



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ  
ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ”**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΠΑΛΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. Γ. ΤΖΑΜΠΙΡΑΣ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ : 2012-2013  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ : 08107004**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο 'Αριθμητική και Πειραματική Διερεύνηση Αντίστασης και Προφίλ Κύματος Δίγαστρου Σκάφους Χωρίς Βολβό' εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2012-2013, στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου, κ. Γ. Τζαμπίρα, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου τη διπλωματική εργασία καθώς και για τη μεγάλη του διάθεση να με καθοδηγήσει και να με βοηθήσει σε όποιες δυσκολίες συνάντησα κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γ. Ζαραφωνίτη για τη βοήθεια του σχετικά με τα απαραίτητα υδροστατικά μεγέθη και τη γεωμετρία της γάστρας του μοντέλου που χρειαζόμουν καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Μπελμπασάκη για την αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Ι. Τραχανά (ΕΤΕΠ) για την ταχεία εκτέλεση της συνολικής πειραματικής διαδικασίας καθώς και για τη διάθεσή του να μου εξηγήσει όποιες απορίες είχα πάνω στον τρόπο λειτουργίας των πειραματικών οργάνων, τον κ. Δ. Τριπερίνα Διπλ. Ναυπηγό Μηχ. Μηχανικό (ΙΔΑΧ) για τις πολύτιμες συμβουλές του και την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων, τον κ. Γ. Μυλωνά (Προτυποποιό, ΙΔΑΧ) για την κατασκευή αλλά και τη γρήγορη επιδιόρθωση του πρότυπου μοντέλου όταν αυτό παρουσίασε πρόβλημα καθώς τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Δ. Λιαροκάπη (ΙΔΑΧ) και κ. Φ. Κασάπη (ΕΕΔΙΠ) για την λήψη πειραματικών μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Σ. Πολύζο για την πολύτιμη βοήθειά του και για το χρόνο που μου αφιέρωσε για την επεξήγηση και εξοικείωσή μου με το πρόγραμμα *catamaran.f*, την εκπόνηση της αριθμητικής διερεύνησης και την εύρεση του καταλληλότερου πλέγματος για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη λήψη του προφίλ των κυματισμών.

Κλείνοντας θα ήθελα να αναφέρω πως συνολικά όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής από το ξεκίνημα της διπλωματικής μου εργασίας με έκανε να αισθανθώ πολύ οικεία λόγω της εξαιρετικής τους συμπεριφοράς προς το πρόσωπό μου, με αποτέλεσμα η διαδικασία της διπλωματικής να μου είναι ιδιαίτερα ευχάριστη και να τη θυμάμαι πάντα στο μέλλον με αγάπη.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	6
1.1 ΔΙΓΑΣΤΡΑ ΣΚΑΦΗ.....	7
1.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	11
1.2.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ.....	12
1.2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	14
1.2.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	15
1.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ.....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	20
2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	21
2.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ.....	21
2.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	22
2.1.3 ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟ-ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ RESISTANCE, HEAVE, RITCH.....	24
2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ.....	24
2.2.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	25
2.2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ.....	27
2.2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΡΟΝΕΥΤΑΣΜΟΥ.....	29
2.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	33
2.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	35
2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ WAVECUTS.....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	42
3.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ.....	43
3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΗ FROUDE.....	44
3.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RESOUT ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΘΟΔΟΥ FROUDE.....	45
3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	49
3.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	49
3.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ S/L ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	63
3.4.2.1 ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΓΑΣΤΡΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΙΓΑΣΤΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	63
3.4.2.2 ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΗΜΙΓΑΣΤΡΩΝ.....	75
3.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	90
3.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	95
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	97
4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CATAMARAN.F.....	98
4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ.....	100
4.3 ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΙΟΥ.....	102
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ HUGHES ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ PRONASKA.....	108
4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ CW ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....	111
4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....	114

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ

---

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RESOUT.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ $k\rho$ ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ $S/L$ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.....	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ $S/L$ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.....	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ cm ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ $S/L$ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.....	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ $PS$ ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ $S/L$ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ.....	149
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ	
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ $k$ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PRONASKA ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HUGHES.....	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ	
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ INPUT FILE ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ $A3$ ΤΟΥ ΜΟΝΟΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΩΝ 17knots.....	153
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η	
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.....	155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	157

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικό χαρακτηριστικό όλων των σωμάτων που κινούνται μέσα σε ένα ρευστό, όπως είναι το θαλασσινό νερό, είναι η αντίσταση που οφείλεται σε απώλειες ενέργειας λόγω της επαφής του σώματος με το περιβάλλον ρευστό και προκύπτει από το ολοκλήρωμα των στοιχειωδών δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε σημείο επαφής της γάστρας με το ρευστό που την περιβάλλει. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, κατά το στάδιο της προμελέτης ένα από τα βασικά ζητούμενα είναι η αντίσταση του πλοίου να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Αυτό συμβαίνει καθώς μικρότερη αντίσταση συνεπάγεται όχι μόνο επιλογή οικονομικότερης προωστήριας εγκατάστασης και μικρότερο κόστος συντήρησής της αλλά και μικρότερο κόστος κίνησης που δίνει τη δυνατότητα μεγιστοποίησης της οικονομικής εκμετάλλευσης του πλοίου. Το μικρότερο κόστος κίνησης μάλιστα αποκτά ιδιαίτερη σημασία εάν αναλογιστεί κανείς την αυξανόμενη τάση της τιμής των καυσίμων που έχει ως αποτέλεσμα το κόστος κίνησης να αποτελεί ολοένα μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού λειτουργικού κόστους του πλοίου. Η αντίσταση συνεπώς επιδρά σε μεγάλο βαθμό σε ένα πλήθος παραμέτρων του αρχικού σχεδιασμού ενός πλοίου όπως είναι η μορφή της γάστρας του πλοίου, το κόστος κατασκευής της, το ωφέλιμο φορτίο, η επιλογή κύριας μηχανής και έλικα πρόωσης.

Αναφορικά με τα πλοία διπλής γάστρας ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι το catamaran, το οποίο συνίσταται σε δύο γάστρες που ικανοποιούν τις απαιτήσεις για άντωση και ευστάθεια και συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας υπερκατασκευής, η οποία παρέχει το σύνολο του εκμεταλλεύσιμου όγκου του. Η σχεδίαση αυτού του τύπου πλοίων έχει αντικειμενικό σκοπό την καλύτερη συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και τη μικρότερη δυνατή αντίσταση. Σημαντικό ρόλο στη σχεδίαση τους διαδραματίζει η απόσταση μεταξύ των δύο γαστρών, η οποία έχει άμεση σχέση με την αντίσταση του πλοίου λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ημιγαστρών. Η επιλογή της κατάλληλης απόστασης μεταξύ τους έχει ιδιαίτερη σημασία και αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στην διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική και αριθμητική διερεύνηση της αντίστασης και του ύψους κύματος ενός δίγαστρου σκάφους χωρίς βολβό σε ήρεμο νερό. Για την αντίσταση μελετήθηκαν πέντε καταστάσεις φόρτωσης για ένα εύρος ταχυτήτων από 3 έως 20 knots σε κλίμακα πλοίου, τόσο για το πλοίο μονής γάστρας, όσο και για τρεις αποστάσεις μεταξύ των ημιγαστρών. Αντίστοιχα, για το ύψος κύματος μελετήθηκαν δύο καταστάσεις φόρτωσης για τρεις ταχύτητες (14knots, 17knots, 20knots) για το μονόγαστρο σκάφος και για το δίγαστρο σκάφος μία κατάσταση φόρτωσης για τις τρεις παραπάνω ταχύτητες για τρεις αποστάσεις μεταξύ των ημιγαστρών, που ήταν οι ίδιες με αυτές που μελετήθηκαν στην αντίσταση.

Τα πειράματα διεξήχθησαν στην πειραματική δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου χρησιμοποιώντας γεωμετρικά όμοιο μοντέλο σε κλίμακα 1/23.5. Οι αποστάσεις των διαμήκων αξόνων συμμετρίας των δύο ημιγαστρών (S) που μελετήθηκαν είναι 13.583m, 18.8m και 23.5m σε

κλίμακα πλοίου και εκφράζονται με το λόγο  $S/L$ , όπου  $L$  είναι το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου. Η αριθμητική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα `catamaran.f` που είναι γραμμένο σε γλώσσα Fortran και αναπτύχθηκε στο ΕΝΘΥ από τον καθηγητή κ.Γ. Τζαμπίρα.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αρχικά γίνεται περιγραφή των πιο διαδεδομένων τύπων πλοίων διπλής γάστρας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους και στη συνέχεια αναλύεται η αντίσταση στις επιμέρους συνιστώσες της, δηλαδή στην αντίσταση τριβής και στην αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας. Αναφορά γίνεται επιπρόσθετα και στην αντίσταση λόγω κυματισμού. Τέλος, παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά σχεδίασης του υπό μελέτη πλοίου καθώς και ο υδροστατικός πίνακας των μελετούμενων καταστάσεων φόρτωσης.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφονται η πειραματική εγκατάσταση, το μοντέλο πειραμάτων, τα χρησιμοποιούμενα μετρητικά όργανα και οι αρχές λειτουργίας τους καθώς και η πειραματική διαδικασία. Ακόμη γίνεται περιγραφή των αισθητήρων με τους οποίους μετρήθηκε το ύψος κύματος, όπως και η αντίστοιχη πειραματική διαδικασία.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων μέσω της υπόθεσης Froude και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα. Ο σχολιασμός τους γίνεται υπό το οπτικό πρίσμα τριών παραμέτρων. Η πρώτη παράμετρος αφορά την επίδραση του εκτοπίσματος στην αντίσταση, η δεύτερη την επίδραση του λόγου  $S/L$  στην αντίσταση και η τρίτη την επίδραση της διαγωγής στην αντίσταση. Μάλιστα, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά ενός γεωμετρικά όμοιου πλοίου με βολβό για να διαπιστωθεί η επίδραση του βολβού στην αντίσταση.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αριθμητική διερεύνηση της αντίστασης με το πρόγραμμα `catamaran.f` μέσω του συντελεστή αντίστασης κυματισμού, ο οποίος στη συνέχεια συγκρίνεται με αυτόν της πειραματικής διαδικασίας. Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση του ύψους κύματος μεταξύ της πειραματικής και αριθμητικής διερεύνησης για να διαπιστωθεί πόσο καλά μπορεί να αποδώσει το πρόγραμμα `catamaran.f` τη δημιουργηθείσα ελεύθερη επιφάνεια σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την επιφάνεια της γάστρας.

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

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1 ΔΙΓΑΣΤΡΑ ΣΚΑΦΗ

Η αυξανόμενη απαίτηση για μεγαλύτερο χώρο στα καταστρώματα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και βελτίωση των σκαφών διπλής γάστρας, τα οποία χρησιμοποιούνται τόσο ως ταχύπλοα όσο και ως ιστιοφόρα σκάφη. Ο πιο διαδεδομένος τύπος σκαφών διπλής γάστρας είναι το catamaran, το οποίο συνίσταται σε δύο γάστρες που ικανοποιούν τις απαιτήσεις για άντωση και ευστάθεια και συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας υπερκατασκευής, η οποία παρέχει το σύνολο του εκμεταλλεύσιμου όγκου του catamaran. Η κάθε μια από τις δύο γάστρες ονομάζεται ημιγάστρα (demihull) και μπορεί να είναι συμμετρική, ασύμμετρη ή ακόμα και πλήρως ασύμμετρη ως προς την centerline της.

Το βασικό πλεονέκτημα του catamaran αποτελεί η μεγάλη επιφάνεια των καταστρωμάτων του, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για τη μεταφορά των επιβατών και των οχημάτων. Σημειώνεται πως ένα σκάφος catamaran σε σχέση με ένα μονόγαστρο σκάφος του ίδιου εκτοπίσματος παρουσιάζει κατά μέσο όρο περίπου 30% μεγαλύτερη επιφάνεια καταστρώματος. Επιπλέον πλεονέκτημα του catamaran αποτελεί το γεγονός πως το ολικό πλάτος του είναι πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με αυτό ενός σκάφους μονής γάστρας, κάτι που αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για την οικονομική του εκμετάλλευση. Αξιοσημείωτα επίσης χαρακτηριστικά του catamaran είναι τόσο η καλή του συμπεριφορά σε διατοιχισμό όσο και η επαρκής του ευστάθεια, που οφείλονται εν μέρει στη κατάλληλη επιλογή της απόστασης των δύο γαστρών καθώς και στις μεγάλες ροπές αδρανείας των δύο γαστρών, οι οποίες συμβάλλουν στην σταθερότητα του σκάφους (stability) και στη μείωση των γωνιακών επιταχύνσεων που οδηγούν σε φαινόμενα διατοιχισμού. Τέλος, σαν πλεονέκτημα του catamaran μπορεί να αναφερθούν το σχετικά μικρότερό του βύθισμα σε σχέση με ενά σκάφος μονής γάστρας του ίδιου εκτοπίσματος με αποτέλεσμα τη δυνατότητα πλεύσης σε πιο ρηχές θάλασσες και λιμάνια καθώς και η μεγαλύτερη ελευθερία ως προς την επιλογή των βασικών διαστάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε λεπτόγραμμες γάστρες με μικρή αντίσταση, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό στη σχεδίαση των μονόγαστρων σκαφών λόγω απαιτήσεων ευστάθειας που πρέπει να ικανοποιηθούν.

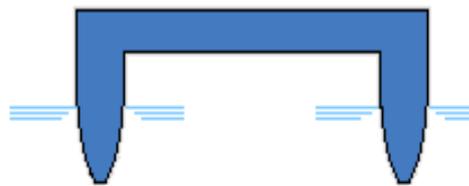
Αναφορικά με την αντίσταση, αυτή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τρεις παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι ο λόγος της απόστασης των δύο γαστρών ως προς το μήκος μεταξύ καθέτων της μιας γάστρας καθώς σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών από τις δύο ημιγάστρες (αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας) και σε γενικές γραμμές ισχύει ότι αύξηση της ισαπόστασης των δύο ημιγαστρών οδηγεί σε μειωμένη αντίσταση. Ο δεύτερος παράγοντας είναι ο λόγος λυγηρότητας  $L/V^{1/3}$ , όπου αύξηση του συνεπάγεται μείωση της αντίστασης καθώς το σκάφος γίνεται πιο λεπτόγραμμο, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις μελέτες του Molland το 1996 πάνω στην αντίσταση δίγαστρων και μονόγαστρων σκαφών. Ο τρίτος παράγοντας είναι ο λόγος της συνολικής βρεχόμενης επιφάνειας προς το εκτόπισμα  $WS/V^{2/3}$ , όπου αύξηση του συνεπάγεται αύξηση της συνολικής αντίστασης καθώς λόγω της βρεχόμενης επιφάνειας αυξάνεται η αντίσταση τριβής. Σημαντικό είναι να αναφερθεί και ο άμεσος συσχετισμός μεταξύ της αντίστασης του catamaran και του αριθμού Froude που οφείλεται στη μεγάλη βρεχόμενη επιφάνεια σε σχέση με ένα σκάφος μονής γάστρας και

ίδιου εκτοπίσματος λόγω της ύπαρξης δύο γαστρών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε μικρές ταχύτητες η αντίσταση του catamaran να είναι σχετικά μεγάλη καθώς κυριαρχεί η αντίσταση τριβής, η οποία εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη βρεχόμενη επιφάνεια. Ωστόσο σε υψηλότερες ταχύτητες, η αντίσταση του catamaran εμφανίζεται μειωμένη λόγω των μικρών γωνιών διαγωγής και της έναρξης της ολίσθησης (planing). Μάλιστα για υψηλές ταχύτητες, που αντιστοιχούν σε ογκομετρικούς αριθμούς Froude μεγαλύτερους του 4.6 το catamaran παρουσιάζει σαφές πλεονέκτημα στην αντίσταση έναντι των μονόγαστρων σκαφών καθώς οι γωνίες δυναμικής διαγωγής που παρουσιάζονται προσεγγίζουν τις βέλτιστες με αποτέλεσμα η αντίσταση να μειώνεται, μείωση που για πολύ μεγάλες ταχύτητες μπορεί να φτάσει και το 50%.

Τα catamaran χρησιμοποιούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, ενώ από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ξεκίνησαν να κατασκευάζονται μεγαλύτερα σε μήκος catamaran από 70 έως 100 μέτρα, με τις σύγχρονες τάσεις να θέλουν τα catamaran μεγαλύτερα των 110 μέτρων και εκτοπίσματος 2000 τόννων. Σε γενικές γραμμές, η κατασκευή των πλοίων catamaran είναι πιο πολύπλοκη από αυτήν της κατασκευής των μονόγαστρων αλλά πιο απλή από την κατασκευή άλλων ταχύπλων πλοίων. Ως υλικό κατασκευής αποφεύγεται ο χάλυβας και προτιμάται το αλουμίνιο με σκοπό τη μεγαλύτερη δυνατή μείωση του εκτοπίσματος που είναι αναγκαία για την επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων. Τέλος, ως προωστήρια μέσα συνήθως χρησιμοποιούνται τα water jets και ως κύριες μηχανές οι κινητήρες Diesel.



ΕΙΚΟΝΑ 1 : CATAMARAN PEGASUS ( $L_{OA}=45.74m$ )



ΕΙΚΟΝΑ 2 : ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ CATAMARAN

Εκτός από το catamaran, άλλος τύπος δίγαστρου σκάφους είναι το Wave Piercing Catamaran, το οποίο αν και παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το catamaran, αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστός τύπος πλοίου λόγω του ενδιαφέροντος που παρουσιάζει. Πρόκειται ουσιαστικά για δίγαστρο σκάφος με λεπτόγραμμες ημιγάστρες, ιδιόμορφη σχεδίαση του strut στην περιοχή της πλώρης και ένα τόξο προσαρμοσμένο στο προσωαίο τμήμα του πυθμένα της υπερκατασκευής που έχει ως σκοπό τη μείωση της έντασης των σφυροκρούσεων (Slamming). Συγκεκριμένα, το Wave Piercing Catamaran εμφανίζει πάρα πολύ καλή συμπεριφορά σε προνευτασμό (pitching) καθώς και μειωμένη αντίσταση

κυματισμού, η οποία οφείλεται στις πολύ οξείες γάστρες που το Wave Piercing Catamaran διαθέτει. Η καλή συμπεριφορά σε προνευτασμό από την άλλη οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή η κατηγορία πλοίων παρουσιάζει στο προωραίο τμήμα έλλειψη άντωσης με αποτέλεσμα όταν προσεγγίζεται ένα κύμα το πλοίο να το διαπερνά αντί να ακολουθεί την κορυφή του, όπως κάνουν τα περισσότερα συμβατικά design, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι κάθετες επιταχύνσεις στα καταστρώματα κάνοντας το ταξίδι πιο ήρεμο για τους ταξιδιώτες. Όπως γίνεται αντιληπτό, τα Wave Piercing Catamaran ενδείκνυνται για επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία ενώ έχουν βρει χρήση και για στρατιωτικούς σκοπούς καθώς έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ταχύτητα έως και 40 knots. Ως μειονέκτημα καταλογίζεται το γεγονός ότι η έλλειψη άντωσης στο προωραίο τμήμα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε περίπτωση τρικυμιώδους θάλασσας καθώς το πλοίο δεν «σηκώνεται» κατά το επιθυμητό πάνω από το κύμα. Να σημειωθεί επίσης πως τα Wave Piercing Catamaran κατασκευάζονται εξ'ολοκλήρου από αλουμίνιο και το ολικό τους μήκος έχει φτάσει ακόμη και τα 112 μέτρα.



**ΕΙΚΟΝΑ 3 : WAVE PIERCING CATAMARAN ( ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΤΟ ΤΟΞΟ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ )**

Τελευταίος τύπος δίγαστρων σκαφών είναι τα SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull). Τα πλοία SWATH χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή σε επιφάνεια ίσαλο καθώς και από τη βύθιση σχεδόν όλου του εκτοπίσματος μακριά από την ελεύθερη επιφάνεια. Η άντωση εξασφαλίζεται από δύο πλήρως βυθισμένες κυλινδρικές γάστρες, οι οποίες συνδέονται με το κατάστρωμα που έχει σχήμα ορογωνίου παραλληλεπιπέδου με δύο ή αρκετές φορές και με τέσσερα struts. Τα υποστηρίγματα αυτά, μαζί με την μικρή ίσαλο επιφάνεια και τη βύθιση του εκτοπίσματος μακριά από την ελεύθερη επιφάνεια, προσδίδουν στα πλοία SWATH εξαιρετική συμπεριφορά σε κυματισμούς. Ωστόσο, λόγω της κακής συμπεριφοράς των SWATH σε προνευτασμό κρίνεται αναγκαία η τοποθέτηση ειδικών πρόσθετων πτερυγίων αντιπρονευτασμού. Τα πλοία SWATH, λόγω της μικρής ισάλου επιφανείας, παρουσιάζουν μικρή αντίσταση κυματισμού αλλά μεγάλη αντίσταση τριβής, λόγω της μεγάλης βρεχόμενης επιφάνειας, με αποτέλεσμα η ταχύτητα τους σε ήρεμο νερό να περιορίζεται σε σχέση με άλλα ταχύπλοα πλοία. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται σε πολύ μεγάλο βάθος σε τρικυμιώδη θάλασσα, καθώς τα πλοία SWATH λόγω της εξαιρετικής τους

συμπεριφοράς σε κυματισμούς δύνανται να διατηρούν σταθερή την ταχύτητά τους σε αντίθεση με άλλους τύπους πλοίων που αναγκάζονται να ελαττώσουν σημαντικά την ταχύτητά τους ανάλογα με το ύψος κύματος που συναντούν. Η κατασκευή των πλοίων SWATH είναι περιορισμένη σε μέγεθος, ενώ κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται ως ωκεανογραφικά και επιβατηγά πλοία. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως υποκατηγορία των πλοίων SWATH θεωρούνται τα SEMI-SWATH, τα οποία παρουσιάζουν μικρή ίσαλο επιφάνεια στην πλώρη, όπως και τα SWATH, αλλά στην πρύμνη η ίσαλος επιφάνεια μεγαλώνει πλησιάζοντας αυτής των Catamaran. Με αυτό το τρόπο γίνεται πιο εύκολη η τοποθέτηση των κύριων μηχανών καθώς αυξάνεται δραστικά το διαθέσιμο πλάτος του πλοίου. Τα πλοία SEMI-SWATH κατασκευάζονται από αλουμίνιο και χρησιμοποιούνται κυρίως ως επιβατηγά-οχηματαγωγά, αναπτύσσοντας ταχύτητες ακόμα και άνω των 40 κόμβων.



**ΕΙΚΟΝΑ 4 : ΠΛΟΙΟ SWATH (ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΕΣ ΒΥΘΙΣΜΕΝΕΣ ΓΑΣΤΡΕΣ**



**ΕΙΚΟΝΑ 5 : ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ SWATH**

## 1.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, με τη χρήση των πρώτων μηχανοκίνητων προωστών για την κίνηση των πλοίων, κλήθησαν οι ναυπηγοί της εποχής να υπολογίσουν την απαιτούμενη υποδύναμη πρόωσης, η οποία είναι στενά συνυφασμένη με την αντίσταση ρυμούλκησης του πλοίου. Ο υπολογισμός της αντίστασης ήταν όχι μόνο σύνθετος να πραγματοποιηθεί αλλά ταυτόχρονα όφειλε να είναι εξαιρετικά ακριβής καθώς υποεκτίμηση της αντίστασης θα οδηγούσε σε μειωμένη από την επιθυμητή επιτεύξιμη ταχύτητα ενώ υπερεκτίμηση της αντίστασης θα οδηγούσε σε αύξηση του κόστους της μηχανολογικής εγκατάστασης και μείωση της μεταφορικής ικανότητας λόγω αύξησης του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης και της έκτασης του μηχανοστασίου. Όπως γίνεται συνεπώς αντιληπτό, η ανάγκη για τον ακριβή υπολογισμό της αντίστασης του πλοίου είναι μεγάλη και μέσα από συστηματικές έρευνες και μελέτες οι σύγχρονες αντιλήψεις για την αντίσταση παραθέτονται ακολούθως.

Η αντίσταση του πλοίου για μια δεδομένη ταχύτητα είναι ουσιαστικά η απαιτούμενη δύναμη που χρειάζεται για να ρυμουλκηθεί το πλοίο στην ταχύτητα αυτή σε ήρεμο νερό και οφείλεται σε απώλειες ενέργειας λόγω της επαφής της επιφάνειας της γάστρας του με το περιβάλλον ρευστό. Στη περίπτωση που η γάστρα δεν φέρει παρελκόμενα, τότε η αντίστασή της ονομάζεται αντίσταση γυμνής γάστρας (bare hull) ή ρυμούλκησης (towing) και είναι λίγο μειωμένη σε σχέση με την αντίσταση πρόωσης καθώς στην τελευταία παρουσιάζονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ έλικας και γάστρας.

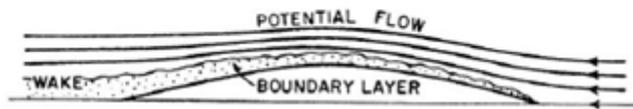
Κατά την κίνηση της γάστρας στο περιβάλλον ρευστό, σε κάθε σημείο της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας ασκείται μια στοιχειώδης δύναμη, η οποία μπορεί να αναλυθεί σε μια κάθετη συνιστώσα που οφείλεται στην πίεση και σε μια εφαπτόμενη στην επιφάνεια συνιστώσα που οφείλεται στη συνεκτικότητα.

Ας σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως συνεκτικότητα είναι χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα των ρευστών και είναι το αίτιο εμφάνισης της διατμητικής εντατικής κατάστασης στη μάζα τους. Συνεκτικότητα είναι η ιδιότητα των ρευστών να ανθίστανται στη διάτμησή τους, δηλαδή στη κίνηση ενός στοιχείου ως προς το διπλανό του. Από φαινομενολογικής σκοπιάς η συνεκτικότητα μοιάζει με την τριβή δύο στερεών σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή και κινούνται σχετικά. Για αυτό το λόγο ονομάζεται και εσωτερική τριβή αλλά ωστόσο η φύση των δύο δυνάμεων είναι εντελώς διαφορετική.

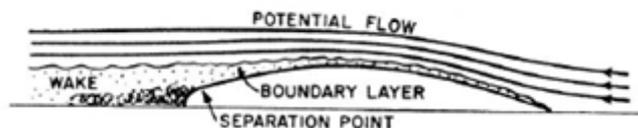
Συνεπώς, η αντίσταση του πλοίου είναι η προβολή κατά τη διεύθυνση του άξονα της κίνησης του ολοκληρώματος των στοιχειωδών αυτών δυνάμεων (κάθετων και εφαπτομενικών) στη συνολική βρεχόμενη επιφάνεια. Προκύπτουν κατά αυτόν τον τρόπο οι 2 βασικές συνιστώσες της αντίστασης του πλοίου που είναι η αντίσταση πίεσης και η αντίσταση τριβής, οι οποίες διαθέτουν η κάθε μια τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και θα αναλυθούν ξεχωριστά ακολούθως.

### 1.2.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η αντίσταση τριβής είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτομενικών τάσεων (τάσεων συνεκτικότητας) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής και είναι αποτέλεσμα της κίνησης ενός σώματος σε ένα συνεκτικό ρευστό καθώς σε ένα μη συνεκτικό ρευστό η αντίσταση τριβής είναι μηδενική. Κατά τη κίνηση αυτή, τα σημεία του ρευστού που βρίσκονται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια της γάστρας έχουν την ίδια ταχύτητα με αυτή και λόγω συνεκτικότητας θα θέσουν και τα γειτονικά υλικά σημεία σε κίνηση ίδιας κατεύθυνσης με το σώμα με συνέπεια τη δημιουργία οριακού στρώματος, το οποίο γίνεται παχύτερο από την πλώρη στην πρύμνη και διαφοροποιεί το γεωμετρικό σχήμα της γάστρας (ΣΧΗΜΑ 1). Επίσης, σε περίπτωση που η γάστρα είναι παχύγραμμη, στη περιοχή της πρύμνης η ροή δύναται να αποκολληθεί σε ένα σημείο που λέγεται σημείο αποκόλλησης με αρνητικά αποτελέσματα, όπως είναι η δημιουργία ανάστροφης ροής και δρόμου δινών (ΣΧΗΜΑ 2, ΣΧΗΜΑ 3).



ΣΧΗΜΑ 1 : ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (Γ.Κ Πολίτης)



ΣΧΗΜΑ 2 : ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΥΜΝΗΣ (Γ.Κ Πολίτης)

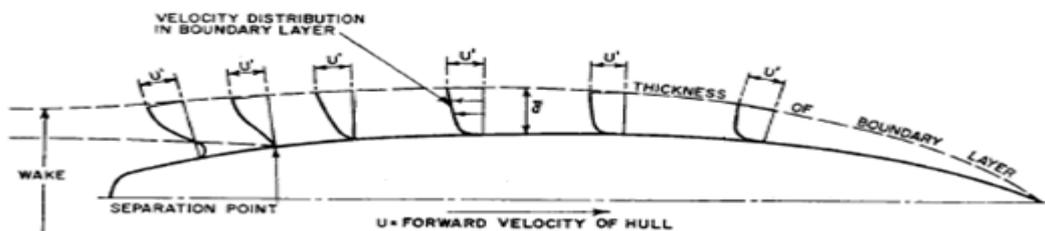


Fig. 26 Schematic diagram of boundary-layer flow

$U'$  = 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  $0.99 U'$

ΣΧΗΜΑ 3 : ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΡΟΗΣ (Γ.Κ Πολίτης)

Η αντίσταση τριβής μπορεί να διασπαστεί σε δύο επιμέρους συνιστώσες, την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας και την αντίσταση τριβής λόγω καμπυλότητας που αποτελεί μέρος της υπόλοιπης αντίστασης. Πιο αναλυτικά, η διαδρομή κατά μήκος μιας γραμμής ροής από την πλώρη στην πρύμνη είναι μεγαλύτερη σε ένα σχηματισμένο σώμα από ότι σε μια επίπεδη πλάκα και έτσι η μέση ταχύτητα είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα η πραγματική

τριβή να είναι μεγαλύτερη σε ένα πλοίο από ότι στην επίπεδη πλάκα. Συνεπώς, όσο πιο καμπυλόγραμμο είναι ένα σώμα τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της αντίστασης τριβής λόγω καμπυλότητας. Σημειώνεται πως η αντίσταση τριβής λόγω καμπυλότητας αποκτά νόημα μόνο υπό το οπτικό πρίσμα της σύγκρισης με το πρόβλημα αντίστασης επίπεδης πλάκας και σε περίπτωση που δημιουργηθεί σημείο αποκόλλησης ο συντελεστής αντίστασης καμπυλότητας μειώνεται σημαντικά.

Συνολικά, η αντίσταση τριβής χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από τον αριθμό Reynolds (Re). Ο αριθμός Re αποτελεί το λόγο των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας, σχετίζεται από φυσικής άποψης με τις επιδράσεις συνεκτικότητας και δίνεται από τη σχέση:

$Re = \frac{U \cdot L}{\nu}$ , όπου U είναι η ταχύτητα του σώματος, L είναι το μήκος του σώματος και  $\nu$  είναι η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού.

Άμεσος είναι ο και συσχετισμός μεταξύ του αριθμού Re και του οριακού στρώματος καθώς το αδιάστατο πάχος του οριακού στρώματος για τον ίδιο τύπο ροής, είτε στρωτή είτε τυρβώδης, μειώνεται αυξάνοντας τον αριθμό Re με αποτέλεσμα το πλοίο να έχει πιο λεπτό αδιάστατο οριακό στρώμα από ότι το μοντέλο αφού λειτουργεί σε μεγαλύτερο αριθμό Re. Επίσης, σημειώνεται πως για τον ίδιο αριθμό Reynolds το πάχος του οριακού στρώματος της στρωτής ροής είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της τυρβώδους. Η μετάβαση από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή συμβαίνει για αριθμούς Re από  $10^5$  έως  $10^6$  καθώς για χαμηλούς αριθμούς Re η ροή είναι στρωτή ενώ για μεγάλους αριθμούς Re η ροή γίνεται τυρβώδης αυξάνοντας την αντίσταση τριβής.

Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή αντίστασης τριβής,  $C_F$ , εισήχθησε από την International Towing Tank Conference (ITTC) το έτος 1957 με σκοπό να συσχετίσει με σχετική ακρίβεια την αντίσταση τριβής πλοίου-μοντέλου αντικαθιστώντας τον προηγούμενο συντελεστή συσχέτισης της ATTC που σε μερικές περιπτώσεις ήταν ανεπαρκής. Ο τύπος είναι γνωστός υπό την ονομασία καμπύλη της ITTC και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

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

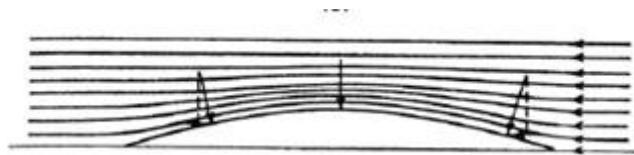
Από τον παραπάνω συντελεστή υπολογίζεται η αντίσταση τριβής από την εξής σχέση:

$$R_F = \frac{C_F \cdot \rho \cdot V^2 \cdot WS}{2}$$
, όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού, V είναι η ταχύτητα του πλοίου και WS είναι η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου.

Τέλος, σημειώνεται ότι η αντίσταση τριβής είναι κυρίαρχη σε χαμηλές ταχύτητες και, όπως φαίνεται παραπάνω, είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας, της τραχύτητας και της γεωμετρίας του σώματος. Αποτελεί ως ποσοστό της ολικής αντίστασης περίπου το 50% για πλοία υδροδυναμικής σχεδίασης υψηλών ταχυτήτων και περίπου το 85% για χαμηλής ταχύτητας δεξαμενόπλοια.

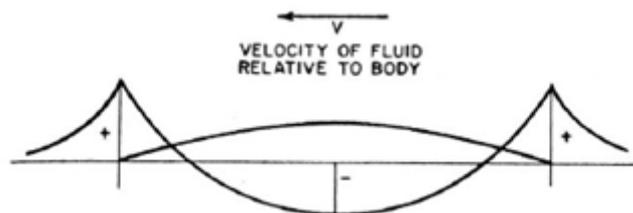
## 1.2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων τάσεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής και οφείλεται στη συνεκτικότητα του ρευστού και στη συνεπαγόμενη δημιουργία οριακού στρώματος. Πιο αναλυτικά, εάν ένα σώμα είναι βαθιά βυθισμένο σε ένα ιδανικό μη συνεκτικό ρευστό και κινείται οριζοντίως με σταθερή ταχύτητα τότε λόγω απουσίας συνεκτικότητας, όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η αντίσταση τριβής είναι μηδενική ενώ επειδή το σώμα είναι πλήρως βυθισμένο και δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια και η αντίσταση κυματισμού είναι μηδενική. (ΣΧΗΜΑ 4)



ΣΧΗΜΑ 4 : ΠΛΗΡΩΣ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟ ΣΩΜΑ ΣΕ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟ (ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ) (Γ.Κ Πολίτης)

Για το παραπάνω βυθισμένο σώμα η ταχύτητα της ροής στην πλώρη και στην πρύμνη του σώματος είναι μηδενική (σημεία ανακοπής), ενώ πλησιάζοντας το παράλληλο τμήμα του σώματος η ταχύτητα της ροής αυξάνεται επιτυγχάνοντας τη μέγιστη τιμή της. Από την εξίσωση Bernoulli, όπου ταχύτητα και πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη, προκύπτει ότι η πίεση θα είναι μέγιστη στην πλώρη και την πρύμνη ενώ θα ελαττώνεται πλησιάζοντας προς το μέσο τμήμα. Για το λόγο αυτό και εξαιτίας της συμμετρικότητας του σώματος η κατανομή της πίεσης παρουσιάζεται ακολούθως (ΣΧΗΜΑ 5).



ΣΧΗΜΑ 5 : ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟ ΣΩΜΑ (Γ.Κ Πολίτης)

Οι ασκούμενες δυνάμεις θα οφείλονται αποκλειστικά στις πιέσεις, καθώς η αντίσταση τριβής και κυματισμού θα είναι μηδενικές, και επειδή κατά μήκος του σώματος θα είναι κάθετες στο σώμα μπορεί να αποδειχθεί πως θα αλληλοεξουδετερώνονται με αποτέλεσμα το σώμα να έχει μηδενική αντίσταση πίεσης και άρα και μηδενική συνολική αντίσταση.

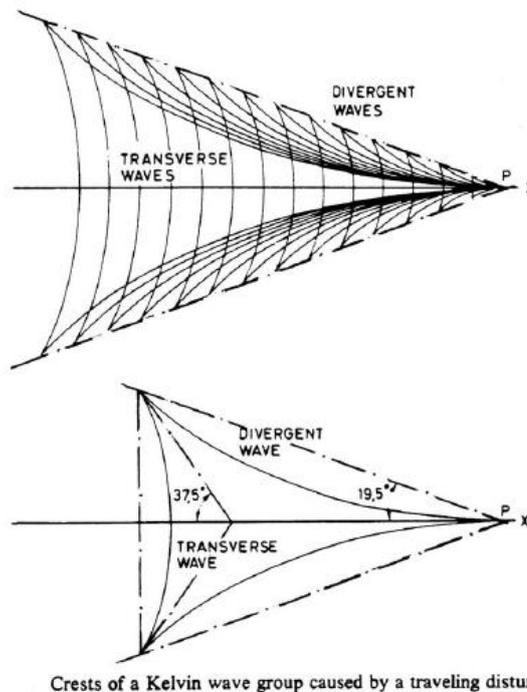
Αντιθέτως, εάν το παραπάνω σώμα είναι πλήρως βυθισμένο σε ένα πραγματικό συνεκτικό ρευστό, τότε, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως και στην αντίσταση τριβής, θα δημιουργηθεί ένα οριακό στρώμα που θα διαφοροποιεί το γεωμετρικό σχήμα του σώματος με συνέπεια αυτό το οριακό στρώμα να μεταβάλλει την κατανομή πίεσης σε σχέση με την προηγούμενη κατανομή σε μη συνεκτικό ρευστό, μειώνοντας τις πιέσεις στην πρύμνη. Έτσι, η ύπαρξη του οριακού στρώματος οδηγεί σε μείωση της οριζόντιας συνιστώσας της πίεσης αυξάνοντας - δημιουργώντας - κατά αυτό τον τρόπο την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας.

Η αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας και της γεωμετρίας του σώματος. Αποτελεί μέρος της υπόλοιπης αντίστασης ενώ σημειώνεται πως μαζί με την αντίσταση τριβής ονομάζονται αντίσταση συνεκτικότητας του σώματος.

### 1.2.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η αντίσταση κυματισμού προκαλείται από τα κύματα που δημιουργεί ένα σώμα κατά την κίνησή του με σταθερή ταχύτητα σε ήρεμο νερό και σχετίζεται με την συνισταμένη δύναμη που είναι κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα των κάθετων πιέσεων που ασκούνται στο σώμα. Το σώμα κινούμενο κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού μέσω των 'κινούμενων σημείων πίεσης' προκαλεί κύματα που απλώνονται μακριά από το σώμα μεταφέροντας ορισμένο ποσό ενέργειας που διασκορπίζεται στη θάλασσα.

Η πρώτη θεωρητική προσπάθεια για τον υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού πραγματοποιήθηκε από τον Lord Kelvin τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, σύμφωνα με την οποία ένα μοναδικό σημείο πίεσης που κινείται με ταχύτητα ίδια με αυτή του πλοίου σε ευθεία γραμμή πάνω στην επιφάνεια του νερού δημιουργεί ένα σύστημα εγκάρσιων κυματισμών (transverse waves) μαζί με μια σειρά αποκλίνοντων κυματισμών (divergent waves) που απλώνονται πίσω από το σημείο πίεσης. Ο συνολικός σχηματισμός κυμάτων βρίσκεται μέσα σε δύο γραμμές που ξεκινούν από το σημείο πίεσης και σχηματίζουν γωνίες περίπου 19.5 ° μοιρών ως προς τη διεύθυνση της κίνησης. Το σύστημα αυτό των κυματισμών παρουσιάζεται στο σχήμα 6 :



ΣΧΗΜΑ 6 : ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ (Γ.Κ Πολίτης)

Ο Newman το 1977 στηριζόμενος στη μέθοδο σταθερής φάσης και βασιζόμενος σε ενεργειακά επιχειρήματα κατέληξε για τον υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού στην ακόλουθη σχέση,

$$R_W = \frac{1}{2} * \pi * \rho * U^2 * \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |A(\theta)|^2 * \cos^2 \theta d\theta$$

ενώ αργότερα το 1951 ο Lunde στηριζόμενος στην θεωρητική προσέγγιση του Lord Kelvin εισήγαγε την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή αντίστασης για γάστρα μορφής Wigley:

$$C_W = \frac{125 * R_W}{\pi * 0.5 * \rho * U^2 * V^3}$$

Η ανάπτυξη της θεωρίας αντίστασης κυματισμών στα δίγαστρα σκάφη αρχικά στηρίχθηκε στην υπέρθεση των κυματισμών που δημιουργεί η μία γάστρα χωρίς την παρουσία της άλλης, με αποτέλεσμα το πλάτος  $A(\theta)$  στη σχέση του Newman να προκύπτει από το άθροισμα του πλάτους κυματισμού της κάθε γάστρας. Στην πραγματικότητα όμως, το συνολικό σύστημα κυματισμών επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση των δύο γαστρών καθώς τα διαθλώμενα κύματα περιλαμβάνουν αντανακλώμενα και μεταδιδόμενα κύματα. Έτσι, για τον υπολογισμό της υδροδυναμικής συμβολής της γάστρας υποθέτεται σε πρώτο επίπεδο πως αυτή δεν υπάρχει και κατόπιν θεωρείται μια γωνία Kelvin  $\alpha_c$  για μία από τις δύο γάστρες και διαπιστώνεται εάν τα κύματα μέσα στη γωνία αυτή βρίσκονται σε πορεία σύμπτωσης με την άλλη γάστρα και κατά συνέπεια διαθλώνται απο αυτή. Για αυτό το λόγο, το μήκος της γάστρας που επηρεάζεται από το κύμα δίνεται από την εξής σχέση :

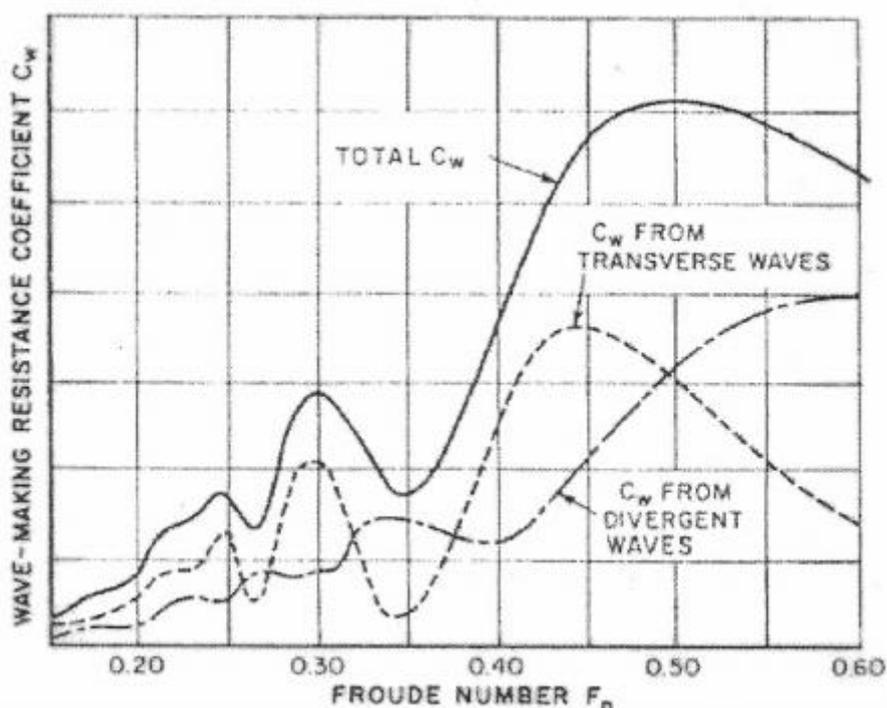
$$L_W = L - (b_1 + 0.5 b_2) * \cot \alpha_c$$

Οι πιο πρόσφατες μελέτες για τον αριθμητικό υπολογισμό της αντίστασης κυματισμού πραγματοποιούνται μέσω των μεθόδων συνοριακών στοιχείων. Σε αυτές τις μεθόδους η επιφάνεια της γάστρας προσεγγίζεται με μια σειρά στοιχείων από κατανεμημένες πηγές και καταβόθρες, οι οποίες βρίσκονται πάνω στην πραγματική επιφάνεια της γάστρας αντί στο κεντρικό επίπεδο, όπως γίνεται στη μέθοδο προσέγγισης λεπτόγραμμου πλοίου, με συνέπεια την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής γεωμετρίας της γάστρας.

Γενικότερα, η αντίσταση κυματισμού εξαρτάται από τη βρεχόμενη επιφάνεια του σώματος, από τη γεωμετρία της γάστρας καθώς και από την ταχύτητα με την οποία κινείται το πλοίο ενώ σημειώνεται πως είναι κυρίαρχη κυρίως σε μεγάλες ταχύτητες, δηλαδή σε μεγάλους αριθμούς Froude. Η αντίσταση κυματισμού σε αντίθεση με την αντίσταση τριβής και την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας δεν είναι μηδενική για ιδανικό μη συνεκτικό ρευστό και αποτελεί μέρος της της υπόλοιπης αντίστασης. Μπορεί επίσης να διαχωριστεί σε αντίσταση σχηματισμού κυματισμών (wave pattern resistance) και σε αντίσταση θραύσεως κυματισμών (wave breaking resistance). Μάλιστα, σε ταχύπλοα σκάφη, η θραύση των κυματισμών, ιδιαίτερα στην περιοχή της πλώρης, μπορεί να έχει αρνητική συνέπεια στο υπόστρωμα της ελεύθερης επιφάνειας δημιουργώντας πρόσθετη αντίσταση αφρού (spray resistance).

Για την μείωση της αντίστασης κυματισμού κρίνεται σκόπιμη η σχεδίαση λεπτόγραμμων γαστρών, η επιλογή της κατάλληλης απόστασης μεταξύ των ημιγαστρών εφόσον πρόκειται για δίγαστρο πλοίο, καθώς και στη σχεδίαση βολβού στο προωραίο τμήμα, η οποία μέσω πειραμάτων έχει δείξει πως μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στην ολική αντίσταση του πλοίου.

Τέλος, παρουσιάζεται τυπικό διάγραμμα του συντελεστή αντίστασης κυματισμού συναρτήσει του αριθμού Froude, το οποίο διαχωρίζεται στον συντελεστή αντίστασης που οφείλεται στους εγκάρσιους κυματισμούς και στον συντελεστή αντίστασης που οφείλεται στους αποκλίνοντες κυματισμούς (ΣΧΗΜΑ 7).



ΣΧΗΜΑ 7 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ (Γ.Κ Πολίτης)

### 1.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ

Το υπό μελέτη πλοίο είναι δίγαστρο, τύπου catamaran, με δύο ίδιες ημιγάστρες. Τα χαρακτηριστικά σχεδίασης του σκάφους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 1):

$L_{BP}$	75 m
B	7.13 m
$T_D$	5 m
$V_s$	15 knots

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΣΚΑΦΟΥΣ

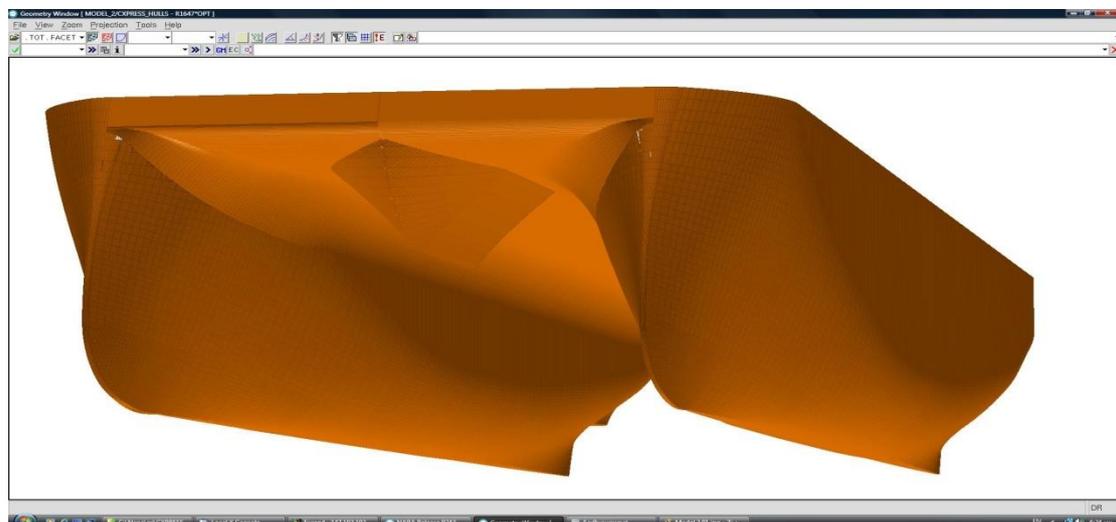
**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για 5 καταστάσεις. Οι τρεις από τις πέντε καταστάσεις ήταν ισοβύθιστες και στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας θα αναφέρονται με τα σύμβολα A1, A2, A3, όπου A3 είναι η κατάσταση με το μεγαλύτερο εκτόπισμα. Οι υπόλοιπες δύο καταστάσεις ήταν με έμπρυμνη διαγωγή 0.5 m και 1 m και αναφέρονται σε εκτόπισμα ίσο με αυτό της κατάστασης A3. Οι δύο έμπρυμνες καταστάσεις στη συνέχεια θα συμβολίζονται με B3 και C3 αντίστοιχα. Οι πέντε καταστάσεις φόρτωσης μελετήθηκαν τόσο για την μονή γάστρα όσο και για το δίγαстро σκάφος για 3 αποστάσεις μεταξύ των ημιγαστρών, οι οποίες στην κλίμακα του υπό μελέτη πλοίου ήταν 13.583m, 18.8m και 23.5m αντίστοιχα. Ο υδροστατικός πίνακας για τις παραπάνω καταστάσεις φαίνεται παρακάτω (ΠΙΝΑΚΑΣ 2) :

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ										
TWINHULL SHIP										
A/A	Trim	T	DISP	VOLM	TA	TF	LCB	LCA	WSA	Lwl
	m	m	t	m3	m	m	m	m	m2	m
A1	0.000	3.544	2020.600	1956.700	3.544	3.544	40.369	38.220	1467.000	82.110
A2	0.000	3.888	2316.800	2244.400	3.888	3.888	40.055	37.610	1593.000	82.260
A3	0.000	4.435	2810.400	2724.000	4.435	4.435	39.572	37.070	1786.000	82.540
B3	-0.500	4.430	2810.400	2724.100	4.680	4.180	38.560	36.570	1784.000	82.790
C3	-1.000	4.422	2810.400	2724.100	4.922	3.922	37.536	36.090	1781.000	82.860
DEMIHULL SHIP										
A/A	Trim	T	DISP	VOLM	TA	TF	LCB	LCA	WSA	Lwl
	m	m	t	m3	m	m	m	m	m2	m
A1	0.000	3.544	1010.300	978.350	3.544	3.544	40.369	38.220	733.500	82.110
A2	0.000	3.888	1158.400	1122.200	3.888	3.888	40.055	37.610	796.500	82.260
A3	0.000	4.435	1405.200	1362.000	4.435	4.435	39.572	37.070	893.000	82.540
B3	-0.500	4.430	1405.200	1362.050	4.680	4.180	38.560	36.570	892.000	82.790
C3	-1.000	4.422	1405.200	1362.050	4.922	3.922	37.536	36.090	890.500	82.860

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ**

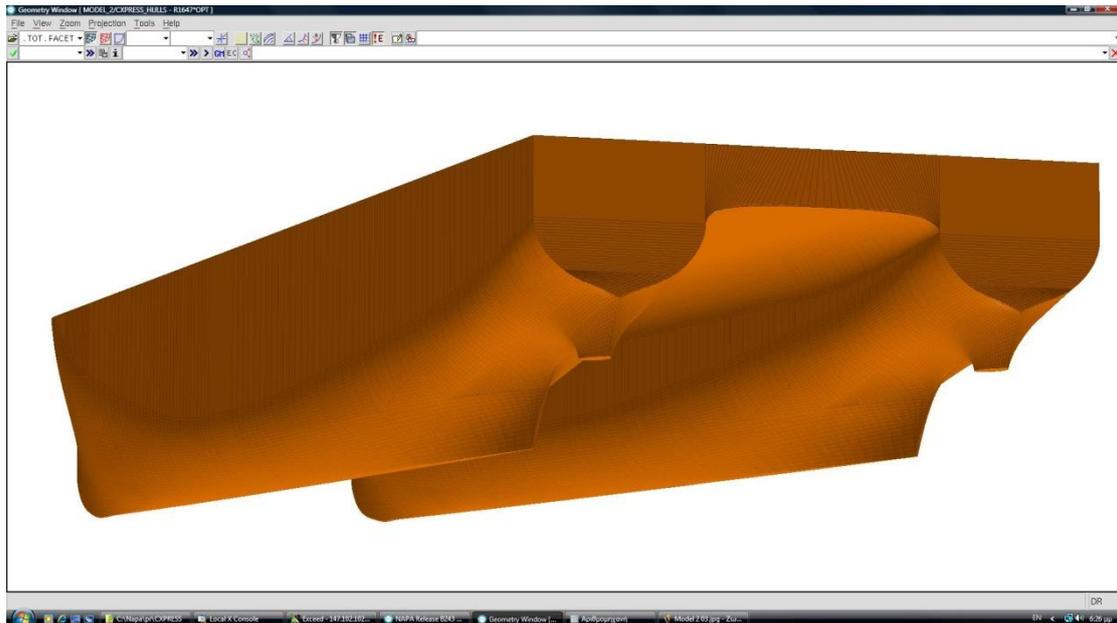
Να σημειωθεί επίσης πως για τις τρεις ισοβύθιστες καταστάσεις ο καθρέφτης της πρύμνης δεν είναι βυθισμένος, ενώ για τις δύο καταστάσεις με διαγωγή παρατηρείται οριακή βύθισή του. Ακολουθούν δύο τρισδιάστατες εικόνες που παρουσιάζουν το υπό μελέτη πλοίο (ΕΙΚΟΝΕΣ 6,7).



**ΕΙΚΟΝΑ 6 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΠΛΩΡΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ (Γ.Ζαραφωνίτης)**

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ

---



**ΕΙΚΟΝΑ 7 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΠΡΥΜΝΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ (Γ.Ζαραφωνίτης)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## 2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Τα εργαστηριακά πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην ειδική δεξαμενή (Towing Tank) που διαθέτει το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και είχαν διάρκεια από τις 17-10-2012 έως τις 5-12-2012. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν :

- I. η πειραματική δεξαμενή
- II. το μοντέλο των πειραμάτων
- III. το δυναμόμετρο με τους αισθητήρες του resistance, του heave και του pitch

### 2.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Η πειραματική δεξαμενή έχει μήκος 91 μέτρα, πλάτος 4.56 μέτρα ενώ το μέγιστο βάθος της αγγίζει τα 3 μέτρα. Διαθέτει στα δύο τοιχώματά της μεταλλικές ράγες πάνω στις οποίες υπάρχει δυνατότητα κύλισης φορείου βάρους 5.5 τόνων με μέγιστη ταχύτητα 5.2 m/s. Η ταχύτητα του φορείου μετριέται με ειδικό τροχό με φωτοηλεκτρικό σύστημα και η παρεχόμενη από το σύστημα ακριβεία είναι 1mm/s.

Το φορείο δοκιμών οδηγείται από ειδικό χειριστήριο και εκτός από γέφυρα προσδέσεως των προτύπων διαθέτει στο εμπρόσθιο μέρος του γέφυρα παρακολουθήσεως, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει οπτική επαφή με τα πρότυπα μοντέλα κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Επίσης, στο πρυμναίο μέρος του το φορείο διαθέτει κεκλιμένη προς την επιφάνεια του νερού επιμήκη μεταλλική επιφάνεια με δυνατότητα κίνησης προς τα πάνω και προς τα κάτω με σκοπό την άμεση απόσβεση των κυματισμών που τα πρότυπα μοντέλα προκαλούν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Η απόσβεση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της μεταλλικής επιφάνειας (σιδερώστρας) στο ύψος της επιφάνειας του νερού κατά την επιστροφή του φορείου μετά το τέλος του πειράματος στην αρχική θέση εκκίνησης.

Πάνω στο φορείο είναι εγκατεστημένος όλος ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τη λήψη και την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων. Τα μετρητικά συστήματα επί του φορείου είναι πλήρως αυτοματοποιημένα και η ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων γίνεται με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και λογισμικού Windows 98, λόγω της αξιοπιστίας που αυτό παρέχει.

Σημειώνεται ακόμη πως στην μία άκρη της δεξαμενής υπάρχει σύστημα παραγωγής κυματισμών. Αποτελείται από πτερύγιο ανοξείδωτου χάλυβα πλάτους 4.56 m και ύψους 2 m, εδρασμένο σε χάλυβα ύψους 1.30 m από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το πτερύγιο κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ισχύος 15 KW ενώ το νερό αντλείται από την πίσω πλευρά του πτερυγίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Ο κυματιστήρας, ωστόσο, δεν χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς αυτά πραγματοποιήθηκαν σε ήρεμο νερό.

Στο άλλο άκρο της δεξαμενής είναι κατασκευασμένη ειδική ημιπερατή κεκλιμένη ακτή, μήκους 11.1 m για την απορρόφηση και απόσβεση των ανακλούμενων κυματισμών, με μέσο συντελεστή απόσβεσης 95%. Στην πλευρά αυτή της δεξαμενής υπάρχει ειδικό θερμόμετρο για την μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής καθώς και αντλία που καθαρίζει τα επιφανειακά στρώματα νερού της δεξαμενής από τη δημιουργούμενη άλγη.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως η πειραματική δεξαμενή διαθέτει δύο γερανούς, ανυψωτικής ικανότητας 5 τόνων, που χρησιμεύουν για την είσοδο και την έξοδο των πρότυπων μοντέλων από την δεξαμενή, ενώ παράλληλα υπάρχει και ηλεκτρονική ζυγαριά που λειτουργεί με strain gauge για την ακριβή μέτρηση του βάρους των προτύπων. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η πειραματική δεξαμενή του ΕΝΘΥ. (ΕΙΚΟΝΑ 1)



ΕΙΚΟΝΑ 1 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΤΟΥ ΕΝΘΥ

### 2.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Το μοντέλο πειραμάτων, με κωδικό ΝΤΥΑ 211/11, κατασκευάστηκε στο προτυποποιείο που διαθέτει το Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής και στεγάζεται δίπλα στην πειραματική δεξαμενή. Το μοντέλο αποτελείτο συνολικά από δύο ίδιες ημιγάστρες και ήταν εξ'ολοκλήρου κατασκευασμένο από ξύλο. Εξωτερικά ήταν χρωματισμένο άσπρο και εσωτερικά ήταν χρωματισμένο κόκκινο. Σε μερικά "σκαρίματα" που είχαν παρουσιάσει οι

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

δύο ημιγάστρες του μοντέλου από προηγούμενα πειράματα που είχαν διεξαχθεί τοποθετήθηκε με προσοχή μονωτική-κολλητική ταινία προς αποφυγήν εισχώρησης νερού στο εσωτερικού του μοντέλου. Σημειώνεται επίσης πως στο προωραίο τμήμα των ημιγαστρών είχαν τοποθετηθεί μικρά σύρματα που λειτουργούσαν ως διεγέρτες τύρβης με σκοπό την όσο καλύτερη δυνατή προσομοίωση της ροής του ρευστού γύρω από το μοντέλο.

