, όπως βλέπουμε από τα διαγράμματα της υπόλοιπης αντίστασης της παραγράφου 3.3.1, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην αντίσταση μεταξύ των ισοβύθιστων καταστάσεων και αυτών με διαγωγή.

Προκειμένου ωστόσο να μπορέσουμε να εξετάσουμε αυτές τις μικρές διαφορές, φτιάξαμε δύο διαγράμματα όπου στο καθένα για κάθε απόσταση γαστρών εμφανίζεται η διαφορά της υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ της ισοβύθιστης κατάστασης και της αντίστοιχης με διαγωγή:



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πολύ μεγάλες διαφορές στους πρώτους τρεις αριθμούς Froude, αλλά, όπως έχουμε αναφέρει, σε αυτούς τους αριθμούς Froude επειδή οι ταχύτητες είναι πολύ μικρές τα λάθη στις μετρήσεις είναι αναπόφευκτα, με αποτέλεσμα η υπόλοιπη αντίσταση να εμφανίζει μη ρεαλιστικές τιμές. Επομένως, αυτές οι τιμές δεν θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Στην συνέχεια παρατηρούμε διαφορές υπόλοιπης αντίστασης στο εύρος αριθμών Froude από 0.149-0.26. Σε αυτές τις ταχύτητες οι διαφορές είναι αρνητικές, κάτι που δείχνει ότι σε όλους τους λόγους S/L η υπόλοιπη αντίσταση είναι μεγαλύτερη στην κατάσταση C2. Σε αυτό το εύρος οι διαφορές της υπόλοιπης αντίστασης είναι της τάξης του 0.4 με 0.6, τιμές που είναι χαμηλές. Για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.279 βλέπουμε ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές.



Σε αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα, σε αυτό το διάγραμμα οι μεγαλύτερες διαφορές προκύπτουν για αριθμούς Froude από 0.298 έως 0.391 και κυρίως για τον λόγο S/L=0.185. Οι διαφορές στην υπόλοιπη αντίσταση σε αυτή την περίπτωση είναι της τάξης του 0.1 με 0.3.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η επίδραση διαγωγής στον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης και άρα και στον συντελεστή ολικής αντίστασης είναι ιδιαίτερα μικρός. Υπενθυμίζουμε ότι, όπως είπαμε παραπάνω, ο συντελεστής τριβής που αποτελεί την άλλη συνιστώσα του συντελεστή ολικής αντίστασης είναι περίπου ίδιος ανάμεσα στις δύο καταστάσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

#### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται διερεύνηση αντίστασης με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η εκρηκτική ανάπτυξη και χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τα τελευταία 30 χρόνια είχε σημαντική επίδραση σε όλους του τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένης και της υπολογιστικής υδροδυναμικής. Οι δυνατότητες των σύγχρονων υπολογιστών σε συνδυασμό με τις ανάγκες του τομέα της μηχανικής των ρευστών δημιούργησαν προοπτικές έρευνας και ανάπτυξης. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960 οι λύσεις των ρευστομηχανικών προβλημάτων προέρχονταν είτε από πειραματικές προσομοιώσεις προβλημάτων είτε από απλοποιημένες εξισώσεις με παραδοχές των οποίων η αξιοπιστία ήταν αμφισβητήσιμη. Σήμερα, η συμμετοχή των ηλεκτρονικών υπολογιστών στη λύση ρευστομηχανικών πεδίων είναι σημαντική και μάλιστα οι λύσεις που παρέχονται από υπολογιστές σε αρκετές περιπτώσεις ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Ωστόσο, η ανάγκη επαλήθευσης των αριθμητικών αποτελεσμάτων με πειραματικά παραμένει.

Τα αριθμητικά προγράμματα, αν και προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την λύση των πειραματικών αποτελεσμάτων, σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζουν διαφορές κυρίως ως προς το μέτρο της εκτιμούμενης αντίστασης. Να τονίσουμε ότι τα προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο ιδιαίτερα στην διαδικασία της αρχικής σχεδίασης ενός πλοίου. Η χρήση τους δίνει την δυνατότητα στον σχεδιαστή να επιτύχει την βέλτιστη δυνατή σχεδίαση, προσδιορίζοντας την αντίσταση ενός πλήθους παραπλήσιων σχεδιάσεων της γάστρας και επιλέγοντας την βέλτιστη.

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι ο προσδιορισμός της αντίστασης του υπό μελέτη σκάφους κατά την κίνησή του σε ήρεμο νερό μέσω δύο προγραμμάτων και η σύγκριση τόσο μεταξύ τους, όσο και σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν δύο προγράμματα, το *catamaranf* που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου από τον καθηγητή κ. Γεώργιο Τζαμπίρα και το υπολογιστικό πακέτο *Shipflow*.

Στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου γίνεται μια σύντομη αναφορά στο τρόπο που το πρόγραμμα *catamaranf* υπολογίζει την αντίσταση του πλοίου. Ακολούθως, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να επιλεγεί το πλέγμα που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια. Ως πλέγμα ορίζεται το σύνολο των στοιχείων που απαιτούνται ώστε να περιγραφεί τόσο η γάστρα του πλοίου όσο και η ελεύθερη επιφάνεια του νερού επιτυχώς. Σύντομη αναφορά γίνεται, επίσης, σχετικά με το υπολογιστικό πακέτο *Shipflow*.

Η σύγκριση των αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων θα γίνει σύμφωνα με το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_w$ , καθώς τα αριθμητικά προγράμματα μπορούν να υπολογίσουν την αντίσταση κυματισμού και μόνο αυτήν. Σημειώνεται επίσης ότι από τα πειραματικά αποτελέσματα δίνεται μόνο ο συντελεστής ολικής αντίστασης και όχι ο συντελεστής κυματισμού. Προκειμένου να υπολογίσουμε τον συντελεστή κυματισμού μέσω αυτών θα γίνει εφαρμογή της μεθόδου Hughes. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει τον υπολογισμό ενός αδιάστατου συντελεστή  $k$ . Ο συντελεστής αυτός προκύπτει σύμφωνα με την μέθοδο Prohaska, πραγματοποιώντας πειράματα αντίστασης για πολύ χαμηλές ταχύτητες μοντέλου.

Στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου θα γίνει σύγκριση των προφίλ των κυματισμών που δημιουργούνται από την κίνηση του πλοίου στο ήρεμο νερό. Όπως έχει αναφερθεί στο 2ο κεφάλαιο, έγιναν πειράματα υπολογισμού του προφίλ των κυματισμών σε δύο εγκάρσιες θέσεις εξωτερικά των γαστρών και σε 6 σημεία στον διαμήκη άξονα συμμετρίας των δύο γαστρών. Με το πρόγραμμα Catamaranf προσδιορίστηκε το προφίλ του κύματος και εξωτερικά και εσωτερικά των γαστρών, ενώ με το πρόγραμμα Shipflow προσδιορίστηκε το προφίλ του κύματος μόνο εξωτερικά των γαστρών. Τα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων, στην συνέχεια του κεφαλαίου, θα συγκριθούν τόσο μεταξύ τους όσο και με τα πειραματικά αποτελέσματα.

## 4.2 Αριθμητικοί υπολογισμοί με το πρόγραμμα Caramaran.f

Το παρόν πρόγραμμα έχει σκοπό την εκτίμηση της αντίστασης του πλοίου. Το πεδίο ροής γύρω από τρισδιάστατα σώματα, όπως είναι και η γάστρα ενός πλοίου, προσδιορίζεται από τις διαφορικές εξισώσεις Navier-Stokes και την εξίσωση της συνέχειας. Οι εξισώσεις αυτές για πραγματικά ρευστά δεν είναι δυνατόν να λυθούν αριθμητικά στην πλήρη τους μορφή. Προκειμένου να προσεγγίσουμε μια ρεαλιστική λύση κάνουμε ορισμένες παραδοχές.

Σύμφωνα με την πρώτη παραδοχή, θεωρούμε ότι το ρευστό στο οποίο βρίσκεται το σώμα είναι ασυμπίεστο (incompressible). Ασυμπίεστο είναι το ρευστό το οποίο η πυκνότητά του είναι σταθερή σε όλη την μάζα του και επομένως έχουμε ( $\frac{d\rho}{dt} = 0$ ).

Σύμφωνα με την δεύτερη παραδοχή, το ρευστό είναι και ιδανικό (inviscid). Ιδανικό είναι το ρευστό στο οποίο το δυναμικό ιξώδες ( $\mu$ ) και το κινηματικό ιξώδες ( $\nu$ ) του είναι μηδέν.

Τέλος, θεωρούμε ότι το ρευστό είναι και αστρόβιλο (irrotational), δεν εμφανίζει δηλαδή σημεία τυρβώδους ροής. Με την χρήση των παραπάνω παραδοχών η λύση του προβλήματος απλοποιείται.

Για μια δεδομένη ελεύθερη επιφάνεια η αντίσταση προκύπτει ολοκληρώνοντας την πίεση στην επιφάνεια της γάστρας. Πρόκειται για την αντίσταση κυματισμού ( $R_w$ ), καθώς λόγω των παραπάνω παραδοχών ο κώδικας δεν μπορεί να υπολογίσει την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας και την αντίσταση τριβής. Ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού ορίζεται ως εξής:

$$C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho * WS * V_s^2}$$

Όπου:

- $R_w$  : η αντίσταση του πλοίου
- $\rho$  : η πυκνότητα του νερού
- $WS$  : η βρεχόμενη επιφάνεια
- $V_s$  : η ταχύτητα του πλοίου

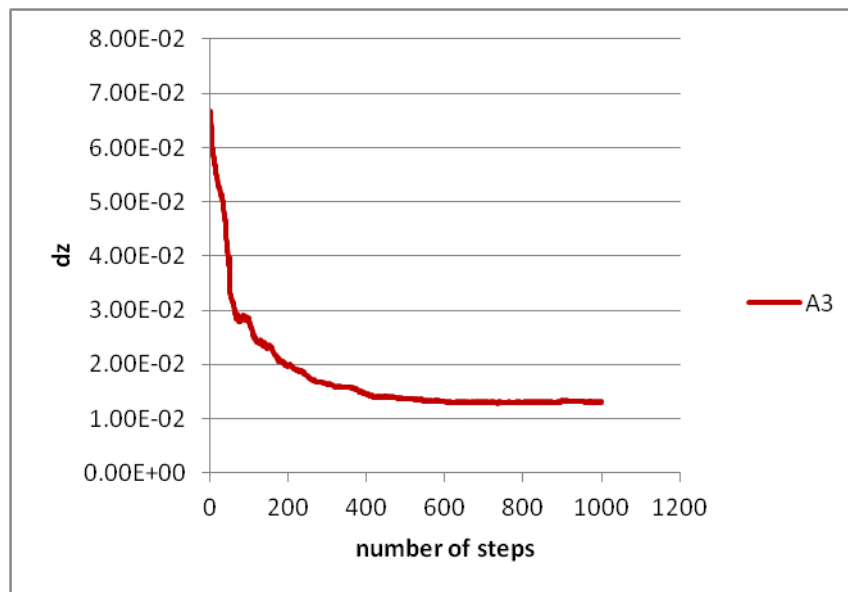
Ωστόσο, η ελεύθερη επιφάνεια σε προβλήματα ροής, όπως είναι το κινούμενο πλοίο σε ήρεμο νερό, δεν είναι δεδομένη. Το πρόβλημα τότε ανάγεται στον προσδιορισμό της. Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόζεται μια επαναληπτική διαδικασία της οποίας τα βασικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά χωρίζουμε την ελεύθερη επιφάνεια σε πεπερασμένο αριθμό στοιχείων (panels). Στην πρώτη επανάληψη θεωρούμε ότι η ελεύθερη επιφάνεια είναι επίπεδη. Από το δυναμικό ροής υπολογίζονται οι ταχύτητες σε κάθε panel. Στην συνέχεια, από την εξίσωση Bernoulli προκύπτει η πίεση  $p$ . Η δυναμική οριακή συνθήκη τότε δεν ικανοποιείται, διότι η πίεση που υπολογίσαμε είναι διαφορετική από την ατμοσφαιρική πίεση που στην πραγματικότητα έχουμε στην επιφάνεια του νερού. Ο κώδικας τότε διορθώνει την ελεύθερη επιφάνεια με τρόπο τέτοιο ώστε η δυναμική συνθήκη να επαληθεύεται.

Ο βαθμός της διόρθωσης ελέγχεται μέσω μιας μεταβλητής  $dz$ , η οποία ισούται με την μέση τιμή των απολύτων τιμών της διαφοράς της υπολογιζόμενης πίεσης από την θεωρητική. Η μεταβλητή  $dz$  παρουσιάζει μια οριακή τιμή. Όσο χαμηλότερη είναι αυτή η τιμή τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της σύγκλισης.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η μεταβλητή  $dz$  να συγκλίνει σε μια σταθερή τιμή.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται ένα παράδειγμα σύγκλισης από την κατάσταση A3 για λόγο  $S/L=0,32$ . Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε ότι η σύγκλιση έχει επιτευχθεί μετά από περίπου 700 επαναλήψεις καθώς η τιμή του  $dz$  και επομένως η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας μέχρι να ολοκληρωθούν οι 1000 επαναλήψεις δεν άλλαξε.



Διάγραμμα 1: Παράδειγμα σύγκλισης της μεταβλητής  $dz$

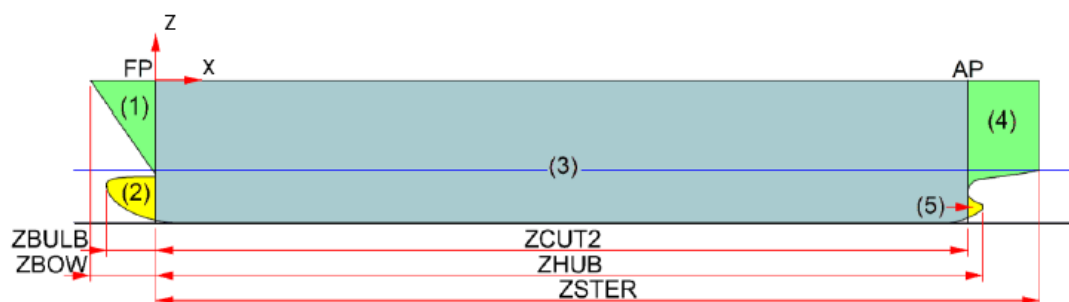
### 4.3 Γεωμετρική αναπαράσταση της γάστρας- Επιλογή πλέγματος

Η περιγραφή της γεωμετρίας του πλοίου αλλά και το πλέγμα των panel που θα χρησιμοποιηθεί τόσο στην γάστρα του πλοίου όσο και στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού περιγράφονται από το input file.

#### 4.3.1 Γεωμετρική αναπαράσταση της γάστρας

Ως αρχή των αξόνων ορίζεται το σημείο της πρωραίας καθέτου με τον άξονα x προς διαμήκη διεύθυνση, τον z προς την κατακόρυφη και τον y προς την εγκάρσια διεύθυνση.

Ο παρόν κώδικας σε περιπτώσεις ύπαρξης βολβοειδούς πλήρης και πρύμνης όπως στην υπό μελέτη γάστρα χωρίζει την γάστρα σε πέντε περιοχές. Η περιοχή 1 περιλαμβάνει το τμήμα της πλήρης άνωθεν του βολβού, η περιοχή 2 το τμήμα του βολβού, η περιοχή 4 το τμήμα της πρύμνης άνωθεν του πρυμναίου βολβού, η περιοχή 5 το τμήμα του πρυμναίου βολβού, ενώ η περιοχή 3 το τμήμα μεταξύ της πρωραίας και πρυμναίας καθέτου (εικόνα 1, πηγή 2).



Εικόνα 1: Ορισμός των περιοχών της γάστρας και του συστήματος συντεταγμένων για τα δεδομένα

Στον πίνακα 1 (πηγή 2) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβλητές που περιγράφουν το είδος και τις διαστάσεις της γάστρας. Για τα διάφορα 'τρέξιματα' αυτές οι μεταβλητές δεν αλλάζουν, καθώς περιγράφουν την γεωμετρία της γάστρας και είναι ανεξάρτητες από τα διάφορα εκτοπίσματα.

Εξαιρέση αποτελεί η μεταβλητή YGRAV και η μεταβλητή NCAT. Η πρώτη αναπαριστά την απόσταση των διαμήκων αξόνων συμμετρίας των δύο γαστρών και επομένως διέφερε για κάθε λόγο S/L. Οι λόγοι S/L=0.184, 0.256, 0.32 αντιστοιχούν στις τιμές 6.936m, 9.6m, 12m (σε κλίμακα πλοίου). Η δεύτερη εξαρτάται από το αν το πλοίο που περιγράφεται είναι μονής ή διπλής γάστρας και κατ' αντιστοιχία παίρνει την τιμή 0 και 1. Τέλος αναφέρουμε ότι οι μεταβλητές οι οποίες περιγράφουν τις διαστάσεις της γάστρας αρχίζουν με το γράμμα Z ώστε να μπορούν εύκολα να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες.

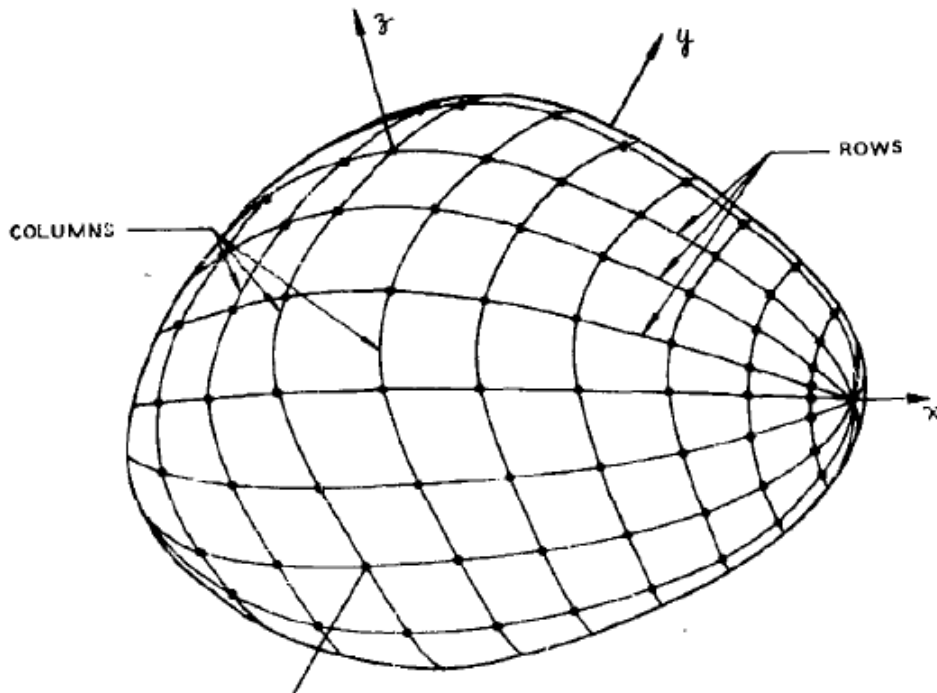


XGRAV		>0.	Longitudinal position of the center of gravity [m].
YGRAV		<0.	Transverse position of the centerline of a demi-hull [m].
ZGRAV		<0.	Vertical position of the center of gravity [m].
NCAT		0	The ship is a monohull.
		1	The ship is a symmetric catamaran.
		≥2	The ship is an asymmetric catamaran (filecondl is required).
ITRB	ITRANB	0	The bow ends at a vertical line.
		1	The bow ends at a single point.
		>1	The bow ends at a vertical line and ITRB rows of panels are added.
IBUL	IBULB	0	Ship without bow bulb.
		2	Ship with bow bulb.
IHUB		0	Ship without stern bulb.
		2	Ship with stern bulb.
LTRA	LTRANS	0 or -2	Cruiser type stern leading to a single point.
		-1	Cruiser type stern leading to a vertical line.
		+1	"Dry" transom stern.
		+2	"Wetted" transom stern.
ZBULB		<0.	Longitudinal position of the bow bulb tip [m].
ZBOW		<0.	Longitudinal position of the bow [m].
ZCUT1			Longitudinal position of fore perpendicular [m].
ZCUT2		>0.	Longitudinal position of the 2nd cutting point [m].
ZCUT3		>0.	Longitudinal position of aft perpendicular [m].
ZSTER		>0.	Longitudinal position of the stern [m].
ZMID	ZG2	>0.	Longitudinal position of interchange between NK3B and NK3S [m].
ZG4		>0.	Longitudinal position of the last row of points [m].
ZG34		≥0.	Height of skeg [m].
ZTRANS		≥0.	Longitudinal position of the transom [m] (If ZTRANS = 0 and LTRA > 0, the program finds at every step the rearmost partially submerged section K and sets ZTRANS = Z(K+1)).
ZHUB		>0.	Longitudinal position of the stern bulb tip [m].

**Πίνακας 1: Λίστα μεταβλητών που περιγράφουν την γεωμετρία του πλοίου**

### 4.3.2 Επιλογή πλέγματος

Η μορφή του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωμετρία του πλοίου. Σε περιοχές όπου η καμπυλότητα της γάστρας είναι μεγάλη ή σε περιοχές όπου η ροή του ρευστού αναμένεται να αλλάξει γρήγορα, η γάστρα απεικονίζεται με περισσότερα στοιχεία (panel) ενώ στην αντίθετη περίπτωση με λιγότερα. Κάθε στοιχείο έχει συγκεκριμένες συντεταγμένες, η μια αναφέρεται στην γραμμή (row) και η άλλη στην στήλη (column), (εικόνα 2, πηγή 5).



Εικόνα 2: Οργάνωση τρισδιάστατου σώματος σε γραμμές και στήλες

Οι μεταβλητές που περιγράφουν το πλέγμα των στοιχείων τόσο στην γάστρα του πλοίου όσο και στην ελεύθερη επιφάνεια παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα. Μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην διάσταση του πρώτου στοιχείου και οι αντίστοιχες μεταβλητές αρχίζουν με τα αρχικά DZ, ενώ η δεύτερη αναφέρεται στον αριθμό των στοιχείων σε κάθε περιοχή και οι αντίστοιχες μεταβλητές αρχίζουν με N.

Όσον αφορά τις μεταβλητές που αναφέρονται στον αριθμό των στοιχείων, άλλες αναφέρονται στην διαμήκη διεύθυνση και άλλες στην εγκάρσια. Οι μεταβλητές που αναφέρονται στην διαμήκη διεύθυνση έχουν δεύτερο γράμμα το K. Οι μεταβλητές που αναφέρονται στην εγκάρσια διεύθυνση διαχωρίζονται επιπλέον σε αυτές που περιγράφουν την γάστρα του πλοίου και σε αυτές που περιγράφουν την ελεύθερη επιφάνεια. Κατ' αντιστοιχία το δεύτερο γράμμα τους είναι I και J.

Με εξαίρεση την διάσταση του πρώτου στοιχείου η οποία και δίνεται, η διάσταση των υπόλοιπων στοιχείων δεν είναι δεδομένη. Τα στοιχεία αυτά δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε κάθε περιοχή. Οι διαστάσεις τους προκύπτουν ύστερα από γραμμική παρεμβολή. Ως αποτέλεσμα, η διάσταση των στοιχείων που βρίσκονται κοντά στο πρώτο έχουν διάσταση λίγο μεγαλύτερη από αυτό και καθώς κινούμαστε προς την πρύμνη αυτή η απόσταση μεγαλώνει.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι έχουμε την δυνατότητα στις πρώτες επαναλήψεις να έχουμε αραιό πλέγμα και στην συνέχεια, μετά από ένα πλήθος επαναλήψεων, να πυκνώσουμε το πλέγμα. Οι μεταβλητές με αυτή την ιδιότητα διαχωρίζονται από τις υπόλοιπες από το τελευταίο γράμμα του ονόματός τους. Το γράμμα F αναφέρεται στο αρχικό πλέγμα της διαδικασίας. Καθώς η διαδικασία εξελίσσεται, το πλέγμα πυκνώνει κατά S μέχρι να φτάσει τον τελικό αριθμό των επαναλήψεων που δίνεται στις μεταβλητές που τελειώνουν σε M. Στις παρακάτω δοκιμές η μεταβλητές που καθορίζουν το αρχικό πλέγμα των στοιχείων ήταν όλες μηδέν (αναφερόμαστε στις μεταβλητές που τελειώνουν με γράμμα F). Σε αυτή την περίπτωση το πλέγμα ξεκινούσε με αριθμό στοιχείων ίσο με S στην συνέχεια αύξανε τον αριθμό κατά S μέχρι να φτάσει τον μέγιστο αριθμό.

MASG /NGRI	MASTIN	>0	Step at which the number of panels is increased.
NKBL	NKBULB	>0	Number of longitudinal sections on the bow bulb (see accompanying figure).
NKHB	NKUB	>0	Number of longitudinal sections on the stern bulb.
NK1M		>0	Maximum value of NK1, the number of panels in the longitudinal direction, in front of min(ZBOW,ZBULB).
NK2M		>0	Maximum value of NK2, the number of panels in the longitudinal direction, between max(ZBOW,ZBULB) and ZCUT1
N3BM		>0	Maximum value of NK3B, the number of panels in the longitudinal direction, between ZCUT1 and ZMID
N3SM		>0	Maximum value of NK3S, the number of panels in the longitudinal direction, between ZMID and ZCUT3.
NK4M		>0	Maximum value of NK4, the number of panels in the longitudinal direction, between ZCUT3 and ZSTER.
NK5M		>0	Maximum value of NK5, the number of panels in the longitudinal direction, astern ZSTER.
NK1S		≥0	Increment of NK1 (if =0 then NK1S=NK1M).
NK2S		≥0	Increment of NK2 (if =0 then NK2S=NK2M).
N3BS		≥0	Increment of NK3B (if =0 then NK3bS=NK3BM).
N3SS		≥0	Increment of NK3S (if =0 then NK3SS=NK3SM).
NK4S		≥0	Increment of NK4 (if =0 then NK4S=NK4M).
NK5S		≥0	Increment of NK5 (if =0 then NK5S=NK5M).

NK1F		$\geq 0$	Initial value of NK1 (if =0 then NK1F=NK1S).
NK2F		$\geq 0$	Initial value of NK2 (if =0 then NK2F=NK2S).
N3BF		$\geq 0$	Initial value of NK3B (if =0 then NK3BF=NK3BS).
N3SF		$\geq 0$	Initial value of NK3S (if =0 then NK3SF=NK3SS).
NK4F		$\geq 0$	Initial value of NK4 (if =0 then NK4F=NK4S).
NK5F		$\geq 0$	Initial value of NK5 (if =0 then NK1F=NK5S).
NI1M		$> 0$	Maximum value of NI1, the number of panels in the circumferential direction, on the outer half of the hull .
NI1S		$\geq 0$	Increment of NI1 (if =0 then NI1S=NI1M).
NI1F		$\geq 0$	Initial value of NI1 (if =0 then NI1F=NI1S).
NI2M		$> 0$	Maximum value of NI2, the number of panels in the circumferential direction, on the inner half of the hull .
NI2S		$\geq 0$	Increment of NI2 (if =0 then NI2S=NI2M).
NI2F		$\geq 0$	Initial value of NI2 (if =0 then NI2F=NI2S).
NJ1M		$> 0$	Maximum value of NJ1, the number of panels in the transverse direction, on the outer half of the water surface .
NJ1S		$\geq 0$	Increment of NJ1 (if =0 then NJ1S=NJ1M).
NJ1F		$\geq 0$	Initial value of NJ1 (if =0 then NJ1F=NJ1S).
NJ2M		$> 0$	Maximum value of NJ2, the number of panels in the transverse direction, on the inner half of the water surface.
NJ2S		$\geq 0$	Increment of NJ2 (if =0 then NJ2S=NJ2M).
NJ2F		$\geq 0$	Initial value of NJ2 (if =0 then NJ2F=NJ2S).
DZBULB		$> 0$ .	Length of the first panel of the bow bulb ( $z > ZBULB$ ) [m].
DZBOWM1		$> 0$ .	Length of the first panel of in front of the bow ( $z < \min(ZBOW, ZBULB)$ ) [m].
DZBOWP1		$> 0$ .	Length of the first panel of aft the bow ( $z > \min(ZBOW, ZBULB)$ ) [m].
DZKB1M1	DZKB1	$> 0$ .	Length of the last panel before ZCUT2 [m].
DZSTERM1		$> 0$ .	Length of the first panel of in front of the stern [m].
DZSTERP1	DSTEP1	$> 0$ .	Length of the first panel of aft the stern [m].
APLUS		$> 0$ .	Breadth of the first panel at the bow [m].
APLUS		$> 0$ .	Breadth of the first panel at the bow [m].
BPLUS	BPLUSB	$> 0$ .	Breadth of the first panel at ZMID [m].
BPLUSS		$> 0$ .	Breadth of the first panel at the stern [m].

**Πίνακας 2: Λίστα μεταβλητών που περιγράφουν την κατανομή των στοιχείων**

Όπως έχουμε αναφέρει, η τελική μορφή της ελεύθερης επιφάνειας του νερού προσεγγίζεται με διαδοχικές επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη ο κώδικας αλλάζει την διάταξη των στοιχείων έως ότου δεν γίνει καμία αλλαγή. Η μεταβλητή η οποία επηρεάζεται από αυτές της αλλαγές είναι η dz. Όταν επομένως η μεταβλητή αυτή πάρει σταθερή τιμή θεωρούμε ότι ο κώδικας έχει συγκλίνει σε κάποια ελεύθερη επιφάνεια.

Απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να υπάρχει σύγκλιση της μεθόδου σε ένα σταθερό dz είναι η εύρεση ενός κατάλληλου αριθμού στοιχείων αλλά και η σωστή διάταξή τους στην γάστρα του πλοίου και στην ελεύθερη επιφάνεια. Πριν καταλήξουμε στο τελικό πλέγμα είναι απαραίτητο να γίνουν αρκετές δοκιμές ως προς αυτή την κατεύθυνση. Προκειμένου να επιλεγεί το καλύτερο δυνατό πλέγμα έγιναν τρεις ομάδες διαφορετικών δοκιμών πλέγματος. Κάθε ομάδα δοκιμών παρουσιάζεται σε ξεχωριστό πίνακα.

Κάθε στήλη των παρακάτω πινάκων αναφέρεται σε ξεχωριστή δοκιμή πλέγματος. Με σκοπό να μπορούμε εύκολα να ξεχωρίζουμε τα διάφορα πλέγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω ονοματολογία. Η ονοματολογία του κάθε πλέγματος προσδιορίζεται από δύο αριθμούς. Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στην μεταβλητή

NK2 και ο δεύτερος στην μεταβλητή NI1. Η πρώτη περιγράφει τον αριθμό των στοιχείων στην πλώρη και η δεύτερη τον αριθμό στοιχείων στην ελεύθερη επιφάνεια. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές, τόσο στην γάστρα όσο και στην ελεύθερη επιφάνεια, προσδιορίστηκαν κυρίως σύμφωνα με αυτές.

Αναφέρεται ότι στις πρώτες δύο σειρές δοκιμών μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ήταν 2000 επαναλήψεις, ενώ στην τελευταία ήταν 1000. Επίσης, στις πρώτες δύο σειρές δοκιμών το πλέγμα δεν πύκνωσε κατά την διάρκεια των επαναλήψεων. Σε αυτή την περίπτωση, επομένως, το πλέγμα ήταν σταθερό και ίσο με τον μέγιστο αριθμό στοιχείων.

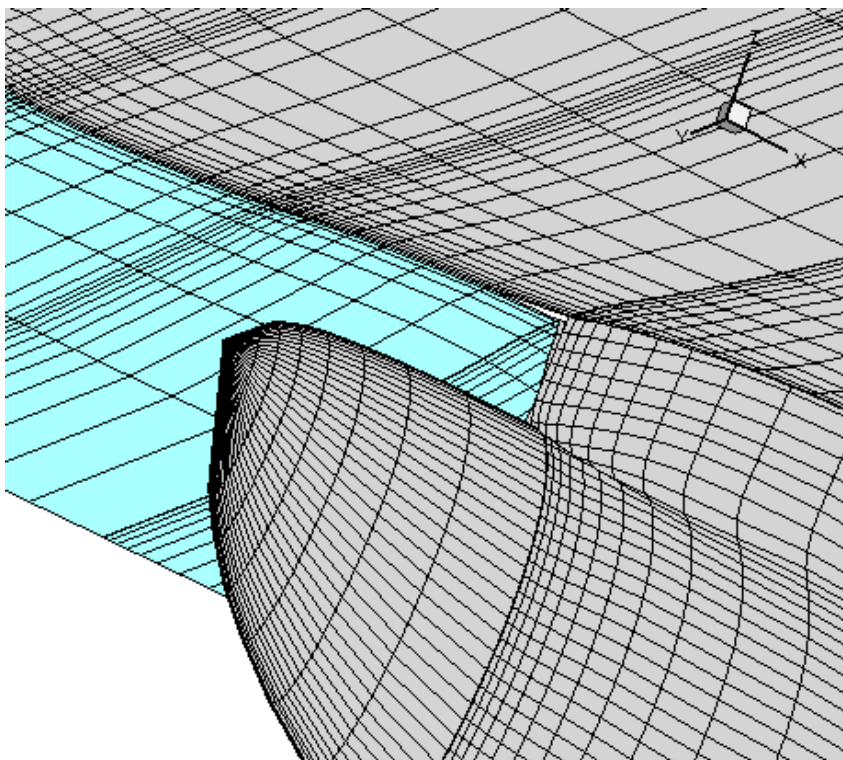
Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακα οι τιμές των μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη σειρά δοκιμών.

Σειρά δοκιμών 1							
	10-10	20-20	30-30	25-25	22-22	20-22	20-10
VELIN				-15			
XGRAV				37.663			
YGRAV				-6.934			
ZGRAV				-7			
TRIM				0			
MAST				2000			
NKBL	10	20	30	25	22	20	20
NKHB	5	10	15	15	12	10	10
NK1M	35	70	100	87	70	70	70
NK2M	10	20	30	25	22	20	20
N3BM	20	40	60	50	44	40	40
N3SM	20	40	60	50	44	40	40
NK4M	15	30	45	37	33	30	30
NK5M	45	90	130	110	90	90	90
NK1S				0			
NK2S				0			
N3BS				0			
N3SS				0			
NK4S				0			
NK5S				0			
NI1M	10	20	30	25	22	22	10
NI1S				κενό			
NI2M	10	20	30	25	22	22	10
NI2S				κενό			
NJ1M	25	50	70	56	50	50	25
NJ1S				κενό			
NJ2M	10	20	30	25	22	22	10
NJ2S				κενό			
DZBULB				0.05			
DZBOWM1				0.05			
DZBOWP1				0.05			
DZKB1M1				0			
DZSTERM1				0.05			
DZSTERP1				0.05			
OM3B				1.5			
DZKF1				0.05			
ZPAR1				0			
ZPAR2				0			
APLUS				0.05			
BPLUSB				0.05			
BPLUS				0			
DZHUB				0.05			
NI1				40			
NI2				40			
NI3				40			
NI4				40			
NI5				40			
NIBU				5			

Πίνακας 3: Τιμές μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη σειρά δοκιμών

Στην πρώτη σειρά δοκιμών, κανένα πλέγμα δεν ολοκλήρωσε τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι η διάσταση του πρώτου στοιχείου ήταν ιδιαίτερα μικρή. Ως αποτέλεσμα, λόγω γραμμικής παρεμβολής, η διάσταση των κοντινών στο πρώτο στοιχείο ήταν και αυτή μικρή, καταλήγοντας όμως σε πολύ μεγάλη διάσταση των τελευταίων στοιχείων. Επομένως, λόγω της ανομοιομορφίας ως προς τις διαστάσεις του πρώτου με το τελευταίο στοιχείο, ο κώδικας δεν μπορούσε να συγκλίνει. Τα αποτελέσματα αυτής της σειράς δοκιμών δεν θα παρουσιαστούν καθόλου.

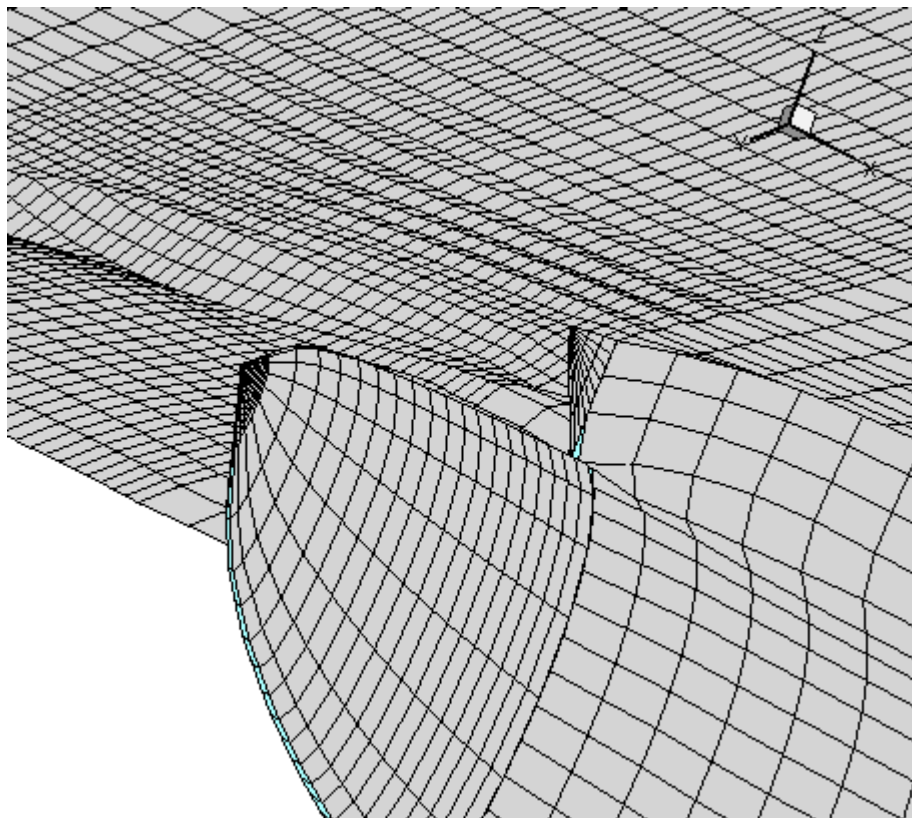
Στην εικόνα 2 βλέπουμε τον βολβό του πλοίου και την κατανομή των στοιχείων σε αυτόν. Πρόκειται για το πλέγμα 20/20 της πρώτης σειράς δοκιμών. Η τιμή της μεταβλητής DZBULB, δηλαδή η διάσταση του πρώτου στοιχείου είναι 0.05. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι η γεωμετρία του βολβού της γάστρας δεν έχει περιγραφεί καλά. Η διάσταση των τελευταίων στοιχείων είναι εμφανώς μεγαλύτερη από την διάσταση των πρώτων. Παρόμοια κατανομή στοιχείων συναντάμε και στις υπόλοιπες περιοχές του πλοίου.



**Εικόνα 2: Κατανομή στοιχείων στον βολβό της πλώρης σύμφωνα με το πρώτο πλέγμα που δοκιμάστηκε**



Στην επόμενη σειρά δοκιμών αυξήσαμε την διάσταση του πρώτου στοιχείου και δοκιμάσαμε εκ νέου διάφορα είδη πλέγματος, όπως φαίνονται στον πίνακα σειράς δοκιμών 2. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ότι για τον ίδιο αριθμό στοιχείων με την παραπάνω περίπτωση αλλά με διαφορετική διάσταση του πρώτου στοιχείου, τα στοιχεία είναι ομοιόμορφα κατανομημένα. Σε αυτή την περίπτωση ο βολβός του πλοίου περιγράφεται καλύτερα.



**Εικόνα 3: Κατανομή στοιχείων στον βολβό της πλώρης σύμφωνα με το δεύτερο πλέγμα που δοκιμάστηκε**

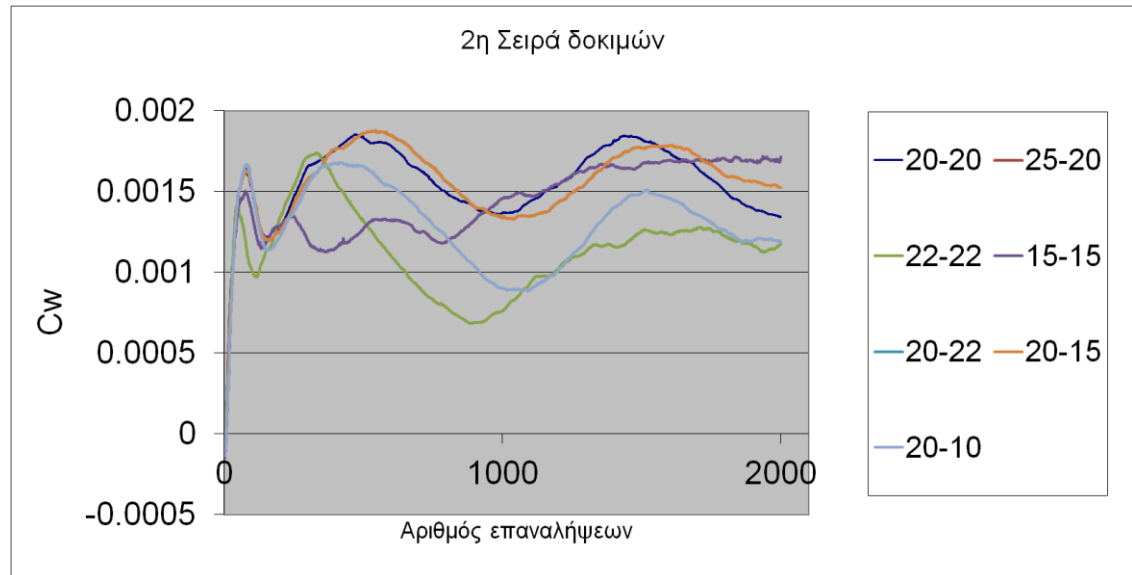
Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν. Είναι εμφανές ότι οι τιμές των πρώτων στοιχείων σε αυτή την περίπτωση, συγκρινόμενες με τις τιμές του πρώτου στοιχείου της πρώτης σειράς δοκιμών, είναι εμφανώς μεγαλύτερες.