Η κλίμακα του μοντέλου ως προς το φυσικό του μέγεθος ήταν 1/23.5. Έτσι, ο υδροστατικός πίνακας που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1 και αναφερόταν στο υπό μελέτη πλοίο έπρεπε να μεταφερθεί στην κλίμακα του μοντέλου. Ανάλογα με τη διάσταση που μετατρέπεται αλλάζει και η δύναμη στην οποία είναι υψωμένη η κλίμακα. Γενικά ισχύει ότι:

ΜΗΚΟΣ	$\lambda=23.5$
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	$\lambda^2 = (23.5)^2 = 552.25$
ΟΓΚΟΣ	$\lambda^3 = (23.5)^3 = 12977.875$
ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ	$1.025 * \lambda^3 = 13302.322$
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	$\lambda^{0.5} = 4848$

Κατά αυτό τον τρόπο, τα μεγέθη  $T$ ,  $T_A$ ,  $T_F$ ,  $LCB$ ,  $LCA$ ,  $L_{WL}$  που αναφέρονται σε μήκος διαιρέθηκαν με τον συντελεστή  $\lambda$ . Το μέγεθος  $WSA$  που αναφέρεται σε επιφάνεια διαιρέθηκε με το λόγο  $\lambda^2=552.25$ , το μέγεθος Volume που αναφέρεται σε όγκο διαιρέθηκε με το συντελεστή  $\lambda^3=12977.875$  και τέλος το μέγεθος Displacement που αναφέρεται σε εκτόπισμα διαιρέθηκε με το συντελεστή  $1.025*\lambda^3=13302.322$ . Έτσι, για το πρότυπο μοντέλο ο υδροστατικός πίνακας για τη μία και τις δύο ημιγάστρες έχει ως εξής (ΠΙΝΑΚΑΣ 1) :

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ										
DEMIHULL MODEL										
A/A	Trim	T	DISP	VOLM	TA	TF	LCB	LCA	WSA	Lwl
	m	m	t	m3	m	m	m	m	m2	m
A1	0.000	0.151	0.076	0.075	0.151	0.151	1.718	1.626	1.328	3.494
A2	0.000	0.165	0.087	0.086	0.165	0.165	1.704	1.600	1.442	3.500
A3	0.000	0.189	0.106	0.105	0.189	0.189	1.684	1.577	1.617	3.512
B3	-0.021	0.189	0.106	0.105	0.199	0.178	1.641	1.556	1.615	3.523
C3	-0.043	0.188	0.106	0.105	0.209	0.167	1.597	1.536	1.612	3.526
TWINHULL MODEL										
A/A	Trim	T	DISP	VOLM	TA	TF	LCB	LCA	WSA	Lwl
	m	m	t	m3	m	m	m	m	m2	m
A1	0	0.151	0.152	0.151	0.151	0.151	1.718	1.626	2.656	3.494
A2	0	0.165	0.174	0.173	0.165	0.165	1.704	1.600	2.885	3.500
A3	0	0.189	0.211	0.210	0.189	0.189	1.684	1.577	3.234	3.512
B3	-0.021	0.189	0.211	0.210	0.199	0.178	1.641	1.556	3.230	3.523
C3	-0.043	0.188	0.211	0.210	0.209	0.167	1.597	1.536	3.225	3.526

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ**

Σημειώνεται επίσης πως το βάρος της αριστερής ημιγάστρας ήταν 33.62 kg ενώ το βάρος της δεξιάς ημιγάστρας ήταν 32.69 kg. Για αυτό το λόγο, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του δίγαστρου μοντέλου τοποθετήθηκε στη δεξιά ημιγάστρα μόνιμο έρμα 0.93 kg ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητα φαινόμενα διατοιχισμού (roll).

### 2.1.3 ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟ - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ RESISTANCE, HEAVE, PITCH

Το πιο βασικό μέρος του εξοπλισμού αποτελεί το δυναμόμετρο καθώς επάνω σε αυτό είναι εγκατεστημένοι όλοι οι απαραίτητοι αισθητήρες. Το δυναμόμετρο είναι πακτωμένο πάνω στο φορείο και έχει δυνατότητα κίνησης κατά το διαμήκες επίπεδο της δεξαμενής εφόσον πρώτα λυθούν οι τέσσερις κοχλίες που το συγκρατούν. Με τη χρήση του δυναμομέτρου καθίσταται δυνατή τόσο η μέτρηση της αντίστασης όσο και η μέτρηση του προνευτασμού και της ανύψωσης του κέντρου μάζας. Το δυναμόμετρο αποτελείται από τρία μέρη· ένα μόνιμα σταθερό, ένα εν δυνάμει σταθερό που κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παραμένει σταθερό και ένα κινούμενο μέρος.

Η μέτρηση της αντίστασης πραγματοποιείται μέσω μιας γέφυρας Wheatstone, η οποία αποτελείται από τέσσερα strain gages που συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν κύκλωμα. Το σταθερό κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μέρος του δυναμομέτρου μπορεί να εκτελεί απειροστά μικρές κινήσεις ως προς το μόνιμα σταθερό μέρος του δυναμομέτρου κατά το διαμήκη άξονα της δεξαμενής που οφείλονται στην αντίσταση που συναντά το μοντέλο κατά τη κίνηση του στο νερό. Οι μικρές αυτές κινήσεις εντοπίζονται από τον αισθητήρα και με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η μέτρηση της αντίστασης.

Η ανύψωση του κέντρου μάζας πραγματοποιείται με τη χρήση ενός αισθητήρα γραμμικού ποτενσιόμετρου, το οποίο είναι ένα αναλογικό ηλεκτρονικό εξάρτημα που χρησιμεύει στα κυκλώματα ως μεταβλητή αντίσταση. Συγκεκριμένα, το ποτενσιόμετρο λαμβάνοντας την σχετική κατακόρυφη κίνηση μεταξύ του κινούμενου μέρους του δυναμομέτρου και του σταθερού στα πειράματα μέρους του δυναμομέτρου μεταβάλλει την αντίσταση του με αποτέλεσμα και τη μεταβολή του διαρρέομενου σε αυτό ρεύματος. Η μεταβολή του ρεύματος στη συνέχεια μεταφράζεται σε μεταβολή τάσης και είναι αυτή που μετρά ο ενισχυτής. Σημειώνεται επίσης πως το εύρος της μετρούμενης τάσης κυμαίνεται από 0 έως 10 V.

Η μέτρηση του προνευτασμού γίνεται και αυτή μέσω ενός ειδικού ποτενσιόμετρου ικανού να λαμβάνει τις κινήσεις πρόσδεσης του μοντέλου με το δυναμόμετρο ανάλογα με τον προνευτασμό του μοντέλου. Ο τρόπος λήψης της μέτρησης είναι ανάλογος με αυτόν της ανύψωσης του κέντρου μάζας, δηλαδή με μεταβολή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου. Το εύρος της μετρούμενης τάσης κυμαίνεται σε αυτή την περίπτωση από -15 V έως +15 V. Σημειώνεται τέλος ότι στα πειράματα με το δίγαстро μοντέλο λόγω της ειδικής διαμόρφωσης που συγκρατούσε τις δύο ημιγάστρες και δεν επέτρεπε τη χρήση του ποτενσιόμετρου του δυναμομέτρου, χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστός αισθητήρας προνευτασμού μαζί με εξωτερικό ενισχυτή, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Ταυτόχρονα, για το λόγο αυτό τοποθετήθηκαν στο σημείο πρόσδεσης με το μοντέλο σφήνες βάρους 0.5 kg για να μην είναι δυνατή η κίνηση στη διεύθυνση αυτή.

## 2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση των πειραμάτων ήταν το όργανο R47 που περιέχει τον αισθητήρα μέτρησης της αντίστασης του μοντέλου (resistance), τον αισθητήρα που μετράει τον προνευτασμό του μοντέλου (pitch) και τον αισθητήρα που μετράει την ανύψωση του κέντρου μάζας (heave). Για τη σωστή λήψη των πειραματικών μετρήσεων ήταν απαραίτητη η βαθμόνηση και των τριών αισθητήρων πριν την εκτέλεση των πειραμάτων, η οποία παρουσιάζεται για κάθε αισθητήρα ξεχωριστά στη συνέχεια.

Σε γενικές γραμμές, οι φυσικές μεταβολές κάθε μετρούμενου μεγέθους που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων γίνονται αντιληπτές από το αντίστοιχο όργανο ως μεταβολές ρεύματος που στη συνέχεια μεταφράζονται σε διαφορά τάσης και μετριοούνται σε Volt. Οι μετρούμενες αυτές τάσεις σε Volt για να βρουν αντιστοιχία στις πραγματικές μονάδες στο σύστημα S.I που εκφράζουν χρειάζονται μια συνάρτηση μεταφοράς, δηλαδή μια συνάρτηση όπου εισάγοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή τα Volt που λαμβάνονται από τον αισθητήρα του εκάστοτε οργάνου θα προκύπτει ως εξαρτημένη μεταβλητή το μετρούμενο μέγεθος σε πραγματικές φυσικές μονάδες στο σύστημα S.I. Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι γραμμικές συναρτήσεις της μορφής  $y = a \cdot x + b$  και προκύπτουν από τις βαθμονομήσεις των αισθητήρων, όπου αυτοί μετρώντας πρότυπα φυσικά μεγέθη δίνουν αποτελέσματα σε Volt και μέσω αυτών των ζευγών τιμών προκύπτουν οι αντίστοιχες συναρτήσεις.

Μετά τον προσδιορισμό των εξισώσεων μεταφοράς, πριν την πραγματοποίηση του κάθε τρέξιματος του μοντέλου στην δεξαμενή λαμβανόταν μια μηδενική μέτρηση σε πλήρη κατάσταση ηρεμίας, ώστε να ληφθούν οι αποκρίσεις των αισθητήρων των οργάνων στην κατάσταση αυτή και στη συνέχεια εισάγονταν οι τιμές των Volt που λαμβάνονταν από τους αισθητήρες στις κατάλληλες εξισώσεις μεταφοράς ώστε να καταγραφούν οι μηδενικές φυσικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών. Κατόπιν, ακολουθούσε το τρέξιμο του μοντέλου στη δεξαμενή, όπου οι αισθητήρες λάμβαναν εκ νέου μετρήσεις που ακολούθως εισάγονταν με τη σειρά τους στις εξισώσεις μεταφοράς προκειμένου να προκύψουν πάλι τα μετρούμενα μεγέθη σε φυσικές μονάδες του συστήματος S.I. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι πραγματικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών προέκυπταν από την αφαίρεση των μηδενικών φυσικών τιμών στο σύστημα S.I από τις φυσικές μετρούμενες τιμές κατά τη διεξαγωγή των τρεξιμάτων του μοντέλου στη δεξαμενή.

### 2.2.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (RESISTANCE)

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα resistance πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση, τόσο στα πειράματα του δίγαστρου μοντέλου όσο και στα πειράματα του μονόγαστρου μοντέλου. Συγκεκριμένα η βαθμονόμηση περιελάμβανε τοποθέτηση πρότυπων βαρών στον πρόβολο του δυναμομέτρου. Αρχικά λαμβανόταν μηδενική μέτρηση χωρίς κανένα βάρος και στη συνέχεια τοποθετείτο στον πρόβολο ζυγαριά βάρους 0.54 kg όπου με τη σειρά προστίθενταν τα βάρη 2kg, 5 kg και 7kg, ενώ τελικώς λαμβανόταν μία ακόμη μέτρηση μόνο

με τη ζυγαριά και μία χωρίς κανένα βάρος. Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 2) και διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1) παρουσιάζεται μια τυπική βαθμονόμηση του αισθητήρα resistance, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στις 26-10-2012.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	RESISTANCE
DATE :	26/10/2012

VOLTS	ΜΕΓΕΘΟΣ [kg]
0.043	0
0.25	0.54
0.983	2.54
2.098	5.54
2.853	7.54
0.25	0.54
0.046	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ RESISTANCE



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΗΝ 26/10/2012

Ακολούθως παρουσιάζεται και εικόνα που δείχνει το δυναμόμετρο μαζί με τον πρόβολο, όπου τοποθετούνταν διαδοχικά τα βάρη (ΕΙΚΟΝΑ 2).



ΕΙΚΟΝΑ 2 : ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΒΟΛΟΥ

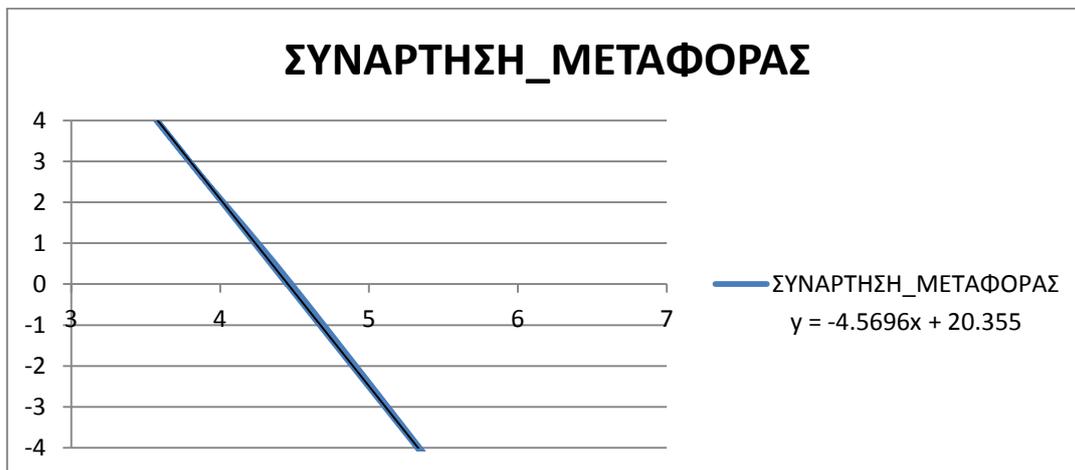
### 2.2.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ (HEAVE)

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα heave πραγματοποιήθηκε συνολικά 2 φορές κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων, μία φορά πριν γίνουν τα πειράματα με το δίγαστρο μοντέλο και μία φορά πριν γίνουν τα πειράματα με το μονόγαστρο μοντέλο. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα heave βασίζεται στην ορισμένη κίνηση του ελεύθερου μέρους του οργάνου R47. Κατά αυτόν τον τρόπο μεταβάλλεται η αντίσταση του αισθητήρα heave με συνέπεια και τη μεταβολή της μετρούμενης τάσης. Για να επιτευχθεί αυτό, είτε θα έπρεπε να αυξομειώνεται η στάθμη του νερού της δεξαμενής είτε θα έπρεπε να ανυψωνόταν και να βυθιζόταν το μοντέλο μέσα στο νερό. Επειδή καμιά από τις δύο μεθόδους δεν είναι εφικτή να πραγματοποιηθεί, για τη βαθμονόμηση του heave το εν δυνάμει σταθερό μέρος του δυναμομέτρου μετατοπιζόταν κατά τον κατακόρυφο άξονα προκαλώντας διαφορετικές σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ αυτού και του κινητού μέρους του δυναμομέτρου. Η κατακόρυφη κίνηση του εν δυνάμει σταθερού μέρους του δυναμομέτρου πραγματοποιούταν μέσω ενός κοχλία ευρισκόμενου στο πάνω μέρος, ενώ η ακριβής κατακόρυφη μετατόπισή του ήταν δυνατό να προσδιοριστεί μέσω ενός μεταλλικού χάρακα που ήταν πακτωμένος κατακόρυφα σε κατάλληλο σημείο στο σταθερό μέρος του δυναμομέτρου. Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 3) και διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2) παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του αισθητήρα heave για τη περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στις 23-10-2012.

<b>ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ</b>	<b>HEAVE</b>
<b>DATE :</b>	<b>23/10/2012</b>

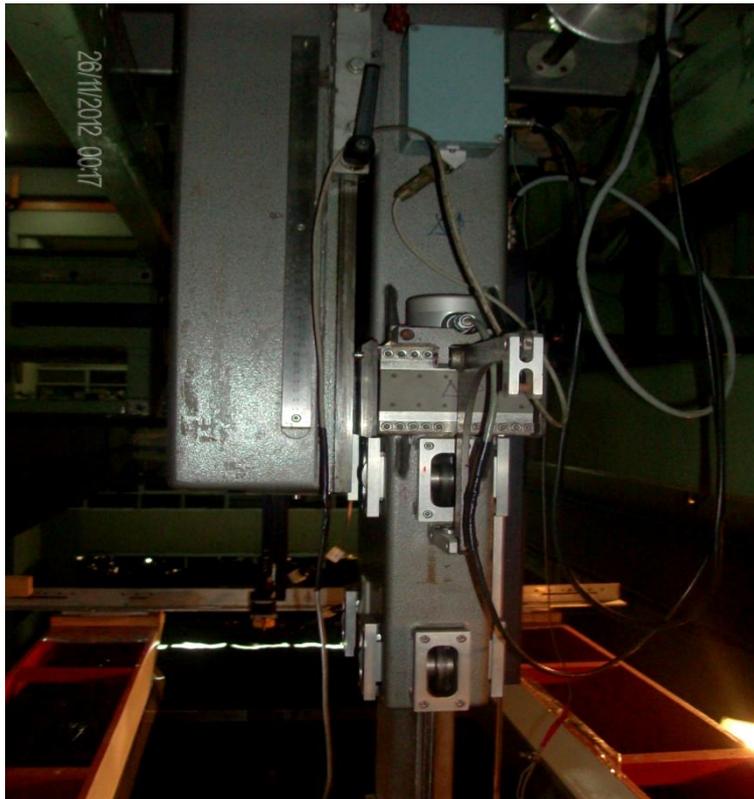
<b>VOLTS</b>	<b>ΜΕΓΕΘΟΣ [cm]</b>
4.45	0
5.106	-3
5.765	-6
4.48	0
3.792	3
3.14	6
4.448	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ HEAVE (ΤΟ ΠΡΟΣΗΜΟ ΦΑΝΕΡΩΝΕΙ ΑΝΥΨΩΣΗ Η ΒΥΘΙΣΗ)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ  
ΤΗΝ 23/10/2012

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το σταθερό και το εν δυνάμει σταθερό μέρος του δυναμομέτρου καθώς και ο πακτωμένος μεταλλικός χάρακας (ΕΙΚΟΝΑ 3). Συγκεκριμένα, το μόνιμα στάθερο μέρος του δυναμομέτρου βρίσκεται αριστερά στην εικόνα. Το εν δυνάμει σταθερό μέρος βρίσκεται δεξιότερα του προηγούμενου, ενώ κάτω στην εικόνα βρίσκεται και το μόνιμα κινούμενο μέρος του δυναμομέτρου.



ΕΙΚΟΝΑ 3 : ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΑ

### 2.2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΠΡΟΝΕΥΤΑΣΜΟΥ (PITCH)

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα pitch πραγματοποιήθηκε συνολικά 2 φορές κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων, μία φορά πριν γίνουν τα πειράματα με το δίγαστρο μοντέλο και μία φορά πριν γίνουν τα πειράματα με το μονόγαστρο μοντέλο. Αυτό συνέβη καθώς για τη μέτρηση του pitch στο μονόγαστρο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας που βρίσκεται μόνιμα εγκατεστημένος στο πόδι του δυναμομέτρου ενώ για τη μέτρηση του pitch στο δίγαστρο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ειδικός αισθητήρας που τοποθετήθηκε πάνω στο μπράτσο της δεξιάς ημιγιάστρας και κατάλληλος ενισχυτής που τοποθετήθηκε πάνω στην κεντρική μεταλλική πλάκα που ένωνε τα μπράτσα των δύο ημιγαστρών.

Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου ο αισθητήρας του pitch που βρίσκεται στο δυναμομέτρο δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί λόγω της ειδικής διαμόρφωσης που συγκρατούσε τις δύο ημιγιάστρες μαζί. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε εξωτερικός αισθητήρας pitch, ενώ παράλληλα τοποθετήθηκαν μεταλλικές σφήνες στο πέλμα του δυναμομέτρου που το κρατούσαν σταθερό και το απέτρεπαν από τη μέτρηση της οποιασδήποτε διαγωγής.

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα pitch του δυναμομέτρου πραγματοποιήθηκε με την εξής διαδικασία· αρχικά τοποθετήθηκε στο πέλμα του δυναμομέτρου μια ειδική μεταλλική κατασκευή που το συγκρατούσε παράλληλο ως προς το οριζόντιο επίπεδο και

αντιστοιχούσε στη μηδενική γωνία διαγωγής. Κατόπιν τοποθετήθηκαν στην παραπάνω μεταλλική κατασκευή ειδικές πρότυπες σφήνες που αντιστοιχούσαν στις γωνίες 2.5°, 5° και 7°, οι οποίες στη συνέχεια τοποθετήθηκαν με αντίθετο τρόπο ώστε να αντιστοιχούν στις αρνητικές γωνίες -2.5°, -5° και -7°, ενώ για κάθε γωνία λαμβανόταν από τον αισθητήρα η αντίστοιχη μέτρηση. Να σημειωθεί επίσης πως η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε με τρόπο τέτοιο ώστε οι αρνητικές γωνίες να αντιστοιχούν σε έμπρυμνη διαγωγή. Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 4) και διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3) παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του αισθητήρα pitch του δυναμομέτρου για την περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στις 28-11-2012.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	PITCH
DATE :	28/11/2012

VOLTS	ΜΕΓΕΘΟΣ [°]
0.983	0
-0.127	-2.5
2.07	2.5
0.986	0
-1.223	-5
3.209	5
0.985	0
-2.267	-7.5
4.255	7.5
0.981	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ PITCH (ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΕΜΠΡΥΜΝΗ ΚΑΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΣΕ ΕΜΠΡΩΡΗ ΔΙΑΓΩΓΗ)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ PITCH ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ ΤΗΝ 28/11/2012

Για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα που τοποθετήθηκε στο μπράτσο της μιας ημιγιάστρας και χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα με το δίγαстро μοντέλο ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά το μπράτσο με τον αισθητήρα λύθηκε από την ημιγιάστρα και τοποθετήθηκε ανάποδα με τη βοήθεια δύο σφικτήρων με το πέλμα του παράλληλο προς το οριζόντιο επίπεδο. Η ακριβής διάταξη παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (ΕΙΚΟΝΑ 4).



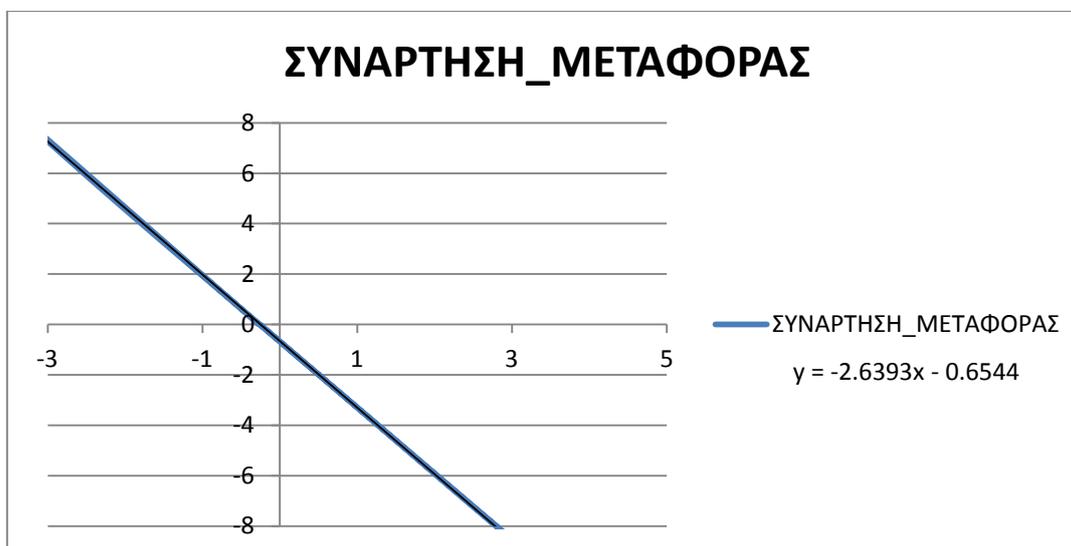
**ΕΙΚΟΝΑ 4 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙΣΑΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΤΟΥ ΜΠΡΑΤΣΟΥ (ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ Ο ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ ΧΑΡΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ)**

Κατόπιν το μπράτσο εκτρεπόταν από τη θέση ισορροπίας του και για το εκάστοτε σχηματιζόμενο τρίγωνο γνωρίζοντας το μήκος των δύο κάθετων πλευρών ήταν εφικτός ο υπολογισμός της γωνίας εκτροπής. Έτσι, για διάφορες γνωστές γωνίες εκτροπής λήφθηκαν μετρήσεις από τον αισθητήρα του pitch και πραγματοποιήθηκε η καμπύλη βαθμονόμησης. Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 5) και διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6) παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του αισθητήρα pitch του μπράτσο, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στις 28-11-2012.

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

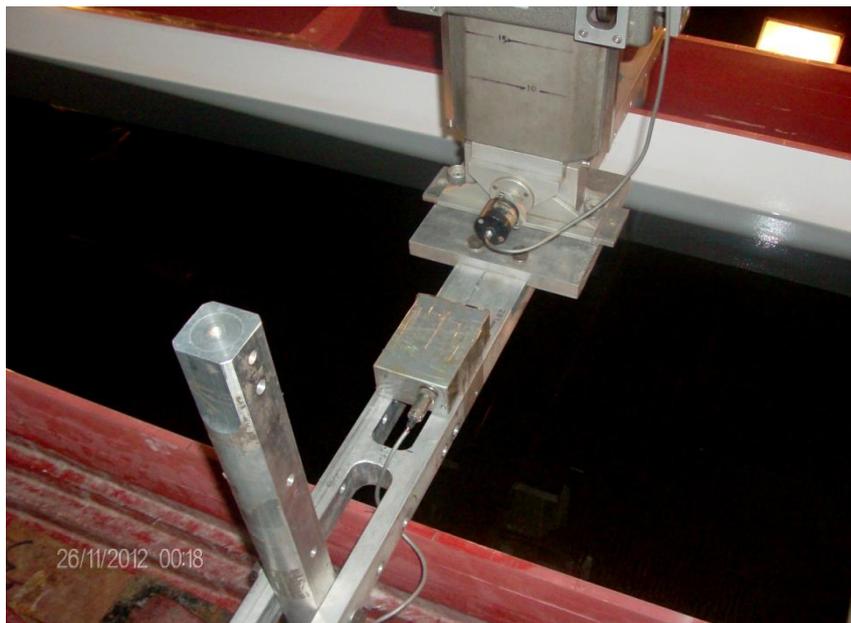
Βαθμονόμηση αισθητήρα:		Pitch					
Ημερομηνία:		21/11/2012					
Volts	Μέγεθος	Θέση Ισοροπίας	Θέση Απόκλισης		Απόκλιση	Γωνία Rad	Μοίρες
-0.254	0.000	129.8	129.8		0	0.000	0.000
0.394	-1.704	129.8	126.3	Αριστερά	-3.5	-0.030	-1.704
1.509	-4.625	129.8	120.3	Αριστερά	-9.5	-0.081	-4.625
2.432	-7.059	129.8	115.3	Αριστερά	-14.5	-0.123	-7.059
3.735	-10.442	129.8	108.35	Αριστερά	-21.45	-0.182	-10.442
-0.26	0.000	129.8	129.8		0	0.000	0.000
-1.099	2.191	129.8	134.3	Δεξιά	4.5	0.038	2.191
-2.022	4.625	129.8	139.3	Δεξιά	9.5	0.081	4.625
-2.931	7.083	129.8	144.35	Δεξιά	14.55	0.124	7.083
-4.074	10.223	129.8	150.8	Δεξιά	21	0.178	10.223
-0.268	0.000	129.8	129.8		0	0.000	0.000

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5 : ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΙΤΣΗ (Η ΜΙΑ ΚΑΘΕΤΗ ΠΛΕΥΡΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΗ ΣΤΗΛΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΕΝΩ Η ΑΛΛΗ ΚΑΘΕΤΗ ΠΛΕΥΡΑ ΕΙΝΑΙ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΙ ΙΣΗ ΜΕ 117.7 cm)**



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΡΙΤΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ ΤΗΝ 21/11/2012**

Η ειδική διαμόρφωση που συγκρατεί τις δύο γάστρες, ο τρόπος με τον οποίο είναι πακτωμένο το δυναμόμετρο στη διαμόρφωση αυτή καθώς και ο ενισχυτής του pitch φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα (ΕΙΚΟΝΑ 5).



**ΕΙΚΟΝΑ 5 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΕΙ ΤΙΣ 2 ΗΜΙΓΑΣΤΡΕΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ (ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΤΟΥ ΡΙΤΣΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΗΓΕΙ ΣΤΟΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗ)**

## 2.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Πριν την τοποθέτηση του μοντέλου στην πειραματική δεξαμενή και το ξεκίνημα της πειραματικής διαδικασίας προηγείται η απαραίτητη προετοιμασία του μοντέλου. Το πρώτο στάδιο της προετοιμασίας συνίσταται στη χάραξη των ισάλων γραμμών. Αυτή αποσκοπεί στη χάραξη στις δύο ημιγάστρες των βυθισμάτων που παρουσιάζονται στον υδροστατικό πίνακα του μοντέλου (ΠΙΝΑΚΑΣ 1-ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) και αντιστοιχούν στις καταστάσεις εκείνες που θα μελετηθούν. Η χάραξη των ισάλων πραγματοποιείται σε τρία μέρη του μοντέλου· στην πλώρη, στη μέση τομή και στην πρύμνη και κρίνεται απαραίτητη ώστε να μπορεί να ελεγχθεί το μοντέλο μόλις μπει στη δεξαμενή εάν έχει στο σωστό εκτόπισμα και διαγωγή. Ο έλεγχος πραγματοποιείται κοιτώντας εάν οι χαρασσομένες αυτές γραμμές εφάπτονται με την επιφάνεια του νερού. Σημειώνεται επίσης, πως επειδή η δεξιά ημιγάστρα ήταν πιο ελαφριά από την αριστερή, το μόνιμο έρμα τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε ο διατοιχισμός (roll) να είναι μηδενικός και ταυτοχρόνως να πληρείται η εκάστοτε απαίτηση για συγκεκριμένη διαγωγή.

Η χάραξη των ισάλων γραμμών πραγματοποιήθηκε στο προτυποποιείο που διαθέτει το ΕΝΘΥ. Για τη χάραξη χρησιμοποιήθηκε ειδικό όργανο, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 6. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη χάραξη των ισάλων ήταν η ακόλουθη. Αρχικά, οι γάστρες τοποθετήθηκαν πάνω σε μια μεγάλη οριζόντια επιφάνεια και στη συνέχεια ακολούθησε μηδενισμός του οργάνου, στον οποίο η ακίδα του ήρθε εφάπτομενη με την παραπάνω οριζόντια επιφάνεια ώστε αυτή και άρα και ο πυθμένας των ημιγαστρών να ληφθεί ως βασικό επίπεδο αναφοράς. Κατόπιν, για κάθε βύθισμα η ακίδα του οργάνου ανέβαινε μηχανικά έως ότου υποδείξει με ηλεκτρονική ένδειξη το κατάλληλο σημείο όπου και χαρασσόταν μικρής έκτασης ελεύθερο τμήμα. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε με τον

ίδιο τρόπο και για τα τρία σημεία των ημιγαστρών (πλώρη, πρύμνη, μέση τομή) που χαρακτηρήκαν γραμμές των ισάλων.

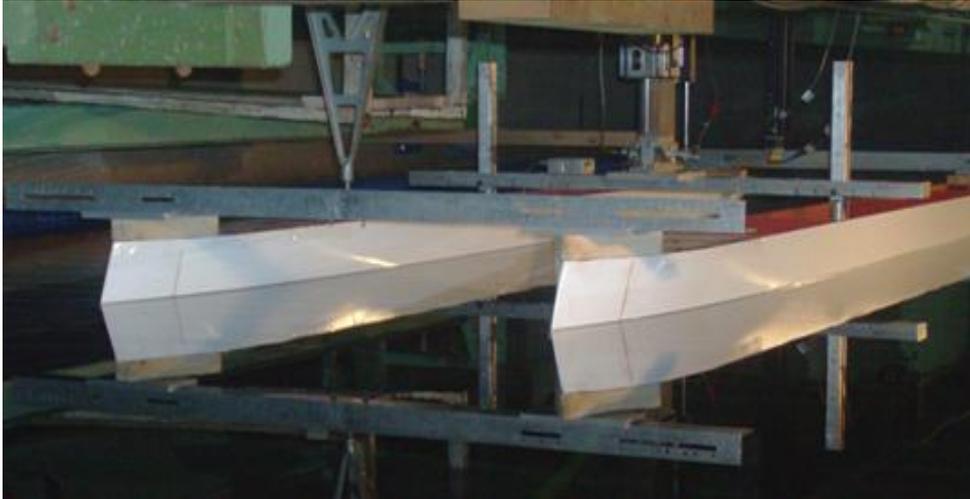


**ΕΙΚΟΝΑ 6 : ΕΙΔΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ ΧΑΡΑΞΗΣ ΙΣΑΛΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ**

Ύστερα από τη χάραξη των ισάλων γραμμών, απαραίτητη ήταν η προετοιμασία του μοντέλου για εισαγωγή του στην πειραματική δεξαμενή και σύνδεσή του με το δυναμόμετρο. Πειράματα διεξήχθησαν με τη μονή γάστρα καθώς και με το δίγαστρο μοντέλο.

Στην περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου, οι δύο ημιγάστρες έπρεπε να συγκρατούνται μεταξύ τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής : Αρχικά υπολογίστηκε πως για τις τρεις πρώτες ισοβύθιστες καταστάσεις του μοντέλου η διαμήκης θέση κέντρου άντωσης ήταν 1.718 m, 1.704 m και 1.684 m αντίστοιχα. Ως μέσος όρος λήφθησαν τα 1.7 m από την πρυμναία κάθετο του μοντέλου και σε εκείνο το σημείο τοποθετήθηκαν κεντρικά στις δύο ημιγάστρες μεταλλικές πλάκες διαστάσεων μήκους 21 cm, πλάτους 10 cm και ύψους 1.5 cm. Στη συνέχεια πάνω στις μεταλλικές πλάκες αυτές δέθηκαν δύο μεταλλικά μπράτσα, από ένα στην κάθε πλάκα, εκ των οποίων το μπράτσο που δέθηκε στη δεξιά ημιγάστρα περιελάμβανε και τον αισθητήρα προνευτασμού (pitch). Τα δύο μπράτσα συγκρατούνταν μεταξύ τους μέσω μιας μεταλλικής δοκού που τα κρατούσε σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους και παράλληλα διέθετε ειδική διαμόρφωση στην οποία ήταν εφικτή η σύνδεση με το δυναμόμετρο (ΕΙΚΟΝΑ 5). Επιπλέον, τοποθετήθηκαν στην πλώρη και την πρύμνη της κάθε ημιγαστρας ακόμη δύο μεταλλικές μεταλλικές πλάκες που συνδέονταν αυτές τις άλλης ημιγαστρας με μεταλλικές δοκούς για καλύτερη στήριξη και συγκράτηση των δύο ημιγαστρών μεταξύ τους. Μάλιστα, η πρωραία μεταλλική δοκός που συγκρατούσε τις εμπρόσθιες μεταλλικές πλάκες σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους διέθετε και ειδική διαμόρφωση για τη σύνδεση με τον οδηγό του φορείου (ΕΙΚΟΝΑ 7). Να σημειωθεί επίσης πως για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης με διαγωγή η διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης

ήταν 1.641 m και 1.597 m αντίστοιχα. Ως μέσος όρος λήφθησαν τα 1.62 m από την πρυμναία κάθετο των ημιγαστρών και όταν επρόκειτο να μελετηθούν αυτές οι δύο καταστάσεις οι παραπάνω μεταλλικές πλάκες στις οποίες ήταν προσδεμένα τα μπράτσα λύνονταν από τα 1.7 m και δένονταν στα 1.62 m από την πρυμναία κάθετο.



**ΕΙΚΟΝΑ 7 : ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΕΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΗΜΙΓΑΣΤΡΕΣ (ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΚΑΙ Ο ΟΔΗΓΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΙΟΥ)**

Στην περίπτωση των πειραμάτων με τη μονή γάστρα η διαδικασία ήταν απλούστερη. Στον πυθμένα της γάστρας τοποθετήθηκε κεντρικά μεταλλική πλάκα, των ιδίων διαστάσεων με προηγουμένως, 1.7 m από την πρυμναία κάθετο για τις τρεις πρώτες καταστάσεις φόρτωσης και 1.62 m για τις επόμενες δύο καταστάσεις με διαγωγή, ενώ το δυναμόμετρο συνδεόταν απευθείας με τη μεταλλική πλάκα.

Μετά τη παραπάνω διαδικασία και πριν την τοποθέτηση του μοντέλου στην δεξαμενή, αυτό μετρίοταν με την ηλεκτρονική ζυγαριά του εργαστηρίου, αφού πρώτα είχε αφαιρεθεί το βάρος των μίαντων με τους οποίους ο γερανός σήκωνε το μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο υπολογιζόταν το επιπλέον βάρος που έπρεπε να προστεθεί στο μοντέλο για να φτάσει το εκάστοτε επιθυμητό εκτόπισμα. Έτσι, για κάθε εκτόπισμα ζυγίζονταν και σημειώνονταν με τον αντίστοιχο αριθμό η διαφορά του βάρους που απαιτούνταν για να επιτύχει το μοντέλο το επόμενο εκτόπισμα. Να σημειωθεί επίσης πως σε αυτό το βάρος συνυπολογιζόταν και η δύναμη που ασκεί το δυναμόμετρο στο μοντέλο, το οποίο στην περίπτωση της μονής γάστρας είναι 7.360 kg ενώ στην περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου είναι 7.860 kg λόγω της ύπαρξης δύο επιπλέον μεταλλικών σφηνών.

## **2.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Μετά την εισαγωγή του μοντέλου στην πειραματική δεξαμενή και τη σύνδεσή του στο δυναμόμετρο, πριν ξεκινήσει η πειραματική διαδικασία για κάθε εκτόπισμα πραγματοποιούνταν πάντα έλεγχος των ισάλων γραμμών. Όπως αναφέρθηκε και

προηγουμένως, η επιφάνεια του νερού έπρεπε να εφάπτεται κάθε φορά στη χαρασσόμενη ίσαλο γραμμή στην πλώρη, στην πρύμνη και στη μέση τομή. Για να επιτευχθεί αυτό, μετακινούνταν τα βάρη με κατάλληλο τρόπο κατά μήκος της γάστρας έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή διαγωγή, ενώ στη περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου σημειώνεται πως ο τρόπος μετακίνησης βαρών ήταν και στις δύο ημιγάστρες ανάλογος. Ο έλεγχος των ισάλων γραμμών ήταν κατ'εξοχήν οπτικός, ενώ συμβουλευτικό ρόλο είχε η ένδειξη του αισθητήρα προνευτασμού (pitch) καθώς και η χρήση αλφαδιού για τις περιπτώσεις των καταστάσεων χωρίς διαγωγή.

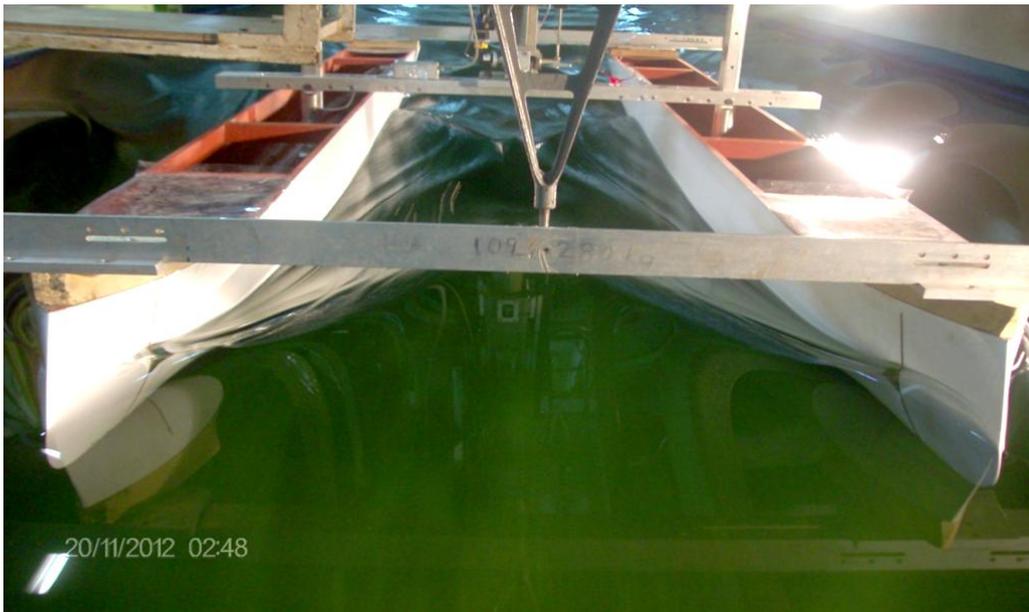
Μετά τον έλεγχο των ισάλων γραμμών και πριν από κάθε τρέξιμο του φορείου κατά μήκος της δεξαμενής λαμβανόταν μία μέτρηση στην κατάσταση ηρεμίας για τα τρία μετρούμενα μεγέθη, δηλαδή για την αντίσταση, τον προνευτασμό και την ανύψωση του κέντρου μάζας. Ύστερα από τη λήψη της μηδενικής μέτρησης το φορείο επιτάχυνε και αφότου η ταχύτητά του σταθεροποιούταν στην επιθυμητή τιμή λαμβανόταν εκ νέου μέτρηση των τριών μεγεθών. Ο χρόνος καταγραφής των μεγεθών τόσο στην κατάσταση ηρεμίας όσο και κατά τη διάρκεια της κίνησης του φορείου ήταν σταθερός και ίσος με 15 δευτερόλεπτα. Όπως έχει αναφερθεί, πειράματα πραγματοποιήθηκαν τόσο στη μονή γάστρα όσο και στο δίγαστρο μοντέλο για τρεις αποστάσεις μεταξύ των ημιγαστρών 0.578m, 0.8m και 1m σε πέντε καταστάσεις φορτώσεως που έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Ως προς το εύρος των ταχυτήτων που μελετήθηκε κατόπιν συνεννοήσεως με τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Τζαμπίρα, για τις καταστάσεις φόρτωσης A1 και A2 επιλέχθηκε η μελέτη από 8-20 knots ενώ για τις καταστάσεις A3, B3, C3 επιλέχθηκε η μελέτη από 3-20 knots. Ακολούθως παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας (ΠΙΝΑΚΑΣ 6) με τις μελετούμενες ταχύτητες του υπό μελέτη πλοίου, τις αντίστοιχες ταχύτητες σε κλίμακα μοντέλου και τους αντίστοιχους αριθμούς Froude λαμβάνοντας ως μήκος ισάλου αυτό της καταστάσεως A3 ( $LWL_{A3}=3.512m$ ).

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ Vs [kn]</b>	<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ Vm[m/s]</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ FROUDE Fn=v/sqrt(g*LWL)</b>
3	0.318	0.054
4	0.424	0.072
5	0.531	0.090
6	0.637	0.108
7	0.743	0.127
8	0.849	0.145
9	0.955	0.163
10	1.061	0.181
11	1.167	0.199
12	1.273	0.217
13	1.379	0.235
14	1.486	0.253
15	1.592	0.271
16	1.698	0.289

17	1.804	0.307
18	1.910	0.325
19	2.016	0.343
20	2.122	0.362

**ΠΙΚΑΚΑΣ 6 : ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΛΟΙΟΥ, ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΥΣ  
FROUDE**

Μετά το τέλος της κάθε μέτρησης που λαμβανόταν για κάθε ταχύτητα, κατά την επιστροφή του φορείου στην αρχική του θέση, η κεκλιμμένη μεταλλική επιφάνεια (σιδερώστρα) που διέθετε το φορείο στο πρυμναίο τμήμα του κατέβαινε στο επίπεδο της επιφάνειας του νερού με σκοπό την ταχύτερη απόσβεση των δημιουργούμενων κυματισμών. Η απόσβεση αυτή ήταν ιδιαίτερα σημαντική ιδίως όταν το μοντέλο ανέπτυσσε μεγάλη ταχύτητα και επομένως το ύψος των δημιουργούμενων κυματισμών ήταν και αυτό μεγάλο. Για τη λήψη της επόμενης μέτρησης σε κατάσταση ηρεμίας το χρονικό περιθώριο που αφηνόταν ήταν δέκα λεπτά με σκοπό την πλήρη ηρεμία της επιφάνειας του νερού. Η εικόνα 8 παρουσιάζει το μοντέλο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αντίστασης, όπου φαίνεται και η υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών από τις δύο ημιγάστρες.



**ΕΙΚΟΝΑ 8 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α1, ΙΣΑΠΟΣΤΑΣΗ  
ΓΑΣΤΡΩΝ 1m ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ FROUDE  $F_n=0.289$**

## 2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ WAVE CUTS

Ένα σκάφος κατά την κίνησή του μέσα σε ένα ρευστό προκαλεί τη διαταραχή της ελεύθερης επιφανείας του. Η διαταραχή αυτή έχει μορφή κυμάτων, η οποία είναι πολύ ενδιαφέρουσα προς μελέτη. Ο προσδιορισμός τόσο της συχνότητας όσο και του ύψους των κυματισμών δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το δημιουργούμενο σύστημα κυματισμών. Μάλιστα, ο φυσικός ποσοτικός προσδιορισμός της συχνότητας και του ύψους των

κυματισμών χρησιμεύει στη σύγκριση των μεγεθών αυτών με τα αριθμητικά αποτελέσματα υπολογιστικών προγραμμάτων που προσομοιώνουν την κίνηση του σκάφους μέσα σε ένα ρευστό με στόχο τον έλεγχο της αξιοπιστίας και του βαθμού της προσέγγισης των κυματισμών από τα προγράμματα αυτά.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του συστήματος κυματισμών επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών αισθητήρων που ονομάζονται waverobes. Πρόκειται για δύο μήκους 50 cm ατσάλινα συρματάκια που δεν έχουν ωμική επαφή μεταξύ τους και απέχουν 12.5 mm. Ανάλογα με το πόσο εμβαπτισμένα είναι μέσα στο νερό τα συρματάκια αυτά αλλάζει η αγωγιμότητά του αισθητήρα και κατά συνέπεια και το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει. Η εκάστοτε μεταβολή του ρεύματος που οφείλεται στη διατάραξη της ελεύθερης επιφάνειας του ρευστού μεταφράζεται σε μεταβολή τάσης από τον ενισχυτή του probe αγωγιμότητας, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από -10V έως +10V. Σημειώνεται τέλος πως η ενεργοποίηση των αισθητήρων waverobe πραγματοποιείται με εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικής μορφής.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις με waverobes εξωτερικά των γαστρών τόσο για τη μονή γάστρα όσο και για το δίγαστρο μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση της μονής γάστρας εξετάστηκαν οι καταστάσεις φορτώσεως A3 και C3 με τη χρήση τριών waverobe ενώ για την περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου εξετάστηκε η κατάσταση φόρτωσης A3 και για τις τρεις αποστάσεις μεταξύ των ημιγαστρών του μοντέλου που ήταν 0.578m, 0.8m και 1m με τη χρήση δύο waverobe. Σημειώνεται πως οι ταχύτητες που μελετήθηκαν στο μονόγαστρο και στο δίγαστρο μοντέλο ήταν οι ίδιες και σε κλίμακα μοντέλου ήταν οι εξής : 1.486 m/s, 1.804 m/s και 2.122 m/s. Οι παραπάνω τιμές στη κλίμακα του υπό μελέτη πλοίου αντιστοιχούν σύμφωνα με τον πίνακα 6 στις ακόλουθες ταχύτητες : 14 knots, 17 knots και 20 knots.

Η πειραματική διάταξη που παρουσιάζεται στις εικόνες 9 και 10 περιελάμβανε την κάθετη προς την επιφάνεια του νερού τοποθέτηση των αισθητήρων waverobe κατά μήκος προβόλου επίσης κάθετα ευρισκόμενου ως προς το τοίχωμα της δεξαμενής. Οι αισθητήρες στην περίπτωση του δίγαστρου μοντέλου απείχαν 1m και 1.2m από το τοίχωμα της δεξαμενής, ενώ οι αισθητήρες στην περίπτωση της μονής γάστρας απείχαν 1.74 m, 1.94 m και 2.04 από το τοίχωμα της δεξαμενής. Οι αντίστοιχες αποστάσεις των αισθητήρων waverobe από την άκρη της γάστρας του δίγαστρου και του μονόγαστρου μοντέλου παρουσιάζονται στους πίνακες 7 και 8 ακολούθως :

WAVEPROBES		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΑΣΤΡΩΝ	Waveprob_1	Waveprob_2
S1=0.578m	65.5 cm	85.5 cm
S2=0.800m	54.4 cm	74.4 cm
S3=1.000m	44.4 cm	64.4 cm

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΑΠΟ ΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ  
ΤΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ

WAVEPROBES			
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	Waveprob_1	Waveprob_2	Waveprob_3
S	11 cm	21 cm	41 cm

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 : ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΑΠΟ ΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η βαθμονόμηση των αισθητήρων waverprobe πραγματοποιήθηκε με τη βύθιση τους κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού της δεξαμενής. Η εκάστοτε βύθιση ήταν γνωστή κάθε φορά και μέσω της αλλαγής της αγωγιμότητας και του διαρρέομενου ρεύματος λαμβανόταν διαφορετική τάση μετρούμενη σε Volt. Να σημειωθεί πως πριν τη διαδικασία βαθμονόμησης των waverprobe μετρήθηκε η ωμική αντίσταση των καλωδίων από την θέση εγκατάστασης των αισθητήρων έως την θέση εγκαταστάσεως του ενισχυτή, η οποία στη συνέχεια μηδενίστηκε με σκοπό οι μετρούμενες μεταβολές της τάσης να οφείλονται αποκλειστικά στη διαταραχή της ελεύθερης επιφανείας. Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 9) και διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7) παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του αισθητήρα waverprobe\_2 για τη μέτρηση του ύψους κύματος του δίγαστρου μοντέλου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στις 27-11-2012.

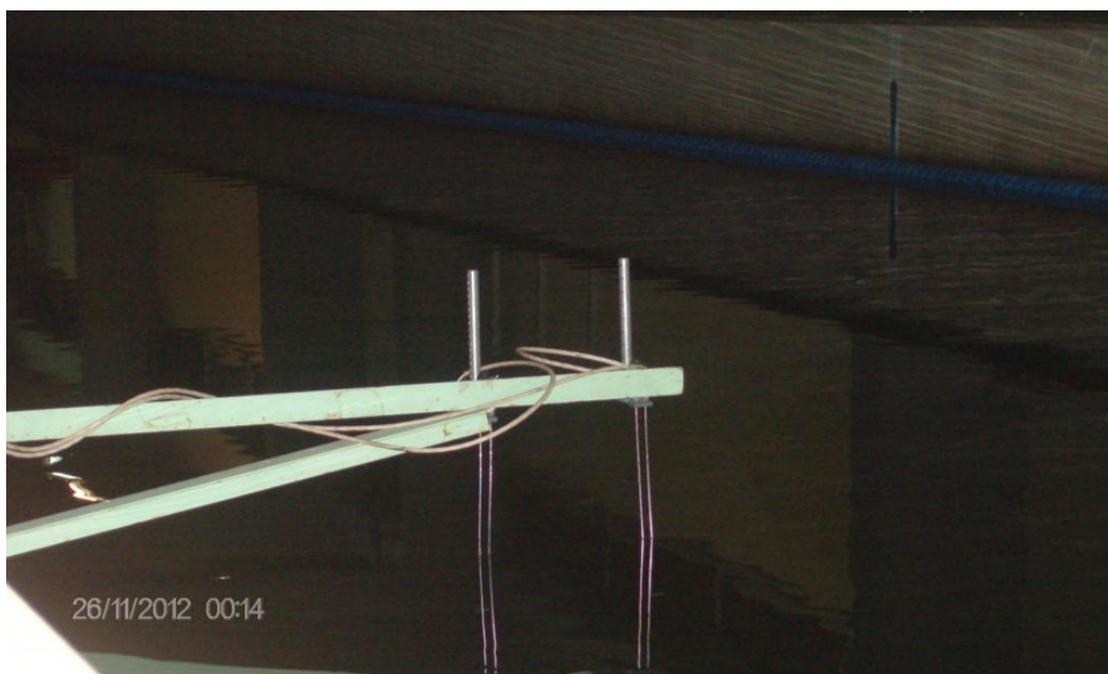
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	WAVEPROB_2
DATE :	27/11/2012

VOLTS	ΜΕΓΕΘΟΣ [cm]
0.137	0
0.617	2
1.092	4
1.562	6
2.028	8
2.49	10
2.944	12
0.139	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 : ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ WAVEPROB\_2 (ΤΑ ΘΕΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΒΥΘΙΣΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ WAVEPROB\_2



ΕΙΚΟΝΑ 9 : ΔΙΑΤΑΞΗ WAVEPROB ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΔΙΓΑΣΤΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ



ΕΙΚΟΝΑ 10 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΩΝ WAVE CUT

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ

Η αντίσταση ενός πλοίου που κινείται σταθερά στην ελεύθερη επιφάνεια ενός ρευστού εξαρτάται από ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών, οι οποίες περιγράφουν πλήρως το φαινόμενο. Για την περίπτωση της αντίστασης οι μεταβλητές αυτές είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g$ ), η κινηματική συνεκτικότητα του νερού ( $\nu$ ), το μήκος του πλοίου ( $L$ ), η σταθερή ταχύτητα με την οποία κινείται το πλοίο ( $V$ ) και η πυκνότητα του ρευστού ( $\rho$ ). Συνεπώς, η αντίσταση ( $R$ ) που είναι η εξαρτημένη μεταβλητή σχετίζεται με τις παραπάνω ανεξάρτητες μεταβλητές με τη σχέση :

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

Εφαρμόζοντας τη διαστατική ανάλυση με σκοπό να εκφραστεί ο φυσικός νόμος σε ισοδύναμη αδιάστατη μορφή και επιλέγοντας ως διαστατικά ανεξάρτητη ομάδα τις μεταβλητές  $\{ \rho, V, L \}$  προκύπτουν τρεις αδιάστατοι παράμετροι :

Ο αριθμός Froude, ο οποίος από φυσικής άποψης σχετίζεται με τη δημιουργία κυματισμών, εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις βαρύτητας και δίνεται από τη σχέση :

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Ο αριθμός Reynolds, ο οποίος από φυσικής άποψης σχετίζεται με τις επιδράσεις της συνεκτικότητας, εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας και δίνεται από τη σχέση :

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

Ο συντελεστής ολικής αντίστασης που δίνεται από τη σχέση :

$$C_T = \frac{R}{0.5 * \rho * S * V^2}$$

όπου  $S [m^2]$  είναι η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου. Σημειώνεται πως τα υπόλοιπα σύμβολα των ανωτέρω σχέσεων αντιπροσωπεύουν τα μεγέθη που έχουν οριστεί παραπάνω.

Με βάση τις παραπάνω αδιάστατες παραμέτρους η αντίσταση μπορεί να δοθεί από την εξής σχέση :

$$R = 0.5 * \rho * C_T (Re, Fn) * V^2 * S$$

Συμπεραίνεται ότι για δύο γεωμετρικά όμοιες γάστρες, εάν οι αριθμοί Reynolds και Froude είναι ίδιοι, τότε θα είναι ίδιος και ο συντελεστής αντίστασης. Ο λόγος όμως για τον οποίο κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό παρουσιάζεται ακολούθως στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΗ FROUDE

Τα πειράματα πραγματοποιούνται στις πειραματικές δεξαμενές υπό συνθήκες πλήρους ομοιότητας με το υπό μελέτη πλοίο. Για να ισχύσει αυτό, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, πρέπει ο συντελεστής ολικής αντίστασης να είναι ίσος μεταξύ του μοντέλου και του πλοίου και συνεπώς οι αριθμοί Froude και Reynolds να διατηρούνται σταθεροί. Η απαραίτητη συνθήκη λοιπόν μεταφράζεται ως εξής (Ο δείκτης  $s$  αντιστοιχεί στο πλοίο και ο δείκτης  $m$  στο μοντέλο) :

$$(C_T)_s = (C_T)_m$$

$$(Re)_s = (Re)_m \quad \text{ή} \quad \frac{V_m}{V_s} = \frac{L_s}{L_m} * \frac{v_m}{v_s} \quad (1) \quad \text{και} \quad (Fn)_s = (Fn)_m \quad \text{ή} \quad \frac{V_m}{V_s} = \left(\frac{g_m}{g_s}\right)^{0.5} * \left(\frac{L_m}{L_s}\right)^{0.5} \quad (2)$$

Μάλιστα, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ο λόγος ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και πλοίου ήταν ίσος με 23.5, δηλαδή  $\lambda = (L_m/L_s) = 1/23.5$ . Έτσι, οι σχέσεις 1 και 2 διαμορφώνονται ως εξής :

$$\frac{V_m}{V_s} = 23.5 * \frac{v_m}{v_s} \quad (1) \quad \text{και} \quad \frac{V_m}{V_s} = \frac{1}{\sqrt{23.5}} * \left(\frac{g_m}{g_s}\right)^{0.5} \quad (2)$$

Για να ικανοποιούνται και οι δύο απαιτήσεις θα πρέπει ο λόγος των ταχυτήτων να είναι και στις δύο σχέσεις ο ίδιος και για να πραγματοποιηθεί αυτό διακρίνονται δύο περιπτώσεις· η μία περίπτωση είναι τα πειράματα να διεξαχθούν με συνηθισμένο νερό, όπου  $(v_m/v_s)=1$ . Παρατηρείται όμως τότε ότι ο λόγος  $g_m/g_s$  θα τείνει στην τιμή  $23.5^3$ , κάτι που σημαίνει πως τα πειράματα θα πρέπει να γίνουν σε κάποιο διαστημικό σταθμό με προσαρμοζόμενη τροχιά. Η άλλη περίπτωση είναι τα πειράματα να διεξαχθούν στη γη, όπου  $(g_m/g_s)=1$ . Όμως και τότε παρατηρείται πως για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση κάποιου ειδικού εξωτικού ρευστού καθώς ο λόγος  $v_m/v_s$  θα τείνει στην τιμή  $1/23.5^{1.5}$ . Όπως γίνεται αντιληπτό, κανένα από τα δύο σενάρια δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ικανοποιηθεί η ταυτόχρονη ισότητα των δύο αριθμών. Προς απλοποίηση των σχέσεων 1 και 2, θεωρείται ίδιο ρευστό και ίδια επιτάχυνση της βαρύτητας για το μοντέλο και το υπό μελέτη πλοίο με τους αντίστοιχους λόγους να τείνουν στη μονάδα. Έτσι οι σχέσεις 1 και 2 γίνονται ως εξής :

$$(Re)_s = (Re)_m \rightarrow \frac{V_m}{V_s} = \lambda \quad (1) \quad \text{και} \quad (Fn)_s = (Fn)_m \rightarrow \frac{V_m}{V_s} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (2)$$

Επειδή ο λόγος  $\lambda$  είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας, αν διατηρηθεί ο αριθμός Reynolds σταθερός, οδηγεί σε πολύ μεγάλες ταχύτητες μοντέλου με συνέπεια να επιλεχθεί ο αριθμός  $Fn$  να διατηρηθεί σταθερός για καθαρά πρακτικούς λόγους. Το πρόβλημα ωστόσο της ταυτόχρονης ικανοποίησης των σχέσεων 1 και 2 παρέμενε έως ότου δόθηκε λύση από τον Froude το 1868. Ο Froude απέδειξε πειραματικά ότι η διαφορά του συντελεστή αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας ( $C_F$ ) από το συντελεστή ολικής αντίστασης είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τον αριθμό  $Re$  για γεωμετρικά όμοια πλοία εφόσον αυτά βρίσκονται στον ίδιο αριθμό  $Fn$ . Η διαφορά όμως αυτή είναι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης, ο οποίος για ίδιο αριθμό  $Fn$  είναι για το υπό μελέτη πλοίο και για το μοντέλο ο ίδιος.

### 3.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RESOUT ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FROUDE

Ύστερα από την ολοκλήρωση των πειραμάτων μιας κατάστασης φόρτωσης σε όλο το εύρος των μελετούμενων ταχυτήτων, γινόταν τρέξιμο του προγράμματος RESOUT. Το πρόγραμμα RESOUT βασίζεται στην υπόθεση Froude που παρουσιάστηκε στη προηγούμενη παράγραφο και για να λειτουργήσει δέχεται ένα input file που στη συνέχεια επεξεργάζεται από το πρόγραμμα και εξάγεται ένα output file με format.txt με όλα τα απαραίτητα στοιχεία τόσο για το μοντέλο όσο και για το υπό μελέτη πλοίο. Πιο συγκεκριμένα, τα εισαγόμενα δεδομένα για το input file είναι τα εξής :

Ο λόγος ομοιότητας μεταξύ πλοίου και μοντέλου που είναι σταθερός και ίσος με 23.5, η ίσαλος επιφάνεια του μοντέλου για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης, η ίσαλος επιφάνεια του βολβού, η οποία λόγω απουσίας βολβού στο πειραματικό μοντέλο ήταν ίση με την ίσαλο επιφάνεια του μοντέλου, το βάρος, η βρεχόμενη επιφάνεια, το πλάτος της ισάλου επιφανείας και το βύθισμα του μοντέλου για την εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης, η θερμοκρασία του νερού της δεξαμένης την ημέρα των πειραμάτων, η θερμοκρασία του νερού που λειτουργεί το υπό μελέτη πλοίο και τέλος τα ζεύγη τιμών ταχύτητας μοντέλου και μετρούμενης αντίστασης. Παράδειγμα του input file που αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης B3 του μονόγαστρου μοντέλου παρουσιάζεται ακολούθως :

CATAMARAN @ CONDITION\_B3 MONOHULL - NTUA 30-11-12

CARGO\_EXPRESS\_3 (Ship\_Name)  
211/11 (Model\_No)  
YES (Trip\_Wires)  
23.5 (Model\_Scale)  
0.0,0.0,0.0 (Area\_of\_Fins\_Rudders\_V-Brackets)  
5 (No\_of\_Conditions)

B3 CONDITION B3 - Displ = 1405.2 tn

B3 (Test\_Condition)  
30-11-12 (Testing\_Date)  
t= -0.50 m (Trim\_Condition)  
82.79,82.79,21,4.43 (Lwl\_Lbulb\_Bwl\_T)  
105.65,1.615 (Model\_Weight(Kp)\_\_Model\_Wetted\_Surf.(m^2))  
18.4,15.00 (Model\_Temp.\_Ship\_Temp.)  
0. (Superstructures\_Area)  
7 (No\_of\_Condition\_Points)  
0.313, 0.038  
0.421, 0.073  
0.532, 0.113  
0.638, 0.159  
0.745, 0.208  
0.847, 0.273  
0.951, 0.327

Αντίστοιχα, το output file του προγράμματος RESOUT αρχικά παρουσιάζει κάποια γενικά στοιχεία για το μοντέλο και το υπό μελέτη πλοίο για τη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης και στη συνέχεια παραθέτει σε πινακοποιημένη μορφή για κάθε ταχύτητα την ολική αντίσταση, τους αριθμούς Re και Fn, τους συντελεστές ολικής αντίστασης, αντίστασης τριβής και υπόλοιπης αντίστασης τόσο για το μοντέλο όσο και για το υπό μελέτη πλοίο καθώς την ισχύ ρυμούλκησης του υπό μελέτη πλοίου για κάθε ταχύτητα. Τα αποτελέσματα του προγράμματος RESOUT για κάθε κατάσταση φόρτωσης και απόστασης των ημιγαστρών που περιλαμβάνουν όλες τις παραπάνω απαραίτητες πληροφορίες είναι συγκεντρωμένα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

Ακολούθως θα παρουσιαστεί αριθμητικός υπολογισμός με τη μέθοδο Froude, τα αποτελέσματα της οποίας θα συγκριθούν με τα αποτελέσματα του προγράμματος RESOUT. Η κατάσταση φόρτωσης που επιλέγεται για τον αριθμητικό υπολογισμό είναι η κατάσταση A2 για απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών του μοντέλου ίση με 1m και για ταχύτητα ίση με 1.699 m/s.

Αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής ολικής αντίστασης του μοντέλου από την σχέση :

$$C_{Tm} = \frac{R_m}{0.5 * \rho * S_m * V_m^2}$$

όπου  $R_m$  [kp] = 2.505 kp, η μετρούμενη αντίσταση του μοντέλου

$S_m$  [m<sup>2</sup>] = 2.885 m<sup>2</sup>, η βρεχόμενη επιφάνεια του μοντέλου

$V_m$  [m/s] = 1.699 m/s, η μετρούμενη ταχύτητα του μοντέλου

$\rho$  [kp\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>] = 101.796 kp\*sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>, η πυκνότητα του γλυκού νερού της δεξαμενής για 19.2° C σύμφωνα με τον πίνακα του παραρτήματος Η.

Με αντικατάσταση των ανωτέρω τιμών προκύπτει ότι συντελεστής ολικής αντίστασης του μοντέλου είναι ίσος με  $C_{Tm}=5.910 * 10^{-3}$ . Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετρήσαν και κάποια ανύψωση του κέντρου μάζας, η οποία είχε ως συνέπεια τη διαφοροποίηση της βρεχόμενης επιφάνειας από αυτή που έχει υπολογισθεί στον υδροστατικό πίνακα και χρησιμοποιηθεί στον παραπάνω υπολογισμό. Θεωρείται ωστόσο ότι η τιμή της ανύψωσης του κέντρου μάζας είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της υπολογισθείσας βρεχόμενης επιφάνειας να κρίνεται αμελητέα και οι δύο τιμές να ταυτίζονται μεταξύ τους.

Υπολογίζεται στη συνέχεια ο αριθμός Reynolds του μοντέλου από τη σχέση :

$$Re_m = \frac{V_m * L_{bulb}}{\nu_m}$$

όπου  $V_m$  [m/s] = 1.699 m/s, η μετρούμενη ταχύτητα του μοντέλου

$L_{bulb}$  [m] = 3.5 m, το μήκος του μοντέλου έως την άκρη του βολβού. Επειδή ωστόσο το πειραματικό μοντέλο δεν διαθέτει βολβό το μήκος αυτό συμπίπτει με το μήκος της ισάλου πλεύσης.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ

$v_m$  [m<sup>2</sup>/sec] =  $1.023668 \cdot 10^{-6}$ , η κινηματική συνεκτικότητα του γλυκού νερού της πειραματικής δεξαμενής για 19.2° C σύμφωνα με τον πίνακα του παραρτήματος Η.

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών προκύπτει ότι ο αριθμός Reynolds ισούται με  $Re=5.809 \cdot 10^6$ . Κατόπιν υπολογίζεται με βάση τον υπολογισθέντα αριθμό Re του μοντέλου ο συντελεστής τριβής του μοντέλου μέσω της καμπύλης ITTC που παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο και είναι η εξής :

$$C_{Fm} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_m - 2)^2}$$

Αντικαθιστώντας τον αριθμό Re του μοντέλου προκύπτει ότι  $C_{Fm}=3.304 \cdot 10^{-3}$  και επειδή ισχύει ότι  $C_{Tm}=C_{Fm} + C_{Rm}$  προκύπτει ότι συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι ίσος με  $C_{Rm}= 2.605 \cdot 10^{-3}$ . Με βάση τα παραπάνω στοιχεία για το πειραματικό μοντέλο ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας για τη σύγκριση των τιμών των παραπάνω μεγεθών με τα αποτελέσματα του προγράμματος RESOUT.

A/A	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΠΟΛΟΙΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	1.699	2.505	5809000	0.005910	0.00304	0.002605
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RESOUT	1.699	2.505	5810000	0.005910	0.00304	0.002605

Τα αντίστοιχα μεγέθη για το γεωμετρικά όμοιο υπό μελέτη πλοίο υπολογίζονται με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός Re για το υπό μελέτη πλοίο.

$$Re_s = \frac{V_s * L_{bulb}}{v_s}$$

όπου  $V_s$  [m/s] = 8.236 m/s, η ταχύτητα του υπό μελέτη πλοίου που δίνεται από τη σχέση :

$$V_s = V_m * \sqrt{\lambda} = 1.699 * \sqrt{23.5} = 8.236 \text{ m/s}$$

$L_{bulb}$  [m] = 82.26 m, το μήκος του υπό μελέτη πλοίου έως την άκρη του βολβού. Επειδή ωστόσο το γεωμετρικά όμοιο πλοίο δεν διαθέτει βολβό το μήκος αυτό συμπίπτει με το μήκος της ισάλου πλευσης.

$v_m$  [m<sup>2</sup>/sec] =  $1.18831 \cdot 10^{-6}$ , η κινηματική συνεκτικότητα του θαλασσινού νερού για 15° C σύμφωνα με τον πίνακα του παραρτήματος Η.

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών προκύπτει ότι ο αριθμός Reynolds ισούται με  $Re=5.701 \cdot 10^8$ . Κατόπιν υπολογίζεται με βάση τον υπολογισθέντα αριθμό Re του πλοίου ο συντελεστής τριβής του υπό μελέτη πλοίου μέσω της εμπειρικής καμπύλης της ITTC :

$$C_{Fs} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_s - 2)^2}$$

Αντικαθιστώντας τον αριθμό Re του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει ότι  $C_{Fs}=1.643 \cdot 10^{-3}$ . Σε αυτό το σημείο γίνεται χρήση της υπόθεσης Froude, σύμφωνα με την οποία όταν μεταξύ

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

πλοίου και μοντέλου υπάρχει γεωμετρική ομοιότητα και επιπρόσθετα πλοίο και μοντέλο έχουν τον ίδιο αριθμό  $F_n$ , τότε ο συντελεστής αντίστασης πλοίου και μοντέλου είναι ο ίδιος, δηλαδή ισχύει ότι :

$$C_{R_s} (F_{n_s}) = C_{R_m} (F_{n_m})$$

Λόγω αυτής της ισότητας προκύπτει τότε το εξής :

$C_{T_s} = C_{F_s} + C_{R_s} = C_{F_s} + C_{R_m} = C_{F_s} + C_{T_m} - C_{F_m} = 4.248 * 10^{-3}$ . Η ολική αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου αντίστοιχα υπολογίζεται ως εξής :

$$R_s = 0.5 * C_{T_s} * \rho_s * S_s * V_s^2$$

όπου  $C_{T_s} = 4.248 * 10^{-3}$ , ο συντελεστής ολικής αντίστασης του υπό μελέτη πλοίου

$S_s [m^2] = 1593.24 m^2$ , η βρεχόμενη επιφάνεια του υπό μελέτη πλοίου

$V_s [m/s] = 8.236 m/s$ , η ταχύτητα του υπό μελέτη πλοίου

$\rho [kr*sec^2/m^4] = 104.61 kr*sec^2/m^4$ , η πυκνότητα θαλασσινού νερού για  $19.2^\circ C$

σύμφωνα με τον πίνακα του παραρτήματος Η.

Με αντικατάσταση των παραπάνω μεγεθών η ολική αντίσταση του πλοίου υπολογίζεται ίση με  $R_s = 24013$  kr. Επίσης, η ισχύς ρυμούλκησης του υπό μελέτη πλοίου σε EHP δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$EHP = \frac{R_s * V_s}{75}$$

όπου αντικαθιστώντας την ολική αντίσταση του πλοίου σε kr καθώς και την ταχύτητα του πλοίου σε m/s προκύπτει ότι  $EHP = 2637$  PS. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία για το υπό μελέτη πλοίο ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας για τη σύγκριση των τιμών των παραπάνω μεγεθών με τα αποτελέσματα του προγράμματος RESOUT.

A/A	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΟΙΟΥ	ΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΣΥΝΤΕΛ. ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛ. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	ΣΥΝΤΕΛ. ΥΠΟΛΟΙΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	ΙΣΧΥΣ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	8.236	24013	$5.701 * 10^8$	0.004248	0.001643	0.002605	2637
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RESOUT	8.240	24017	$5.701 * 10^8$	0.004249	0.001643	0.002605	2637.5

Παρατηρείται πως υπάρχει πλήρης ταύτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της αναλυτικής μεθόδου και των αποτελεσμάτων του προγράμματος RESOUT, τόσο για το μοντέλο όσο και για το υπό μελέτη πλοίο. Μοναδική ίσως εξαίρεση αποτελεί η ολική αντίσταση και κατ'επέκταση η ισχύς ρυμούλκησης που οφείλεται στο γεγονός πως το πρόγραμμα RESOUT στην ταχύτητα δεν έχει τον ίδιο αριθμό σημαντικών ψηφίων με αυτόν της αναλυτικής μεθόδου με αποτέλεσμα η διαφορά να οφείλεται στη στρογγυλοποίηση.

### 3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται η παρουσίαση και η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων, η οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με τρεις παραμέτρους. Η πρώτη παράμετρος αφορά την επίδραση του εκτοπίσματος στην αντίσταση, η δεύτερη παράμετρος αφορά την επίδραση της απόστασης μεταξύ των ημιγαστρών στην αντίσταση και η τρίτη παράμετρος αφορά την επίδραση της διαγωγής στην αντίσταση. Στα διαγράμματα που ακολουθούν η απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών θα εκφράζεται με το λόγο  $S/L$ , όπου ισούται με το λόγο της απόστασης των διαμήκων αξόνων συμμετρίας των δύο ημιγαστρών ( $S$ ) προς το μήκος μεταξύ καθέτων του μοντέλου που είναι  $L_{BPMODEL} = 75/23.5 = 3.192$  m. Σε κλίμακα μοντέλου οι αποστάσεις των δύο ημιγαστρών που εξετάστηκαν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι 0.578m, 0.800m και 1.000m, οι οποίες αντιστοιχούν σε λόγους  $S/L$  ίσους με 0.181, 0.251 και 0.313 αντίστοιχα.

Στην ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων συμπεριλαμβάνεται στην παρουσίαση κάθε παραμέτρου και εκτενής σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του πειραματικού μοντέλου και των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου παραπλήσιας σχεδίασης με το πειραματικό, το οποίο ωστόσο διέθετε βολβό. Τα αποτελέσματα για το παραπλήσιας σχεδίασης μοντέλο με βολβό λήφθησαν από τη διπλωματική εργασία του Κ. Νίκα "ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΠΛΟΙΟΥ" με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Τζαμπίρα. Η σύγκριση έχει ως στόχο την εξέταση της ρόλου του βολβού στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γαστρών και στην επίδραση του εκτοπίσματος και της διαγωγής στην αντίσταση. Βασική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο μοντέλων αποτελεί το γεγονός πως κατασκευάστηκαν με διαφορετική κλίμακα ως προς τα αντίστοιχα υπό μελέτη πλοία με αποτέλεσμα οι λόγοι  $S/L$  για το μοντέλο με βολβό να είναι 0.185, 0.256 και 0.320. Θεωρείται ωστόσο πως οι παραπάνω λόγοι είναι αρκετά κοντά σε σχέση με αυτούς του πειραματικού μοντέλου χωρίς βολβό με συνέπεια τα αποτελέσματά τους να είναι άμεσα συγκρίσιμα και οι διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  να θεωρούνται αμελητέες. Για την αποφυγή σύγχυσης σημειώνεται πως στην παρουσίαση των συμπερασμάτων των κοινών διαγραμμάτων των δύο μοντέλων οι λόγοι  $S/L=0.181$  και  $S/L=0.185$  αναφέρονται με το λόγο  $S/L=0.185$ , οι λόγοι  $S/L=0.251$  και  $S/L=0.256$  αναφέρονται με το λόγο  $S/L=0.256$  και οι λόγοι  $S/L=0.313$  και  $S/L=0.320$  αναφέρονται με το λόγο  $S/L=0.320$ . Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι κοινές καταστάσεις φόρτωσης ως προς τις οποίες πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των δύο μοντέλων, με βολβό και μη, είναι η A1, A2, A3 και B3 καθώς και ότι για τις ταχύτητες 3kn, 4kn και 5kn λόγω των πολύ μικρών δυνάμεων αντίστασης οι λαμβανόμενες τιμές δεν είναι ρεαλιστικές και επομένως δεν θα συμπεριλαμβάνονται στο σχολιασμό των ακόλουθων διαγραμμάτων.

#### 3.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

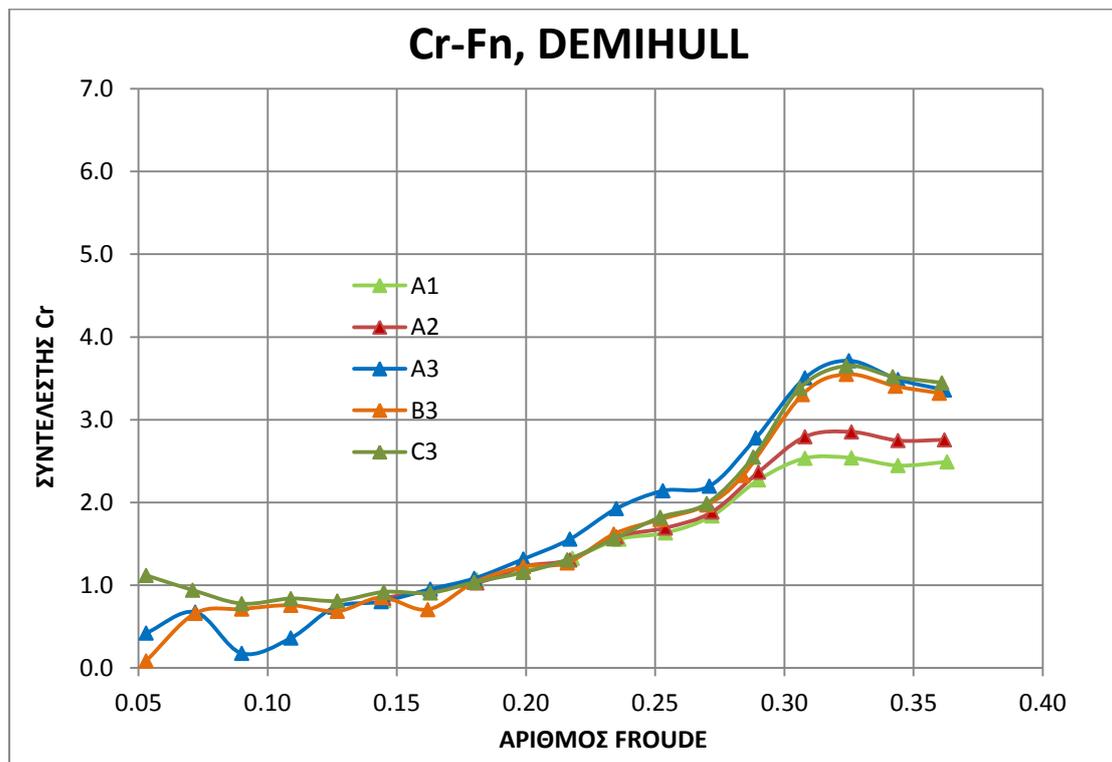
Η αντίσταση ενός σκάφους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εκτόπισμα, το βρεχόμενο μήκος και τη βρεχόμενη επιφάνεια. Στην παρούσα παράγραφο μελετάται η επίδραση της μεταβολής του εκτοπίσματος στην αντίσταση, η οποία όμως με τη σειρά της μεταβάλλει τόσο το βρεχόμενο μήκος όσο και τη βρεχόμενη επιφάνεια. Παρατηρείται ωστόσο από τον

υδροστατικό πίνακα του κεφαλαίου 1 ότι οι διαφορές μεταξύ των μελετούμενων καταστάσεων φόρτωσης ως προς τα βρεχόμενα μήκη και τις επιφάνειες είναι μικρές με αποτέλεσμα ο συντελεστής αντίστασης τριβής να μην επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη μια κατάσταση φόρτωσης στην άλλη. Συνεπώς, ο συντελεστής που διαφοροποιεί σημαντικά το συντελεστή ολικής αντίστασης, μεταβαλλόμενου του εκτοπίσματος, είναι αυτός της υπόλοιπης αντίστασης, ο οποίος και μελετάται.

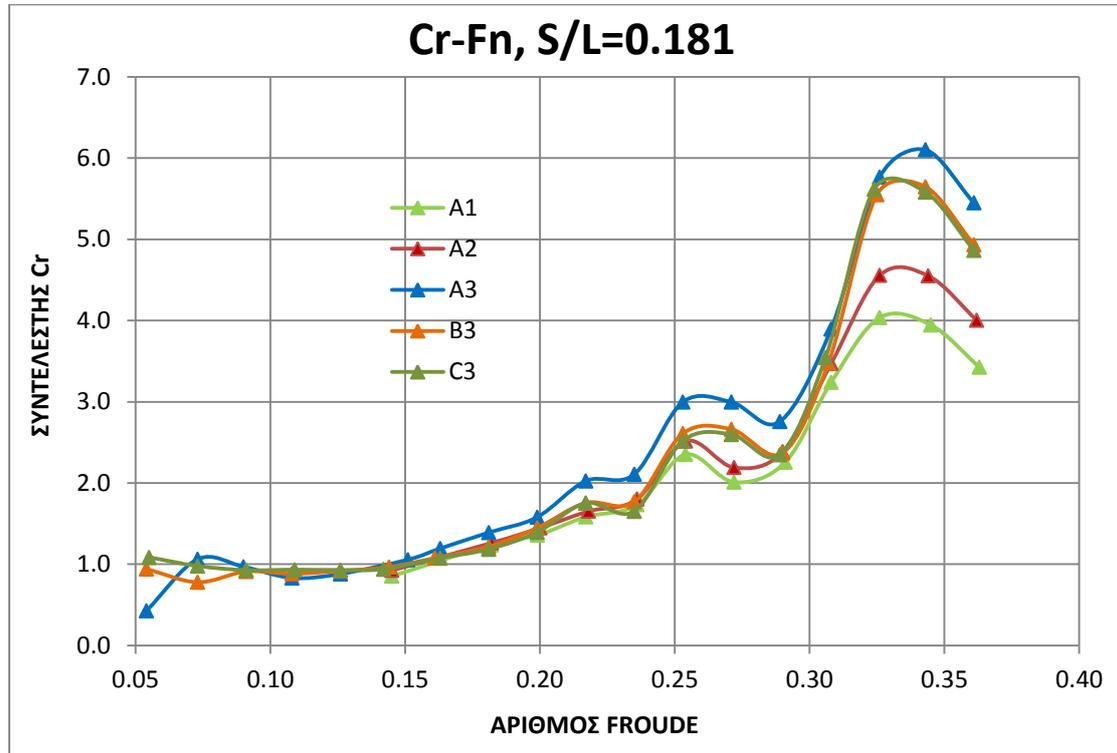
Όπως έχει εξηγηθεί στο κεφάλαιο 1, η υπόλοιπη αντίσταση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την αντίσταση λόγω συνεκτικότητας και από την αντίσταση κυματισμού. Η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας επηρεάζεται κυρίως από τη μορφή της γάστρας και από τη βρεχόμενη επιφάνεια. Η βρεχόμενη επιφάνεια, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, δεν διαφέρει ιδιαίτερα μεταξύ των καταστάσεων φόρτωσης οπότε σημαντικό είναι να εξεταστεί η μορφή της γάστρας και ιδιαίτερα εάν υπάρχουν πιθανά σημεία αποκόλλησης της ροής. Πιθανό τέτοιο σημείο στο πειραματικό μοντέλο δοκιμών είναι η πρύμνη καθρέφτης, για την οποία στις καταστάσεις φόρτωσης A3, B3 και C3 παρατηρείται οριακή βύθισή της. Από την άλλη πλευρά σημειώνεται ότι η αντίσταση λόγω κυματισμού εξαρτάται από τη βρεχόμενη επιφάνεια, η οποία δε διαφέρει ιδιαίτερα μεταξύ των καταστάσεων φόρτωσης, από τη ταχύτητα του μοντέλου καθώς και από τον όγκο της γάστρας που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Ακολουθως παρουσιάζονται για το μοντέλο μονής γάστρας καθώς και για το δίγαστρο μοντέλο για τους τρεις λόγους S/L οι συντελεστές υπόλοιπης αντίστασης συναρτήσε του αριθμού Froude για όλες τις μελετούμενες καταστάσεις φόρτωσης.

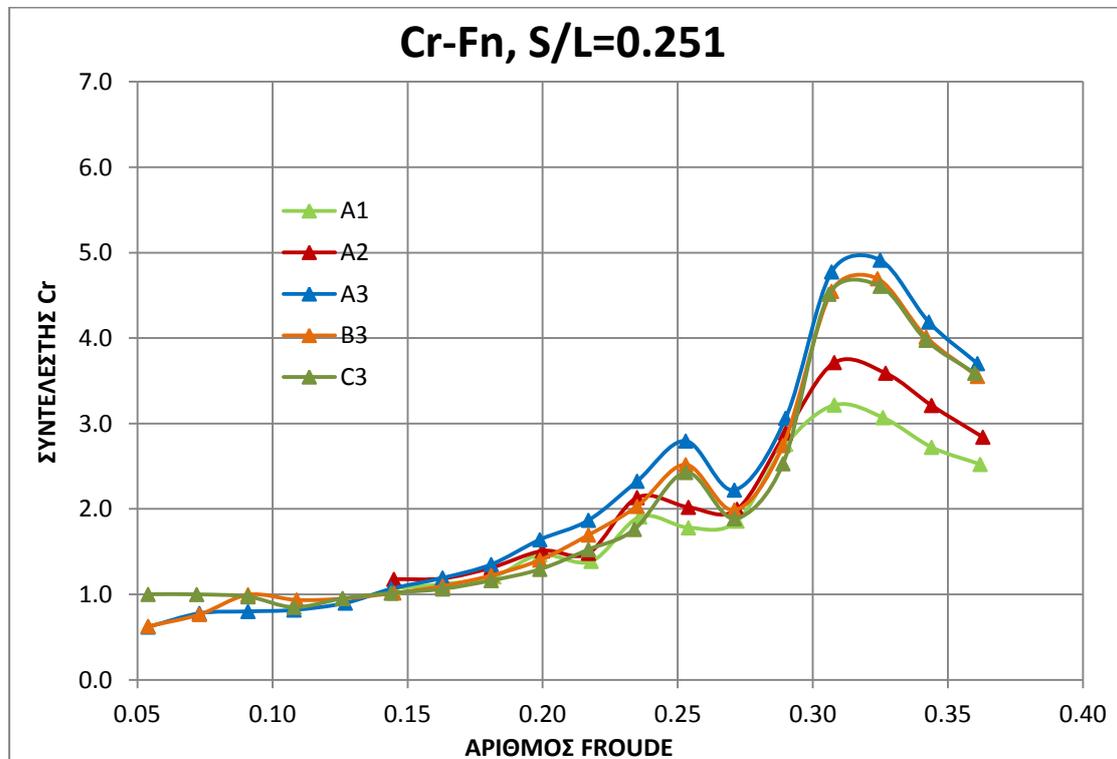
#### DEMIHULL



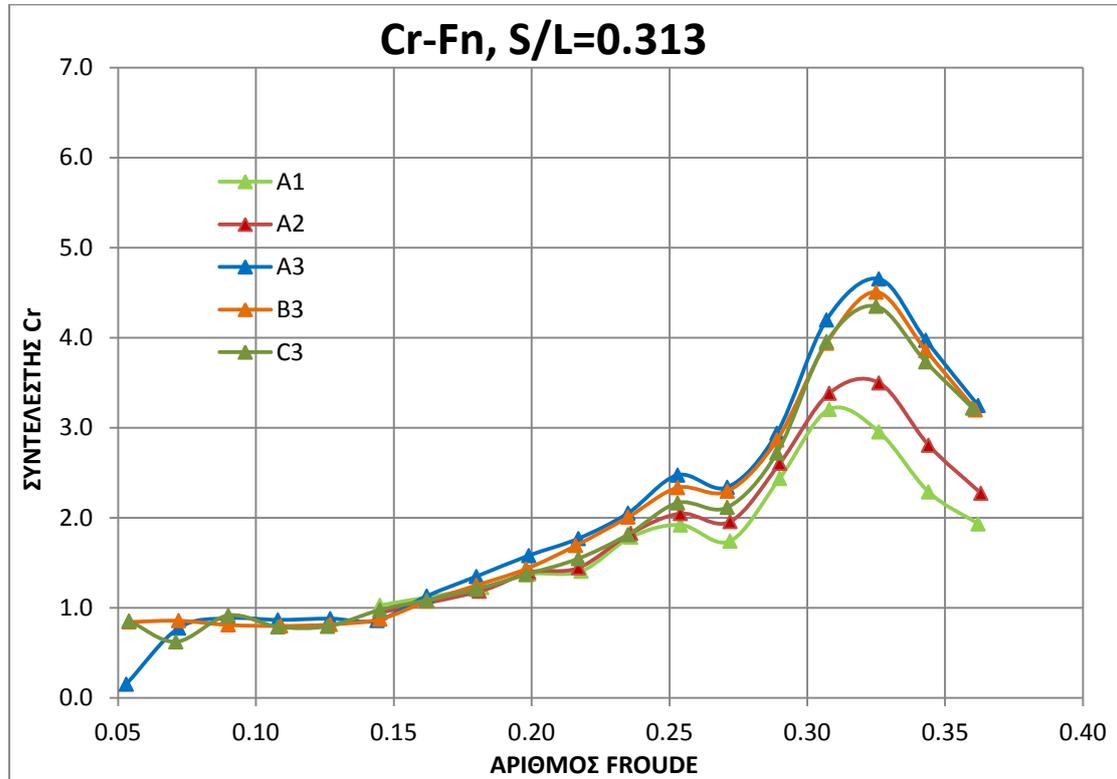
ΛΟΓΟΣ S/L=0.181



ΛΟΓΟΣ S/L=0.251



ΛΟΓΟΣ S/L=0.313

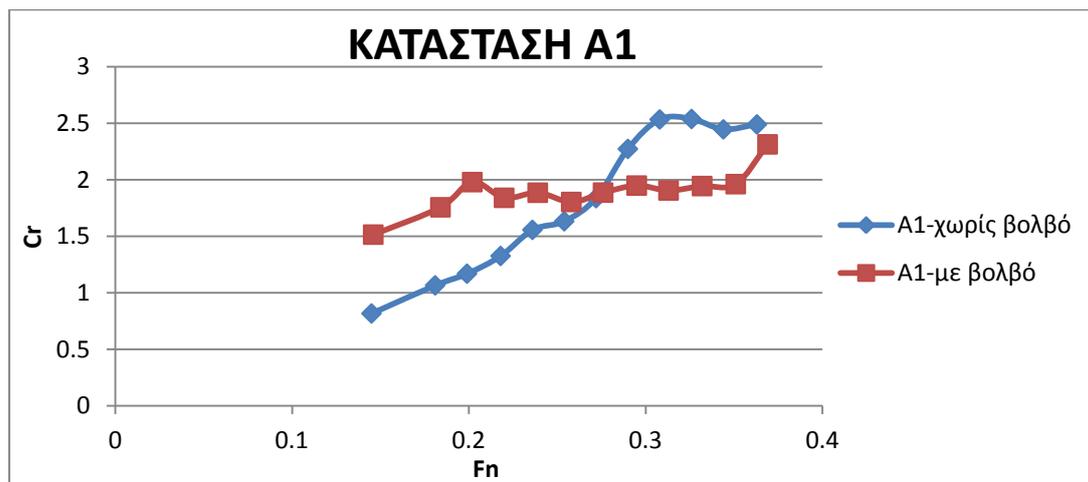


Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται πως για το μοντέλο μονής γάστρας καθώς και για τους τρεις λόγους S/L η κατάσταση φόρτωσης που εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Froude είναι η A3. Οι καταστάσεις φόρτωσης B3 και C3, οι οποίες σχεδόν ταυτίζονται για όλους τους αριθμούς Froude, παρουσιάζουν τον αμέσως μικρότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μετά την κατάσταση φόρτωσης A3, με την κατάσταση B3 για ορισμένους αριθμούς Froude να παρουσιάζει οριακά μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την κατάσταση C3 για τους τρεις λόγους S/L. Ακόμη σημειώνεται ότι ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για την κατάσταση φόρτωσης A1, ενώ ο δεύτερος μικρότερος για την κατάσταση φόρτωσης A2.

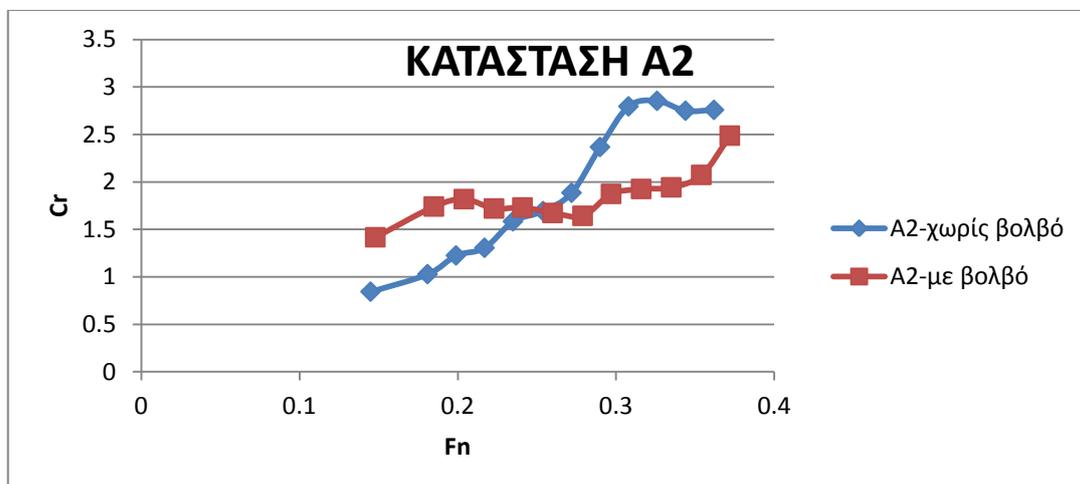
Αναφορικά με τη μορφή των καμπυλών παρατηρείται πως όλες οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή μεταξύ τους. Κοινό τόπο αποτελεί το γεγονός ότι για αριθμό Froude ίσο με 0.27-0.28 όλες οι καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζουν τοπικό ελάχιστο τόσο για την περίπτωση της μονής γάστρας όσο και για τους τρεις λόγους S/L. Διαπιστώνεται ωστόσο ότι το τοπικό ελάχιστο είναι περισσότερο έντονο για τους τρεις λόγους S/L του δίγαστρου μοντέλου που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γαστρών, οι οποίες είναι ευνοϊκές για αυτές τις τιμές των αριθμών Froude και οδηγούν σε μείωση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.33 παρατηρείται δραστική μείωση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για τους τρεις λόγους S/L σε αντίθεση με τη περίπτωση της μονής γάστρας, όπου η μείωση αυτή είναι σχεδόν ανεπαίσθητη.

Ακολουθως παρουσιάζονται σε κοινά διαγράμματα για την περίπτωση της μονής γάστρας και για κάθε λόγο  $S/L$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης συναρτήσει του αριθμού Froude των καταστάσεων φόρτωσης A1, A2, A3 και B3 τόσο για μοντέλο χωρίς βολβό όσο και για το μοντέλο με βολβό με σκοπό να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ τους ως προς τον ρόλο του βολβού στην επίδραση του εκποτίσματος στην υπόλοιπη αντίσταση. Να σημειωθεί επίσης πως η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό, ενώ η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο με βολβό.

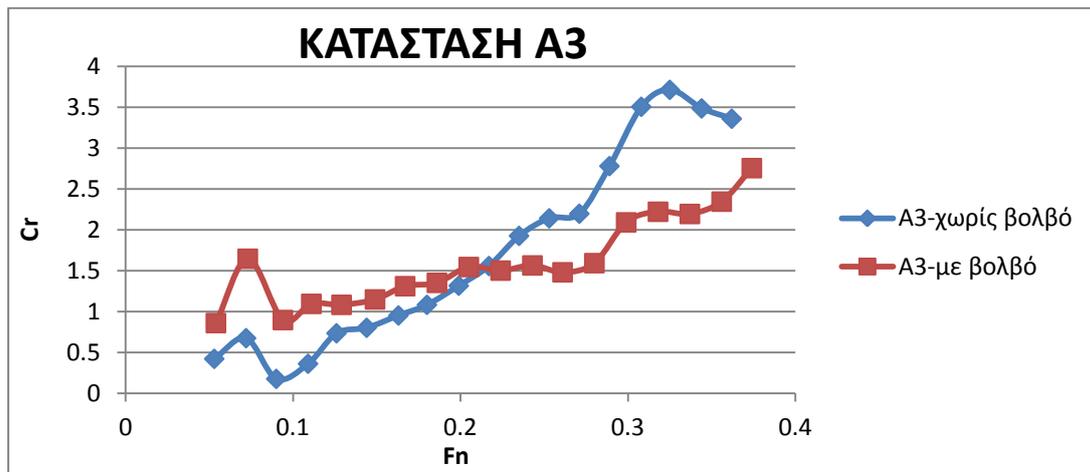
#### DEMIHULL



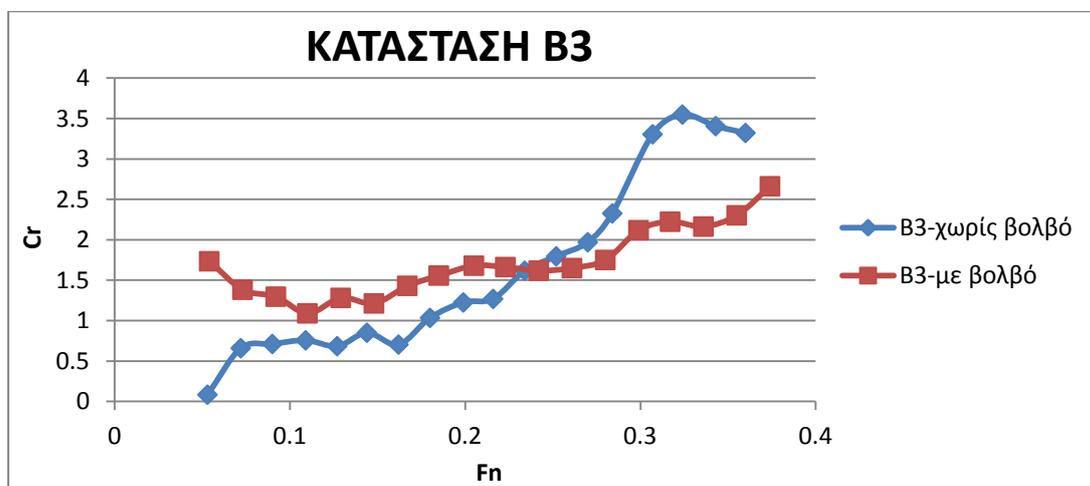
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για τη μονή γάστρα ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A1 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.27, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.27 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών καθώς για το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζεται σαφής αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης καθώς ο αριθμός  $F_n$  μεγαλώνει, σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό όπου με αύξηση του αριθμού  $F_n$  η θετική μεταβολή του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης είναι οριακή.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για τη μονή γάστρα ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A2 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.255, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.255 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών καθώς για το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζεται σαφής αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης καθώς ο αριθμός  $F_n$  μεγαλώνει, σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό όπου με αύξηση του αριθμού  $F_n$  η θετική μεταβολή του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης είναι αισθητά μικρότερη.



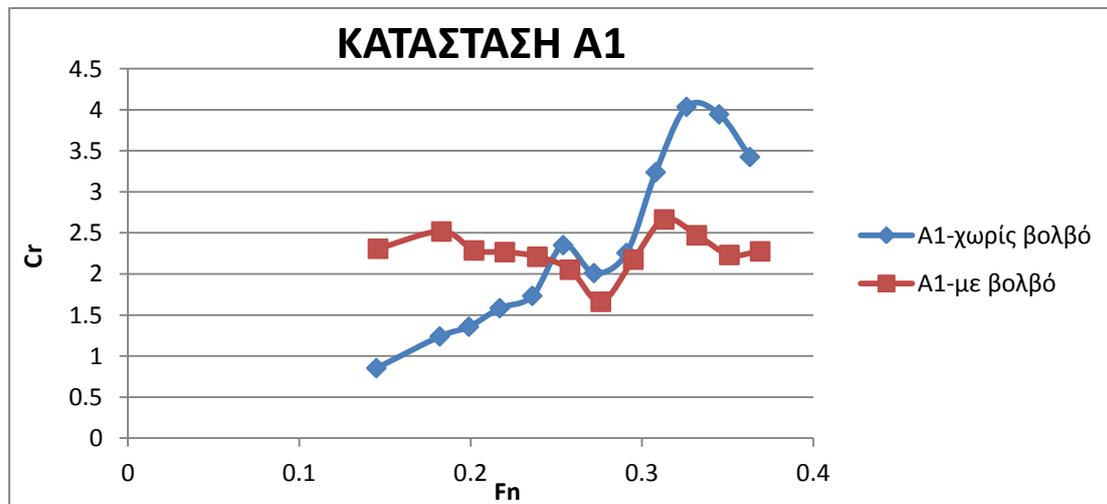
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για τη μονή γάστρα ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A3 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.22, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.22 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό καθώς αυξανόμενου του αριθμού  $F_n$  παρατηρείται αυξητική τάση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, η οποία ωστόσο εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη για το μοντέλο χωρίς βολβό.



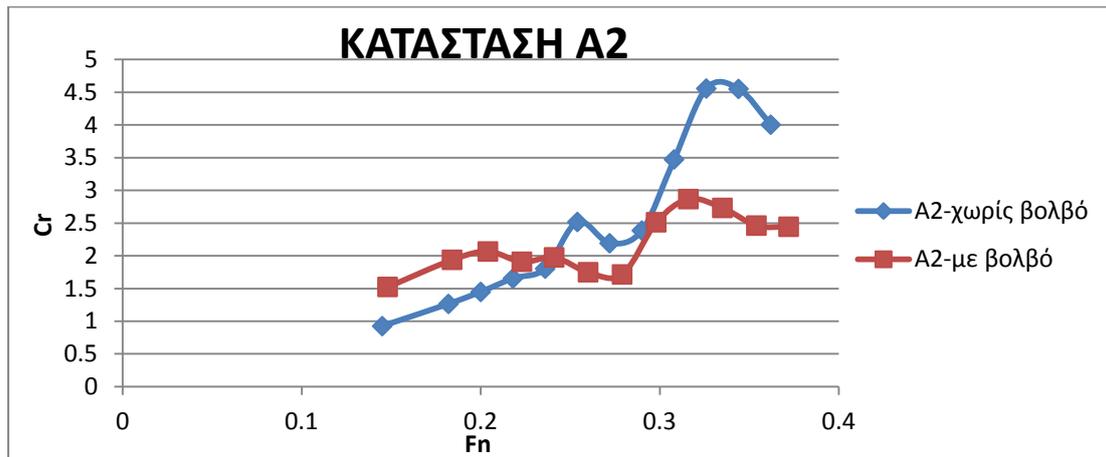
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για τη μονή γάστρα ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση B3 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.23, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.23 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό καθώς αυξανόμενου του αριθμού  $F_n$  παρατηρείται αυξητική τάση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, η οποία ωστόσο εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη για το μοντέλο χωρίς βολβό.

Συνολικά για το μοντέλο μονής γάστρας παρατηρείται για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό για αριθμούς Froude μικρότερους περίπου από 0.25, ενώ για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.25 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο χωρίς βολβό. Συμπερασματικά, ο βολβός επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.25, οι οποίοι σε κλίμακα πλοίου αντιστοιχούν περίπου σε ταχύτητα 14 κόμβων, ενώ για αριθμούς Froude μικρότερους από 0.25 η ύπαρξη βολβού δεν ευνοεί την ολική αντίσταση του μοντέλου οδηγώντας σε αυξημένες τιμές της υπόλοιπης αντίστασης.

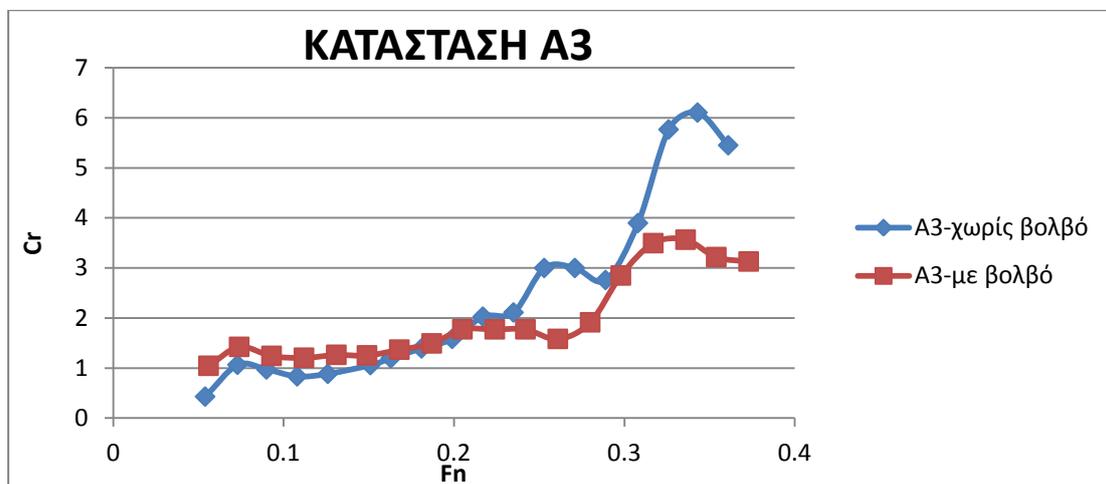
$S/L=0.185$



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.185$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A1 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.24, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.26, με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν τοπικό ελάχιστο για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.28 και την καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό να είναι μετατοπισμένη προς τα πάνω σε σχέση με αυτή του μοντέλου με βολβό.

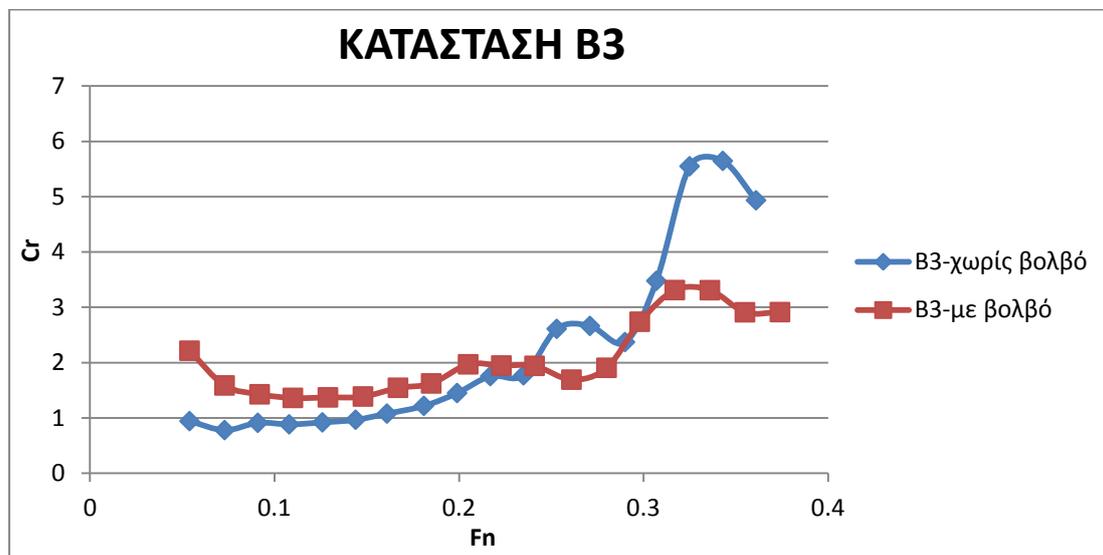


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.185$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση Α2 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.24, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό για μεγάλο εύρος αριθμών  $F_n$ , με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν τοπικό ελάχιστο για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.27 και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.185$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση Α3 είναι οριακά μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.21, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.21 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό για μεγάλο εύρος αριθμών  $F_n$ , με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν τοπικό ελάχιστο για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει

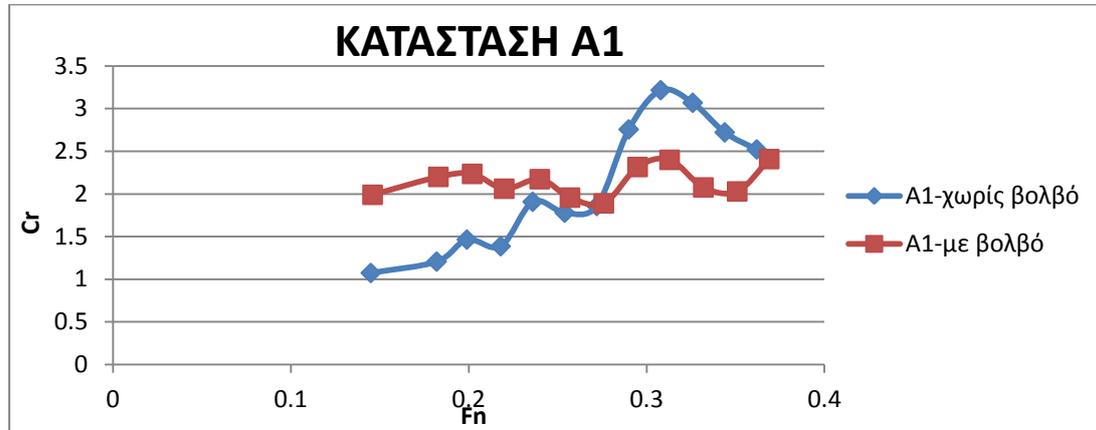
μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται.



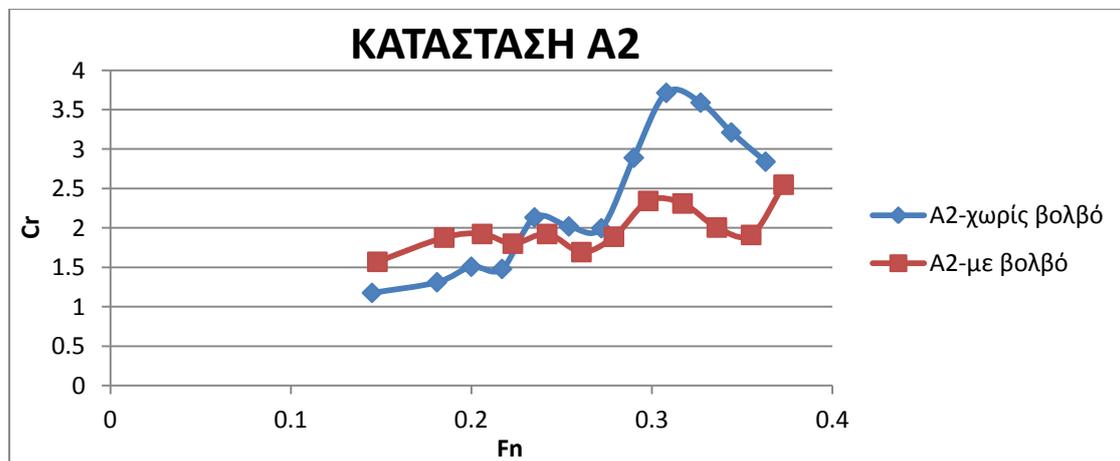
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.185$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση B3 είναι οριακά μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.24, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό για μεγάλο εύρος αριθμών  $F_n$ , με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν τοπικό ελάχιστο για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται.

Συνολικά για το κοινό λόγο  $S/L=0.185$  παρατηρείται για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό για αριθμούς Froude μικρότερους περίπου από 0.24, ενώ για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο χωρίς βολβό. Συμπερασματικά, ο βολβός επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24, οι οποίοι σε κλίμακα πλοίου αντιστοιχούν περίπου σε ταχύτητα 14 κόμβων, ενώ για αριθμούς Froude μικρότερους από 0.24 η ύπαρξη βολβού δεν ευνοεί την ολική αντίσταση του μοντέλου οδηγώντας σε αυξημένες τιμές της υπόλοιπης αντίστασης, ακριβώς όπως και στην περίπτωση της μονής γάστρας. Ακόμη σημειώνεται πως στις καταστάσεις φόρτωσης A3 και B3 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης των δύο μοντέλων παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή του σε σχέση με τις καταστάσεις φόρτωσης A1 και A2.

$S/L=0.256$

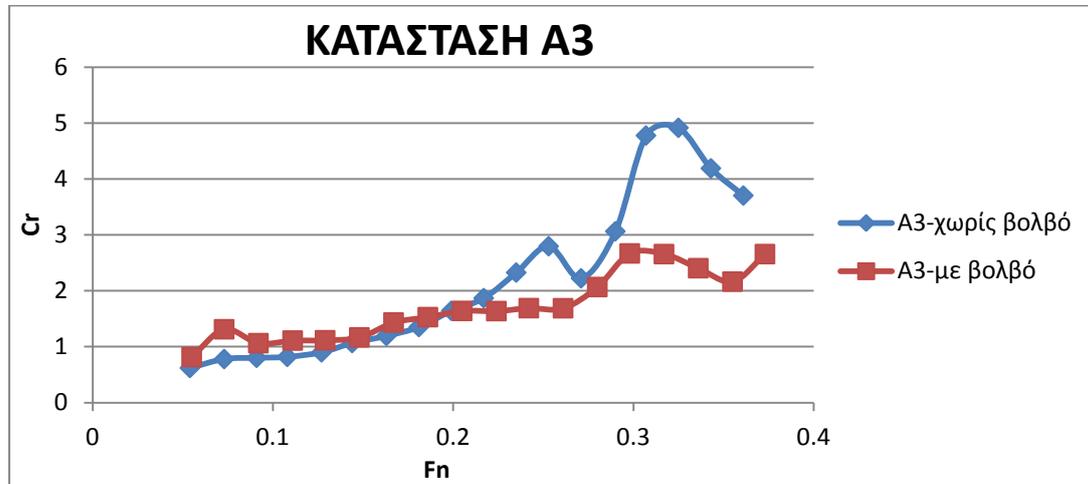


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.256$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A1 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.27, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.27 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών καθώς για το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζεται σαφής αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης καθώς ο αριθμός  $F_n$  μεγαλώνει έως την τιμή 0.3, σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό όπου με αύξηση του αριθμού  $F_n$  δεν παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.

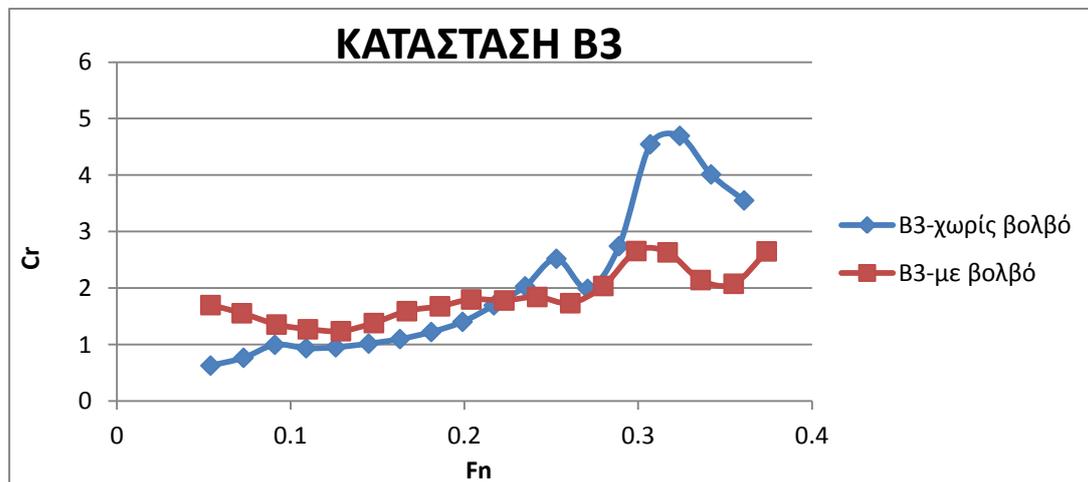


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.1256$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A2 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.21, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.21 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό, με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν ένα τοπικό ελάχιστο για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.26 και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του

συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $Fn$  αυξάνεται, ειδικά μέχρι την τιμή  $Fn=0.3$ .



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.256$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A3 είναι οριακά μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $Fn$  έως 0.21, ενώ για αριθμούς  $Fn$  μεγαλύτερους από 0.21 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για μεγάλο εύρος αριθμών  $Fn$ , με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $Fn$  αυξάνεται.

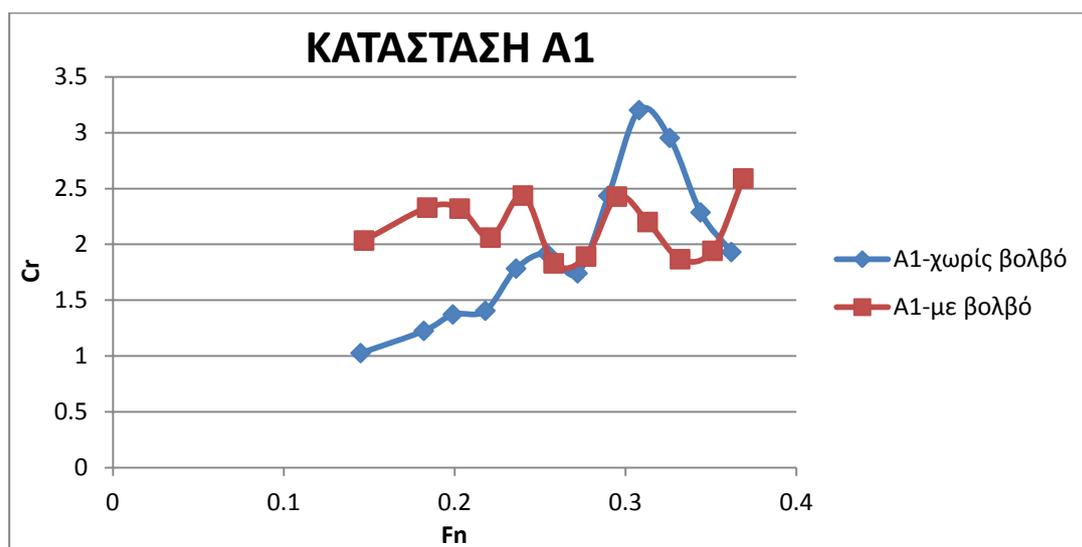


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.256$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση B3 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $Fn$  έως 0.22, ενώ για αριθμούς  $Fn$  μεγαλύτερους από 0.22 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για μεγάλο εύρος αριθμών  $Fn$ , με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης

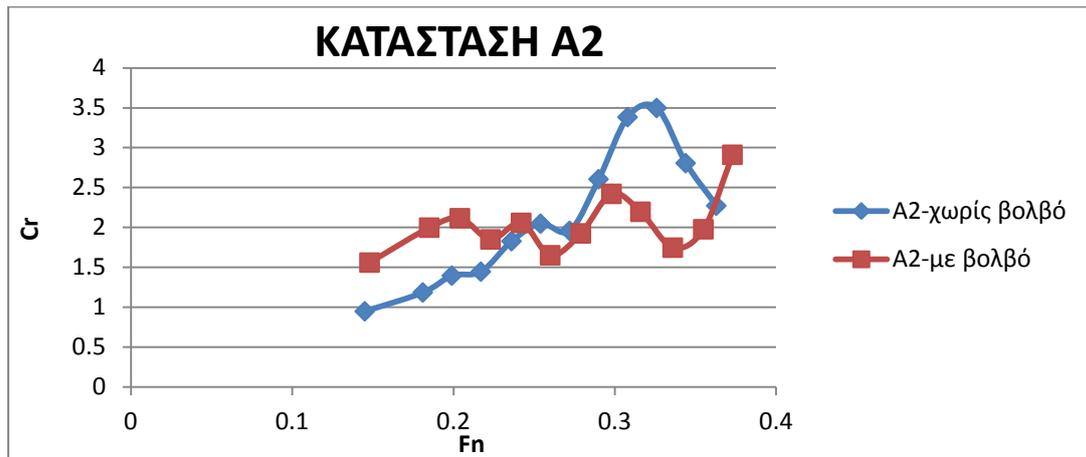
αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται, ειδικά μέχρι την τιμή  $F_n=0.3$ .

Συνολικά για το κοινό λόγο  $S/L=0.256$  παρατηρείται για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό για αριθμούς Froude μικρότερους περίπου από 0.24, ενώ για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο χωρίς βολβό. Συμπερασματικά, ο βολβός επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24, οι οποίοι σε κλίμακα πλοίου αντιστοιχούν περίπου σε ταχύτητα 14 κόμβων, ενώ για αριθμούς Froude μικρότερους από 0.24 η ύπαρξη βολβού δεν ευνοεί την ολική αντίσταση του μοντέλου οδηγώντας σε αυξημένες τιμές της υπόλοιπης αντίστασης, ακριβώς όπως και στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις. Ακόμη σημειώνεται πως στις καταστάσεις φόρτωσης A3 και B3 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης των δύο μοντέλων παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή του σε σχέση με τις καταστάσεις φόρτωσης A1 και A2.

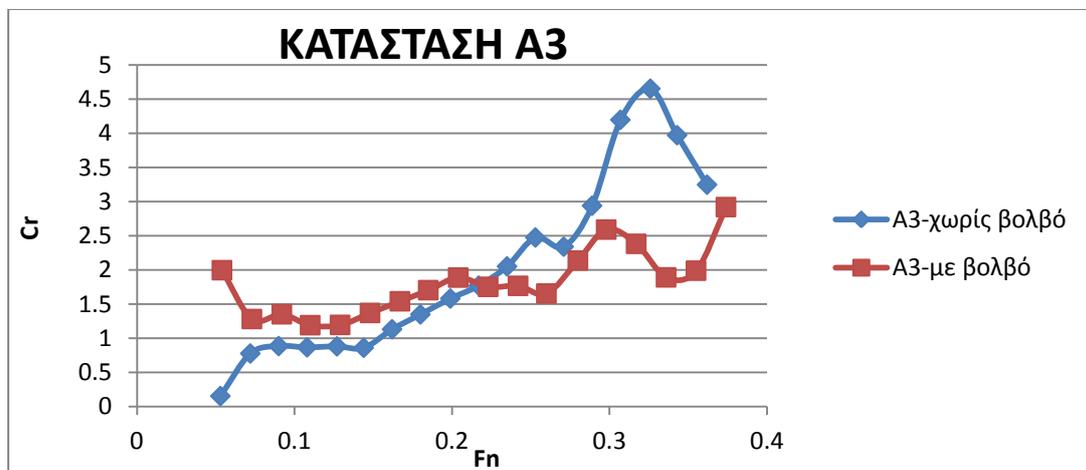
$S/L=0.320$



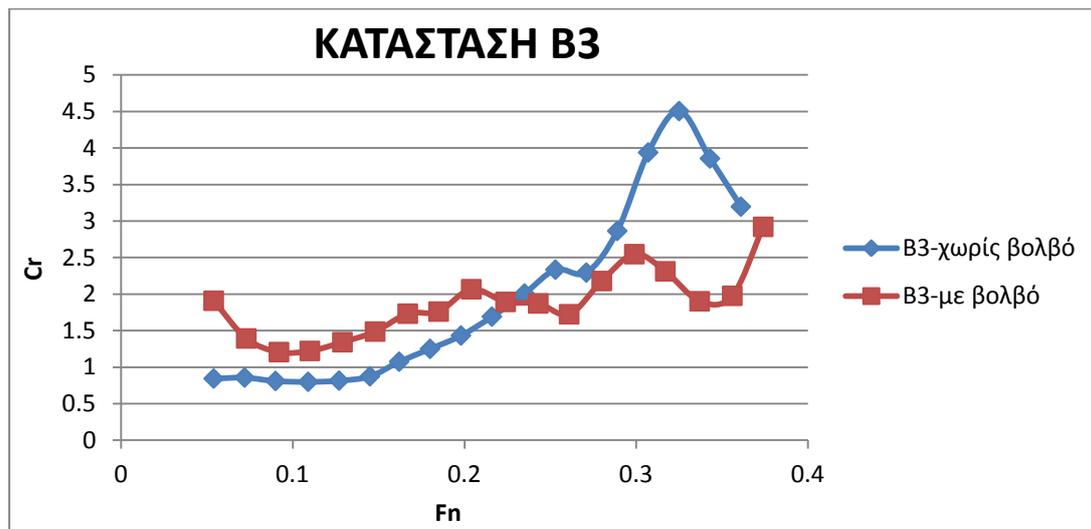
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.320$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A1 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.26, για αριθμούς  $F_n$  από 0.26 έως 0.30 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι σχεδόν ίδιος για τα δύο μοντέλα, για αριθμούς  $F_n$  από 0.30 έως 0.35 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό, ενώ τέλος για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.35 το μοντέλο με βολβό παρουσιάζει πάλι μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Σημειώνεται επίσης πως δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ .



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.320$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A2 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.24, για αριθμούς  $F_n$  από 0.24 έως 0.35 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό, ενώ τέλος για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.35 το μοντέλο με βολβό παρουσιάζει πάλι μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, όπως και στην κατάσταση A1. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται κάποια ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για το μοντέλο χωρίς βολβό και το μοντέλο με βολβό, με τις δύο να καμπύλες να εμφανίζουν ένα τοπικό ελάχιστο για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  0.26-0.27.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.320$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση A3 είναι οριακά μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.21, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.21 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για μεγάλο εύρος αριθμών  $F_n$ , με τις δύο καμπύλες να παρουσιάζουν ένα τοπικό ελάχιστο για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  0.26-0.27 και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται, ειδικά μέχρι τη τιμή  $F_n=0.30$ .



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως για το λόγο  $S/L=0.320$  ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης στην κατάσταση B3 είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό για αριθμούς  $F_n$  έως 0.22, ενώ για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.22 το μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως παρουσιάζεται σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή των δύο καμπυλών για μεγάλο εύρος αριθμών  $F_n$ , με τα δύο μοντέλα να εμφανίζουν ένα τοπικό ελάχιστο για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  0.27-0.28 και το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο με βολβό καθώς ο αριθμός  $F_n$  αυξάνεται, ειδικά μέχρι την τιμή  $F_n=0.3$ .

Συνολικά για το κοινό λόγο  $S/L=0.320$  παρατηρείται για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό για αριθμούς Froude μικρότερους περίπου από 0.24, ενώ για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο χωρίς βολβό. Εξαίρεση ωστόσο αποτελούν οι καταστάσεις A1 και A2 στις οποίες για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.35 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το μοντέλο με βολβό. Συμπερασματικά, ο βολβός επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.24, οι οποίοι σε κλίμακα πλοίου αντιστοιχούν περίπου σε ταχύτητα 14 κόμβων, ενώ για αριθμούς Froude μικρότερους από 0.24 η ύπαρξη βολβού δεν ευνοεί την ολική αντίσταση του μοντέλου οδηγώντας σε αυξημένες τιμές της υπόλοιπης αντίστασης. Ακόμη, στις καταστάσεις A1 και A2 παρατηρείται πως για ταχύτητα πλοίου περίπου ίση με 19 κόμβους η επίδραση του βολβού επίσης δεν είναι θετική αυξάνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό. Ακόμη σημειώνεται πως στις καταστάσεις φόρτωσης A3 και B3 ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης των δύο μοντέλων παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιότητα ως προς τη μορφή του σε σχέση με τις καταστάσεις φόρτωσης A1 και A2.

### 3.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ S/L ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Η αλληλεπίδραση των ημιγαστρών σε ένα δίγαστρο σκάφος διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο κατά τη σχεδίασή του. Αυτό συμβαίνει καθώς η απόσταση των ημιγαστρών επηρεάζει άμεσα την ολική αντίσταση του σκάφους καθώς η υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών που δημιουργούνται μεταβάλλουν το πεδίο ροής γύρω από την κάθε ημιγάστρα, η οποία επηρεάζεται λόγω παρουσίας της άλλης. Η αλληλεπίδραση των ημιγαστρών αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής και πρόκειται να εξεταστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος συνίσταται στη χρήση του αδιάστατου δείκτη  $IF_{wpc}$  που προσδιορίζει το βαθμό συσχέτισης της αντίστασης του δίγαστρου σκάφους σε σχέση με τη μονή γάστρα ενώ ο δεύτερος τρόπος συνίσταται στη σύγκριση της επίδρασης των αποστάσεων των ημιγαστρών στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης.

#### 3.4.2.1 ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΓΑΣΤΡΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΙΓΑΣΤΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Ο αδιάστατος δείκτης  $IF_{wpc}$ , όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, προσδιορίζει το βαθμό συσχέτισης της αντίστασης του δίγαστρου σκάφους σε σχέση με τη μονή γάστρα. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε λόγο S/L προσδιορίζονται εκείνοι οι αριθμοί  $F_n$  για τους οποίους η αντίσταση του δίγαστρου σκάφους είναι μικρότερη από το διπλάσιο της αντίστασης του μονόγαστρου σκάφους. Σε αυτούς τους αριθμούς  $F_n$  η υπέρθεση των δύο συστημάτων κυματισμών επιδρά ευνοικά στην αντίσταση του δίγαστρου σκάφους και κρίνεται σκόπιμο η ταχύτητα υπηρεσίας να ανήκει στις περιοχές των αριθμών αυτών που θεωρούνται περιοχές βέλτιστης λειτουργίας. Ο αδιάστατος δείκτης  $IF_{wpc}$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

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

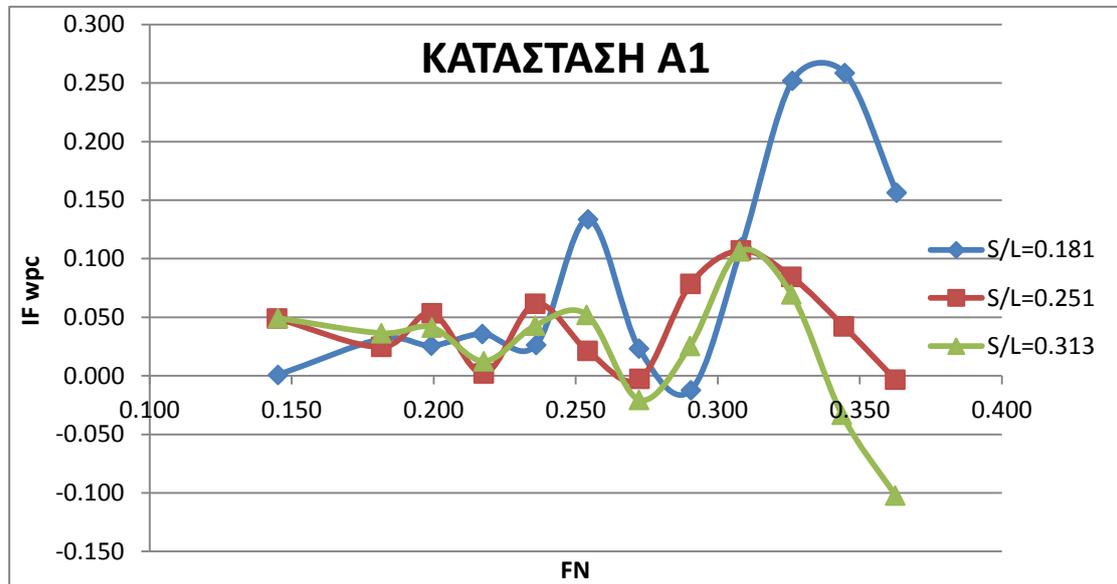
όπου  $R_{wpc}$  [kp] : η αντίσταση ρυμούλκησης του δίγαστρου μοντέλου

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

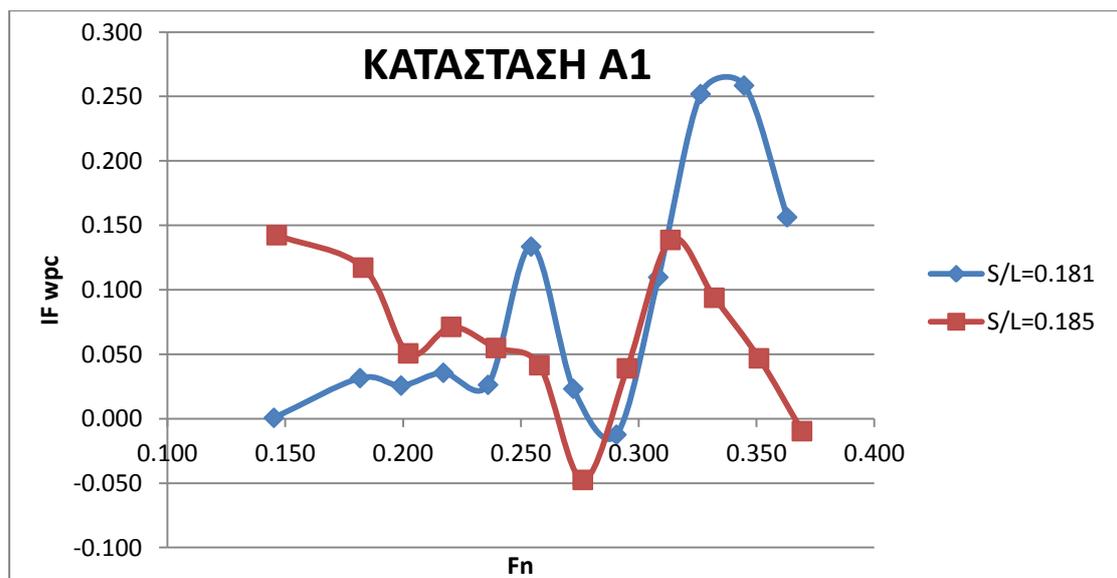
Όπως είναι λογικό, όταν ο δείκτης λαμβάνει την τιμή μηδέν, τότε η αντίσταση του δίγαστρου μοντέλου είναι διπλάσια της αντίστασης του μονόγαστρου. Αντίστοιχα όταν ο δείκτης πάρει την τιμή 1, τότε η αντίσταση του δίγαστρου είναι τετραπλάσια από αυτής του μονόγαστρου ενώ όταν ο δείκτης πάρει την τιμή -1, τότε η αντίσταση του μονόγαστρου είναι τετραπλάσια από αυτής του δίγαστρου. Από τον ορισμό του δείκτη  $IF_{wpc}$  θετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ημιγαστρών προκύπτουν για αρνητικές τιμές του δείκτη. Ακολουθούν για κάθε κατάσταση φόρτωσης και για κάθε λόγο S/L τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τον αδιάστατο δείκτη  $IF_{wpc}$  συναρτήσεως του αριθμού Froude για το πειραματικό μοντέλο δοκιμών. Επίσης, για κάθε κατάσταση φόρτωσης πραγματοποιείται για κάθε λόγο S/L ξεχωριστά σύγκριση του πειραματικού μοντέλου χωρίς βολβό και του μοντέλου με βολβό ως προς το δείκτη  $IF_{wpc}$  και παρουσιάζονται τα προκύψαντα

συμπεράσματα. Να σημειωθεί τέλος, πως στα διαγράμματα που συγκρίνονται τα δύο μοντέλα, η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό και η κόκκινη καμπύλη στο μοντέλο με βολβό.

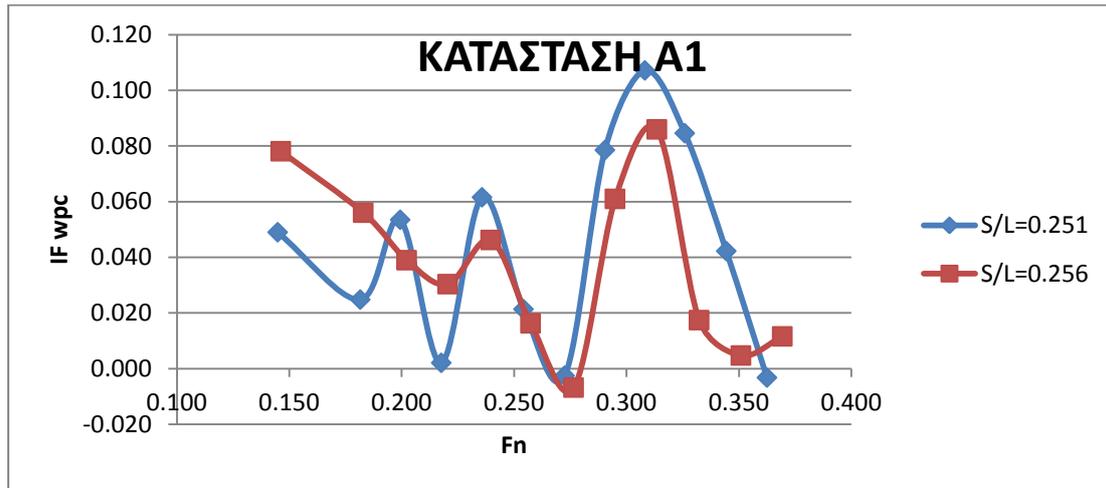
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α1



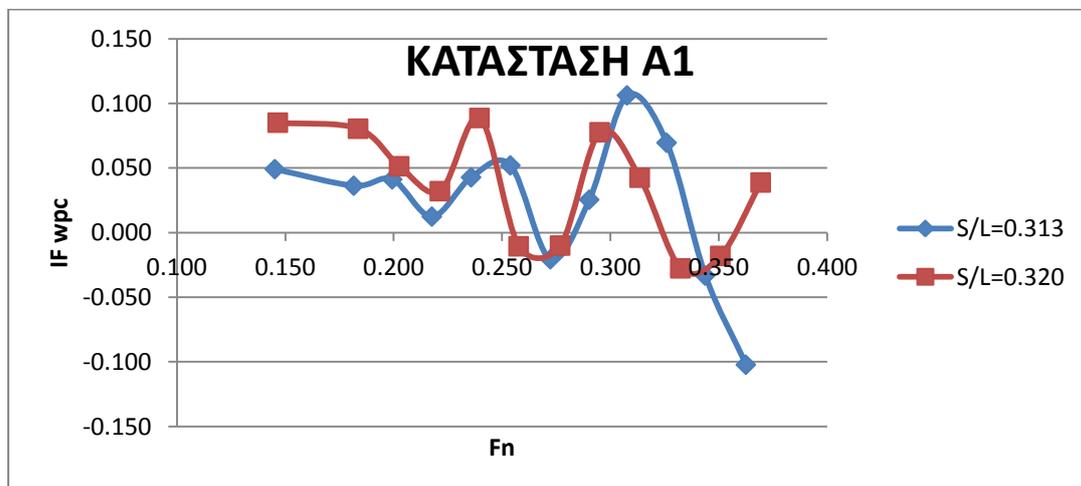
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για λόγο  $S/L=0.181$  υπάρχει μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.291, για λόγο  $S/L=0.251$  δύο θετικές αλληλεπιδράσεις για αριθμούς  $F_n$  ίσους με 0.272 και 0.363 και για λόγο  $S/L=0.313$  τρεις θετικές αλληλεπιδράσεις για αριθμούς  $F_n$  ίσους με 0.272, 0.344 και 0.363. Παρατηρείται επίσης πως για το λόγο  $S/L=0.313$  εμφανίζονται οι περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις ενώ η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται για το λόγο  $S/L=0.313$  και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 (αρχή ευνοϊκής επίδρασης του βολβού) και να παρουσιάζει δύο θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μόνο μία. Σημειώνεται επίσης πως η μια θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  για τα δύο μοντέλα ενώ η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με το βολβό και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.28.



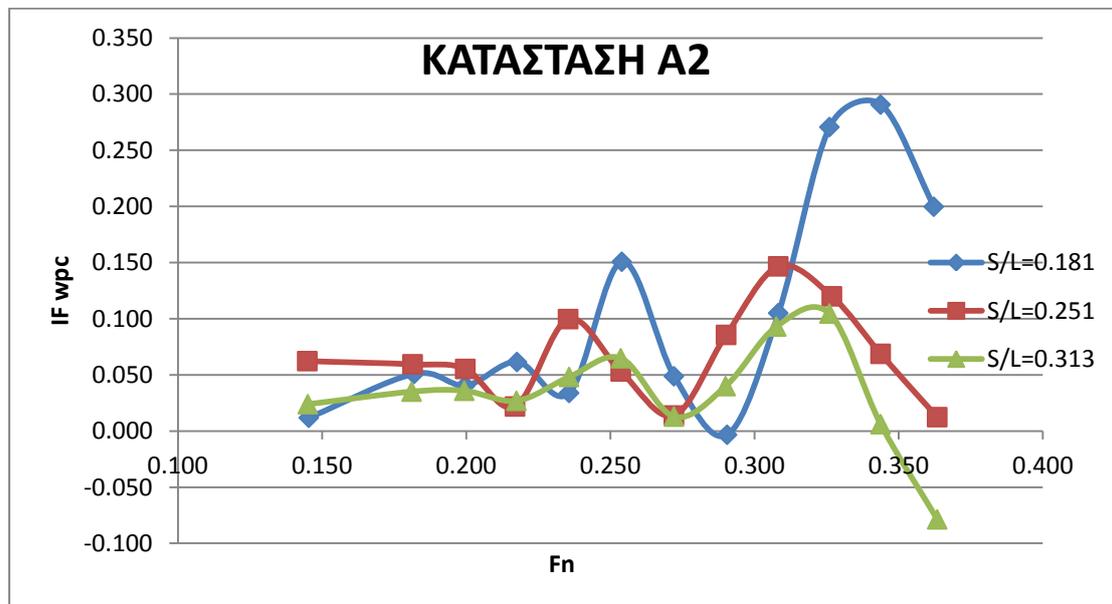
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή, όπως και στην προηγούμενη ισαπόσταση, με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι οριακά μετατοπισμένη προς τα κάτω για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 (αρχή ευνοϊκής επίδρασης του βολβού) και να παρουσιάζει μία θετική αλληλεπίδραση σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει δύο θετικές αλληλεπιδράσεις. Σημειώνεται επίσης πως η μια θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται για κοντινούς αριθμούς  $F_n$  για τα δύο μοντέλα ενώ η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με το βολβό και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.28, όπως και στην προηγούμενη ισαπόσταση.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι μετατοπισμένη προς τα κάτω για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.25 (αρχή ευνοϊκής επίδρασης του βολβού) και να παρουσιάζει τέσσερις θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει τρεις. Σημειώνεται επίσης πως οι περιοχές των αριθμών  $F_n$  για τις οποίες εμφανίζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις είναι κοινές για τα δύο μοντέλα ενώ η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο χωρίς βολβό και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363.

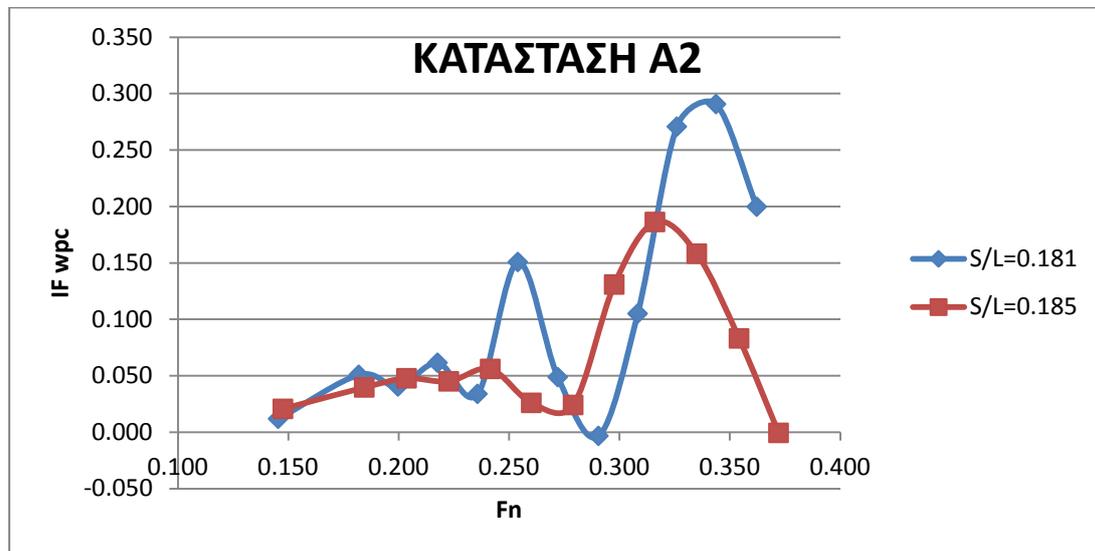
Συνολικά για την κατάσταση A1 μπορεί να ειπωθεί πως οι καμπύλες των δύο μοντέλων έχουν παραπλήσια μορφή μεταξύ τους για κάθε λόγο  $S/L$  με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό λόγω της θετικής επίδρασης του βολβού για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.24 να είναι μετατοπισμένη ελαφρώς προς τα κάτω. Για τους λόγους 0.185 και 0.320 το μοντέλο με το βολβό παρουσιάζει περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις από ότι το μοντέλο χωρίς βολβό, κάτι όμως που δεν συμβαίνει και για το λόγο 0.256 καθώς ισχύει το αντίθετο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για τους λόγους 0.185 και 0.256 η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με το βολβό, ενώ για το λόγο 0.320 για το μοντέλο χωρίς βολβό, η οποία είναι και η μεγαλύτερη συνολικά στην κατάσταση A1. Τέλος, υπογραμμίζεται πως για κάθε λόγο οι περιοχές των αριθμών Froude στις οποίες εμφανίζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις είναι κοινές και για τα δύο μοντέλα.

#### ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ A2

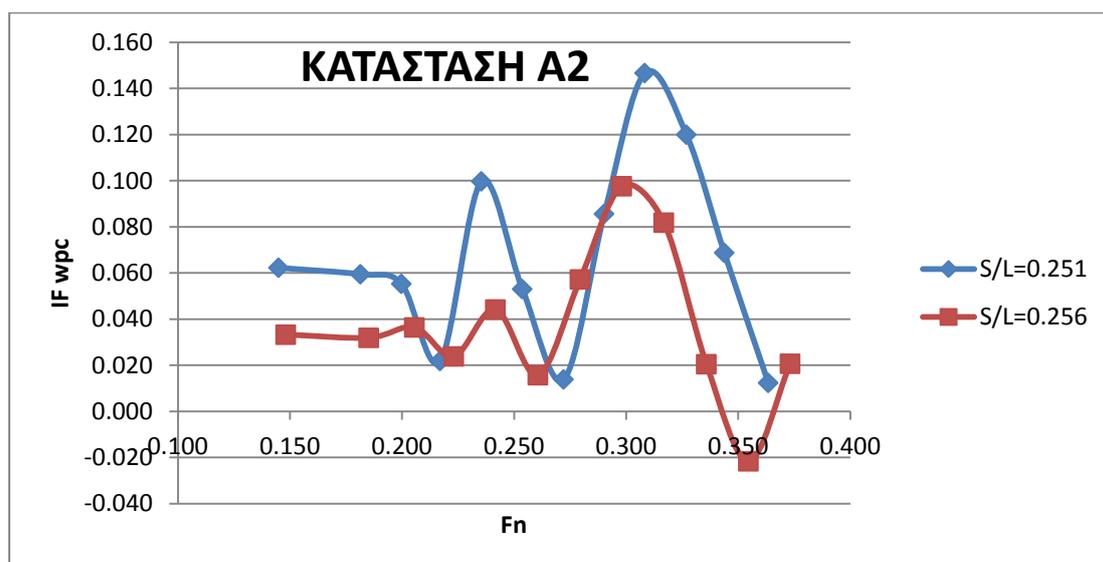


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για λόγο  $S/L=0.181$  υπάρχει μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.291, όπως και στην κατάσταση A1, για λόγο  $S/L=0.251$  δεν υπάρχει καμία θετική αλληλεπίδραση και για λόγο  $S/L=0.313$  υπάρχει μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363. Σημειώνεται πως η μέγιστη θετική

αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το λόγο  $S/L=0.313$  και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363, όπως και στην κατάσταση A1.

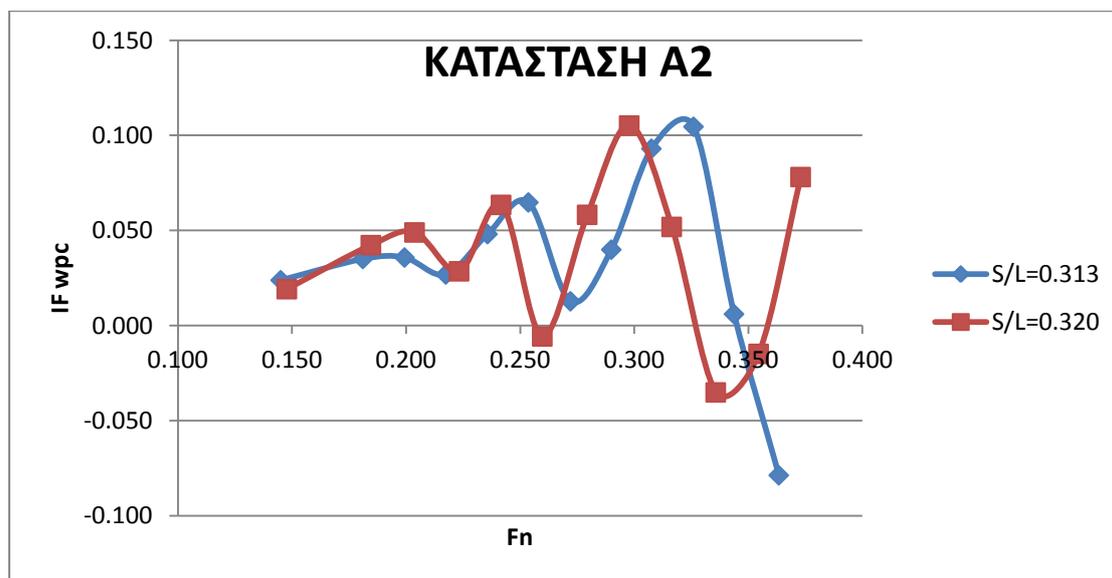


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή. Συγκεκριμένα για αριθμούς Froude έως 0.24 οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους ενώ για αριθμούς Froude από 0.24 έως 0.27 και από 0.31 έως 0.38 η καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω σε σχέση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο σκάφος χωρίς βολβό. Παρατηρείται επίσης πως το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζει μία θετική αλληλεπίδραση σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση δεν έχει καμία θετική αλληλεπίδραση. Σημειώνεται τέλος πως η μια θετική αλληλεπίδραση που υπάρχει στο διάγραμμα και ανήκει στο μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.291.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο

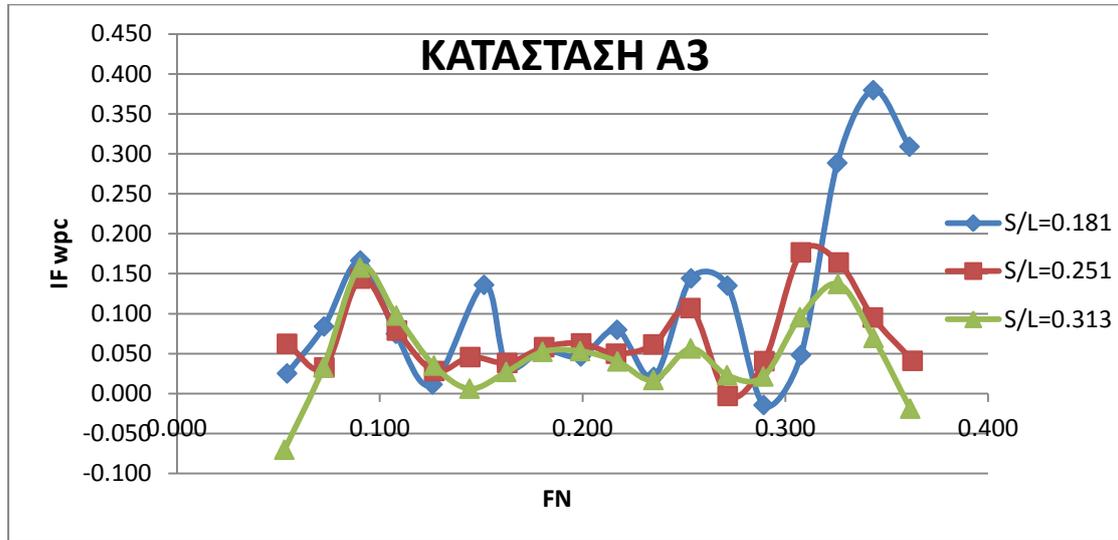
μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και να παρουσιάζει μία θετική αλληλεπίδραση σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση δεν παρουσιάζει καμία θετική αλληλεπίδραση. Σημειώνεται επίσης πως η μοναδική θετική αλληλεπίδραση που παρουσιάζεται στο διάγραμμα και ανήκει στο μοντέλο με το βολβό εμφανίζεται για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.353.



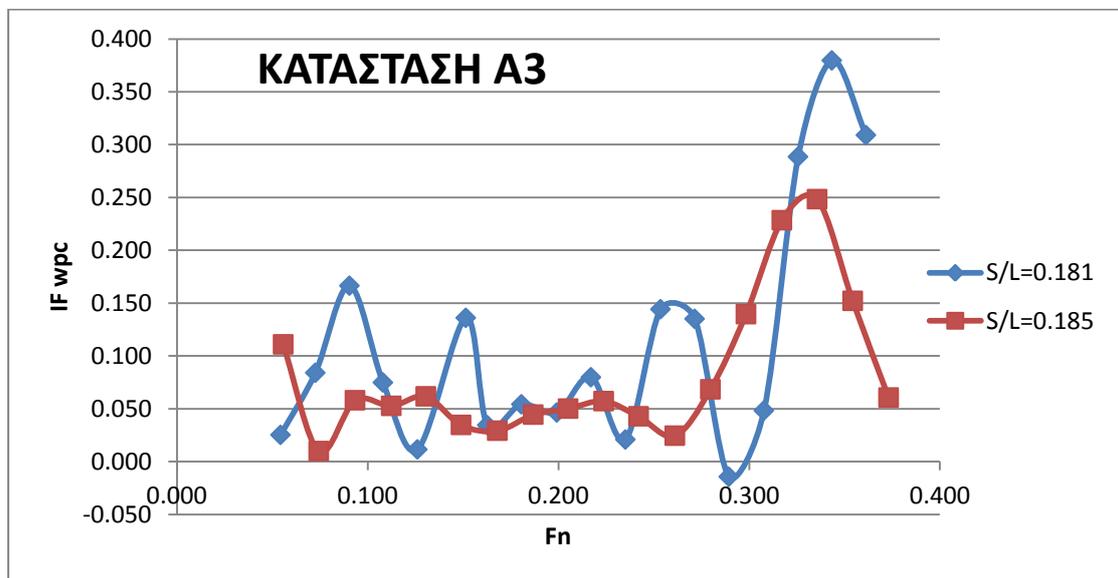
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή, χωρίς κάποια να είναι αισθητά μετατοπισμένη ως προς την άλλη. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό παρουσιάζει τρεις θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μόνο μία. Σημειώνεται επίσης πως οι περιοχές που εμφανίζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις είναι κοινές και για τα δύο μοντέλα ενώ η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο χωρίς βολβό και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363.

Συνολικά για την κατάσταση A2 μπορεί να ειπωθεί πως οι καμπύλες των δύο μοντέλων έχουν παραπλήσια μορφή μεταξύ τους για όλους τους λόγους  $S/L$  με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι ελαφρώς μετατοπισμένη προς τα κάτω για τους λόγους 0.185 και 0.256. Επίσης αναφέρεται πως για τους λόγους 0.256 και 0.320 το μοντέλο με βολβό παρουσιάζει περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις από ότι το μοντέλο χωρίς βολβό, κάτι όμως που δεν συμβαίνει και για το λόγο 0.185 καθώς ισχύει το αντίθετο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για τους λόγους 0.185 και 0.320 η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με βολβό, ενώ για το λόγο 0.256 για το μοντέλο χωρίς βολβό. Η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση συνολικά για την κατάσταση 2 εμφανίζεται για το μοντέλο χωρίς βολβό, για λόγο 0.320 και για αριθμό Froude ίσο με 0.363. Τέλος, υπογραμμίζεται πως για το λόγο 0.320, όπου και τα δύο μοντέλα εμφάνιζαν θετικές αλληλεπιδράσεις, οι περιοχές των αριθμών Froude στις οποίες συνέβαινε αυτό ήταν κοινές.

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α3**

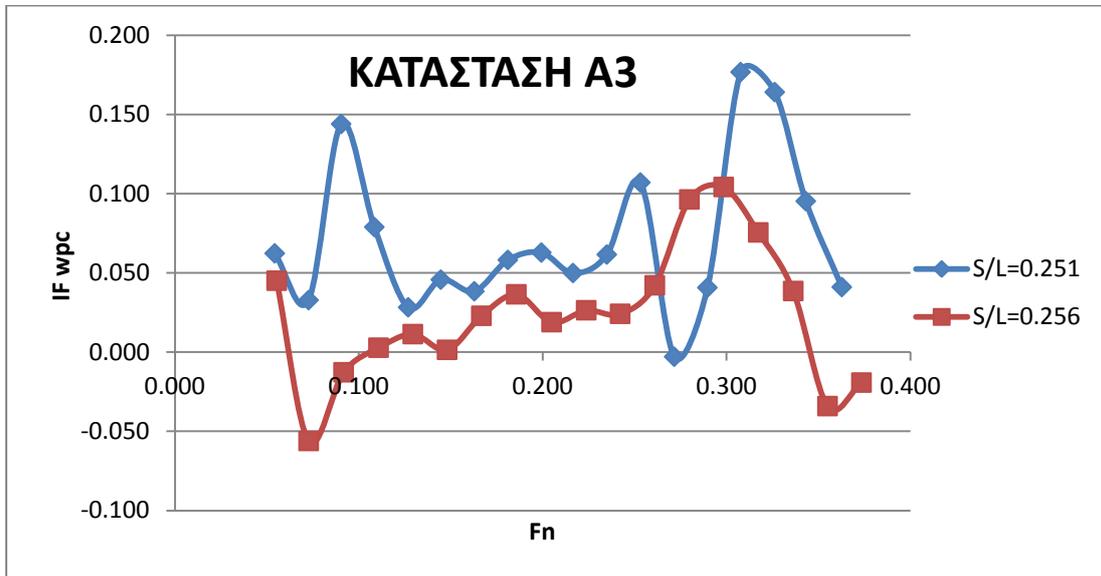


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για λόγο  $S/L=0.181$  υπάρχει μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.291, όπως ακριβώς και στις προηγούμενες 2 καταστάσεις, για λόγο  $S/L=0.251$  μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.272 και για λόγο  $S/L=0.313$  μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363. Παρατηρείται επίσης πως για όλους τους λόγους εμφανίζεται ο ίδιος αριθμός θετικών αλληλεπιδράσεων ενώ η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση παρουσιάζεται για το λόγο  $S/L=0.313$  και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.363.

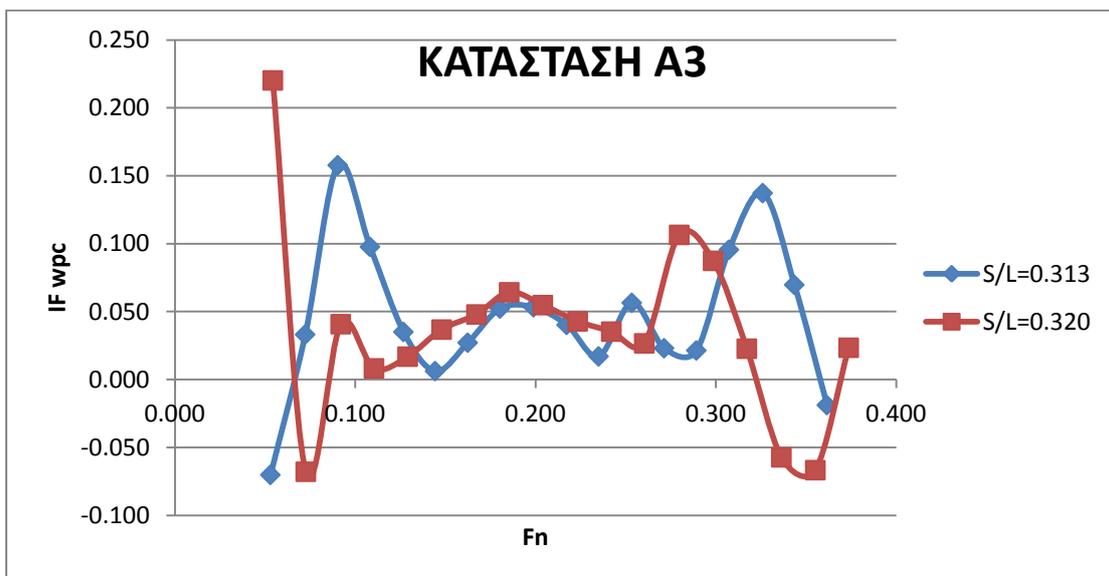


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και να μην παρουσιάζει καμία θετική αλληλεπίδραση σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μία. Σημειώνεται

τέλος πως η μια θετική αλληλεπίδραση που υπάρχει στο διάγραμμα και ανήκει στο μοντέλο χωρίς βολβό εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.291.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Fn και να παρουσιάζει δύο θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μία. Σημειώνεται τέλος πως η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση που υπάρχει στο διάγραμμα ανήκει στο μοντέλο με βολβό και εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.373.

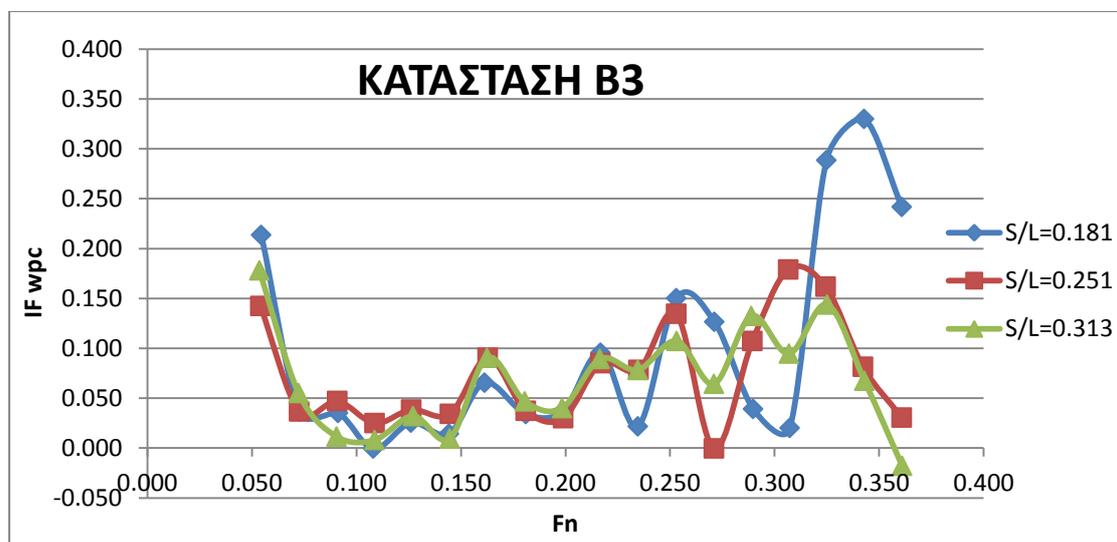


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή και σε ένα εύρος αριθμών Froude μεταξύ 0.12 και 0.26 σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους ενώ στο υπόλοιπο εύρος των αριθμών Froude η καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό είναι αισθητά μετατοπισμένη

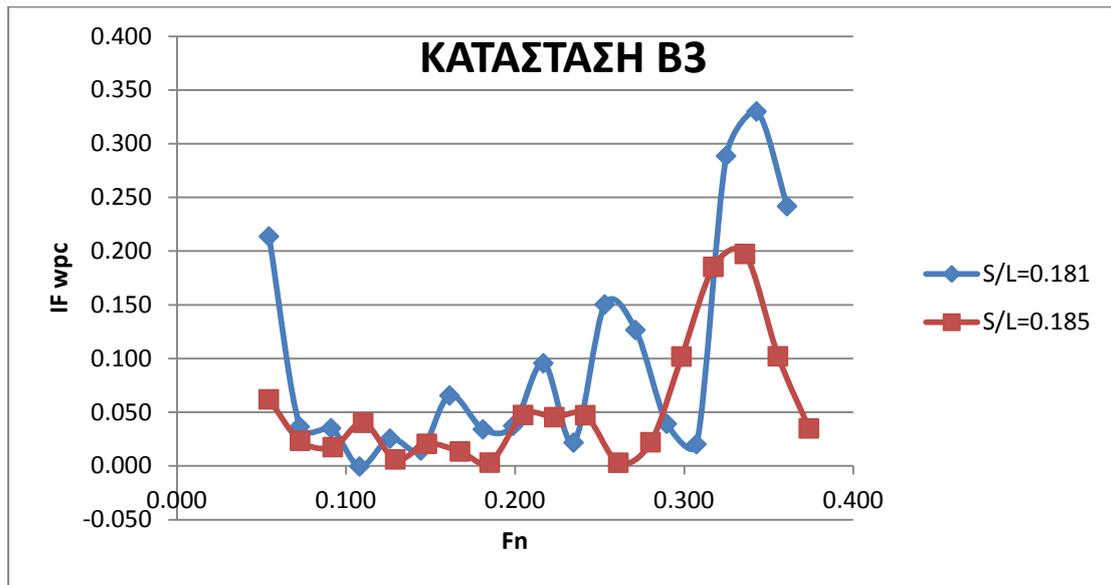
προς τα κάτω και παρουσιάζει δύο θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μία. Σημειώνεται τέλος πως η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση που υπάρχει στο διάγραμμα ανήκει στο μοντέλο με βολβό και εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.354 ενώ η περιοχή των αριθμών Froude που παρουσιάζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις των μοντέλων είναι κοινή και για τα δύο μοντέλα.

Συνολικά για την κατάσταση A3 μπορεί να ειπωθεί πως οι καμπύλες των δύο μοντέλων έχουν παραπλήσια μορφή μεταξύ τους με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι ελαφρώς μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλους τους λόγους S/L. Επίσης αναφέρεται πως για τους λόγους 0.256 και 0.320 το μοντέλο με το βολβό παρουσιάζει περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις από ότι το μοντέλο χωρίς βολβό, κάτι όμως που δεν συμβαίνει και για το λόγο 0.185 καθώς ισχύει το αντίθετο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για τους λόγους 0.256 και 0.320 η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με το βολβό, ενώ για το λόγο 0.185 για το μοντέλο χωρίς βολβό. Η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση συνολικά για την κατάσταση A3 εμφανίζεται για το μοντέλο με βολβό, για λόγο 0.320 και για αριθμό Froude ίσο με 0.354. Τέλος, υπογραμμίζεται πως για το λόγο 0.320, όπου και τα δύο μοντέλα εμφανίζουν θετικές αλληλεπιδράσεις, οι περιοχές των αριθμών Froude στις οποίες συμβαίνει αυτό είναι κοινές.

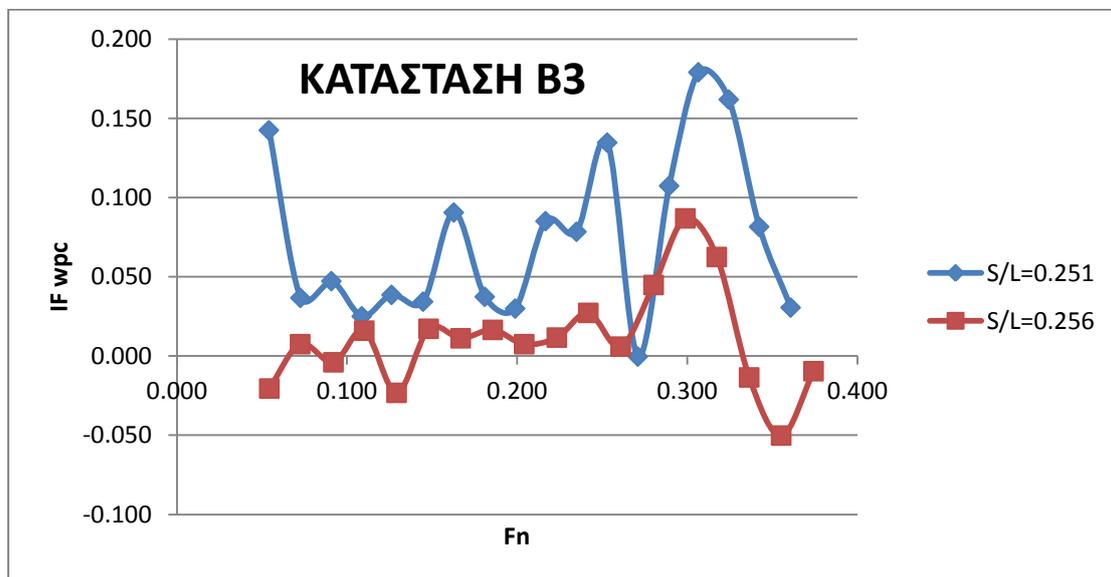
### ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ B3



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι τόσο για το λόγο S/L=0.181 όσο και για το λόγο S/L=0.251 δεν υπάρχει καμία θετική αλληλεπίδραση. Για λόγο S/L=0.313 υπάρχει μόνο μία θετική αλληλεπίδραση για αριθμό Fn ίσο με 0.363. Παρατηρείται επίσης πως για το λόγο S/L=0.313 εμφανίζονται, όπως και προηγουμένως, οι περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις ενώ η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση που είναι και η μοναδική στο διάγραμμα παρουσιάζεται για το λόγο S/L=0.313 και για αριθμό Fn ίσο με 0.363, όπως στις καταστάσεις A1, A2 και A3.

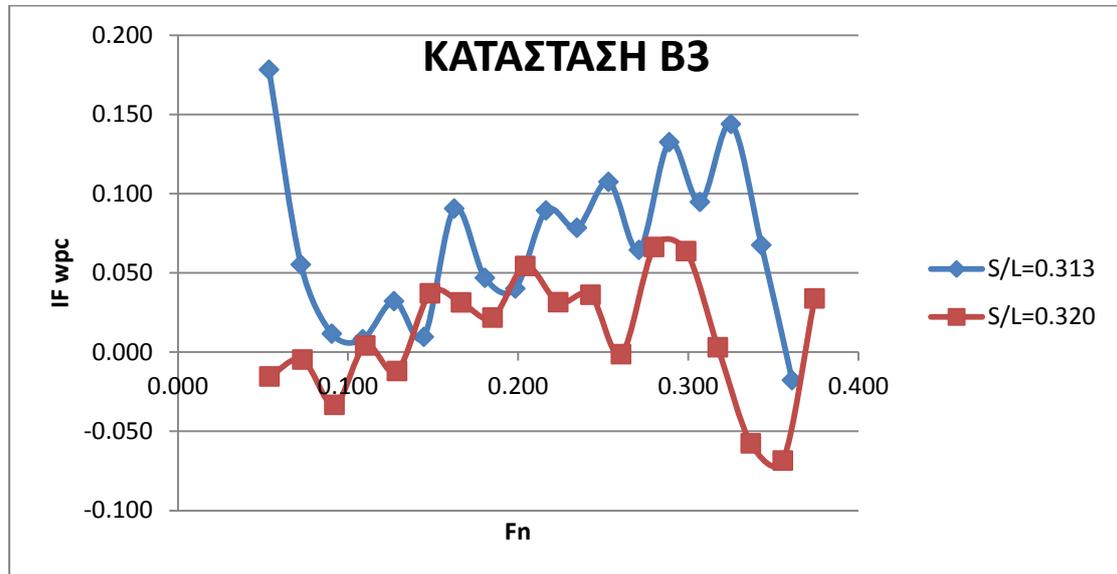


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι σαφώς μετατοπισμένη προς τα κάτω σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και να μην παρουσιάζει καμία θετική αλληλεπίδραση, όπως και η καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό. Σημειώνεται τέλος πως ο λόγος  $S/L=0.256$  στην κατάσταση Β3 είναι ο μοναδικός στον οποίο δεν εμφανίζεται καμία θετική αλληλεπίδραση τόσο στο μοντέλο με βολβό όσο και στο μοντέλο χωρίς βολβό.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αρκετά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και να παρουσιάζει τέσσερις θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που δεν παρουσιάζει καμία.

Σημειώνεται τέλος πως η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση που υπάρχει στο διάγραμμα και ανήκει στο μοντέλο με βολβό εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.354.



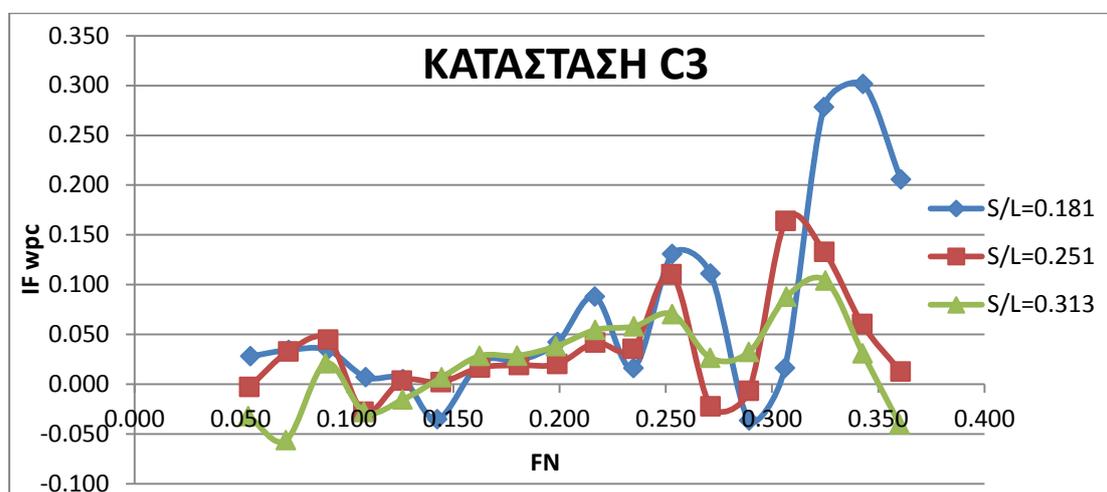
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τη συγκεκριμένη ισαπόσταση πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παραπλήσια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αρκετά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και να παρουσιάζει τρεις θετικές αλληλεπιδράσεις σε αντίθεση με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό που παρουσιάζει μόνο μία. Σημειώνεται τέλος πως η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση ανήκει στο μοντέλο με βολβό και εμφανίζεται για αριθμό Froude ίσο με 0.354, ενώ η περιοχή που παρουσιάζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις είναι κοινή και για τα δύο μοντέλα.

Συνολικά για την κατάσταση B3 μπορεί να ειπωθεί πως οι καμπύλες των δύο μοντέλων έχουν παραπλήσια μορφή μεταξύ τους με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αρκετά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλους τους λόγους  $S/L$ . Επίσης αναφέρεται πως για τους λόγους 0.256 και 0.320 το μοντέλο με το βολβό παρουσιάζει περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις από ότι το μοντέλο με το βολβό, ενώ για το λόγο 0.185 δεν εμφανίζεται καμία θετική αλληλεπίδραση τόσο για το μοντέλο με το βολβό όσο και για το μοντέλο χωρίς βολβό. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για τους λόγους 0.256 και 0.320 η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το μοντέλο με το βολβό ενώ η μεγαλύτερη θετική αλληλεπίδραση συνολικά για την κατάσταση B3 εμφανίζεται για το μοντέλο με βολβό, για λόγο 0.320 και για αριθμό Froude ίσο με 0.354. Τέλος, υπογραμμίζεται πως για το λόγο 0.320, όπου και τα δύο μοντέλα εμφανίζουν θετικές αλληλεπιδράσεις, οι περιοχές των αριθμών Froude στις οποίες συμβαίνει αυτό είναι κοινές.

Ως γενικό συμπέρασμα μπορεί να λεχθεί πως οι καμπύλες των δύο μοντέλων έχουν παρόμοια μορφή μεταξύ τους για όλους τους λόγους  $S/L$  και όλες τις καταστάσεις φόρτωσης, με αυτή του μοντέλου με βολβό να είναι σχεδόν στο σύνολο των περιπτώσεων ελαφρώς μετατοπισμένη προς τα κάτω σε σχέση με αυτή του μοντέλου χωρίς βολβό, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη του βολβού και στη συμβολή του προκύπτοντος

πρωραίου συστήματος κυματισμού. Παρατηρείται μάλιστα μία τάση όσο αυξάνεται το εκτόπισμα και κατ'επέκταση το βύθισμα των μοντέλων τόσο μεγαλύτερη να είναι η σχετική τους μετατόπιση. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως οι περιοχές των αριθμών Froude που εμφανίζονται οι θετικές αλληλεπιδράσεις για τα δύο μοντέλα είναι σε γενικές γραμμές ίδιες για το μοντέλο με βολβό και το μοντέλο χωρίς βολβό. Σημαντικό είναι ακόμη να αναφερθεί πως το μοντέλο με βολβό παρουσιάζει συνολικά περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις από ότι το μοντέλο χωρίς βολβό και πως η κατάσταση με τις περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις είναι η κατάσταση A1. Τέλος, υπογραμμίζεται πως οι μεγαλύτερες θετικές αλληλεπιδράσεις στην κατάσταση A1 και A2 ανήκουν στο μοντέλο χωρίς βολβό και στην κατάσταση A3 και B3 στο μοντέλο με βολβό ενώ παράλληλα για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται για το λόγο 0.320 και για σχετικά υψηλό αριθμό Froude.

### ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ C3

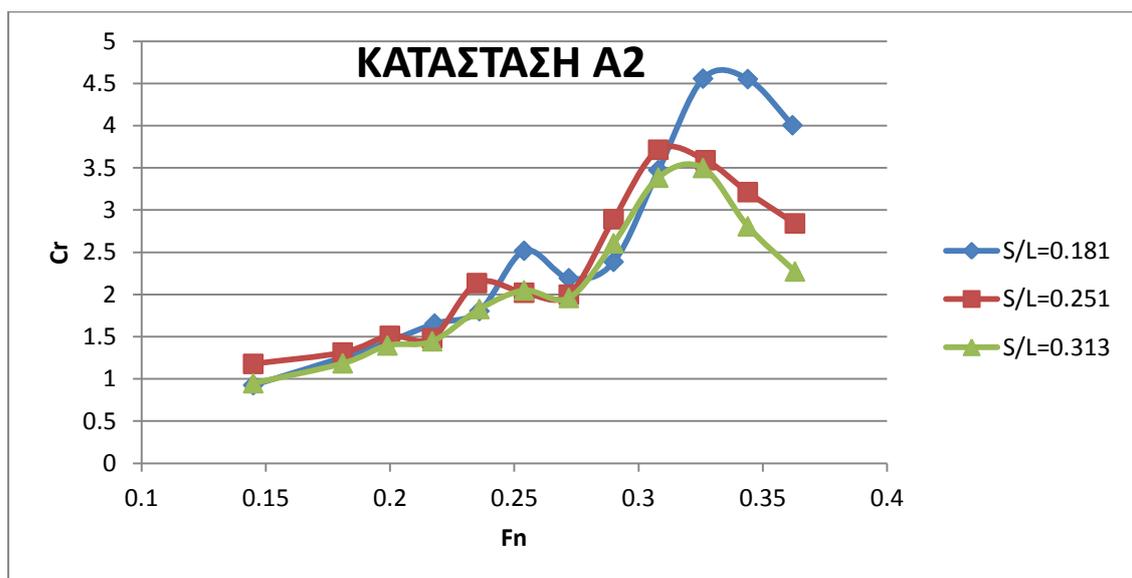
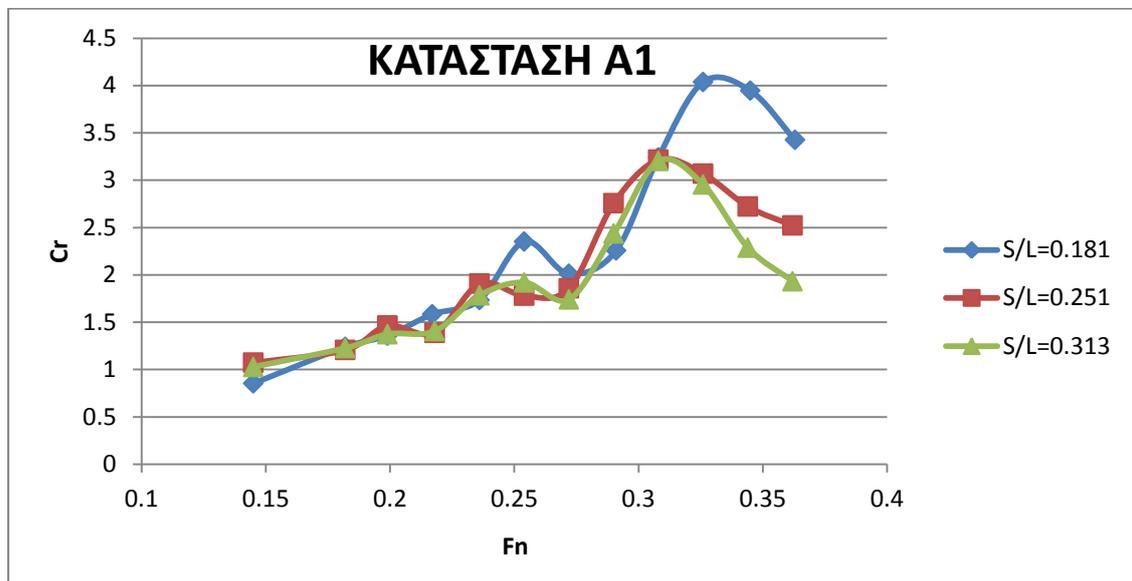


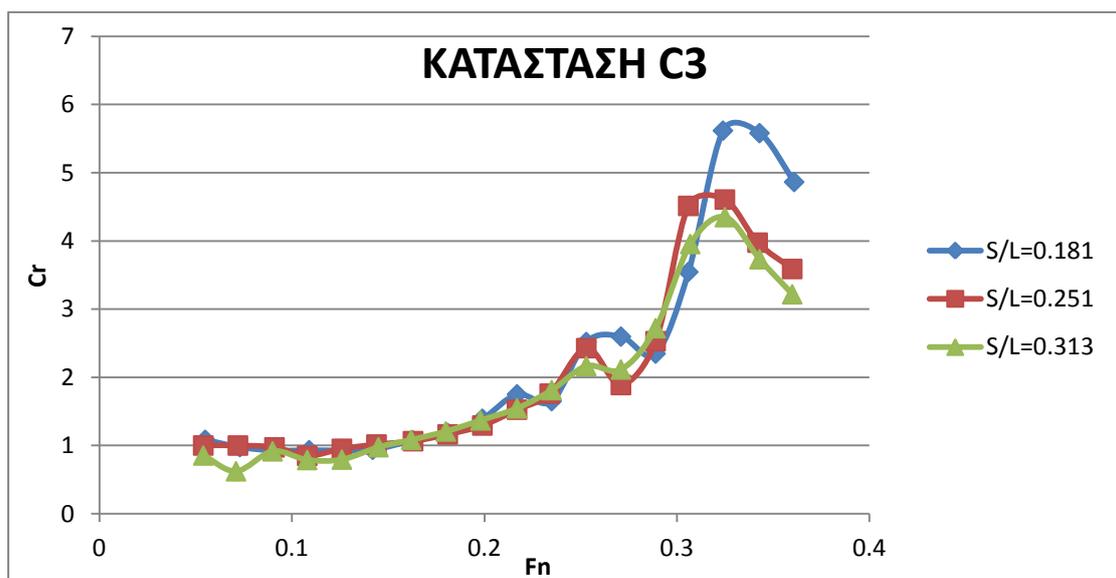
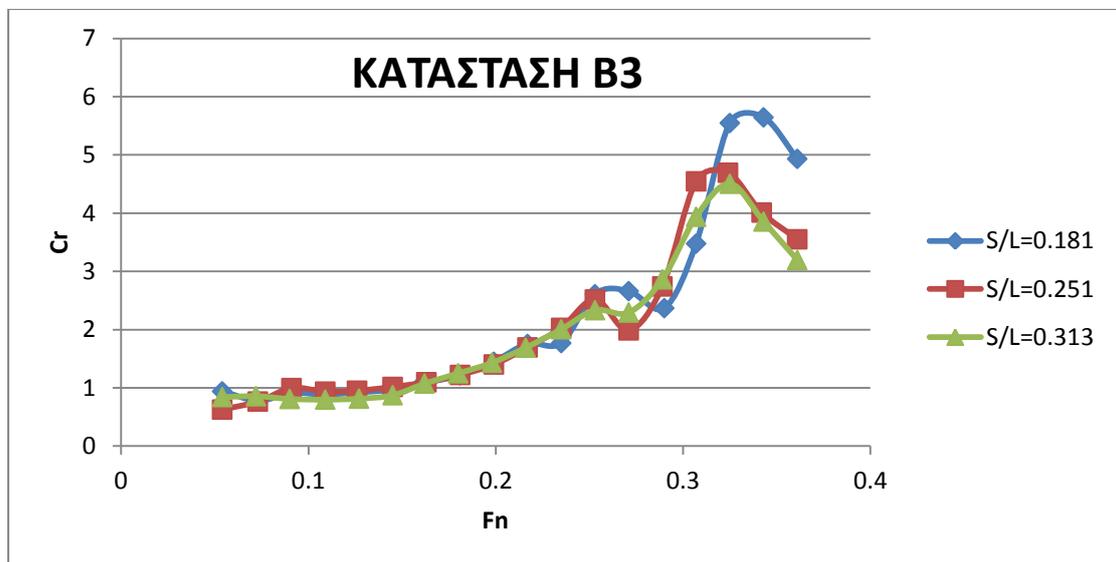
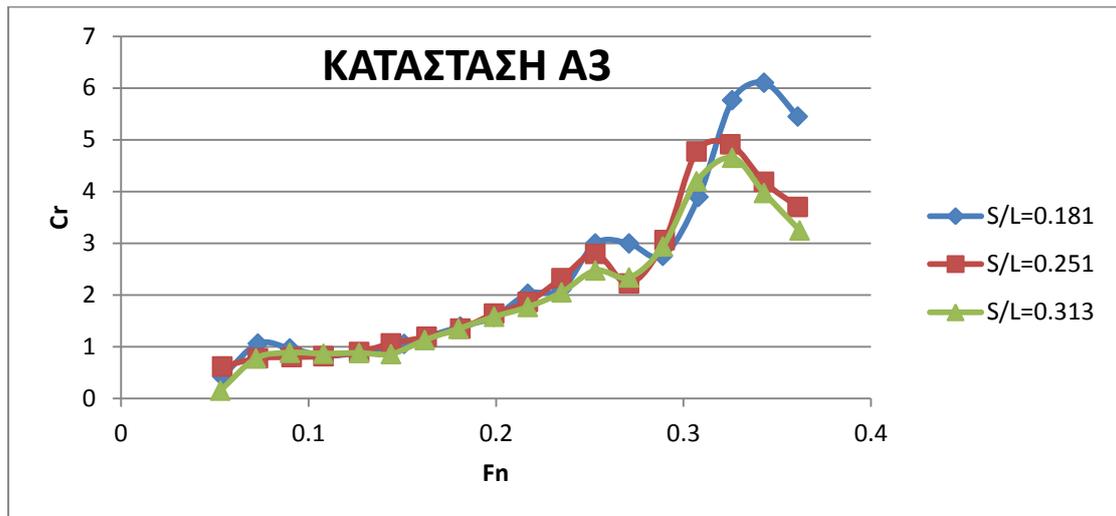
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για λόγο  $S/L=0.181$  υπάρχουν δύο θετικές αλληλεπιδράσεις για αριθμούς  $F_n$  ίσους με 0.143 και 0.291, για λόγο  $S/L=0.251$  τρεις θετικές αλληλεπιδράσεις για αριθμούς  $F_n$  ίσους με 0.108, 0.271 και 0.289 και για λόγο  $S/L=0.313$  τρεις θετικές αλληλεπιδράσεις για αριθμούς  $F_n$  ίσους με 0.108, 0.126 και 0.360. Σημειώνεται επίσης πως για την κατάσταση C3 οι περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις παρουσιάζονται για το λόγο  $S/L=0.313$  ενώ η μέγιστη θετική αλληλεπίδραση εμφανίζεται πάλι για το λόγο  $S/L=0.313$  και για αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.360.