Σειρά δοκιμών 2							
	20-20	25-20	22-22	15-15	20-22	20-15	20-10
VELIN	-15						
XGRAV	37.663						
YGRAV	-6.934						
ZGRAV	-7						
TRIM	0						
MAST	2000						
NKBL	20	25	22	15	20	20	20
NKHB	10	12	12	8	10	10	10
NK1M	70	87	70	50	70	70	70
NK2M	20	25	22	15	20	20	20
N3BM	40	50	44	30	40	40	40
N3SM	40	50	44	30	40	40	40
NK4M	30	37	33	23	30	30	30
NK5M	90	110	90	65	90	90	90
NK1S	0						
NK2S	0						
N3BS	0						
N3SS	0						
NK4S	0						
NK5S	0						
NI1M	20	20	22	15	22	15	10
NI1S	0						
NI2M	20	25	22	15	22	15	10
NI2S	0						
NJ1M	50	56	50	35	35	35	25
NJ1S	0						
NJ2M	20	25	22	15	15	15	10
NJ2S	0						
DZBULB	0.15						
DZBOWM1	0.3						
DZBOWP1	0						
DZKB1M1	0.3						
DZSTERM1	0.3						
DZSTERP1	0.3						
OM3B	1.5						
DZKF1	0.4						
ZPAR1	0						
ZPAR2	0						
APLUS	0.2						
BPLUSB	0.3						
BPLUSB	0.5						
DZHUB	0.4						
NI1	10						
NI2	10						
NI3	20						
NI4	20						
NI5	20						
NIBU	10						

Πίνακας 4: Τιμές μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην δεύτερη σειρά δοκιμών

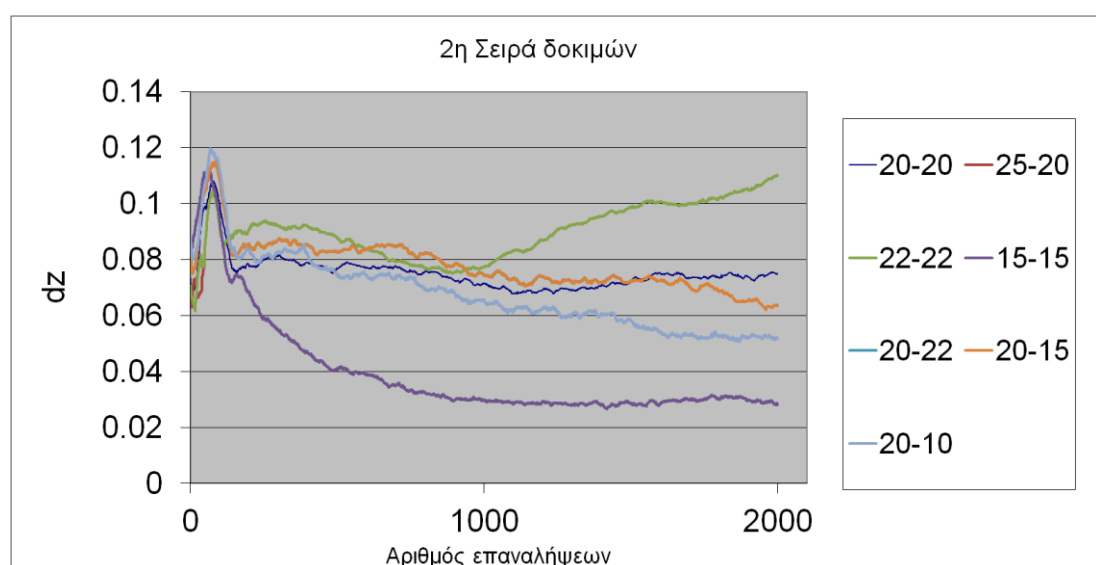
Τα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς δοκιμών παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα. Στο πρώτο βλέπουμε τις τιμές του συντελεστή αντίστασης κυματισμού σε σχέση με τα βήματα.

### Αποτελέσματα 2ης σειράς δοκιμών



**Διάγραμμα 2:** Συντελεστής αντίστασης κυματισμού σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν

Στο δεύτερο βλέπουμε τις μεταβολές των στοιχείων της ελεύθερης επιφάνειας. Σύγκλιση, όπως έχουμε πει, επιτυγχάνεται όταν η τιμή του  $dz$  αποκτήσει μια σταθερή τιμή. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι εκτός από το πλέγμα 15-15 στα υπόλοιπα η τιμή του  $dz$  δεν έχει συγκλίνει σε κάποια τιμή. Η ιδιαιτερότητα αυτού του πλέγματος βρίσκεται στο γεγονός ότι στο πλέγμα αυτό ο αριθμός των στοιχείων στον πρυμναίο και πρωραίο βολβό του πλοίου είναι μικρότερος από τις υπόλοιπες περιπτώσεις.



**Διάγραμμα 3:** Μεταβλητή  $dz$  σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν

Στην τρίτη σειρά δοκιμών έγινε προσπάθεια να επιτύχουμε ακόμα μεγαλύτερη σύγκλιση, ώστε το πλέγμα που τελικά θα επιλεγεί να είναι το βέλτιστο δυνατό.

Ξεκινώντας με το προηγούμενο πλέγμα, δηλαδή το 15-15, στις περιοχές των δύο βολβών τοποθετήθηκε πλέγμα με ακόμα μικρότερο αριθμό στοιχείων. Συγκεκριμένα, στο παραπάνω πλέγμα οι τιμές των μεταβλητών NKBL και NKHB ήταν 15 και 8, ενώ στην καινούργια δοκιμή ήταν 8 και 4 αντίστοιχα. Επιπλέον, σε αυτό το πλέγμα προστέθηκαν τιμές στις μεταβλητές οι οποίες έχουν την δυνατότητα πύκνωσης του πλέγματος ύστερα από ένα αριθμό επαναλήψεων. Υπενθυμίζεται ότι οι μεταβλητές αυτές είναι εκείνες των οποίων το τελευταίο γράμμα του ονόματός τους τελειώνει σε S.

Εκτελώντας αυτό το διορθωμένο πλέγμα βλέπουμε ότι, σε σύγκριση με το προηγούμενο, το παρόν συνέκλινε σε μικρότερη τιμή dz. Για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι η τιμή του dz της σειράς δοκιμών 3 ήταν  $2.16366 \cdot 10^{-2}$ , ενώ στην σειρά δοκιμών 2 ήταν  $2.80102 \cdot 10^{-2}$ .

Από το παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, αφενός αραιότερο πλέγμα στην περίπτωση των βολβών και αφετέρου πλέγμα το οποίο πυκνώνει ύστερα από έναν αριθμό επαναλήψεων, οδηγεί σε πιο ακριβές προσεγγίσεις της ελεύθερης επιφάνειας.

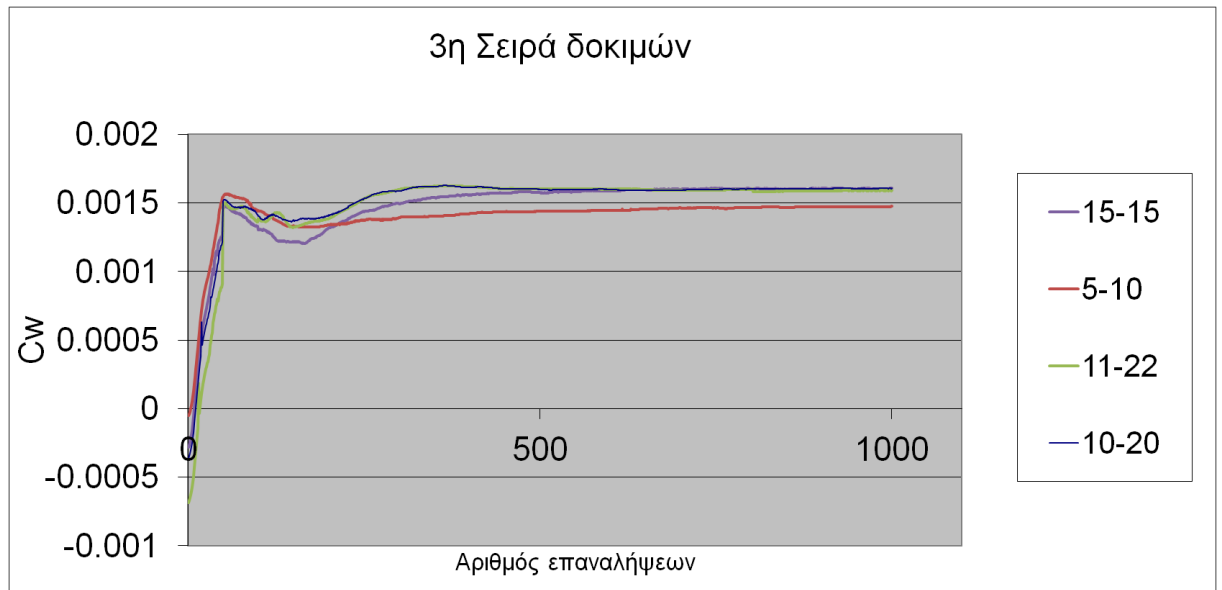
Στην τρίτη σειρά δοκιμών, κρατώντας το βήμα πύκνωσης σταθερό, έγιναν διάφορες δοκιμές πλέγματος, αλλάζοντας τον μέγιστο αριθμό των στοιχείων της επιφάνειας και της γάστρας ώστε τελικά να επιλεγεί το βέλτιστο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των μεταβλητών της τρίτης σειράς δοκιμών. Στην τελευταία γραμμή αναφέρεται η μεταβλητή dz που επιτύχαμε σε κάθε πλέγμα.

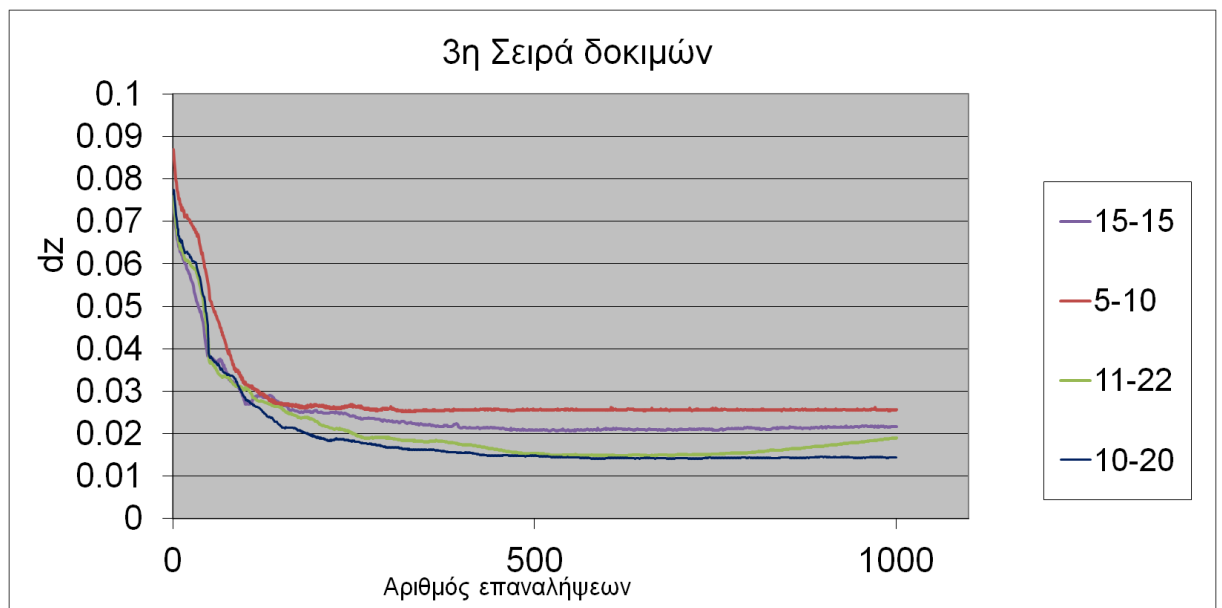
Σειρά δοκιμών 3				
	15-15	5-10	11-22	10-20
VELIN	-15			
XGRAV	37.663			
YGRAV	-6.934			
ZGRAV	-7			
TRIM	0.529			
MAST	1000			
NKBL	8	5	11	10
NKHB	4	3	6	5
NK1M	50	35	70	70
NK2M	15	5	11	10
N3BM	30	20	44	40
N3SM	30	20	44	40
NK4M	23	15	33	30
NK5M	65	45	90	90
NK1S	35	10	35	35
NK2S	5	10	5	5
N3BS	20			
N3SS	20			
NK4S	15			
NK5S	45			
NI1M	15	10	22	20
NI1S	10			
NI2M	15	10	22	20
NI2S	10			
NJ1M	35	25	50	50
NJ1S	30			
NJ2M	15	10	22	20
NJ2S	10			
DZBULB	0.15			
DZBOWM1	0.3			
DZBOWP1	0			
DZKB1M1	0.3			
DZSTERM1	0.3			
DZSTERP1	0.3			
OM3B	1.5			
DZKF1	0.4			
ZPAR1	0			
ZPAR2	0			
APLUS	0.2			
BPLUSB	0.3			
BPLUS	0.5			
DZHUB	0.4			
NI1	40			
NI2	40			
NI3	40			
NI4	40			
NI5	40			
NIBU	5			
dz*(10^-2)	2.16	2.57	1.91	1.45

Πίνακας 5: Τιμές μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην τρίτη σειρά δοκιμών

### Αποτελέσματα 3ης σειράς δοκιμών



Διάγραμμα 4: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν



Διάγραμμα 5: Μεταβλητή dz σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν

Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι το πλέγμα το οποίο συνέκλινε περισσότερο ήταν το 10-20. Στο πλέγμα αυτό στην περιοχή NK2 παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερο αριθμό στοιχείων σε σχέση με το πλέγμα 15-15. Παρόλα αυτά, όσον αφορά τις υπόλοιπες μεταβλητές, το πλέγμα 10-20 είναι πιο πυκνό. Όσον αφορά την περιοχή NK2 πρόκειται για μια περιοχή η οποία μπορεί να περιγραφεί και με λιγότερα στοιχεία.

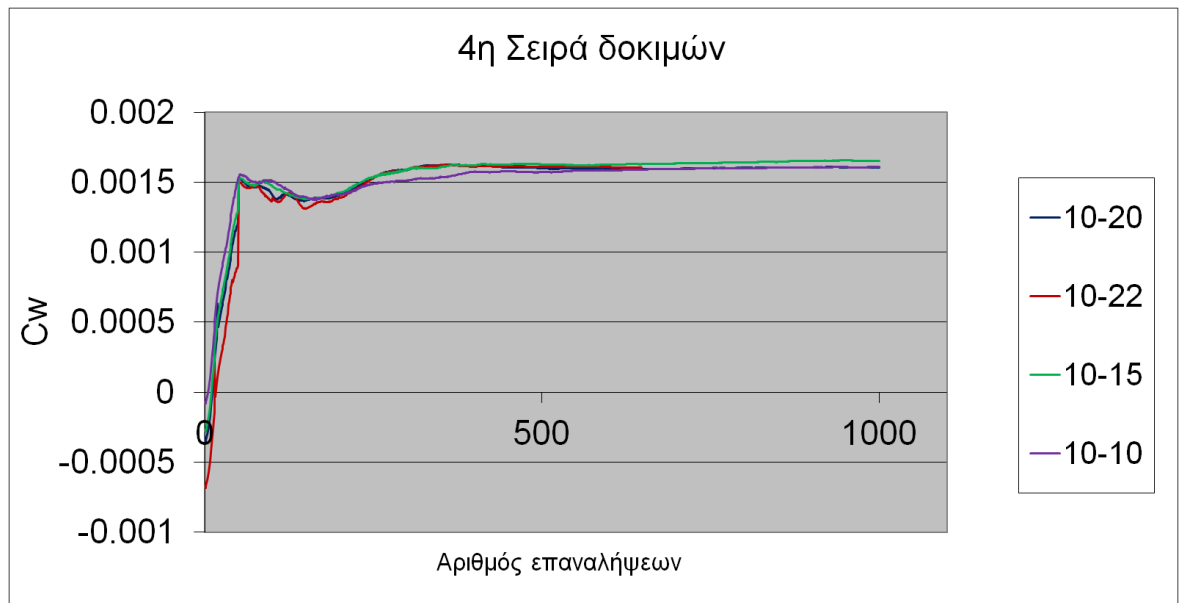
Τέλος, κρατώντας σταθερά τα στοιχεία της γάστρας και αλλάζοντας τα στοιχεία της ελεύθερης επιφάνειας έγιναν και άλλες δοκιμές ώστε να είμαστε σίγουροι ότι το πλέγμα αυτό είναι το βέλτιστο. Οι τελική επιλογή παρουσιάζεται στην συνέχεια στην σειρά δοκιμών 4.

Σειρά δοκιμών 4				
	10-20	10-22	10-15	10-10
VELIN				-15
XGRAV				37.663
YGRAV				-6.934
ZGRAV				-7
TRIM				0.529
MAST				1000
NKBL	10	10	10	10
NKHB	5	5	5	5
NK1M	70	70	70	70
NK2M	10	10	10	10
N3BM	40	40	40	40
N3SM	40	40	40	40
NK4M	30	30	30	30
NK5M	90	90	90	90
NK1S	35	35	35	35
NK2S	5	5	5	5
N3BS	20			
N3SS	20			
NK4S	15			
NK5S	45			
NI1M	20	22	15	10
NI1S				
NI2M	20	22	15	10
NI2S				
NJ1M	50	50	35	25
NJ1S				
NJ2M	20	22	15	10
NJ2S				10
DZBULB				0.15
DZBOWM1				0.3
DZBOWP1				0
DZKB1M1				0.3
DZSTERM1				0.3
DZSTERP1				0.3
OM3B				1.5
DZKF1				0.4
ZPAR1				0
ZPAR2				0
APLUS				0.2
BPLUSB				0.3
BPLUS				0.5
DZHUB				0.4
NI1				40
NI2				40
NI3				40
NI4				40
NI5				40
NIBU				5
dz*(10^-2)	1.45	1.48	1.67	1.82

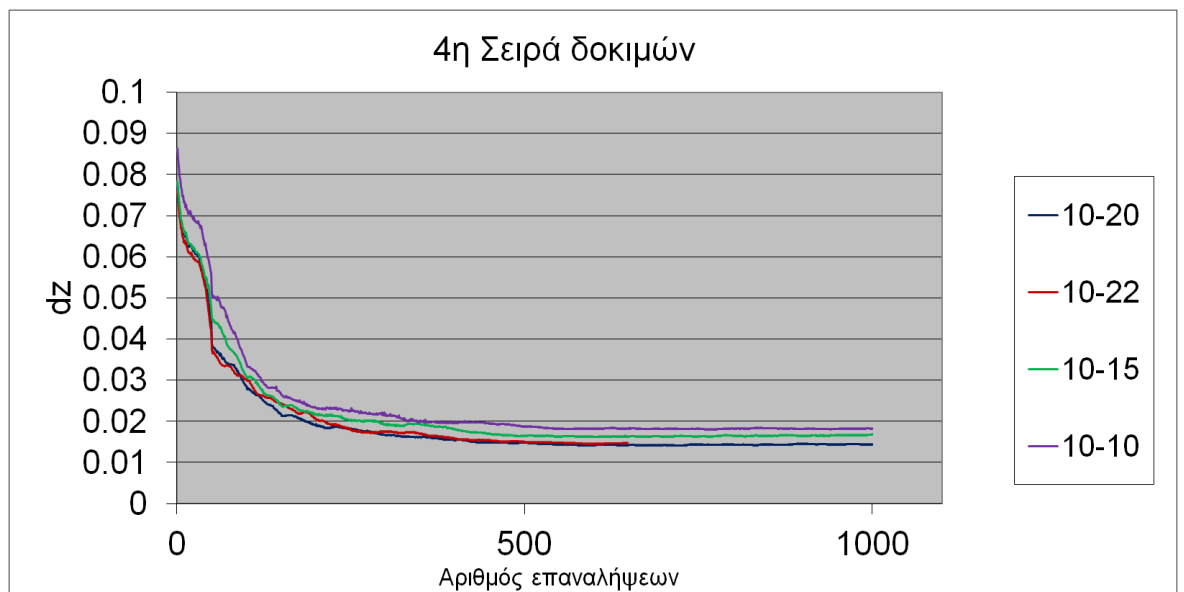
Πίνακας 6: Τιμές μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην τέταρτη σειρά δοκιμών



### Αποτελέσματα 4<sup>ης</sup> σειρά δοκιμών



Διάγραμμα 6: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν



Διάγραμμα 7: Μεταβλητή dz σε κάθε επανάληψη για τα πλέγματα που δοκιμάστηκαν

Από το παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι το πλέγμα 10-20 εξακολουθεί να έχει την καλύτερη σύγκλιση από όλα τα υπόλοιπα. Το πλέγμα αυτό επομένως θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια σε όλα τα εκποίσιματα και τους λόγους S/L.

Επειδή πριν αρχίσουν οι αριθμητικοί υπολογισμοί είχε προηγηθεί η πειραματική διαδικασία, στο πρόγραμμα δόθηκαν το ύψος εξάλων του πλοίου, αλλά και η δυναμική του διαγωγή όπως προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα. Να σημειωθεί όμως ότι εφόσον τα δεδομένα αυτά δεν δινόντουσαν, το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα υπολογισμού των δεδομένων αυτών. Τέλος να σημειωθεί ότι στο παράρτημα Η υπάρχει ολοκληρωμένο παράδειγμα του αρχείου input file που χρησιμοποιήθηκε και συγκεκριμένα για την κατάσταση A3 λόγου S/L=0.256 και ταχύτητας 15 kn.

## 4.4 Αριθμητικοί υπολογισμοί με το πρόγραμμα Shipflow

Το Shipflow είναι πρόγραμμα υπολογιστικής υδροδυναμικής (CFD) με το οποίο είναι δυνατή η εκτίμηση της αντίστασης ενός πλοίου. Η επιφάνεια του σώματος και της ελεύθερης επιφάνειας του νερού διακριτοποιούνται σε έναν αριθμό ορθογώνιων στοιχείων (panel).

Επειδή η κίνηση ενός πλοίου γίνεται ανάμεσα σε δύο ρευστά, είναι απαραίτητο, προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα, να προσδιοριστεί η ελεύθερη επιφάνεια που δημιουργείται. Κατά την επίλυσή του, το πρόγραμμα Shipflow εκτελεί επαναλήψεις στις οποίες σε κάθε επανάληψη θεωρείται ως αρχική ελεύθερη επιφάνεια αυτή που προέκυψε από την προηγούμενη επανάληψη. Σε κάθε επανάληψη τα panel της ελεύθερης επιφάνειας ανακατανέμονται σε αυτή και το πρόβλημα επιλύεται ξανά. Το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχει συγκλίνει στην μορφή της ελεύθερης επιφάνειας, όταν η ελεύθερη επιφάνεια σε δύο διαδοχικές επαναλήψεις εμφανίζει την ίδια μορφή.

Όσον αφορά την επιφάνεια του σώματος, το Shipflow αντιμετωπίζει το πρόβλημα χωρίζοντάς την σε τρεις περιοχές.

Στην πρώτη περιοχή το ρευστό θεωρείται ατριβές και ασυμπίεστο. Σε αυτή την περιοχή η αντίσταση κυματισμού προκύπτει με ολοκλήρωση των κάθετων πιέσεων στην επιφάνεια της γάστρας. Ο υπολογισμός τους προκύπτει μέσω κατάλληλης συνάρτησης δυναμικού. Στην δεύτερη περιοχή, την περιοχή δηλαδή του οριακού στρώματος, χρησιμοποιούνται ολοκληρωτικές εξισώσεις τόσο για το στρωτό όσο και το τυρβώδες οριακό στρώμα. Τέλος, στην τρίτη περιοχή η οποία περιλαμβάνει την περιοχή της πρύμνης, για την περιγραφή της ροής χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις Navier-Stokes και διατήρησης μάζας.

Στην παρούσα διπλωματική δεν χρειάστηκαν οι παραπάνω περιοχές, καθώς η εκτίμηση της αντίστασης έγινε θεωρώντας δυναμική ροή (potential flow). Όπως και στο πρόγραμμα Catamaranf και σε αυτή την περίπτωση το ρευστό στο οποίο βρίσκεται το σώμα θεωρείται ασυμπίεστο (incompressible), ιδανικό (inviscid) και αστρόβιλο (irrotational).

Δεδομένης της ελεύθερης επιφάνειας ο υπολογισμός της αντίστασης κυματισμού βασίζεται στην ολοκλήρωση της πίεσης στην επιφάνεια του σώματος.

## 4.5 Μέθοδος Hughes

Όπως έχει αναφερθεί, η ολική αντίσταση είναι άθροισμα την αντίστασης τριβής και της υπόλοιπης αντίστασης του πλοίου. Δηλαδή, ισχύει η σχέση:

$$C_T(\text{Re}, Fr) = C_F(\text{Re}) + C_R(\text{Re}, Fr)$$

Ο Hughes αναλύει περαιτέρω την υπόλοιπη αντίσταση ως άθροισμα της αντίστασης κυματισμού και ενός συντελεστή  $C_{FORM}$ .

$$C_R(\text{Re}, Fr) = C_W(Fr) + C_{FORM}(\text{Re}, Fr)$$

Ο συντελεστής  $C_{FORM}$  εκφράζει το κατά πόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας συγκριτικά με την αντίσταση τριβής μιας επίπεδης πλάκας, ισούται δηλαδή με:

$$C_{FORM} = k \cdot C_f$$

Ο αδιάστατος συντελεστής  $k$  θεωρείται σταθερός σε όλο το εύρος των ταχυτήτων για ένα συγκεκριμένο βύθισμα. Πειραματικά προσδιορίζεται κάνοντας πειράματα σε πολύ μικρές ταχύτητες και άρα μικρούς αριθμούς Reynolds, όπου η αντίσταση κυματισμού μπορεί να θεωρηθεί ίση με το μηδέν. Η περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

Χρησιμοποιώντας επομένως τις προηγούμενες σχέσεις για τον συντελεστή ολικής αντίστασης έχουμε:

$$\begin{aligned} C_T &= C_R + C_F = (C_{FORM} + C_W) + C_F = (k \cdot C_F + C_W) + C_F \\ &= (1+k) \cdot C_F + C_W \end{aligned}$$

### 4.5.1 Μέθοδος Prohaska

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ο συντελεστής μορφής  $k$  προσδιορίζεται κάνοντας πειράματα σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. Μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού  $C_W$  ισούται με μηδέν ( $C_W=0$ ) και επομένως έχουμε:

$$C_T = (1+k) \cdot C_F \Leftrightarrow 1+k = \frac{C_T}{C_F}$$

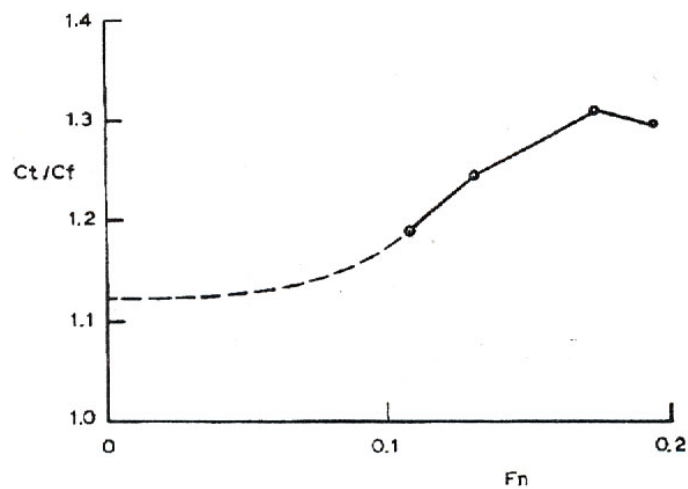
Από τα πειραματικά αποτελέσματα για μικρές ταχύτητες, κάνοντας γραμμική παρεμβολή στην συνάρτηση  $\frac{C_T}{C_F} = f(Fn)$  για Froude ίσο με μηδέν, μπορούμε να υπολογίσουμε το διορθωτικό συντελεστή  $k$ . Κάτι τέτοιο ωστόσο, όπως βλέπουμε από το σχήμα που ακολουθεί, είναι αρκετά δύσκολο. Για αυτό καταφεύγουμε στην μέθοδο Prohaska.

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος του αριθμού Froude υψωμένος στην τετάρτη δύναμη ( $Fr^4$ ). Έτσι έχουμε:

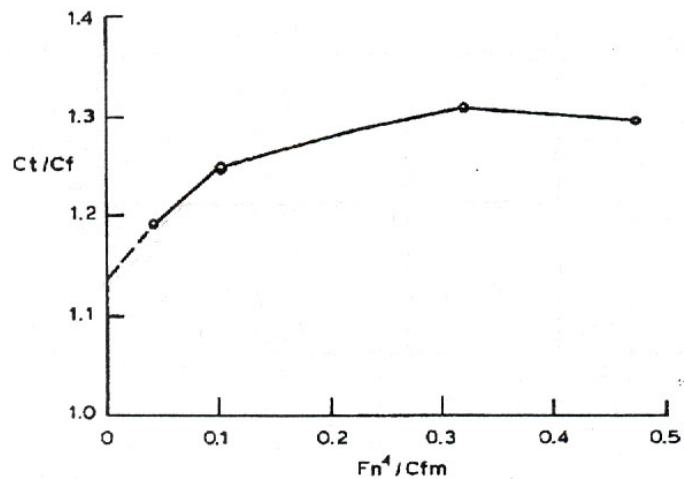
$$C_T = (1+k) \cdot C_F + C_W = (1+k) \cdot C_F + Fr^4 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{C_T}{C_F} = (1+k) \cdot \frac{Fr^4}{C_F}$$

Σε αυτή την περίπτωση, στην καμπύλη δηλαδή  $\frac{C_T}{C_F} = f\left(\frac{Fr^4}{C_F}\right)$ , η γραμμική παρεμβολή για Froude ίσο με μηδέν είναι αρκετά πιο εύκολη. Προκύπτει με ένα ευθύγραμμο τμήμα, με κλίση ίση με την κλίση των δύο τελευταίων σημείων από το τελευταίο σημείο μέχρι την τομή με τον άξονα γ, όπως φαίνεται και στο σχήμα.

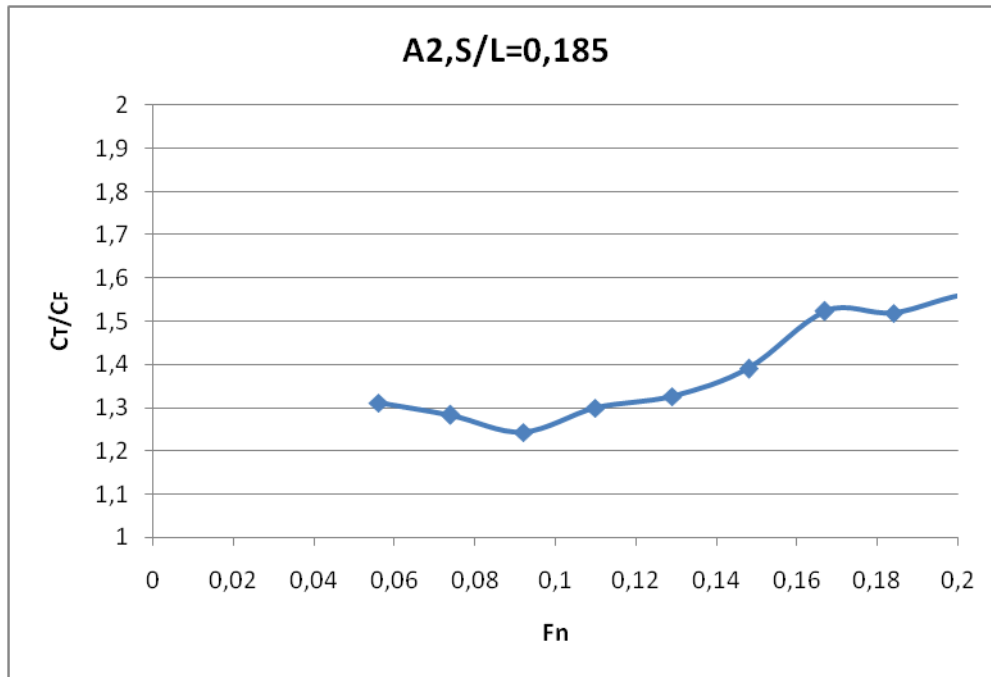


Διάγραμμα 8: Προσδιορισμός του συντελεστή k για μικρού αριθμούς Froude

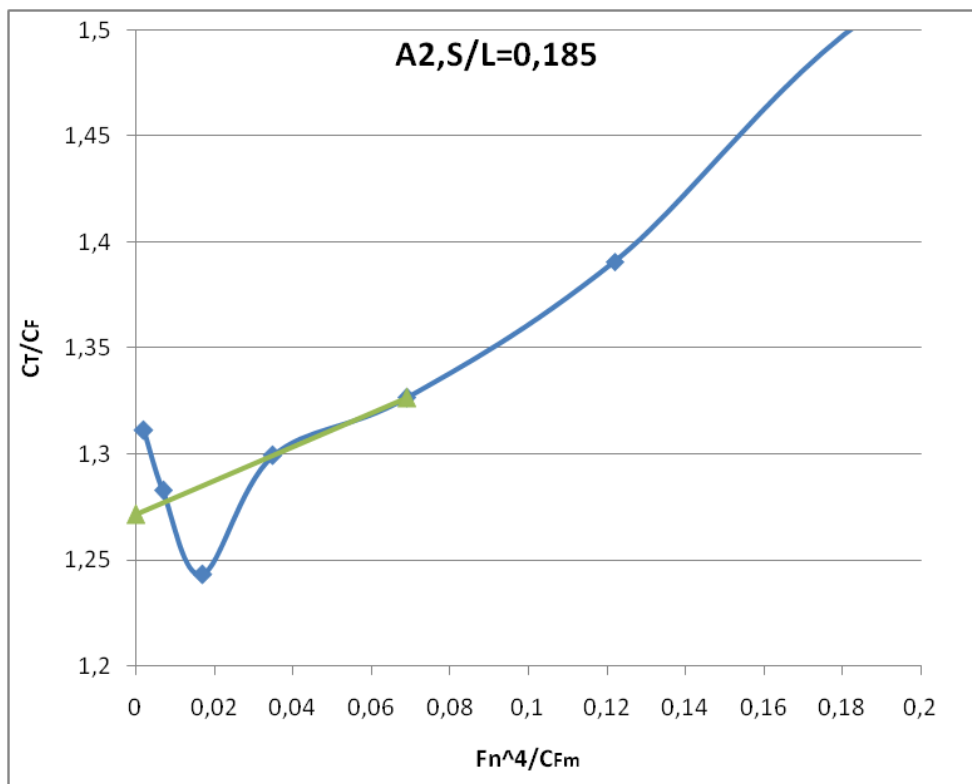


Διάγραμμα 9: Προσδιορισμός του συντελεστή k με την μέθοδο Prohaska

Εμφανίζει σίγουρα ενδιαφέρον η παρουσίαση των παραπάνω διαγραμμάτων χρησιμοποιώντας τα δικά μας πειραματικά αποτελέσματα. Κατασκευάζουμε επομένως τα διαγράμματα με άξονες όπως παραπάνω για την κατάσταση A2 και με απόσταση γαστρών λόγου  $S/L=0.185$ :



**Διάγραμμα 10: Προσδιορισμός του συντελεστή k για μικρούς αριθμούς Froude**



**Διάγραμμα 9: Προσδιορισμός του συντελεστή k με την μέθοδο Prohaska**

Για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης τα διαγράμματα της μεθόδου Prohaska και τον προσδιορισμό του συντελεστή k βρίσκονται στο παράρτημα Z.

Λόγω των μικρών ταχυτήτων και επομένως και των μικρών δυνάμεων αντίστασης, τα λάθη στις μετρήσεις είναι μεγάλα. Και στα δύο διαγράμματα, αλλά κυρίως στο δεύτερο, βλέπουμε ότι στις πολύ μικρές ταχύτητες εμφανίζονται μη λογικές τιμές. Για την εφαρμογή της μεθόδου αρχικά θα πρέπει να παραλείψουμε αυτές τις τιμές. Στο παραπάνω διάγραμμα εύκολα καταλαβαίνουμε ότι οι τρεις πρώτες τιμές είναι λανθασμένες. Έτσι θα υπολογιστεί ο συντελεστής  $k$  κάνοντας γραμμική παρεμβολή και αγνοώντας τα τρία πρώτα σημεία.

Είναι προφανές ότι η γραμμική παρεμβολή είναι πολύ δύσκολη χωρίς την χρήση της μεθόδου Prohaska. Τα διαγράμματα της παραπάνω διαδικασίας για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης βρίσκονται στο παράρτημα Δ. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα.

<b>1+K</b>				
<b><i>S/L=0.185</i></b>				
<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>C2</b>
1.266	1.272	1.267	1.317	1.198
<b><i>S/L=0.256</i></b>				
<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>C2</b>
1.257	1.221	1.261	1.309	1.158
<b><i>S/L=0.320</i></b>				
<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B3</b>	<b>C2</b>
1.288	1.337	1.282	1.258	1.158

**Πίνακας 7: Τιμές του αδιάστατου συντελεστή  $k$  όπως προέκυψαν από την μέθοδο Prohaska**

## 4.6 Σύγκριση πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα από την υπολογιστικές μεθόδους, δηλαδή του προγράμματος του εργαστηρίου της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών catamaranf, του προγράμματος Shipflow και των πειραματικών αποτελεσμάτων. Η σύγκριση θα γίνει μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_W$ .

Οι υπολογιστικές μέθοδοι μας παρέχουν τον αδιάστατο συντελεστή  $C_W$  και μόνο αυτόν. Σε αντίθετη περίπτωση, εκτελώντας πειράματα παίρνουμε σαν αποτέλεσμα την ολική αντίσταση και κατά συνέπεια τον συντελεστή ολικής αντίστασης  $C_T$ .

Προκειμένου η σύγκριση να γίνει μέσω ενός κοινού μεγέθους χρησιμοποιώντας την μέθοδο Hughes από τα πειραματικά αποτελέσματα θα υπολογίσουμε τον συντελεστή αντίστασης κυματισμού  $C_W$ . Αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$ , αφαιρώντας από τον συντελεστή ολικής αντίστασης  $C_T$  τον συντελεστή αντίστασης τριβής, ο οποίος δίνεται από την καμπύλη της IPTC (σχέση 1). Στην συνέχεια και σύμφωνα με την μέθοδο Hughes, ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού υπολογίζεται αφαιρώντας από τον συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης τον συντελεστή  $C_{FORM}$  (σχέση 2):

$$C_T = C_R - C_F \Leftrightarrow C_R = C_T + C_F \quad (1)$$

$$C_R = C_W + C_{FORM} \Leftrightarrow C_W = C_R - C_{FORM} \quad (2)$$

όπου:

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

$$C_{FORM} = k * C_F$$

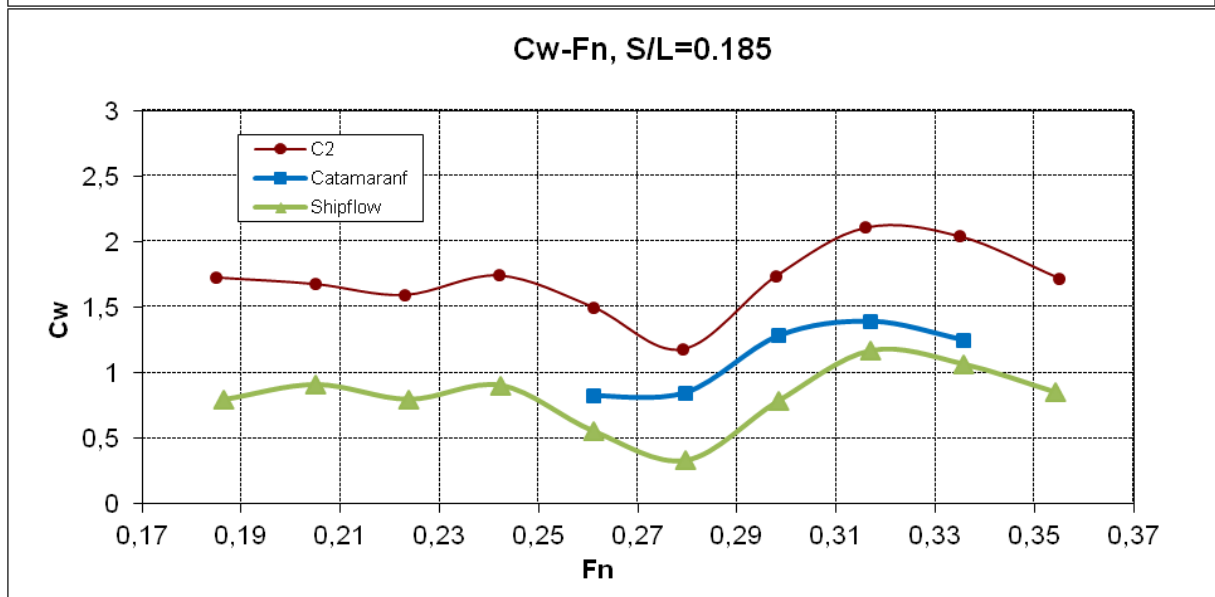
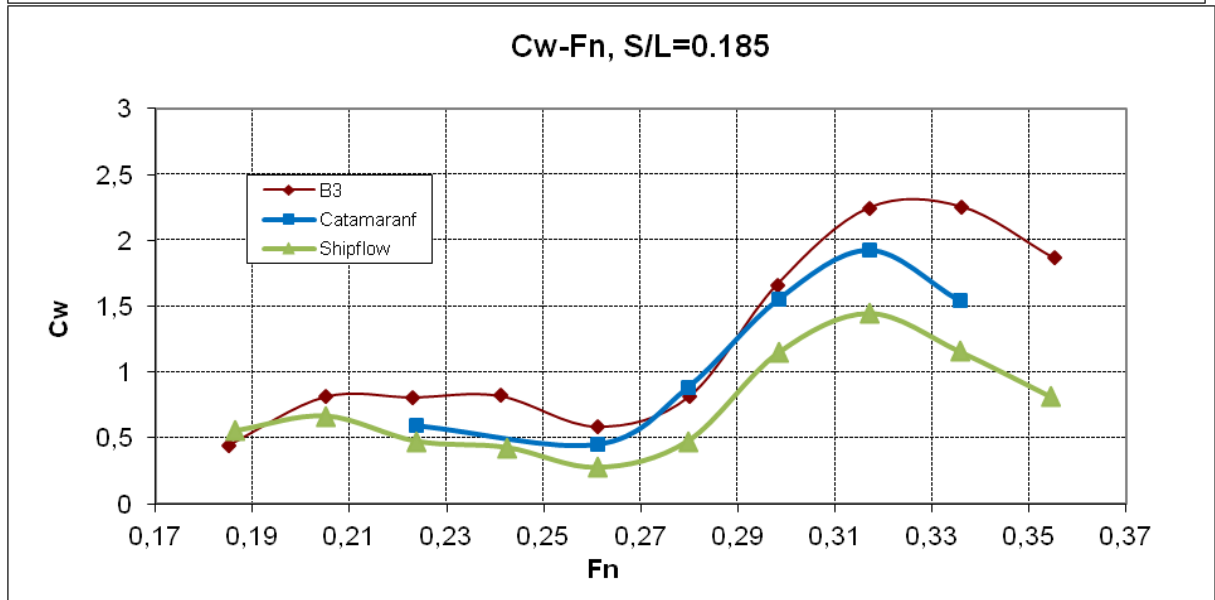
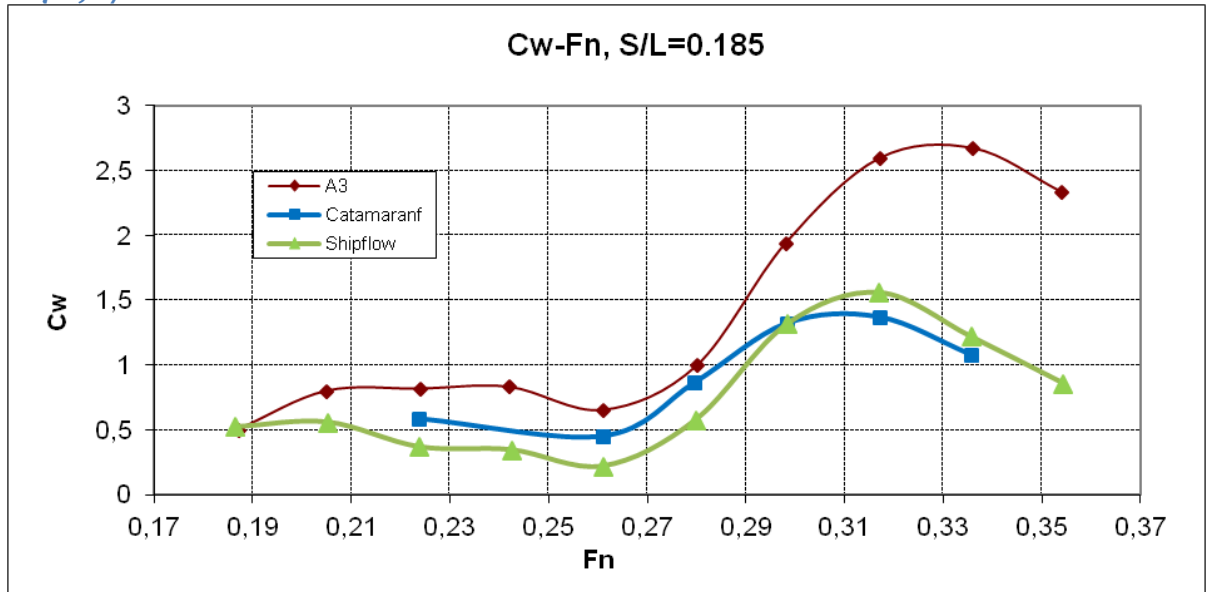
$k$  : ο αδιάστατος συντελεστής όπως προέκυψε από την μέθοδο Prohaska.

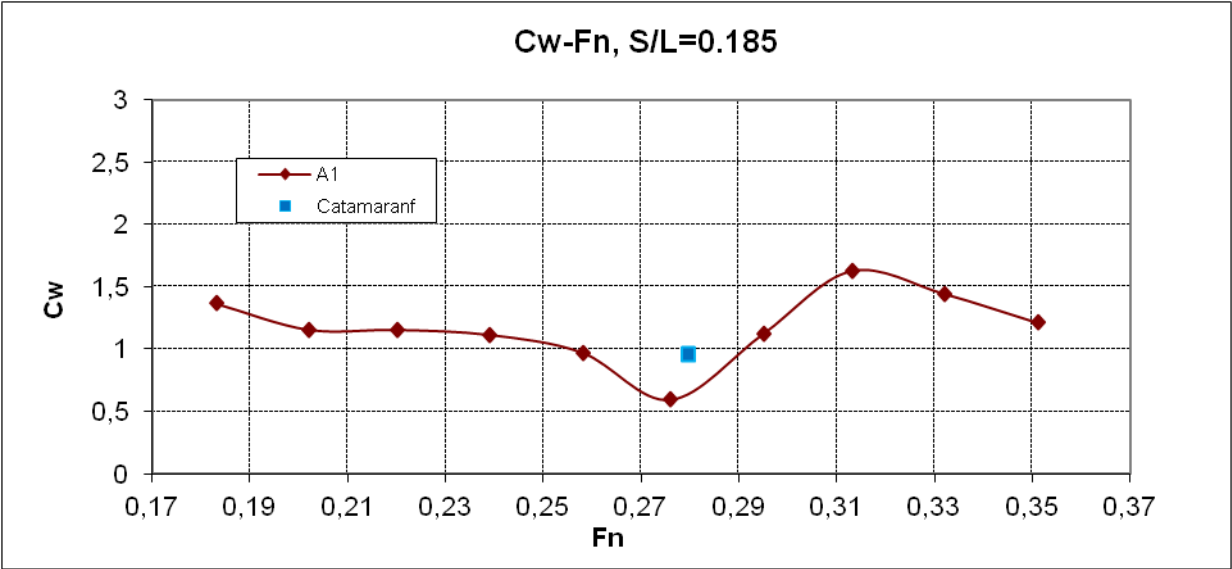
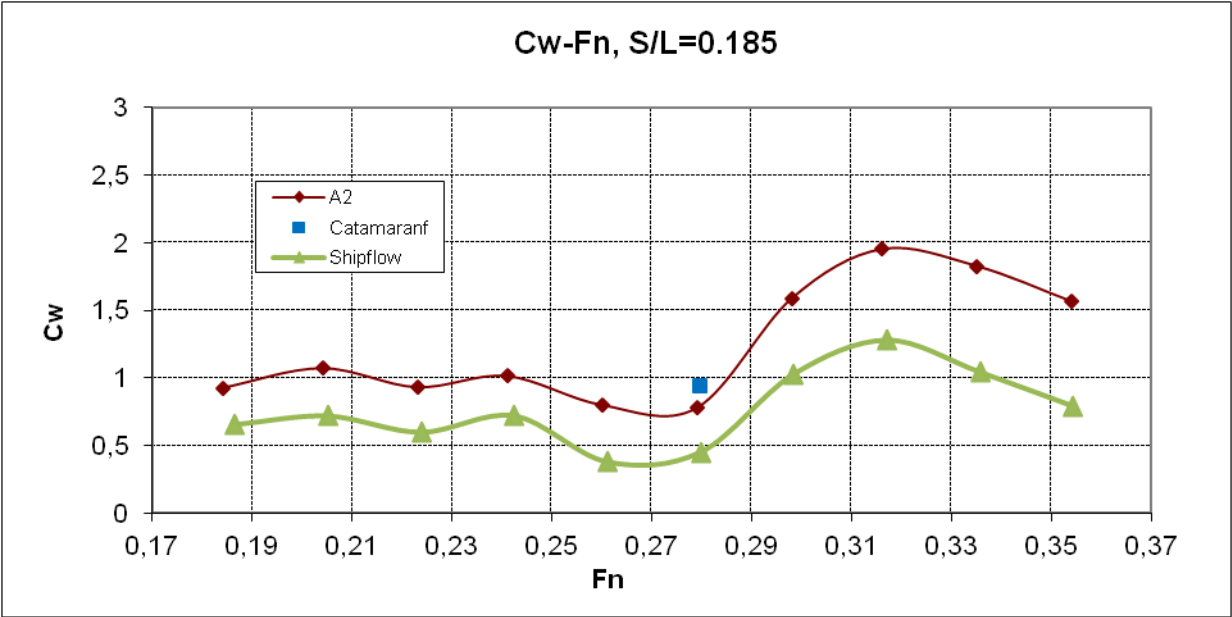
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού  $C_W$  συναρτήσει του αριθμού Froude. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό του αριθμού Froude στα αριθμητικά προγράμματα χρησιμοποιήθηκε το μήκος ισάλου ( $L_{WL} = 77,6m$ ) της κατάστασης A3, ενώ στα πειραματικά αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε μήκος ισάλου ( $L_{WL}$ ) ανάλογα με την κατάσταση που αναφερόμαστε.

Τέλος, αναφέρεται ότι από το πρόγραμμα Shipflow πήραμε αποτελέσματα και από τους τρεις λόγους  $S/L$  σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης εκτός από την κατάσταση A1 σε ένα εύρος ταχυτήτων από 0.186 έως 0.353 (αντίστοιχα 10-19 kn σε κλίμακα πλοίου), ενώ από τον κώδικα Catamaranf σε επιλεγμένες ταχύτητες.

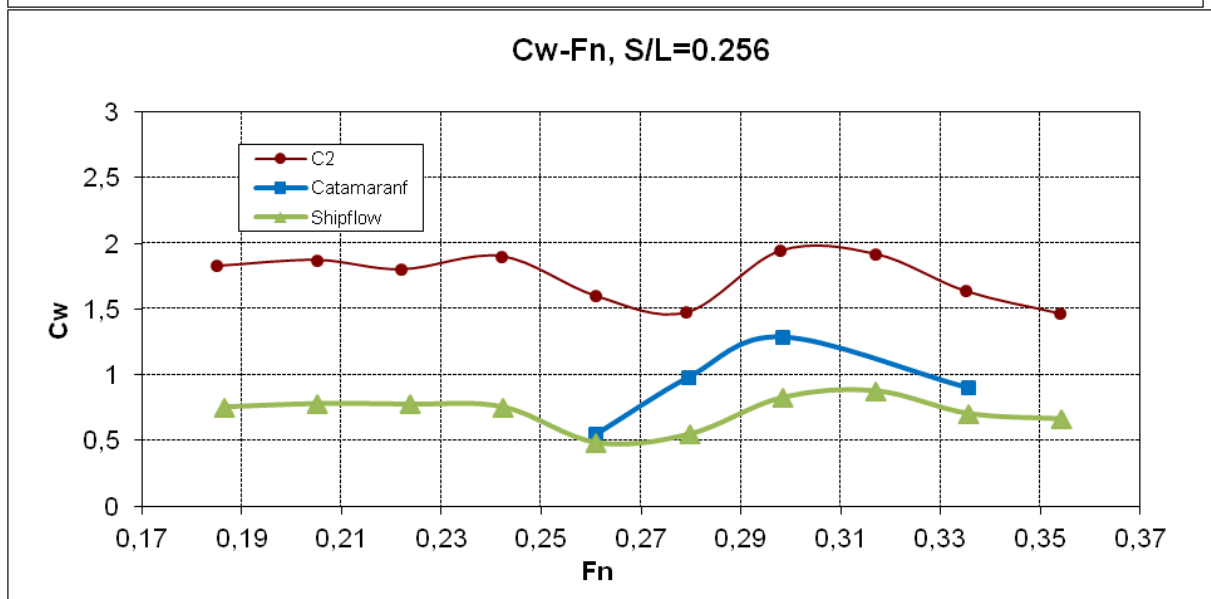
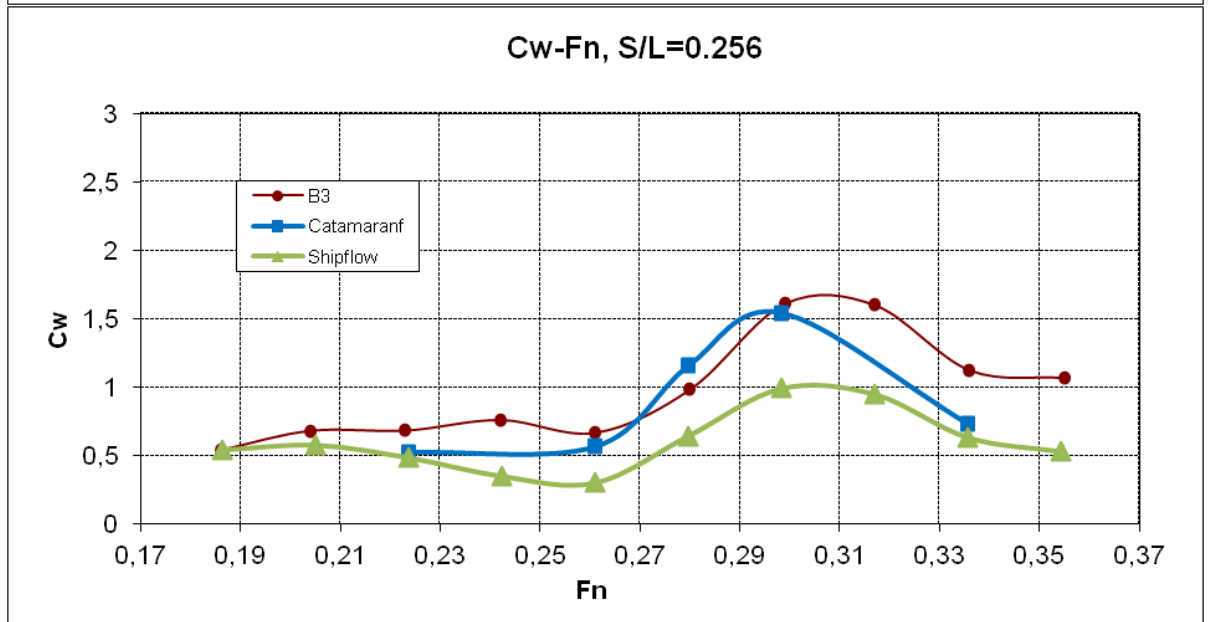
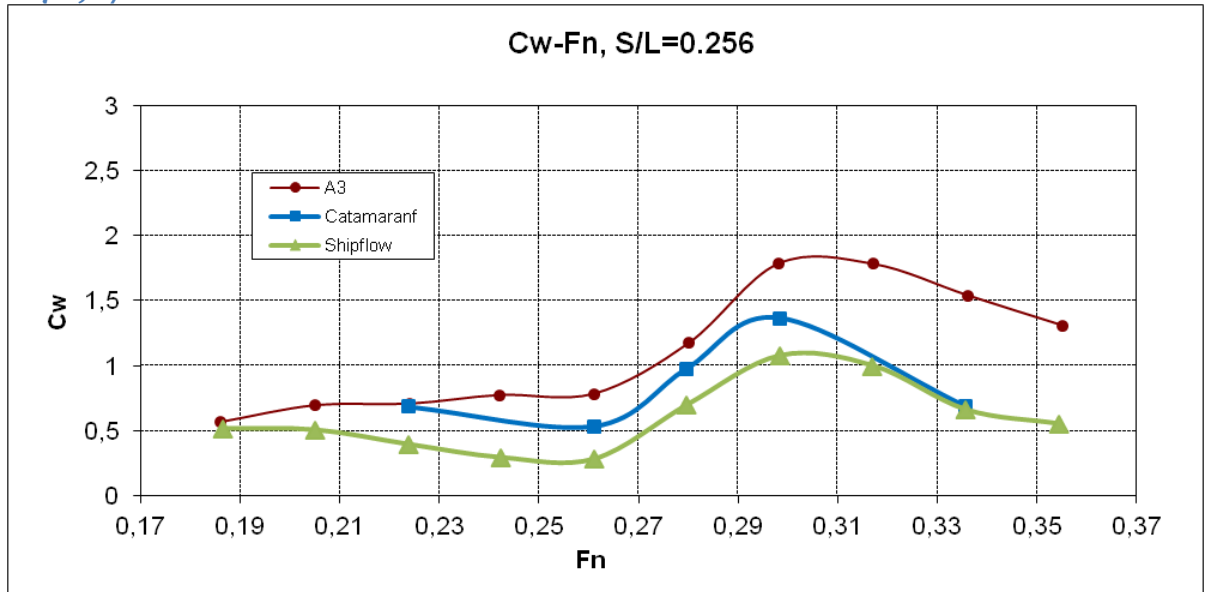


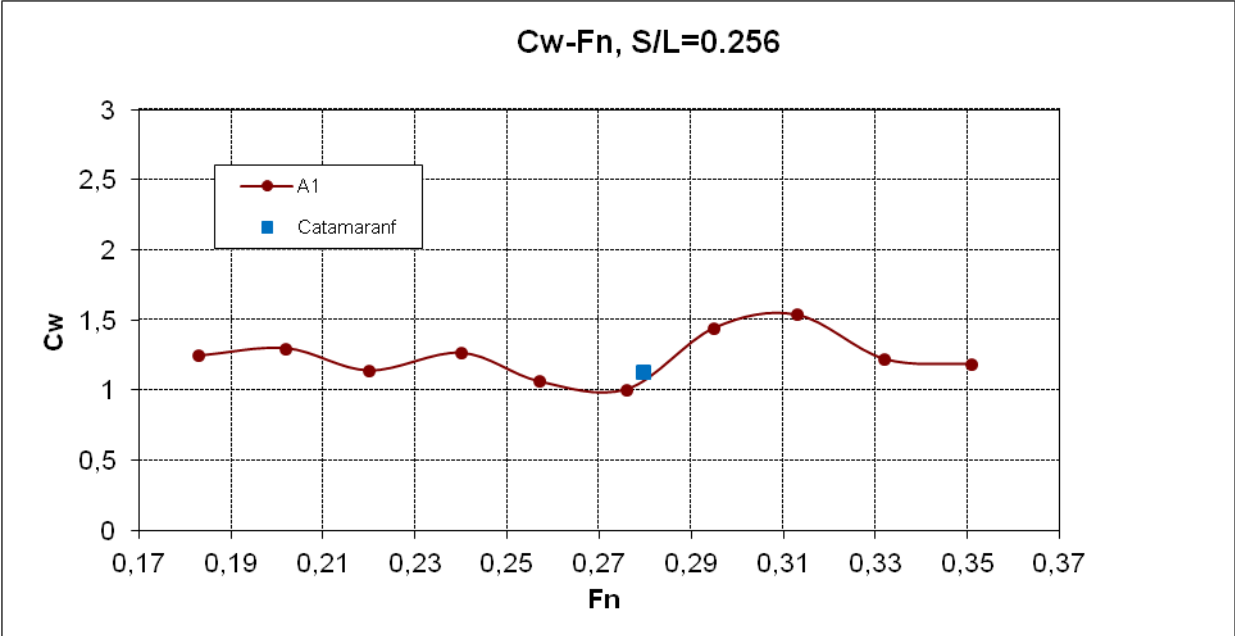
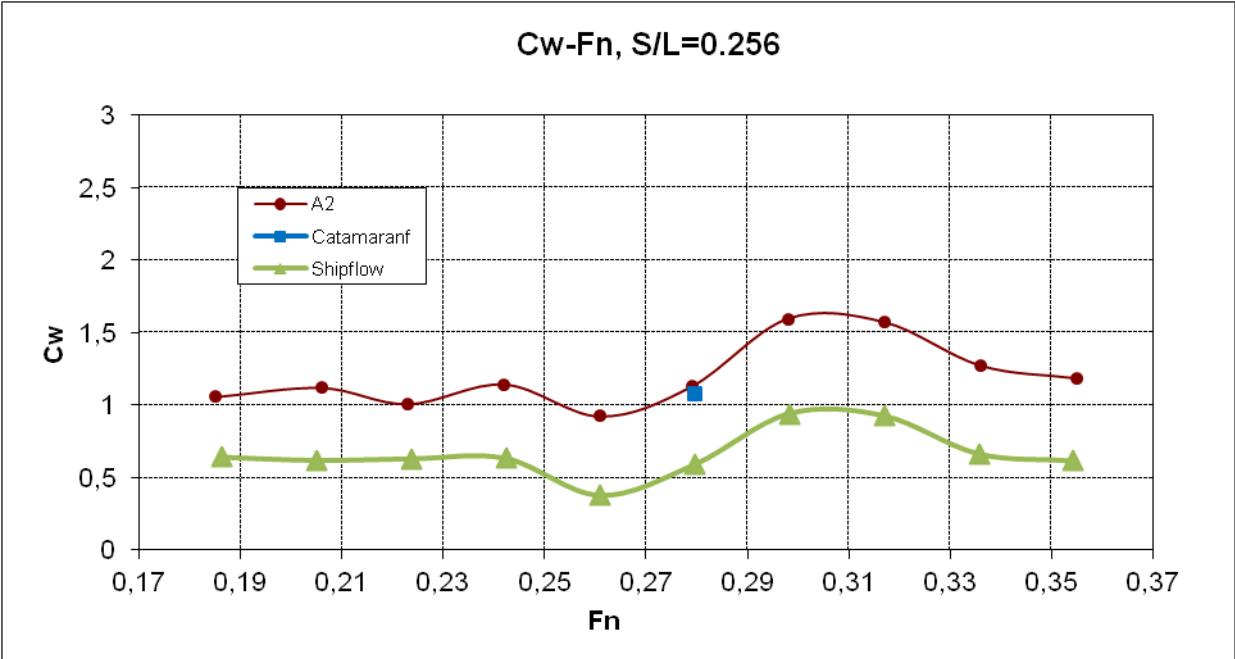
Λόγος  $S/L=0.185$



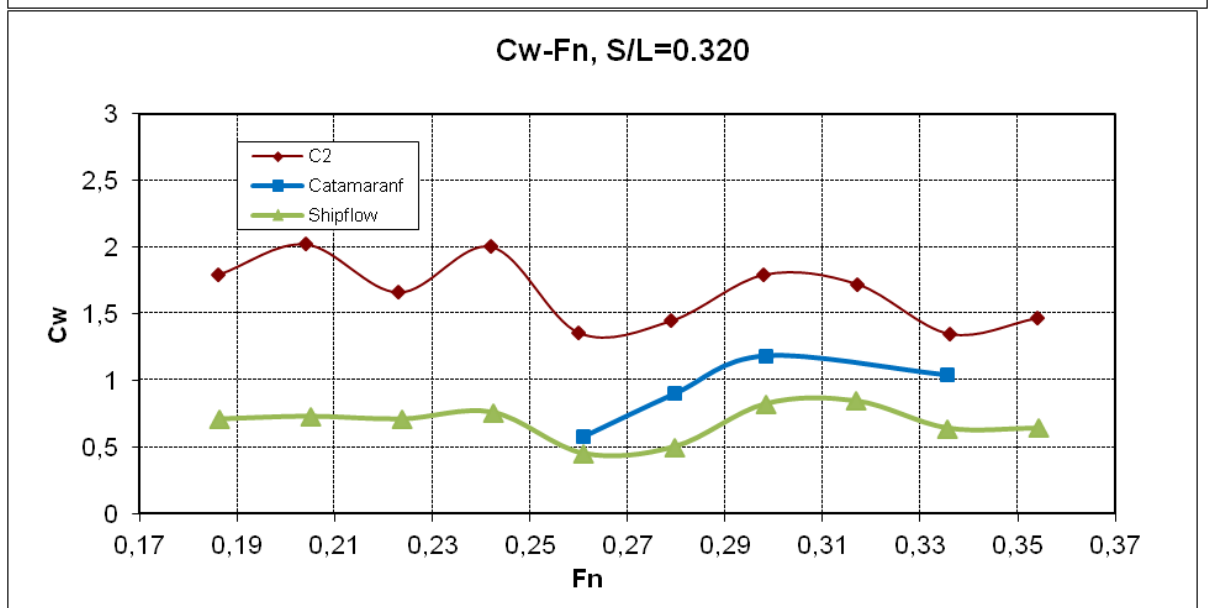
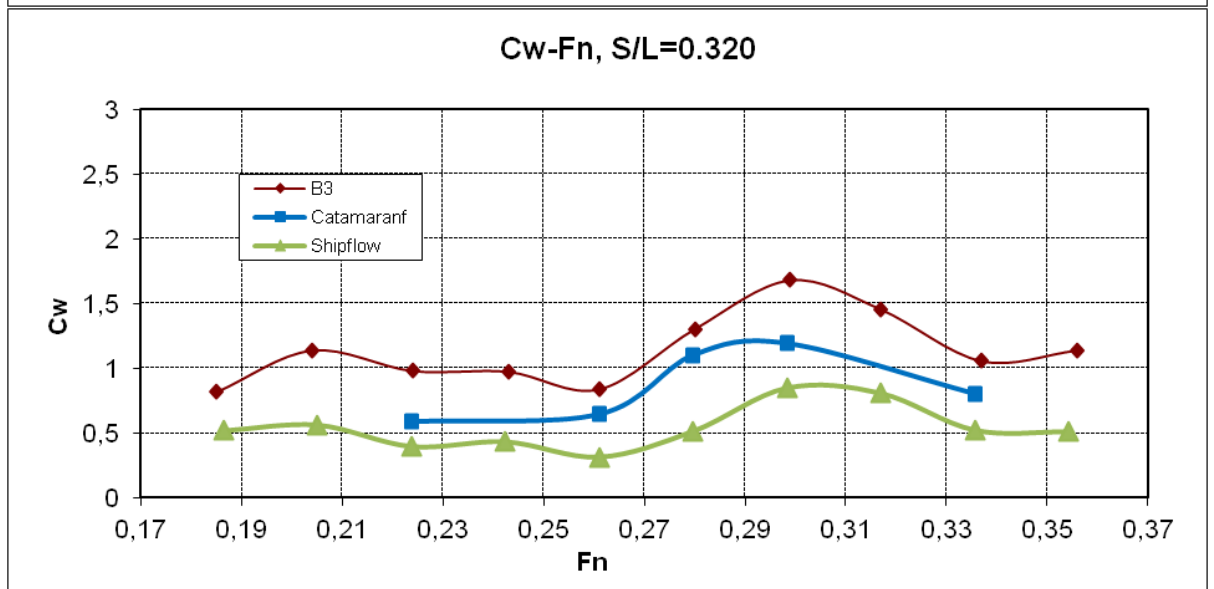
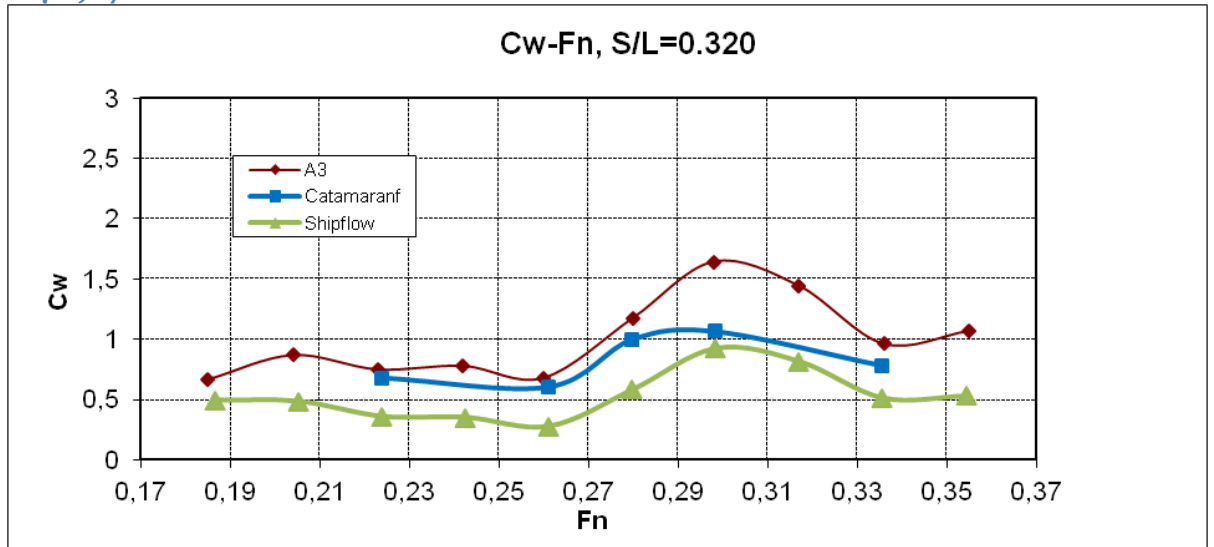


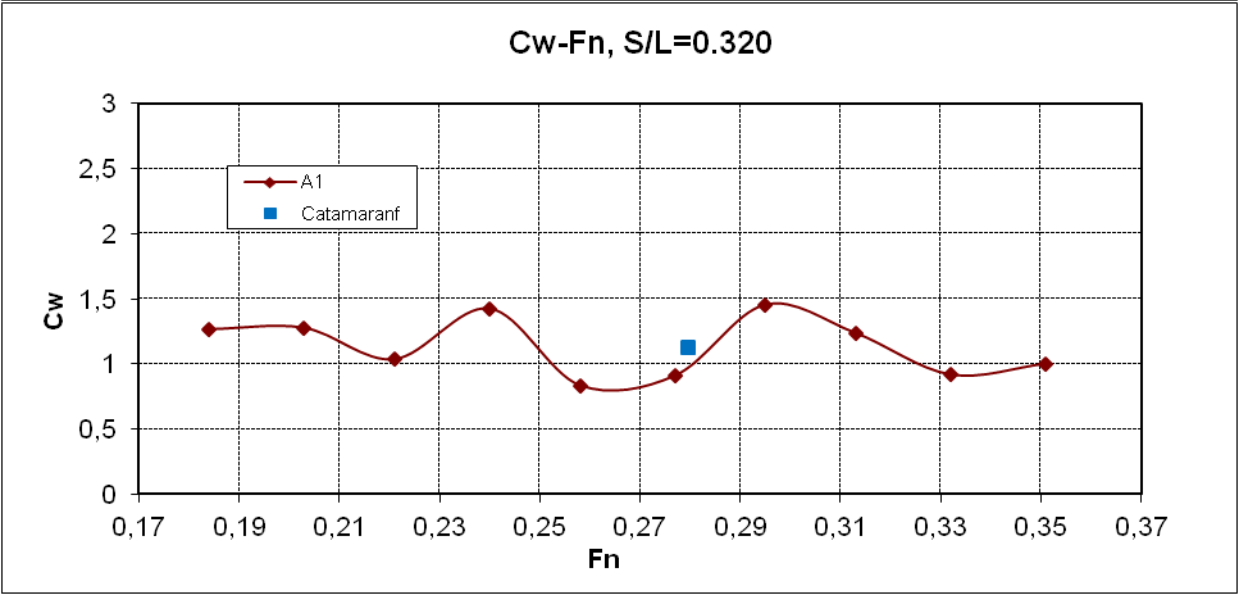
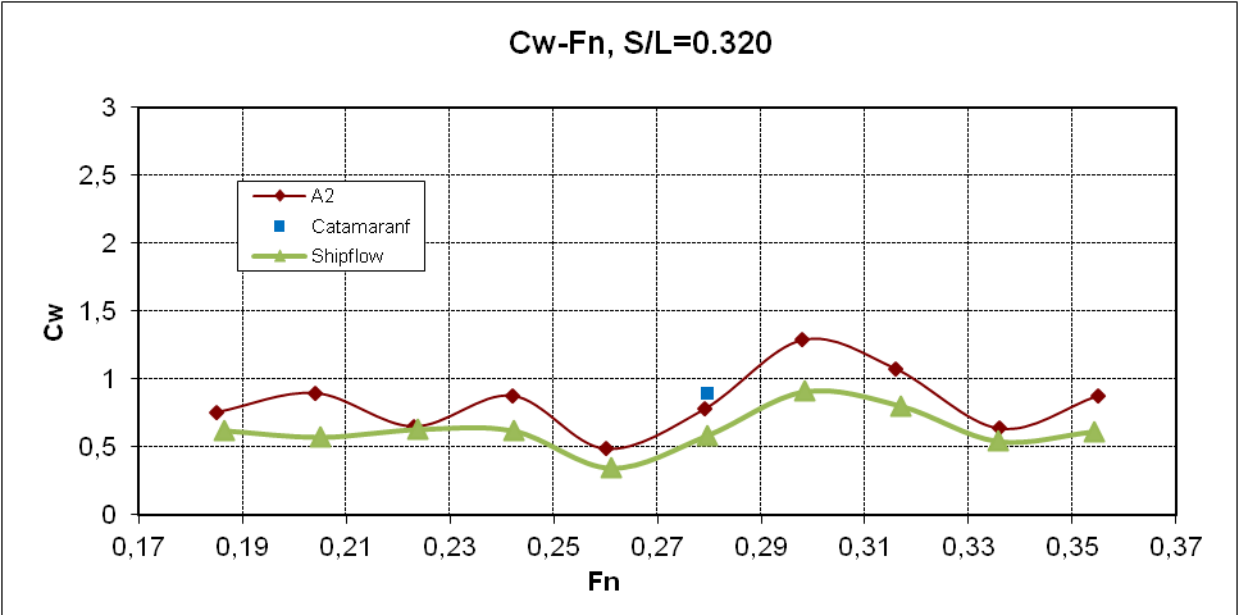
Λόγος  $S/L=0.256$





Λόγος  $S/L=0.320$





Σε γενικές γραμμές, παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, συμπεραίνουμε ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τα δύο προγράμματα είναι σε θέση να επιτύχουν αρκετά καλή προσέγγιση του συντελεστή αντίστασης κυματισμού.

Οι τρεις καμπύλες παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες ως προς την μορφή τους. Διαφοροποιήσεις, ωστόσο, παρουσιάζονται ως προς τις τιμές. Βλέπουμε ότι το πρόγραμμα Shipflow υποεκτιμά τον συντελεστή αντίστασης κυματισμού. Το πρόγραμμα Catamaranf σε σχέση με το πρόγραμμα Shipflow εμφανίζει μεγαλύτερη σύγκλιση. Η μεγαλύτερη σύγκλιση οφείλεται εν μέρει στο ότι στο πρόγραμμα Catamaranf δόθηκαν το πραγματικό ύψος εξάλων και η δυναμική διαγωγή, γεγονός που ενδέχεται να βοήθησε στην σύγκλιση αυτή.

Όπως παρατηρούμε, σε ορισμένες καταστάσεις οι αριθμητικές καμπύλες βρίσκονται πολύ κοντά στις πειραματικές όπως στην κατάσταση B3 λόγου  $S/L=0.185$  και σε άλλες όπως την κατάσταση C2 λόγου  $S/L=0.185$  η απόκλιση αυτή είναι μεγαλύτερη. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορές ως προς την εκτίμηση του διορθωτικού συντελεστή  $k$  όπως έγινε σύμφωνα με την μέθοδο Prohaska. Στα παραπάνω παραδείγματα η τιμή του συντελεστή  $k$  ήταν αντίστοιχα 0.317 και 0.158. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις διαφορές ως προς την τιμή του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ανάμεσα στα πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα.



## 4.7 Σύγκριση Wave Cuts

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει παρουσίαση και σύγκριση των προφίλ των κυματισμών (wavecuts) σε συγκεκριμένες εγκάρσιες θέσεις. Αποτελέσματα λήφθηκαν από πειραματικές μετρήσεις αλλά και μέσω του κώδικα Catamaranf και του προγράμματος Shipflow. Όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 2, μετρήθηκε το ύψος κύματος σε δύο θέσεις εξωτερικά των γαστρών αλλά και στην ενδιάμεση απόσταση (center line) των γαστρών στις ταχύτητες μοντέλου 1,260 m/s, 1,575 m/s και 1.890 m/s (οι αντίστοιχες ταχύτητες πλοίου είναι 12 kn, 15 kn, 18 kn). Εξωτερικά των γαστρών έγιναν μετρήσεις στις παρακάτω αποστάσεις από τον διαμήκη άξονα συμμετρίας των δύο γαστρών οι οποίες τόσο σε κλίμακα πλοίου όσο και μοντέλου είναι:

A/A	κλίμακα μοντέλου		κλίμακα πλοίου	
	waveprob1	waveprob2	waveprob1	waveprob2
<b>Απόσταση από CL των γαστρών[m]</b>	0.93	1.13	22.36	27.16

Πίνακας 8: Αποστάσεις αισθητήρων (waveprobs) από τον διαμήκη άξονα συμμετρίας των γαστρών σε κλίμακα μοντέλου και πλοίου

Οι πειραματικές μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας κατάλληλους αισθητήρες (waveprobs). Επιγραμματικά αναφέρεται ότι οι αισθητήρες εξωτερικά των γαστρών ήταν στατικοί ως προς την κίνηση του μοντέλου και μας παρέχουν πληροφορίες για την μορφή του κύματος από την στιγμή που το κύμα έφτασε σε αυτούς. Εσωτερικά των γαστρών μετρήθηκε το ύψος κύματος σε έξι σημεία με αισθητήρες οι οποίοι βρίσκονταν πάνω στο μοντέλο και κατέγραφαν το ύψος κύματος από την στιγμή που η ταχύτητα του φορείου σταθεροποιούνταν. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 2.

Το πρόγραμμα Catamaranf εμφανίζει το προφίλ του κάθε κύματος χρησιμοποιώντας τον κώδικα 'wlogr', ο οποίος είναι γραμμένος στην γλώσσα προγραμματισμού Fortran και στηρίζεται στην ανάγνωση των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Με τον κώδικα αυτόν είναι δυνατόν να πάρουμε το ύψος κύματος των κυματισμών και ανάμεσα στις γάστρες. Στην προκειμένη περίπτωση υπολογίσαμε το ύψος κύματος στον διαμήκη άξονα συμμετρίας των γαστρών.

Το πρόγραμμα Shipflow εμφανίζει τα αντίστοιχα διαγράμματα στο δικό του περιβάλλον εργασίας. Προκειμένου τα αποτελέσματα αυτά να είναι εκμεταλλεύσιμα χρησιμοποιήθηκε κώδικας Fortran με τον οποίο παίρνουμε το προφίλ του κύματος. Σημειώνεται ότι ο παρόν κώδικας δεν έχει την δυνατότητα να υπολογίζει το ύψος κύματος ανάμεσα στις γάστρες.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται το ύψος κύματος σε κλίμακα μοντέλου. Χρησιμοποιώντας τα υπολογιστικά προγράμματα, τα αποτελέσματα του ύψους κύματος δίνονταν σε κλίμακα πλοίου και για αυτόν τον λόγο διαιρέθηκαν με την κλίμακα μοντέλου-πλοίου προκειμένου τα αποτελέσματα να βρίσκονται στην κοινή κλίμακα του μοντέλου.

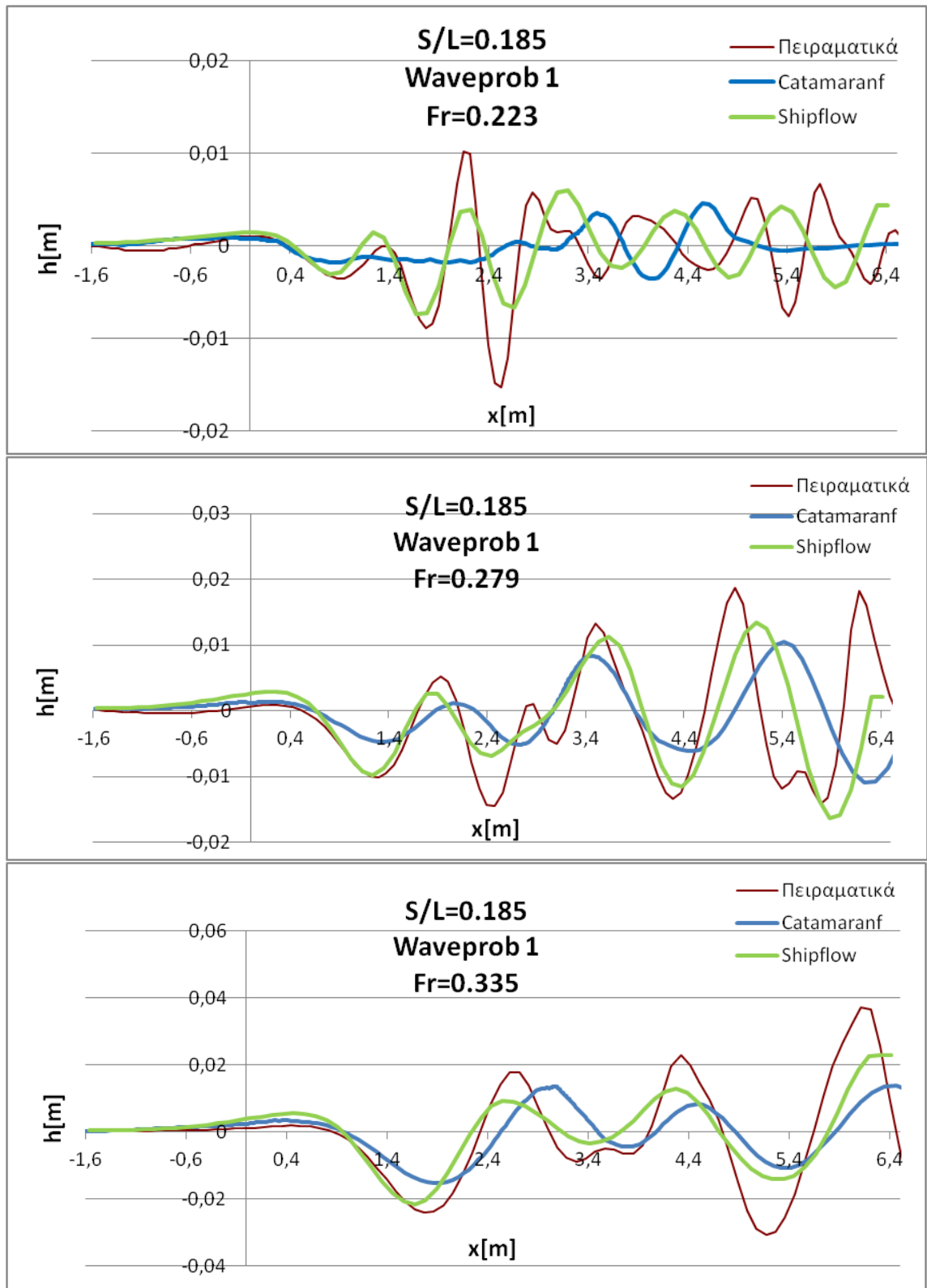
Στα διαγράμματα που παρουσιάζουν το δημιουργούμενο προφίλ του κύματος εξωτερικά των γαστρών σημειώνεται ότι το μηδέν αντιστοιχεί στην πρωραία κάθετο του μοντέλου. Στα αρνητικά παρουσιάζεται το ύψος κύματος σε απόσταση από την πρωραία κάθετο ίση με το μισό μήκος μεταξύ καθέτων του μοντέλου ( $L_{BP}/2$ ), ενώ στα θετικά απόσταση ίση με δύο μήκη μεταξύ καθέτων ( $2 * L_{BP}$ ).

Αντίστοιχα, στα διαγράμματα που παρουσιάζουν το δημιουργούμενο προφίλ του κύματος εσωτερικά των γαστρών, το μηδέν αντιστοιχεί επίσης στην πρωραία κάθετο του μοντέλου. Στην περίπτωση αυτή, στα αρνητικά παρουσιάζεται το προφίλ του κύματος σε μήκος ίσο με το ένα τρίτο του μήκους μεταξύ καθέτων του μοντέλου ( $L_{BP}/3$ ), ενώ στα θετικά απόσταση λίγο μεγαλύτερη από το μήκος μεταξύ καθέτων του μοντέλου.