Συμπερασματικά για το μοντέλο χωρίς βολβό προκύπτει ότι η κατάσταση που παρουσιάζει τις περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις είναι η κατάσταση C3 ενώ η κατάσταση που παρουσιάζει τις λιγότερες είναι η κατάσταση B3. Συνολικά για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης οι περισσότερες θετικές αλληλεπιδράσεις εμφανίζονται για το λόγο  $S/L=0.313$  ενώ οι μέγιστες θετικές αλληλεπιδράσεις για κάθε κατάσταση εμφανίζονται για το λόγο  $S/L=0.313$  και για αριθμό  $F_n=0.363$ . Αξίζει να σημειωθεί πως οι καμπύλες των τριών λόγων  $S/L$  έχουν σχετικά παρόμοια μορφή μεταξύ τους για κάθε κατάσταση, ενώ τέλος αναφέρεται ότι οι καταστάσεις A1 και C3 εμφανίζουν περιοχές αριθμών Froude στις οποίες είναι συγκεντρωμένο το σύνολο των θετικών αλληλεπιδράσεων και των τριών λόγων  $S/L$ .

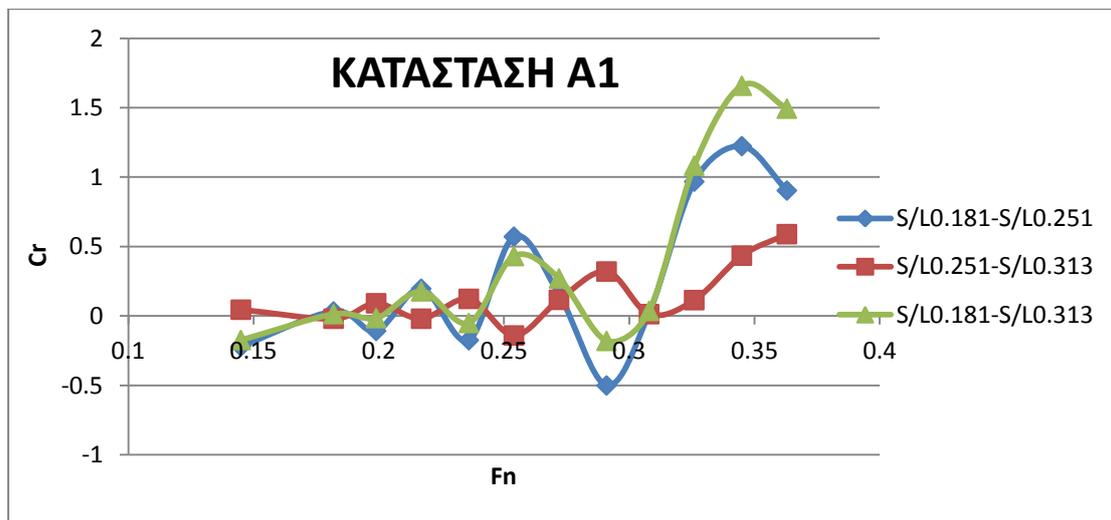
### 3.4.2.2 ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΗΜΙΓΑΣΤΡΩΝ

Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η συσχέτιση των δύο ημιγαστρών συγκρίνοντας τους λόγους  $S/L$  μεταξύ τους για κάθε κατάσταση φόρτωσης ξεχωριστά. Η σύγκριση επιλέγεται να γίνει μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης καθώς οι λόγοι  $S/L$  συγκρίνονται κάθε φορά για την ίδια κατάσταση φόρτωσης με συνέπεια ο συντελεστής αντίστασης τριβής να παραμένει σταθερός για τους λόγους  $S/L$  στην εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης. Για αυτό το λόγο, η διαφορά στο συντελεστή ολικής αντίστασης μεταξύ των λόγων  $S/L$  οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ο οποίος είναι και αυτός που μελετάται. Ακολουθούν τα διαγράμματα που παρουσιάζουν το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης συναρτήσει του αριθμού Froude για τους τρεις λόγους  $S/L$  και για κάθε κατάσταση φόρτωσης.

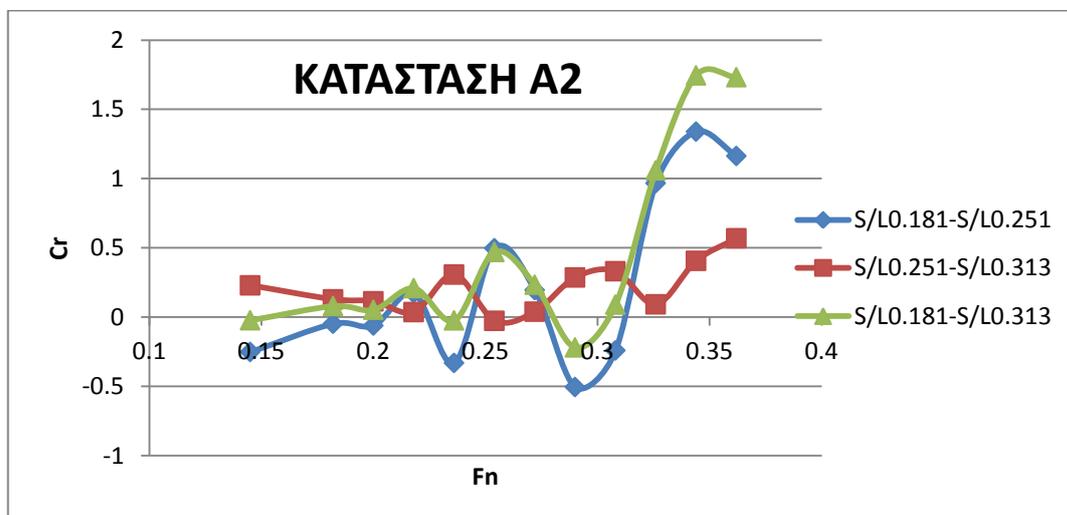




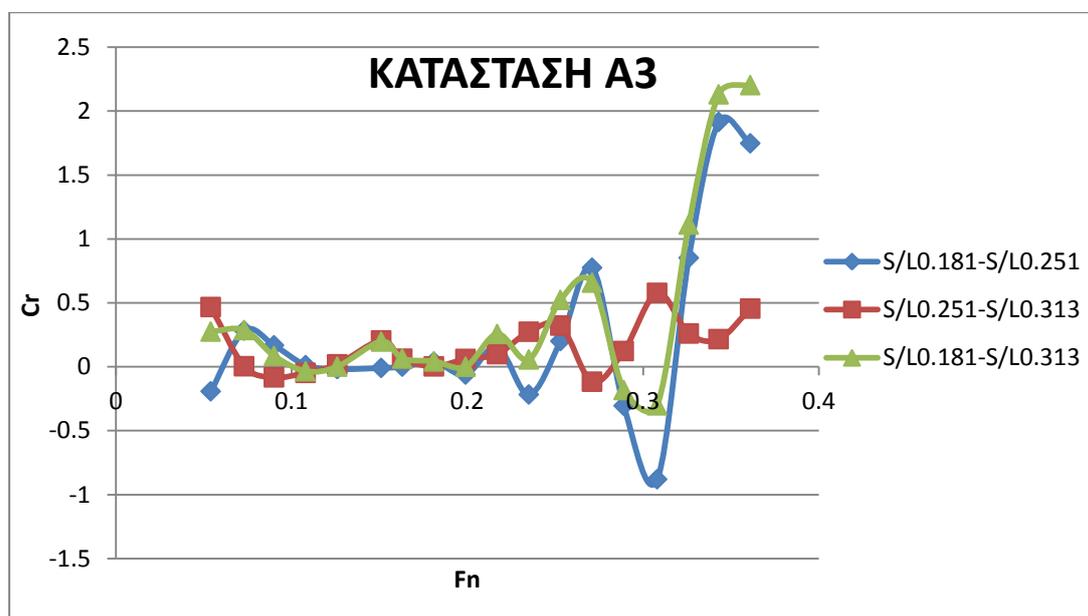
Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται πως ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης για ένα εύρος αριθμών  $F_n$  από 0.09 έως 0.217 είναι παραπλήσιος για τους τρεις λόγους  $S/L$  με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολο να βγουν συμπεράσματα από τη σύγκριση των λόγων  $S/L$ . Για αυτό το λόγο παρουσιάζονται ακολούθως αντίστοιχα διαγράμματα που για κάθε κατάσταση φόρτωσης εμφανίζουν τη διαφορά του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ δύο κάθε φορά λόγων  $S/L$  συναρτήσει του αριθμού Froude.



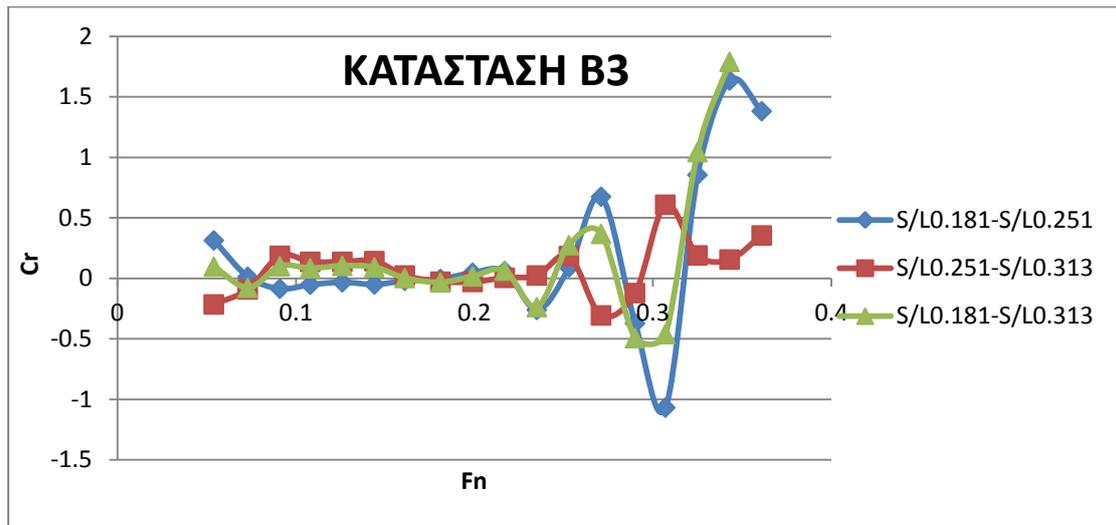
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως μέχρι αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.236 οι διαφορές των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση είναι σχετικά μικρές και πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ τους σημειώνονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.308. Για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude παρατηρείται πως ο μικρότερος λόγος  $S/L$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μεγαλύτερος λόγος  $S/L$  παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται για τη πράσινη καμπύλη που συγκρίνει τους λόγους 0.181 και 0.313. Αναφορικά με τις δύο άλλες καμπύλες, αξίζει να αναφερθεί πως ως επί το πλείστον παρουσιάζουν θετικές τιμές που σημαίνει πως η αύξηση της απόστασης των ημιγαστρών επιδρά θετικά μειώνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.



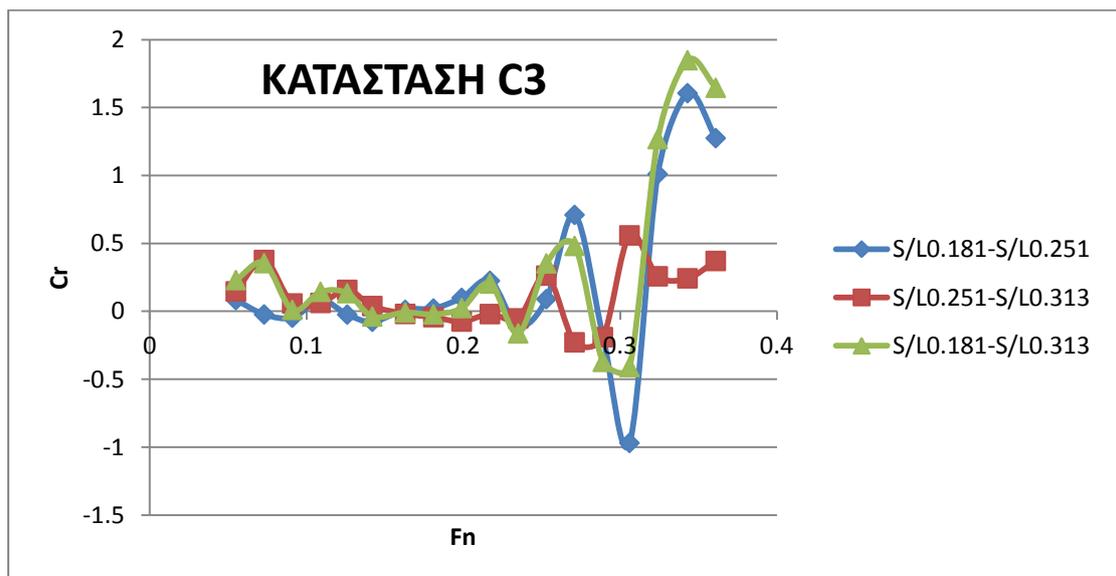
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως μέχρι αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.235 οι διαφορές των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση είναι σχετικά μικρές και πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ τους σημειώνονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.29. Για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude παρατηρείται πως ο μικρότερος λόγος  $S/L$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μεγαλύτερος λόγος  $S/L$  παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται για τη πράσινη καμπύλη που συγκρίνει τους λόγους 0.181 και 0.313. Αναφορικά με τις δύο άλλες καμπύλες, αξίζει να αναφερθεί πως ως επί το πλείστον παρουσιάζουν θετικές τιμές, όπως και στην προηγούμενη κατάσταση, που σημαίνει πως η αύξηση της απόστασης των ημιγαστρών επιδρά θετικά μειώνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως μέχρι αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.235 οι διαφορές των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση είναι σχεδόν αμελητέες με τις καμπύλες σχεδόν να ταυτίζονται μεταξύ τους και να παίρνουν πολύ μικρές τιμές κοντά στο 0. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ τους σημειώνονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.29. Για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude παρατηρείται πως ο μικρότερος λόγος  $S/L$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μεγαλύτερος λόγος  $S/L$  παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται για τη πράσινη καμπύλη που συγκρίνει τους λόγους 0.181 και 0.313. Αναφορικά με τις δύο άλλες καμπύλες, αξίζει να αναφερθεί πως ως επί το πλείστον παρουσιάζουν θετικές τιμές, όπως και στις προηγούμενες δύο καταστάσεις, που σημαίνει πως η αύξηση της απόστασης των ημιγαστρών επιδρά θετικά μειώνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως μέχρι αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.271 οι διαφορές των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση είναι σχεδόν αμελητέες με τις καμπύλες σχεδόν να ταυτίζονται μεταξύ τους και να παίρνουν πολύ μικρές τιμές κοντά στο 0. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ τους σημειώνονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.289. Για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude παρατηρείται πως ο μικρότερος λόγος  $S/L$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μεγαλύτερος λόγος  $S/L$  παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται για τη πράσινη καμπύλη που συγκρίνει τους λόγους 0.181 και 0.313. Αναφορικά με τις δύο άλλες καμπύλες, αξίζει να αναφερθεί πως ως επί το πλείστον παρουσιάζουν θετικές τιμές, όπως άλλωστε και στις προηγούμενες καταστάσεις, που σημαίνει πως η αύξηση της απόστασης των ημιγαστρών επιδρά θετικά μειώνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.



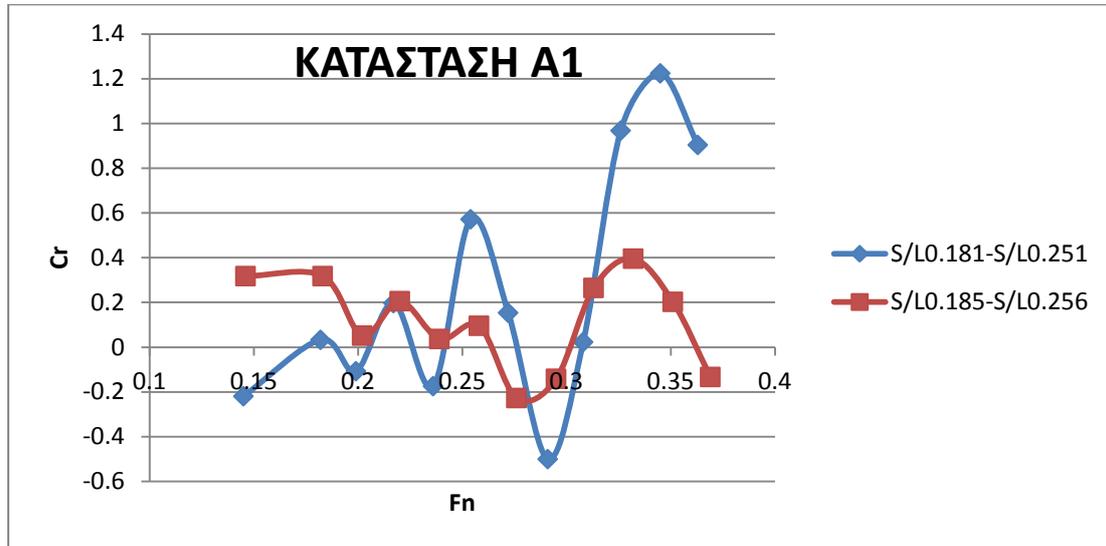
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως μέχρι αριθμό  $F_n$  ίσο με 0.22 οι διαφορές των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση είναι σχεδόν αμελητέες με τις καμπύλες σχεδόν να ταυτίζονται μεταξύ τους και να παίρνουν πολύ μικρές τιμές κοντά στο 0. Οι μεγαλύτερες

διαφορές μεταξύ τους σημειώνονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.26. Για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude παρατηρείται πως ο μικρότερος λόγος  $S/L$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μεγαλύτερος λόγος  $S/L$  παρουσιάζει το χαμηλότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται για τη πράσινη καμπύλη που συγκρίνει τους λόγους 0.181 και 0.313. Αναφορικά με τις δύο άλλες καμπύλες, αξίζει να αναφερθεί πως ως επί το πλείστον παρουσιάζουν θετικές τιμές, όπως άλλωστε και στις προηγούμενες καταστάσεις, που σημαίνει πως η αύξηση της απόστασης των ημιγαστρών επιδρά θετικά μειώνοντας το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.

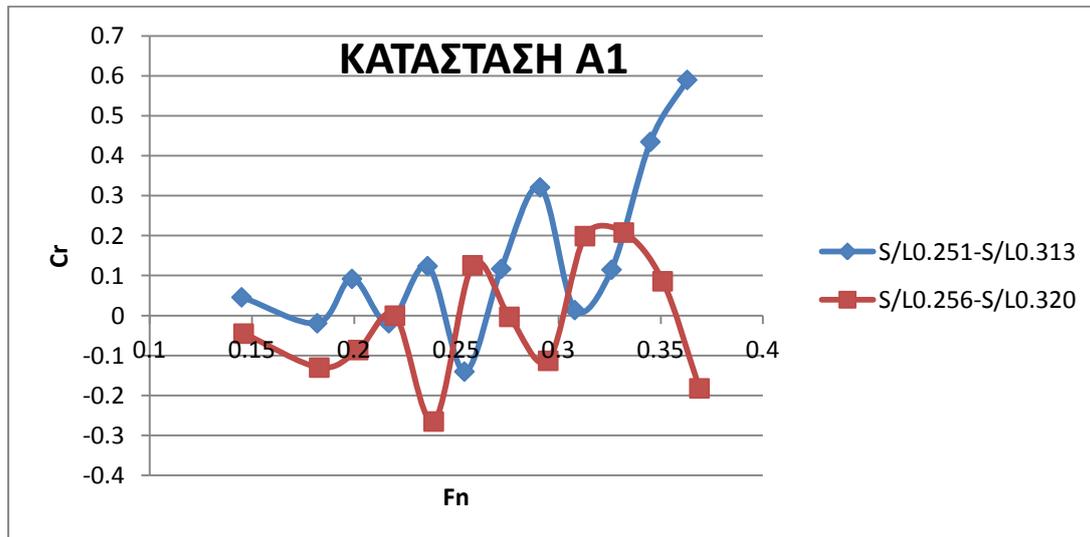
Συνολικά από τα παραπάνω διαγράμματα μπορεί λεχθεί πως για αριθμούς Froude έως 0.24 δεν παρατηρούνται ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  ως προς την υπόλοιπη αντίσταση, με τις μεγαλύτερες διαφορές να διαπιστώνονται για ένα εύρος αριθμών Froude από 0.29 έως 0.363. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζεται συγκρίνοντας τη μικρότερη με τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών (πράσινη καμπύλη), κάτι που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και στην υπέρθεση των κυματισμών που δημιουργούνται ανάμεσα τους. Για το λόγο  $S/L=0.181$  η απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών είναι σχετική μικρή με αποτέλεσμα οι αλληλεπιδράσεις να είναι σημαντικές και να οδηγούν σε υψηλές τιμές αντίστασης κυματισμού, φαινόμενο που γίνεται εντονότερο σε μεγάλους αριθμούς Froude, όπου οι παραγόμενοι κυματισμοί είναι μεγαλύτεροι. Μάλιστα συμπληρώνεται ότι για υψηλούς αριθμούς Froude οι δημιουργούμενοι κυματισμοί πιθανώς να μεταβάλλονται όχι μόνο ως προς το πλάτος τους αλλά και ως προς τη γωνία διαδοσής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της υπόλοιπης αντίστασης με τη μείωση της απόστασης των ημιγαστρών, καθώς τότε το μήκος της κάθε ημιγαστρας που επηρεάζεται από τους κυματισμούς της άλλης αυξάνει με συνέπεια να επηρεάζεται περισσότερο η υπόλοιπη αντίσταση. Όπως είναι λογικό, η μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών, δηλαδή για το λόγο  $S/L=0.313$ , όπου η αλληλεπίδραση των ημιγαστρών είναι σχετικά χαμηλή. Τέλος, συγκρίνοντας τόσο τους δύο μεγαλύτερους λόγους  $S/L$  μεταξύ τους όσο και το μικρότερο με τον ενδιάμεσο λόγο  $S/L$  (μπλε και κόκκινη καμπύλη), διαπιστώνεται πως οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται είναι μικρότερες σε σχέση με τη σύγκριση της μεγαλύτερης με τη μικρότερη απόσταση (πράσινη καμπύλη), χωρίς να μπορεί να βγει ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με το ποια καμπύλη παρουσιάζει μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις και άρα είναι μετατοπισμένη προς τα πάνω.

Ακολούθως παρουσιάζονται σε κοινά διαγράμματα για κάθε κατάσταση φόρτωσης η διαφορά του συντελεστή αντίστασης μεταξύ δύο κάθε φορά λόγων  $S/L$  συναρτήσει του αριθμού Froude τόσο για μοντέλο χωρίς βολβό όσο και για το μοντέλο με βολβό με σκοπό να πραγματοποιηθεί αναλυτική σύγκριση μεταξύ τους ως το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των ημιγαστρών. Να σημειωθεί επίσης πως η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό, ενώ η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο με βολβό.

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α1**

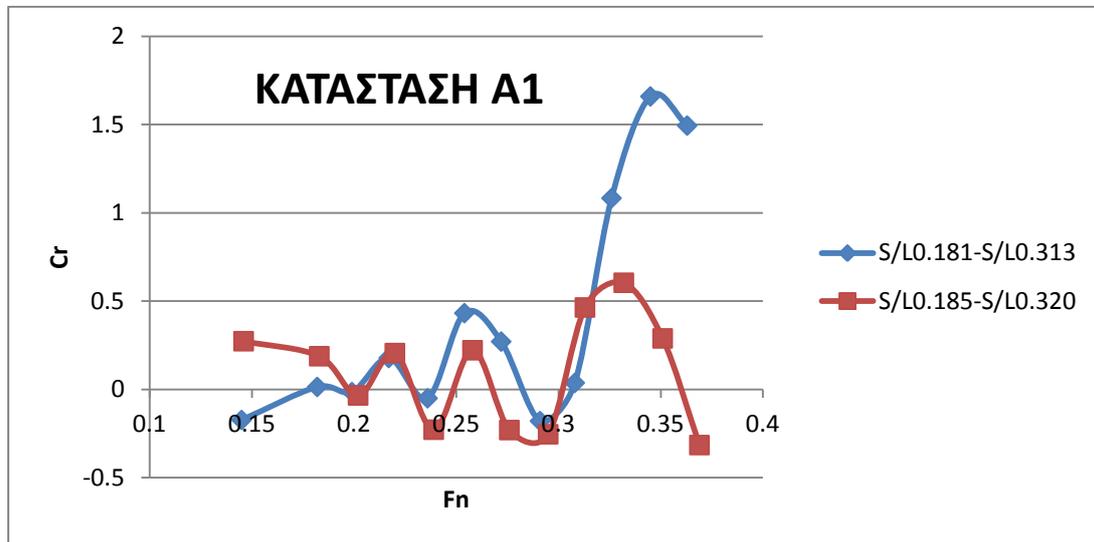


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο με βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.256$  για μεγαλύτερο εύρος αριθμών  $F_n$  σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό. Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα ως προς τη μορφή τους ειδικά για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.25.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.256$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει για μια περιοχή αριθμών  $F_n$  από 0.25 έως 0.275 και από 0.3 έως 0.355. Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ

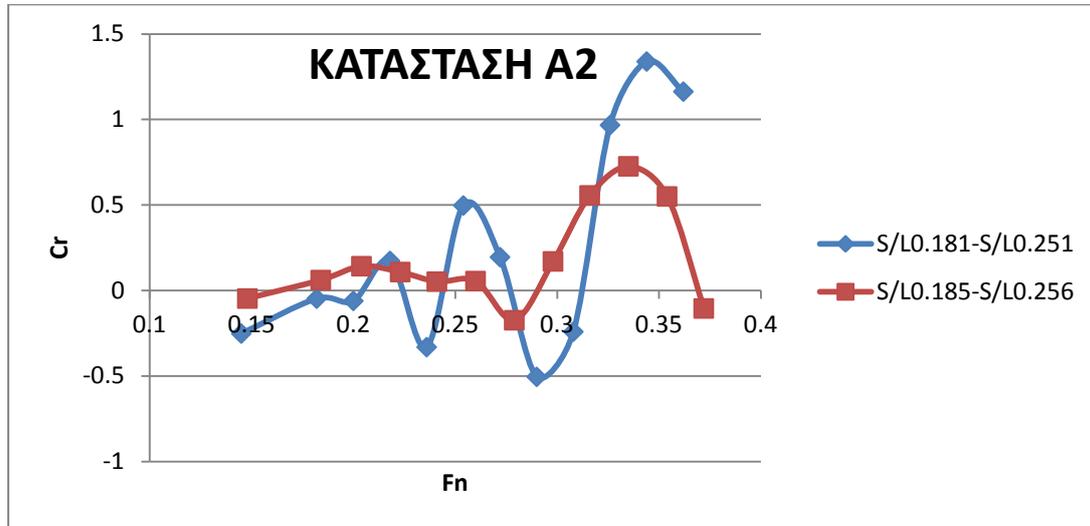
των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει, όπως και προηγουμένως, τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για αριθμούς  $F_n$  μικρότερους από 0.35.



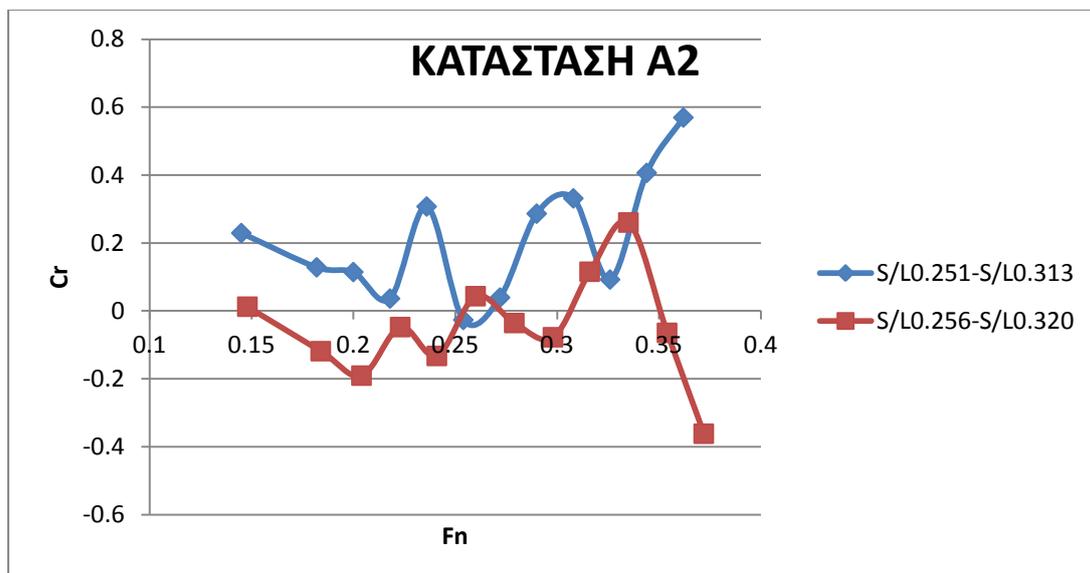
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο με βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  για μικρότερο εύρος αριθμών  $F_n$  σε σχέση με το μοντέλο χωρίς βολβό. Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ .

Συνολικά για την κατάσταση Α1 παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  εμφανίζονται και για τα δύο μοντέλα για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.295. Διαπιστώνεται επίσης πως το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζει συνολικά μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τριών λόγων  $S/L$  σε σχέση με το μοντέλο με βολβό, ενώ αξίζει να αναφερθεί πως και για τα δύο μοντέλα για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών Froude ο λόγος  $S/L=0.185$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Σημαντική διαφορά ωστόσο αποτελεί το γεγονός πως ενώ για το μοντέλο χωρίς βολβό ο λόγος  $S/L=0.320$  εμφανίζει το σε γενικές γραμμές το μικρότερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, για το μοντέλο με βολβό αυτό συμβαίνει για το λόγο  $S/L=0.256$ . Τέλος, υπογραμμίζεται πως και για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη μορφή τους για μεγάλο εύρος αριθμών Froude.

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α2**

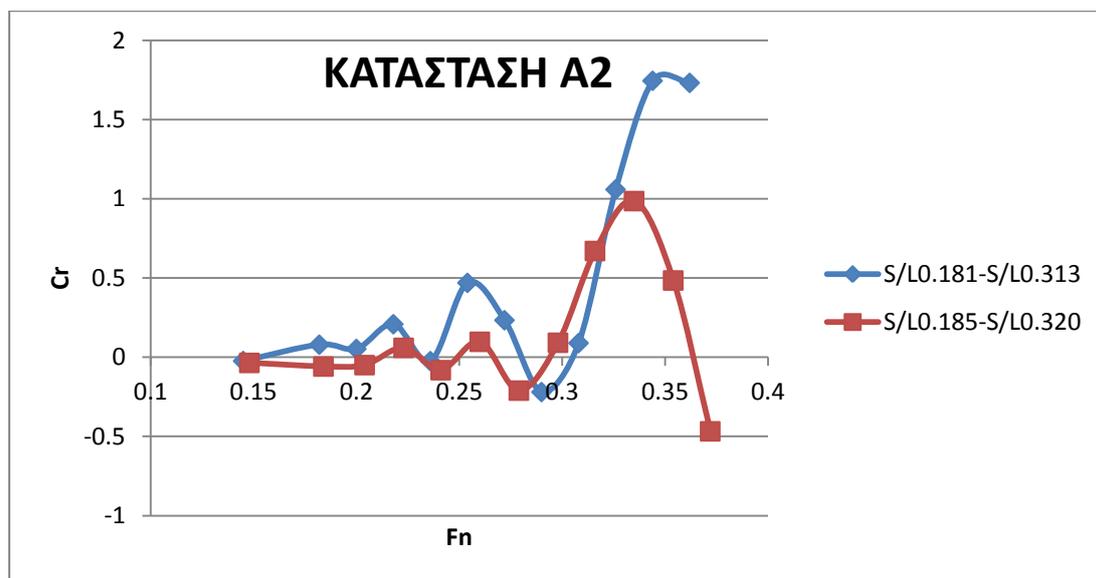


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο με βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.256$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο χωρίς βολβό που αυτό συμβαίνει για μια περιοχή αριθμών  $F_n$  από 0.205 έως 0.225, από 0.245 έως 0.275 και από 0.320 έως 0.360. Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα ως προς τη μορφή τους σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ .



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.256$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που συμβαίνει το αντίθετο καθώς εμφανίζεται ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης να

είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.320$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.256$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.30, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για αριθμούς  $F_n$  έως 0.33.

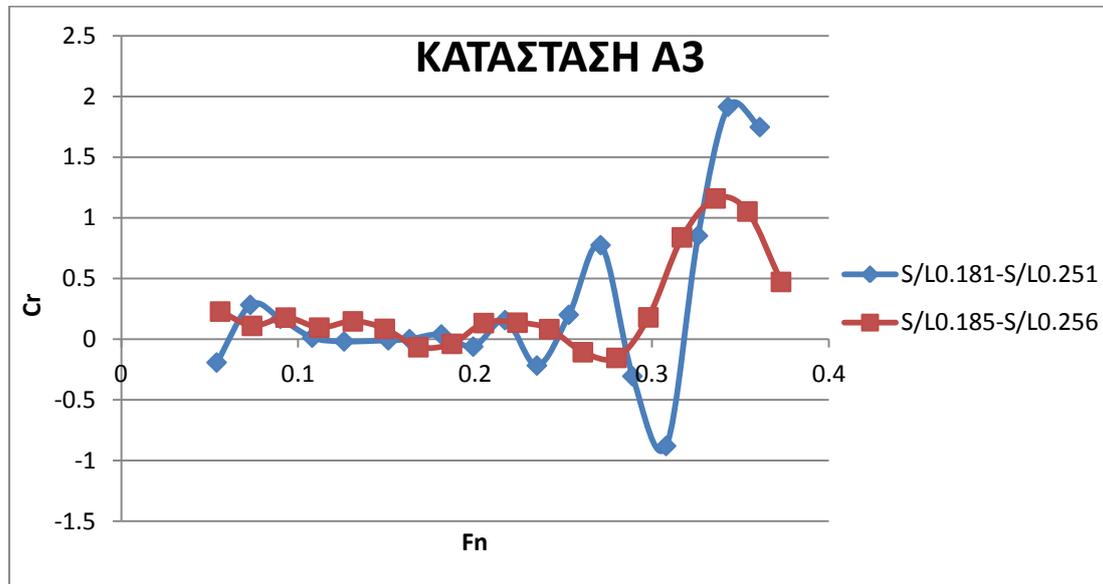


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ , κάτι που συμβαίνει και για το μοντέλο με βολβό αλλά σε μικρότερο βαθμό και σε μικρότερο εύρος αριθμών  $F_n$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ .

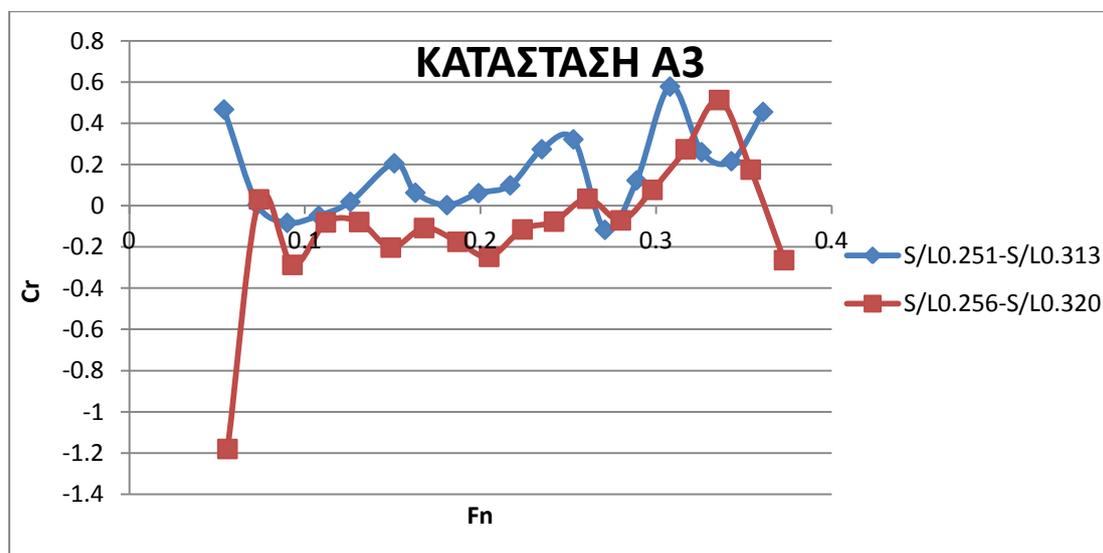
Συνολικά για την κατάσταση A2 παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  εμφανίζονται και για τα δύο μοντέλα για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30, ενώ διαπιστώνεται επίσης πως το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζει συνολικά μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τριών λόγων  $S/L$  σε σχέση με το μοντέλο με βολβό. Αξίζει να αναφερθεί πως για το μοντέλο χωρίς βολβό οι λόγοι  $S/L=0.185$  και  $S/L=0.256$  εμφανίζουν το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης χωρίς να μπορεί να βγει ασφαλές συμπέρασμα στη μεταξύ τους σύγκριση σχετικά με το ποιος λόγος εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για μεγαλύτερο εύρος αριθμών Froude. Ως εκ τούτου σημειώνεται επίσης πως για το μοντέλο χωρίς βολβό ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$ . Σημαντική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι για το μοντέλο με βολβό ο λόγος  $S/L=0.185$  εμφανίζει σε γενικές γραμμές το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, ενώ ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης

αντίστασης παρουσιάζεται για λόγο  $S/L=0.256$ . Τέλος, υπογραμμίζεται πως και για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη μορφή τους για μεγάλο εύρος αριθμών Froude.

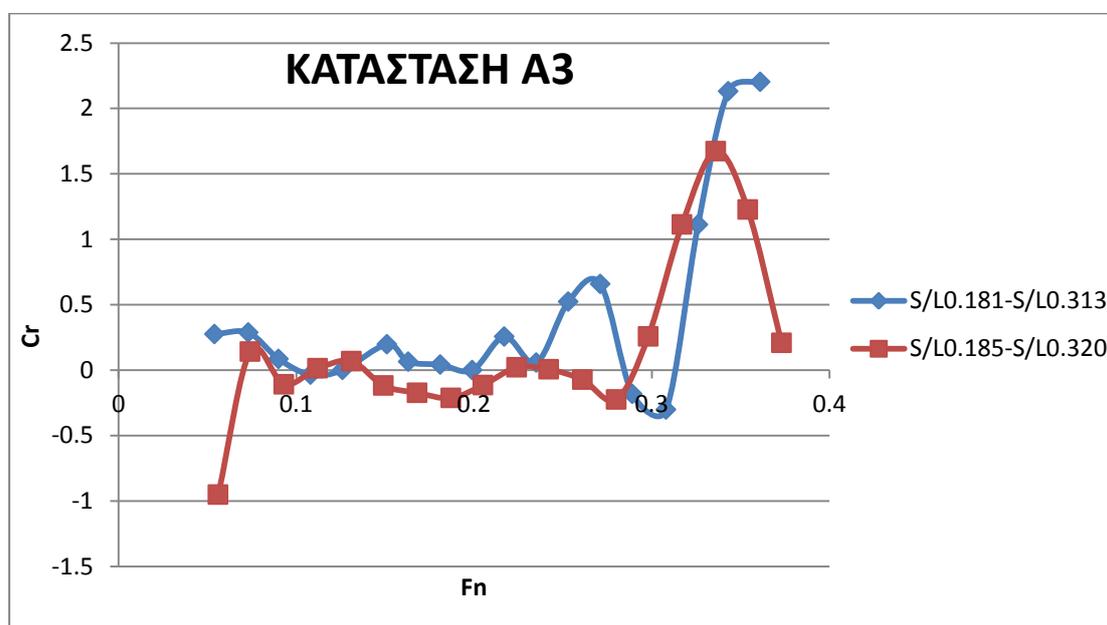
### ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α3



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.256$  για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών  $F_n$ , κάτι που συμβαίνει αντίστοιχα και για το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων  $S/L$  εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.29, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και ειδικά για αριθμούς  $F_n$  έως 0.22.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.256$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο για αριθμούς  $F_n$  από 0.30 έως 0.36 ενώ σε όλο το υπόλοιπο εύρος των αριθμών  $F_n$  ο λόγος  $S/L=0.320$  εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το λόγο  $S/L=0.256$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για το σύνολο των αριθμών  $F_n$  με την καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με βολβό να είναι μετατοπισμένη προς κάτω ως προς την καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό.

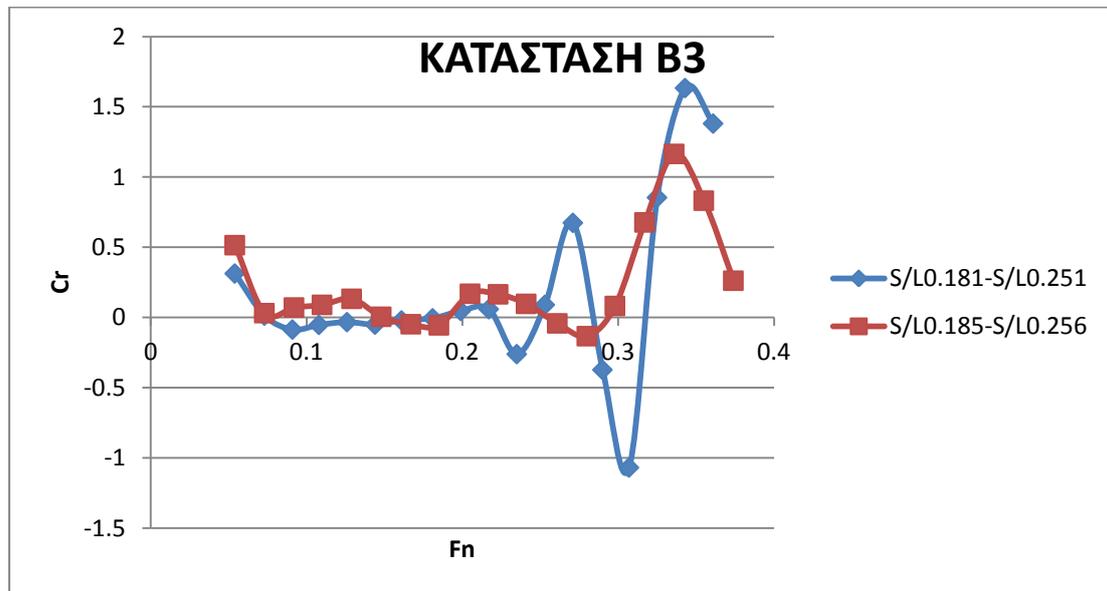


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο για αριθμούς  $F_n$  από 0.30 έως 0.37 ενώ σε όλο το υπόλοιπο εύρος των αριθμών  $F_n$  ο λόγος  $S/L=0.320$  εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το λόγο  $S/L=0.185$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.30, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα, όπως και προηγουμένως. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για το σύνολο των αριθμών  $F_n$  με την καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με βολβό να είναι μετατοπισμένη προς κάτω ως προς την καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό.

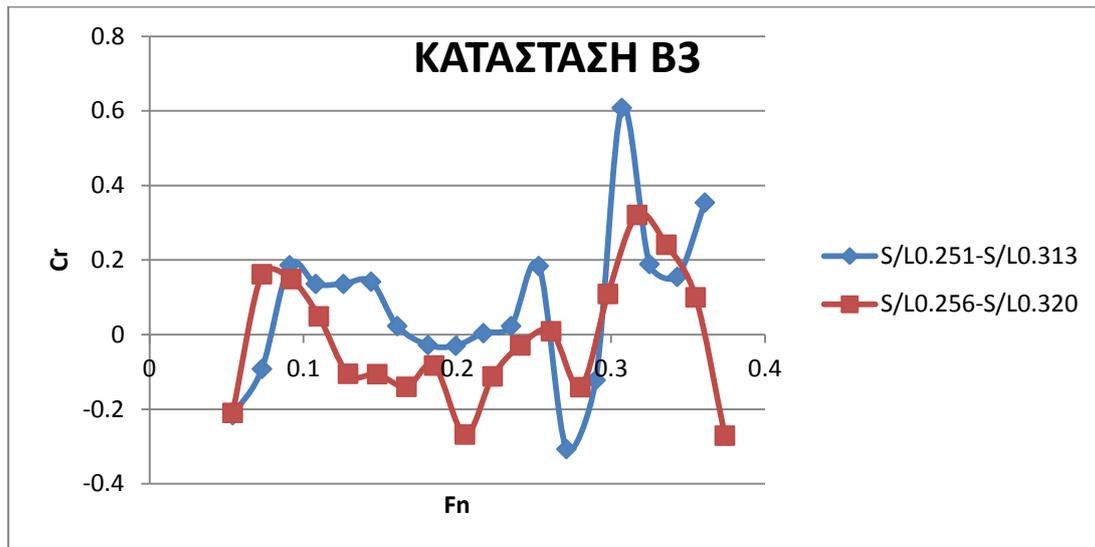
Συνολικά για την κατάσταση A3 παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  εμφανίζονται και για τα δύο μοντέλα για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από

0.30, ενώ διαπιστώνεται επίσης πως το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζει συνολικά μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τριών λόγων  $S/L$  σε σχέση με το μοντέλο με βολβό. Σημειώνεται πως για το μοντέλο χωρίς βολβό ο λόγος  $S/L=0.185$  εμφανίζει το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης ενώ παράλληλα ο μικρότερος συντελεστής παρουσιάζεται για λόγο  $S/L=0.320$ . Για το μοντέλο με βολβό, ωστόσο, παρατηρείται η εξής διαφοροποίηση. Για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.29 η συμπεριφορά του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης είναι παρόμοια με αυτή του μοντέλου χωρίς βολβό, δηλαδή ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  και ο μεγαλύτερος για λόγο  $S/L=0.185$ . Για αριθμούς Froude όμως μικρότερους από 0.29, ο μεγαλύτερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  ενώ ο μικρότερος για λόγο  $S/L=0.256$ . Τέλος, υπογραμμίζεται πως και για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη μορφή τους σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Froude.

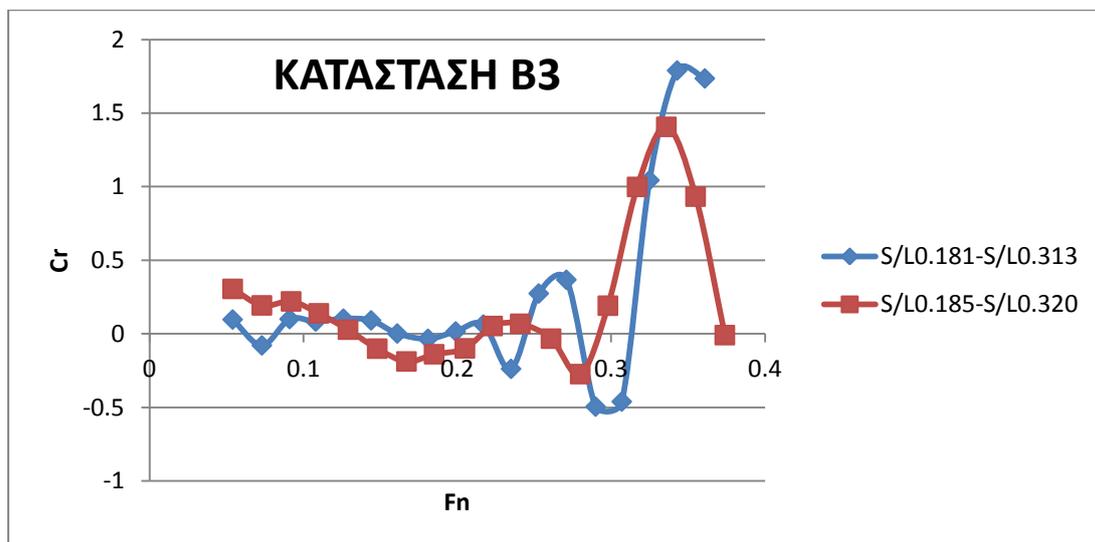
### ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β3



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο με βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.256$  για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών  $F_n$ , κάτι όμως που δε συμβαίνει αντίστοιχα και για το μοντέλο χωρίς βολβό καθώς σε κάποιες ευρείες περιοχές αριθμών  $F_n$  ο λόγος  $S/L=0.256$  εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το λόγο  $S/L=0.185$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων  $S/L$  εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.30, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  και ειδικά για αριθμούς  $F_n$  έως 0.22.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.256$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο για αριθμούς  $F_n$  από 0.295 έως 0.36 ενώ σε όλο το υπόλοιπο εύρος των αριθμών  $F_n$  ο λόγος  $S/L=0.320$  εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το λόγο  $S/L=0.256$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.295, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ .



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το μοντέλο χωρίς βολβό ότι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  από ότι για το λόγο  $S/L=0.320$  για το μεγαλύτερο εύρος των αριθμών  $F_n$  σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει για αριθμούς  $F_n$  από 0.11 έως 0.12, από 0.24 έως 0.25 και από 0.295 έως 0.365 ενώ σε όλο το υπόλοιπο εύρος των αριθμών  $F_n$  ο λόγος  $S/L=0.320$  εμφανίζει

μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από το λόγο  $S/L=0.185$ . Σημειώνεται επίσης πως και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο λόγων εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.30, με το μοντέλο χωρίς βολβό να παρουσιάζει τις μέγιστες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  στο διάγραμμα, όπως και προηγουμένως. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους για το σύνολο των αριθμών  $F_n$ .

Συνολικά για την κατάσταση B3 παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  εμφανίζονται και για τα δύο μοντέλα για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30, ενώ διαπιστώνεται επίσης πως το μοντέλο χωρίς βολβό παρουσιάζει συνολικά μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τριών λόγων  $S/L$  σε σχέση με το μοντέλο με βολβό. Αξίζει να αναφερθεί πως για το μοντέλο χωρίς βολβό οι λόγοι  $S/L=0.185$  και  $S/L=0.256$  εμφανίζουν το μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης χωρίς να μπορεί να βγει ασφαλές συμπέρασμα στη μεταξύ τους σύγκριση σχετικά με το ποιος λόγος εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης για μεγαλύτερο εύρος αριθμών Froude. Ως εκ τούτου σημειώνεται επίσης πως για το μοντέλο χωρίς βολβό ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$ . Για το μοντέλο με βολβό αντίστοιχα παρατηρείται η εξής διαφορά. Για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30 ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  και ο μεγαλύτερος για λόγο  $S/L=0.185$ . Για αριθμούς Froude όμως μικρότερους από 0.30, ο μεγαλύτερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  ενώ ο μικρότερος για λόγο  $S/L=0.256$ , όπως και στην κατάσταση A3. Τέλος, υπογραμμίζεται πως και για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη μορφή τους για μεγάλο εύρος αριθμών Froude.

Κοινός τόπος για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης αποτελεί το γεγονός ότι και για τα δύο μοντέλα οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των λόγων  $S/L$  παρουσιάζονται για αριθμό Froude μεγαλύτερο από 0.3. Σημειώνεται επίσης ότι για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης οι πιο μεγάλες διαφορές μεταξύ των λόγων  $S/L$  εντοπίζονται για το μοντέλο χωρίς βολβό καθώς και ότι οι καμπύλες των δύο μοντέλων παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς τη μορφή τους σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Froude. Για το μοντέλο χωρίς βολβό ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$ , ενώ ο μεγαλύτερος για το λόγο  $S/L=0.185$  (Στις καταστάσεις φόρτωσης A2 και B3 ο λόγος  $S/L=0.256$  παρουσιάζει εξίσου μεγάλο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης με το λόγο  $S/L=0.185$  χωρίς να μπορεί να βγει ασφαλές συμπέρασμα για το ποια από τις δύο αποστάσεις των ημιγαστρών έχει τη μεγαλύτερη υπόλοιπη αντίσταση). Αντίστοιχα, για το μοντέλο με βολβό για τις καταστάσεις A1 και A2 παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος συντελεστής υπόλοιπης εμφανίζεται για το λόγο  $S/L=0.185$ , ενώ ο μικρότερος για το λόγο  $S/L=0.256$ . Για τις καταστάσεις A3 και B3 όμως, διαπιστώνεται ότι για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.30 ο μικρότερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  και ο μεγαλύτερος για λόγο  $S/L=0.185$  ενώ για αριθμούς Froude μικρότερους από 0.30, ο μεγαλύτερος συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για λόγο  $S/L=0.320$  και ο μικρότερος για λόγο  $S/L=0.256$ .

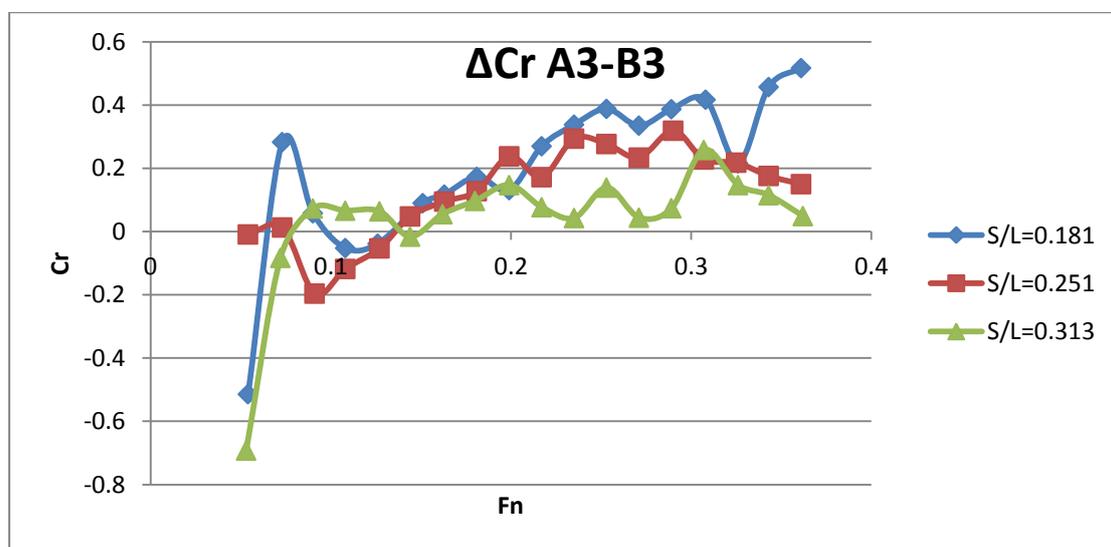
### 3.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Στην παράγραφο αυτή μελετάται η επίδραση της διαγωγής στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, όπως έχει αναφερθεί, εξετάστηκαν δύο καταστάσεις με διαγωγή, η κατάσταση B3 και η κατάσταση C3, που αναφέρονται στο ίδιο εκτόπισμα με την ισοβύθιστη κατάσταση A3. Σημειώνεται ότι η κατάσταση φόρτωσης B3 είχε 0.5 m έμπρυμνη διαγωγή, ενώ η κατάσταση φόρτωσης C3 είχε 1 m έμπρυμνη διαγωγή.

Ο λόγος που επιλέγεται η σύγκριση να γίνει ως προς το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης είναι το γεγονός πως επειδή οι καταστάσεις A3, B3 και C3 αναφέρονται στο ίδιο εκτόπισμα έχουν βρεχόμενες επιφάνειες που δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, με αποτέλεσμα ο συντελεστής αντίστασης τριβής να είναι στις τρεις καταστάσεις φόρτωσης παραπλήσιος και κατ'έπείταση η όποια διαφορά στο συντελεστή ολικής αντίστασης να οφείλεται στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης.

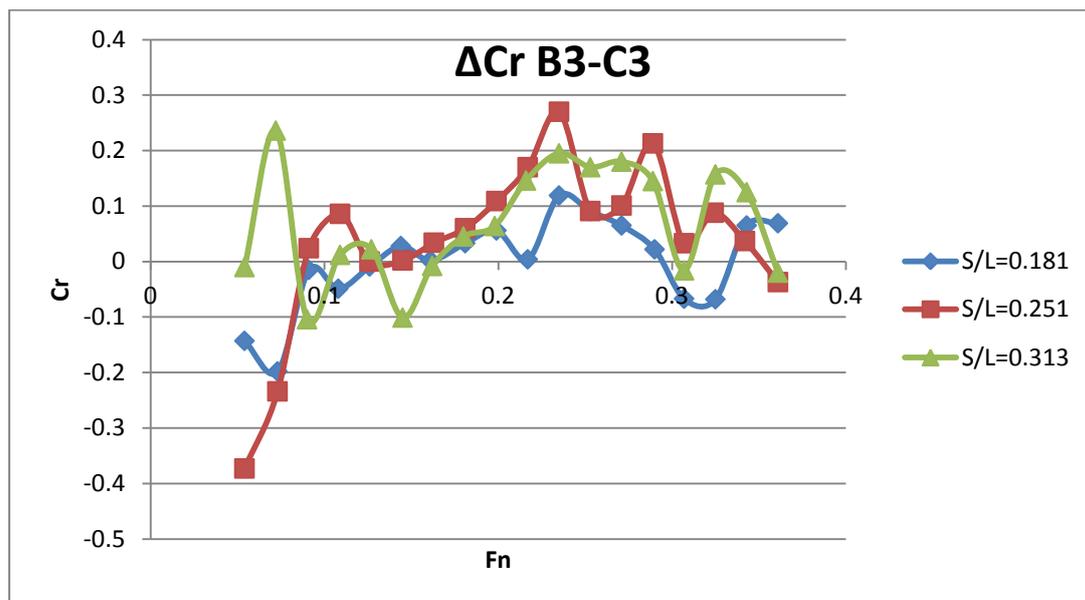
A/A	A3	B3	C3
WSA (m <sup>2</sup> )	1786	1784	1781

Για την εξέταση της επίδρασης της διαγωγής στην αντίσταση ακολουθούν τα παρακάτω διαγράμματα που για κάθε λόγο S/L παρουσιάζουν τη διαφορά της υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3, B3 και C3 και τέλος A3 και C3.