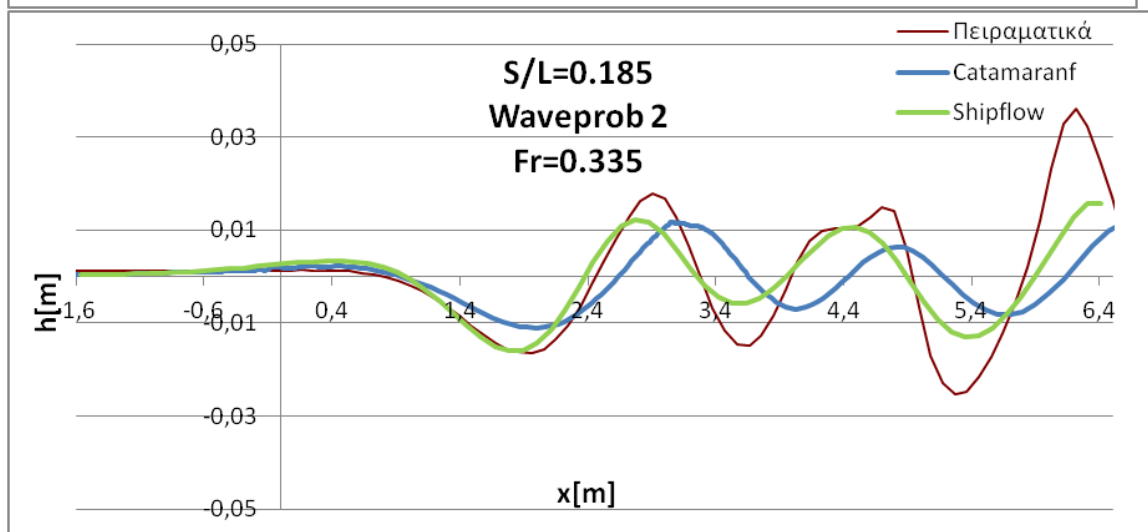
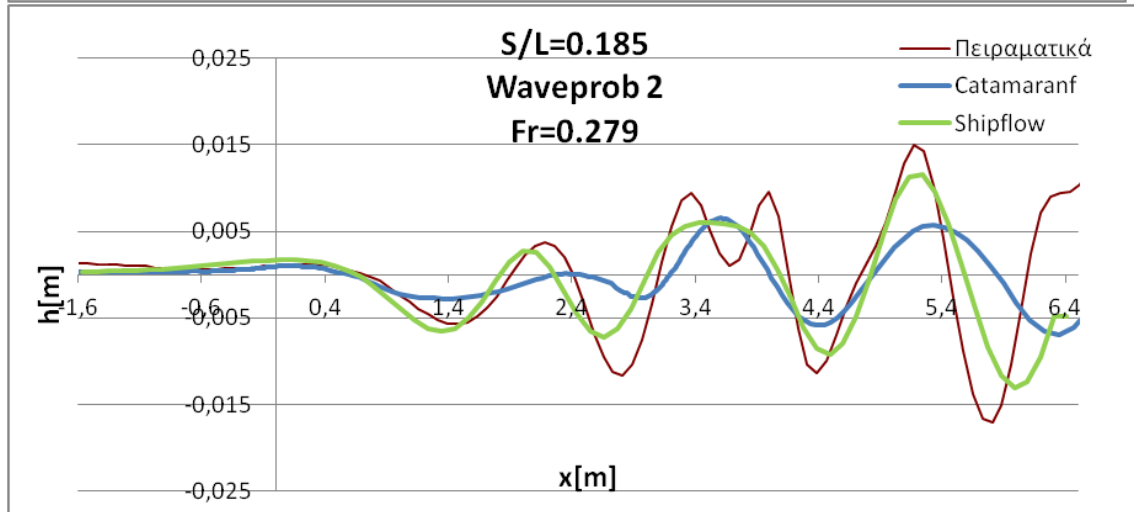
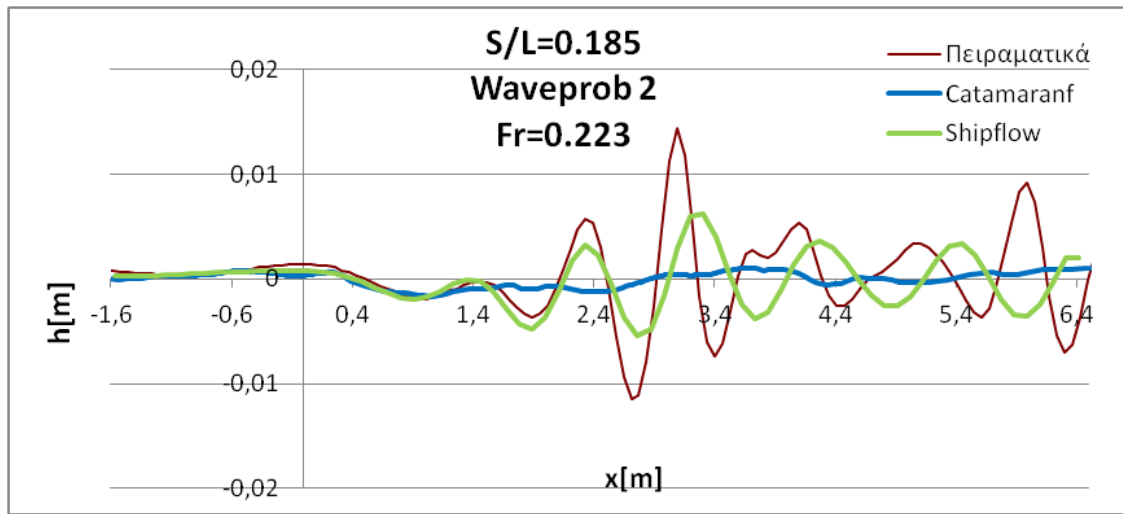
Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστούν πρώτα τα διαγράμματα των wave cuts εξωτερικά των γαστρών και στην συνέχεια τα wave cuts εσωτερικά αυτών.

#### 4.71 Wave cuts εξωτερικά των γαστρών

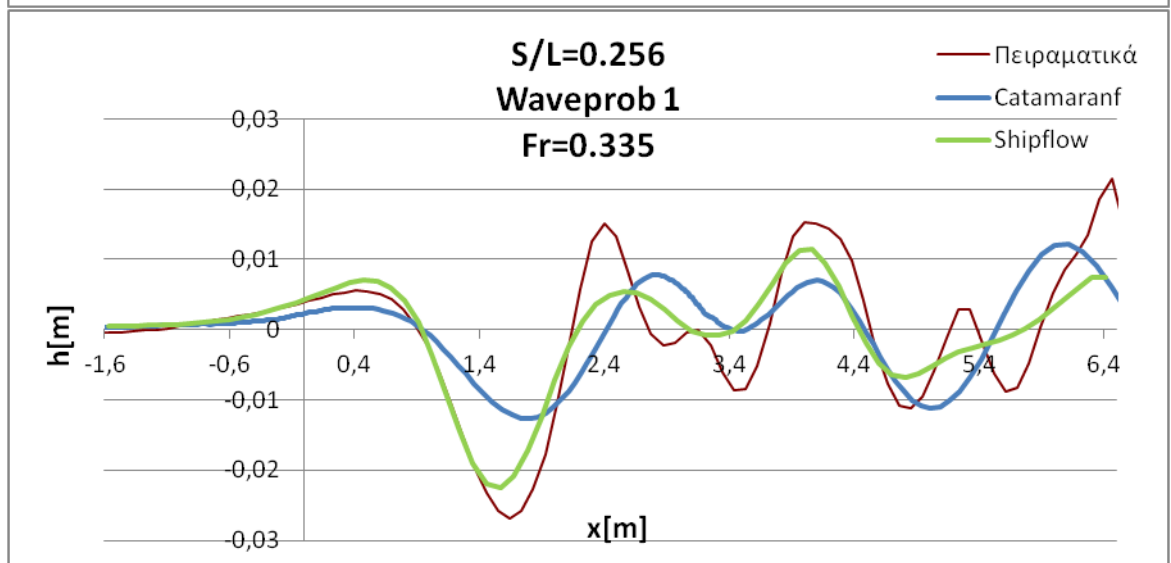
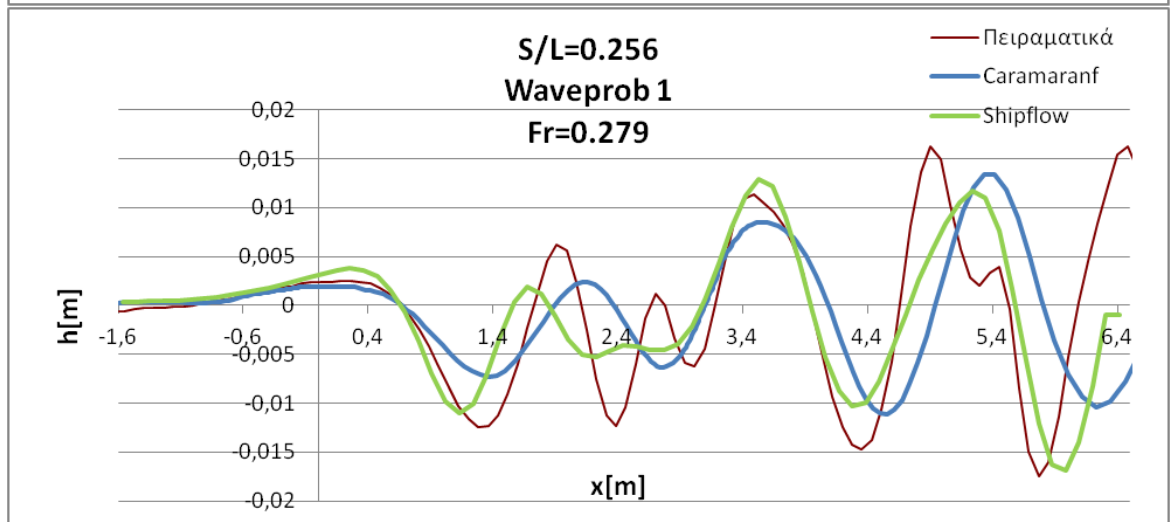
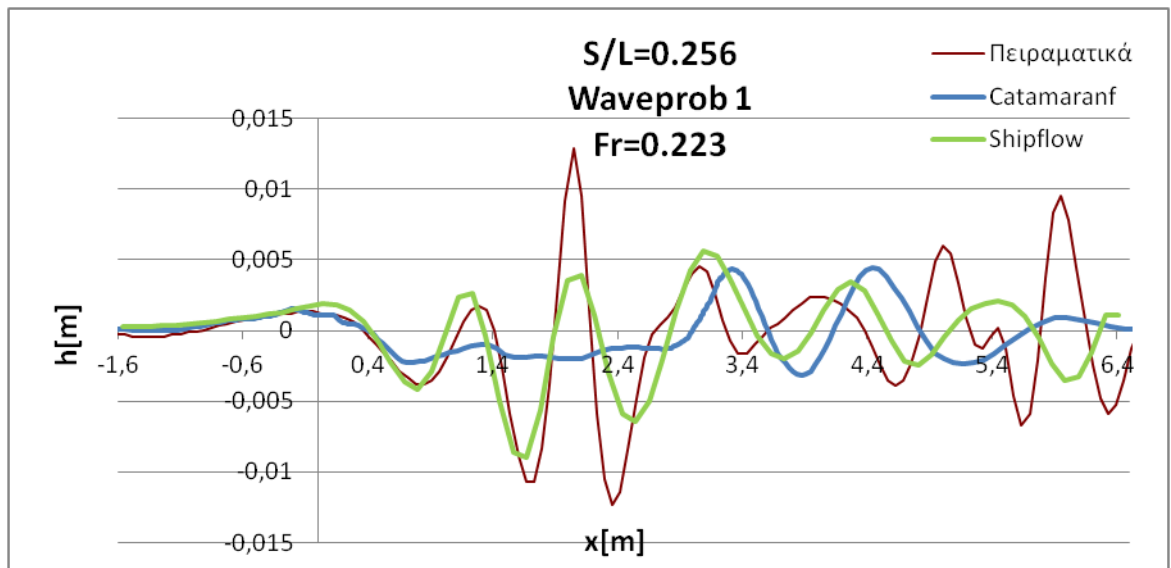
Λόγος  $S/L=0.185$ , Waveprob 1



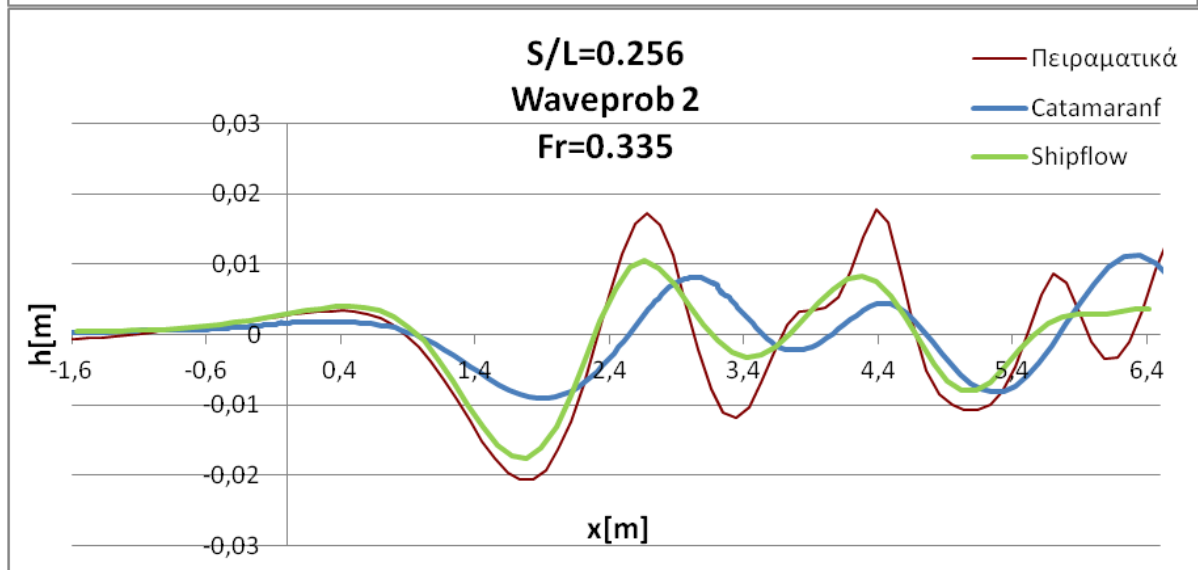
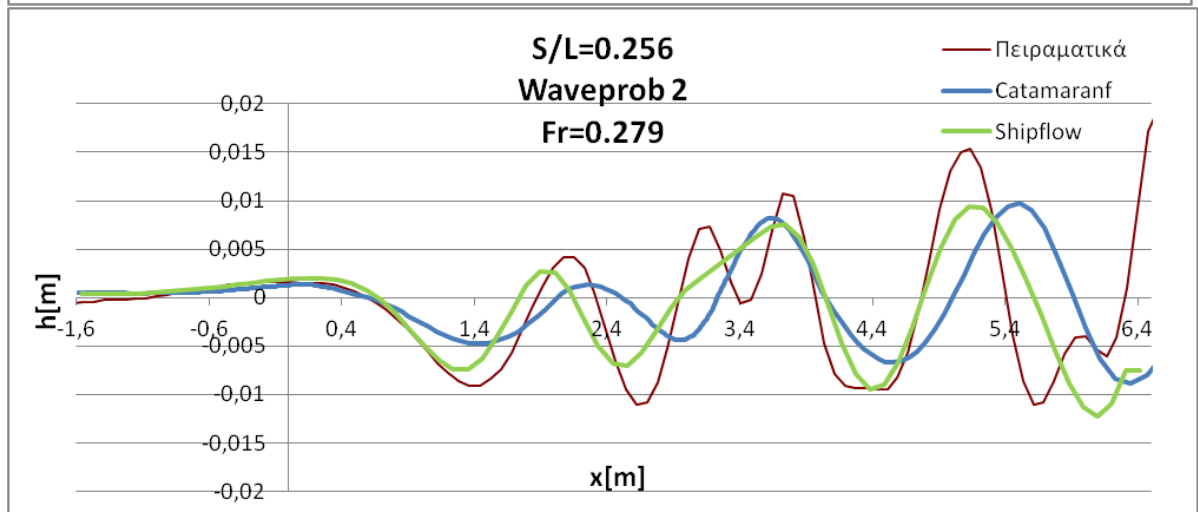
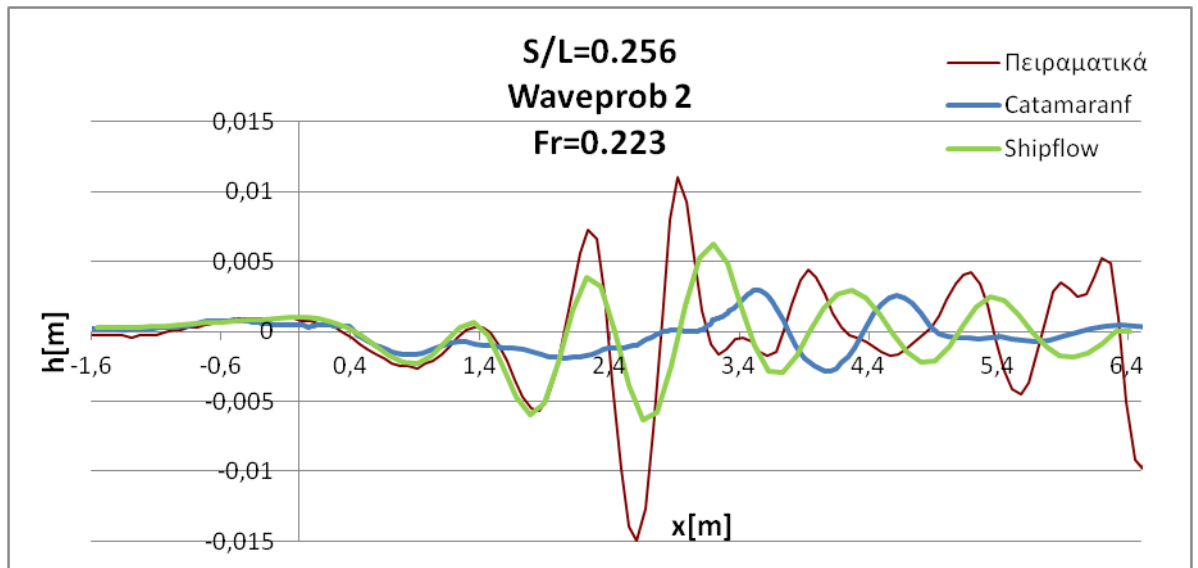
Λόγος  $S/L=0.185$ , Waveprob 2



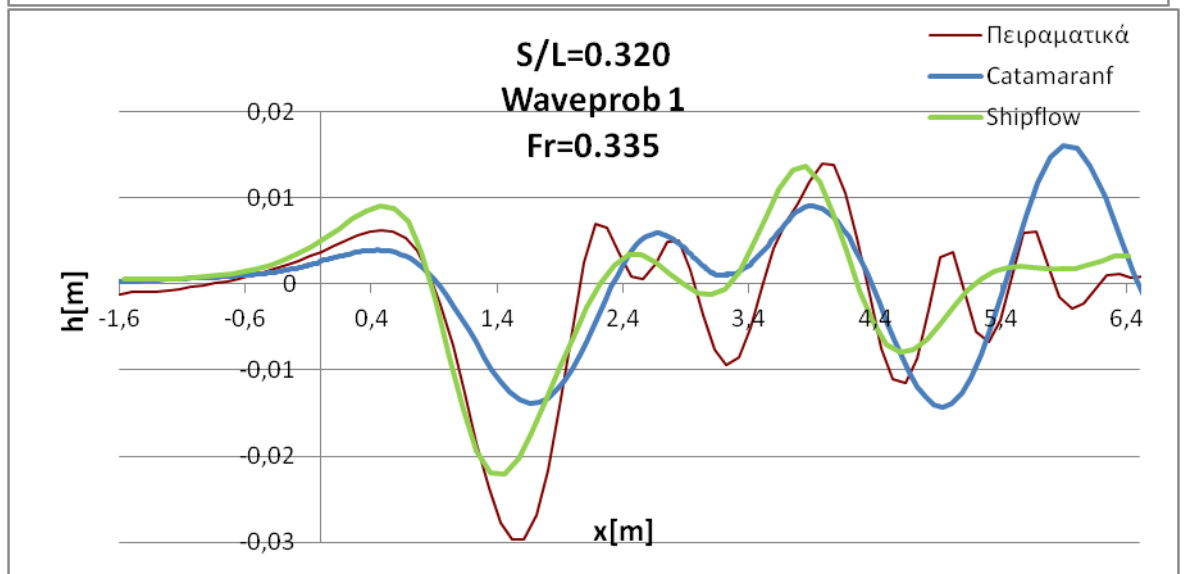
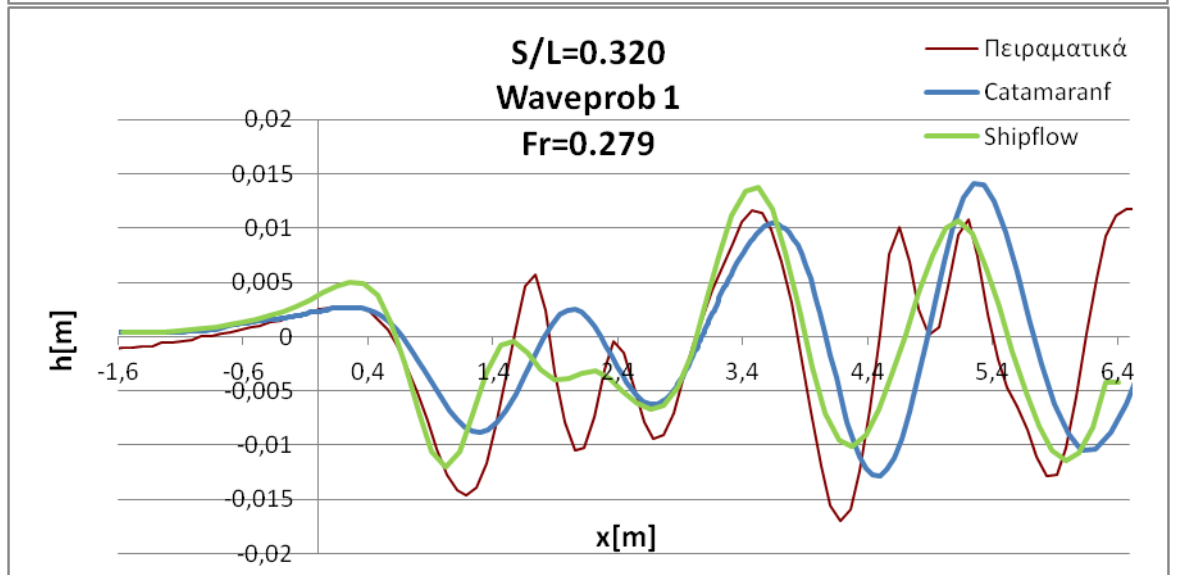
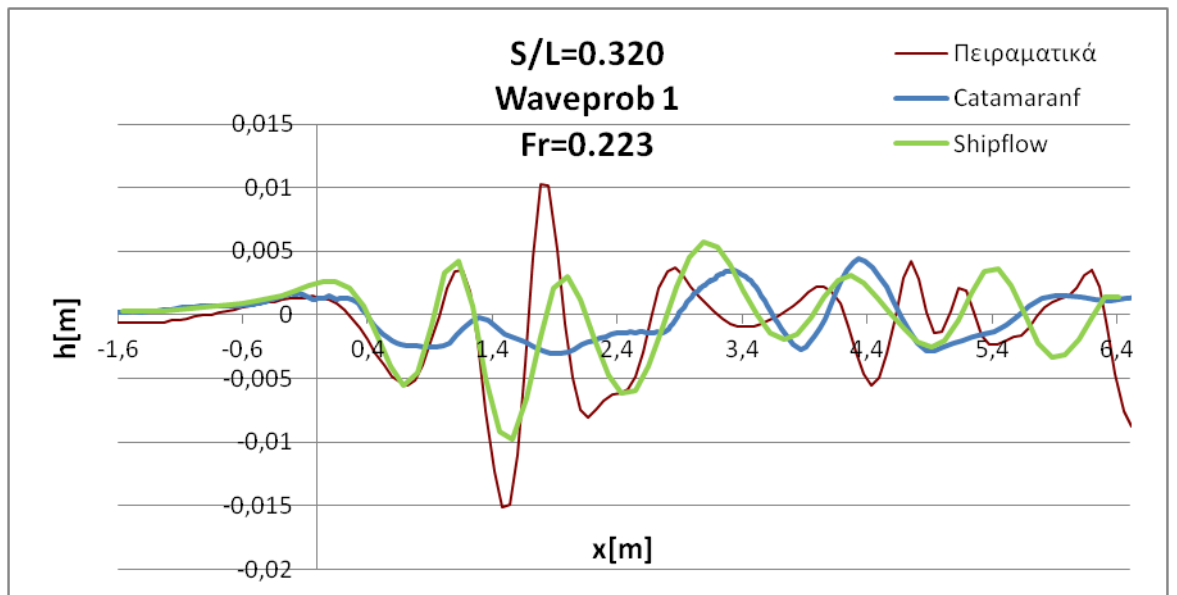
Λόγος  $S/L=0.256$ , Waveprob 1



Λόγος  $S/L=0.256$ , Waveprob 2

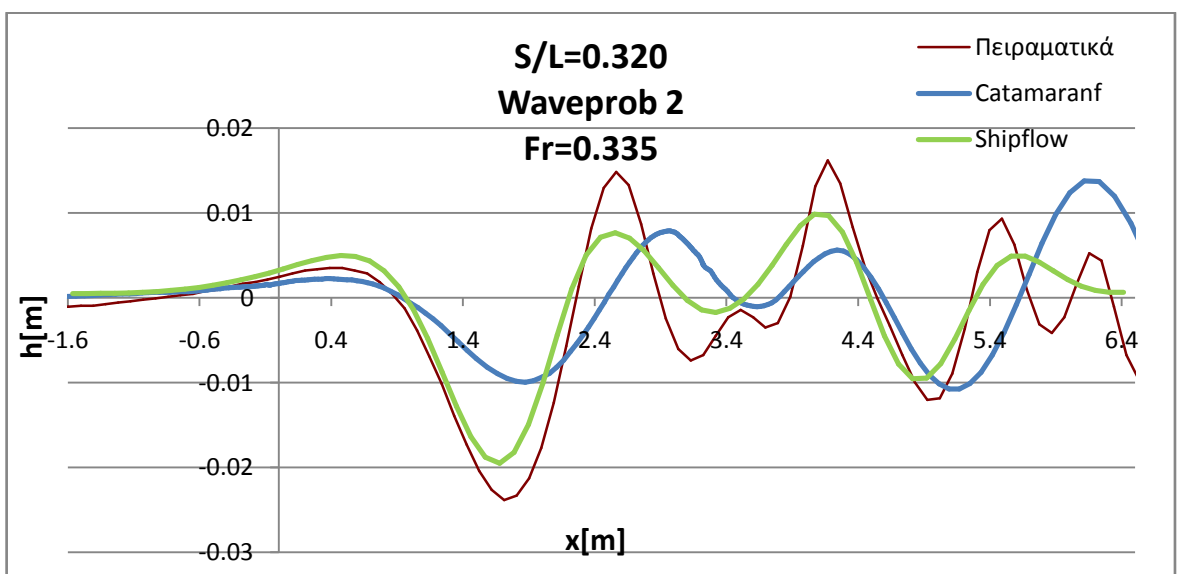
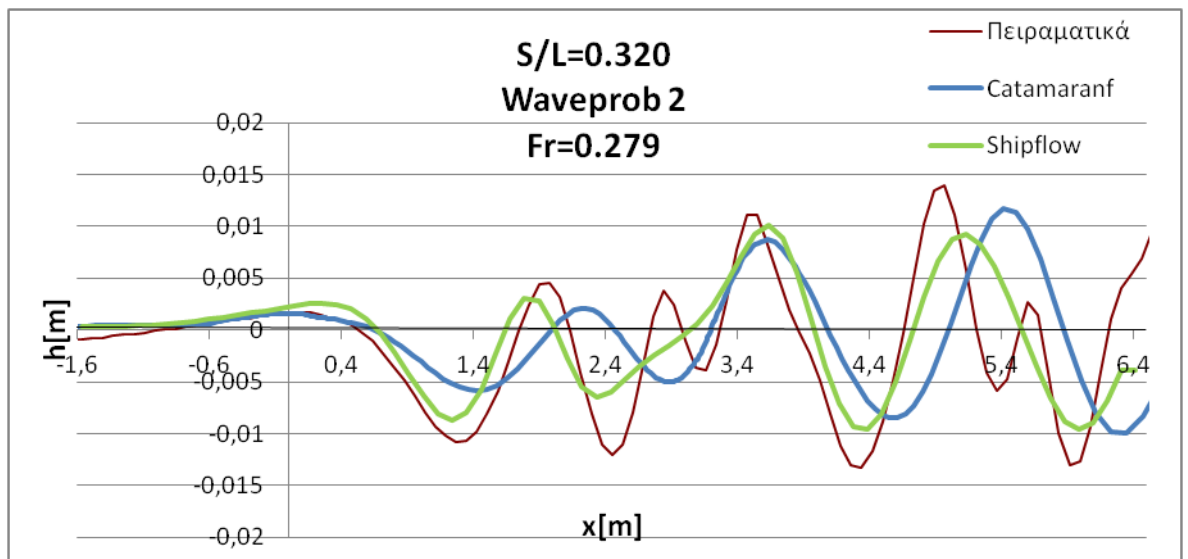
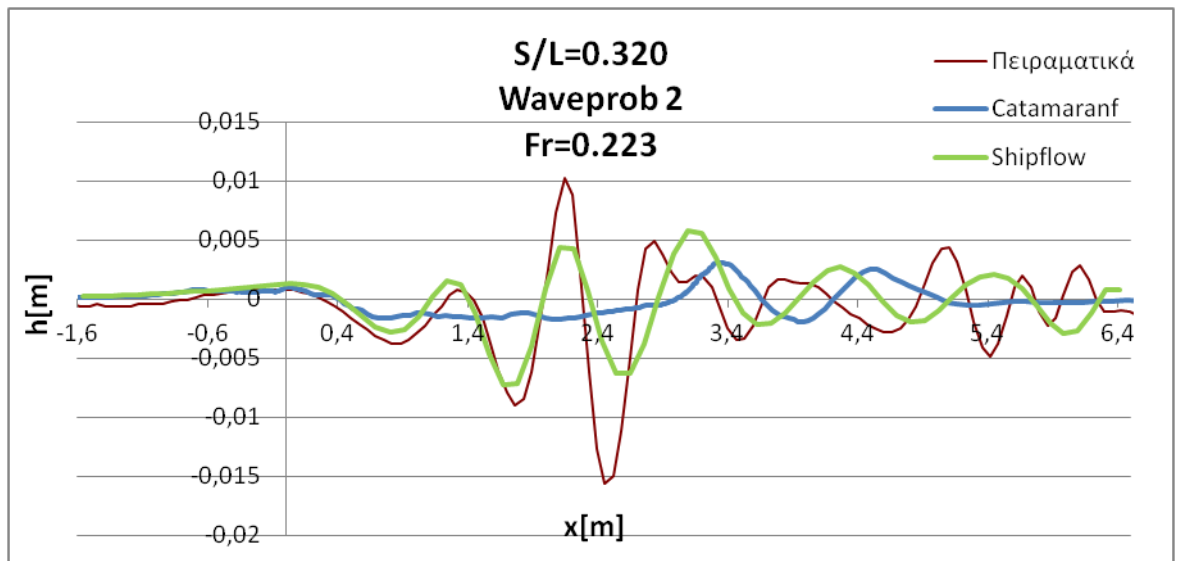


Λόγος  $S/L=0.320$ , Waveprob 1





Λόγος  $S/L=0.320$ , Waveprob 2



Αρχικά πρέπει να πούμε ότι και οι δύο εγκάρσιες θέσεις που τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες και έγινε η απεικόνιση του προφίλ των κυματισμών ήταν σε αρκετά μεγάλη απόσταση από την γάστρα του μοντέλου. Έτσι το κύμα που δημιουργείται από την γάστρα του μοντέλου, πιθανόν να έχει υποστεί μερική αλλοίωση μέχρι να φτάσει στους αισθητήρες. Σε πολλά σημεία οι κυματισμοί φαίνεται να 'σπάνε' στην κορφή τους, κάτι που προκαλείται, όπως ειπώθηκε παραπάνω, εξαιτίας της μεγάλης διανύουσας απόστασης των κυματισμών.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των δύο προγραμμάτων, μπορούμε να πούμε ως πρώτο σχόλιο, ότι η απόκλιση μεταξύ τους είναι σε γενικές γραμμές μικρή. Βέβαια το πρόγραμμα Catamaran για αριθμό Froude 0.223 σε όλες τις καταστάσεις υποεκτιμά το ύψος κύματος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται αφενός στην χαμηλή ταχύτητα του μοντέλου σε αυτούς τους αριθμούς Froude και αφετέρου στην μεγάλη απόσταση των wave cuts από την γάστρα του πλοίου. Προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την περιγραφή της ελεύθερης επιφάνειας θα μπορούσαμε να αυξήσουμε τον αριθμό των στοιχείων που την περιγράφουν.

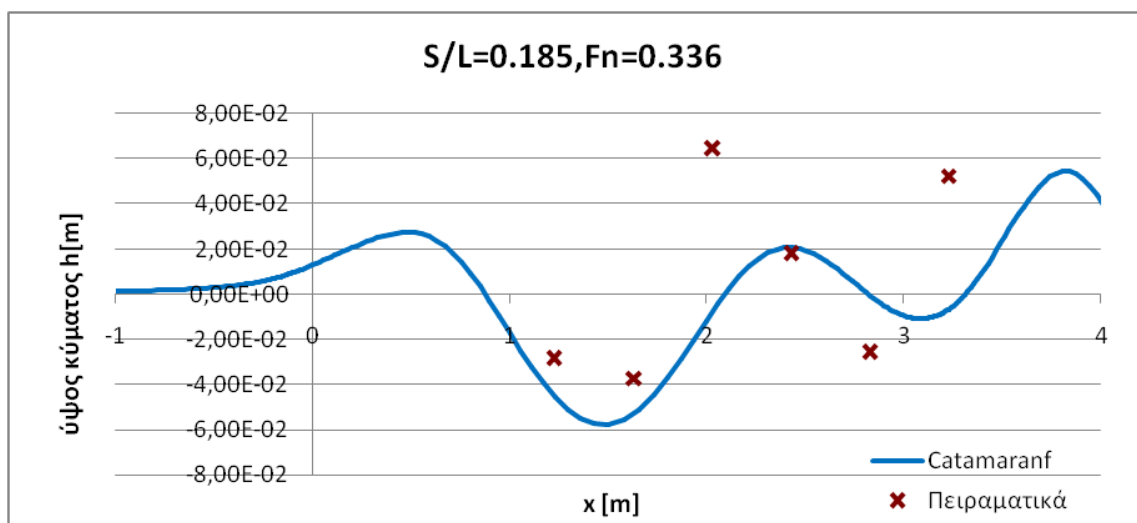
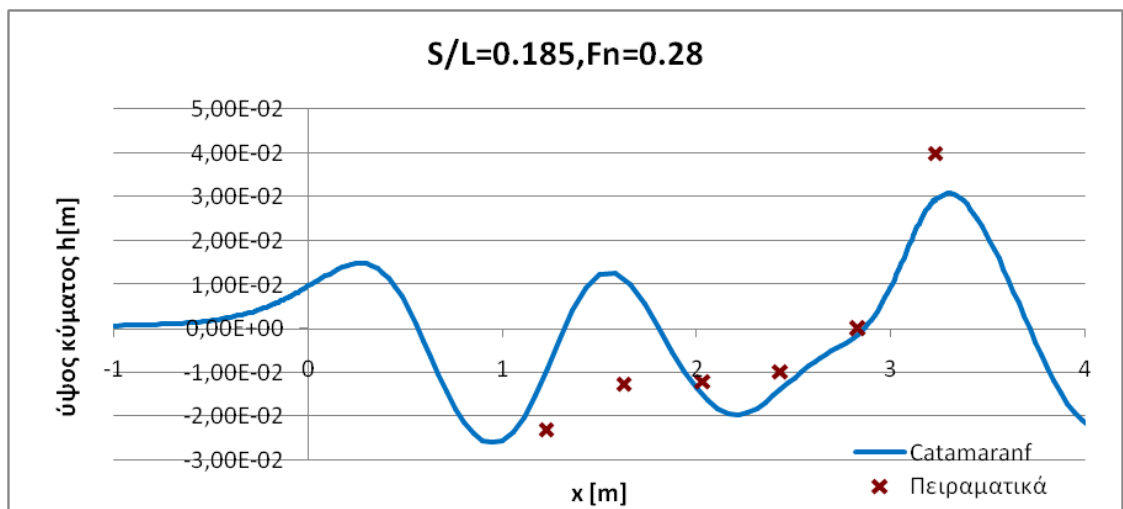
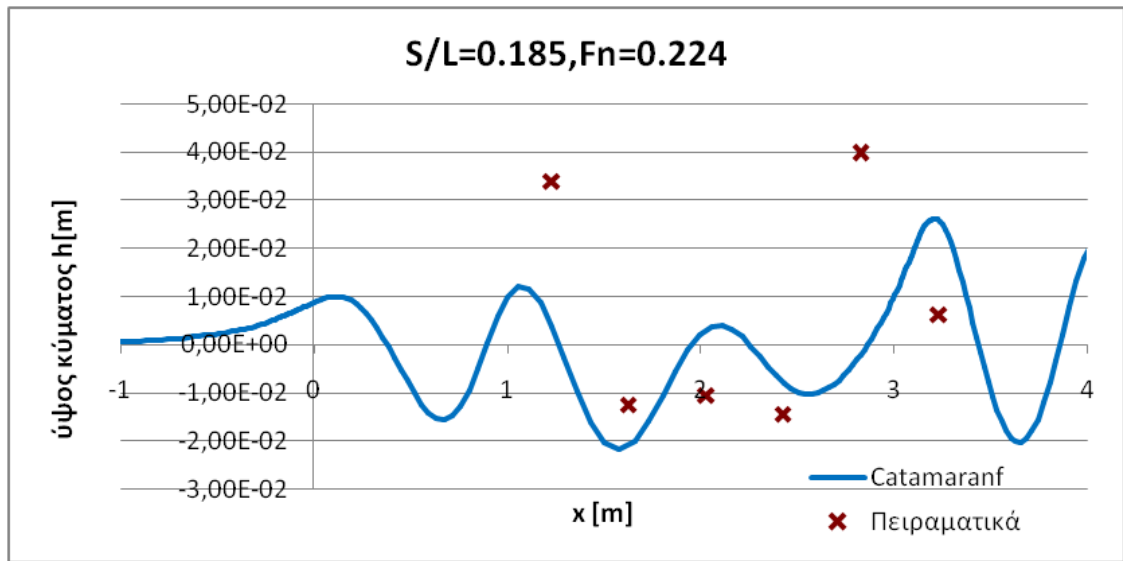
Η μεγαλύτερη ταύτιση των πειραματικών και των αριθμητικών αποτελεσμάτων ως προς τις εξεταζόμενες ταχύτητες εμφανίζεται για αριθμό Froude 0.279, όπου αντιστοιχεί σε ταχύτητα πλοίου ίση με 15 κόμβους. Στην ταχύτητα αυτή παρατηρείται σύγκλιση σε ότι αφορά το ύψος κύματος για τα δύο προγράμματα καθώς και για τα πειραματικά αποτελέσματα.

Η μεγαλύτερη ταύτιση, επίσης, σε σχέση με τις αποστάσεις των γαστρών εμφανίζεται στον λόγο  $S/L=0.320$ , στον οποίο η απόσταση των γαστρών από τις εγκάρσιες θέσεις που τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες και μετρήθηκε το ύψος κύματος σε αυτή την περίπτωση είναι η μικρότερη.

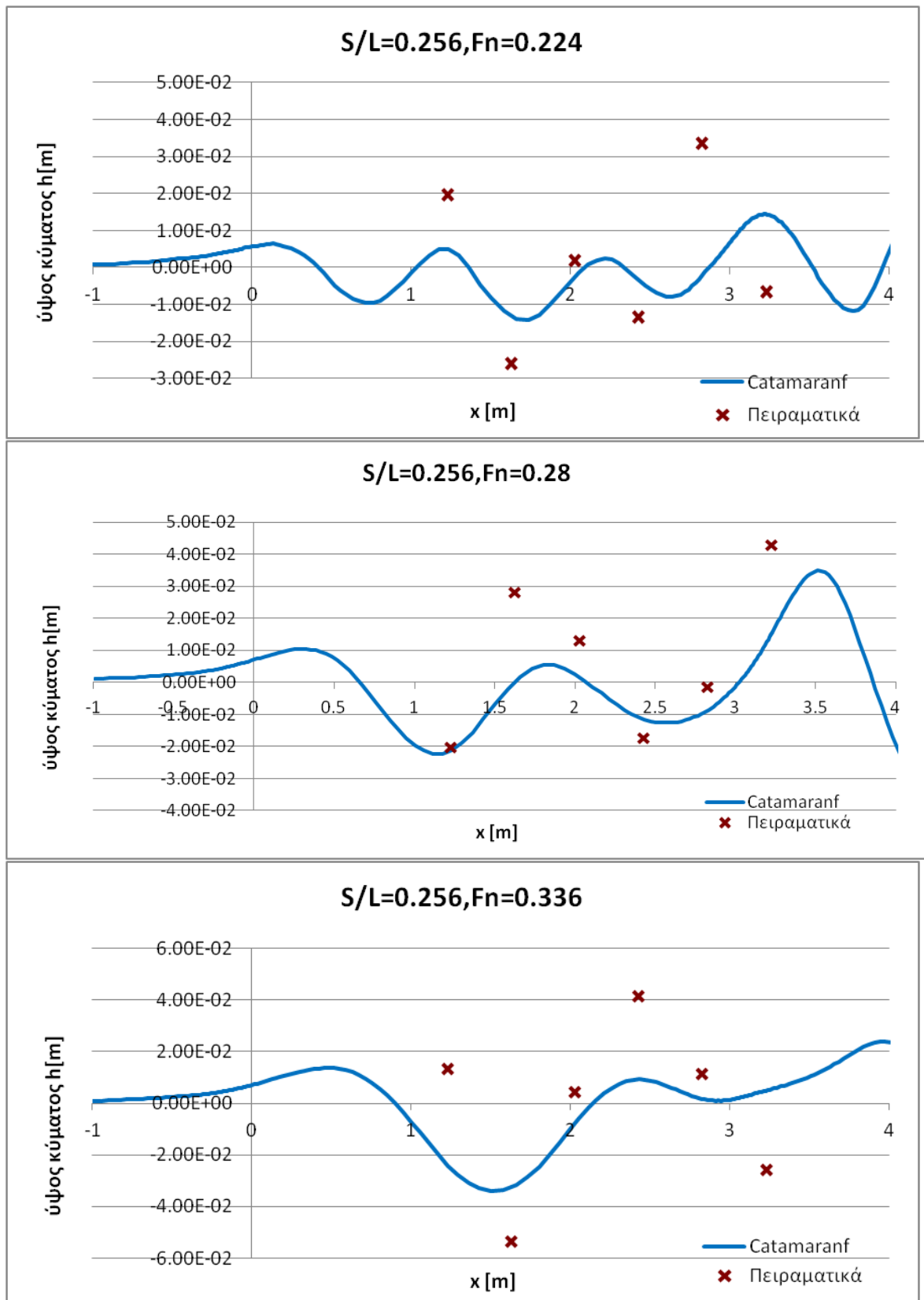
Τα εκτιμώμενα πλάτη των κυματισμών και με τα δύο προγράμματα είναι σχετικά χαμηλότερα από τα πειραματικά ιδιαίτερα για τον αριθμό Froude 0.335. Το γεγονός αυτό εξηγεί και τις χαμηλότερες τιμές του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ( $C_R$ ), καθώς τα χαμηλότερα πλάτη οφείλονται στη μικρότερη ενέργεια δημιουργούμενου κυματισμού και συνεπώς στις χαμηλότερες τιμές αντίστασης κυματισμού.