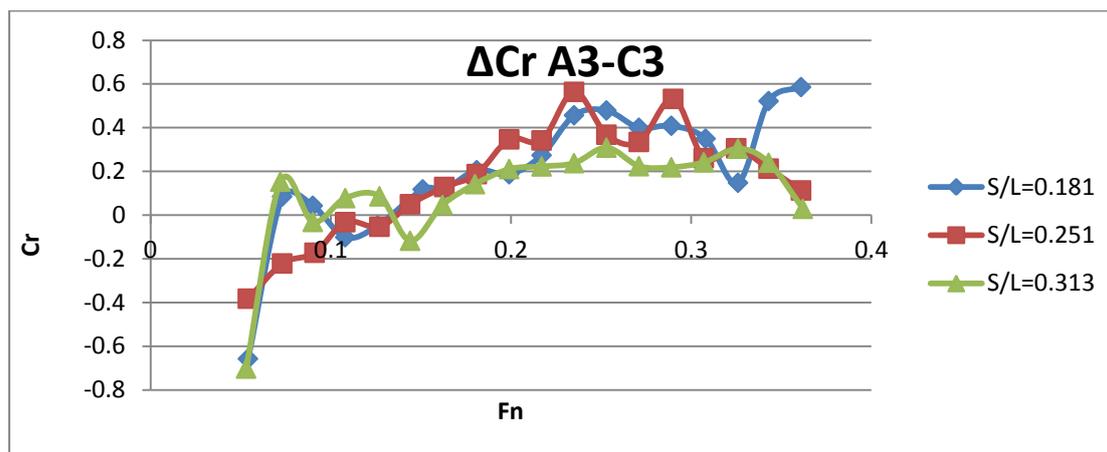


Στο παραπάνω διάγραμμα αρχικά διαπιστώνεται πως για τους τρεις πρώτους αριθμούς Fn η διαφορά του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3 παρουσιάζει ακραίες τιμές που δεν θεωρούνται ρεαλιστικές και για αυτό το λόγο, όπως έχει αναφερθεί, οι τρεις πρώτες τιμές δεν θα λαμβάνονται υπόψη στο σχολιασμό. Η μορφή των καμπυλών είναι παρόμοια για τους τρεις λόγους S/L με τις μεγαλύτερες διαφορές να εμφανίζονται για αριθμούς Fn από 0.235 έως 0.361. Σημειώνεται επίσης πως σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Fn οι καμπύλες των τριών λόγων S/L παρουσιάζουν θετικές τιμές, γεγονός που σημαίνει ότι η κατάσταση A3 έχει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την κατάσταση B3. Αυτό συνεπάγεται ότι η έμπρυμνη διαγωγή 0.5 m έχει

Θετικές συνέπειες στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Τέλος, παρατηρείται πως η καμπύλη που αντιστοιχεί στο λόγο  $S/L=0.181$  είναι μετατοπισμένη προς τα πάνω σε σχέση με τις άλλες δύο καμπύλες, με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο λόγο  $S/L=0.313$  να βρίσκεται χαμηλότερα από όλες. Αυτό υποδεικνύει πως η μεγαλύτερη διαφορά στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης λόγω της ύπαρξης διαγωγής εμφανίζεται στο μοντέλο με τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών, ενώ αντίστοιχα η μικρότερη επίδραση της διαγωγής στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για το μοντέλο με τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών.

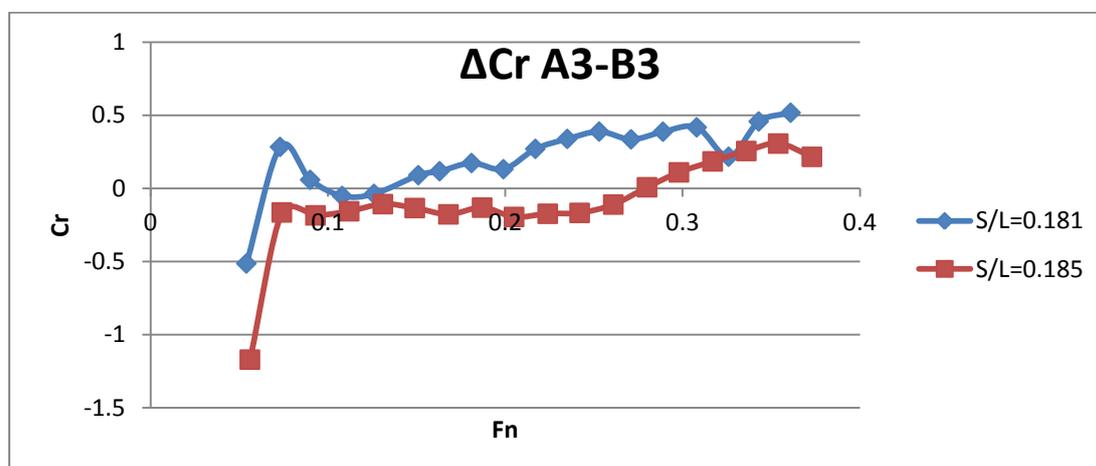


Στο παραπάνω διάγραμμα πραγματοποιείται σύγκριση για κάθε λόγο  $S/L$  του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων B3 και C3. Η μορφή των καμπυλών παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες για τους τρεις λόγους  $S/L$  με τις μεγαλύτερες διαφορές να εμφανίζονται για αριθμούς  $F_n$  από 0.235 έως 0.325. Σημειώνεται πως για μεγάλο εύρος των αριθμών  $F_n$  οι καμπύλες των τριών λόγων  $S/L$  παρουσιάζουν θετικές τιμές, γεγονός που σημαίνει ότι η κατάσταση B3 έχει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την κατάσταση C3. Αυτό συνεπάγεται ότι η περαιτέρω έμπρυμνη διαγωγή 1 m έχει θετικές συνέπειες στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Τέλος, παρατηρείται πως η καμπύλη που αντιστοιχεί στο λόγο  $S/L=0.313$  είναι ελαφρώς μετατοπισμένη προς τα πάνω σε σχέση με τις άλλες δύο καμπύλες, με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο λόγο  $S/L=0.181$  να βρίσκεται χαμηλότερα από όλες. Αυτό υποδεικνύει πως η μεγαλύτερη διαφορά στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης λόγω της ύπαρξης μεγαλύτερης διαγωγής εμφανίζεται στο μοντέλο με τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών, ενώ αντίστοιχα η μικρότερη επίδραση της επιπλέον διαγωγής στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης εμφανίζεται για το μοντέλο με τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των ημιγαστρών, κάτι που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα που συνέκρινε τις καταστάσεις φόρτωσης A3 και B3 και συνέβαινε το αντίθετο.

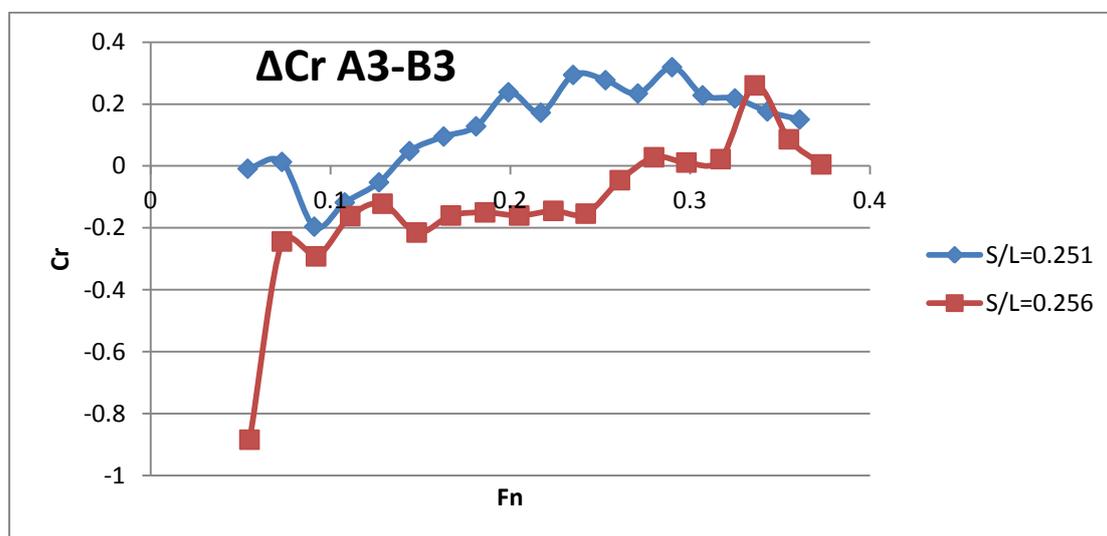


Στο παραπάνω διάγραμμα πραγματοποιείται σύγκριση για κάθε λόγο S/L του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και C3. Η μορφή των καμπυλών παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες για τους τρεις λόγους S/L και ουσιαστικά αποτελεί υπέρθεση των δύο προηγούμενων διαγραμμάτων. Σημειώνεται πως για σχεδόν το σύνολο του εύρους των αριθμών Fn οι καμπύλες των τριών λόγων S/L παρουσιάζουν θετικές τιμές, γεγονός που σημαίνει, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι η κατάσταση A3 έχει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την κατάσταση C3. Αυτό συνεπάγεται ότι η έμπρυμη διαγωγή 1 m έχει θετικές συνέπειες στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι μέγιστες διαφορές στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και C3 που εμφανίζονται για αριθμούς Fn από 0.235 έως 0.308 είναι της τάξης του 0.3 με 0.6, τιμές που θεωρούνται σχετικά μικρές και οδηγούν στο συμπέρασμα πως η διαγωγή να μεν επιδρά θετικά στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης αλλά σε σχετικά μικρό βαθμό.

Κατόπιν, ακολουθούν διαγράμματα που παρουσιάζουν για κάθε λόγο S/L ξεχωριστά τη διαφορά του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3 τόσο για το πειραματικό μοντέλο χωρίς βολβό όσο και για το μοντέλο με βολβό με σκοπό να εξεταστεί η συμπεριφορά και η επίδραση της διαγωγής παρουσία ή μη του βολβού. Να σημειωθεί επίσης πως στα διαγράμματα που ακολουθούν η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο μοντέλο χωρίς βολβό και η κόκκινη καμπύλη στο μοντέλο με βολβό.

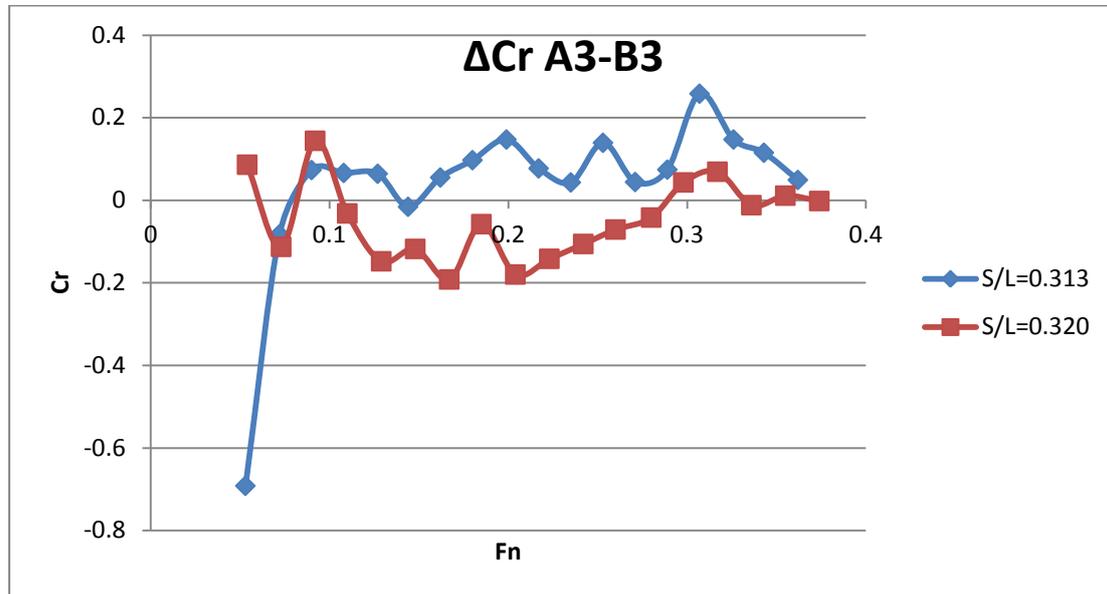


Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το κοινό λόγο  $S/L=0.185$  πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ . Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι πως στην περίπτωση του μοντέλου χωρίς βολβό ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος στην κατάσταση A3 σχεδόν για όλους τους αριθμούς  $F_n$  (από 0.151 έως 0.361) σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.28. Αυτό σημαίνει πως ενώ η διαγωγή έχει θετική επίδραση στην υπόλοιπη αντίσταση στο μοντέλο χωρίς βολβό για μεγάλο εύρος ταχυτήτων, στο μοντέλο με βολβό η διαγωγή επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση μόνο σε μεγάλες ταχύτητες. Σημειώνεται τέλος, ότι οι μέγιστες διαφορές στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3 για το μοντέλο χωρίς βολβό είναι της τάξης του 0.4-0.5, ενώ για το μοντέλο με βολβό είναι της τάξης του 0.2-0.3, γεγονός που υποδεικνύει ότι η επίδραση της διαγωγής στο συντελεστή αντίστασης είναι μεγαλύτερη στο μοντέλο χωρίς βολβό από ότι στο μοντέλο με βολβό.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το κοινό λόγο  $S/L=0.256$  πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα ως προς την μορφή τους με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$  (πλην της τιμής 0.336). Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι, όπως και στον προηγούμενο λόγο  $S/L$ , πως στην περίπτωση του μοντέλου χωρίς βολβό ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος στην κατάσταση A3 σχεδόν για όλους τους αριθμούς  $F_n$  (από 0.144 έως 0.363) σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο για αριθμούς  $F_n$  μεγαλύτερους από 0.28. Αυτό σημαίνει πως ενώ η διαγωγή έχει θετική επίδραση στην υπόλοιπη αντίσταση στο μοντέλο χωρίς βολβό σχεδόν για το σύνολο του εύρους ταχυτήτων, στο μοντέλο με βολβό η διαγωγή επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση μόνο σε μεγάλες ταχύτητες. Σημειώνεται τέλος, ότι οι μέγιστες διαφορές στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3 για το μοντέλο χωρίς βολβό είναι της τάξης του 0.2-0.35, ενώ για το μοντέλο με βολβό είναι της τάξης του 0.18-0.3, γεγονός που υποδεικνύει ότι η επίδραση της διαγωγής

στο συντελεστή αντίστασης είναι μεγαλύτερη στο μοντέλο χωρίς βολβό από ότι στο μοντέλο με βολβό.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για το κοινό λόγο  $S/L=0.320$  πως για τα δύο μοντέλα οι καμπύλες παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα ως προς την μορφή τους με τη καμπύλη που αντιστοιχεί στο μοντέλο με το βολβό να είναι αισθητά μετατοπισμένη προς τα κάτω για όλο το εύρος των αριθμών  $F_n$ . Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι, όπως και στους δύο προηγούμενους λόγους  $S/L$ , πως στην περίπτωση του μοντέλου χωρίς βολβό ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης είναι μεγαλύτερος στην κατάσταση A3 για όλους τους αριθμούς  $F_n$  (πλην της τιμής 0.144) σε αντίθεση με το μοντέλο με βολβό που αυτό συμβαίνει μόνο ορισμένους μεγάλους αριθμούς  $F_n$ . Αυτό σημαίνει πως ενώ η διαγωγή έχει θετική επίδραση στην υπόλοιπη αντίσταση στο μοντέλο χωρίς βολβό για το σύνολο του εύρους ταχυτήτων (πλην μιας τιμής), στο μοντέλο με βολβό η διαγωγή επιδρά θετικά στην υπόλοιπη αντίσταση μόνο σε ορισμένες υψηλές ταχύτητες. Σημειώνεται τέλος, ότι οι μέγιστες διαφορές στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ των καταστάσεων A3 και B3 για το μοντέλο χωρίς βολβό είναι της τάξης του 0.15-0.25, ενώ για το μοντέλο με βολβό είναι της τάξης του 0.1-0.2, γεγονός που υποδεικνύει ότι η επίδραση της διαγωγής στο συντελεστή αντίστασης είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στο μοντέλο χωρίς βολβό από ότι στο μοντέλο με βολβό.

Συνολικά για τους τρεις λόγους  $S/L$  μπορεί να ειπωθεί ότι η διαγωγή έχει θετική επίδραση στο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης στο μοντέλο χωρίς βολβό σε πολύ μεγαλύτερο εύρος αριθμών Froude σε σχέση με το μοντέλο με βολβό. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί πως ο βαθμός που η διαγωγή επηρεάζει το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης είναι αρκετά μεγαλύτερος στην περίπτωση του μοντέλου χωρίς βολβό σε σχέση με το μοντέλο με βολβό.

### 3.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο τέλος της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα υπόλοιπα πειραματικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, στο παράρτημα Α, όπως έχει αναφερθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος RESOUT για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης τόσο για τη μονή γάστρα όσο και για τους τρεις λόγους S/L. Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται οι καμπύλες της ολικής αντίστασης σε  $k_r$  συναρτήσει του αριθμού Froude για κάθε λόγο S/L καθώς και για το μονόγαστρο μοντέλο για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Στο παράρτημα Γ παρουσιάζονται οι καμπύλες του προνευτασμού σε μοίρες συναρτήσει του αριθμού Froude για τις πέντε καταστάσεις φόρτωσης τόσο για την περίπτωση της μονής γάστρας όσο και για τις τρεις αποστάσεις μεταξύ των γαστρών. Στο παράρτημα Δ παρουσιάζονται οι καμπύλες ανύψωσης του κέντρου μάζας σε cm συναρτήσει του αριθμού Froude για το μονόγαστρο μοντέλο και τους τρεις λόγους S/L για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης, ενώ τέλος στο παράρτημα Ε παρουσιάζονται οι καμπύλες της ισχύος ρυμούλκησης σε PS συναρτήσει της ταχύτητας σε κόμβους για το υπό μελέτη πλοίο μονής γάστρας και των τριών λόγων S/L για τις μελετούμενες καταστάσεις φόρτωσης.

Αναφορικά με τα διαγράμματα ολικής αντίστασης συναρτήσει του αριθμού Froude του παραρτήματος Β, παρατηρείται συνολικά τόσο για το μονόγαστρο μοντέλο όσο και για τους τρεις λόγους S/L πως καθώς αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται και η ολική αντίσταση του μοντέλου. Σημειώνεται ωστόσο, πως το φαινόμενο αυτό στην περίπτωση του μοντέλου μονής γάστρας πραγματοποιείται σχεδόν γραμμικά ενώ στους τρεις λόγους S/L του δίγαστρου μοντέλου εμφανίζονται δύο περιοχές αριθμών Froude στις οποίες το διάγραμμα παίρνει καμπύλη μορφή που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο γαστρών. Παρατηρείται επίσης πως αυξανόμενου του εκτοπίσματος αυξάνεται και η ολική αντίσταση του μοντέλου, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει πως οι καταστάσεις B3 και C3 με διαγωγή εμφανίζουν μειωμένη ολική αντίσταση σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση A3 τόσο για το μονόγαστρο μοντέλο όσο και για τους τρεις λόγους S/L του δίγαστρου μοντέλου.

Σχετικά με τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής συναρτήσει του αριθμού Froude του παραρτήματος Γ, παρατηρείται συνολικά για το μονόγαστρο μοντέλο και τους τρεις λόγους S/L πως οι γωνίες δυναμικής διαγωγής που εμφανίζονται μέχρι αριθμό Froude ίσο με 0.21 είναι ιδιαίτερα μικρές και συγκεκριμένα μικρότερες των 0.08 μοιρών. Κατόπιν οι γωνίες δυναμικής διαγωγής αυξάνονται και περίπου για αριθμό Froude ίσο με 0.31 προσεγγίζουν τις μέγιστες τιμές τους, οι οποίες για το λόγο S/L=0.181 φτάνουν ακόμη και τις 0.65 μοίρες. Αξίζει να σημειωθεί πως τόσο το μονόγαστρο όσο και το δίγαστρο μοντέλο για τους τρεις λόγους S/L εμφανίζουν θετικές γωνίες διαγωγής σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Froude, οι οποίες σύμφωνα με τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του αισθητήρα του pitch αντιστοιχούν σε έμπρομη διαγωγή. Επίσης αναφέρεται πως αυξανόμενου του εκτοπίσματος αυξάνεται και η δυναμική διαγωγή, κάτι που παρατηρείται στην περίπτωση της μονής γάστρας αλλά και του δίγαστρου μοντέλου για τους τρεις λόγους S/L, ενώ διαπιστώνεται ακόμη πως οι έμπρομη καταστάσεις B3 και C3 εμφανίζουν μεγαλύτερη δυναμική διαγωγή σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση του ίδιου εκτοπίσματος A3.

Σε ότι αφορά τα διαγράμματα ανύψωσης του κέντρου μάζας συναρτήσει του αριθμού Froude του παραρτήματος Δ, παρατηρείται σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης τόσο για το μοντέλο μονής γάστρας όσο και για το δίγαστρο μοντέλο για τους τρεις λόγους S/L ότι οι καμπύλες εμφανίζουν για όλο το εύρος των αριθμών Froude αρνητικές τιμές, γεγονός που συνεπάγεται βύθιση του κέντρου μάζας του μοντέλου κάτω από το επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας του νερού της δεξαμενής. Η συμπεριφορά αυτή δικαιολογείται εν μέρει λόγω του μεγάλου όγκου που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως αυξανόμενου του εκτοπίσματος αυξάνεται και η βύθιση του κέντρου μάζας, κάτι άλλωστε που είναι αναμενόμενο. Αναφέρεται τέλος, ότι η διαγωγή δεν επηρεάζει σημαντικά τη βύθιση του κέντρου μάζας αφού οι καμπύλες των καταστάσεων A3, B3 και C3 σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους σχεδόν για όλο το εύρος των αριθμών Froude. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο λόγος S/L=0.181 στον οποίο οι καταστάσεις B3 και C3 εμφανίζουν μειωμένη βύθιση του κέντρου μάζας σε σχέση με την ισοβύθιστη κατάσταση A3, η οποία γίνεται εμφανής για αριθμούς Froude μεγαλύτερους από 0.29.

Τέλος, σχετικά με τα διαγράμματα ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου συναρτήσει της ταχύτητας σε κόμβους του παραρτήματος Ε παρατηρείται πως η μορφή των καμπυλών είναι ανάλογη αυτής των καμπυλών ολικής αντίστασης του μοντέλου. Αυτό συμβαίνει καθώς η ισχύς ρυμούλκησης, όπως έχει αναφερθεί, δίνεται από τη σχέση :

$$EHP = \frac{R_S * V_S}{75}$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται πως η ισχύς ρυμούλκησης είναι ανάλογη της αντίστασης και της ταχύτητας του πλοίου, μεγέθη τα οποία προκύπτουν από την αντίσταση και την ταχύτητα του μοντέλου και βρίσκονται σε ευθεία αναλογία μεταξύ τους. Αποτέλεσμα λοιπόν είναι οι καμπύλες της ισχύος ρυμούλκησης του πλοίου να ακολουθούν τη μορφή των καμπυλών ολικής αντίστασης του μοντέλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

#### 4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CATAMARAN.F

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η αυξανόμενη χρήση υπολογιστών και υπολογιστικών προγραμμάτων τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημαντική επίδραση σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, από τους οποίους φυσικά δεν εξαιρείται ο τομέας της ναυτικής υδροδυναμικής. Σήμερα, καθίσταται πλέον δυνατή η λύση ρευστομηχανικών προβλημάτων μέσω υπολογιστικών προγραμμάτων, τα αποτελέσματα των οποίων ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς τα σύγχρονα προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής δίνουν τη δυνατότητα επίτευξης βέλτιστων σχεδιάσεων πλοίων ως προς ένα αριθμό μεταβλητών, όπως είναι η αντίσταση, παρέχοντας στο σχεδιαστή πλήθος επιλογών ανάμεσα σε ήδη βέλτιστες σχεδιάσεις. Ωστόσο, η ανάγκη επαλήθευσης των αριθμητικών αποτελεσμάτων των υπολογιστικών προγραμμάτων με τα αντίστοιχα πειραματικά παραμένει, γεγονός που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

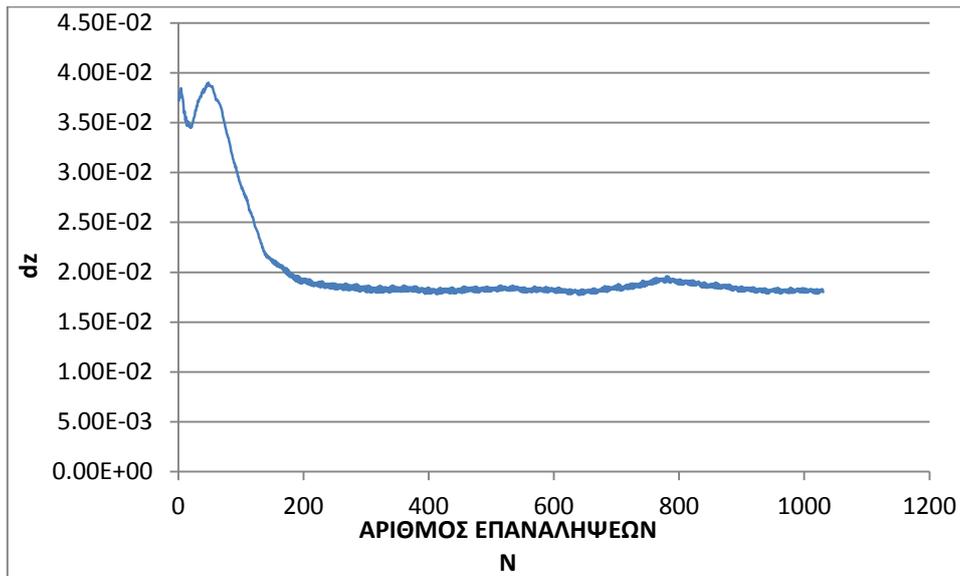
Το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής που χρησιμοποιήθηκε για τον αριθμητικό υπολογισμό της αντίστασης του πειραματικού μοντέλου είναι το πρόγραμμα catamaran.f, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής από τον καθηγητή κ. Τζαμπίρα και είναι γραμμένο σε προγραμματιστική γλώσσα Fortran.

Κατά την κίνηση ενός σώματος όπως ένα πλοίο, μέσα σε ένα ρευστό, το πεδίο ροής γύρω από το σώμα προσδιορίζεται από την επίλυση των μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων Navier-Stokes και της εξίσωσης της συνέχειας. Η λύση των εξισώσεων αυτών στην πλήρη τους μορφή δεν είναι δυνατή και για αυτό είναι αναγκαίο να ληφθούν κάποιες παραδοχές, οι οποίες θα οδηγήσουν σε απλοποίηση τις παραπάνω εξισώσεις ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η επίλυσή τους.

Σύμφωνα με την πρώτη παραδοχή, το ρευστό στο οποίο κινείται το σώμα, όπως άλλωστε σε γενικές γραμμές και όλα τα υγρά, θεωρείται ασυμπύεστο, δηλαδή η πυκνότητά του είναι σταθερή σε όλη τη μάζα του και επομένως ισχύει ότι  $\frac{d\rho}{dt} = 0$ . Σύμφωνα με τη δεύτερη παραδοχή το ρευστό είναι ατριβές, γεγονός που σημαίνει ότι το δυναμικό και κινηματικό ιξώδες του είναι μηδενικά ( $\mu=\nu=0$ ), ενώ σύμφωνα με την τρίτη παραδοχή το ρευστό θεωρείται αστρόβιλο, δηλαδή ανεξάρτητα από το εάν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης το ρευστό δεν παρουσιάζει στροβιλισμούς και δίνες. Με τις παραπάνω παραδοχές οι εξισώσεις Navier-Stokes απλοποιούνται σε μια εξίσωση Laplace για το δυναμικό  $\phi$ , η οποία πλέον είναι δυνατόν να επιλυθεί, ενώ σημειώνεται ότι η μεγάλη διευκόλυνση της θεωρίας δυναμικού είναι πως δεν απαιτείται η επίλυση των εξισώσεων μεταφοράς για τον υπολογισμό της ταχύτητας που υπολογίζεται ανεξάρτητα από την πίεση. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η παράβλεψη του ιξώδους του ρευστού είναι δικαιολογημένη πλην περιοχών που εμφανίζονται μεγάλες μεταβολές της ταχύτητας, όπως είναι τα οριακά στρώματα ή τα σημεία που υπάρχει αποκόλληση της ροής, όπως η περιοχή του ομόρρου. Στις περιοχές αυτές σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η στροβιλότητα του ρευστού με αποτέλεσμα στις περιοχές αυτές η θεωρία του δυναμικού της ροής να μην μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της ροής. Ακόμη, η παραδοχή ότι η πυκνότητα του

ρευστού είναι σταθερή σε όλη τη μάζα του δικαιολογείται για ροές σε υγρά. Συμπερασματικά, αναμένονται καλά αποτελέσματα και καλή προσέγγιση της ελεύθερης επιφάνειας εκτός από την περιοχή της πρύμνης, που παρατηρούνται τα ανωτέρω χαρακτηριστικά.

Η ελεύθερη επιφάνεια δεν είναι δεδομένη και για τον υπολογισμό της εφαρμόζεται μια επαναληπτική διαδικασία, τα δεδομένα της οποίας έχουν ως αρχή των αξόνων το σημείο τομής της πρωραίας καθέτου με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου σε ύψος ίσο με το βύθισμα του πλοίου στην πρωραία κάθετο από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Ο άξονας  $x$  εκτείνεται κατά τη διαμήκη κατεύθυνση του πλοίου, ο άξονας  $y$  κατά την εγκάρσια και ο άξονας  $z$  κατά την κατακόρυφη διεύθυνση του πλοίου. Το σύστημα αξόνων αναφέρεται ως απόλυτο και παρουσιάζεται στην εικόνα 1 (absolute system), ενώ η επαναληπτική διαδικασία προσδιορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Σε κάποιο ενδιάμεσο βήμα θεωρείται η ελεύθερη επιφάνεια του νερού γνωστή και κατασκευάζονται πάνω της επίπεδα στοιχεία. Από τη θεωρία δυναμικού και επιβάλλοντας την κινηματική οριακή συνθήκη σε κάθε στοιχείο υπολογίζονται οι συνιστώσες της ταχύτητας και στη συνέχεια η πίεση  $p$  μέσω της εξίσωσης Bernoulli. Ωστόσο, η δυναμική οριακή συνθήκη δεν ικανοποιείται καθώς η πίεση που υπολογίζεται για κάθε στοιχείο δεν είναι ίδια με το άθροισμα της στατικής και της υδροστατικής πίεσης. Η διαφορά αυτή εισάγεται στην ατριβή εξίσωση μεταφοράς για την κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας  $u_z$ , μέσω της οποίας ανανεώνεται η ελεύθερη επιφάνεια. Μετά την ανανέωση της ελεύθερης επιφάνειας, το πρόβλημα δυναμικού επιλύεται ξανά μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας έως ότου ικανοποιηθεί η δυναμική οριακή συνθήκη. Η ικανοποίηση της συνθήκης ελέγχεται μέσω μιας μεταβλητής  $dz$ , η οποία ισούται με τη μέση τιμή των απόλυτων τιμών της διαφοράς της υπολογιζόμενης πίεσης από τη θεωρητική στα σημεία ελέγχου των στοιχείων. Η μεταβλητή  $dz$  παρουσιάζει μια οριακή τιμή, η οποία όσο μικρότερη είναι τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός που επιτυγχάνεται η σύγκλιση, ενώ η επαναληπτική διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσες φορές μέχρι η μεταβλητή  $dz$  να συγκλίνει σε μια σταθερή τιμή. Ακολούθως, στο διάγραμμα 1, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σύγκλισης από την κατάσταση C3 του μονόγαστρου σκάφους για αριθμό F<sub>n</sub> ίσο με 0.252, όπου αυτή επιτυγχάνεται περίπου μετά τις 400 επαναλήψεις καθώς τότε παρατηρείται σταθεροποίηση της μεταβλητής  $dz$ . Ακόμη, σημειώνεται ότι η οριακή τιμή της μεταβλητής  $dz$  είναι σχετικά μικρή με συνέπεια να επιτυγχάνεται ικανοποιητική σύγκλιση.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ dz

Η αντίσταση που υπολογίζεται από το πρόγραμμα catamaran.f είναι η αντίσταση κυματισμού. Αυτό συμβαίνει καθώς λόγω των παραδοχών που έχουν ληφθεί για την απλοποίηση των εξισώσεων Navier-Stokes το πρόγραμμα δεν μπορεί να υπολογίσει την αντίσταση τριβής λόγω συνεκτικότητας και την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας. Η αντίσταση κυματισμού προκύπτει από την ολοκλήρωση της πίεσης στην επιφάνεια της γάστρας, ενώ ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$C_w = \frac{R_w}{0.5 * \rho * WS * V_s^2}$$

Όπου,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού

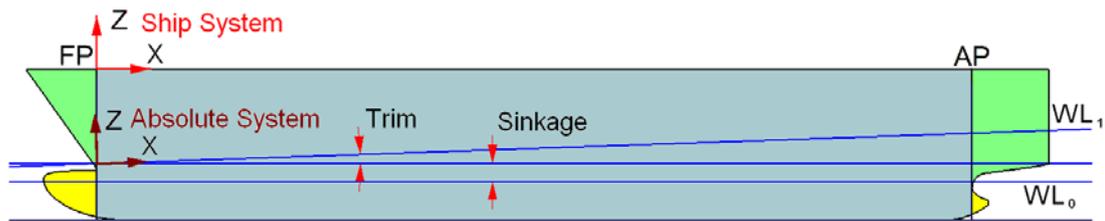
$WS$  είναι η πραγματική βρεχόμενη επιφάνεια

$V_s$  είναι η ταχύτητα του πλοίου

$R_w$  είναι η αντίσταση κυματισμού του πλοίου.

## 4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

Για την αναπαράσταση της γεωμετρίας της γάστρας χρησιμοποιείται ένα δεύτερο σύστημα αξόνων, διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ελεύθερης επιφάνειας, του οποίου η αρχή ορίζεται από το σημείο τομής της πρωραίας καθέτου με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου σε ύψος ίσο με το κοίλο του πλοίου μετρούμενο από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Ο άξονας x εκτείνεται κατά τη διαμήκη κατεύθυνση του πλοίου, ο άξονας y κατά την εγκάρσια και ο άξονας z κατά την κατακόρυφη διεύθυνση του πλοίου, ενώ το σύστημα αξόνων αναφέρεται ως σύστημα αναφοράς πλοίου και παρουσιάζεται στο σχήμα 1 (ship system).



**ΣΧΗΜΑ 1 : ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ (Σ.Πολύζος)**

Για την παραγωγή των επιφανειακών στοιχείων η γάστρα περιγράφεται από εγκάρσιες διαστάσεις τομές που περιγράφονται αναλυτικά μέσω του σύμμορφου μετασχηματισμού:

$$z = \sum_{n=1}^N a_n * \zeta^{3-2n}$$

Ωστόσο, ο αριθμός των τομών που περιγράφουν τη γάστρα είναι μικρότερος από τον αριθμό που απαιτούνται για την κατασκευή των επιφανειακών στοιχείων με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να ενσωματώνει διάφορες μεθόδους παρεμβολής.

Για την αναπαράσταση της γεωμετρίας του σκάφους ο κώδικας του catamaran.f διαχωρίζει την επιφάνεια της γάστρας σε πέντε περιοχές, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Η περιοχή 1 περιλαμβάνει το τμήμα της πλήρης έμπροσθεν της πρωραίας καθέτου και άνωθεν του βολβού, η περιοχή 2 περιλαμβάνει το βολβό έμπροσθεν της πρωραίας καθέτου, η περιοχή 3 το τμήμα μεταξύ της πρωραίας και της πρυμναίας καθέτου, η περιοχή 4 το τμήμα της πρύμνης άνωθεν του πρυμναίου βολβού και η περιοχή 5 το τμήμα του πρυμναίου βολβού. Διευκρινίζεται ότι η διαμήκης θέση της πρωραίας καθέτου ορίζεται στο σημείο όπου η εφαπτομένη του διαμήκους περιγράμματος της πλήρης είναι κάθετη, ενώ κατ'αντιστοιχία η διαμήκης θέση της πρυμναίας καθέτου ορίζεται στο σημείο όπου η εφαπτομένη του διαμήκους περιγράμματος της πρύμνης είναι κάθετη. Σημειώνεται ακόμη ότι λόγω απουσίας πρωραίου και πρυμναίου βολβού στο μοντέλο πειραμάτων οι περιοχές στις οποίες διαχωρίζεται τελικά η επιφάνεια είναι τρεις και είναι συγκεκριμένα οι περιοχές 2, 3 και 4, χωρίς αυτό να δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στον κώδικα του catamaran.f.

Στον πίνακα που ακολουθεί (ΠΙΝΑΚΑΣ 1) παρουσιάζονται οι μεταβλητές που περιγράφουν το είδος, τη γεωμετρία και τις διαστάσεις της γάστρας. Οι μεταβλητές αυτές παρέμειναν σταθερές κατά τη διάρκεια των εκάστοτε 'τρέξιμάτων' του κώδικα καθώς αποτελούν σταθερά στοιχεία της γάστρας, τα οποία είναι ανεξάρτητα τόσο από τα διάφορα εκποίσηματα όσο και από τις ταχύτητες με τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα.

Εξαίρεση αποτελούν οι μεταβλητές YGRAV και NCAT. Η πρώτη μεταβλητή προσδιορίζει την απόσταση των διαμήκων επιπέδων συμμετρίας των δύο ημιγαστρών και είναι διαφορετική για τους τρεις λόγους S/L. Συγκεκριμένα, για τους τρεις λόγους S/L 0.181, 0.251 και 0.313 οι αντίστοιχες τιμές της μεταβλητής YGRAV είναι 6.7915, 9.4 και 11.75 καθώς το πρόβλημα

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Θεωρείται συμμετρικό και οι παραπάνω τιμές αντιπροσωπεύουν την απόσταση του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας της μονής ημιγιάστρας με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του δίγαστρου σκάφους. Η δεύτερη μεταβλητή περιγράφει εάν το σκάφος είναι μονής ή διπλής γιάστρας λαμβάνοντας τις τιμές 0 και 1 αντίστοιχα. Σημειώνεται τέλος ότι οι μεταβλητές που περιγράφουν τις διαστάσεις της γιάστρας αρχίζουν με το γράμμα Z για να ξεχωρίζουν εύκολα από τις υπόλοιπες μεταβλητές.

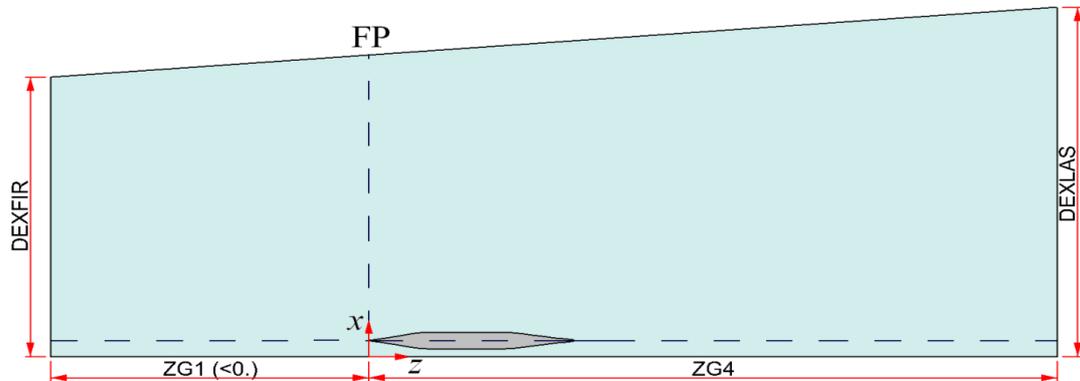
NCAT		0	The ship is a monohull.
		1	The ship is a symetric catamaran.
		$\geq 2$	The ship is an assymetric catamaran (filecondl is required).
ITRB	ITRANB	0	The bow ends at a vertical line.
		1	The bow ends at a single point.
		>1	The bow ends at a vertical line and ITRB rows of panels are added.
IBUL	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		$\geq 0$ .	Height of skeg [m].
ZTRANS		$\geq 0$ .	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].
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].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Λίστα με τις μεταβλητές που περιγράφουν τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά του πλοίου (Σ.Πολύζος)**

### 4.3 ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΧΩΡΙΟΥ

Οι potential μέθοδοι, όπως ο κώδικας του catamaran.f, απαιτούν τη διακριτοποίηση μόνο του συνόρου του υπολογιστικού χωρίου, δηλαδή του βρεχόμενου τμήματος της γιάστρας καθώς και της επιφάνειας του νερού. Έτσι, η πρώτη παράμετρος που πρέπει να αποφασισθεί είναι το μέγεθος της μελετούμενης γύρω από το σκάφος ελεύθερης επιφάνειας, καθώς η επιφάνεια του νερού μπορεί να θεωρηθεί άπειρη και όπως είναι

λογικό μόνο ένα τμήμα αυτής μπορεί να μοντελοποιηθεί. Έτσι, το μέγεθος καθώς και το σχήμα της ελεύθερης επιφάνειας που μοντελοποιείται από τον κώδικα προσδιορίζεται με τη βοήθεια τεσσάρων μεταβλητών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (ΣΧΗΜΑ 2) :



ΣΧΗΜΑ 2 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ (Σ.Πολύζος)

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας οι παραπάνω μεταβλητές έλαβαν τις εξής τιμές :

DEXFIR = 60  
DEXLAS = 140  
ZG1 = -80  
ZG4 = 240

Υπενθυμίζεται ότι το μήκος του πλοίου είναι 75 m, οπότε οι μεταβλητές DEXFIR και ZG1 είναι περίπου ίσες με ένα μήκος πλοίου, η μεταβλητή DEXLAS ίση με 2 μήκη πλοίου και η μεταβλητή ZG4 περίπου ίση με 3 μήκη πλοίου.

Η μορφή του πλέγματος που χρησιμοποιείται εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γεωμετρία του πλοίου και την προσδοκώμενη ροή του ρευστού. Στις περιοχές της γάστρας όπου υπάρχει μεγάλη καμπυλότητα και η γεωμετρία είναι δύσκολο να αποδοθεί ή σε περιοχές που η ροή του ρευστού παρουσιάζει γρήγορες μεταβολές, το πλέγμα που χρησιμοποιείται είναι πυκνό με μεγάλο αριθμό στοιχείων (panels), ενώ σε αντίθετη περίπτωση το χρησιμοποιούμενο πλέγμα είναι αραιό με μικρό αριθμό panels. Σημειώνεται πως το κάθε στοιχείο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες συντεταγμένες που αναφέρονται στη γραμμή και τη στήλη που αυτό ανήκει.

Για τον ευκολότερο διαχωρισμό των μεταβλητών που περιγράφουν το πλέγμα των στοιχείων στη γάστρα του πλοίου και στην ελεύθερη επιφάνεια, οι μεταβλητές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στη διάσταση του πρώτου στοιχείου του πλέγματος και οι μεταβλητές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία ξεκινούν με τα αρχικά DZ, ενώ η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στο πλήθος των στοιχείων της κάθε περιοχής και οι μεταβλητές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αρχίζουν με το γράμμα N.

Οι μεταβλητές που αναφέρονται στην τελευταία κατηγορία μπορούν να χωριστούν περαιτέρω στις μεταβλητές εκείνες που αναφέρονται στη διαμήκη διεύθυνση και σε εκείνες που αναφέρονται στην εγκάρσια διεύθυνση. Οι αναφερόμενες στη διαμήκη διεύθυνση

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

μεταβλητές έχουν ως δεύτερο γράμμα το Κ ενώ οι αναφερόμενες στην εγκάρσια διεύθυνση μεταβλητές χωρίζονται επιμέρους σε αυτές που περιγράφουν τη γάστρα του πλοίου και σε αυτές που περιγράφουν την ελεύθερη επιφάνεια, έχοντας ως δεύτερο γράμμα το Ι και το J αντίστοιχα. Το σύνολο των παραπάνω μεταβλητών που περιγράφουν το πλέγμα των στοιχείων στη γάστρα του πλοίου και στην ελεύθερη επιφάνεια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 2) :

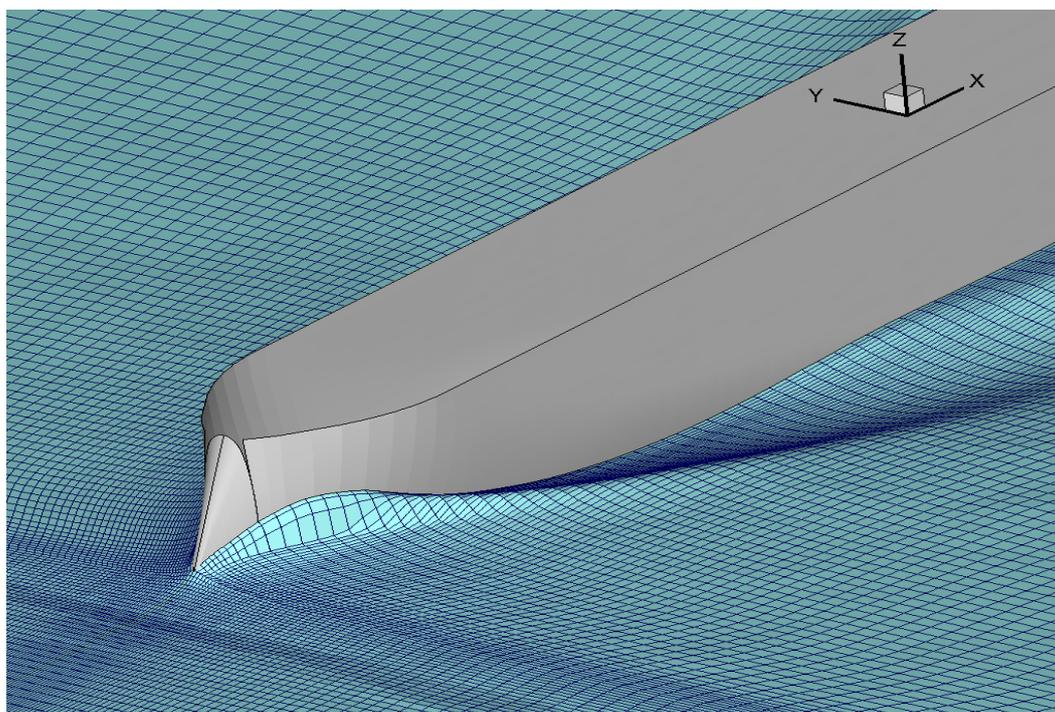
MASG /NGRI	MASTIN	>0	Step at which the number of panels is increased.
NKBL	NKBULB	>0	Number of longitudinal sections on the bow bulb (see accompanying figure).
NKHB	NKUB	>0	Number of longitudinal sections on the stern bulb.
NK1M		>0	Maximum value of NK1, the number of panels in the longitudinal direction, 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		≥0	Initial value of NK1 (if =0 then NK1F=NK1S).
NK2F		≥0	Initial value of NK2 (if =0 then NK2F=NK2S).
N3BF		≥0	Initial value of NK3B (if =0 then NK3BF=NK3BS).
N3SF		≥0	Initial value of NK3S (if =0 then NK3SF=NK3SS).
NK4F		≥0	Initial value of NK4 (if =0 then NK4F=NK4S).
NK5F		≥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		≥0	Increment of NI1 (if =0 then NI1S=NI1M).
NI1F		≥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		≥0	Increment of NI2 (if =0 then NI2S=NI2M).
NI2F		≥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		≥0	Increment of NJ1 (if =0 then NJ1S=NJ1M).
NJ1F		≥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		≥0	Increment of NJ2 (if =0 then NJ2S=NJ2M).
NJ2F		≥0	Initial value of NJ2 (if =0 then NJ2F=NJ2S).

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

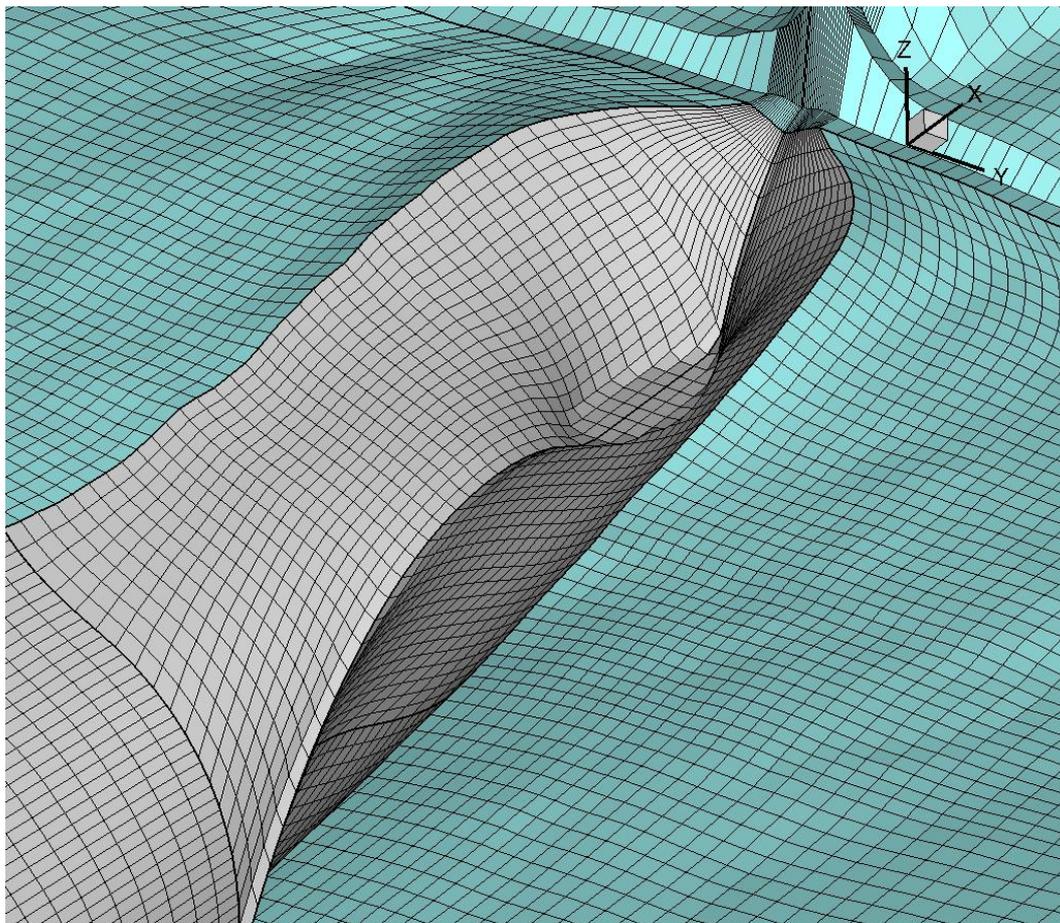
DZBULB		>0.	Length of the first panel of the bow bulb ( $z > ZBULB$ ) [m].
DZBOWM1		>0.	Length of the first panel of in front of the bow ( $z < \min(ZBOW, ZBULB)$ ) [m].
DZBOWP1		>0.	Length of the first panel of aft the bow ( $z > \min(ZBOW, ZBULB)$ ) [m].
DZKB1M1	DZKB1	>0.	Length of the last panel before 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].
BPLUS	BPLUSB	>0.	Breadth of the first panel at ZMID [m].
BPLUS		>0.	Breadth of the first panel at the stern [m].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΛΙΣΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ  
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (Σ.Πολύζος)**

Σημειώνεται πως η διάσταση του πρώτου στοιχείου σε κάθε περιοχή δίνεται στο input file του κώδικα και συνεπώς θεωρείται δεδομένη ενώ οι διαστάσεις των υπόλοιπων στοιχείων κάθε περιοχής προκύπτουν μέσω γραμμικής παρεμβολής αναλόγως με το πλήθος τους στην περιοχή αυτή. Έτσι, η κατανομή τους σε κάθε περιοχή δεν είναι ομοιόμορφη, ενώ η διάσταση των στοιχείων, όσο απομακρυνόμαστε από το πρώτο στοιχείο, συνεχώς αυξάνεται με τα στοιχεία που βρίσκονται πλησίον του πρώτου να παρουσιάζουν λίγο μεγαλύτερη διάσταση από αυτό. Κρίσιμη λοιπόν θεωρείται η σωστή επιλογή της διαστάσεως του πρώτου στοιχείου καθώς σε περίπτωση που αυτή είναι μικρή οι διαστάσεις των πιο απομακρυσμένων στοιχείων από το πρώτο θα είναι αρκετά μεγάλες με αποτέλεσμα τα στοιχεία να παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιομορφία ως προς το μέγεθός τους, η γεωμετρία να μην αναπαρίσται ικανοποιητικά και ο κώδικας να μην συγκλίνει επαρκώς. Ακολούθως παρουσιάζονται η κατανομή των στοιχείων στην ελεύθερη επιφάνεια και στο πρυμναίο τμήμα της γάστρας, όπου αποτυπώνονται τα ανωτέρω χαρακτηριστικά (ΕΙΚΟΝΕΣ 1,2). Να σημειωθεί ότι οι παρακάτω εικόνες λήφθησαν από το πρόγραμμα Techplot και αναφέρονται στην κατάσταση φόρτωσης A3 για την ταχύτητα των 17knots.



**ΕΙΚΟΝΑ 1 : ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**



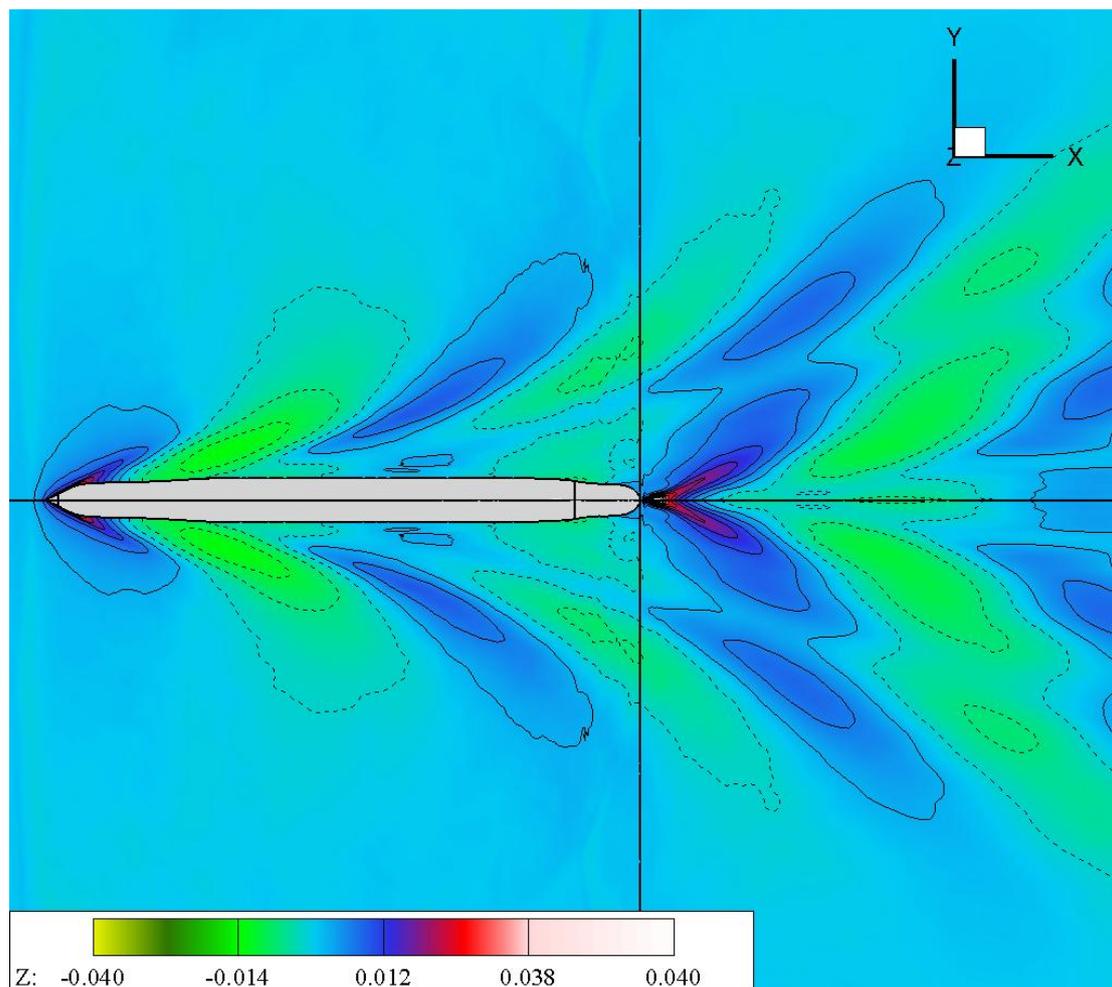
**ΕΙΚΟΝΑ 2 :ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΡΥΜΝΑΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ**

Αναφέρεται επίσης πως ο κώδικας δύναται στις αρχικές επαναλήψεις να έχει μικρό πλήθος στοιχείων σε κάθε περιοχή και κατ'επέκταση το πλέγμα να είναι αραιό και στη συνέχεια μετά από ένα αριθμό επαναλήψεων το πλήθος των στοιχείων σε κάθε περιοχή να αυξάνεται και το παραγόμενο πλέγμα να γίνεται πιο πυκνό. Οι μεταβλητές με την παραπάνω ιδιότητα της πυκνωσης του πλέγματος ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες μεταβλητές μέσω του τελευταίου γράμματός τους. Συγκεκριμένα, το γράμμα F αναφέρεται στο αρχικό πλέγμα της διαδικασίας, το γράμμα S αναφέρεται στο βήμα με το οποίο το πλέγμα πυκνώνει και το γράμμα M αναφέρεται στο τελικό πλέγμα που προκύπτει ύστερα από ένα αριθμό επαναλήψεων. Διευκρινίζεται πως στα 'τρέξιματά' του κώδικα που πραγματοποιήθηκαν, οι μεταβλητές που το τελικό τους γράμμα είναι το F και προσδιορίζουν το αρχικό πλέγμα, όπως προαναφέρθηκε, λήφθησαν ίσες με το μηδέν με αποτέλεσμα το αρχικό πλέγμα να έχει αριθμό στοιχείων ίσο με S και στη συνέχεια με κάθε επανάληψη ο αριθμός αυτός να αυξάνεται κατά S έως ότου φτάσει τον μέγιστο αριθμό M.

Η τελική μορφή της ελεύθερης επιφάνειας προκύπτει ύστερα από ένα αριθμό διαδοχικών επαναλήψεων, όπου ο κώδικας αλλάζει τη διάταξη των στοιχείων (της ελεύθερης επιφάνειας) έως ότου ικανοποιηθεί η δυναμική οριακή συνθήκη και δεν πραγματοποιηθεί καμία αλλαγή. Η μεταβλητή με την οποία γίνεται ο έλεγχος της σύγκλισης του κώδικα είναι

η  $dz$  και όταν αυτή σταθεροποιηθεί σε μια ορισμένη τιμή σημαίνει πως ο κώδικας έχει καταλήξει σε κάποια συγκεκριμένη ελεύθερη επιφάνεια.

Προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική σύγκλιση του κώδικα και η μεταβλητή  $dz$  να σταθεροποιηθεί σε μια τιμή είναι απαραίτητη η επιλογή του σωστού αριθμού στοιχείων σε κάθε περιοχή καθώς και η σωστή διάταξη και κατανομή τους στη γάστρα του πλοίου και στην ελεύθερη επιφάνεια. Μάλιστα, έχει ιδιαίτερη σημασία η σωστή αναπαράσταση της ελεύθερης επιφανείας καθώς βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση και η σύγκριση του προφίλ των κυματισμών μεταξύ της πειραματικής και της αριθμητικής διερεύνησης σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τη γάστρα του πλοίου. Για αυτό το λόγο δόθηκε μεγάλη προσοχή στον αριθμό των στοιχείων της ελεύθερης επιφανείας καθώς και στη διάσταση του πρώτου στοιχείου με σκοπό να αποτυπώνονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια οι εγκάρσιοι και αποκλίνοντες κυματισμοί. Η ορθή αποτύπωση της ελεύθερης επιφανείας και του δημιουργηθέντος συστήματος κυματισμών αποτυπώνεται στην παράκατω εικόνα (ΕΙΚΟΝΑ 3) που αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης A3 στην ταχύτητα των 17 knots. Σημειώνεται ότι η ακόλουθη εικόνα ελήφθη από το πρόγραμμα Techplot και μέσω της χρωματικής διαβάθμισης εμφανίζεται επίσης και το ύψος των κυματισμών.



ΕΙΚΟΝΑ 3 : ΕΙΚΟΝΑ ΙΣΟΥΨΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ-ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Το πλέγμα που τελικώς επιλέχθηκε βασίστηκε αρχικά στην μέχρι πρώτινως εμπειρία και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές για να βρεθεί το βέλτιστο δυνατό, το οποίο περιελάμβανε περίπου 44000 panels. Τέλος, σημειώνεται ότι πριν την αριθμητική διερεύνηση είχε προηγηθεί η πειραματική διαδικασία με συνέπεια να δοθούν ως input στον κώδικα catamaran.f εκτός από την ταχύτητα, το ύψος εξάλλων στην πρωραία κάθετο και η δυναμική διαγωγή του σκάφους. Η δυναμική διαγωγή δινόταν από την ένδειξη του μετρητικού οργάνου pitch των πειραμάτων για την εκάστοτε ταχύτητα σε μοίρες με προσοχή οι θετικές μοίρες να αντιστοιχούν σε έμπρυσμη διαγωγή και το ύψος εξάλλων στην πρωραία κάθετο δινόταν από την ακόλουθη σχέση :

$$Y.E = D - T_F$$

$$T_F = T + \delta T + (L_{BP} - LCB) * \tan\varphi_0 - (L_{BP} - LCB) * \tan(\varphi_1 + \varphi_0), \text{ όπου}$$

D [m] : το κοίλο το πλοίου

T [m] : το βύθισμα του πλοίου στο LCB

$\delta T$  [m] : η ανύψωση του κέντρου μάζας (heave)

Lbr [m] : το μήκος μεταξύ καθέτων του πλοίου

LCB [m] : η διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης από την πρωραία κάθετο

$\varphi_0$  [°] : η γωνία στατικής διαγωγής

$\varphi_1$  [°] : η γωνία δυναμικής διαγωγής

Υπογραμμίζεται πως το πρόγραμμα catamaran.f έχει τη δυνατότητα υπολογισμού των παραπάνω δύο μεγεθών σε περίπτωση που αυτά δεν είναι γνωστά εκ των προτέρων αλλά στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής δόθησαν στο πρόγραμμα με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας των αριθμητικών αποτελεσμάτων. Παράδειγμα του input file που χρησιμοποιήθηκε παραθέτεται στο παράρτημα Z και αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης A3 του μονόγαστρου σκάφους για την ταχύτητα των 17 knots.