#### 4.7.2 Wave cuts εσωτερικά των γαστρών

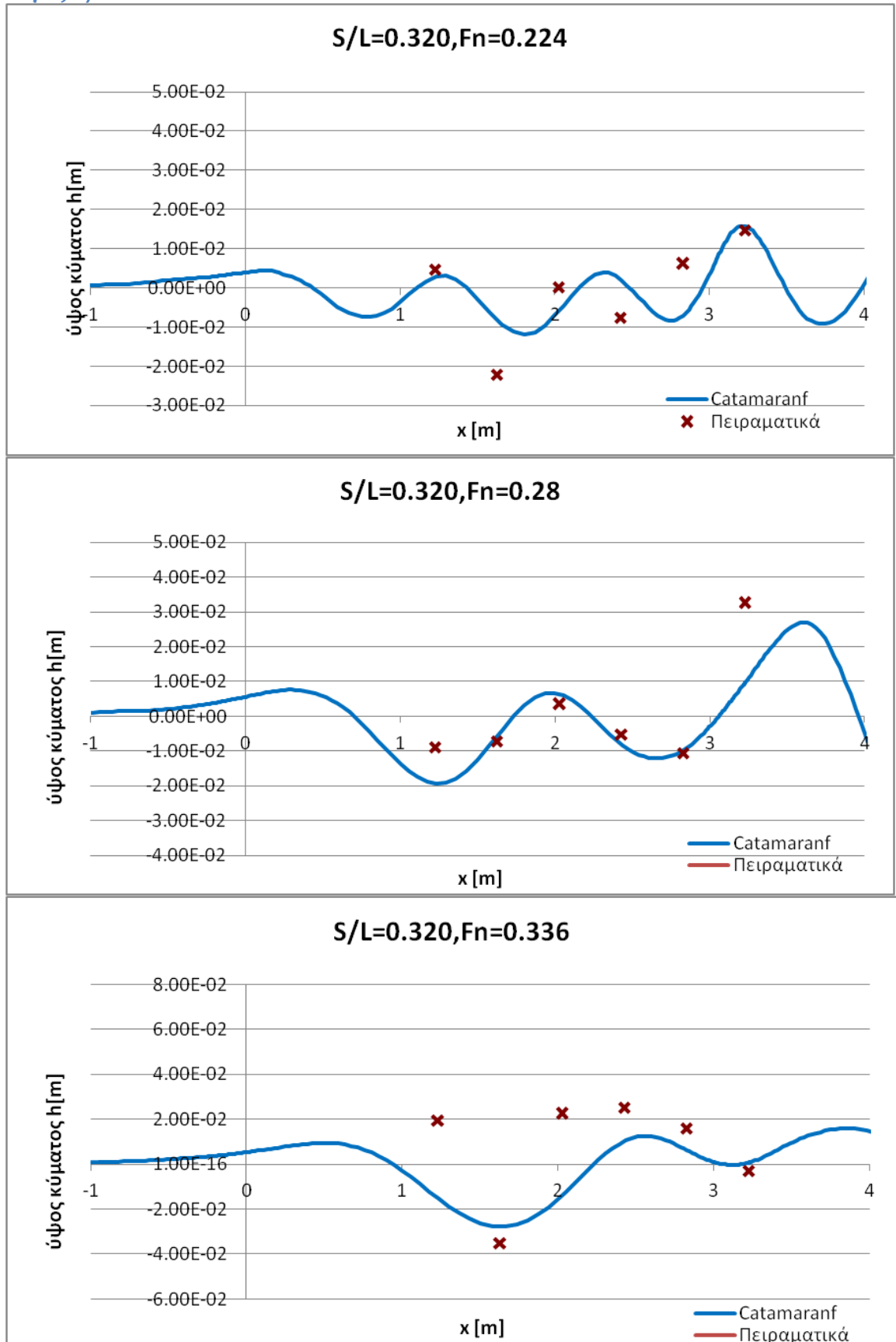
Λόγος  $S/L=0.185$



Λόγος  $S/L=0.256$



Λόγος  $S/L=0.320$



Εσωτερικά των γαστρών μετρήθηκε το ύψος κύματος σε έξι σημεία. Αναφέρεται ότι η επιλογή των σημείων ήταν τυχαία και επομένως δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι στα σημεία αυτά έχει μετρηθεί κορφή ή κοιλάδα κύματος.

Οι δημιουργούμενοι κυματισμοί ανάμεσα στις γάστρες, όπως έχει αναφερθεί, οφείλονται στην υπέρθεση των κυματισμών που δημιουργούνται από τις δύο γάστρες. Ανάλογα επομένως με την απόσταση των γαστρών, η υπέρθεση των κυματισμών των δύο γαστρών έχει ως αποτέλεσμα ύψος κύματος μεγαλύτερο, ίσο ή ακόμα και μικρότερο από το ύψος κύματος που δημιουργείται από κάθε γάστρα ξεχωριστά. Μεγάλοι κυματισμοί ανάμεσα στην γάστρα οδηγούν βεβαίως σε υψηλές αντιστάσεις και μεγάλες τιμές του συντελεστή κυματισμού. Η επιλογή επομένως του βέλτιστου λόγου  $S/L$  είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε τέτοια φαινόμενα να αποφευχθούν.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι οι μεγαλύτερα ύψη κύματος παρουσιάζονται στον λόγο  $S/L=0.185$  ενώ μικρότερα στον λόγο  $S/L=0.320$ . Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο καθώς όσο αυξάνει η απόσταση των γαστρών οι αλληλεπιδράσεις των γαστρών μειώνονται με αποτέλεσμα μικρά ύψη κύματος ανάμεσα στις γάστρες. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνει τις χαμηλές τιμές του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για τον λόγο  $S/L=0.320$  σε σχέση με τους υπόλοιπους λόγους  $S/L$ .

Τα αριθμητικά αποτελέσματα σε σχέση με τα πειραματικά εκτιμούν μικρότερα ύψη κύματος ανάμεσα στις δύο γάστρες γεγονός που, όπως είπαμε και στον σχολιασμό των wave cuts εξωτερικά των γαστρών, εξηγεί τις χαμηλότερες τιμές του συντελεστή αντίστασης κυματισμών. Η μεγαλύτερη σύγκλιση παρουσιάζεται στον λόγο  $S/L=0.320$  στον οποίο όπως είπαμε η αλληλεπίδραση των γαστρών είναι μικρότερη.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## Αποτελέσματα προγράμματος Resout

Ship Name : CARGO EXPRESS  
**Test Condition : A1- Demihull**  
 Model Number : 208/10 Date : 2/4/2012  
 Model Scale = 01:00 24 Trip Wires :Yes

Ship Data Model Data  
 LWL : 79.42 Metres LWL : 3.309 Metres  
 Lbulb : 79.42 Metres Lbulb : 3.309 Metres  
 BWL : 7.13 Metres BWL : 0.297 Metres  
 T : 3.5 Metres T : 0.146 Metres  
 Trim : t=0.000 deg  
 Wetted Surf.: 717.7 m^2 Wetted Sur.: 1.246 m^2  
 S. W. Temp. : 15 Degrees F. W. Temp.: 13.5 Degrees  
 Dcf\*1000 : 0

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3			
0.304	0.043	0.848	7.33	4.859	2.471	0.053	1.508	0.002
0.412	0.064	1.15	5.94	4.548	1.391	0.072	1.306	0.006
0.516	0.093	1.44	5.503	4.337	1.165	0.091	1.269	0.016
0.62	0.125	1.73	5.123	4.175	0.947	0.109	1.227	0.034
0.726	0.181	2.026	5.41	4.044	1.366	0.127	1.338	0.065
0.833	0.24	2.325	5.449	3.934	1.515	0.146	1.385	0.116
0.937	0.314	2.615	5.634	3.843	1.791	0.164	1.466	0.19
1.05	0.386	2.931	5.516	3.759	1.757	0.184	1.467	0.307
1.151	0.477	3.213	5.672	3.692	1.98	0.202	1.536	0.451
1.256	0.548	3.506	5.472	3.631	1.841	0.22	1.507	0.65
1.363	0.644	3.804	5.461	3.575	1.886	0.239	1.528	0.916
1.469	0.73	4.1	5.329	3.525	1.804	0.258	1.512	1.254
1.574	0.844	4.393	5.367	3.479	1.887	0.276	1.542	1.674
1.679	0.964	4.686	5.387	3.438	1.949	0.295	1.567	2.194
1.785	1.073	4.982	5.305	3.399	1.906	0.313	1.561	2.834
1.892	1.206	5.281	5.307	3.363	1.945	0.332	1.578	3.616
1.999	1.342	5.579	5.291	3.329	1.962	0.351	1.589	4.552
2.102	1.574	5.867	5.612	3.298	2.314	0.369	1.701	5.616
2.205	1.89	6.154	6.124	3.27	2.854	0.387	1.873	6.86
2.314	2.25	6.459	6.62	3.242	3.378	0.406	2.042	8.393

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s	m/s	*10^-8	*10^3	*10^3	Kp	PS	Knots	Kp/Ton	
0.304	0.053	1.49	0.995	2.085	4.555	379	7.5	2.89	0.375
0.412	0.072	2.02	1.349	1.996	3.387	518	13.9	3.92	0.513
0.516	0.091	2.53	1.689	1.934	3.099	743	25.1	4.91	0.736
0.62	0.109	3.04	2.03	1.885	2.832	981	39.7	5.9	0.971
0.726	0.127	3.56	2.377	1.845	3.211	1525	72.3	6.91	1.509
0.833	0.146	4.08	2.727	1.811	3.326	2079	113.1	7.93	2.058
0.937	0.164	4.59	3.068	1.782	3.573	2826	173	8.92	2.798
1.05	0.184	5.14	3.438	1.755	3.512	3489	239.3	10	3.453
1.151	0.202	5.64	3.769	1.734	3.714	4433	333.3	10.96	4.388
1.256	0.22	6.15	4.112	1.714	3.556	5054	414.6	11.96	5.002
1.363	0.239	6.68	4.463	1.696	3.582	5996	533.8	12.98	5.935
1.469	0.258	7.2	4.81	1.68	3.484	6774	650	13.99	6.705
1.574	0.276	7.71	5.154	1.665	3.552	7928	815.2	14.99	7.848
1.679	0.295	8.23	5.497	1.651	3.6	9144	1002.8	15.99	9.051
1.785	0.313	8.74	5.844	1.638	3.544	10174	1186.3	17	10.07
1.892	0.332	9.27	6.195	1.626	3.571	11515	1423.1	18.02	11.398
1.999	0.351	9.79	6.545	1.614	3.576	12875	1681.1	19.04	12.744
2.102	0.369	10.3	6.882	1.604	3.918	15595	2141.2	20.02	15.436
2.205	0.387	10.8	7.22	1.594	4.448	19485	2806.5	21	19.287
2.314	0.406	11.34	7.577	1.585	4.963	23942	3618.8	22.04	23.698

Displacement in S.W. = 1010.29 Tonnes  
 Above WL Transv. Area = 0 m^2  
 Rudders Area = 0 m^2  
 Stabilizing Fins Area = 0 m^2  
 Bilge Keels Area = 0 m^2  
 V-Brackets Area = 0 m^2

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A2- Demihull**

Model Number : 208/10

Date : 03-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

Model Data

LWL : 77.94 Metres

LWL : 3.248 Metres

Lbulb : 79.73 Metres

Lbulb : 3.322 Metres

BWL : 7.13 Metres

BWL : 0.297 Metres

T : 3.87 Metres

T : 0.161 Metres

Trim : t=0.000 deg

Wetted Surf.: 782.78 m<sup>2</sup>

Wetted Sur.: 1.359 m<sup>2</sup>

S. W. Temp.: 15.00 Degrees

F. W. Temp.: 13.50 Degrees

Dcf\*1000 : 0.0000

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.303	0.040	0.849	6.293	4.859	1.434	0.054	1.295	0.002
0.411	0.056	1.152	4.788	4.547	0.241	0.073	1.053	0.006
0.516	0.096	1.446	5.208	4.334	0.874	0.091	1.202	0.016
0.621	0.133	1.740	4.981	4.171	0.811	0.110	1.194	0.035
0.727	0.186	2.037	5.083	4.039	1.044	0.129	1.258	0.068
0.835	0.255	2.340	5.283	3.929	1.354	0.148	1.345	0.122
0.939	0.324	2.631	5.308	3.839	1.469	0.166	1.383	0.200
1.044	0.409	2.925	5.420	3.760	1.660	0.185	1.441	0.311
1.152	0.500	3.228	5.442	3.689	1.753	0.204	1.475	0.470
1.256	0.577	3.519	5.283	3.628	1.655	0.223	1.456	0.676
1.362	0.672	3.816	5.232	3.573	1.659	0.241	1.464	0.949
1.466	0.763	4.108	5.128	3.524	1.604	0.260	1.455	1.292
1.574	0.866	4.411	5.049	3.477	1.572	0.279	1.452	1.739
1.679	1.023	4.705	5.241	3.435	1.806	0.297	1.526	2.279
1.785	1.159	5.002	5.254	3.396	1.857	0.316	1.547	2.945
1.892	1.297	5.302	5.233	3.360	1.873	0.335	1.557	3.757
1.997	1.472	5.596	5.331	3.327	2.004	0.354	1.602	4.710
2.102	1.746	5.890	5.708	3.296	2.412	0.372	1.732	5.836
2.207	2.115	6.184	6.272	3.267	3.005	0.391	1.920	7.155
2.313	2.530	6.481	6.830	3.239	3.591	0.410	2.109	8.706

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.303	0.054	1.48	0.996	2.085	3.519	317	6.3	2.89	0.274
0.411	0.073	2.01	1.351	1.995	2.237	371	10.0	3.91	0.321
0.516	0.091	2.53	1.696	1.933	2.807	734	24.8	4.91	0.634
0.621	0.110	3.04	2.041	1.884	2.694	1021	41.4	5.91	0.881
0.727	0.129	3.56	2.390	1.844	2.887	1500	71.2	6.92	1.295
0.835	0.148	4.09	2.745	1.809	3.163	2167	118.2	7.95	1.871
0.939	0.166	4.60	3.087	1.781	3.250	2816	172.7	8.94	2.431
1.044	0.185	5.11	3.432	1.756	3.416	3659	249.5	9.94	3.158
1.152	0.204	5.64	3.787	1.733	3.486	4546	342.1	10.97	3.924
1.256	0.223	6.15	4.129	1.714	3.368	5221	428.3	11.96	4.507
1.362	0.241	6.67	4.477	1.695	3.355	6116	544.1	12.97	5.279
1.466	0.260	7.18	4.819	1.679	3.284	6935	664.0	13.96	5.986
1.574	0.279	7.71	5.174	1.664	3.236	7878	809.9	14.99	6.801
1.679	0.297	8.23	5.519	1.650	3.456	9574	1050.0	15.99	8.265
1.785	0.316	8.74	5.867	1.637	3.495	10941	1275.7	17.00	9.446
1.892	0.335	9.27	6.219	1.625	3.498	12305	1520.7	18.02	10.622
1.997	0.354	9.78	6.564	1.614	3.618	14178	1849.4	19.02	12.240
2.102	0.372	10.30	6.910	1.603	4.015	17431	2393.4	20.02	15.048
2.207	0.391	10.81	7.255	1.593	4.598	22008	3172.7	21.02	18.999
2.313	0.410	11.33	7.603	1.584	5.175	27206	4110.3	22.03	23.486

Displacement in S.W. = 1158.36 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>



Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A3- Demihull**

Model Number : 208/10

Date : 05-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.60 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.: 881.28 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp.: 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.233 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 1.530 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 13.50 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.311	0.043	0.873	5.704	4.829	0.875	0.055	1.181	0.002
0.413	0.078	1.160	5.867	4.540	1.327	0.073	1.292	0.006
0.521	0.112	1.463	5.294	4.323	0.971	0.093	1.225	0.017
0.627	0.160	1.761	5.221	4.161	1.061	0.111	1.255	0.037
0.732	0.209	2.055	5.004	4.032	0.972	0.130	1.241	0.071
0.839	0.281	2.356	5.121	3.923	1.198	0.149	1.305	0.126
0.946	0.358	2.656	5.132	3.832	1.301	0.168	1.339	0.208
1.050	0.447	2.948	5.202	3.754	1.447	0.186	1.386	0.322
1.155	0.527	3.243	5.068	3.686	1.382	0.205	1.375	0.480
1.263	0.653	3.546	5.252	3.623	1.629	0.224	1.450	0.698
1.367	0.735	3.838	5.046	3.569	1.477	0.243	1.414	0.973
1.471	0.834	4.131	4.945	3.520	1.425	0.261	1.405	1.322
1.575	0.995	4.423	5.146	3.475	1.671	0.280	1.481	1.760
1.680	1.203	4.717	5.468	3.434	2.035	0.298	1.593	2.306
1.787	1.391	5.018	5.588	3.394	2.194	0.317	1.646	2.986
1.892	1.532	5.313	5.491	3.359	2.132	0.336	1.635	3.792
2.001	1.728	5.619	5.537	3.325	2.212	0.355	1.665	4.793
2.100	2.091	5.897	6.083	3.295	2.788	0.373	1.846	5.866
2.204	2.476	6.189	6.539	3.267	3.273	0.391	2.002	7.180
2.310	2.992	6.486	7.194	3.239	3.955	0.410	2.221	8.738

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.311	0.055	1.52	1.024	2.076	2.951	316	6.4	2.96	0.225
0.413	0.073	2.02	1.360	1.994	3.320	626	16.9	3.93	0.446
0.521	0.093	2.55	1.716	1.930	2.900	871	29.6	4.96	0.620
0.627	0.111	3.07	2.065	1.881	2.941	1279	52.4	5.97	0.910
0.732	0.130	3.59	2.411	1.841	2.813	1668	79.7	6.97	1.187
0.839	0.149	4.11	2.764	1.808	3.005	2340	128.3	7.99	1.666
0.946	0.168	4.63	3.116	1.779	3.079	3049	188.4	9.01	2.170
1.050	0.186	5.14	3.459	1.754	3.201	3905	267.8	10.00	2.779
1.155	0.205	5.66	3.805	1.732	3.115	4597	346.8	11.00	3.271
1.263	0.224	6.19	4.160	1.712	3.341	5895	486.4	12.03	4.195
1.367	0.243	6.70	4.503	1.694	3.171	6556	585.4	13.02	4.666
1.471	0.261	7.21	4.845	1.678	3.103	7428	713.7	14.01	5.286
1.575	0.280	7.72	5.188	1.663	3.334	9150	941.3	15.00	6.512
1.680	0.298	8.23	5.534	1.649	3.684	11504	1262.4	16.00	8.187
1.787	0.317	8.75	5.886	1.636	3.830	13532	1579.5	17.02	9.630
1.892	0.336	9.27	6.232	1.625	3.756	14875	1838.4	18.02	10.586
2.001	0.355	9.80	6.591	1.613	3.825	16944	2214.6	19.06	12.058
2.100	0.373	10.29	6.917	1.603	4.391	21421	2938.4	20.00	15.244
2.204	0.391	10.80	7.260	1.593	4.866	26150	3764.6	20.99	18.609
2.310	0.410	11.32	7.609	1.584	5.538	32695	4933.3	22.00	23.267

Displacement in S.W. = 1405.20 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : C2- Demihull**

Model Number : 208/10

Date : 04-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.90 Metres  
Lbulb : 77.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.87 Metres  
Trim : t=0.763 deg  
Wetted Surf.: 778.18 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.246 Metres  
Lbulb : 3.246 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.161 Metres  
Wetted Sur.: 1.351 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 13.50 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.305	0.037	0.835	5.779	4.877	0.902	0.054	1.185	0.002
0.409	0.069	1.120	5.993	4.574	1.419	0.072	1.310	0.006
0.518	0.106	1.418	5.740	4.351	1.389	0.092	1.319	0.016
0.620	0.144	1.697	5.443	4.192	1.251	0.110	1.298	0.035
0.726	0.199	1.988	5.486	4.059	1.426	0.129	1.351	0.067
0.832	0.274	2.278	5.751	3.950	1.801	0.147	1.456	0.120
0.941	0.359	2.576	5.891	3.855	2.036	0.167	1.528	0.201
1.044	0.444	2.858	5.919	3.777	2.142	0.185	1.567	0.310
1.151	0.537	3.151	5.889	3.706	2.183	0.204	1.589	0.467
1.255	0.627	3.436	5.784	3.645	2.139	0.222	1.587	0.671
1.363	0.731	3.731	5.717	3.588	2.129	0.242	1.593	0.949
1.468	0.813	4.019	5.481	3.538	1.943	0.260	1.549	1.295
1.574	0.912	4.309	5.348	3.492	1.856	0.279	1.532	1.734
1.679	1.060	4.597	5.463	3.450	2.013	0.298	1.583	2.272
1.787	1.196	4.892	5.442	3.410	2.031	0.317	1.596	2.949
1.892	1.316	5.180	5.341	3.375	1.967	0.335	1.583	3.745
2.000	1.488	5.475	5.405	3.340	2.065	0.354	1.618	4.724
2.104	1.733	5.760	5.688	3.310	2.378	0.373	1.719	5.840
2.208	2.084	6.045	6.211	3.281	2.930	0.391	1.893	7.146
2.312	2.501	6.330	6.798	3.253	3.545	0.410	2.090	8.662

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.305	0.054	1.49	0.980	2.090	2.992	272	5.4	2.90	0.235
0.409	0.072	2.00	1.314	2.003	3.422	559	14.9	3.89	0.483
0.518	0.092	2.54	1.664	1.938	3.326	872	29.5	4.93	0.753
0.620	0.110	3.04	1.991	1.890	3.141	1179	47.8	5.90	1.018
0.726	0.129	3.56	2.332	1.850	3.276	1687	80.0	6.91	1.456
0.832	0.147	4.08	2.672	1.816	3.617	2446	132.9	7.92	2.111
0.941	0.167	4.61	3.022	1.786	3.822	3306	203.2	8.96	2.854
1.044	0.185	5.11	3.353	1.761	3.903	4156	283.4	9.94	3.587
1.151	0.204	5.64	3.696	1.739	3.922	5075	381.6	10.96	4.381
1.255	0.222	6.15	4.030	1.719	3.858	5936	486.6	11.95	5.124
1.363	0.242	6.68	4.377	1.700	3.829	6949	618.7	12.98	5.999
1.468	0.260	7.19	4.715	1.684	3.627	7636	732.2	13.98	6.592
1.574	0.279	7.71	5.055	1.669	3.525	8532	877.2	14.99	7.365
1.679	0.298	8.23	5.392	1.655	3.668	10101	1107.8	15.99	8.720
1.787	0.317	8.75	5.739	1.642	3.673	11458	1337.4	17.02	9.891
1.892	0.335	9.27	6.076	1.630	3.597	12577	1554.3	18.02	10.857
2.000	0.354	9.80	6.423	1.618	3.683	14390	1879.9	19.05	12.423
2.104	0.373	10.31	6.757	1.608	3.986	17238	2369.0	20.04	14.881
2.208	0.391	10.82	7.091	1.598	4.528	21565	3110.3	21.03	18.617
2.312	0.410	11.33	7.425	1.589	5.133	26805	4048.1	22.02	23.140

Displacement in S.W. = 1158.36 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : B3-Demihull**

Model Number : 208/10

Date : 05-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.48 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=0.382 deg  
Wetted Surf.: 880.70 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.228 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 1.529 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 13.50 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.306	0.048	0.859	6.581	4.846	1.735	0.054	1.358	0.002
0.411	0.078	1.154	5.928	4.545	1.383	0.073	1.304	0.006
0.519	0.118	1.457	5.624	4.326	1.297	0.092	1.300	0.017
0.621	0.158	1.744	5.260	4.169	1.091	0.110	1.262	0.036
0.727	0.219	2.041	5.319	4.038	1.282	0.129	1.317	0.069
0.833	0.278	2.339	5.143	3.929	1.214	0.148	1.309	0.122
0.942	0.364	2.645	5.266	3.835	1.431	0.167	1.373	0.205
1.041	0.449	2.923	5.319	3.761	1.558	0.185	1.414	0.311
1.151	0.554	3.232	5.368	3.688	1.680	0.205	1.456	0.474
1.256	0.650	3.527	5.290	3.627	1.663	0.223	1.458	0.684
1.363	0.751	3.827	5.190	3.571	1.619	0.242	1.453	0.964
1.466	0.866	4.116	5.173	3.522	1.651	0.261	1.469	1.307
1.576	1.011	4.425	5.226	3.475	1.751	0.280	1.504	1.770
1.681	1.222	4.720	5.552	3.433	2.119	0.299	1.617	2.319
1.786	1.396	5.015	5.618	3.395	2.224	0.317	1.655	2.988
1.892	1.540	5.313	5.523	3.359	2.164	0.336	1.644	3.804
1.999	1.752	5.613	5.629	3.325	2.303	0.355	1.693	4.788
2.104	2.054	5.908	5.957	3.294	2.662	0.374	1.808	5.931
2.208	2.471	6.200	6.507	3.266	3.241	0.392	1.993	7.257
2.314	3.025	6.498	7.253	3.238	4.015	0.411	2.240	8.828

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.306	0.054	1.50	1.008	2.081	3.816	395	7.9	2.91	0.281
0.411	0.073	2.01	1.354	1.995	3.378	631	16.9	3.91	0.449
0.519	0.092	2.54	1.710	1.931	3.228	961	32.6	4.94	0.684
0.621	0.110	3.04	2.046	1.883	2.974	1268	51.4	5.91	0.902
0.727	0.129	3.56	2.395	1.843	3.125	1826	86.7	6.92	1.299
0.833	0.148	4.08	2.744	1.809	3.024	2320	126.2	7.93	1.651
0.942	0.167	4.61	3.103	1.780	3.211	3150	193.8	8.97	2.242
1.041	0.185	5.10	3.429	1.756	3.315	3971	270.0	9.91	2.826
1.151	0.205	5.64	3.791	1.733	3.413	4999	375.8	10.96	3.558
1.256	0.223	6.15	4.137	1.713	3.376	5888	483.0	11.96	4.190
1.363	0.242	6.68	4.490	1.695	3.314	6806	605.9	12.98	4.843
1.466	0.261	7.18	4.829	1.679	3.330	7911	757.6	13.96	5.630
1.576	0.280	7.72	5.191	1.663	3.414	9375	965.1	15.01	6.672
1.681	0.299	8.24	5.537	1.649	3.768	11771	1292.5	16.01	8.377
1.786	0.317	8.75	5.883	1.637	3.860	13613	1588.1	17.01	9.688
1.892	0.336	9.27	6.232	1.625	3.789	14993	1852.9	18.02	10.670
1.999	0.355	9.79	6.585	1.613	3.917	17303	2259.3	19.04	12.313
2.104	0.374	10.31	6.931	1.603	4.265	20874	2868.7	20.04	14.855
2.208	0.392	10.82	7.273	1.593	4.834	26056	3757.9	21.03	18.542
2.314	0.411	11.34	7.622	1.584	5.598	33140	5009.1	22.04	23.58

Displacement in S.W. = 1405.20 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A1-S/L=0.185**

Model Number : 208/10

Date : 09-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 79.42 Metres  
Lbulb : 79.42 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.50 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1434.82 m^2  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.309 Metres  
Lbulb : 3.309 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.146 Metres  
Wetted Sur.: 2.491 m^2  
F. W. Temp.: 15.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3			
0.305	0.091	0.886	7.710	4.813	2.897	0.054	1.602	0.002
0.410	0.131	1.191	6.142	4.514	1.628	0.072	1.361	0.006
0.518	0.198	1.505	5.816	4.298	1.518	0.091	1.353	0.016
0.620	0.278	1.801	5.700	4.141	1.559	0.109	1.376	0.034
0.727	0.398	2.112	5.935	4.010	1.925	0.128	1.480	0.066
0.834	0.548	2.423	6.210	3.902	2.308	0.146	1.592	0.118
0.941	0.713	2.734	6.346	3.810	2.536	0.165	1.666	0.195
1.043	0.863	3.030	6.252	3.734	2.518	0.183	1.674	0.301
1.152	1.002	3.347	5.951	3.663	2.287	0.202	1.624	0.456
1.256	1.175	3.649	5.870	3.603	2.267	0.220	1.629	0.655
1.364	1.359	3.963	5.757	3.548	2.210	0.239	1.623	0.926
1.469	1.520	4.268	5.551	3.498	2.053	0.258	1.587	1.263
1.574	1.608	4.573	5.115	3.453	1.662	0.276	1.481	1.687
1.681	2.003	4.884	5.587	3.412	2.175	0.295	1.638	2.221
1.786	2.444	5.189	6.039	3.374	2.665	0.313	1.790	2.862
1.892	2.639	5.497	5.810	3.338	2.472	0.332	1.741	3.643
2.000	2.810	5.811	5.537	3.304	2.232	0.351	1.676	4.595
2.104	3.117	6.113	5.550	3.274	2.276	0.369	1.695	5.680
2.208	3.910	6.415	6.321	3.245	3.076	0.388	1.948	6.949
2.314	5.120	6.723	7.536	3.218	4.318	0.406	2.342	8.45

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10^-8	*10^3	*10^3	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.305	0.054	1.49	0.999	2.084	4.981	835	16.6	2.90	0.416
0.410	0.072	2.01	1.342	1.997	3.625	1098	29.4	3.90	0.547
0.518	0.091	2.54	1.696	1.933	3.451	1668	56.4	4.93	0.831
0.620	0.109	3.04	2.030	1.885	3.444	2384	96.6	5.90	1.188
0.727	0.128	3.56	2.380	1.844	3.770	3588	170.4	6.92	1.788
0.834	0.146	4.09	2.731	1.810	4.118	5159	281.1	7.94	2.571
0.941	0.165	4.61	3.081	1.781	4.318	6886	423.3	8.96	3.432
1.043	0.183	5.11	3.415	1.757	4.275	8377	570.7	9.93	4.175
1.152	0.202	5.64	3.772	1.734	4.021	9612	723.3	10.97	4.791
1.256	0.220	6.15	4.112	1.714	3.981	11313	928.1	11.96	5.638
1.364	0.239	6.68	4.466	1.696	3.906	13088	1166.1	12.99	6.523
1.469	0.258	7.20	4.810	1.680	3.733	14509	1392.2	13.99	7.231
1.574	0.276	7.71	5.154	1.665	3.327	14845	1526.3	14.99	7.399
1.681	0.295	8.24	5.504	1.651	3.826	19472	2138.1	16.01	9.705
1.786	0.313	8.75	5.848	1.638	4.303	24722	2884.1	17.01	12.322
1.892	0.332	9.27	6.195	1.626	4.098	26423	3265.5	18.02	13.169
2.000	0.351	9.80	6.548	1.614	3.847	27715	3620.6	19.05	13.813
2.104	0.369	10.31	6.889	1.604	3.879	30933	4251.1	20.04	15.417
2.208	0.388	10.82	7.229	1.594	4.670	41005	5914.0	21.03	20.437
2.314	0.406	11.34	7.577	1.585	5.903	56929	8604.8	22.04	28.373

Displacement in S.W. = 2006.42 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m^2  
Rudders Area = 0.00 m^2  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m^2  
Bilge Keels Area = 0.00 m^2  
V-Brackets Area = 0.00 m^2

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A2-S/L=0.185**

Model Number : 208/10

Date : 10-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.94 Metres  
 Lbulb : 79.73 Metres  
 BWL : 7.13 Metres  
 T : 3.87 Metres  
 Trim : t=0.000 deg  
 Wetted Surf.:1565.57 m<sup>2</sup>  
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
 Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.248 Metres  
 Lbulb : 3.322 Metres  
 BWL : 0.297 Metres  
 T : 0.161 Metres  
 Wetted Sur.: 2.718 m<sup>2</sup>  
 F. W. Temp.: 15.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.315	0.086	0.919	6.261	4.775	1.486	0.056	1.311	0.002
0.419	0.140	1.222	5.760	4.490	1.270	0.074	1.283	0.007
0.519	0.199	1.514	5.336	4.292	1.044	0.092	1.243	0.017
0.621	0.287	1.811	5.376	4.137	1.239	0.110	1.300	0.035
0.727	0.389	2.120	5.316	4.007	1.310	0.129	1.327	0.069
0.833	0.521	2.430	5.424	3.900	1.524	0.148	1.391	0.122
0.941	0.711	2.745	5.800	3.807	1.993	0.167	1.523	0.203
1.041	0.851	3.036	5.672	3.733	1.939	0.184	1.520	0.310
1.149	1.047	3.351	5.728	3.663	2.066	0.204	1.564	0.469
1.257	1.205	3.666	5.509	3.600	1.909	0.223	1.530	0.683
1.363	1.420	3.975	5.521	3.545	1.976	0.241	1.557	0.959
1.468	1.565	4.282	5.246	3.496	1.749	0.260	1.500	1.309
1.575	1.774	4.594	5.166	3.451	1.715	0.279	1.497	1.757
1.680	2.314	4.900	5.922	3.409	2.513	0.298	1.737	2.302
1.784	2.749	5.203	6.239	3.372	2.867	0.316	1.850	2.960
1.891	3.004	5.516	6.068	3.336	2.732	0.335	1.819	3.777
1.999	3.189	5.831	5.765	3.302	2.462	0.354	1.746	4.764
2.100	3.490	6.125	5.716	3.273	2.444	0.372	1.747	5.855
2.206	4.292	6.434	6.371	3.244	3.127	0.391	1.964	7.194
2.313	5.755	6.746	7.770	3.216	4.554	0.410	2.416	8.769

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.315	0.056	1.54	1.035	2.073	3.558	694	14.3	3.00	0.300
0.419	0.074	2.05	1.377	1.990	3.260	1125	30.8	3.99	0.486
0.519	0.092	2.54	1.706	1.931	2.975	1575	53.4	4.94	0.680
0.621	0.110	3.04	2.041	1.884	3.123	2367	96.0	5.91	1.022
0.727	0.129	3.56	2.390	1.844	3.153	3275	155.5	6.92	1.414
0.833	0.148	4.08	2.738	1.810	3.334	4546	247.4	7.93	1.962
0.941	0.167	4.61	3.093	1.780	3.773	6566	403.6	8.96	2.834
1.041	0.184	5.10	3.422	1.757	3.696	7872	535.2	9.91	3.398
1.149	0.204	5.63	3.777	1.734	3.800	9859	739.9	10.94	4.255
1.257	0.223	6.16	4.132	1.713	3.622	11247	923.4	11.97	4.855
1.363	0.241	6.68	4.480	1.695	3.671	13403	1193.3	12.98	5.785
1.468	0.260	7.19	4.825	1.679	3.428	14520	1392.3	13.98	6.267
1.575	0.279	7.72	5.177	1.664	3.379	16473	1694.7	15.00	7.110
1.680	0.298	8.23	5.522	1.650	4.163	23090	2533.8	16.00	9.966
1.784	0.316	8.74	5.864	1.637	4.505	28175	3283.2	16.99	12.161
1.891	0.335	9.26	6.216	1.625	4.357	30621	3782.3	18.01	13.217
1.999	0.354	9.79	6.571	1.614	4.076	32009	4179.6	19.04	13.816
2.100	0.372	10.29	6.903	1.604	4.047	35076	4811.5	20.00	15.140
2.206	0.391	10.81	7.251	1.594	4.720	45146	6505.4	21.01	19.487
2.313	0.410	11.33	7.603	1.584	6.138	64537	9750.5	22.03	27.856

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A3-S/L=0.185**

Model Number : 208/10

Date : 10-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.60 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.233 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 16.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.314	0.089	0.942	5.792	4.749	1.043	0.056	1.220	0.002
0.419	0.161	1.257	5.884	4.463	1.421	0.074	1.318	0.007
0.526	0.237	1.578	5.496	4.255	1.241	0.093	1.292	0.018
0.633	0.331	1.899	5.301	4.097	1.204	0.112	1.294	0.039
0.735	0.441	2.205	5.238	3.976	1.262	0.131	1.318	0.073
0.839	0.562	2.517	5.123	3.872	1.251	0.149	1.323	0.127
0.946	0.718	2.838	5.148	3.782	1.366	0.168	1.361	0.210
1.052	0.896	3.156	5.195	3.705	1.490	0.187	1.402	0.329
1.155	1.125	3.465	5.411	3.639	1.772	0.205	1.487	0.486
1.260	1.324	3.780	5.351	3.579	1.772	0.224	1.495	0.700
1.363	1.534	4.089	5.298	3.527	1.772	0.242	1.502	0.973
1.470	1.703	4.410	5.057	3.477	1.580	0.261	1.454	1.335
1.575	2.066	4.725	5.344	3.432	1.912	0.280	1.557	1.782
1.680	2.744	5.040	6.238	3.392	2.847	0.298	1.839	2.334
1.786	3.404	5.358	6.847	3.354	3.494	0.317	2.042	3.016
1.890	3.831	5.670	6.882	3.319	3.563	0.336	2.073	3.821
1.995	4.033	5.985	6.502	3.287	3.215	0.354	1.978	4.791
2.101	4.391	6.303	6.383	3.256	3.127	0.373	1.960	5.949
2.207	5.231	6.621	6.891	3.227	3.664	0.392	2.135	7.308
2.311	6.716	6.933	8.069	3.200	4.869	0.410	2.521	8.858

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.314	0.056	1.54	1.034	2.073	3.116	680	13.9	2.99	0.242
0.419	0.074	2.05	1.380	1.989	3.411	1325	36.3	3.99	0.471
0.526	0.093	2.58	1.733	1.927	3.168	1939	66.6	5.01	0.690
0.633	0.112	3.10	2.085	1.878	3.082	2732	113.0	6.03	0.972
0.735	0.131	3.60	2.421	1.840	3.103	3709	178.1	7.00	1.320
0.839	0.149	4.11	2.764	1.808	3.058	4763	261.0	7.99	1.695
0.946	0.168	4.63	3.116	1.779	3.144	6226	384.7	9.01	2.215
1.052	0.187	5.15	3.465	1.754	3.243	7942	545.8	10.02	2.826
1.155	0.205	5.66	3.805	1.732	3.504	10343	780.3	11.00	3.680
1.260	0.224	6.17	4.150	1.712	3.484	12239	1007.3	12.00	4.355
1.363	0.242	6.68	4.490	1.695	3.467	14249	1268.6	12.98	5.070
1.470	0.261	7.20	4.842	1.678	3.258	15578	1495.8	14.00	5.543
1.575	0.280	7.72	5.188	1.663	3.575	19621	2018.6	15.00	6.982
1.680	0.298	8.23	5.534	1.649	4.496	28078	3081.2	16.00	9.991
1.786	0.317	8.75	5.883	1.637	5.130	36209	4224.1	17.01	12.884
1.890	0.336	9.26	6.226	1.625	5.187	40998	5061.4	18.00	14.588
1.995	0.354	9.77	6.571	1.614	4.829	42525	5541.6	19.00	15.131
2.101	0.373	10.29	6.921	1.603	4.730	46197	6340.0	20.01	16.438
2.207	0.392	10.81	7.270	1.593	5.257	56656	8167.6	21.02	20.159
2.311	0.410	11.32	7.612	1.584	6.452	76245	11509.5	22.01	27.130

Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : B3-S/L=0.185**

Model Number : 208/10

Date : 24-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.48 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=-0.382 deg  
Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.228 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 16.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.306	0.102	0.918	6.990	4.776	2.214	0.054	1.464	0.002
0.410	0.159	1.230	6.069	4.484	1.586	0.073	1.354	0.006
0.519	0.239	1.557	5.693	4.267	1.426	0.092	1.334	0.017
0.620	0.328	1.860	5.475	4.114	1.361	0.110	1.331	0.036
0.727	0.441	2.181	5.354	3.984	1.370	0.129	1.344	0.070
0.832	0.568	2.496	5.265	3.879	1.386	0.148	1.357	0.123
0.942	0.737	2.826	5.329	3.785	1.544	0.167	1.408	0.207
1.041	0.901	3.123	5.335	3.713	1.622	0.185	1.437	0.315
1.152	1.160	3.456	5.609	3.641	1.968	0.205	1.540	0.482
1.256	1.359	3.768	5.528	3.581	1.946	0.223	1.543	0.693
1.359	1.574	4.077	5.469	3.529	1.940	0.241	1.550	0.964
1.469	1.738	4.407	5.168	3.477	1.691	0.261	1.486	1.335
1.576	2.066	4.728	5.337	3.432	1.905	0.280	1.555	1.792
1.679	2.693	5.037	6.130	3.392	2.738	0.298	1.807	2.336
1.785	3.309	5.355	6.664	3.354	3.310	0.317	1.987	3.018
1.890	3.689	5.670	6.627	3.319	3.308	0.336	1.997	3.833
2.000	3.861	6.000	6.194	3.285	2.909	0.355	1.885	4.856
2.103	4.251	6.309	6.168	3.255	2.912	0.374	1.895	5.991
2.209	5.182	6.627	6.814	3.226	3.588	0.393	2.112	7.358
2.316	6.826	6.948	8.166	3.199	4.967	0.412	2.552	8.967

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.306	0.054	1.50	1.008	2.081	4.295	890	17.8	2.91	0.317
0.410	0.073	2.01	1.351	1.996	3.581	1332	35.7	3.90	0.474
0.519	0.092	2.54	1.710	1.931	3.357	2000	67.8	4.94	0.712
0.620	0.110	3.04	2.042	1.884	3.244	2759	111.8	5.90	0.982
0.727	0.129	3.56	2.395	1.843	3.213	3757	178.4	6.92	1.337
0.832	0.148	4.08	2.741	1.810	3.196	4895	266.0	7.92	1.742
0.942	0.167	4.61	3.103	1.780	3.324	6525	401.5	8.97	2.322
1.041	0.185	5.10	3.429	1.756	3.378	8100	550.8	9.91	2.882
1.152	0.205	5.64	3.795	1.733	3.700	10865	817.6	10.97	3.866
1.256	0.223	6.15	4.137	1.713	3.659	12772	1047.9	11.96	4.545
1.359	0.241	6.66	4.477	1.695	3.636	14856	1318.8	12.94	5.286
1.469	0.261	7.20	4.839	1.678	3.369	16085	1543.5	13.99	5.724
1.576	0.280	7.72	5.191	1.663	3.568	19610	2018.8	15.01	6.978
1.679	0.298	8.23	5.531	1.650	4.387	27365	3001.2	15.99	9.737
1.785	0.317	8.74	5.880	1.637	4.947	34872	4065.9	17.00	12.408
1.890	0.336	9.26	6.226	1.625	4.932	38983	4812.6	18.00	13.871
2.000	0.355	9.80	6.588	1.613	4.522	40018	5228.0	19.05	14.239
2.103	0.374	10.30	6.927	1.603	4.515	44183	6069.3	20.03	15.721
2.209	0.393	10.82	7.276	1.593	5.181	55932	8070.5	21.04	19.902
2.316	0.412	11.35	7.629	1.583	6.550	77734	11759.6	22.05	27.659

Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : C2-S/L=0.185**

Model Number : 208/10

Date : 23-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.90 Metres

Lbulb : 79.90 Metres

BWL : 7.13 Metres

T : 3.87 Metres

Trim : t=-0.763 deg

Wetted Surf.:1556.93 m<sup>2</sup>

S. W. Temp. : 15.00 Degrees

Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.246 Metres

Lbulb : 3.329 Metres

BWL : 0.297 Metres

T : 0.161 Metres

Wetted Surf.: 2.703 m<sup>2</sup>

F. W. Temp.: 16.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.303	0.086	0.909	6.804	4.786	2.018	0.054	1.422	0.002
0.408	0.139	1.224	6.066	4.488	1.577	0.072	1.351	0.006
0.517	0.216	1.551	5.870	4.271	1.599	0.092	1.375	0.016
0.621	0.289	1.863	5.444	4.113	1.331	0.110	1.324	0.036
0.727	0.417	2.181	5.731	3.984	1.747	0.129	1.438	0.069
0.833	0.567	2.499	5.936	3.878	2.058	0.148	1.531	0.122
0.940	0.732	2.820	6.018	3.787	2.231	0.167	1.589	0.203
1.043	0.925	3.129	6.177	3.711	2.465	0.185	1.664	0.315
1.155	1.109	3.465	6.039	3.639	2.400	0.205	1.659	0.482
1.260	1.286	3.780	5.884	3.579	2.305	0.223	1.644	0.695
1.365	1.531	4.095	5.969	3.526	2.443	0.242	1.693	0.971
1.470	1.686	4.410	5.668	3.477	2.191	0.261	1.630	1.325
1.575	1.807	4.725	5.291	3.432	1.859	0.279	1.542	1.768
1.680	2.256	5.040	5.806	3.392	2.415	0.298	1.712	2.317
1.785	2.689	5.355	6.130	3.354	2.776	0.316	1.828	2.985
1.890	2.961	5.670	6.021	3.319	2.702	0.335	1.814	3.792
2.001	3.119	6.003	5.659	3.285	2.374	0.355	1.723	4.814
2.109	3.507	6.327	5.727	3.254	2.474	0.374	1.760	5.997
2.208	4.399	6.624	6.554	3.227	3.328	0.391	2.031	7.265
2.310	5.829	6.930	7.935	3.201	4.734	0.409	2.479	8.775

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.303	0.054	1.48	0.998	2.084	4.102	736	14.6	2.89	0.318
0.408	0.072	2.00	1.344	1.997	3.574	1163	31.0	3.89	0.502
0.517	0.092	2.53	1.703	1.932	3.531	1845	62.3	4.92	0.796
0.621	0.110	3.04	2.046	1.883	3.214	2422	98.3	5.91	1.046
0.727	0.129	3.56	2.395	1.843	3.590	3708	176.1	6.92	1.601
0.833	0.148	4.08	2.744	1.809	3.867	5245	285.4	7.93	2.264
0.940	0.167	4.61	3.096	1.780	4.011	6927	425.3	8.95	2.990
1.043	0.185	5.11	3.436	1.756	4.221	8975	611.4	9.93	3.874
1.155	0.205	5.66	3.805	1.732	4.132	10772	812.7	11.00	4.650
1.260	0.223	6.17	4.150	1.712	4.017	12465	1025.9	12.00	5.380
1.365	0.242	6.69	4.496	1.695	4.138	15068	1343.5	13.00	6.504
1.470	0.261	7.20	4.842	1.678	3.869	16340	1569.0	14.00	7.053
1.575	0.279	7.72	5.188	1.663	3.522	17077	1756.9	15.00	7.371
1.680	0.298	8.23	5.534	1.649	4.064	22419	2460.2	16.00	9.677
1.785	0.316	8.74	5.880	1.637	4.413	27482	3204.3	17.00	11.862
1.890	0.335	9.26	6.226	1.625	4.327	30209	3729.5	18.00	13.039
2.001	0.355	9.80	6.591	1.613	3.987	31199	4077.8	19.06	13.467
2.109	0.374	10.33	6.947	1.602	4.076	35434	4881.4	20.08	15.295
2.208	0.391	10.82	7.273	1.593	4.921	46886	6762.2	21.03	20.238
2.310	0.409	11.32	7.609	1.584	6.318	65894	9942.7	22.00	28.442

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>



Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A1-S/L=0.256**

Model Number : 208/10

Date : 25-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 79.42 Metres  
Lbulb : 79.42 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.50 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1434.82 m^2  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.309 Metres  
Lbulb : 3.309 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.146 Metres  
Wetted Sur.: 2.491 m^2  
F. W. Temp.: 16.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3			
0.305	0.073	0.910	6.186	4.786	1.400	0.054	1.293	0.002
0.408	0.129	1.217	6.108	4.494	1.614	0.072	1.359	0.006
0.518	0.191	1.545	5.611	4.274	1.336	0.091	1.313	0.016
0.620	0.269	1.849	5.516	4.119	1.397	0.109	1.339	0.034
0.727	0.379	2.168	5.652	3.989	1.663	0.128	1.417	0.066
0.833	0.517	2.484	5.873	3.882	1.990	0.146	1.513	0.118
0.941	0.662	2.806	5.893	3.791	2.102	0.165	1.555	0.196
1.042	0.815	3.107	5.917	3.716	2.200	0.183	1.592	0.301
1.152	0.990	3.435	5.880	3.645	2.235	0.202	1.613	0.458
1.256	1.130	3.746	5.646	3.586	2.061	0.220	1.575	0.659
1.365	1.348	4.071	5.703	3.530	2.173	0.240	1.616	0.933
1.466	1.483	4.372	5.439	3.483	1.957	0.257	1.562	1.259
1.575	1.676	4.697	5.326	3.436	1.889	0.276	1.550	1.699
1.680	2.045	5.010	5.711	3.395	2.316	0.295	1.682	2.226
1.786	2.330	5.326	5.758	3.357	2.400	0.313	1.715	2.876
1.893	2.454	5.645	5.398	3.322	2.076	0.332	1.625	3.668
1.999	2.696	5.961	5.318	3.289	2.029	0.351	1.617	4.607
2.104	3.183	6.274	5.668	3.259	2.409	0.369	1.739	5.707
2.209	4.182	6.588	6.755	3.230	3.525	0.388	2.091	6.995
2.314	5.508	6.901	8.108	3.203	4.905	0.406	2.531	8.494

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10^-8	*10^3	*10^3	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.305	0.054	1.49	0.999	2.084	3.484	584	11.6	2.90	0.291
0.408	0.072	2.00	1.336	1.999	3.613	1083	28.9	3.89	0.540
0.518	0.091	2.54	1.696	1.933	3.269	1580	53.5	4.93	0.787
0.620	0.109	3.04	2.030	1.885	3.282	2272	92.0	5.90	1.132
0.727	0.128	3.56	2.380	1.844	3.508	3339	158.6	6.92	1.664
0.833	0.146	4.08	2.727	1.811	3.801	4751	258.5	7.93	2.368
0.941	0.165	4.61	3.081	1.781	3.884	6194	380.7	8.96	3.087
1.042	0.183	5.10	3.412	1.757	3.958	7740	526.8	9.92	3.857
1.152	0.202	5.64	3.772	1.734	3.969	9487	713.9	10.97	4.728
1.256	0.220	6.15	4.112	1.714	3.775	10726	880.0	11.96	5.346
1.365	0.240	6.69	4.469	1.696	3.869	12984	1157.7	13.00	6.471
1.466	0.257	7.18	4.800	1.680	3.637	14077	1348.0	13.96	7.016
1.575	0.276	7.72	5.157	1.665	3.554	15879	1633.6	15.00	7.914
1.680	0.295	8.23	5.501	1.651	3.967	20164	2212.8	16.00	10.050
1.786	0.313	8.75	5.848	1.638	4.038	23200	2706.6	17.01	11.563
1.893	0.332	9.27	6.198	1.626	3.702	23893	2954.4	18.03	11.908
1.999	0.351	9.79	6.545	1.614	3.643	26224	3424.1	19.04	13.070
2.104	0.369	10.31	6.889	1.604	4.013	31997	4397.5	20.04	15.947
2.209	0.388	10.82	7.233	1.594	5.119	44995	6492.3	21.04	22.425
2.314	0.406	11.34	7.577	1.585	6.490	62590	9460.5	22.04	31.195

Displacement in S.W. = 2006.42 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m^2  
Rudders Area = 0.00 m^2  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m^2  
Bilge Keels Area = 0.00 m^2  
V-Brackets Area = 0.00 m^2

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A2-S/L=0.256**

Model Number : 208/10

Date : 26-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.94 Metres  
Lbulb : 79.73 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.87 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1565.57 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.248 Metres  
Lbulb : 3.322 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.161 Metres  
Wetted Sur.: 2.718 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 16.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.302	0.081	0.904	6.416	4.792	1.624	0.054	1.339	0.002
0.411	0.129	1.230	5.517	4.483	1.033	0.073	1.231	0.006
0.518	0.196	1.551	5.277	4.271	1.006	0.092	1.236	0.017
0.625	0.285	1.871	5.271	4.109	1.161	0.111	1.283	0.037
0.730	0.393	2.186	5.328	3.983	1.345	0.129	1.338	0.070
0.836	0.527	2.503	5.447	3.877	1.571	0.148	1.405	0.124
0.940	0.683	2.814	5.584	3.788	1.795	0.167	1.474	0.203
1.045	0.845	3.129	5.590	3.711	1.878	0.185	1.506	0.317
1.160	1.036	3.473	5.562	3.638	1.924	0.206	1.529	0.490
1.259	1.181	3.769	5.382	3.581	1.801	0.223	1.503	0.691
1.364	1.404	4.084	5.451	3.527	1.924	0.242	1.545	0.967
1.471	1.549	4.404	5.171	3.478	1.694	0.261	1.487	1.327
1.577	1.832	4.721	5.322	3.433	1.889	0.279	1.550	1.775
1.682	2.246	5.036	5.735	3.392	2.343	0.298	1.691	2.325
1.788	2.507	5.353	5.665	3.354	2.311	0.317	1.689	3.002
1.895	2.647	5.673	5.325	3.319	2.006	0.336	1.605	3.829
2.001	2.881	5.991	5.198	3.286	1.912	0.355	1.582	4.807
2.106	3.564	6.305	5.805	3.256	2.549	0.373	1.783	5.953
2.211	4.785	6.620	7.071	3.227	3.844	0.392	2.191	7.296
2.317	6.297	6.937	8.473	3.200	5.273	0.411	2.648	8.874

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.302	0.054	1.48	0.993	2.086	3.710	665	13.1	2.88	0.287
0.411	0.073	2.01	1.351	1.995	3.029	1006	27.0	3.91	0.434
0.518	0.092	2.54	1.703	1.932	2.938	1549	52.4	4.93	0.669
0.625	0.111	3.06	2.054	1.882	3.043	2336	95.4	5.95	1.008
0.730	0.129	3.58	2.400	1.842	3.187	3338	159.2	6.95	1.441
0.836	0.148	4.10	2.748	1.809	3.379	4642	253.5	7.96	2.004
0.940	0.167	4.61	3.090	1.781	3.576	6210	381.3	8.95	2.680
1.045	0.185	5.12	3.435	1.756	3.634	7799	532.4	9.95	3.367
1.160	0.206	5.68	3.813	1.732	3.656	9668	732.5	11.05	4.173
1.259	0.223	6.17	4.138	1.713	3.514	10947	900.3	11.99	4.725
1.364	0.242	6.68	4.484	1.695	3.619	13233	1179.0	12.99	5.712
1.471	0.261	7.21	4.835	1.679	3.372	14340	1377.9	14.01	6.190
1.577	0.279	7.73	5.184	1.663	3.552	17361	1788.3	15.02	7.494
1.682	0.298	8.24	5.529	1.650	3.992	22198	2438.9	16.02	9.582
1.788	0.317	8.76	5.877	1.637	3.947	24802	2896.6	17.03	10.705
1.895	0.336	9.28	6.229	1.625	3.631	25624	3171.8	18.05	11.060
2.001	0.355	9.80	6.578	1.613	3.525	27741	3625.8	19.06	11.974
2.106	0.373	10.32	6.923	1.603	4.152	36193	4978.9	20.06	15.622
2.211	0.392	10.83	7.268	1.593	5.437	52235	7543.8	21.06	22.546
2.317	0.411	11.35	7.616	1.584	6.857	72346	10949.2	22.06	31.227

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A3-S/L=0.256**

Model Number : 208/10

Date : 30-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.60 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.233 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 17.20 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.312	0.084	0.965	5.538	4.724	0.815	0.055	1.172	0.002
0.410	0.151	1.268	5.765	4.455	1.311	0.073	1.294	0.006
0.517	0.221	1.599	5.307	4.244	1.063	0.092	1.250	0.017
0.624	0.315	1.930	5.192	4.083	1.109	0.111	1.272	0.037
0.729	0.420	2.255	5.072	3.958	1.115	0.129	1.282	0.071
0.834	0.544	2.580	5.020	3.854	1.166	0.148	1.303	0.125
0.939	0.714	2.905	5.197	3.765	1.432	0.167	1.380	0.205
1.046	0.889	3.236	5.215	3.687	1.528	0.186	1.414	0.323
1.154	1.091	3.570	5.258	3.619	1.639	0.205	1.453	0.487
1.260	1.285	3.898	5.195	3.559	1.636	0.224	1.460	0.704
1.364	1.506	4.220	5.195	3.506	1.689	0.242	1.482	0.981
1.470	1.732	4.548	5.144	3.457	1.687	0.261	1.488	1.343
1.576	2.120	4.875	5.478	3.413	2.066	0.280	1.605	1.797
1.681	2.659	5.200	6.039	3.372	2.667	0.298	1.791	2.354
1.787	2.980	5.528	5.989	3.335	2.655	0.317	1.796	3.040
1.894	3.187	5.859	5.702	3.299	2.403	0.336	1.728	3.877
1.999	3.381	6.184	5.430	3.267	2.163	0.355	1.662	4.858
2.103	4.060	6.506	5.892	3.237	2.655	0.373	1.820	6.005
2.207	5.513	6.827	7.264	3.209	4.055	0.392	2.264	7.348
2.310	7.396	7.146	8.896	3.183	5.713	0.410	2.795	8.891

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.312	0.055	1.53	1.028	2.075	2.890	622	12.7	2.97	0.221
0.410	0.073	2.01	1.351	1.996	3.306	1230	32.9	3.90	0.438
0.517	0.092	2.53	1.703	1.932	2.995	1771	59.8	4.92	0.630
0.624	0.111	3.06	2.055	1.882	2.991	2576	105.0	5.94	0.917
0.729	0.129	3.57	2.401	1.842	2.957	3477	165.6	6.94	1.237
0.834	0.148	4.09	2.747	1.809	2.975	4579	249.4	7.94	1.629
0.939	0.167	4.60	3.093	1.780	3.213	6267	384.4	8.94	2.230
1.046	0.186	5.12	3.445	1.755	3.283	7946	542.9	9.96	2.828
1.154	0.205	5.65	3.801	1.732	3.372	9935	748.9	10.99	3.535
1.260	0.224	6.17	4.150	1.712	3.349	11762	968.1	12.00	4.185
1.364	0.242	6.68	4.493	1.695	3.384	13931	1241.2	12.99	4.957
1.470	0.261	7.20	4.842	1.678	3.365	16091	1545.0	14.00	5.725
1.576	0.280	7.72	5.191	1.663	3.729	20491	2109.4	15.01	7.291
1.681	0.298	8.24	5.537	1.649	4.317	26988	2963.3	16.01	9.603
1.787	0.317	8.75	5.886	1.636	4.291	30320	3539.1	17.02	10.788
1.894	0.336	9.28	6.239	1.624	4.027	31963	3954.3	18.04	11.373
1.999	0.355	9.79	6.585	1.613	3.776	33389	4359.8	19.04	11.881
2.103	0.373	10.30	6.927	1.603	4.257	41661	5722.8	20.03	14.824
2.207	0.392	10.81	7.270	1.593	5.648	60870	8775.0	21.02	21.659
2.310	0.410	11.32	7.609	1.584	7.296	86146	12998.4	22.00	30.653

Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : C2-S/L=0.256**

Model Number : 208/10

Date : 27-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.90 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.87 Metres  
Trim : t=-0.763 deg  
Wetted Surf.:1556.93 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.246 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.161 Metres  
Wetted Surf.: 2.703 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 16.50 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.313	0.078	0.951	5.784	4.739	1.045	0.055	1.221	0.002
0.421	0.145	1.279	5.943	4.447	1.497	0.075	1.337	0.007
0.525	0.207	1.595	5.456	4.246	1.210	0.093	1.285	0.018
0.634	0.295	1.927	5.332	4.085	1.247	0.112	1.305	0.039
0.738	0.427	2.243	5.696	3.962	1.733	0.131	1.437	0.074
0.841	0.594	2.556	6.101	3.861	2.240	0.149	1.580	0.128
0.946	0.736	2.875	5.975	3.773	2.202	0.168	1.584	0.209
1.053	0.924	3.200	6.054	3.695	2.359	0.187	1.638	0.328
1.159	1.123	3.522	6.073	3.628	2.446	0.205	1.674	0.491
1.254	1.286	3.810	5.941	3.574	2.367	0.222	1.662	0.682
1.363	1.528	4.142	5.975	3.518	2.457	0.242	1.698	0.968
1.471	1.673	4.470	5.617	3.468	2.149	0.261	1.620	1.332
1.576	1.875	4.789	5.484	3.424	2.060	0.279	1.602	1.777
1.682	2.288	5.111	5.875	3.383	2.492	0.298	1.737	2.334
1.787	2.546	5.430	5.792	3.345	2.447	0.317	1.731	3.006
1.890	2.691	5.743	5.473	3.311	2.162	0.335	1.653	3.801
1.997	2.890	6.068	5.265	3.278	1.986	0.354	1.606	4.785
2.102	3.564	6.387	5.860	3.248	2.612	0.373	1.804	5.928
2.206	4.679	6.703	6.985	3.220	3.765	0.391	2.169	7.254
2.312	6.239	7.025	8.479	3.193	5.287	0.410	2.656	8.826

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.313	0.055	1.53	1.031	2.074	3.119	597	12.2	2.98	0.258
0.421	0.075	2.06	1.387	1.988	3.485	1207	33.2	4.01	0.521
0.525	0.093	2.57	1.729	1.927	3.138	1690	58.0	5.00	0.730
0.634	0.112	3.11	2.088	1.878	3.124	2455	101.6	6.04	1.059
0.738	0.131	3.62	2.431	1.839	3.573	3803	183.3	7.03	1.641
0.841	0.149	4.12	2.770	1.807	4.047	5595	307.3	8.01	2.415
0.946	0.168	4.63	3.116	1.779	3.981	6962	430.2	9.01	3.005
1.053	0.187	5.16	3.469	1.753	4.112	8911	612.9	10.03	3.846
1.159	0.205	5.68	3.818	1.731	4.177	10966	830.2	11.04	4.733
1.254	0.222	6.14	4.131	1.713	4.081	12541	1027.3	11.94	5.413
1.363	0.242	6.68	4.490	1.695	4.152	15075	1342.2	12.98	6.507
1.471	0.261	7.21	4.845	1.678	3.827	16184	1555.0	14.01	6.986
1.576	0.279	7.72	5.191	1.663	3.723	18075	1860.7	15.01	7.802
1.682	0.298	8.24	5.540	1.649	4.142	22900	2516.0	16.02	9.885
1.787	0.317	8.75	5.886	1.636	4.083	25483	2974.6	17.02	11.000
1.890	0.335	9.26	6.226	1.625	3.786	26434	3263.3	18.00	11.410
1.997	0.354	9.78	6.578	1.613	3.600	28057	3659.8	19.02	12.110
2.102	0.373	10.30	6.924	1.603	4.215	36397	4997.4	20.02	15.710
2.206	0.391	10.81	7.267	1.593	5.358	50963	7343.5	21.01	21.998
2.312	0.410	11.33	7.616	1.584	6.870	71774	10839.3	22.02	30.980

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : B3-S/L=0.256**

Model Number : 208/10

Date : 30-04-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.48 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=-0.382 deg  
Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.228 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 17.20 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.306	0.094	0.947	6.443	4.744	1.699	0.054	1.358	0.002
0.408	0.156	1.262	6.015	4.459	1.555	0.072	1.349	0.006
0.518	0.234	1.602	5.597	4.242	1.355	0.092	1.319	0.017
0.620	0.321	1.918	5.360	4.089	1.271	0.110	1.311	0.036
0.727	0.428	2.249	5.197	3.960	1.237	0.129	1.312	0.070
0.833	0.566	2.577	5.235	3.854	1.381	0.148	1.358	0.125
0.939	0.736	2.905	5.357	3.765	1.592	0.167	1.423	0.206
1.045	0.913	3.233	5.366	3.688	1.678	0.186	1.455	0.322
1.149	1.115	3.555	5.421	3.622	1.799	0.204	1.497	0.480
1.257	1.315	3.889	5.341	3.560	1.781	0.223	1.500	0.699
1.361	1.544	4.210	5.350	3.507	1.843	0.242	1.525	0.975
1.468	1.743	4.541	5.191	3.458	1.733	0.261	1.501	1.339
1.577	2.112	4.879	5.451	3.412	2.038	0.280	1.597	1.807
1.682	2.657	5.203	6.028	3.372	2.656	0.299	1.788	2.367
1.786	2.966	5.525	5.968	3.335	2.633	0.317	1.790	3.042
1.893	3.039	5.856	5.443	3.300	2.143	0.336	1.650	3.880
1.999	3.327	6.184	5.344	3.267	2.077	0.355	1.636	4.873
2.106	4.068	6.515	5.887	3.236	2.650	0.374	1.819	6.060
2.214	5.459	6.849	7.148	3.207	3.940	0.393	2.228	7.469
2.318	7.482	7.171	8.937	3.181	5.756	0.412	2.809	9.049

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.306	0.054	1.50	1.008	2.081	3.780	783	15.7	2.91	0.279
0.408	0.072	2.00	1.344	1.997	3.552	1308	34.9	3.89	0.466
0.518	0.092	2.54	1.706	1.931	3.286	1951	66.0	4.93	0.694
0.620	0.110	3.04	2.042	1.884	3.154	2683	108.6	5.90	0.955
0.727	0.129	3.56	2.395	1.843	3.080	3602	171.1	6.92	1.282
0.833	0.148	4.08	2.744	1.809	3.190	4898	266.5	7.93	1.743
0.939	0.167	4.60	3.093	1.780	3.373	6580	403.6	8.94	2.341
1.045	0.186	5.12	3.442	1.755	3.433	8295	566.2	9.95	2.952
1.149	0.204	5.63	3.785	1.733	3.532	10318	774.4	10.94	3.671
1.257	0.223	6.16	4.141	1.713	3.494	12216	1003.0	11.97	4.347
1.361	0.242	6.67	4.483	1.695	3.538	14499	1289.0	12.96	5.159
1.468	0.261	7.19	4.836	1.679	3.412	16267	1559.9	13.98	5.788
1.577	0.280	7.73	5.195	1.663	3.701	20367	2098.0	15.02	7.247
1.682	0.299	8.24	5.540	1.649	4.305	26948	2960.8	16.02	9.589
1.786	0.317	8.75	5.883	1.637	4.270	30133	3515.4	17.01	10.722
1.893	0.336	9.27	6.236	1.624	3.768	29874	3693.9	18.03	10.630
1.999	0.355	9.79	6.585	1.613	3.690	32622	4259.6	19.04	11.608
2.106	0.374	10.32	6.937	1.603	4.253	41734	5741.1	20.06	14.850
2.214	0.393	10.85	7.293	1.592	5.533	60005	8677.8	21.08	21.351
2.318	0.412	11.36	7.635	1.583	7.339	87251	13210.8	22.07	31.046

Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A1-S/L=0.320**

Model Number : 208/10

Date : 02-05-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 79.42 Metres  
 Lbulb : 79.42 Metres  
 BWL : 7.13 Metres  
 T : 3.50 Metres  
 Trim : t=0.000 deg  
 Wetted Surf.:1434.82 m<sup>2</sup>  
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
 Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.309 Metres  
 Lbulb : 3.309 Metres  
 BWL : 0.297 Metres  
 T : 0.146 Metres  
 Wetted Sur.: 2.491 m<sup>2</sup>  
 F. W. Temp.: 17.80 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.301	0.065	0.940	5.657	4.751	0.906	0.053	1.191	0.002
0.410	0.130	1.280	6.098	4.446	1.652	0.072	1.372	0.006
0.517	0.192	1.614	5.664	4.236	1.428	0.091	1.337	0.016
0.624	0.276	1.948	5.589	4.076	1.513	0.110	1.371	0.035
0.730	0.387	2.279	5.726	3.949	1.777	0.128	1.450	0.068
0.835	0.520	2.607	5.881	3.846	2.035	0.147	1.529	0.120
0.940	0.669	2.935	5.970	3.758	2.212	0.165	1.589	0.197
1.046	0.834	3.266	6.010	3.681	2.330	0.184	1.633	0.309
1.154	1.002	3.603	5.933	3.612	2.321	0.203	1.642	0.466
1.261	1.132	3.937	5.613	3.552	2.061	0.221	1.580	0.675
1.365	1.403	4.262	5.937	3.499	2.438	0.240	1.697	0.941
1.468	1.444	4.583	5.283	3.452	1.831	0.258	1.531	1.277
1.577	1.671	4.923	5.298	3.406	1.892	0.277	1.555	1.723
1.681	2.077	5.248	5.796	3.366	2.429	0.295	1.722	2.251
1.786	2.237	5.576	5.530	3.329	2.201	0.313	1.661	2.900
1.893	2.346	5.910	5.162	3.294	1.868	0.332	1.567	3.699
1.998	2.635	6.238	5.205	3.262	1.943	0.351	1.596	4.636
2.104	3.269	6.569	5.823	3.232	2.591	0.369	1.802	5.754
2.211	4.388	6.903	7.078	3.203	3.875	0.388	2.210	7.080
2.317	5.607	7.234	8.235	3.176	5.059	0.407	2.593	8.610

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.301	0.053	1.47	0.986	2.088	2.993	488	9.6	2.87	0.243
0.410	0.072	2.01	1.342	1.997	3.649	1105	29.6	3.90	0.551
0.517	0.091	2.53	1.693	1.933	3.362	1618	54.7	4.92	0.807
0.624	0.110	3.06	2.043	1.883	3.397	2382	97.1	5.94	1.187
0.730	0.128	3.58	2.390	1.843	3.620	3475	165.7	6.95	1.732
0.835	0.147	4.09	2.734	1.810	3.845	4829	263.4	7.95	2.407
0.940	0.165	4.61	3.078	1.782	3.994	6356	390.3	8.95	3.168
1.046	0.184	5.12	3.425	1.756	4.086	8052	550.2	9.96	4.013
1.154	0.203	5.65	3.778	1.734	4.054	9725	733.0	10.99	4.847
1.261	0.221	6.18	4.129	1.714	3.775	10812	890.5	12.01	5.389
1.365	0.240	6.69	4.469	1.696	4.134	13873	1237.0	13.00	6.915
1.468	0.258	7.19	4.807	1.680	3.511	13629	1306.9	13.98	6.793
1.577	0.277	7.73	5.163	1.664	3.556	15929	1640.8	15.02	7.939
1.681	0.295	8.24	5.504	1.651	4.080	20765	2280.1	16.01	10.349
1.786	0.313	8.75	5.848	1.638	3.838	22053	2572.7	17.01	10.991
1.893	0.332	9.27	6.198	1.626	3.494	22550	2788.3	18.03	11.239
1.998	0.351	9.79	6.542	1.615	3.557	25577	3338.1	19.03	12.748
2.104	0.369	10.31	6.889	1.604	4.195	33449	4597.0	20.04	16.671
2.211	0.388	10.83	7.239	1.594	5.469	48152	6954.2	21.06	23.999
2.317	0.407	11.35	7.586	1.584	6.644	64241	9722.6	22.06	32.018

Displacement in S.W. = 2006.42 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A2-S/L=0.320**

Model Number : 208/10

Date : 03-05-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.94 Metres  
Lbulb : 79.73 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 3.87 Metres  
Trim : t=0.000 deg  
Wetted Surf.:1565.57 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.248 Metres  
Lbulb : 3.322 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.161 Metres  
Wetted Sur.: 2.718 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 17.80 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.306	0.081	0.959	6.251	4.730	1.521	0.054	1.322	0.002
0.411	0.144	1.288	6.160	4.440	1.720	0.073	1.387	0.006
0.518	0.209	1.624	5.629	4.231	1.398	0.092	1.331	0.017
0.625	0.295	1.959	5.457	4.071	1.386	0.111	1.340	0.037
0.732	0.393	2.294	5.300	3.944	1.356	0.130	1.344	0.072
0.834	0.520	2.614	5.403	3.844	1.559	0.148	1.406	0.124
0.938	0.685	2.940	5.626	3.756	1.870	0.166	1.498	0.203
1.042	0.853	3.266	5.677	3.681	1.997	0.185	1.542	0.316
1.150	1.048	3.604	5.727	3.612	2.115	0.204	1.585	0.477
1.260	1.186	3.949	5.399	3.550	1.849	0.223	1.521	0.700
1.364	1.430	4.275	5.554	3.497	2.057	0.242	1.588	0.975
1.466	1.517	4.595	5.101	3.450	1.651	0.260	1.478	1.319
1.577	1.834	4.943	5.329	3.404	1.925	0.279	1.566	1.790
1.681	2.262	5.269	5.785	3.364	2.421	0.298	1.720	2.339
1.786	2.438	5.598	5.523	3.327	2.196	0.316	1.660	3.013
1.895	2.503	5.939	5.037	3.291	1.746	0.336	1.530	3.861
2.001	2.901	6.272	5.236	3.259	1.977	0.355	1.607	4.847
2.105	3.765	6.598	6.140	3.229	2.911	0.373	1.902	5.991
2.210	5.043	6.927	7.462	3.201	4.261	0.392	2.331	7.343
2.310	6.476	7.240	8.770	3.176	5.595	0.409	2.762	8.834

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.306	0.054	1.50	1.006	2.082	3.603	663	13.3	2.91	0.286
0.411	0.073	2.01	1.351	1.995	3.716	1234	33.1	3.91	0.532
0.518	0.092	2.54	1.703	1.932	3.330	1756	59.4	4.93	0.758
0.625	0.111	3.06	2.054	1.882	3.268	2509	102.4	5.95	1.083
0.732	0.130	3.59	2.406	1.842	3.198	3368	161.0	6.97	1.454
0.834	0.148	4.09	2.741	1.810	3.368	4605	250.8	7.94	1.987
0.938	0.166	4.60	3.083	1.781	3.651	6313	386.8	8.93	2.725
1.042	0.185	5.10	3.425	1.756	3.753	8008	545.1	9.92	3.457
1.150	0.204	5.63	3.780	1.734	3.848	10002	751.3	10.95	4.317
1.260	0.223	6.17	4.142	1.713	3.562	11112	914.6	12.00	4.796
1.364	0.242	6.68	4.484	1.695	3.752	13720	1222.4	12.99	5.922
1.466	0.260	7.18	4.819	1.679	3.330	14064	1346.8	13.96	6.071
1.577	0.279	7.73	5.184	1.663	3.589	17540	1806.8	15.02	7.571
1.681	0.298	8.24	5.526	1.650	4.071	22606	2482.1	16.01	9.757
1.786	0.316	8.75	5.871	1.637	3.833	24032	2803.5	17.01	10.373
1.895	0.336	9.28	6.229	1.625	3.371	23787	2944.4	18.05	10.267
2.001	0.355	9.80	6.578	1.613	3.590	28253	3692.8	19.06	12.195
2.105	0.373	10.31	6.919	1.603	4.514	39311	5405.3	20.05	16.968
2.210	0.392	10.83	7.265	1.593	5.854	56190	8111.3	21.05	24.254
2.310	0.409	11.32	7.593	1.584	7.179	75285	11359.6	22.00	32.496

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : A3-S/L=0.320**

Model Number : 208/10

Date : 03-05-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.60 Metres  
 Lbulb : 79.90 Metres  
 BWL : 7.13 Metres  
 T : 4.47 Metres  
 Trim : t=0.000 deg  
 Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
 S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
 Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.233 Metres  
 Lbulb : 3.329 Metres  
 BWL : 0.297 Metres  
 T : 0.186 Metres  
 Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
 F. W. Temp.: 18.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.306	0.098	0.966	6.718	4.723	1.995	0.054	1.422	0.002
0.409	0.149	1.291	5.718	4.438	1.280	0.073	1.288	0.006
0.518	0.233	1.635	5.574	4.224	1.350	0.092	1.320	0.017
0.622	0.317	1.964	5.260	4.069	1.190	0.110	1.292	0.037
0.727	0.423	2.295	5.137	3.944	1.194	0.129	1.303	0.070
0.833	0.563	2.630	5.208	3.839	1.369	0.148	1.357	0.125
0.942	0.731	2.974	5.288	3.748	1.540	0.167	1.411	0.209
1.044	0.913	3.296	5.377	3.674	1.703	0.185	1.463	0.321
1.149	1.130	3.627	5.494	3.608	1.887	0.204	1.523	0.480
1.258	1.306	3.971	5.297	3.546	1.751	0.223	1.494	0.702
1.363	1.522	4.303	5.259	3.493	1.766	0.242	1.506	0.982
1.466	1.707	4.628	5.098	3.446	1.653	0.260	1.480	1.332
1.575	2.140	4.972	5.538	3.400	2.137	0.280	1.629	1.799
1.681	2.619	5.307	5.949	3.360	2.590	0.298	1.771	2.362
1.786	2.834	5.638	5.703	3.323	2.381	0.317	1.717	3.044
1.894	2.893	5.979	5.177	3.287	1.890	0.336	1.575	3.891
2.000	3.267	6.314	5.243	3.255	1.988	0.355	1.611	4.886
2.104	4.237	6.642	6.144	3.225	2.919	0.374	1.905	6.039
2.210	5.922	6.977	7.783	3.197	4.586	0.392	2.435	7.417
2.315	8.002	7.308	9.585	3.170	6.414	0.411	3.023	9.004

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.306	0.054	1.50	1.008	2.081	4.076	845	16.9	2.91	0.300
0.409	0.073	2.00	1.347	1.996	3.276	1213	32.4	3.89	0.431
0.518	0.092	2.54	1.706	1.931	3.281	1948	65.9	4.93	0.693
0.622	0.110	3.05	2.049	1.883	3.073	2631	106.9	5.92	0.936
0.727	0.129	3.56	2.395	1.843	3.036	3551	168.6	6.92	1.263
0.833	0.148	4.08	2.744	1.809	3.178	4880	265.5	7.93	1.736
0.942	0.167	4.61	3.103	1.780	3.320	6518	401.0	8.97	2.319
1.044	0.185	5.11	3.439	1.755	3.458	8340	568.7	9.94	2.967
1.149	0.204	5.63	3.785	1.733	3.620	10574	793.6	10.94	3.763
1.258	0.223	6.16	4.144	1.713	3.464	12129	996.7	11.98	4.316
1.363	0.242	6.68	4.490	1.695	3.461	14226	1266.5	12.98	5.062
1.466	0.260	7.18	4.829	1.679	3.332	15842	1517.0	13.96	5.637
1.575	0.280	7.72	5.188	1.663	3.801	20861	2146.1	15.00	7.423
1.681	0.298	8.24	5.537	1.649	4.239	26504	2910.2	16.01	9.431
1.786	0.317	8.75	5.883	1.637	4.017	28352	3307.6	17.01	10.088
1.894	0.336	9.28	6.239	1.624	3.514	27891	3450.5	18.04	9.924
2.000	0.355	9.80	6.588	1.613	3.601	31871	4163.5	19.05	11.340
2.104	0.374	10.31	6.930	1.603	4.521	44286	6086.3	20.04	15.758
2.210	0.392	10.83	7.280	1.593	6.179	66775	9639.4	21.05	23.760
2.315	0.411	11.34	7.625	1.583	7.998	94833	14340.3	22.05	33.744

Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
 V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>



Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : C2-S/L=0.320**

Model Number : 208/10

Date : 03-05-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.90 Metres

Lbulb : 79.90 Metres

BWL : 7.13 Metres

T : 3.87 Metres

Trim : t=-0.763 deg

Wetted Surf.:1556.93 m<sup>2</sup>

S. W. Temp. : 15.00 Degrees

Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.246 Metres

Lbulb : 3.329 Metres

BWL : 0.297 Metres

T : 0.161 Metres

Wetted Sur.: 2.703 m<sup>2</sup>

F. W. Temp.: 16.50 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN <sup>4</sup> /CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.303	0.076	0.921	6.014	4.773	1.241	0.054	1.260	0.002
0.411	0.130	1.249	5.591	4.469	1.122	0.073	1.251	0.006
0.518	0.198	1.574	5.361	4.258	1.103	0.092	1.259	0.017
0.625	0.287	1.899	5.338	4.097	1.241	0.111	1.303	0.037
0.730	0.414	2.218	5.644	3.971	1.673	0.129	1.421	0.071
0.836	0.577	2.540	5.998	3.865	2.132	0.148	1.552	0.125
0.940	0.748	2.856	6.150	3.778	2.372	0.167	1.628	0.204
1.047	0.926	3.181	6.137	3.699	2.437	0.186	1.659	0.320
1.149	1.143	3.491	6.290	3.634	2.656	0.204	1.731	0.473
1.261	1.281	3.832	5.853	3.570	2.282	0.223	1.639	0.699
1.364	1.571	4.145	6.134	3.518	2.617	0.242	1.744	0.971
1.469	1.612	4.464	5.427	3.469	1.958	0.260	1.564	1.324
1.576	1.869	4.789	5.467	3.424	2.043	0.279	1.597	1.777
1.682	2.246	5.111	5.767	3.383	2.384	0.298	1.705	2.334
1.788	2.487	5.433	5.651	3.345	2.306	0.317	1.689	3.013
1.894	2.584	5.755	5.233	3.310	1.923	0.336	1.581	3.834
2.000	2.926	6.077	5.314	3.277	2.037	0.354	1.621	4.815
2.104	3.644	6.393	5.980	3.247	2.733	0.373	1.841	5.952
2.210	4.884	6.715	7.265	3.219	4.046	0.392	2.257	7.309
2.315	6.423	7.034	8.707	3.192	5.515	0.410	2.728	8.874

VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.303	0.054	1.48	0.998	2.084	3.325	597	11.8	2.89	0.258
0.411	0.073	2.01	1.354	1.995	3.117	1029	27.6	3.91	0.444
0.518	0.092	2.54	1.706	1.931	3.034	1591	53.8	4.93	0.687
0.625	0.111	3.06	2.059	1.882	3.122	2384	97.3	5.95	1.029
0.730	0.129	3.58	2.405	1.842	3.515	3661	174.6	6.95	1.580
0.836	0.148	4.10	2.754	1.808	3.941	5383	293.9	7.96	2.323
0.940	0.167	4.61	3.096	1.780	4.153	7171	440.3	8.95	3.095
1.047	0.186	5.13	3.449	1.755	4.192	8982	614.2	9.97	3.877
1.149	0.204	5.63	3.785	1.733	4.389	11325	850.0	10.94	4.888
1.261	0.223	6.18	4.154	1.712	3.995	12414	1022.5	12.01	5.358
1.364	0.242	6.68	4.493	1.695	4.311	15677	1396.8	12.99	6.767
1.469	0.260	7.20	4.839	1.678	3.636	15336	1471.5	13.99	6.620
1.576	0.279	7.72	5.191	1.663	3.706	17990	1851.9	15.01	7.765
1.682	0.298	8.24	5.540	1.649	4.034	22304	2450.5	16.02	9.627
1.788	0.317	8.76	5.890	1.636	3.943	24635	2877.2	17.03	10.633
1.894	0.336	9.28	6.239	1.624	3.547	24870	3076.8	18.04	10.735
2.000	0.354	9.80	6.588	1.613	3.650	28534	3727.6	19.05	12.316
2.104	0.373	10.31	6.931	1.603	4.335	37509	5155.0	20.04	16.190
2.210	0.392	10.83	7.280	1.593	5.639	53824	7769.9	21.05	23.233
2.315	0.410	11.34	7.626	1.583	7.098	74348	11242.6	22.05	32.091

Displacement in S.W. = 2316.76 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

Ship Name : CARGO EXPRESS

**Test Condition : B3-S/L=0.320**

Model Number : 208/10

Date : 04-05-12

Model Scale = 1: 24

Trip Wires :Yes

Ship Data

LWL : 77.48 Metres  
Lbulb : 79.90 Metres  
BWL : 7.13 Metres  
T : 4.47 Metres  
Trim : t=-0.382 deg  
Wetted Surf.:1762.56 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.228 Metres  
Lbulb : 3.329 Metres  
BWL : 0.297 Metres  
T : 0.186 Metres  
Wetted Sur.: 3.060 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.00 Degrees

VM	RM	RNM	CTM	CFM	CR	FN	1+K	FN^4/CFM
m/s	Kp	*10 <sup>-6</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>			
0.303	0.095	0.957	6.642	4.733	1.909	0.054	1.403	0.002
0.412	0.154	1.301	5.824	4.431	1.393	0.073	1.314	0.006
0.518	0.227	1.635	5.431	4.224	1.206	0.092	1.286	0.017
0.620	0.317	1.957	5.294	4.072	1.222	0.110	1.300	0.036
0.725	0.433	2.289	5.288	3.946	1.342	0.129	1.340	0.070
0.834	0.577	2.633	5.325	3.838	1.487	0.148	1.387	0.126
0.937	0.750	2.958	5.483	3.752	1.732	0.167	1.462	0.205
1.043	0.913	3.293	5.387	3.675	1.712	0.185	1.466	0.321
1.149	1.167	3.627	5.674	3.608	2.067	0.204	1.573	0.482
1.258	1.341	3.971	5.439	3.546	1.893	0.224	1.534	0.704
1.365	1.557	4.309	5.364	3.492	1.872	0.243	1.536	0.991
1.466	1.731	4.628	5.170	3.446	1.724	0.261	1.500	1.336
1.575	2.156	4.972	5.579	3.400	2.179	0.280	1.641	1.804
1.681	2.600	5.307	5.906	3.360	2.547	0.299	1.758	2.370
1.786	2.800	5.638	5.635	3.322	2.312	0.317	1.696	3.053
1.895	2.903	5.982	5.189	3.287	1.902	0.337	1.579	3.912
2.001	3.263	6.317	5.231	3.255	1.977	0.356	1.607	4.911
2.106	4.246	6.648	6.145	3.225	2.921	0.374	1.906	6.082
2.209	5.820	6.974	7.656	3.197	4.459	0.393	2.395	7.426
2.310	7.913	7.292	9.519	3.172	6.347	0.410	3.001	8.951

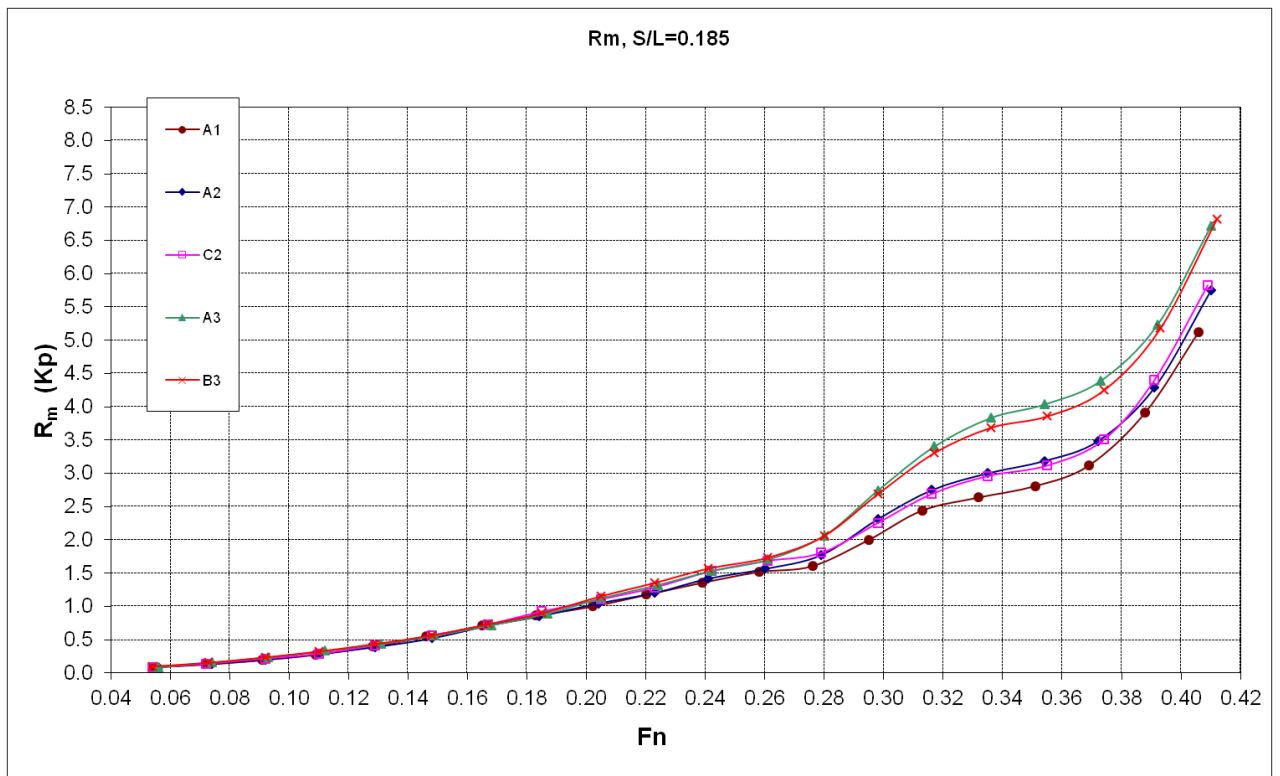
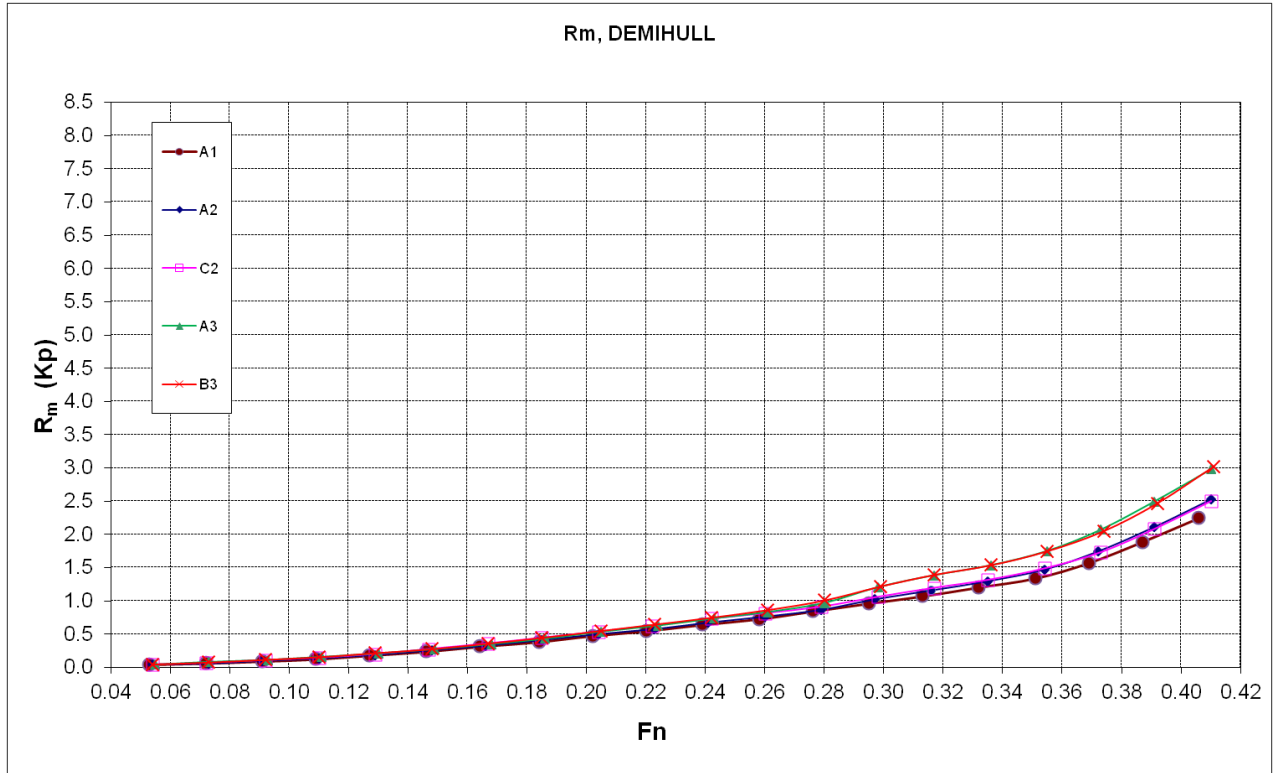
VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.303	0.054	1.48	0.998	2.084	3.993	811	16.1	2.89	0.289
0.412	0.073	2.02	1.357	1.994	3.387	1272	34.2	3.92	0.453
0.518	0.092	2.54	1.706	1.931	3.137	1863	63.0	4.93	0.663
0.620	0.110	3.04	2.042	1.884	3.105	2641	107.0	5.90	0.940
0.725	0.129	3.55	2.388	1.844	3.186	3705	175.4	6.90	1.318
0.834	0.148	4.09	2.747	1.809	3.296	5072	276.3	7.94	1.805
0.937	0.167	4.59	3.086	1.781	3.513	6823	417.6	8.92	2.428
1.043	0.185	5.11	3.436	1.756	3.468	8347	568.7	9.93	2.970
1.149	0.204	5.63	3.785	1.733	3.800	11100	833.1	10.94	3.950
1.258	0.224	6.16	4.144	1.713	3.606	12626	1037.5	11.98	4.493
1.365	0.243	6.69	4.496	1.695	3.567	14704	1311.0	13.00	5.232
1.466	0.261	7.18	4.829	1.679	3.403	16183	1549.7	13.96	5.758
1.575	0.280	7.72	5.188	1.663	3.842	21088	2169.5	15.00	7.504
1.681	0.299	8.24	5.537	1.649	4.196	26234	2880.6	16.01	9.335
1.786	0.317	8.75	5.883	1.637	3.949	27869	3251.2	17.01	9.916
1.895	0.337	9.28	6.242	1.624	3.527	28021	3468.4	18.05	9.970
2.001	0.356	9.80	6.591	1.613	3.590	31801	4156.5	19.06	11.315
2.106	0.374	10.32	6.937	1.603	4.523	44387	6106.0	20.06	15.794
2.209	0.393	10.82	7.276	1.593	6.052	65340	9428.0	21.04	23.249
2.310	0.410	11.32	7.609	1.584	7.931	93641	14129.4	22.00	33.320

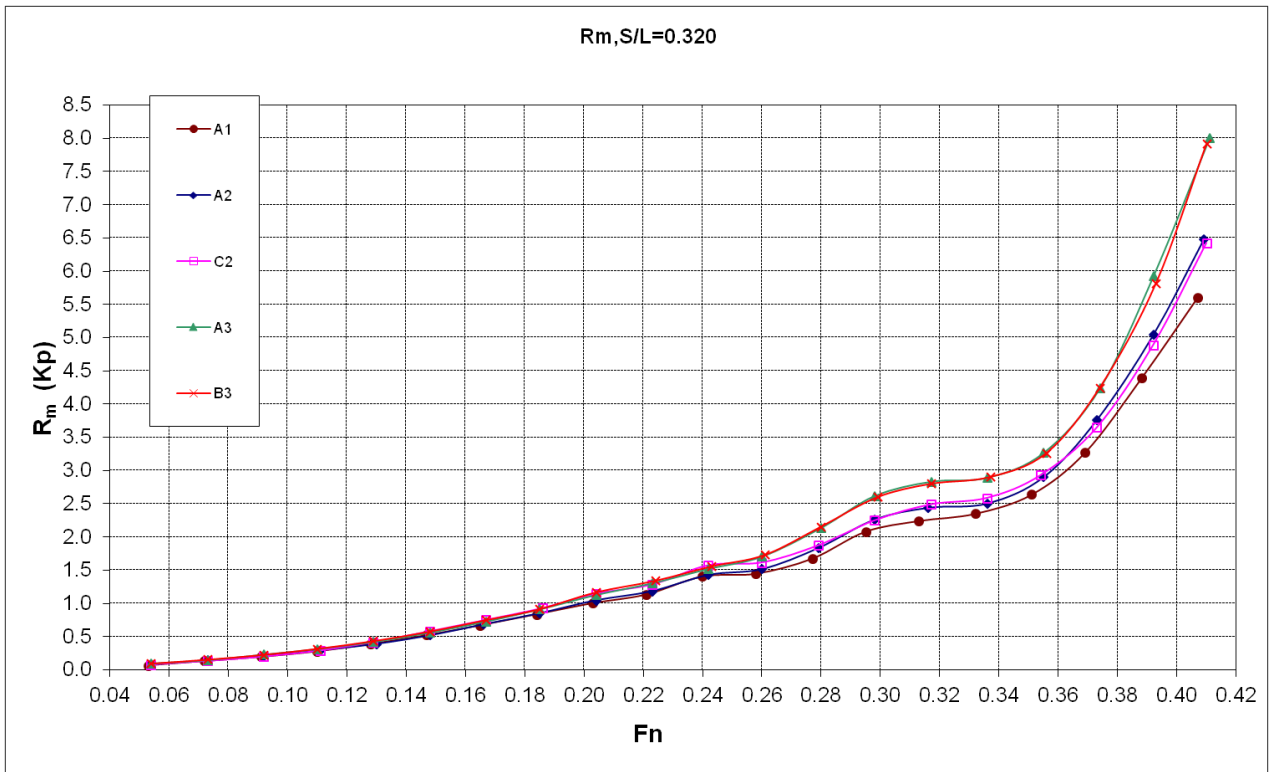
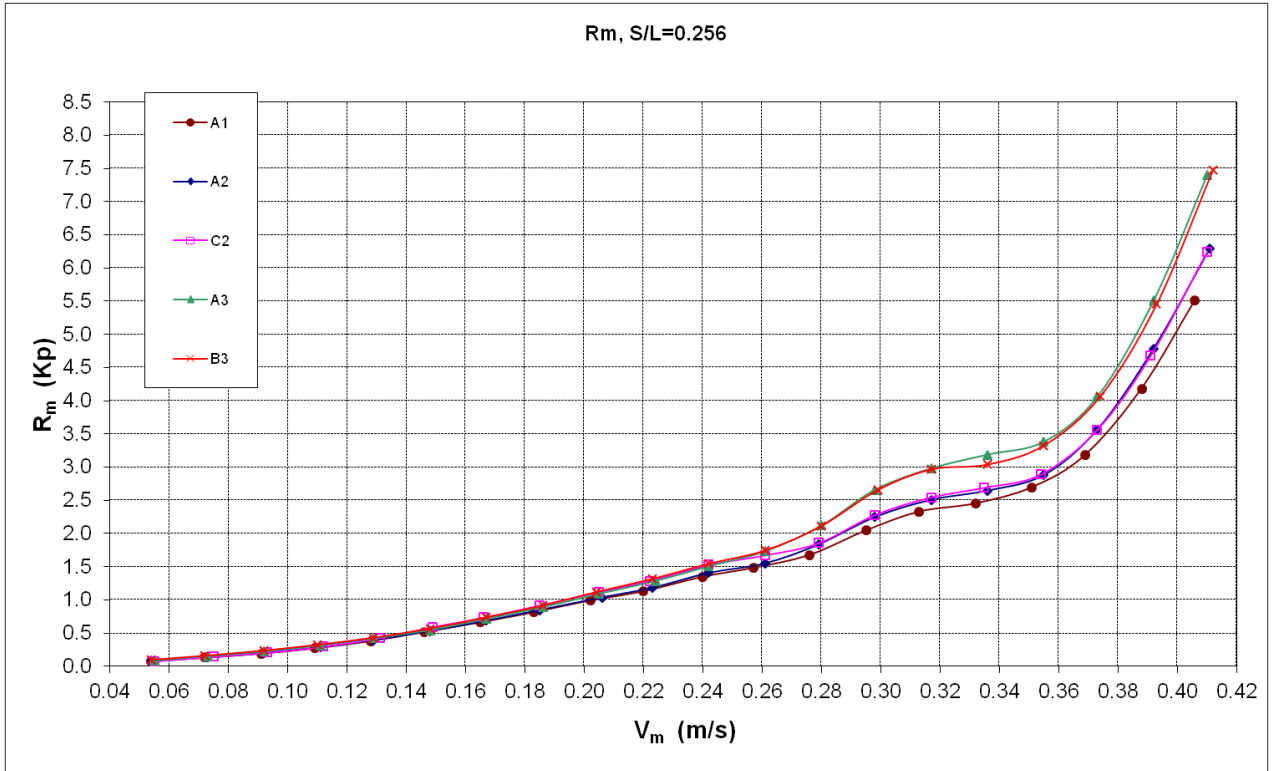
Displacement in S.W. = 2810.40 Tonnes

Above WL Transv. Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Rudders Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Stabilizing Fins Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
Bilge Keels Area = 0.00 m<sup>2</sup>  
V-Brackets Area = 0.00 m<sup>2</sup>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

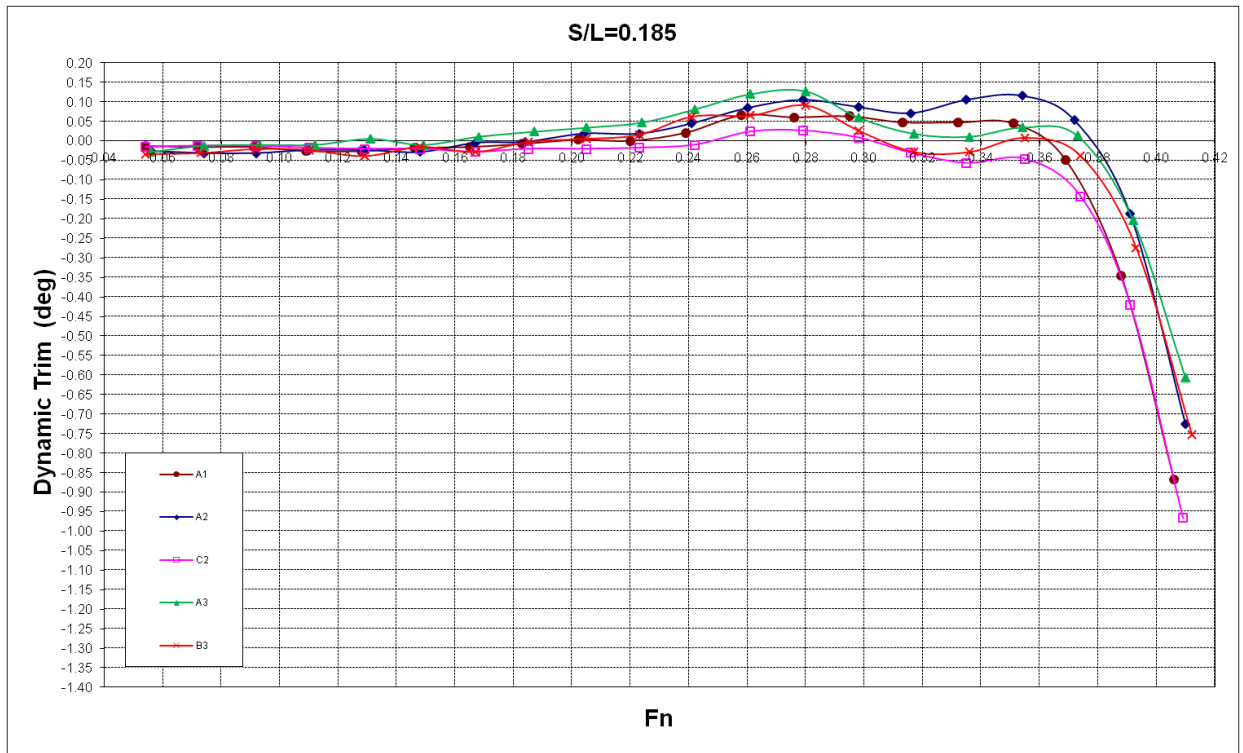
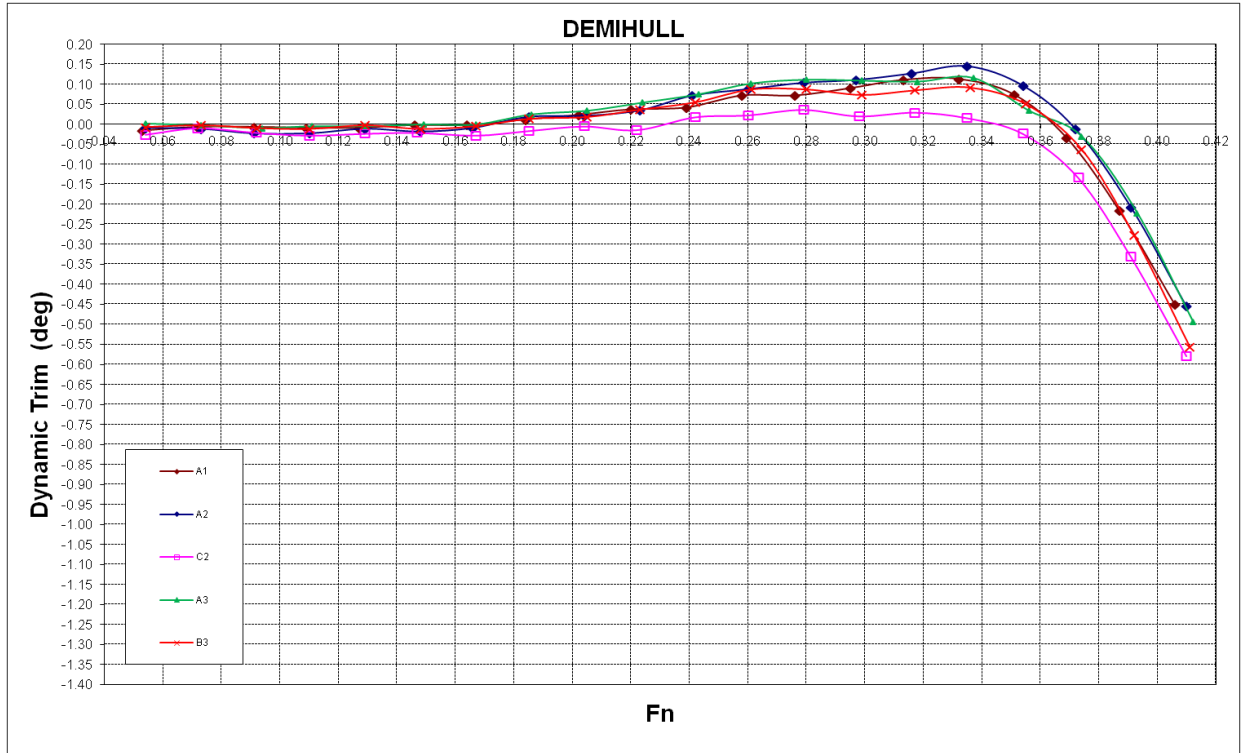
Διαγράμματα ολικής αντίστασης μοντέλου σε συνάρτηση με τον αριθμό Froude

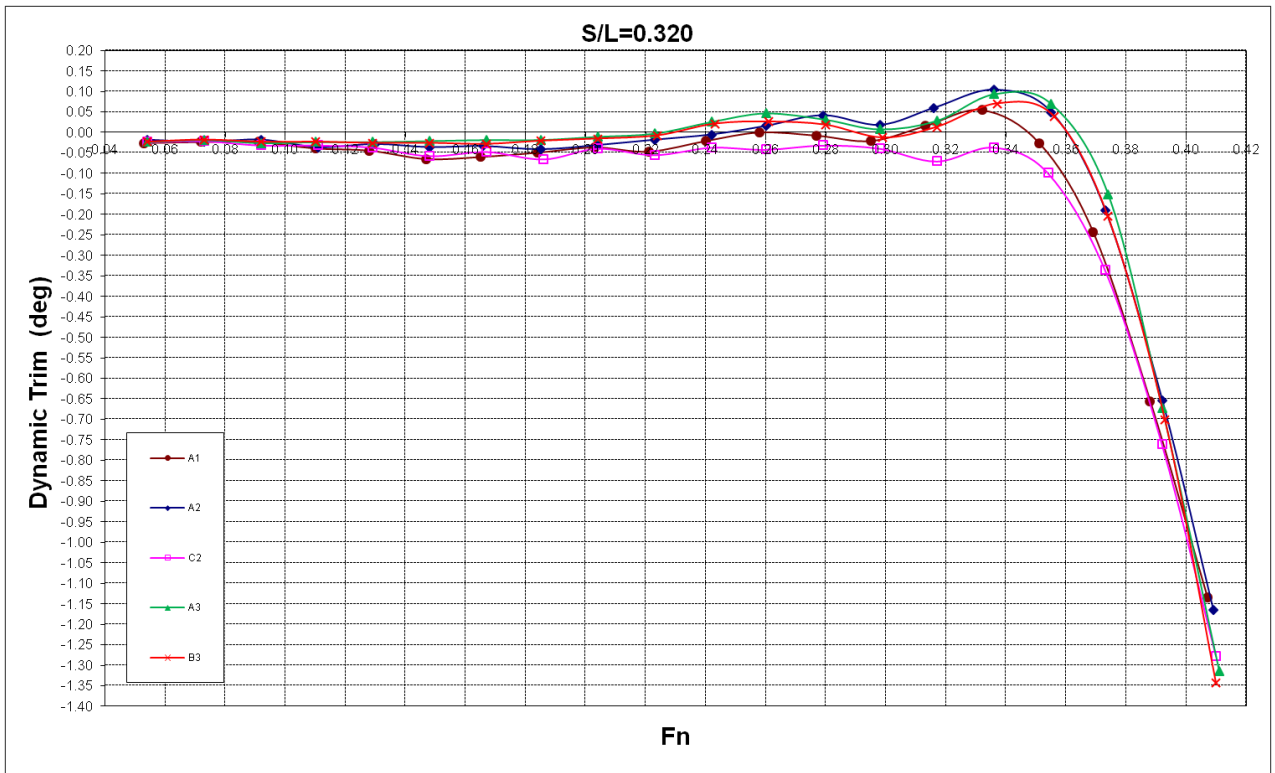
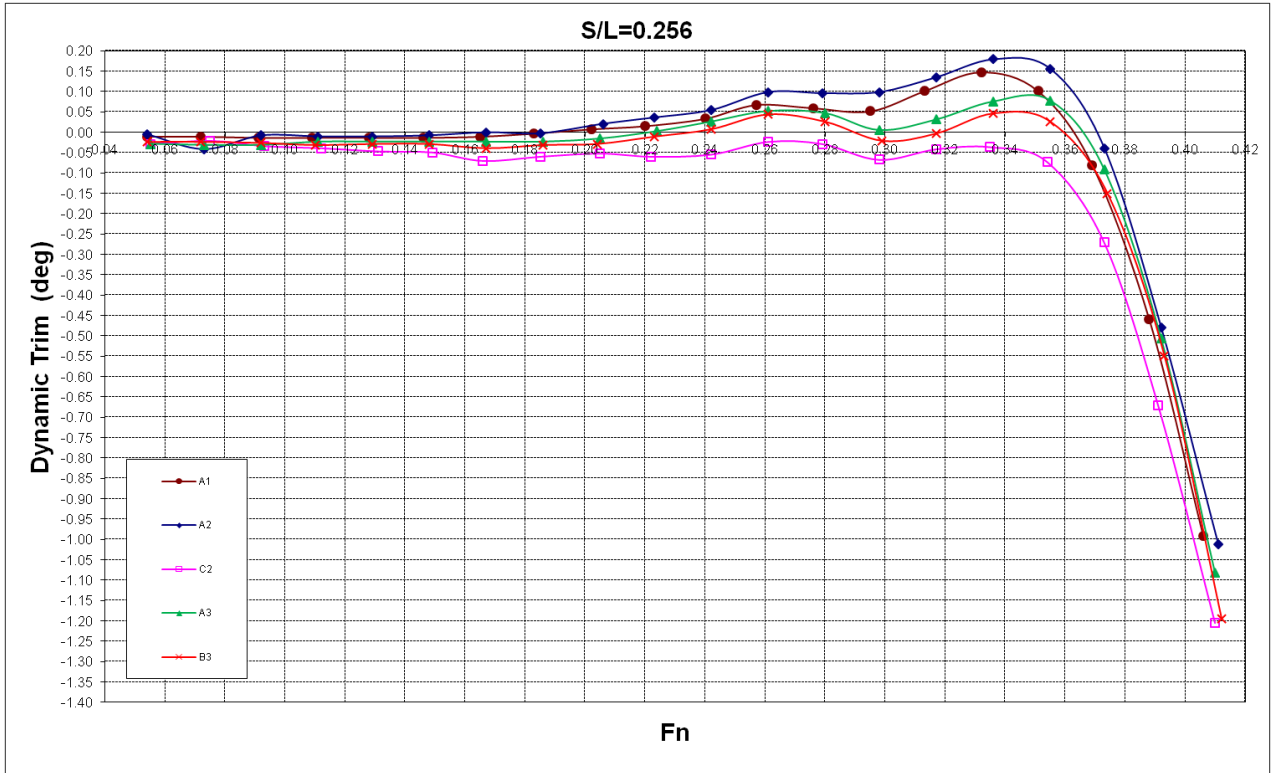




# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

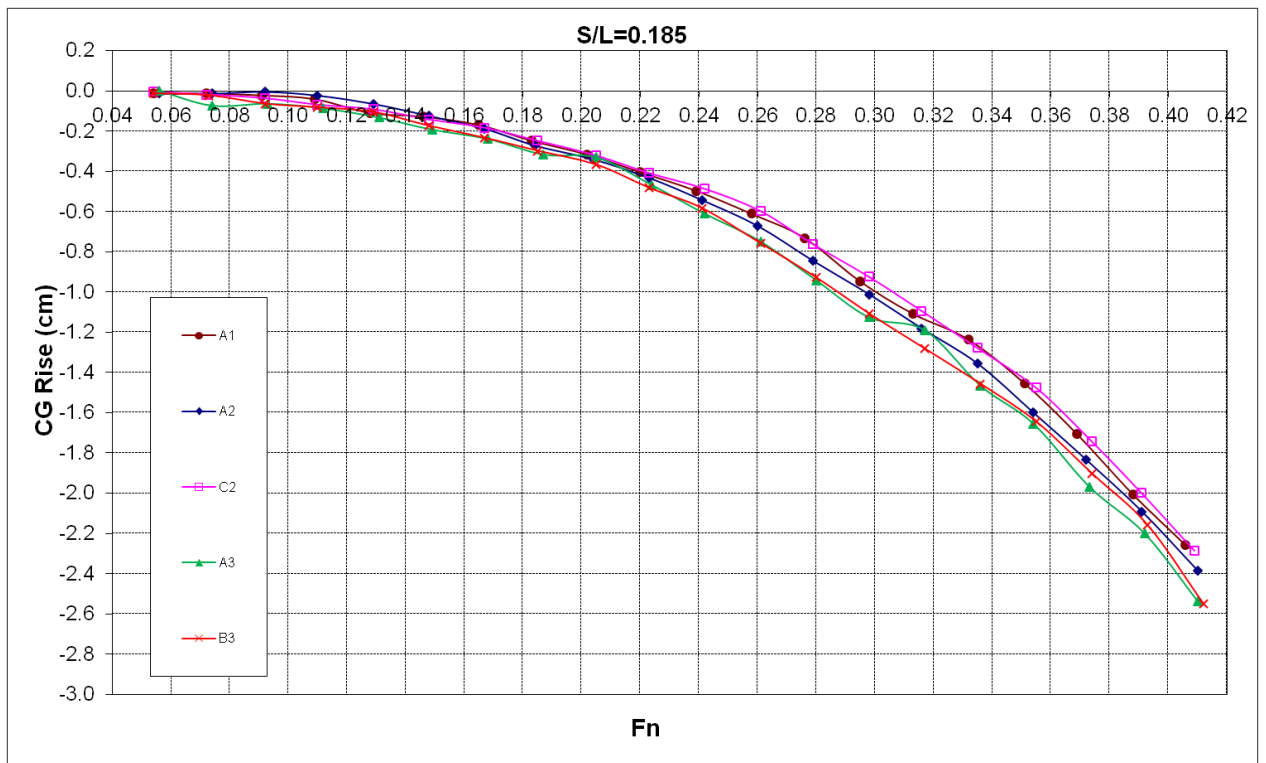
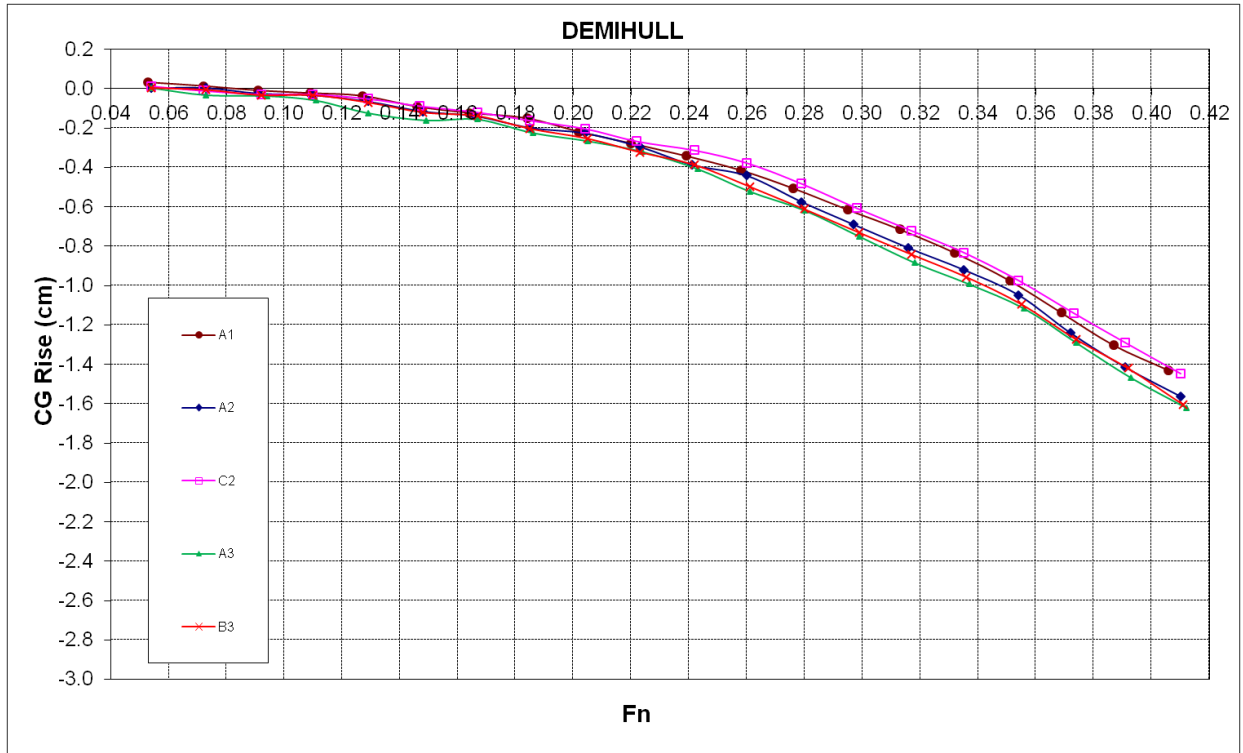
Διαγράμματα προνεύτασμού (pitch) του μοντέλου για την μια και τις δύο γάστρες συναρτήσει του αριθμού Froude

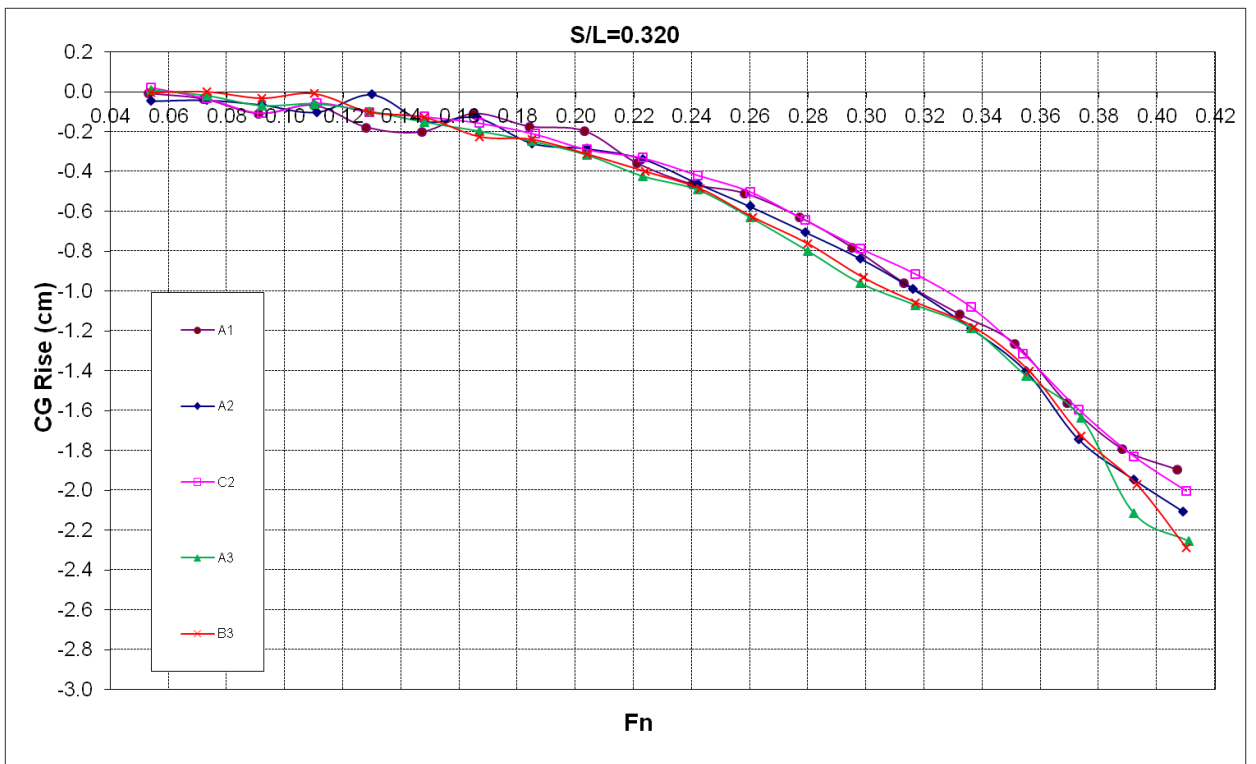
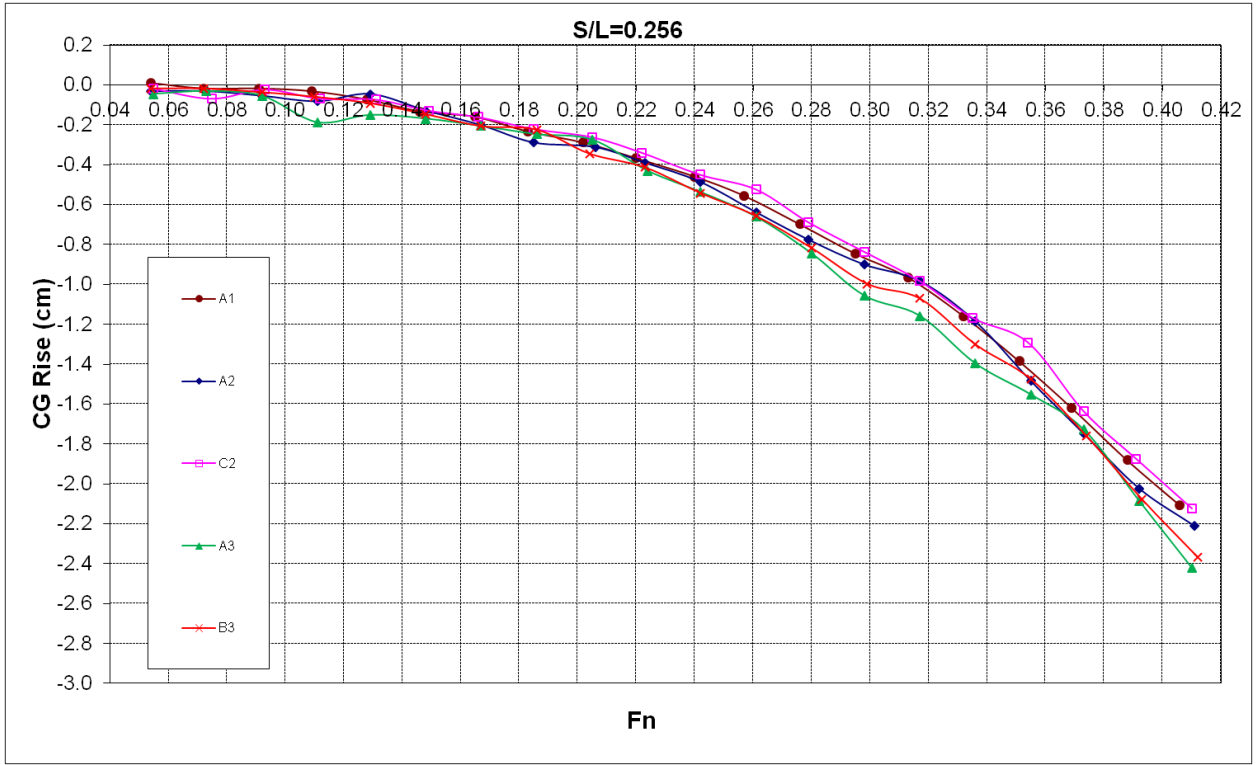




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Διαγράμματα ανύψωσης του κέντρου βάρους του μοντέλου (heave) για την μια και τις δύο γάστρες συναρτήσει του αριθμού Froude

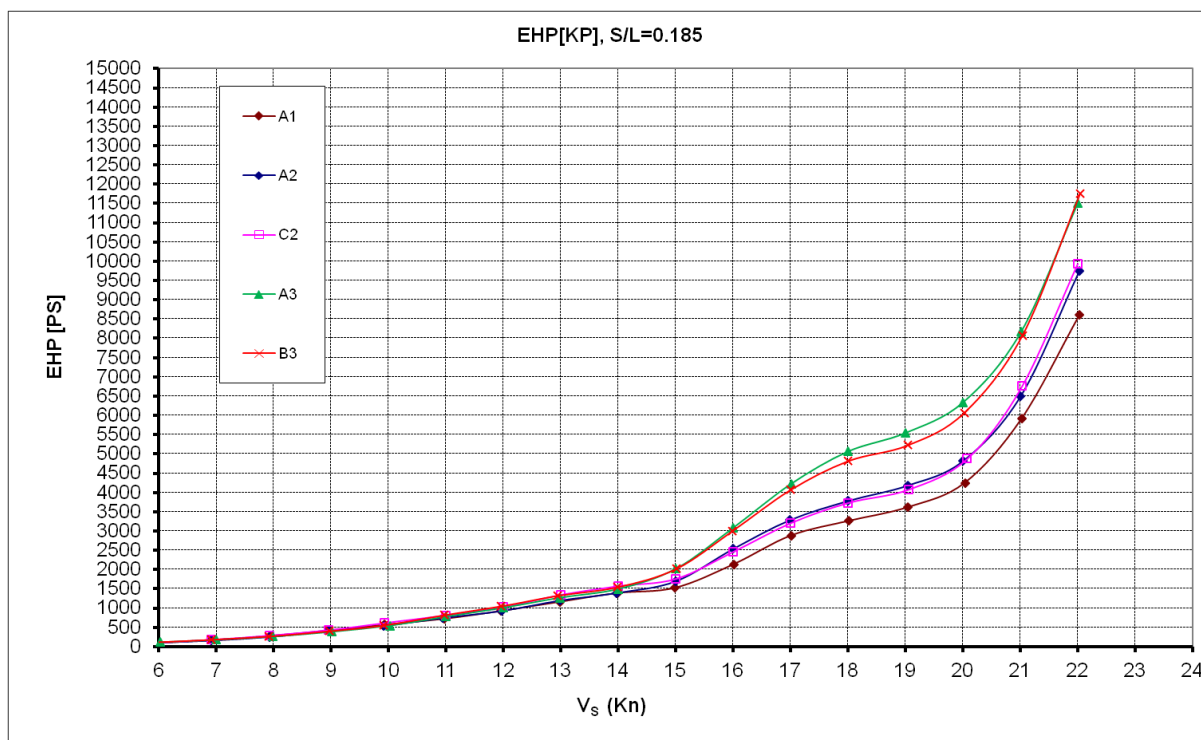
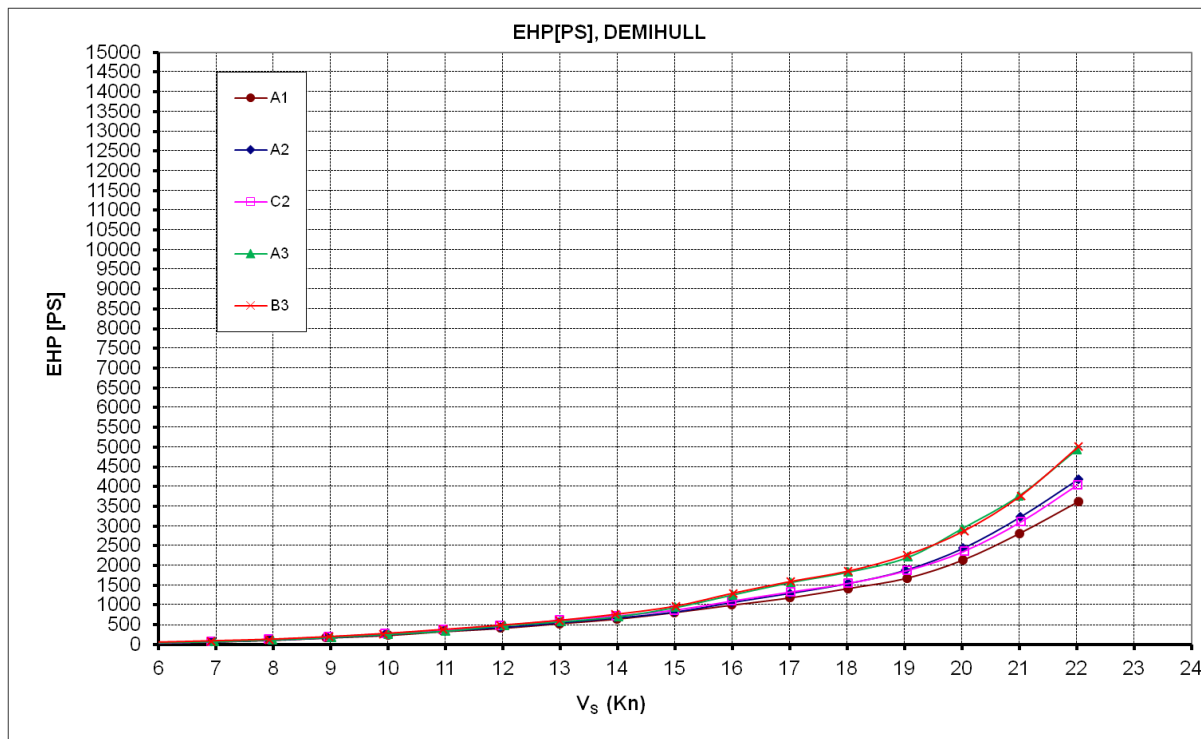