## 4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ HUGHES ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ PROHASKA

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στο πρώτο κεφάλαιο, ο συντελεστής ολικής αντίστασης προκύπτει από το άθροισμα του συντελεστή αντίστασης τριβής και του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης, κάτι που φαίνεται και στην ακόλουθη σχέση :

$$C_T(Re, Fr) = C_F(Re) + C_R(Re, Fr)$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο Hughes, ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης μπορεί να διασπαστεί περαιτέρω στον συντελεστή αντίστασης κυματισμού και σε ένα ακόμη συντελεστή  $C_{FORM}$ .

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

Ο συντελεστής αντίστασης  $C_{FORM}$  εκφράζει το κατά πόσο είναι μεγαλύτερη η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας συγκριτικά με την αντίσταση τριβής μιας επίπεδης πλάκας και δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

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

Άρα συνολικά ο συντελεστής ολικής αντίστασης, μέσω της παραπάνω σχέσεως, μπορεί να γραφεί ως εξής :

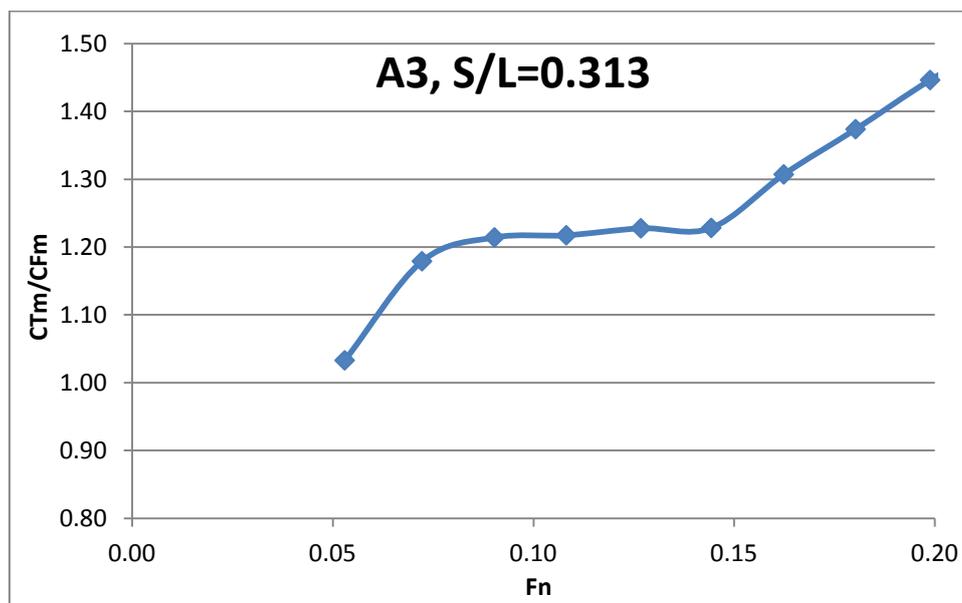
$$C_T = C_F + C_R = C_F + C_W + C_{FORM} = C_F + C_W + k * C_F = (k + 1) * C_F + C_W$$

Ο αδιάστατος συντελεστής  $k$  παραμένει σταθερός για όλο το εύρος των αριθμών Froude για μία συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης και υπολογίζεται με τη βοήθεια της μεθόδου Prohaska.

Ο συντελεστής  $k$  προσδιορίζεται πειραματικά για πολύ μικρές ταχύτητες του μοντέλου. Στις ταχύτητες αυτές ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού μπορεί να ληφθεί ίσος με το μηδέν αφού οι παραγόμενοι κυματισμοί είναι σχεδόν μηδενικοί και η διατάραξη της ελεύθερης επιφάνειας ανεπαίσθητη. Συνεπώς η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί ως εξής :

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

Έτσι, ο συντελεστής  $k$  δύναται να υπολογιστεί από τα πειραματικά αποτελέσματα με γραμμική παρεμβολή στη συνάρτηση  $\frac{C_T}{C_F} = f(Fr)$  για αριθμό Froude ίσο με το μηδέν. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το διάγραμμα 2 που αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης A3 για λόγο  $S/L=0.313$ , η εν λόγω γραμμική παρεμβολή δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί λόγω της μορφής του διαγράμματος με αποτέλεσμα να κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή της μεθόδου Prohaska.



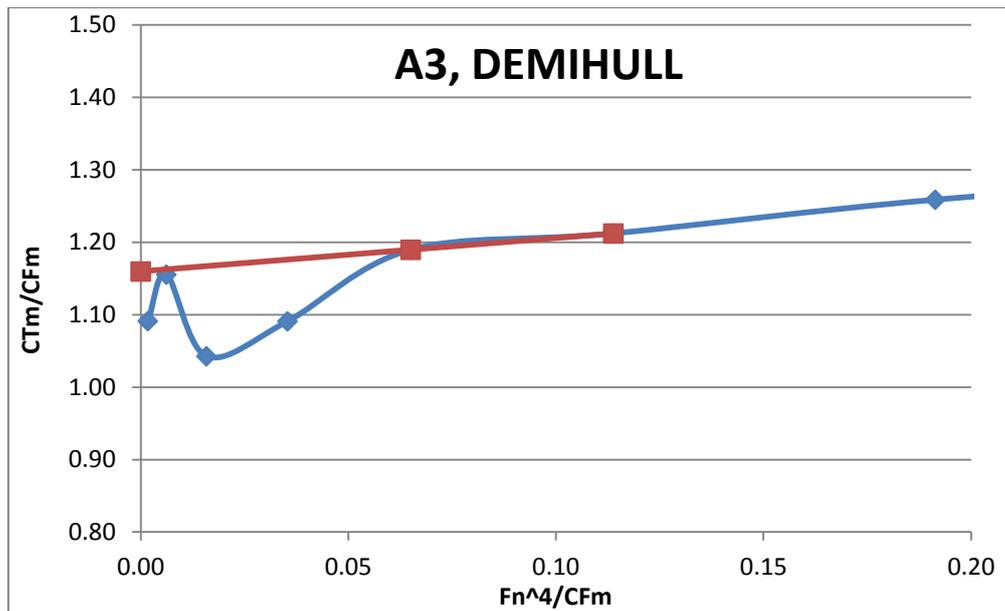
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ  $k$  ΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ FROUDE

Σύμφωνα με τη μέθοδο Prohaska ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος του αριθμού Froude στην τετάρτη δύναμη. Έτσι προκύπτει η ακόλουθη σχέση :

$$C_T = (1 + k) * C_F + C_W = (1 + k) * C_F + Fr^4$$

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

Συνεπώς για τη συνάρτηση  $\frac{C_T}{C_F} = f\left(\frac{Fr^4}{C_F}\right)$ , όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3 που αναφέρεται στην κατάσταση φόρτωσης A3 για λόγο S/L=0.313, η γραμμική παρεμβολή είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί και ο συντελεστής (1+k) υπολογίζεται για αριθμό Froude ίσο με το μηδέν. Σημειώνεται ότι η γραμμική παρεμβολή πραγματοποιείται μέσω ενός ευθυγράμμου τμήματος, η κλίση του οποίου είναι ίση με την κλίση της καμπύλης από το σημείο που αυτή ξεκινά να ομαλοποιείται και η τιμή του συντελεστή (1+k) προκύπτει από το σημείο τομής του ευθυγράμμου τμήματος με τον άξονα γ.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ k ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PROHASKA**

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα, στην περιοχή των μικρών ταχυτήτων λόγω των ιδιαίτερα μικρών δυνάμεων αντίστασης δεν εμφανίζονται λογικές τιμές του λόγου  $C_T/C_F$  με αποτέλεσμα για την εφαρμογή της μεθόδου οι πρώτες τρεις με τέσσερις τιμές έως ότου η κλίση της καμπύλης αποκτήσει μια πιο ομαλή μορφή να μην λαμβάνονται υπ' όψιν για τον υπολογισμό του συντελεστή (1+k). Συγκρίνοντας επίσης τα δύο διαγράμματα μεταξύ τους (διάγραμμα 2 και 3) προκύπτει ότι η γραμμική παρεμβολή είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθεί στο διάγραμμα που αναφέρεται στη μέθοδο Prohaska, όπως αναφέρθηκε

προηγουμένως. Τέλος, τα αντίστοιχα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του αδιάστατου συντελεστή  $k$  στις υπόλοιπες καταστάσεις φόρτωσης για κάθε λόγο  $S/L$  παρουσιάζονται στο παράρτημα ΣΤ, ενώ ακολούθως παραθέτεται συνοπτικός πίνακας με τις τιμές του  $(1+k)$  για όλες τις μελετούμενες καταστάσεις φόρτωσης (ΠΙΝΑΚΑΣ 3).

<b>(1+k)</b>	
DEMIHULL	
A3	1.160
C3	1.210
S/L=0.181	
A3	1.190
S/L=0.251	
A3	1.179
S/L=0.313	
A3	1.207

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ  $k$  ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PROHASKA**

## 4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ $C_w$ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται σύγκριση του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης,  $C_w$ , όπως αυτός προκύπτει από την πειραματική διαδικασία και από το πρόγραμμα του ENΘΥ catamaran.f. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της αντίστασης επιλέγεται να γίνει μέσω του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης καθώς το πρόγραμμα catamaran.f λόγω των παραδοχών που έχουν ληφθεί για την απλοποίηση των εξισώσεων Navier-Stokes δεν μπορεί να υπολογίσει την αντίσταση τριβής και την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας.

Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης παρέχεται από το πρόγραμμα catamaran.f μέσω του output file 'ohesp'. Αντίστοιχα για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντίστασης της πειραματικής διαδικασίας εφαρμόζεται η μέθοδος Hughes. Αρχικά υπολογίζεται από την καμπύλη της ITTC ο συντελεστής αντίστασης τριβής που δίνεται από τη σχέση :

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

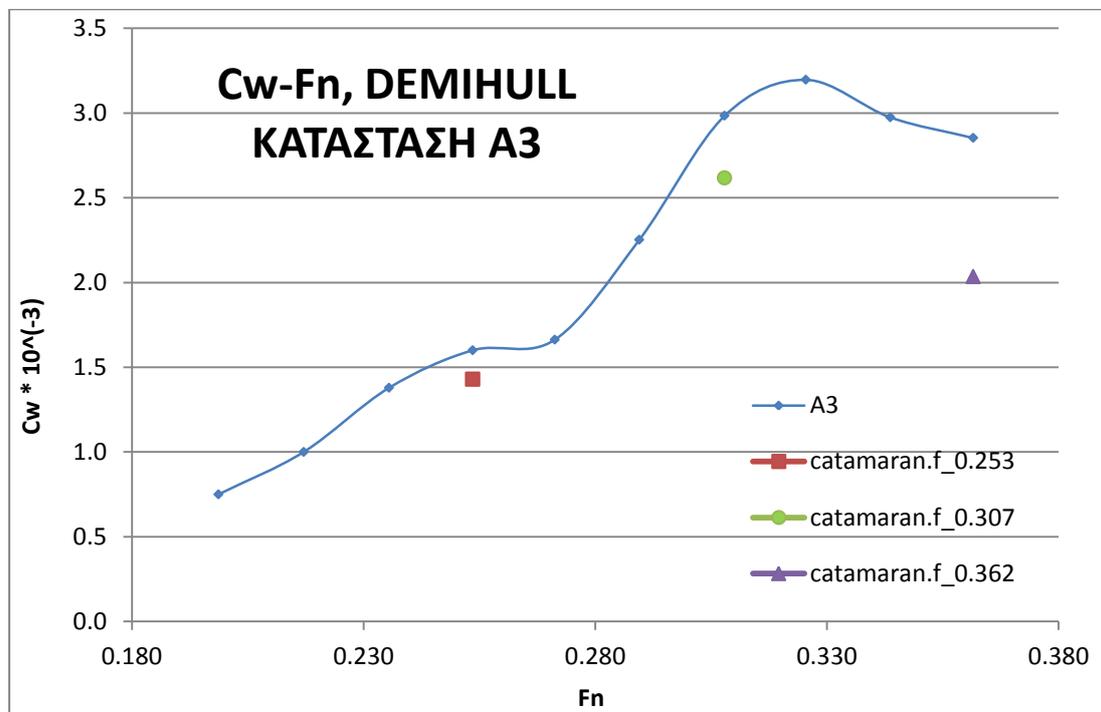
Κατόπιν ο συντελεστής αντίστασης τριβής αφαιρείται από το συντελεστή ολικής αντίστασης για να προκύψει ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης, ο οποίος στην συνέχεια αναλύεται στο συντελεστή αντίστασης κυματισμού και στο συντελεστή  $C_{FORM}$ .

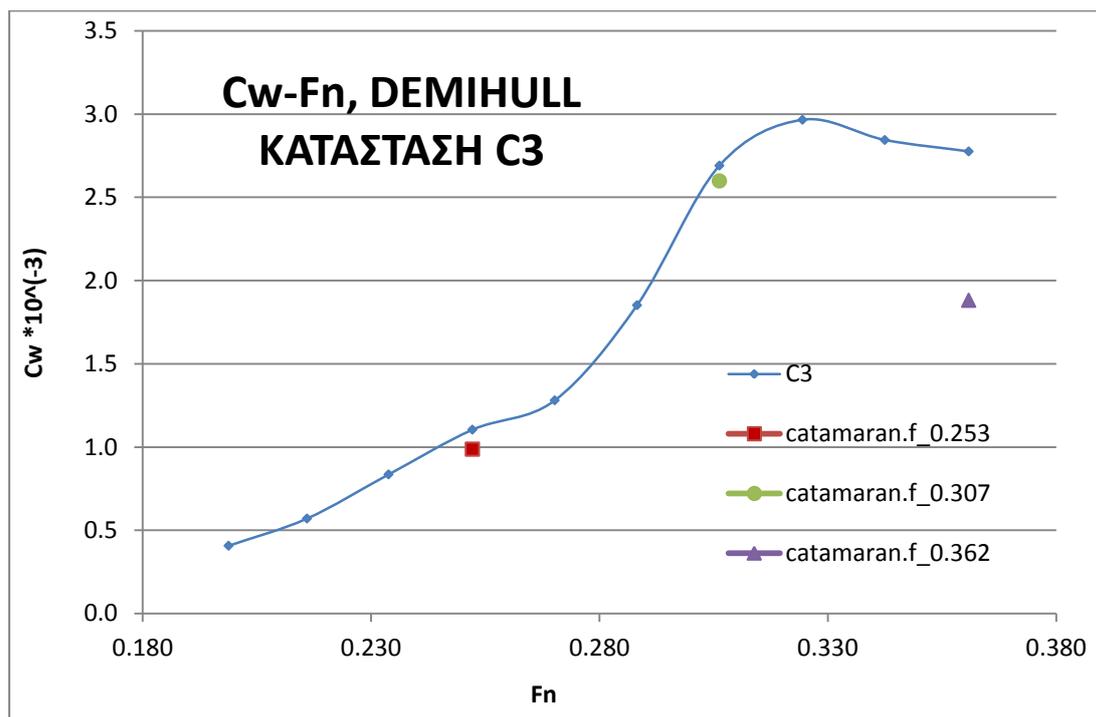
$$C_T = C_F + C_R \Leftrightarrow C_R = C_T - C_F$$

$$C_R = C_W + C_{FORM} \Leftrightarrow C_W = C_R - C_{FORM}$$

Ο συντελεστής  $C_{FORM}$  υπολογίζεται από τη σχέση  $C_{FORM} = k * C_F$ , όπου  $k$  ο αδιάστατος συντελεστής που προέκυψε από τη μέθοδο Prohaska για τη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης.

Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα του συντελεστή αντίστασης κυματισμού συναρτήσει του αριθμού Froude. Σημειώνεται πως λόγω της μεγάλης ακριβείας που επιδιώχθηκε από το πρόγραμμα catamaran.f και του αντίστοιχου μεγάλου αριθμού panel που χρησιμοποιήθηκαν η σύγκλιση του προγράμματος catamaran.f για ένα αριθμό Froude είχε διάρκεια περί τις 2 ημερολογιακές ημέρες με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να βρεθεί ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού για όλο το εύρος των αριθμών Froude και όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Συγκεκριμένα για το μονόγαστρο σκάφος υπολογίστηκε ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού για τις καταστάσεις φόρτωσης A3 και C3 για τις ταχύτητες των 14kn, 17kn και 20kn σε κλίμακα πλοίου που αντιστοιχούν σε αριθμούς Froude ίσους με 0.253, 0.307 και 0.362. Δυστυχώς, για το δίγαστρο σκάφος και τους τρεις λόγους S/L ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού δεν υπολογίστηκε για τις τρεις παραπάνω ταχύτητες (14knots, 17knots, 20knots) στην κατάσταση φόρτωσης A3 λόγω προβλήματος που παρουσίασε ο κώδικας catamaran.f με αποτέλεσμα να μην συμπεριληφθεί στην παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, με τη λύση του προβλήματος του κώδικα τα αποτελέσματα του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης του δίγαστρου σκάφους θα συμπεριληφθούν στη διπλωματική εργασία για την πληρότητά της.





Αναλύοντας τα παραπάνω διαγράμματα ως πρώτο σχόλιο αξίζει να αναφερθεί πως τα αριθμητικά αποτελέσματα που πρόεκυψαν από το πρόγραμμα `catamaran.f` επιτυγχάνουν ικανοποιητική ακρίβεια του συντελεστή αντίστασης κυματισμού,  $C_w$ , σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Σημειώνεται επίσης πως το πρόγραμμα `catamaran.f` στο σύνολο των περιπτώσεων, δηλαδή για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης και όλους τους αριθμούς Froude που έγινε η μελέτη, υποεκτιμά το συντελεστή αντίστασης κυματισμού. Η μεγαλύτερη απόκλιση του συντελεστή  $C_w$  μεταξύ των αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων εντοπίζεται για την ταχύτητα των 20 knots που αντιστοιχεί σε αριθμό Froude ίσο με 0.362 και είναι η μεγαλύτερη από τις τρεις μελετούμενες ταχύτητες. Αντίστοιχα, η μικρότερη απόκλιση εμφανίζεται για τη μικρότερη ταχύτητα που είναι αυτή των 14 knots. Επισημαίνεται ωστόσο πως η παρατήρηση αυτή να μην αποτελεί κάποια ένδειξη για τα χαρακτηριστικά του προγράμματος `catamaran.f` αλλά λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων δεν πρέπει να γενικοποιηθεί.

Τέλος, αναφέρεται πως μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων σίγουρα οφείλονται και στον υπολογισμό του αδιάστατου συντελεστή  $k$  από τη μέθοδο Prohaska. Η γραμμική παρεμβολή που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μέθοδο προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την τιμή του συντελεστή  $k$  χωρίς όμως να είναι σε θέση να προσδιορίσει με ακρίβεια την πραγματική του τιμή. Για να υπολογιστεί με ακρίβεια η τιμή του αδιάστατου συντελεστή  $k$  απαιτούνται πειράματα σε εξαιρετικά μικρές ταχύτητες μοντέλου, που δεν πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ώστε να μην διαταράσσεται η ελεύθερη επιφάνεια και η αντίσταση κυματισμού να είναι μηδενική.

## 4.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΦΙΛ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στην παρούσα παράγραφο πραγματοποιείται παρουσίαση και σύγκριση του προφίλ των κυματισμών σε εγκάρσιες θέσεις απέχουσες συγκεκριμένες αποστάσεις από την επιφάνεια της γάστρας μεταξύ των αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, στην περίπτωση του μονόγαστρου σκάφους το ύψος των κυματισμών μετρήθηκε σε τρία σημεία εξωτερικά της γάστρας στις καταστάσεις φόρτωσης A3 και C3 και για ταχύτητες ίσες με 14knots, 17knots και 20knots σε κλίμακα πλοίου. Οι αποστάσεις από την επιφάνεια της γάστρας (δηλαδή από το ημιπλάτος της) που έγιναν οι παραπάνω μετρήσεις δίνονται στον παρακάτω πίνακα σε κλίμακα πλοίου (ΠΙΝΑΚΑΣ 4) :

WAVEPROBES			
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	Waveprob_1	Waveprob_2	Waveprob_3
S	2.585 m	4.935 m	9.635 m

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αντίστοιχα, στην περίπτωση του δίγαστρου σκάφους το ύψος των κυματισμών μετρήθηκε σε δύο σημεία εξωτερικά των ημιγαστρών στην κατάσταση φόρτωσης A3 για τους τρεις λόγους S/L και για ταχύτητες ίσες με 14knots, 17knots και 20knots σε κλίμακα πλοίου. Οι αποστάσεις από την επιφάνεια της πλησιέστερης ημιγάστρας που έγιναν οι παραπάνω μετρήσεις δίνονται στον παρακάτω πίνακα σε κλίμακα πλοίου (ΠΙΝΑΚΑΣ 5). Αναφέρεται ωστόσο πως η αριθμητική διερεύνηση του ύψους κύματος του δίγαστρου σκάφους, όπως και ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού, δεν πραγματοποιήθηκε λόγω προβλήματος του κώδικα catamaran.f. Τα αριθμητικά αποτελέσματα του ύψους κύματος του δίγαστρου θα προστεθούν με τη λύση του προβλήματος του κώδικα στη διπλωματική εργασία με σκοπό την πληρότητά της.

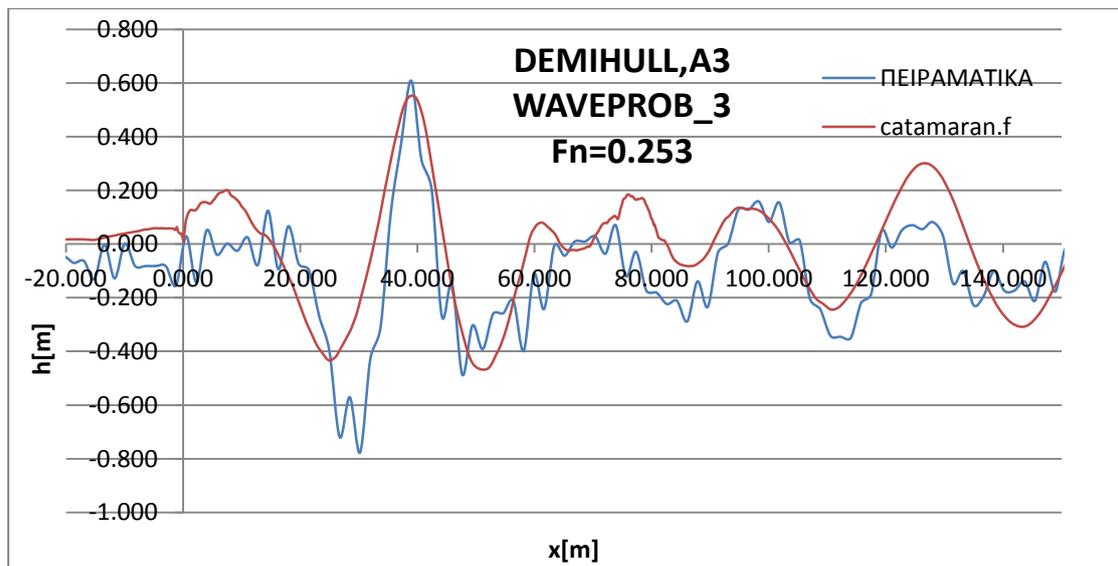
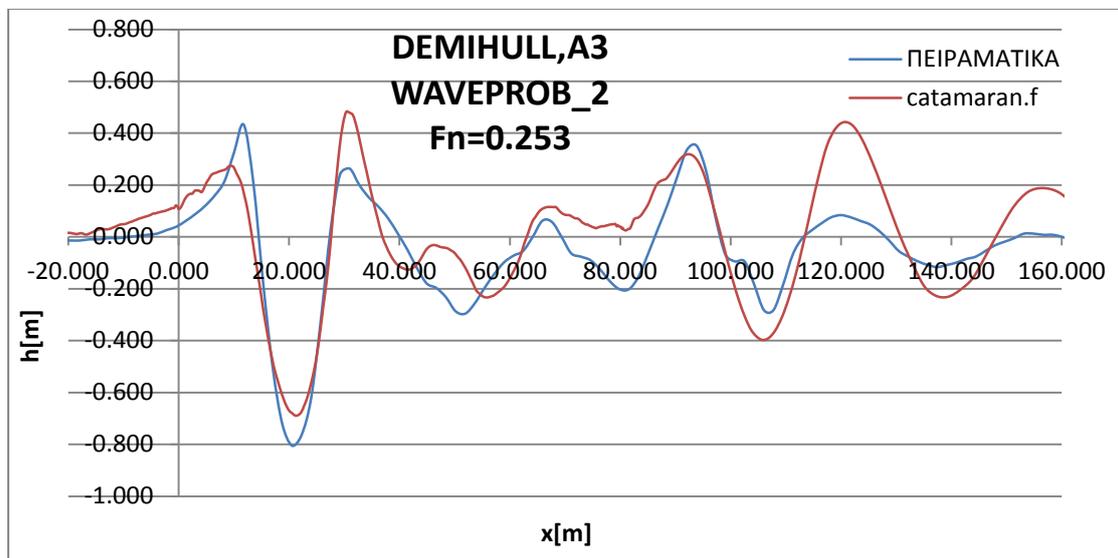
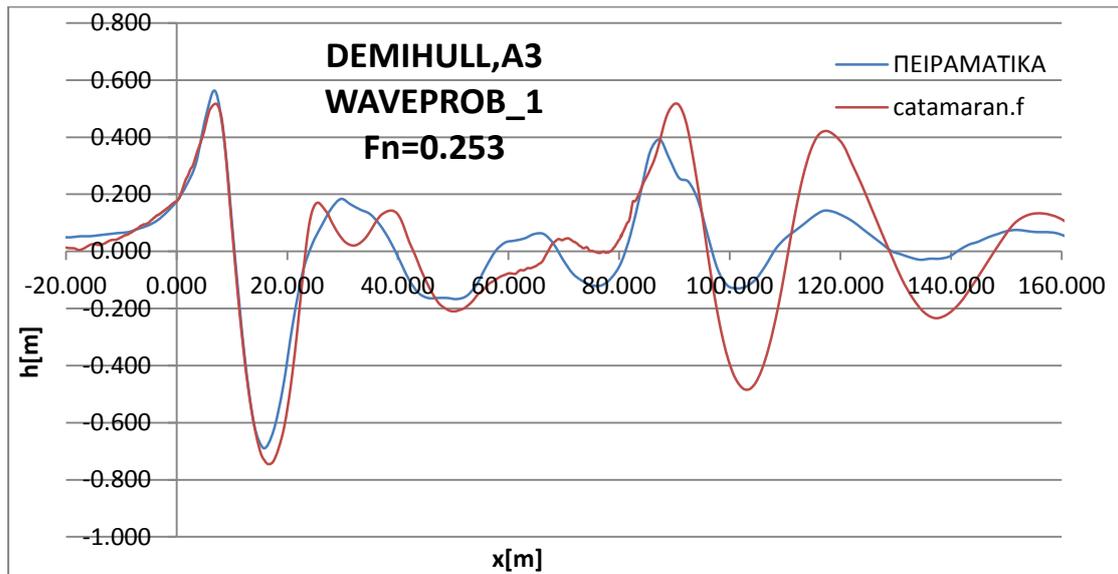
WAVEPROBES		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΑΣΤΡΩΝ	Waveprob_1	Waveprob_2
S1=0.578m	15.393 m	20.093 m
S2=0.800m	12.784 m	17.484 m
S3=1.000m	10.434 m	15.134 m

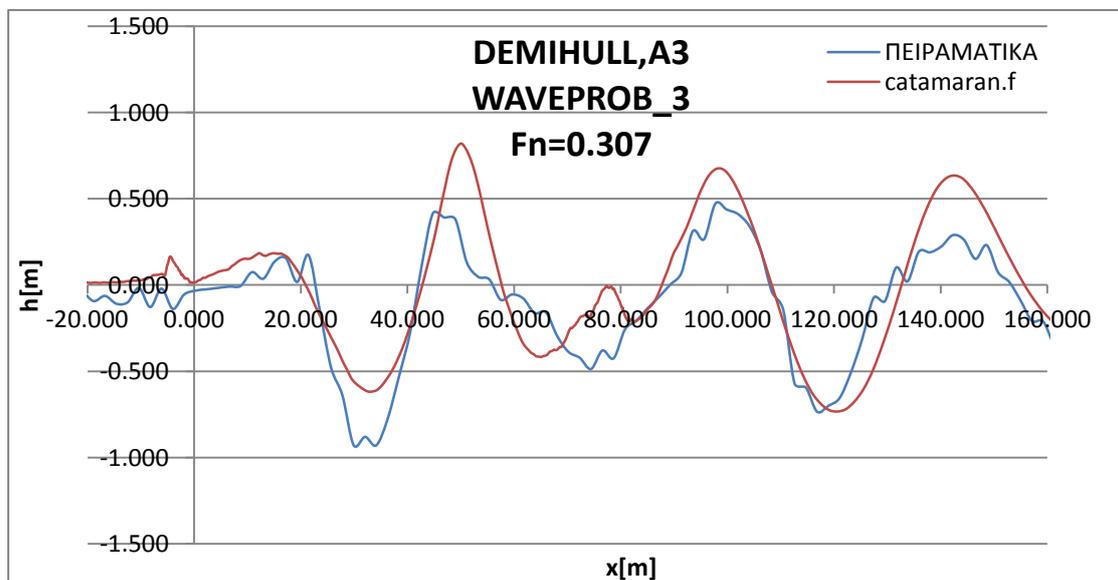
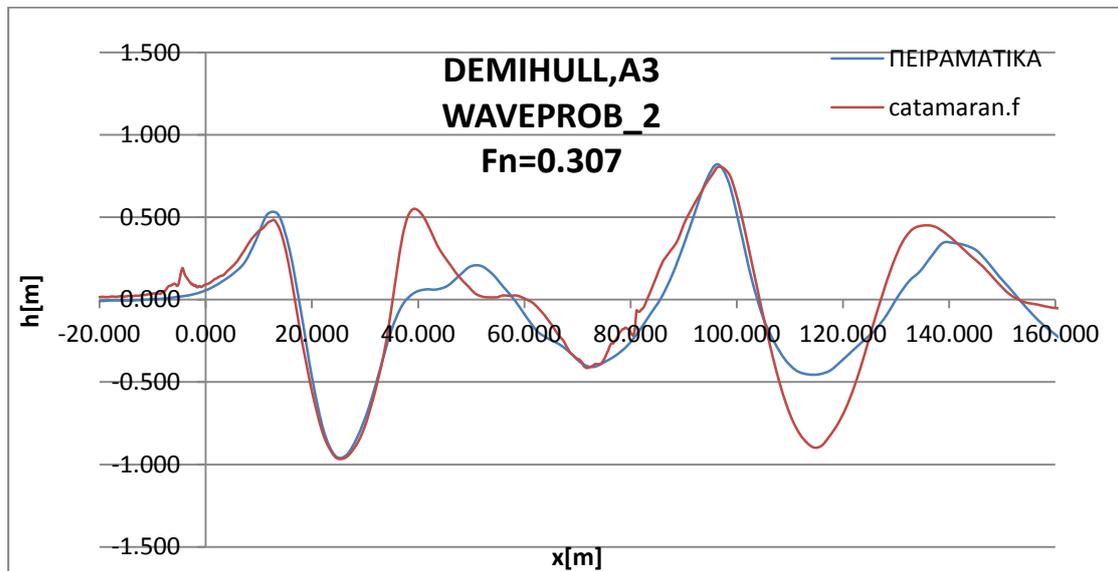
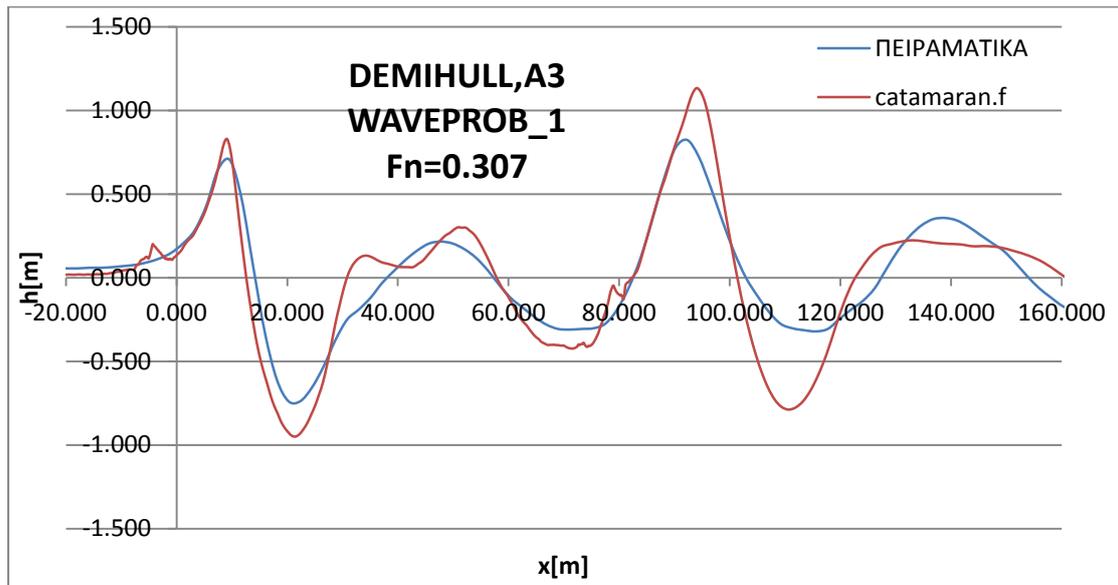
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 : ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΗΜΙΓΑΣΤΡΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

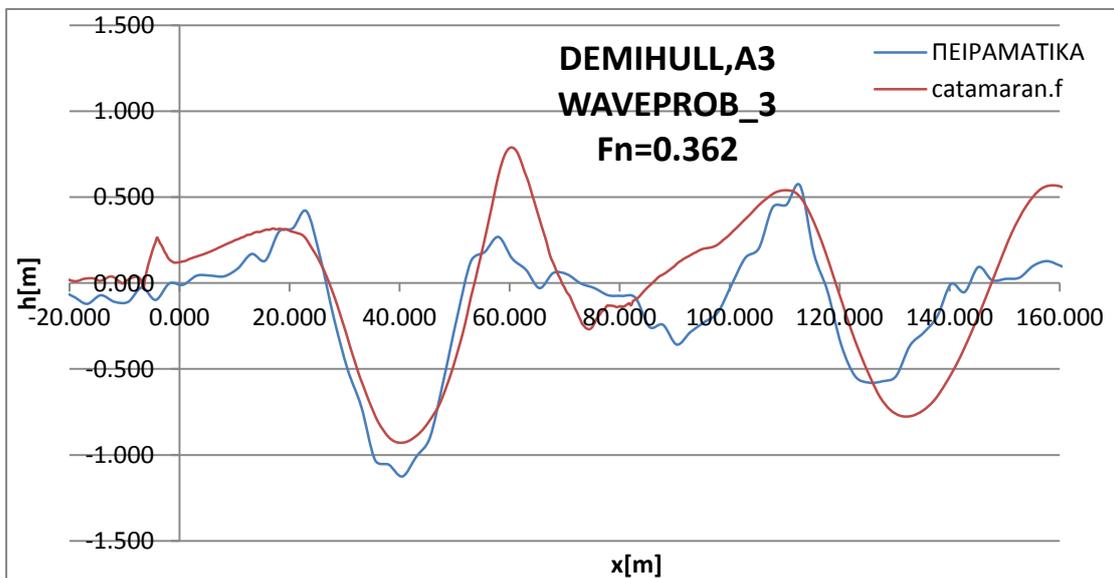
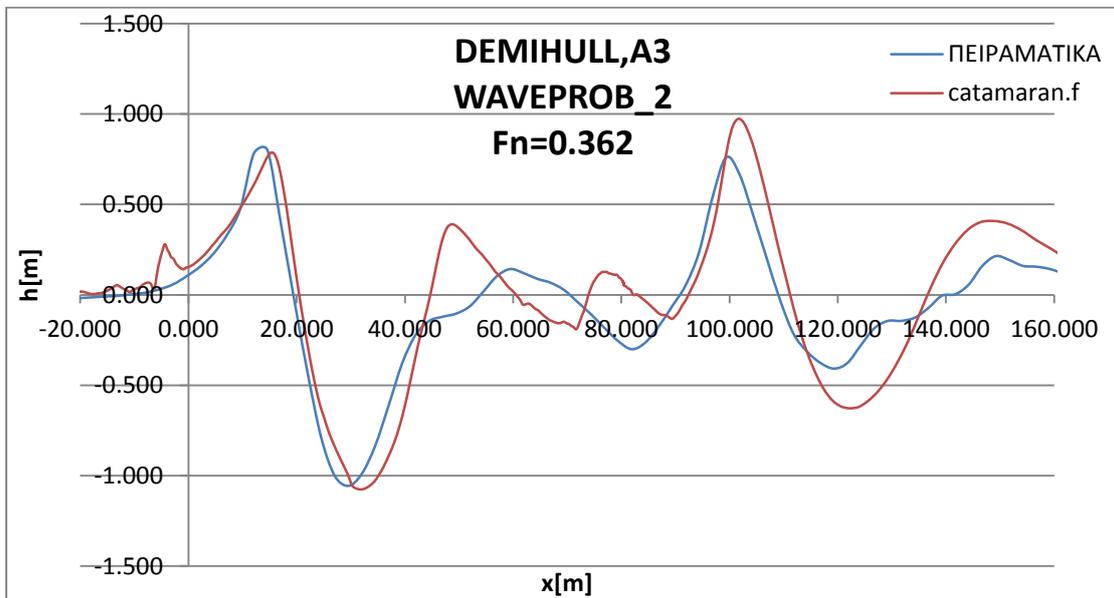
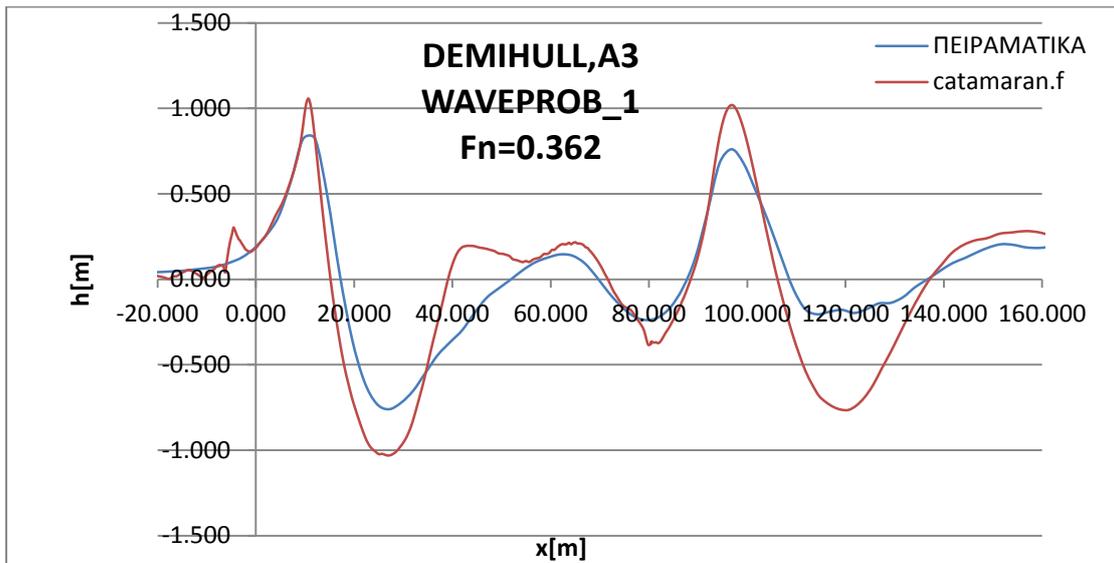
Υπενθυμίζεται ότι οι αισθητήρες waverprobe με τους οποίους έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις ήταν στατικοί ως προς την κίνηση του μοντέλου και παρέχουν πληροφορίες για τη μορφή του κυματισμού από την στιγμή που το κύμα φθάνει σε αυτούς. Η διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων καθώς και οι αρχές λειτουργίας των waverprobe αναλύονται εκτενώς στο κεφάλαιο 2.

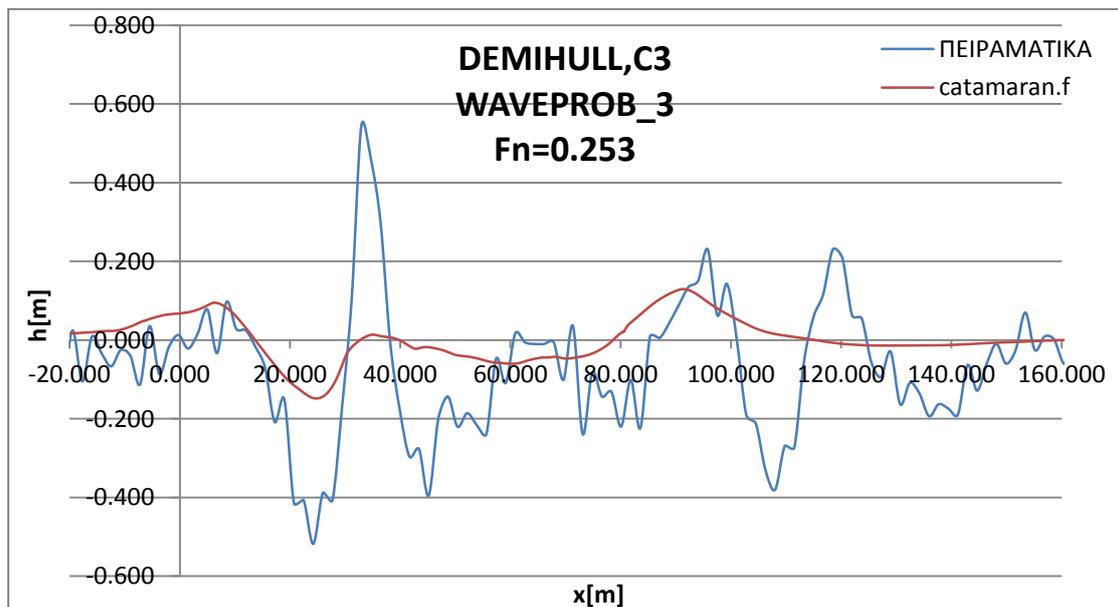
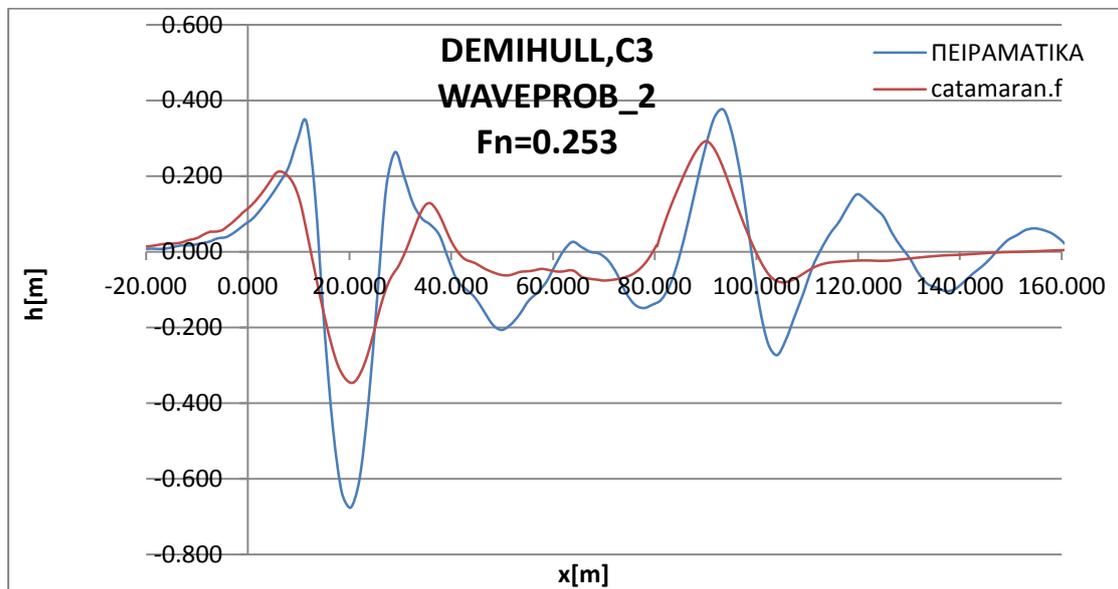
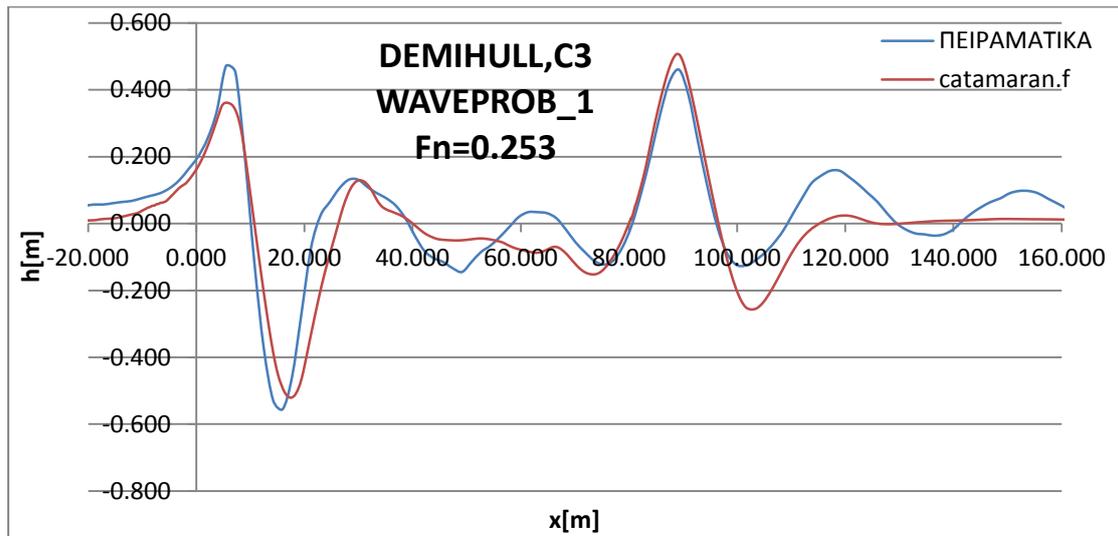
Το πρόγραμμα catamaran.f εμφανίζει το προφίλ του κάθε κύματος χρησιμοποιώντας τον κώδικα 'wlogr' που είναι γραμμένος στην προγραμματιστική γλώσσα Fortran και στηρίζεται στην ανάγνωση των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Μοναδικό δεδομένο που εισάγεται από το χρήστη είναι η απόσταση από την επιφάνεια της γάστρας στην οποία ο κώδικας 'wlogr' θα υπολογίσει το ύψος κύματος.

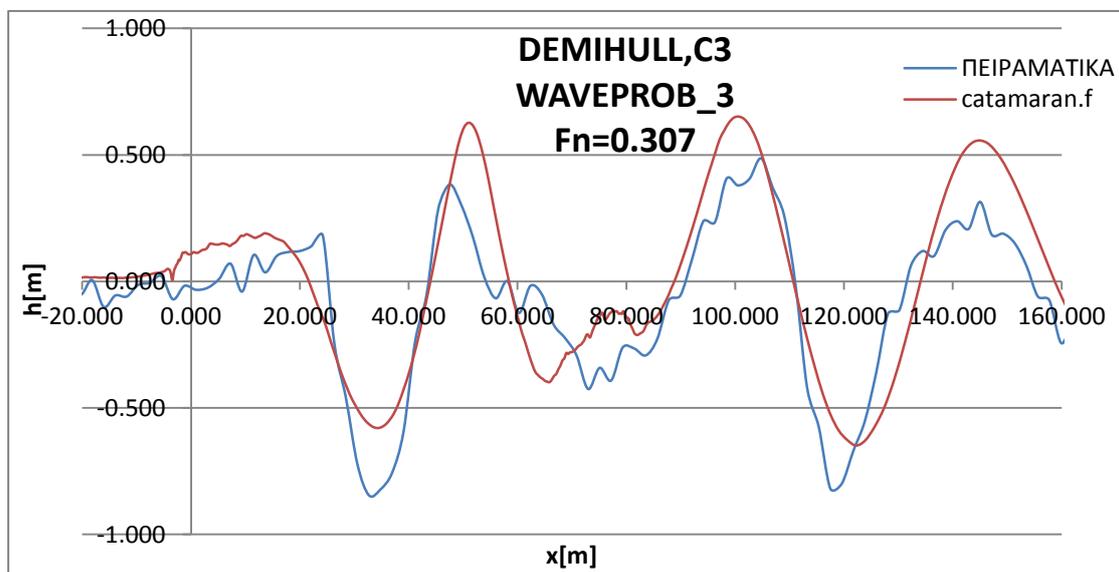
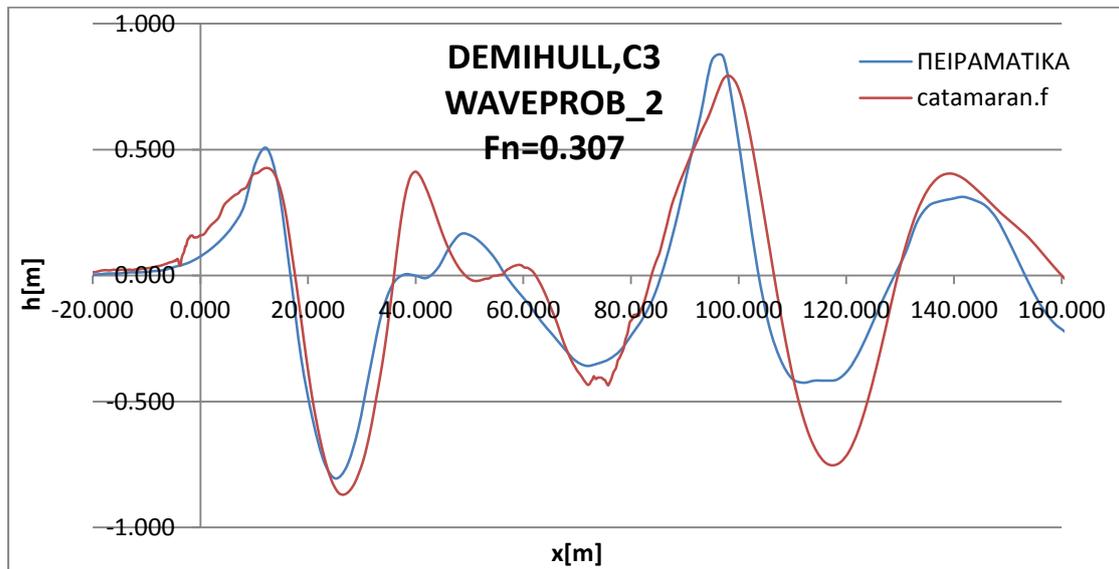
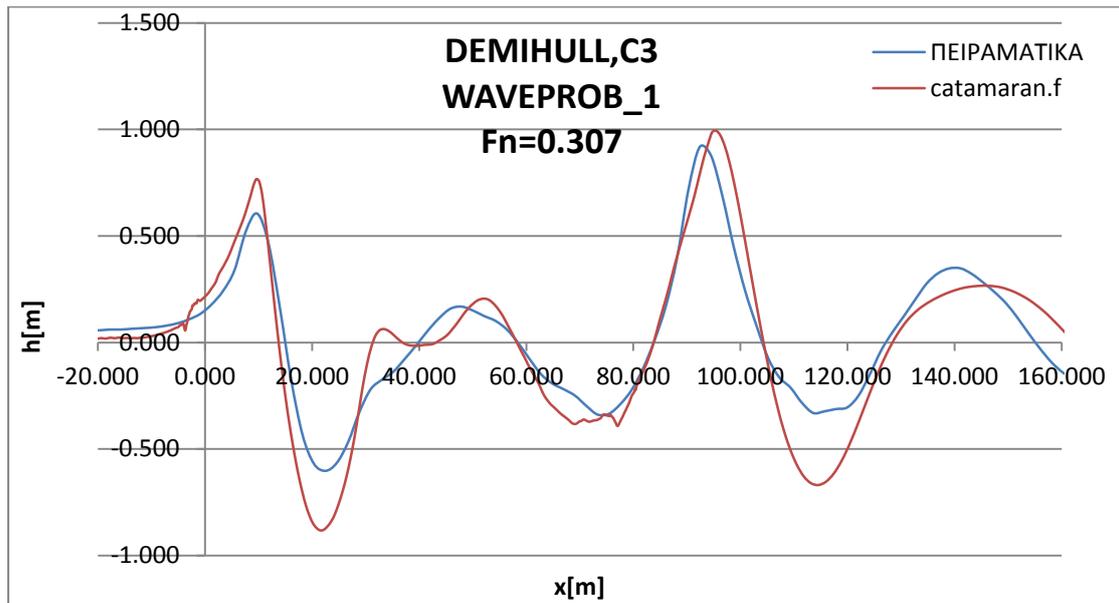
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το ύψος κύματος σε κλίμακα πλοίου συναρτήσει του μήκους του πλοίου. Για να βρίσκονται σε κοινή κλίμακα τόσο τα πειραματικά όσο και τα αριθμητικά αποτελέσματα σημειώνεται πως τα πειραματικά αποτελέσματα έπρεπε να πολλαπλασιαστούν με την κλίμακα μοντέλου-πλοίου καθώς οι πειραματικές μετρήσεις βρίσκονταν σε κλίμακα μοντέλου. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι το μηδέν στον άξονα x των διαγραμμάτων αντιστοιχεί στην πρωραία κάθετο του πλοίου, το ύψος κύματος στα αρνητικά του άξονα παρουσιάζεται για απόσταση από την πρωραία κάθετο ίση με  $L_{bp}/4$  και στα θετικά του άξονα το ύψος κύματος παρουσιάζεται για απόσταση από την πρωραία κάθετο ίση με περίπου δύο μήκη μεταξύ καθέτων ( $2 * L_{bp}$ ).

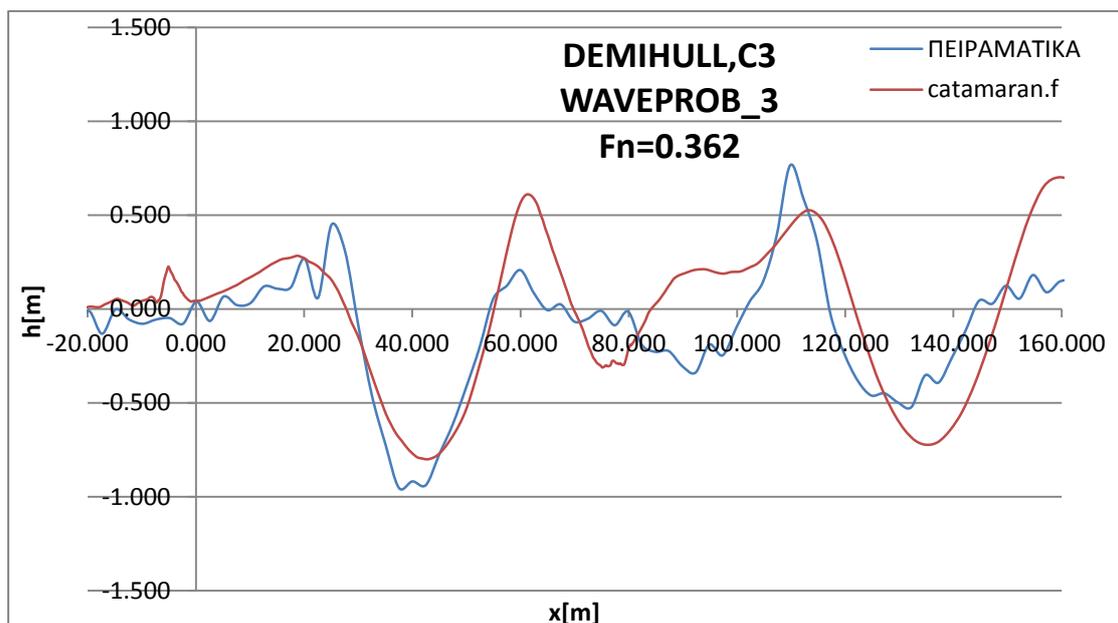
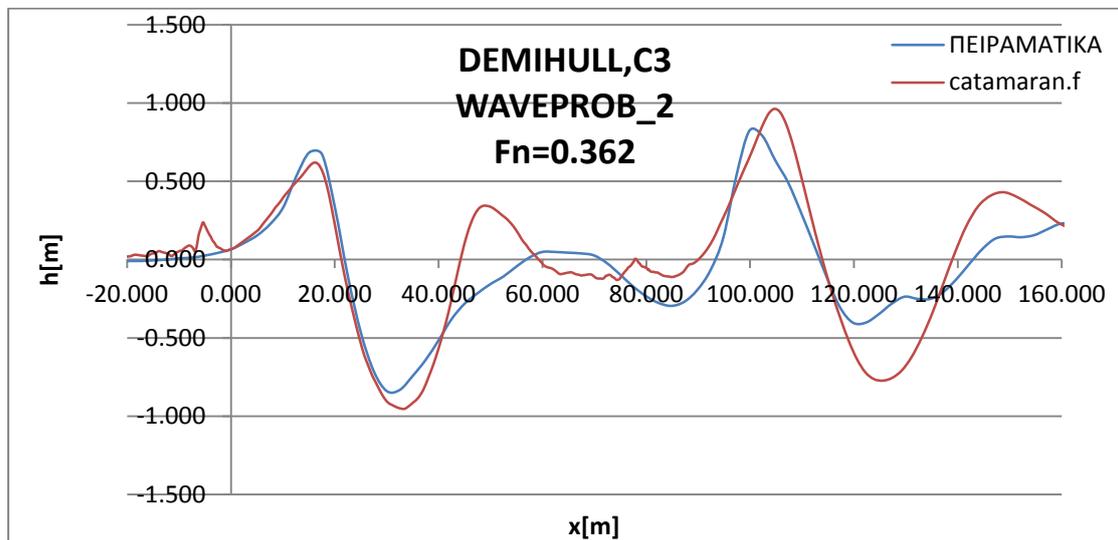
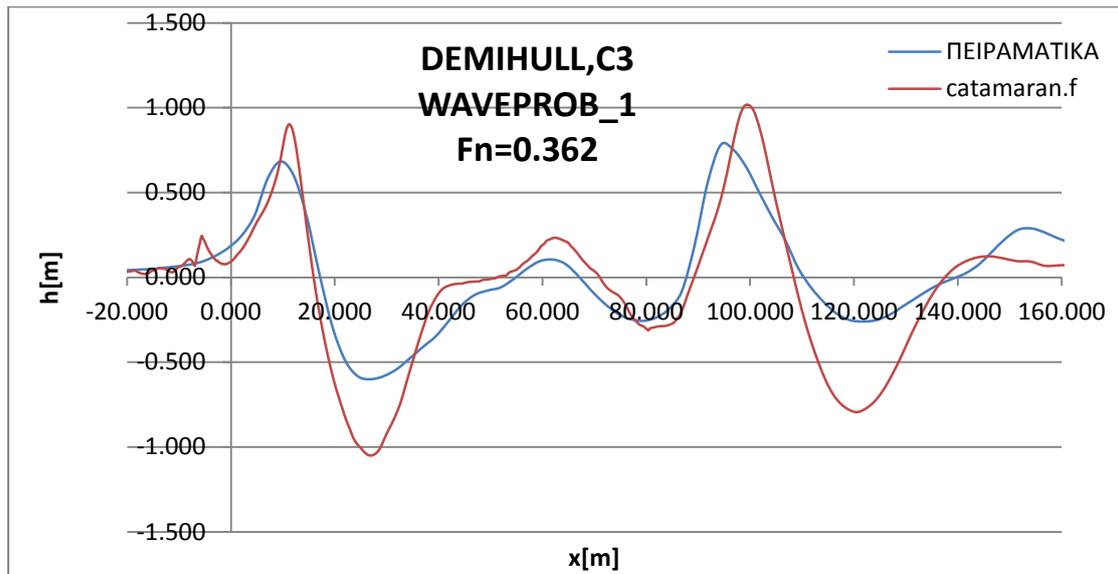












Συγκρίνοντας τα πειραματικά αποτελέσματα και τα αριθμητικά αποτελέσματα του προγράμματος *catamaran.f* παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη ομοιότητα και οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο καμπυλών στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι μικρή. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στον μεγάλο αριθμό *panels* που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα για την επίτευξη μέγιστης ακρίβειας και πιθανώς και στην εισαγωγή του ύψους εξάλων και της δυναμικής διαγωγής ως δεδομένων που βοήθησαν στη σωστή σύγκλιση του κώδικα.