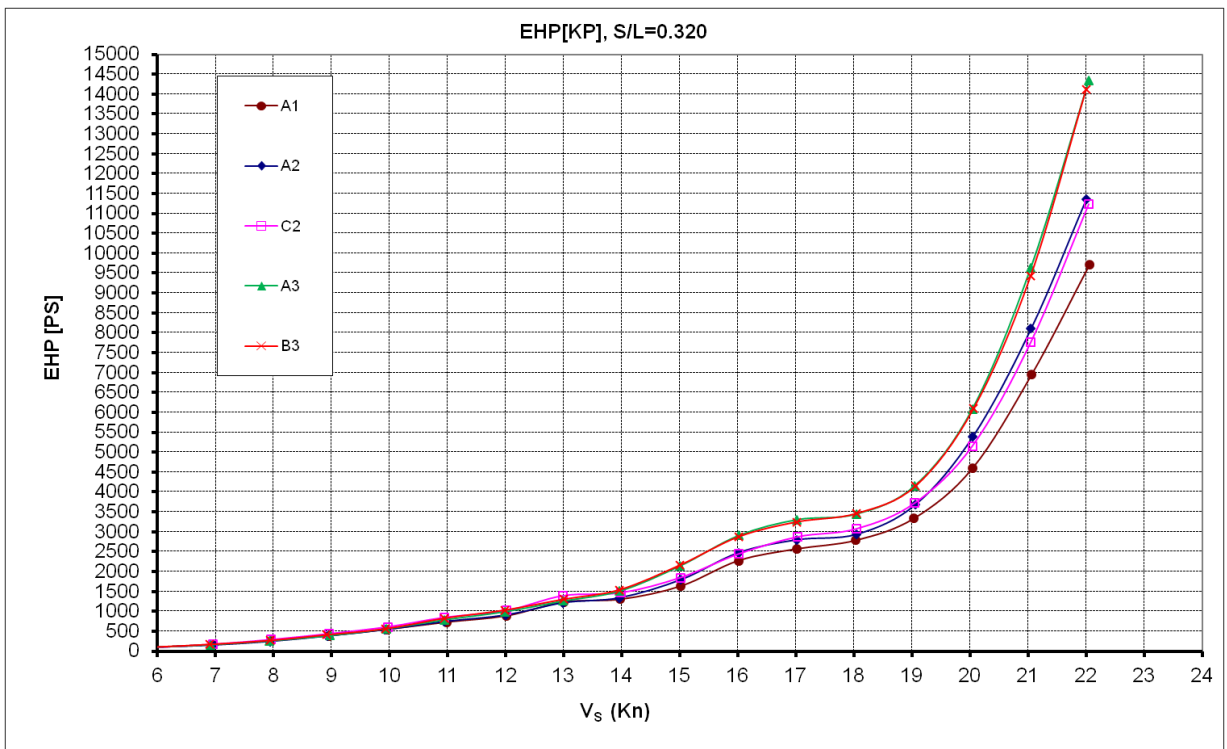
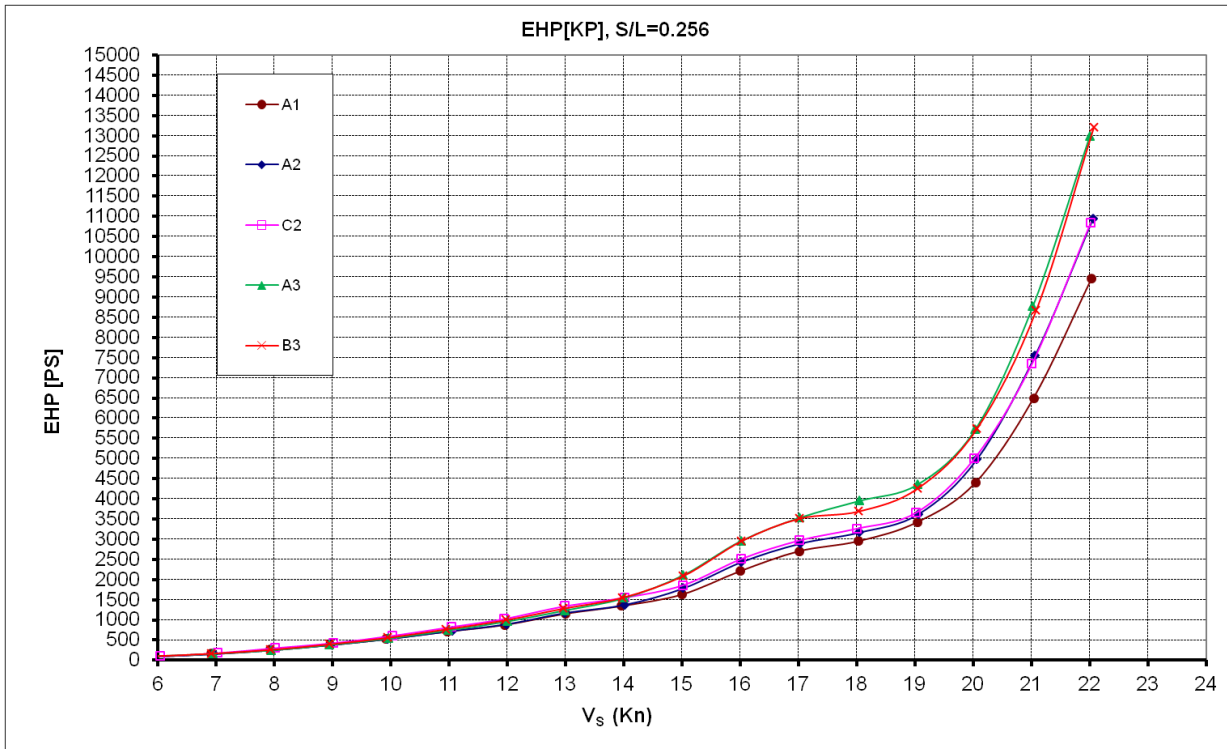




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

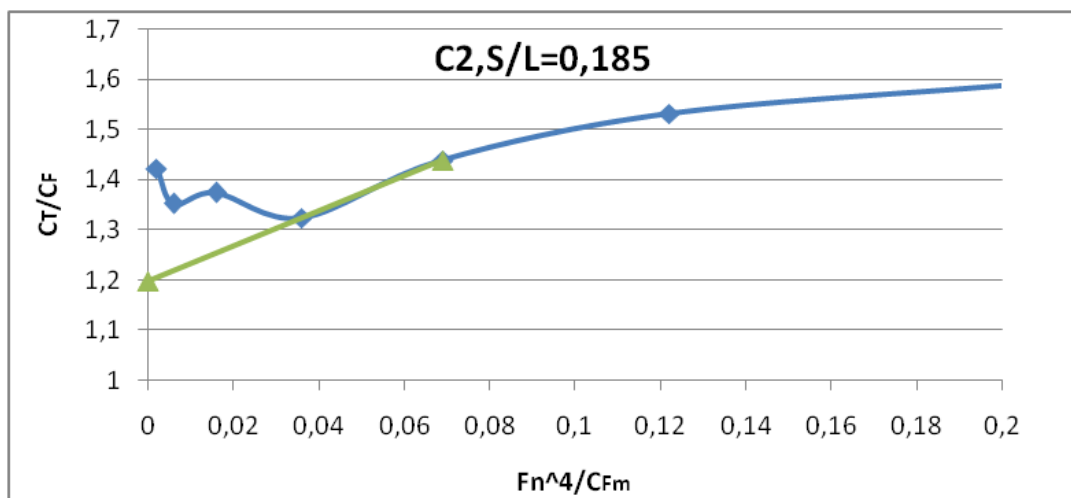
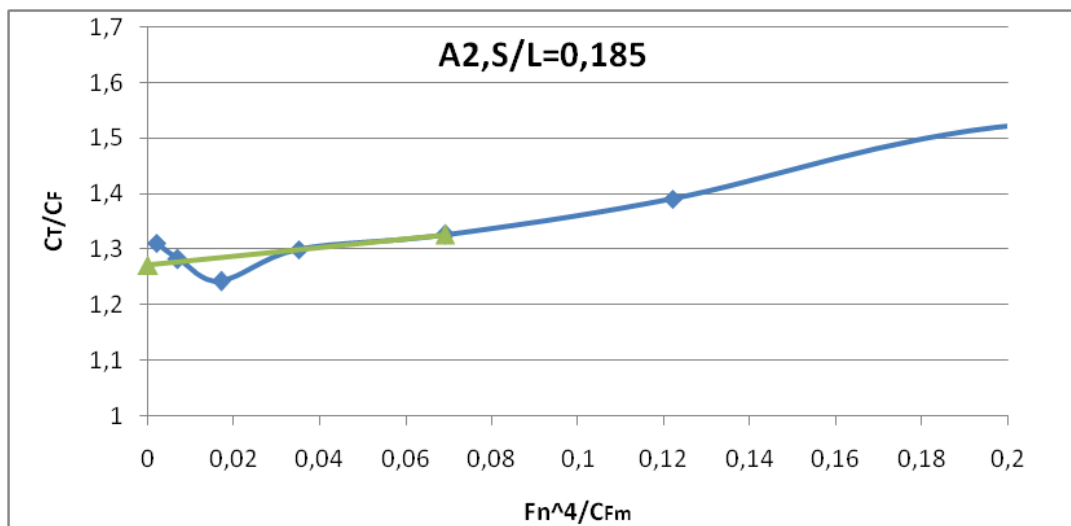
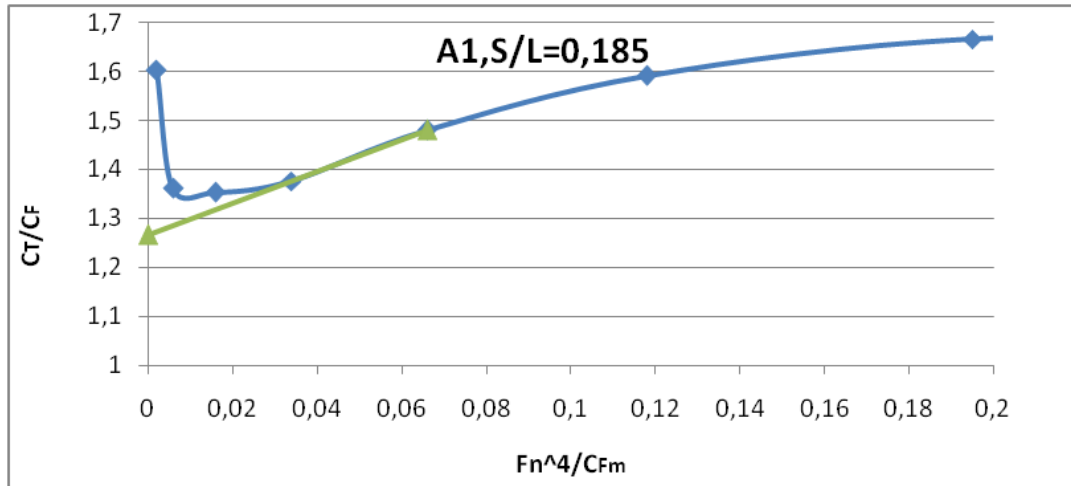
Διαγράμματα ισχύος ρυμούλκησης [EHP] σε κλίμακα πλοίου  
συναρτήσει της ταχύτητας σε κόμβους [kn]

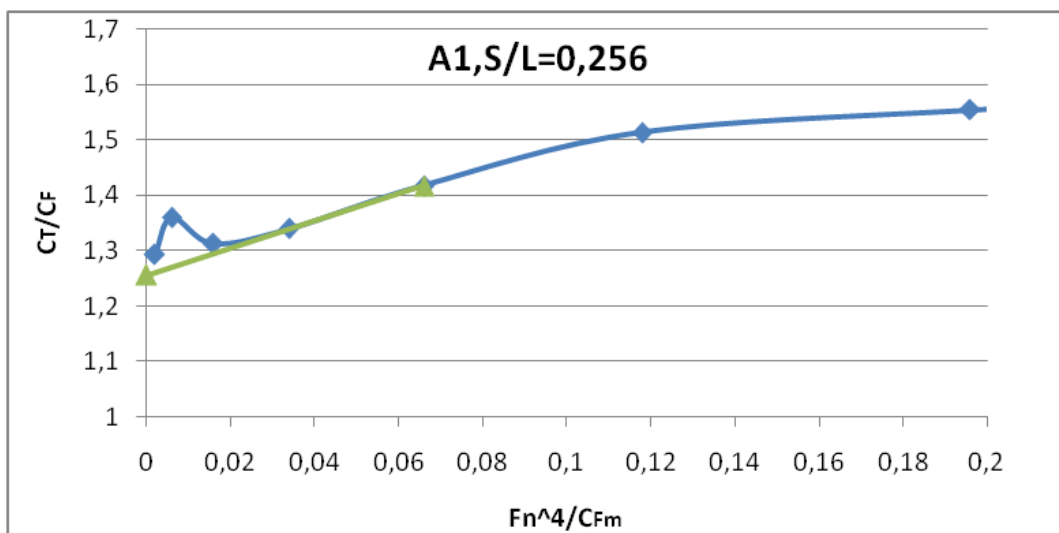
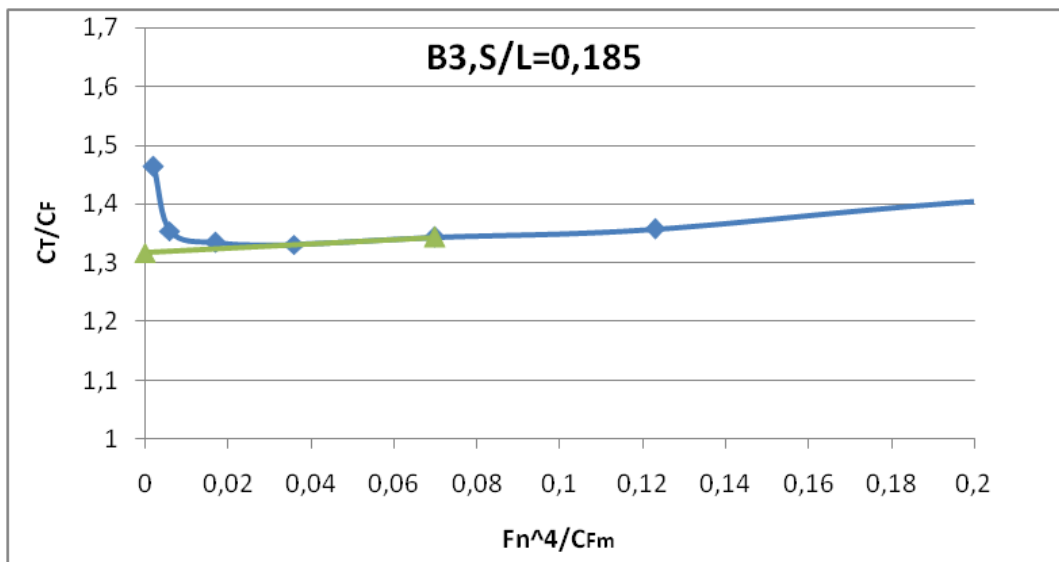
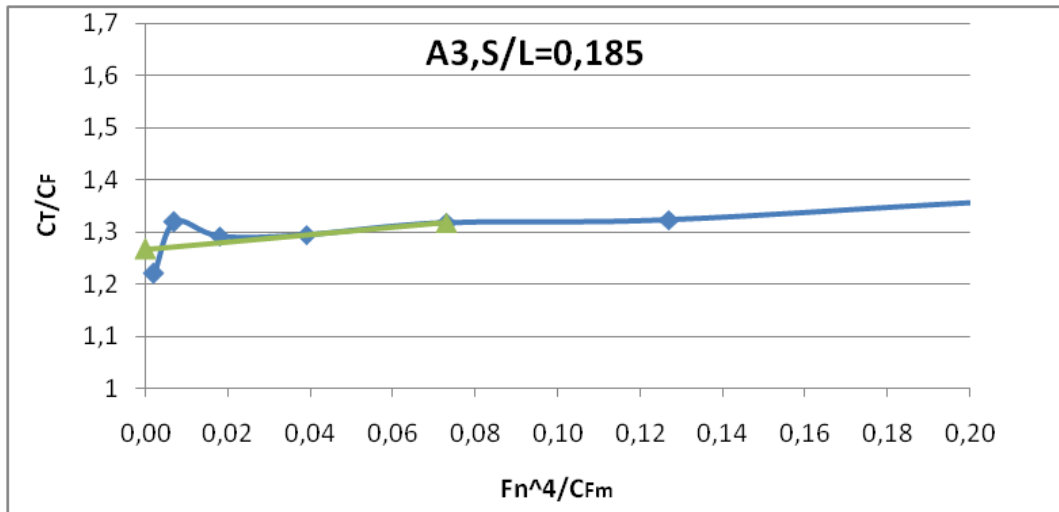


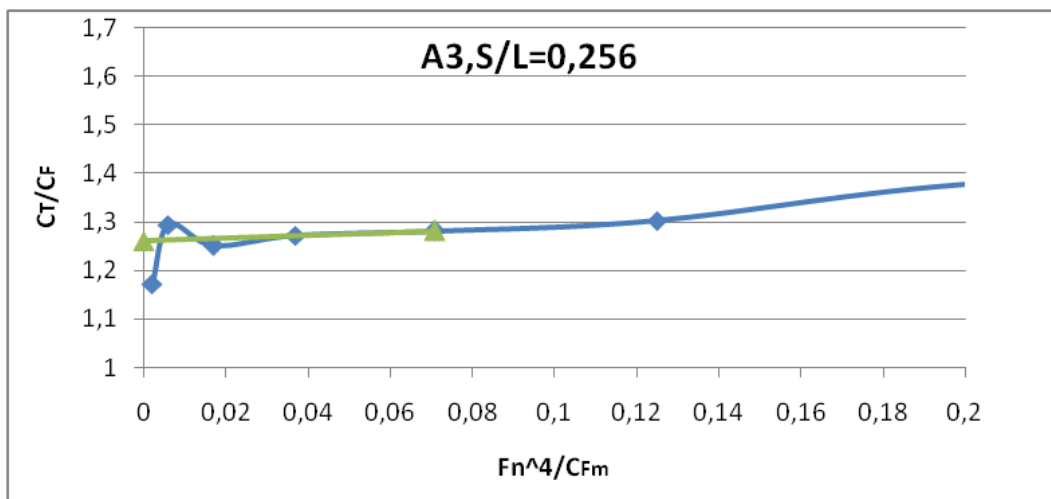
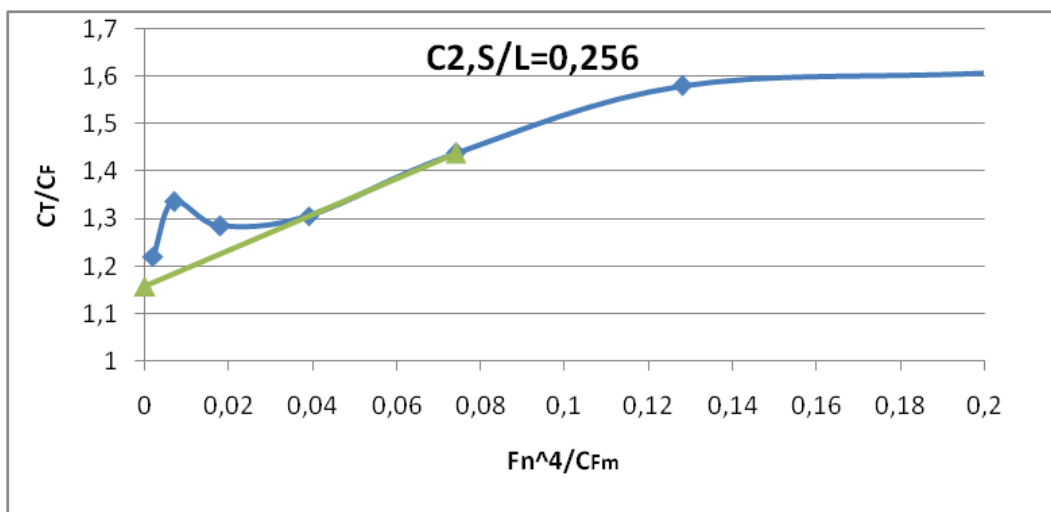
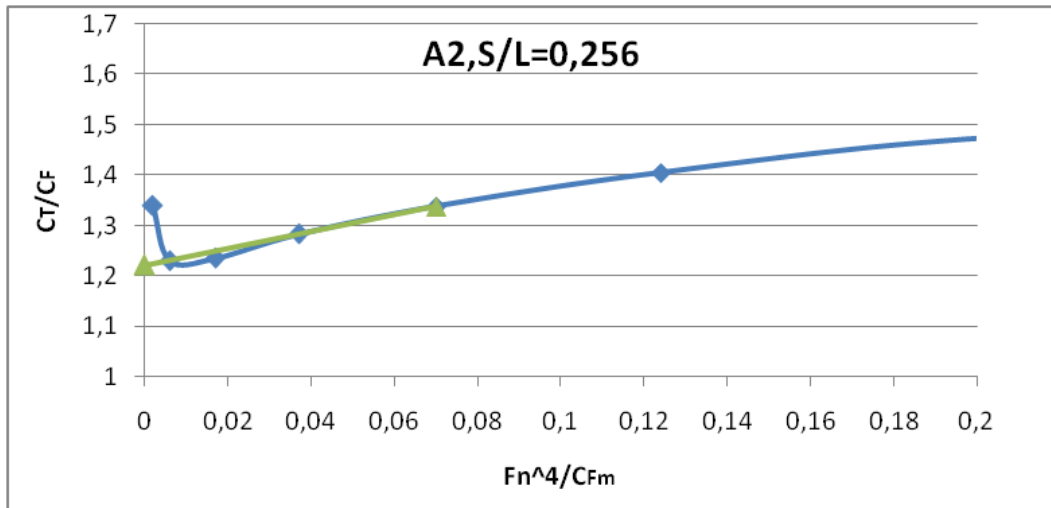


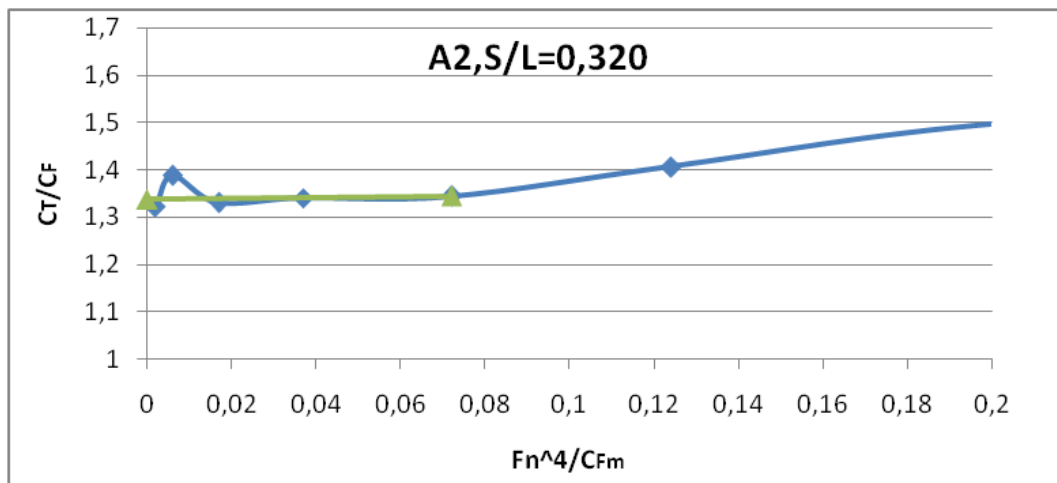
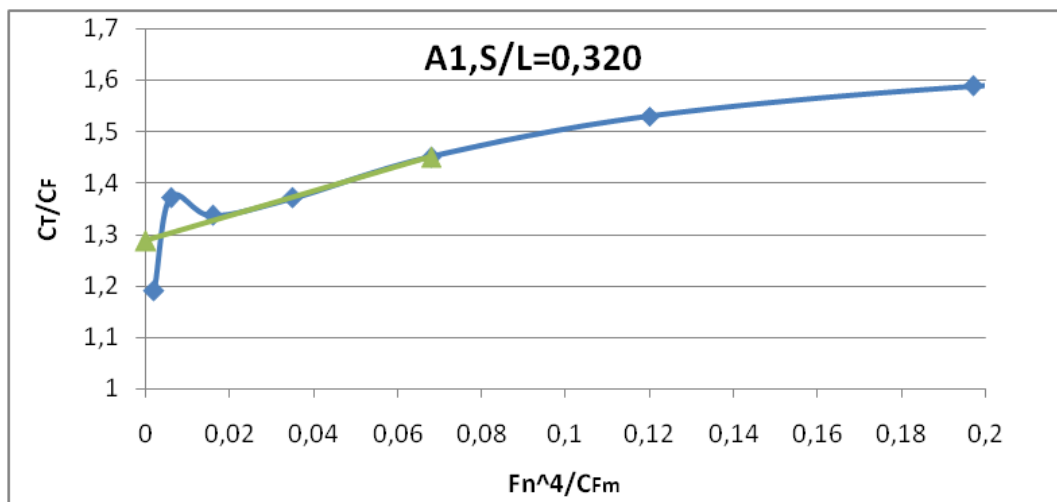
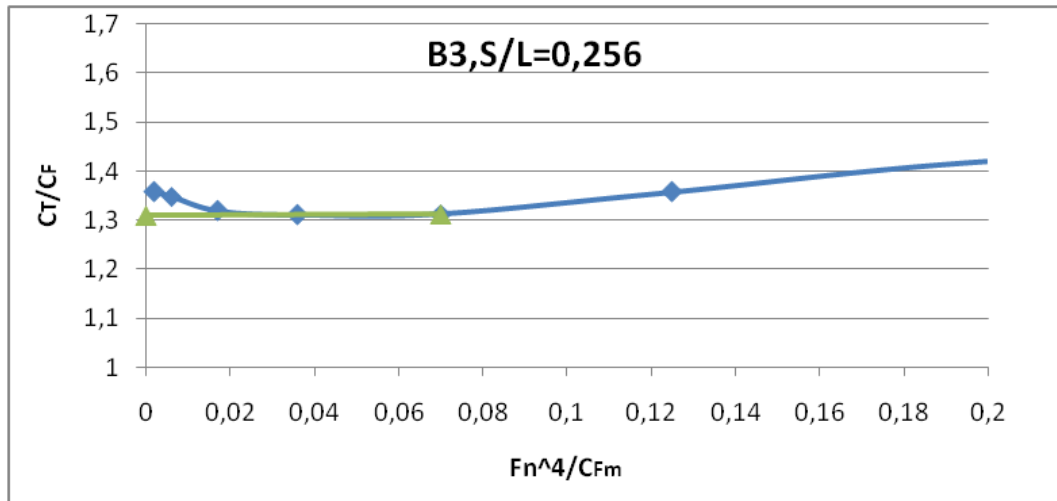
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

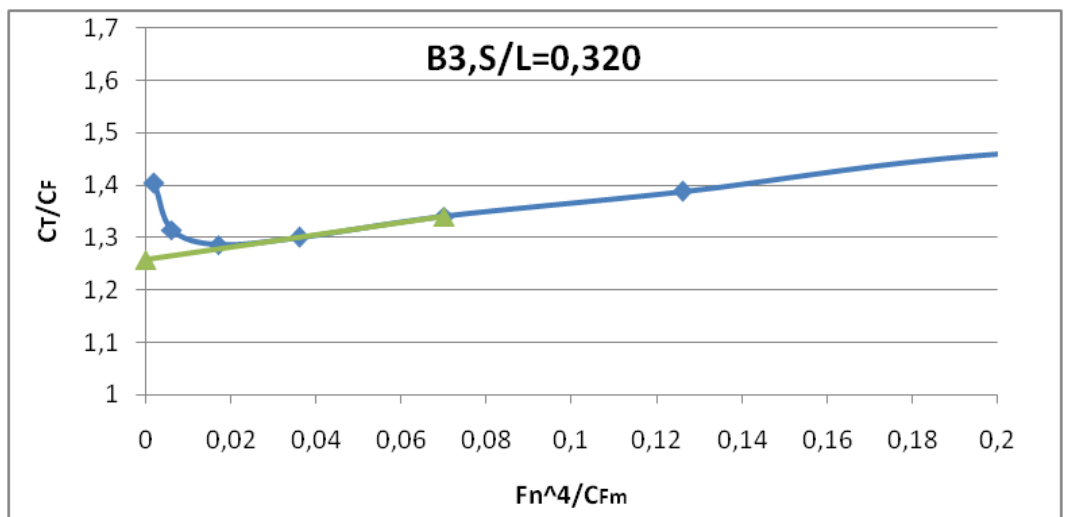
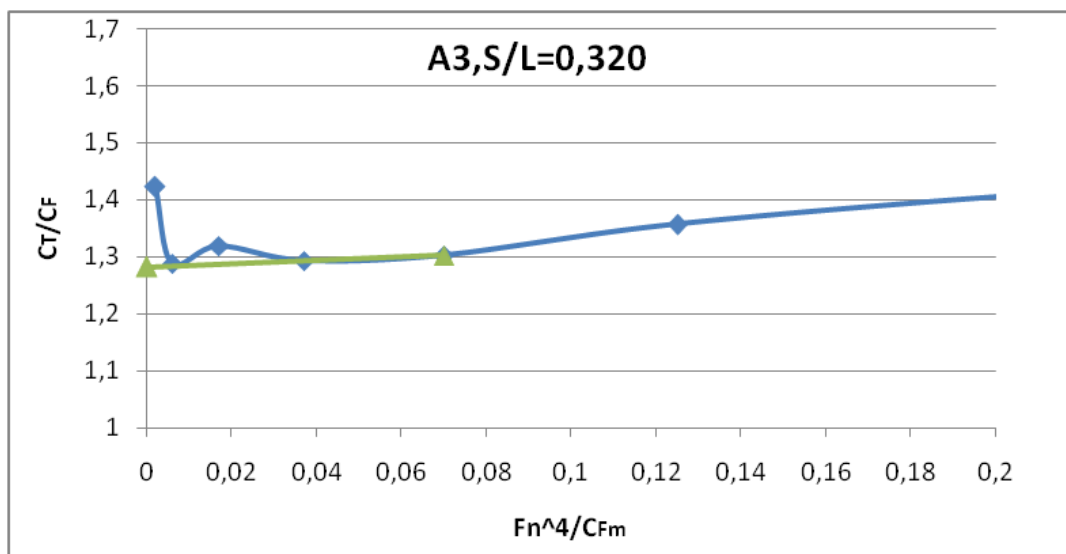
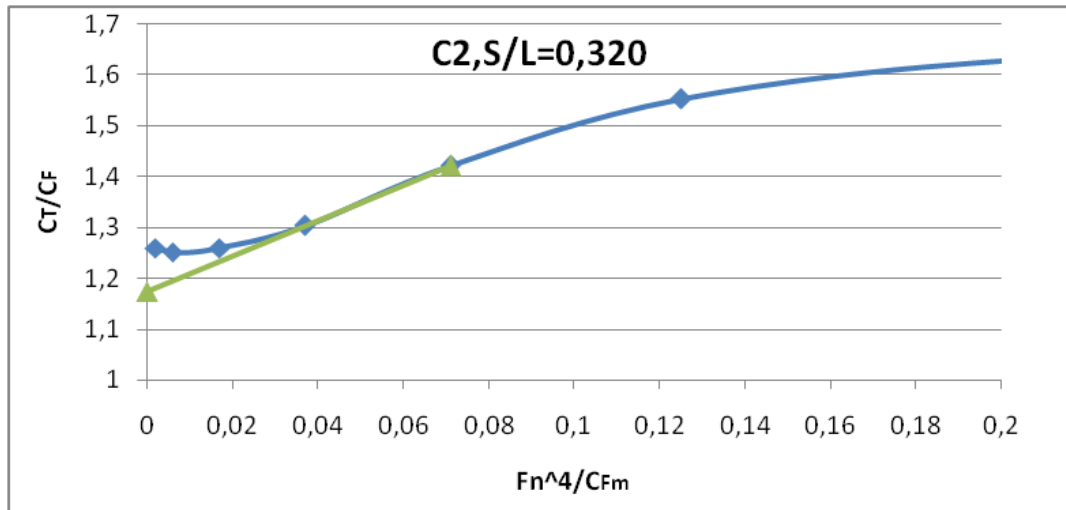
Διαγράμματα για τον υπολογισμό του αδιάστατου συντελεστή  $k$  μέσω της μεθόδου Prohaska











## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η

Παράδειγμα του αρχείου input file της κατάστασης A3, λόγου  
S/L=0.256 και ταχύτητας 15 kn

```
SDC_A3_S_L_0.256
IWIT_KCRT_IVIS_NGRI_MAD7_
0      01
VELIN_____ FROUDE_____ DENSIT_____ GRAV_____
-15.0_____          997._____  9.81_____
VISCOS
1.e-6
SCALEL_____ XLWL_____ UCROSS_____ CROSSL_____ URFV_____
0.00_____  77.600_____  +20._____
XGRAV_____ YGRAV_____ ZGRAV_____
38.773_____ -9.600_____ -7.0_____
EXALA_____ TRIM_____ URSINK_____ URTRIM_____ SINKLIM_____ TRIMLIM_____
9.9892_____ -0.047_____  0.5_____  0.5_____
DZWMIN_____ DZWMAX_____ DSURF_____ DYGMIN_____
0.01_____  0.1_____  +0.01_____
FREBO_____ FRELAS_____
30.
ISYM_MAST_MASG_MASW_MASY_
1      1000 050  050  050
ISUR_NSUR_ISPL_LAGR_ISU3_ICAU_
+2      1      00  00  +1
IDOB_NONO_MODG_ISUT_IS3T_ICAU_
1      01  +1  +0  +00
IBUL_IHUB_LTRA_NCAT_ISUC_
2      2      +1  01  +1
NKBL_NKHB_NPKL_LABA_ISUB_ITRL_
10     05     00
IVER_JUPA_IASC_ICON_ITRV_
+1     0     -4
JSUR_NOWC_KSCO_KGBC_MODE_
-02   +01   00  +000
ISIN_ITRI_KSIN_KTRI_
0
NK1M_NK2M_N3BM_N3SM_NK4M_NK5M_
70     10     40     40     30     90
NK1S_NK2S_N3BS_N3SS_NK4S_NK5S_
35     05     20     20     15     45
NK1F_NK2F_N3BF_N3SF_NK4F_NK5F_
0
NI1M_NI1S_NI1F_
20     10
NI2M_NI2S_NI2F_
20     10
NJ1M_NJ1S_NJ1F_
50     30
NJ2M_NJ2S_NJ2F_
20     10
DSURMA_____ DSURMI_____ TANEPT_____ TANEPL_____ TANBOD_____ TANTRA_____ YMINW
A_____
0.010_____  0.0010_____          +45._____  -
10.5
DELTAT_____ YCOREC_____ DXSCOB_____ DXSCOS_____ DXSCOR_____ COSMAT_____ TANZG
_____
```



```

-0.000      -0.0      0.      -00.0      0.      10000.
00.
URFVS_____URFTIM_____URFSUR_____URFBEM_____URFLEM_____BERNOUL_____URFPS
1.0          -0.0      -0.0      -0.0      0.00      -
1.0
ZBULB_____ZBOW_____ZCUT1_____ZCUT2_____ZCUT3_____ZSTER_____
-2.470      -4.570      0.0      71.630      71.630      77.430
ZG1_____ZMID_____ZG4_____ZG34_____ZTRANS_____
-120.00      36.      260.00      0.0000      77.430
DZBULB_____DZBOWM1_____DZBOWP1_____DZKB1M1_____DZSTERM1_____DZSTERP1_____
0.15      +0.3000      0.00000      0.3      0.3      0.3
OM3B_____DZKF1_____ZPAR1_____ZPAR2_____Z1KEEL_____Z2KEEL_____
1.5          0.400      0.      0.000
APLUS_____BPLUSB_____BPLUS_____DZHULL_____
0.200      0.300      0.50
ZHUB_____DZHUB_____
72.940      0.400
IVDH_MAXH_NST_____
0      030      +4
ISAV_ISAF_ISAM_MODF_____
-2      00      0000
RR1_____RR2_____RR3_____SORMH_____
0.      0.      00.      0.0001
CONFOR*****
*****
ICU1_ICU2_ICU3_ICB1_ICB2_____
0      0      0
KVDU_IPRK_IPR2_IPRB_IPLO_____
-0      0      +0      +0      +0
ZCUB1_____ZCUB2_____ZCUBB1_____ZCUBB2_____DABAX_____
0.00      00.
GRID*****
*****
NISO_IXCO_KVDU_ITRB_IKB1_____
-1
NI1_NI2_NI3_NI4_NI5_NIBU_____
10      10      20      20      20      10
IAB3_IAM3_IAS3_ISPS_ITRA_____
3      3      3      +5
DRINV_____ANJY_____EXPA3Y_____DAR1_____DAR2_____DAR3_____DAR4_____
0.01
EXPAB_____EXPAD_____EXPA2B_____EXPA2S_____EXPA3S_____
0.
DEXFIR_____DEXLAS_____BCANAL_____BCANALD_____DCANAL_____DEXFIRL_____DEXLA
SL_____
120.0      150.0      1.0      1.0      0.50
NKB_NJB_NJD_IADB_____
-0

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ

Πίνακας με την πυκνότητα και την κινηματική συνεκτικότητα του γλυκού και θαλασσινού νερού για διάφορες θερμοκρασίες

ΘΕΡΜΟ- ΚΡΑΤΙΑ	ΓΑΛΚΟ ΝΕΡΟ		ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	
	Πυκνότητα $\rho$ $\frac{\text{kg-sec}^2}{\text{m}^3}$	Κινηματικό λέπδες ν $\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \times 10^6$	Πυκνότητα $\rho$ $\frac{\text{kg-sec}^2}{\text{m}^3}$	Κινηματικό λέπδες ν $\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \times 10^6$
0	101,95	1,78667	104,83	1,82844
1	101,95	1,72701	104,82	1,76915
2	101,96	1,67040	104,81	1,71306
3	101,96	1,61665	104,81	1,65988
4	101,96	1,56557	104,80	1,60940
5	101,96	1,51698	104,79	1,56142
6	101,96	1,47070	104,77	1,51584
7	101,95	1,42667	104,76	1,47242
8	101,95	1,38471	104,74	1,43102
9	101,94	1,34463	104,73	1,39152
10	101,93	1,30641	104,71	1,35383
11	101,92	1,26988	104,69	1,31773
12	101,91	1,23495	104,68	1,28324
13	101,90	1,20159	104,65	1,25028
14	101,88	1,16964	104,63	1,21862
15	101,87	1,13902	104,61	1,18831
16	101,86	1,10966	104,59	1,15916
17	101,84	1,08155	104,56	1,13125
18	101,82	1,05456	104,54	1,10438
19	101,80	1,02865	104,52	1,07854
20	101,78	1,00374	104,49	1,05372
21	101,76	0,97984	104,46	1,02981
22	101,74	0,95682	104,43	1,00678
23	101,71	0,93471	104,40	0,98457
24	101,69	0,91340	104,37	0,96315
25	101,66	0,89292	104,34	0,94252
26	101,64	0,87313	104,31	0,92255
27	101,61	0,85409	104,28	0,90331
28	101,58	0,83572	104,24	0,88470
29	101,55	0,81798	104,21	0,86671
30	101,52	0,80091	104,18	0,84931

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Γ. Κ. Πολίτης, "Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου", Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 2) Στυλιανός Πολύζος, "Numerical Investigation of the Wave Resistance of Catamaran Ships using Potential Solvers", Master Thesis, Athens, July 2010 (Επιβλέπων: Γ Τζαμπίρας)
- 3) Α.Δ. Παπανικολάου, "Μελέτη πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης", Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2009
- 4) Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, "Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών", Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 5) Hess, J.L. Smith, A.M.O., 1966. Calculations of Non-Lifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies", Report No. E.S. 40622, Douglas 15 March 1962
- 6) Φ.Μ. Κορκόκιος, "Μελέτη Δίγαστρου Επιβατηγού Οχηματαγωγού Πλοίου", Αθήνα 2006 (Επιβλέπων: Γ. Ζαραφωνήτης)
- 7) Ν. Βασιλειάδης, "Πειραματική και Αριθμητική Διερεύνηση Αντίστασης Πλοίων Τύπου Semi-Swath", Αθήνα 2010 (Επιβλέπων: Γ. Γρηγορόπουλος)
- 8) Υ. Balasubramanyam and R. Natarajan "Effent of Bow and Stern Shapes on the Resistance Characteristics of a Catamaran", Indian Institute of Technology Madras, India 2005
- 9) Σ. Τσαγκάρης, "Μηχανική των ρευστών", Εκδόσεις Συμεών
- 10) Γ. Μπεργελές, "Υπολογιστική Ρευστομηχανική", Εκδόσεις Συμεών