Η μεγαλύτερη ταύτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων παρατηρείται για τους αισθητήρες *wanprobe\_1* και *wanprobe\_2*. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι συγκεκριμένοι αισθητήρες είναι αυτοί που βρίσκονται πλησιέστερα στην επιφάνεια της γάστρας με συνέπεια να δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Η εν λόγω παρατήρηση έγκειται στα εξής :

Πρώτον, ο κυματισμός που δημιουργείται από την επιφάνεια της γάστρας του μοντέλου ενδεχομένως να έχει υποστεί μερική αλλοίωση μέχρι να φθάσει στον αισθητήρα *wanprobe\_3* που είναι ο πιο απομακρυσμένος. Έτσι, σε μερικά σημεία οι κυματισμοί φαίνεται να 'σπάνε' λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύουν. Δεύτερον, κοντά στην επιφάνεια της γάστρας η κατανομή των *panels* της ελεύθερης επιφάνειας είναι πυκνότερη και οι διαστάσεις των στοιχείων μικρές με αποτέλεσμα τα αριθμητικά αποτελέσματα στις περιοχές αυτές να είναι πιο ακριβή σε σχέση με αυτά που προκύπτουν για περιοχές μακριά από την επιφάνεια της γάστρας, όπου οι διαστάσεις των στοιχείων είναι μεγαλύτερες και η κατανομή τους πιο αραιή.

Σημειώνεται ακόμη πως σε αντίθεση με τους αισθητήρες *wanprobe\_1&2*, οι οποίοι εμφανίζουν ομαλές καμπύλες, ο αισθητήρας *wanprobe\_3* παρουσιάζει καμπύλη με πολλές ακμές, γεγονός που δεν μπορεί να εξηγηθεί και αποδίδεται σε σφάλμα λήψης του αισθητήρα.

Συγκρίνοντας τις τρεις μελετούμενες ταχύτητες μεταξύ τους παρατηρείται πως η μεγαλύτερη ταύτιση μεταξύ των πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων εμφανίζεται για τις δύο μεγαλύτερες ταχύτητες, δηλαδή αυτές των 17knots και 20knots που αντιστοιχούν σε αριθμούς *Froude* ίσους με 0.307 και 0.362. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μεγαλύτερες ταχύτητες προκαλούν λιγότερους σε αριθμό κυματισμούς με αποτέλεσμα να αντιστοιχούν περισσότερα *panels* ανά κυματισμό και έτσι να μπορούν να περιγράφονται καλύτερα από το πρόγραμμα *catamaran.f*. Ακόμη σημειώνεται πως τόσο στην κατάσταση φόρτωσης A3 όσο και στην κατάσταση φόρτωσης C3 τα μεγαλύτερα ύψη κύματος εμφανίζονται για την ταχύτητα των 20knots, ενώ τέλος αναφέρεται πως δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές του ύψους κύματος για τις τρεις ταχύτητες μεταξύ των δύο μελετούμενων καταστάσεων φόρτωσης.

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RESOUT**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A1 DEMIHULL

Model Number : 211/11

Date : 28-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.11 Metres  
Lbulb : 82.11 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.54 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.: 733.39 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.494 Metres  
Lbulb : 3.494 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.151 Metres  
Wetted Sur.: 1.328 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.50 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>			
0.847	0.223	2.841	4.598	3.781	0.817	0.145	1.216	0.116
1.060	0.356	3.556	4.687	3.621	1.066	0.181	1.294	0.297
1.167	0.435	3.915	4.725	3.556	1.169	0.199	1.329	0.444
1.275	0.530	4.277	4.823	3.497	1.326	0.218	1.379	0.643
1.380	0.644	4.629	5.002	3.446	1.557	0.236	1.452	0.896
1.488	0.753	4.991	5.031	3.398	1.633	0.254	1.481	1.228
1.593	0.891	5.344	5.194	3.355	1.838	0.272	1.548	1.634
1.700	1.092	5.703	5.589	3.316	2.274	0.290	1.686	2.144
1.806	1.282	6.058	5.814	3.279	2.535	0.308	1.773	2.761
1.908	1.424	6.400	5.786	3.247	2.539	0.326	1.782	3.474
2.015	1.554	6.759	5.662	3.215	2.447	0.344	1.761	4.364
2.124	1.731	7.125	5.676	3.185	2.491	0.363	1.782	5.439

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
0.847	0.145	4.11	2.837	1.801	2.618	1693	92.7	7.98	1.676
1.060	0.181	5.14	3.551	1.748	2.814	2850	195.2	9.99	2.821
1.167	0.199	5.66	3.909	1.726	2.895	3554	268.1	11.00	3.518
1.275	0.218	6.18	4.271	1.706	3.032	4443	366.1	12.01	4.398
1.380	0.236	6.69	4.623	1.688	3.245	5571	496.9	13.00	5.514
1.488	0.254	7.21	4.984	1.672	3.305	6596	634.4	14.02	6.529
1.593	0.272	7.72	5.336	1.657	3.496	7997	823.4	15.01	7.915
1.700	0.290	8.24	5.694	1.643	3.917	10205	1121.4	16.02	10.101
1.806	0.308	8.75	6.049	1.631	4.166	12248	1429.7	17.02	12.123
1.908	0.326	9.25	6.391	1.619	4.159	13648	1683.1	17.98	13.508
2.015	0.344	9.77	6.750	1.608	4.055	14841	1932.9	18.99	14.689
2.124	0.363	10.30	7.115	1.597	4.088	16627	2282.6	20.01	16.457

Displacement in S.W. = 1010.31 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A2 DEMIHULL

Model Number : 211/11

Date : 29-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.26 Metres  
Lbulb : 82.26 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.89 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.: 796.34 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.500 Metres  
Lbulb : 3.500 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.165 Metres  
Wetted Sur.: 1.442 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.50 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>			
0.848	0.244	2.850	4.622	3.779	0.843	0.145	1.223	0.116
1.058	0.382	3.556	4.649	3.621	1.028	0.181	1.284	0.293
1.166	0.477	3.918	4.780	3.555	1.225	0.199	1.344	0.441
1.274	0.572	4.281	4.801	3.496	1.305	0.217	1.373	0.639
1.380	0.703	4.638	5.029	3.444	1.584	0.235	1.460	0.893
1.488	0.827	5.001	5.088	3.397	1.692	0.254	1.498	1.224
1.593	0.976	5.353	5.240	3.354	1.885	0.272	1.562	1.628
1.699	1.204	5.710	5.682	3.315	2.367	0.290	1.714	2.132
1.804	1.451	6.063	6.074	3.279	2.795	0.308	1.852	2.739
1.910	1.633	6.419	6.098	3.245	2.853	0.326	1.879	3.478
2.016	1.779	6.775	5.963	3.214	2.749	0.344	1.856	4.359
2.123	1.966	7.135	5.942	3.184	2.758	0.362	1.866	5.411

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
0.848	0.145	4.11	2.846	1.800	2.644	1861	102.0	7.99	1.606
1.058	0.181	5.13	3.550	1.748	2.776	3041	208.0	9.97	2.625
1.166	0.199	5.65	3.913	1.726	2.950	3926	295.9	10.99	3.389
1.274	0.217	6.18	4.275	1.706	3.010	4783	393.8	12.01	4.128
1.380	0.235	6.69	4.631	1.688	3.272	6100	544.1	13.00	5.265
1.488	0.254	7.21	4.993	1.672	3.363	7289	701.1	14.02	6.291
1.593	0.272	7.72	5.346	1.657	3.542	8799	906.0	15.01	7.594
1.699	0.290	8.24	5.701	1.643	4.010	11332	1244.4	16.01	9.780
1.804	0.308	8.75	6.054	1.631	4.426	14098	1643.9	17.00	12.168
1.910	0.326	9.26	6.410	1.619	4.472	15968	1971.3	18.00	13.782
2.016	0.344	9.77	6.765	1.608	4.357	17333	2258.6	19.00	14.960
2.123	0.362	10.29	7.124	1.597	4.355	19215	2636.7	20.01	16.584

Displacement in S.W. = 1158.63 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A3 DEMIHULL

Model Number : 211/11

Date : 29-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.54 Metres  
Lbulb : 82.54 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.: 892.99 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.512 Metres  
Lbulb : 3.512 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 1.617 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.50 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>			
0.314	0.041	1.059	5.052	4.630	0.422	0.053	1.091	0.002
0.420	0.073	1.416	5.028	4.352	0.675	0.072	1.155	0.006
0.530	0.100	1.787	4.325	4.148	0.177	0.090	1.043	0.016
0.638	0.146	2.151	4.358	3.995	0.362	0.109	1.091	0.035
0.742	0.209	2.502	4.612	3.877	0.735	0.126	1.190	0.066
0.848	0.271	2.859	4.578	3.777	0.802	0.144	1.212	0.115
0.957	0.350	3.227	4.643	3.689	0.953	0.163	1.258	0.192
1.059	0.434	3.571	4.701	3.618	1.083	0.180	1.299	0.293
1.166	0.545	3.932	4.870	3.553	1.317	0.199	1.371	0.438
1.274	0.675	4.296	5.052	3.494	1.558	0.217	1.446	0.635
1.382	0.844	4.660	5.369	3.441	1.927	0.235	1.560	0.893
1.488	1.009	5.018	5.536	3.394	2.142	0.253	1.631	1.216
1.592	1.158	5.368	5.551	3.353	2.198	0.271	1.656	1.614
1.699	1.448	5.729	6.094	3.313	2.781	0.289	1.840	2.119
1.807	1.823	6.093	6.783	3.276	3.507	0.308	2.071	2.741
1.910	2.089	6.441	6.957	3.243	3.714	0.325	2.145	3.457
2.017	2.243	6.801	6.698	3.211	3.487	0.344	2.086	4.341
2.122	2.425	7.155	6.543	3.182	3.360	0.362	2.056	5.367

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	0.053	1.52	1.057	2.067	2.489	269	5.5	2.96	0.192
0.420	0.072	2.04	1.414	1.983	2.658	515	14.0	3.96	0.366
0.530	0.090	2.57	1.785	1.919	2.096	646	22.1	4.99	0.460
0.638	0.109	3.09	2.148	1.871	2.233	998	41.1	6.01	0.710
0.742	0.126	3.60	2.498	1.832	2.567	1551	74.4	6.99	1.104
0.848	0.144	4.11	2.855	1.800	2.601	2053	112.5	7.99	1.461
0.957	0.163	4.64	3.222	1.771	2.724	2739	169.4	9.02	1.949
1.059	0.180	5.13	3.566	1.747	2.830	3484	238.5	9.98	2.479
1.166	0.199	5.65	3.926	1.725	3.042	4540	342.1	10.99	3.230
1.274	0.217	6.18	4.290	1.705	3.263	5814	478.7	12.01	4.137
1.382	0.235	6.70	4.653	1.687	3.614	7577	676.8	13.02	5.391
1.488	0.253	7.21	5.010	1.671	3.813	9266	891.2	14.02	6.593
1.592	0.271	7.72	5.361	1.656	3.855	10723	1103.4	15.00	7.630
1.699	0.289	8.24	5.721	1.642	4.424	14016	1539.2	16.01	9.973
1.807	0.308	8.76	6.085	1.630	5.136	18409	2150.1	17.03	13.099
1.910	0.325	9.26	6.431	1.618	5.332	21349	2635.6	18.00	15.191
2.017	0.344	9.78	6.792	1.607	5.093	22745	2965.2	19.01	16.184
2.122	0.362	10.29	7.145	1.597	4.957	24499	3360.2	20.00	17.432

Displacement in S.W. = 1405.39 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : B3 DEMIHULL

Model Number : 211/11

Date : 30-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.79 Metres  
Lbulb : 82.79 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= -0.50 m  
Wetted Surf.: 891.88 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.523 Metres  
Lbulb : 3.523 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 1.615 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.40 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	0.038	1.056	4.718	4.633	0.085	0.053	1.018	0.002
0.421	0.073	1.420	5.010	4.350	0.660	0.072	1.152	0.006
0.532	0.113	1.795	4.856	4.144	0.712	0.090	1.172	0.016
0.638	0.159	2.153	4.751	3.995	0.757	0.109	1.189	0.035
0.745	0.208	2.514	4.558	3.873	0.685	0.127	1.177	0.067
0.847	0.273	2.858	4.629	3.777	0.851	0.144	1.225	0.114
0.951	0.327	3.209	4.398	3.693	0.705	0.162	1.191	0.185
1.059	0.429	3.573	4.653	3.618	1.035	0.180	1.286	0.291
1.167	0.535	3.937	4.778	3.552	1.226	0.199	1.345	0.437
1.270	0.632	4.285	4.766	3.496	1.270	0.216	1.363	0.623
1.377	0.789	4.646	5.061	3.443	1.618	0.234	1.470	0.874
1.484	0.940	5.007	5.192	3.396	1.796	0.252	1.529	1.196
1.589	1.105	5.361	5.323	3.353	1.970	0.270	1.587	1.592
1.667	1.291	5.624	5.651	3.324	2.327	0.284	1.700	1.945
1.804	1.761	6.086	6.582	3.277	3.305	0.307	2.009	2.706
1.907	2.031	6.434	6.793	3.244	3.549	0.324	2.094	3.413
2.015	2.209	6.798	6.618	3.212	3.406	0.343	2.060	4.297
2.119	2.401	7.149	6.504	3.183	3.321	0.360	2.043	5.303

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	0.053	1.52	1.057	2.067	2.152	231	4.7	2.95	0.164
0.421	0.072	2.04	1.422	1.981	2.641	513	14.0	3.97	0.365
0.532	0.090	2.58	1.797	1.917	2.629	816	28.1	5.01	0.580
0.638	0.109	3.09	2.155	1.870	2.626	1172	48.3	6.01	0.834
0.745	0.127	3.61	2.516	1.831	2.516	1531	73.7	7.02	1.089
0.847	0.144	4.11	2.861	1.799	2.651	2085	114.1	7.98	1.483
0.951	0.162	4.61	3.212	1.771	2.476	2455	150.9	8.96	1.747
1.059	0.180	5.13	3.577	1.746	2.781	3419	234.1	9.98	2.433
1.167	0.199	5.66	3.941	1.724	2.950	4405	332.3	11.00	3.134
1.270	0.216	6.16	4.289	1.705	2.975	5261	431.9	11.97	3.744
1.377	0.234	6.68	4.651	1.687	3.305	6870	611.5	12.98	4.889
1.484	0.252	7.19	5.012	1.671	3.467	8370	802.8	13.98	5.955
1.589	0.270	7.70	5.367	1.656	3.626	10037	1030.8	14.97	7.141
1.667	0.284	8.08	5.630	1.646	3.973	12102	1304.0	15.71	8.611
1.804	0.307	8.75	6.093	1.629	4.935	17605	2052.8	17.00	12.527
1.907	0.324	9.24	6.441	1.618	5.167	20600	2539.1	17.97	14.658
2.015	0.343	9.77	6.805	1.606	5.012	22311	2905.8	18.99	15.875
2.119	0.360	10.27	7.157	1.596	4.917	24206	3315.3	19.97	17.224

Displacement in S.W. = 1405.39 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : C3 DEMIHULL

Model Number : 211/11

Date : 3-12-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.86 Metres  
Lbulb : 82.86 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.42 Metres  
Trim : t= -1.00 m  
Wetted Surf.: 890.23 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.526 Metres  
Lbulb : 3.526 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.188 Metres  
Wetted Sur.: 1.612 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 18.20 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	0.046	1.048	5.758	4.640	1.119	0.053	1.241	0.002
0.418	0.076	1.404	5.300	4.360	0.940	0.071	1.216	0.006
0.531	0.114	1.784	4.927	4.149	0.777	0.090	1.187	0.016
0.639	0.162	2.147	4.835	3.997	0.838	0.109	1.210	0.035
0.746	0.214	2.507	4.686	3.876	0.810	0.127	1.209	0.067
0.851	0.279	2.859	4.695	3.777	0.918	0.145	1.243	0.116
0.959	0.347	3.222	4.598	3.690	0.907	0.163	1.246	0.192
1.061	0.430	3.565	4.655	3.619	1.035	0.180	1.286	0.293
1.169	0.528	3.928	4.708	3.553	1.155	0.199	1.325	0.439
1.270	0.636	4.267	4.805	3.498	1.307	0.216	1.373	0.622
1.375	0.777	4.620	5.008	3.447	1.561	0.234	1.453	0.867
1.483	0.942	4.983	5.219	3.399	1.821	0.252	1.536	1.189
1.589	1.107	5.339	5.343	3.356	1.987	0.270	1.592	1.588
1.695	1.383	5.695	5.866	3.316	2.549	0.288	1.769	2.080
1.801	1.773	6.051	6.661	3.280	3.381	0.306	2.031	2.681
1.908	2.060	6.411	6.895	3.246	3.650	0.324	2.124	3.413
2.014	2.242	6.767	6.735	3.214	3.521	0.342	2.095	4.278
2.122	2.450	7.130	6.630	3.184	3.446	0.361	2.082	5.322

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	0.053	1.51	1.055	2.067	3.186	339	6.8	2.94	0.241
0.418	0.071	2.03	1.413	1.983	2.923	559	15.1	3.94	0.398
0.531	0.090	2.57	1.795	1.918	2.695	831	28.5	5.00	0.592
0.639	0.109	3.10	2.160	1.869	2.707	1209	50.0	6.02	0.861
0.746	0.127	3.62	2.522	1.830	2.640	1608	77.5	7.03	1.144
0.851	0.145	4.13	2.877	1.798	2.716	2152	118.4	8.02	1.531
0.959	0.163	4.65	3.242	1.769	2.677	2694	167.0	9.04	1.917
1.061	0.180	5.14	3.586	1.746	2.781	3425	234.9	10.00	2.437
1.169	0.199	5.67	3.952	1.723	2.878	4304	325.2	11.02	3.062
1.270	0.216	6.16	4.293	1.705	3.011	5315	436.3	11.97	3.782
1.375	0.234	6.67	4.648	1.687	3.248	6720	597.2	12.96	4.782
1.483	0.252	7.19	5.013	1.671	3.491	8402	805.4	13.97	5.978
1.589	0.270	7.70	5.371	1.656	3.643	10064	1033.6	14.97	7.161
1.695	0.288	8.22	5.730	1.642	4.192	13177	1443.7	15.97	9.376
1.801	0.306	8.73	6.088	1.629	5.010	17783	2070.1	16.97	12.653
1.908	0.324	9.25	6.450	1.617	5.267	20981	2587.5	17.98	14.929
2.014	0.342	9.76	6.808	1.606	5.127	22758	2962.5	18.98	16.193
2.122	0.361	10.29	7.173	1.596	5.042	24841	3407.1	20.00	17.675

Displacement in S.W. = 1405.39 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A1 S/L=0.181

Model Number : 211/11

Date : 26-10-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.11 Metres  
Lbulb : 82.11 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.54 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1466.78 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.494 Metres  
Lbulb : 3.494 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.151 Metres  
Wetted Sur.: 2.656 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 22.10 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>			
0.850	0.446	3.111	4.569	3.715	0.854	0.145	1.230	0.120
1.064	0.734	3.894	4.799	3.559	1.240	0.182	1.348	0.306
1.166	0.892	4.268	4.856	3.498	1.358	0.199	1.388	0.450
1.271	1.097	4.652	5.026	3.442	1.584	0.217	1.460	0.645
1.382	1.322	5.058	5.123	3.389	1.734	0.236	1.512	0.916
1.489	1.706	5.450	5.695	3.343	2.352	0.254	1.704	1.251
1.594	1.824	5.834	5.313	3.302	2.012	0.272	1.609	1.664
1.701	2.158	6.226	5.520	3.263	2.257	0.291	1.692	2.184
1.805	2.847	6.607	6.468	3.228	3.240	0.308	2.003	2.799
1.910	3.565	6.991	7.233	3.196	4.037	0.326	2.263	3.545
2.018	3.912	7.386	7.110	3.164	3.946	0.345	2.247	4.461
2.125	4.003	7.778	6.561	3.135	3.426	0.363	2.093	5.535

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
0.850	0.145	4.12	2.847	1.800	2.654	3457	189.9	8.01	1.711
1.064	0.182	5.16	3.564	1.747	2.987	6096	419.2	10.03	3.017
1.166	0.199	5.65	3.906	1.726	3.084	7559	569.7	10.99	3.741
1.271	0.217	6.16	4.257	1.707	3.290	9583	787.3	11.98	4.743
1.382	0.236	6.70	4.629	1.688	3.422	11783	1052.5	13.02	5.831
1.489	0.254	7.22	4.988	1.672	4.024	16084	1548.0	14.03	7.960
1.594	0.272	7.73	5.339	1.657	3.669	16806	1731.5	15.02	8.317
1.701	0.291	8.25	5.698	1.643	3.901	20348	2237.1	16.03	10.070
1.805	0.308	8.75	6.046	1.631	4.870	28608	3337.6	17.01	14.158
1.910	0.326	9.26	6.398	1.619	5.656	37203	4592.9	18.00	18.412
2.018	0.345	9.78	6.760	1.608	5.554	40775	5318.5	19.02	20.179
2.125	0.363	10.30	7.118	1.597	5.023	40895	5617.0	20.02	20.239

Displacement in S.W. = 2020.62 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A2 S/L=0.181

Model Number : 211/11

Date : 26-10-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.26 Metres  
Lbulb : 82.26 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.89 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1593.24 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.500 Metres  
Lbulb : 3.500 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.165 Metres  
Wetted Sur.: 2.885 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 22.10 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>			
0.852	0.494	3.124	4.637	3.712	0.925	0.145	1.249	0.120
1.066	0.804	3.909	4.821	3.557	1.264	0.182	1.355	0.308
1.170	0.993	4.290	4.943	3.495	1.448	0.200	1.414	0.455
1.275	1.215	4.675	5.093	3.439	1.654	0.218	1.481	0.652
1.381	1.453	5.064	5.191	3.389	1.803	0.236	1.532	0.910
1.488	1.904	5.456	5.860	3.343	2.517	0.254	1.753	1.244
1.594	2.048	5.845	5.492	3.301	2.192	0.272	1.664	1.659
1.702	2.401	6.241	5.648	3.262	2.386	0.290	1.732	2.182
1.806	3.207	6.622	6.700	3.227	3.473	0.308	2.076	2.796
1.910	4.150	7.004	7.752	3.195	4.557	0.326	2.426	3.533
2.014	4.593	7.385	7.716	3.164	4.551	0.344	2.438	4.409
2.122	4.718	7.781	7.140	3.135	4.004	0.362	2.277	5.485

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
0.852	0.145	4.13	2.859	1.799	2.724	3873	213.3	8.03	1.671
1.066	0.182	5.17	3.577	1.746	3.011	6700	461.6	10.05	2.891
1.170	0.200	5.67	3.926	1.725	3.173	8506	643.3	11.03	3.671
1.275	0.218	6.18	4.279	1.706	3.359	10694	881.3	12.01	4.615
1.381	0.236	6.69	4.634	1.688	3.491	13037	1163.7	13.01	5.626
1.488	0.254	7.21	4.993	1.672	4.189	18162	1746.8	14.02	7.838
1.594	0.272	7.73	5.349	1.657	3.848	19149	1972.9	15.02	8.264
1.702	0.290	8.25	5.712	1.643	4.029	22856	2514.4	16.04	9.863
1.806	0.308	8.75	6.061	1.630	5.103	32598	3805.2	17.02	14.067
1.910	0.326	9.26	6.410	1.619	6.176	44121	5446.9	18.00	19.040
2.014	0.344	9.76	6.759	1.608	6.159	48926	6369.0	18.98	21.114
2.122	0.362	10.29	7.121	1.597	5.602	49397	6775.1	20.00	21.317

Displacement in S.W. = 2317.26 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A3 S/L=0.181

Model Number : 211/11

Date : 29-10-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.54 Metres  
Lbulb : 82.54 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1785.98 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.512 Metres  
Lbulb : 3.512 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 3.234 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 22.00 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>			
0.319	0.083	1.171	4.958	4.531	0.427	0.054	1.094	0.002
0.426	0.159	1.564	5.326	4.264	1.062	0.073	1.249	0.007
0.531	0.234	1.949	5.045	4.075	0.969	0.090	1.238	0.016
0.634	0.315	2.327	4.764	3.933	0.831	0.108	1.211	0.035
0.740	0.423	2.716	4.695	3.815	0.881	0.126	1.231	0.066
0.889	0.616	3.263	4.738	3.681	1.056	0.151	1.287	0.143
0.955	0.724	3.506	4.825	3.631	1.194	0.163	1.329	0.193
1.060	0.915	3.891	4.950	3.560	1.390	0.181	1.391	0.299
1.169	1.141	4.291	5.075	3.495	1.580	0.199	1.452	0.450
1.274	1.459	4.677	5.464	3.439	2.025	0.217	1.589	0.645
1.380	1.722	5.066	5.496	3.388	2.108	0.235	1.622	0.902
1.488	2.309	5.462	6.339	3.342	2.997	0.253	1.897	1.236
1.593	2.629	5.848	6.297	3.300	2.997	0.271	1.908	1.643
1.698	2.855	6.233	6.019	3.262	2.757	0.289	1.845	2.146
1.806	3.821	6.630	7.121	3.226	3.895	0.308	2.207	2.777
1.911	5.382	7.015	8.958	3.194	5.765	0.326	2.805	3.517
2.015	6.190	7.397	9.267	3.164	6.103	0.343	2.929	4.389
2.120	6.348	7.782	8.585	3.135	5.450	0.361	2.739	5.427

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
0.319	0.054	1.55	1.074	2.062	2.489	556	11.5	3.01	0.198
0.426	0.073	2.07	1.434	1.979	3.041	1211	33.4	4.01	0.431
0.531	0.090	2.57	1.788	1.919	2.888	1787	61.3	5.00	0.636
0.634	0.108	3.07	2.135	1.872	2.703	2385	97.7	5.97	0.848
0.740	0.126	3.59	2.492	1.833	2.714	3262	156.0	6.97	1.161
0.889	0.151	4.31	2.993	1.788	2.845	4935	283.6	8.38	1.756
0.955	0.163	4.63	3.216	1.771	2.965	5937	366.5	9.00	2.112
1.060	0.181	5.14	3.569	1.747	3.137	7738	530.1	9.99	2.753
1.169	0.199	5.67	3.936	1.724	3.305	9914	749.1	11.02	3.527
1.274	0.217	6.18	4.290	1.705	3.730	13290	1094.4	12.01	4.728
1.380	0.235	6.69	4.647	1.687	3.795	15866	1415.2	13.00	5.645
1.488	0.253	7.21	5.010	1.671	4.668	22689	2182.2	14.02	8.072
1.593	0.271	7.72	5.364	1.656	4.653	25921	2669.0	15.01	9.222
1.698	0.289	8.23	5.718	1.643	4.399	27845	3056.0	16.00	9.906
1.806	0.308	8.75	6.081	1.630	5.524	39555	4617.4	17.02	14.073
1.911	0.326	9.26	6.435	1.618	7.382	59185	7310.4	18.01	21.056
2.015	0.343	9.77	6.785	1.607	7.710	68726	8950.9	18.99	24.451
2.120	0.361	10.28	7.138	1.597	7.047	69529	9527.4	19.98	24.737

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3  
 Test Condition : B3 S/L=0.181  
 Model Number : 211/11 Date : 30-10-12  
 Model Scale = 1: 23.5 Trip Wires :YES

Ship Data	Model Data
LWL : 82.79 Metres	LWL : 3.523 Metres
Lbulb : 82.79 Metres	Lbulb : 3.523 Metres
BWL : 21.00 Metres	BWL : 0.894 Metres
T : 4.43 Metres	T : 0.189 Metres
Trim : t= - 0.50 m	
Wetted Surf.:1783.77 m <sup>2</sup>	Wetted Sur.: 3.230 m <sup>2</sup>
S. W. Temp. : 15.00 Degrees	F. W. Temp.: 21.90 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>			
0.320	0.092	1.175	5.468	4.527	0.941	0.054	1.208	0.002
0.427	0.151	1.568	5.040	4.261	0.779	0.073	1.183	0.007
0.536	0.235	1.969	4.978	4.067	0.911	0.091	1.224	0.017
0.635	0.319	2.332	4.815	3.931	0.883	0.108	1.225	0.035
0.741	0.427	2.722	4.733	3.813	0.919	0.126	1.241	0.066
0.848	0.553	3.115	4.680	3.715	0.966	0.144	1.260	0.117
0.948	0.696	3.482	4.713	3.636	1.077	0.161	1.296	0.186
1.064	0.888	3.908	4.774	3.557	1.217	0.181	1.342	0.302
1.169	1.110	4.294	4.943	3.494	1.449	0.199	1.415	0.447
1.274	1.385	4.680	5.193	3.439	1.755	0.217	1.510	0.641
1.379	1.612	5.065	5.159	3.389	1.770	0.235	1.522	0.893
1.487	2.162	5.462	5.951	3.342	2.609	0.253	1.781	1.225
1.594	2.489	5.855	5.962	3.300	2.662	0.271	1.807	1.638
1.703	2.683	6.255	5.630	3.260	2.370	0.290	1.727	2.160
1.806	3.593	6.634	6.704	3.226	3.478	0.307	2.078	2.761
1.909	5.235	7.012	8.742	3.194	5.549	0.325	2.737	3.481
2.015	5.877	7.401	8.809	3.163	5.646	0.343	2.785	4.363
2.121	5.963	7.791	8.067	3.134	4.933	0.361	2.574	5.406

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
0.320	0.054	1.55	1.081	2.060	3.001	674	13.9	3.02	0.240
0.427	0.073	2.07	1.442	1.977	2.756	1102	30.4	4.02	0.392
0.536	0.091	2.60	1.810	1.915	2.826	1780	61.7	5.05	0.633
0.635	0.108	3.08	2.145	1.871	2.754	2435	99.9	5.98	0.866
0.741	0.126	3.59	2.503	1.832	2.751	3312	158.7	6.98	1.178
0.848	0.144	4.11	2.864	1.799	2.765	4359	238.9	7.99	1.551
0.948	0.161	4.60	3.202	1.772	2.850	5615	344.1	8.93	1.998
1.064	0.181	5.16	3.594	1.745	2.962	7352	505.6	10.03	2.616
1.169	0.199	5.67	3.948	1.724	3.173	9506	718.3	11.02	3.382
1.274	0.217	6.18	4.303	1.704	3.459	12309	1013.6	12.01	4.379
1.379	0.235	6.68	4.657	1.687	3.457	14414	1284.8	12.99	5.128
1.487	0.253	7.21	5.022	1.670	4.279	20745	1993.9	14.01	7.381
1.594	0.271	7.73	5.384	1.655	4.317	24052	2478.1	15.02	8.557
1.703	0.290	8.26	5.752	1.641	4.011	25506	2807.6	16.05	9.074
1.806	0.307	8.75	6.100	1.629	5.107	36524	4263.5	17.02	12.994
1.909	0.325	9.25	6.447	1.618	7.166	57258	7065.1	17.99	20.371
2.015	0.343	9.77	6.805	1.606	7.252	64562	8408.6	18.99	22.969
2.121	0.361	10.28	7.163	1.596	6.529	64394	8827.9	19.99	22.910

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : C3 S/L=0.181

Model Number : 211/11

Date : 31-10-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

**Ship Data**

LWL : 82.86 Metres  
Lbulb : 82.86 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.42 Metres  
Trim : t= - 1.00 m  
Wetted Surf.:1781.01 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

**Model Data**

LWL : 3.526 Metres  
Lbulb : 3.526 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.188 Metres  
Wetted Sur.: 3.225 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.40 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>			
0.321	0.095	1.166	5.619	4.535	1.084	0.055	1.239	0.002
0.427	0.157	1.551	5.248	4.271	0.977	0.073	1.229	0.007
0.535	0.235	1.943	5.004	4.078	0.926	0.091	1.227	0.017
0.640	0.327	2.325	4.866	3.934	0.932	0.109	1.237	0.036
0.743	0.430	2.699	4.747	3.820	0.928	0.126	1.243	0.067
0.838	0.538	3.044	4.669	3.731	0.938	0.142	1.251	0.110
0.957	0.708	3.476	4.712	3.637	1.075	0.163	1.295	0.193
1.064	0.882	3.865	4.748	3.564	1.184	0.181	1.332	0.301
1.171	1.101	4.254	4.894	3.500	1.393	0.199	1.398	0.449
1.274	1.384	4.628	5.197	3.446	1.751	0.217	1.508	0.639
1.381	1.579	5.017	5.046	3.395	1.651	0.235	1.486	0.896
1.488	2.131	5.405	5.866	3.348	2.518	0.253	1.752	1.224
1.594	2.461	5.790	5.903	3.306	2.597	0.271	1.785	1.632
1.701	2.666	6.179	5.616	3.268	2.348	0.289	1.719	2.141
1.800	3.604	6.539	6.779	3.234	3.545	0.306	2.096	2.713
1.908	5.267	6.931	8.818	3.201	5.617	0.324	2.755	3.461
2.016	5.835	7.323	8.750	3.169	5.581	0.343	2.761	4.356
2.121	5.908	7.705	8.004	3.141	4.864	0.361	2.549	5.386

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
0.321	0.055	1.56	1.085	2.059	3.143	709	14.7	3.02	0.252
0.427	0.073	2.07	1.443	1.977	2.954	1179	32.5	4.02	0.420
0.535	0.091	2.59	1.808	1.916	2.842	1781	61.6	5.04	0.633
0.640	0.109	3.10	2.163	1.869	2.801	2511	103.9	6.03	0.893
0.743	0.126	3.60	2.512	1.831	2.759	3334	160.1	7.00	1.186
0.838	0.142	4.06	2.833	1.802	2.740	4212	228.1	7.90	1.498
0.957	0.163	4.64	3.235	1.770	2.844	5703	352.8	9.02	2.029
1.064	0.181	5.16	3.597	1.745	2.929	7259	499.2	10.03	2.583
1.171	0.199	5.68	3.958	1.723	3.116	9354	708.0	11.03	3.328
1.274	0.217	6.18	4.306	1.704	3.455	12277	1011.0	12.01	4.368
1.381	0.235	6.69	4.668	1.686	3.338	13935	1243.9	13.01	4.958
1.488	0.253	7.21	5.030	1.670	4.188	20298	1952.2	14.02	7.221
1.594	0.271	7.73	5.388	1.655	4.252	23651	2436.8	15.02	8.414
1.701	0.289	8.25	5.750	1.641	3.990	25271	2778.4	16.03	8.991
1.800	0.306	8.73	6.084	1.630	5.175	36704	4270.3	16.96	13.058
1.908	0.324	9.25	6.450	1.617	7.235	57658	7110.6	17.98	20.513
2.016	0.343	9.77	6.815	1.606	7.187	63946	8332.5	19.00	22.750
2.121	0.361	10.28	7.170	1.596	6.459	63613	8720.9	19.99	22.632

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A1 S/L=0.251

Model Number : 211/11

Date : 8-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.11 Metres  
Lbulb : 82.11 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.54 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1466.78 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.494 Metres  
Lbulb : 3.494 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.151 Metres  
Wetted Sur.: 2.656 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.20 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>			
0.848	0.467	3.038	4.806	3.732	1.073	0.145	1.288	0.118
0.952	0.584	3.411	4.768	3.650	1.118	0.163	1.306	0.192
1.063	0.730	3.808	4.781	3.574	1.207	0.182	1.338	0.304
1.167	0.916	4.181	4.977	3.512	1.465	0.199	1.417	0.450
1.274	1.062	4.564	4.842	3.455	1.387	0.218	1.402	0.649
1.380	1.367	4.944	5.312	3.404	1.908	0.236	1.561	0.907
1.488	1.537	5.331	5.137	3.357	1.780	0.254	1.530	1.243
1.595	1.778	5.715	5.172	3.314	1.858	0.272	1.560	1.662
1.700	2.356	6.091	6.033	3.276	2.757	0.290	1.841	2.170
1.804	2.840	6.463	6.458	3.241	3.217	0.308	1.992	2.781
1.908	3.088	6.836	6.277	3.209	3.069	0.326	1.956	3.516
2.016	3.240	7.223	5.899	3.177	2.722	0.344	1.857	4.425
2.122	3.450	7.603	5.670	3.148	2.522	0.362	1.801	5.482

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
0.848	0.145	4.11	2.841	1.801	2.874	3726	204.2	7.99	1.844
0.952	0.163	4.61	3.189	1.773	2.891	4725	290.7	8.97	2.338
1.063	0.182	5.15	3.561	1.747	2.954	6018	413.5	10.02	2.978
1.167	0.199	5.66	3.909	1.726	3.191	7836	591.1	11.00	3.878
1.274	0.218	6.18	4.267	1.706	3.094	9052	745.4	12.01	4.480
1.380	0.236	6.69	4.623	1.688	3.597	12349	1101.5	13.00	6.111
1.488	0.254	7.21	4.984	1.672	3.452	13781	1325.4	14.02	6.820
1.595	0.272	7.73	5.343	1.657	3.515	16120	1661.9	15.03	7.978
1.700	0.290	8.24	5.694	1.643	4.400	22927	2519.2	16.02	11.346
1.804	0.308	8.75	6.043	1.631	4.848	28444	3316.6	17.00	14.077
1.908	0.326	9.25	6.391	1.619	4.688	30769	3794.6	17.98	15.228
2.016	0.344	9.77	6.753	1.608	4.330	31731	4134.7	19.00	15.703
2.122	0.362	10.29	7.108	1.598	4.119	33442	4586.8	20.00	16.550

Displacement in S.W. = 2020.62 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A2 S/L=0.251

Model Number : 211/11

Date : 5-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.26 Metres  
Lbulb : 82.26 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.89 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1593.24 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.500 Metres  
Lbulb : 3.500 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.165 Metres  
Wetted Sur.: 2.885 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.30 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>			
0.849	0.519	3.055	4.906	3.729	1.177	0.145	1.316	0.118
0.956	0.648	3.440	4.830	3.644	1.186	0.163	1.325	0.194
1.063	0.810	3.824	4.884	3.571	1.312	0.181	1.367	0.303
1.170	1.008	4.209	5.017	3.507	1.509	0.200	1.430	0.453
1.271	1.170	4.573	4.934	3.453	1.481	0.217	1.429	0.641
1.379	1.545	4.961	5.535	3.402	2.134	0.235	1.627	0.902
1.486	1.742	5.346	5.375	3.355	2.020	0.254	1.602	1.233
1.594	1.980	5.735	5.309	3.312	1.997	0.272	1.603	1.653
1.700	2.615	6.116	6.165	3.274	2.891	0.290	1.883	2.164
1.806	3.328	6.498	6.952	3.238	3.714	0.308	2.147	2.786
1.915	3.657	6.890	6.794	3.204	3.590	0.327	2.120	3.560
2.014	3.803	7.246	6.388	3.175	3.212	0.344	2.012	4.394
2.129	3.982	7.660	5.985	3.144	2.841	0.363	1.904	5.542

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
0.849	0.145	4.12	2.849	1.800	2.977	4202	230.6	8.00	1.814
0.956	0.163	4.63	3.208	1.772	2.958	5294	327.1	9.01	2.285
1.063	0.181	5.15	3.567	1.747	3.059	6770	465.1	10.02	2.921
1.170	0.200	5.67	3.926	1.725	3.234	8670	655.7	11.03	3.742
1.271	0.217	6.16	4.265	1.706	3.187	10083	828.3	11.98	4.351
1.379	0.235	6.68	4.628	1.688	3.822	14233	1268.6	12.99	6.142
1.486	0.254	7.20	4.987	1.672	3.691	15963	1533.2	14.00	6.889
1.594	0.272	7.73	5.349	1.657	3.654	18180	1873.1	15.02	7.845
1.700	0.290	8.24	5.705	1.643	4.534	25661	2819.7	16.02	11.074
1.806	0.308	8.75	6.061	1.630	5.344	34134	3984.5	17.02	14.730
1.915	0.327	9.28	6.426	1.618	5.208	37403	4629.7	18.05	16.141
2.014	0.344	9.76	6.759	1.608	4.820	38290	4984.4	18.98	16.524
2.129	0.363	10.32	7.144	1.597	4.438	39393	5420.8	20.06	17.000

Displacement in S.W. = 2317.26 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A3 S/L=0.251

Model Number : 211/11

Date : 5-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.54 Metres  
Lbulb : 82.54 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1785.98 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.512 Metres  
Lbulb : 3.512 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 3.234 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.30 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>			
0.318	0.086	1.148	5.169	4.550	0.619	0.054	1.136	0.002
0.426	0.151	1.538	5.057	4.278	0.779	0.073	1.182	0.006
0.535	0.230	1.931	4.884	4.083	0.801	0.091	1.196	0.017
0.635	0.316	2.292	4.763	3.945	0.818	0.108	1.207	0.035
0.743	0.429	2.682	4.723	3.824	0.899	0.127	1.235	0.067
0.848	0.567	3.061	4.792	3.727	1.065	0.144	1.286	0.117
0.956	0.727	3.451	4.835	3.642	1.193	0.163	1.327	0.193
1.065	0.918	3.845	4.919	3.568	1.351	0.181	1.379	0.304
1.170	1.159	4.224	5.146	3.505	1.641	0.199	1.468	0.450
1.273	1.418	4.596	5.318	3.450	1.868	0.217	1.541	0.641
1.379	1.791	4.978	5.724	3.399	2.325	0.235	1.684	0.896
1.486	2.234	5.365	6.149	3.353	2.796	0.253	1.834	1.225
1.593	2.310	5.751	5.532	3.311	2.222	0.271	1.671	1.638
1.701	3.015	6.141	6.333	3.271	3.062	0.290	1.936	2.156
1.804	4.290	6.513	8.012	3.237	4.775	0.307	2.475	2.756
1.908	4.862	6.888	8.117	3.204	4.913	0.325	2.533	3.484
2.014	4.913	7.271	7.362	3.173	4.188	0.343	2.320	4.367
2.117	5.049	7.642	6.847	3.145	3.702	0.361	2.177	5.379

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
0.318	0.054	1.54	1.071	2.063	2.681	595	12.2	3.00	0.212
0.426	0.073	2.07	1.434	1.979	2.757	1099	30.2	4.01	0.391
0.535	0.091	2.59	1.801	1.917	2.717	1707	59.0	5.04	0.607
0.635	0.108	3.08	2.138	1.872	2.690	2381	97.7	5.98	0.847
0.743	0.127	3.60	2.502	1.832	2.731	3309	158.9	7.00	1.177
0.848	0.144	4.11	2.855	1.800	2.865	4522	247.9	7.99	1.609
0.956	0.163	4.63	3.219	1.771	2.964	5946	367.4	9.01	2.115
1.065	0.181	5.16	3.586	1.746	3.097	7711	530.8	10.04	2.743
1.170	0.199	5.67	3.940	1.724	3.365	10111	764.7	11.03	3.597
1.273	0.217	6.17	4.286	1.705	3.573	12711	1045.9	12.00	4.522
1.379	0.235	6.68	4.643	1.687	4.012	16749	1492.9	12.99	5.959
1.486	0.253	7.20	5.004	1.671	4.467	21654	2079.8	14.00	7.704
1.593	0.271	7.72	5.364	1.656	3.878	21604	2224.5	15.01	7.686
1.701	0.290	8.25	5.728	1.642	4.704	29879	3285.1	16.03	10.630
1.804	0.307	8.75	6.074	1.630	6.405	45759	5335.6	17.00	16.280
1.908	0.325	9.25	6.425	1.618	6.531	52195	6437.0	17.98	18.570
2.014	0.343	9.76	6.782	1.607	5.795	51604	6717.7	18.98	18.359
2.117	0.361	10.26	7.128	1.597	5.299	52132	7133.5	19.95	18.547

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : B3 S/L=0.251

Model Number : 211/11

Date : 2-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.79 Metres  
Lbulb : 82.79 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= - 0.50 m  
Wetted Surf.:1783.77 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.523 Metres  
Lbulb : 3.523 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 3.230 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.30 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>			
0.318	0.086	1.151	5.175	4.547	0.628	0.054	1.138	0.002
0.427	0.151	1.546	5.040	4.274	0.766	0.073	1.179	0.007
0.534	0.238	1.934	5.079	4.082	0.997	0.091	1.244	0.017
0.639	0.327	2.314	4.873	3.938	0.936	0.109	1.238	0.035
0.742	0.432	2.687	4.775	3.823	0.952	0.126	1.249	0.066
0.851	0.564	3.081	4.739	3.722	1.017	0.145	1.273	0.118
0.957	0.713	3.465	4.737	3.639	1.098	0.163	1.302	0.193
1.064	0.891	3.853	4.789	3.566	1.223	0.181	1.343	0.301
1.169	1.102	4.233	4.907	3.504	1.403	0.199	1.401	0.446
1.274	1.372	4.613	5.144	3.448	1.696	0.217	1.492	0.640
1.381	1.701	5.001	5.427	3.397	2.031	0.235	1.598	0.897
1.487	2.133	5.384	5.870	3.351	2.519	0.253	1.752	1.222
1.593	2.209	5.768	5.297	3.309	1.988	0.271	1.601	1.629
1.701	2.859	6.159	6.013	3.269	2.743	0.289	1.839	2.144
1.802	4.153	6.525	7.783	3.236	4.547	0.307	2.405	2.728
1.907	4.720	6.905	7.898	3.203	4.695	0.324	2.466	3.457
2.012	4.779	7.285	7.184	3.172	4.012	0.342	2.265	4.325
2.121	4.949	7.680	6.694	3.142	3.552	0.361	2.130	5.392

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
0.318	0.054	1.54	1.074	2.062	2.690	596	12.3	3.00	0.212
0.427	0.073	2.07	1.442	1.977	2.743	1097	30.3	4.02	0.390
0.534	0.091	2.59	1.804	1.916	2.913	1821	62.9	5.03	0.648
0.639	0.109	3.10	2.158	1.869	2.805	2511	103.7	6.02	0.893
0.742	0.126	3.60	2.506	1.832	2.783	3360	161.1	6.99	1.195
0.851	0.145	4.13	2.874	1.798	2.815	4470	245.8	8.02	1.590
0.957	0.163	4.64	3.232	1.770	2.868	5760	356.3	9.02	2.049
1.064	0.181	5.16	3.594	1.745	2.968	7367	506.7	10.03	2.621
1.169	0.199	5.67	3.948	1.724	3.127	9369	707.9	11.02	3.333
1.274	0.217	6.18	4.303	1.704	3.400	12101	996.4	12.01	4.305
1.381	0.235	6.69	4.664	1.686	3.717	15544	1387.5	13.01	5.530
1.487	0.253	7.21	5.022	1.670	4.190	20312	1952.3	14.01	7.227
1.593	0.271	7.72	5.380	1.655	3.644	20274	2087.6	15.01	7.213
1.701	0.289	8.25	5.745	1.642	4.385	27818	3058.5	16.03	9.897
1.802	0.307	8.74	6.086	1.629	6.177	43975	5122.0	16.98	15.645
1.907	0.324	9.24	6.441	1.618	6.313	50337	6204.5	17.97	17.909
2.012	0.342	9.75	6.795	1.607	5.618	49868	6485.2	18.96	17.742
2.121	0.361	10.28	7.163	1.596	5.148	50777	6961.1	19.99	18.065

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : C3 S/L=0.251

Model Number : 211/11

Date : 1-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.86 Metres  
Lbulb : 82.86 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.42 Metres  
Trim : t= - 1.00 m  
Wetted Surf.: 1781.01 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.526 Metres  
Lbulb : 3.526 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.188 Metres  
Wetted Sur.: 3.225 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 21.40 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>			
0.318	0.092	1.155	5.545	4.544	1.001	0.054	1.220	0.002
0.426	0.157	1.548	5.273	4.273	1.000	0.072	1.234	0.006
0.536	0.238	1.947	5.049	4.076	0.973	0.091	1.239	0.017
0.634	0.316	2.303	4.791	3.941	0.850	0.108	1.216	0.034
0.740	0.429	2.688	4.775	3.823	0.952	0.126	1.249	0.066
0.848	0.559	3.080	4.738	3.723	1.015	0.144	1.273	0.116
0.956	0.705	3.473	4.701	3.638	1.064	0.163	1.292	0.192
1.064	0.878	3.865	4.727	3.564	1.163	0.181	1.326	0.301
1.170	1.077	4.250	4.795	3.501	1.294	0.199	1.370	0.447
1.275	1.326	4.632	4.971	3.445	1.526	0.217	1.443	0.641
1.379	1.609	5.009	5.157	3.396	1.761	0.234	1.519	0.890
1.486	2.093	5.398	5.777	3.349	2.428	0.253	1.725	1.217
1.594	2.165	5.790	5.193	3.306	1.887	0.271	1.571	1.632
1.700	2.749	6.175	5.797	3.268	2.530	0.289	1.774	2.136
1.802	4.128	6.546	7.748	3.234	4.514	0.306	2.396	2.725
1.909	4.668	6.935	7.807	3.200	4.607	0.325	2.439	3.469
2.014	4.755	7.316	7.145	3.170	3.975	0.342	2.254	4.338
2.120	4.963	7.701	6.730	3.141	3.589	0.360	2.143	5.375

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
0.318	0.054	1.54	1.075	2.062	3.063	678	13.9	3.00	0.241
0.426	0.072	2.07	1.440	1.978	2.978	1183	32.6	4.01	0.421
0.536	0.091	2.60	1.812	1.915	2.888	1816	62.9	5.05	0.646
0.634	0.108	3.07	2.143	1.871	2.721	2395	98.1	5.97	0.852
0.740	0.126	3.59	2.501	1.832	2.784	3338	159.6	6.97	1.187
0.848	0.144	4.11	2.866	1.799	2.814	4430	242.8	7.99	1.576
0.956	0.163	4.63	3.232	1.770	2.834	5670	350.3	9.01	2.017
1.064	0.181	5.16	3.597	1.745	2.908	7206	495.6	10.03	2.564
1.170	0.199	5.67	3.955	1.723	3.017	9042	683.8	11.03	3.217
1.275	0.217	6.18	4.310	1.704	3.230	11495	947.3	12.01	4.090
1.379	0.234	6.68	4.661	1.687	3.448	14354	1279.4	12.99	5.107
1.486	0.253	7.20	5.023	1.670	4.098	19810	1902.7	14.00	7.048
1.594	0.271	7.73	5.388	1.655	3.542	19702	2029.9	15.02	7.009
1.700	0.289	8.24	5.746	1.642	4.171	26389	2899.6	16.02	9.388
1.802	0.306	8.74	6.091	1.629	6.144	43673	5086.7	16.98	15.538
1.909	0.325	9.25	6.453	1.617	6.224	49654	6126.8	17.99	17.665
2.014	0.342	9.76	6.808	1.606	5.581	49561	6451.6	18.98	17.632
2.120	0.360	10.28	7.166	1.596	5.185	51017	6990.8	19.98	18.151

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A1 S/L=0.313

Model Number : 211/11

Date : 21-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.11 Metres  
Lbulb : 82.11 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.54 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1466.78 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.494 Metres  
Lbulb : 3.494 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.151 Metres  
Wetted Sur.: 2.656 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 19.30 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>			
0.850	0.468	2.908	4.792	3.764	1.027	0.145	1.273	0.118
1.063	0.738	3.637	4.831	3.606	1.226	0.182	1.340	0.301
1.167	0.905	3.993	4.916	3.542	1.373	0.199	1.388	0.446
1.274	1.073	4.359	4.890	3.484	1.406	0.218	1.403	0.643
1.380	1.343	4.722	5.217	3.433	1.784	0.236	1.520	0.899
1.486	1.584	5.084	5.306	3.386	1.920	0.254	1.567	1.226
1.594	1.746	5.454	5.083	3.343	1.741	0.272	1.521	1.644
1.699	2.240	5.813	5.740	3.304	2.436	0.290	1.737	2.147
1.801	2.838	6.162	6.472	3.269	3.203	0.308	1.980	2.739
1.908	3.046	6.528	6.189	3.235	2.954	0.326	1.913	3.487
2.012	3.005	6.884	5.491	3.204	2.287	0.344	1.714	4.353
2.122	3.108	7.261	5.106	3.174	1.932	0.362	1.609	5.437

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
0.850	0.145	4.12	2.847	1.800	2.828	3683	202.4	8.01	1.823
1.063	0.182	5.15	3.561	1.747	2.973	6057	416.1	10.02	2.997
1.167	0.199	5.66	3.909	1.726	3.099	7610	574.0	11.00	3.766
1.274	0.218	6.18	4.267	1.706	3.112	9107	749.9	12.01	4.507
1.380	0.236	6.69	4.623	1.688	3.472	11922	1063.4	13.00	5.900
1.486	0.254	7.20	4.978	1.672	3.592	14302	1373.7	14.00	7.078
1.594	0.272	7.73	5.339	1.657	3.398	15564	1603.6	15.02	7.703
1.699	0.290	8.24	5.691	1.644	4.080	21233	2331.7	16.01	10.508
1.801	0.308	8.73	6.033	1.631	4.835	28272	3291.1	16.97	13.992
1.908	0.326	9.25	6.391	1.619	4.574	30018	3702.0	17.98	14.856
2.012	0.344	9.75	6.740	1.608	3.895	28429	3697.1	18.96	14.069
2.122	0.362	10.29	7.108	1.598	3.529	28653	3929.9	20.00	14.180

Displacement in S.W. = 2020.62 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A2 S/L=0.313

Model Number : 211/11

Date : 22-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.26 Metres  
Lbulb : 82.26 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 3.89 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1593.24 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.500 Metres  
Lbulb : 3.500 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.165 Metres  
Wetted Sur.: 2.885 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 19.20 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>			
0.850	0.500	2.907	4.713	3.765	0.948	0.145	1.252	0.118
1.061	0.792	3.628	4.791	3.607	1.184	0.181	1.328	0.298
1.168	0.989	3.994	4.937	3.542	1.395	0.199	1.394	0.446
1.274	1.175	4.356	4.930	3.485	1.445	0.217	1.415	0.641
1.381	1.473	4.722	5.260	3.433	1.827	0.236	1.532	0.899
1.486	1.762	5.081	5.434	3.387	2.047	0.254	1.605	1.221
1.594	1.978	5.451	5.302	3.343	1.958	0.272	1.586	1.638
1.699	2.505	5.810	5.910	3.304	2.605	0.290	1.788	2.138
1.802	3.172	6.162	6.652	3.269	3.383	0.308	2.035	2.735
1.910	3.607	6.531	6.733	3.235	3.498	0.326	2.081	3.489
2.014	3.580	6.887	6.011	3.204	2.806	0.344	1.876	4.354
2.129	3.624	7.280	5.445	3.173	2.272	0.363	1.716	5.492

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
0.850	0.145	4.12	2.852	1.800	2.748	3888	213.6	8.01	1.678
1.061	0.181	5.14	3.560	1.747	2.931	6462	443.2	10.00	2.789
1.168	0.199	5.66	3.920	1.725	3.120	8336	629.3	11.01	3.597
1.274	0.217	6.18	4.275	1.706	3.151	10015	824.7	12.01	4.322
1.381	0.236	6.69	4.634	1.688	3.515	13127	1171.8	13.01	5.665
1.486	0.254	7.20	4.987	1.672	3.719	16084	1544.8	14.00	6.941
1.594	0.272	7.73	5.349	1.657	3.615	17988	1853.3	15.02	7.763
1.699	0.290	8.24	5.701	1.643	4.249	24017	2637.5	16.01	10.365
1.802	0.308	8.74	6.047	1.631	5.014	31885	3713.8	16.98	13.760
1.910	0.326	9.26	6.410	1.619	5.117	36558	4513.3	18.00	15.776
2.014	0.344	9.76	6.759	1.608	4.414	35064	4564.5	18.98	15.132
2.129	0.363	10.32	7.144	1.597	3.869	34342	4725.8	20.06	14.820

Displacement in S.W. = 2317.26 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : A3 S/L=0.313

Model Number : 211/11

Date : 22-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.54 Metres  
Lbulb : 82.54 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= 0.00 m  
Wetted Surf.:1785.98 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.512 Metres  
Lbulb : 3.512 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 3.234 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 19.20 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>			
0.311	0.076	1.067	4.774	4.622	0.152	0.053	1.033	0.002
0.424	0.151	1.455	5.103	4.328	0.775	0.072	1.179	0.006
0.530	0.232	1.819	5.018	4.133	0.884	0.090	1.214	0.016
0.635	0.322	2.179	4.851	3.985	0.866	0.108	1.217	0.034
0.744	0.432	2.553	4.741	3.862	0.880	0.127	1.228	0.067
0.847	0.546	2.906	4.624	3.765	0.859	0.144	1.228	0.115
0.953	0.719	3.270	4.810	3.680	1.130	0.162	1.307	0.189
1.058	0.913	3.630	4.955	3.607	1.348	0.180	1.374	0.293
1.167	1.148	4.004	5.121	3.541	1.580	0.199	1.446	0.441
1.275	1.405	4.375	5.251	3.482	1.769	0.217	1.508	0.639
1.379	1.716	4.732	5.482	3.432	2.051	0.235	1.598	0.888
1.487	2.132	5.102	5.858	3.384	2.474	0.253	1.731	1.217
1.592	2.370	5.462	5.681	3.342	2.339	0.271	1.700	1.619
1.697	2.959	5.823	6.242	3.303	2.939	0.289	1.890	2.115
1.803	3.994	6.186	7.464	3.267	4.197	0.307	2.285	2.725
1.913	4.750	6.564	7.885	3.232	4.653	0.326	2.440	3.490
2.016	4.799	6.917	7.173	3.202	3.972	0.343	2.241	4.346
2.122	4.758	7.281	6.419	3.172	3.247	0.362	2.023	5.383

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	0.053	1.51	1.047	2.069	2.221	472	9.5	2.93	0.168
0.424	0.072	2.06	1.428	1.980	2.755	1087	29.8	4.00	0.387
0.530	0.090	2.57	1.785	1.919	2.803	1729	59.2	4.99	0.615
0.635	0.108	3.08	2.138	1.872	2.738	2424	99.5	5.98	0.862
0.744	0.127	3.61	2.505	1.832	2.711	3295	158.4	7.01	1.172
0.847	0.144	4.11	2.852	1.800	2.659	4187	229.2	7.98	1.490
0.953	0.162	4.62	3.209	1.772	2.901	5784	356.3	8.98	2.058
1.058	0.180	5.13	3.562	1.747	3.095	7606	520.2	9.97	2.706
1.167	0.199	5.66	3.930	1.725	3.305	9882	745.4	11.00	3.516
1.275	0.217	6.18	4.293	1.705	3.473	12395	1021.5	12.01	4.410
1.379	0.235	6.68	4.643	1.687	3.738	15604	1390.9	12.99	5.552
1.487	0.253	7.21	5.007	1.671	4.145	20118	1933.6	14.01	7.158
1.592	0.271	7.72	5.361	1.656	3.995	22230	2287.4	15.00	7.909
1.697	0.289	8.23	5.714	1.643	4.582	28967	3177.2	15.99	10.306
1.803	0.307	8.74	6.071	1.630	5.827	41585	4846.3	16.99	14.795
1.913	0.326	9.27	6.441	1.618	6.271	50380	6229.3	18.03	17.924
2.016	0.343	9.77	6.788	1.607	5.579	49774	6485.8	19.00	17.708
2.122	0.362	10.29	7.145	1.597	4.843	47877	6566.7	20.00	17.033

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : B3 S/L=0.313

Model Number : 211/11

Date : 23-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.79 Metres  
Lbulb : 82.79 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.43 Metres  
Trim : t= -0.50 m  
Wetted Surf.:1783.77 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.523 Metres  
Lbulb : 3.523 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.189 Metres  
Wetted Sur.: 3.230 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 19.00 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	0.089	1.079	5.456	4.611	0.844	0.054	1.183	0.002
0.425	0.154	1.456	5.186	4.328	0.858	0.072	1.198	0.006
0.532	0.230	1.822	4.943	4.132	0.811	0.090	1.196	0.016
0.639	0.321	2.188	4.782	3.982	0.800	0.109	1.201	0.035
0.747	0.429	2.558	4.676	3.860	0.816	0.127	1.211	0.068
0.850	0.551	2.911	4.639	3.764	0.875	0.145	1.233	0.116
0.955	0.713	3.271	4.755	3.680	1.075	0.162	1.292	0.189
1.061	0.899	3.634	4.857	3.606	1.251	0.180	1.347	0.294
1.166	1.112	3.993	4.975	3.542	1.433	0.198	1.404	0.437
1.272	1.377	4.356	5.177	3.485	1.692	0.216	1.485	0.629
1.379	1.701	4.723	5.441	3.433	2.008	0.235	1.585	0.882
1.488	2.082	5.096	5.719	3.385	2.335	0.253	1.690	1.213
1.593	2.352	5.456	5.637	3.343	2.295	0.271	1.687	1.613
1.698	2.924	5.815	6.169	3.304	2.865	0.289	1.867	2.107
1.804	3.856	6.178	7.207	3.268	3.939	0.307	2.206	2.714
1.911	4.647	6.545	7.740	3.234	4.506	0.325	2.393	3.453
2.016	4.717	6.905	7.059	3.203	3.857	0.343	2.204	4.318
2.122	4.717	7.268	6.372	3.174	3.198	0.361	2.008	5.349

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	0.054	1.53	1.064	2.065	2.909	633	12.9	2.97	0.225
0.425	0.072	2.06	1.435	1.978	2.837	1123	30.9	4.00	0.400
0.532	0.090	2.58	1.797	1.917	2.728	1693	58.2	5.01	0.602
0.639	0.109	3.10	2.158	1.869	2.670	2390	98.7	6.02	0.850
0.747	0.127	3.62	2.523	1.830	2.646	3238	156.3	7.04	1.152
0.850	0.145	4.12	2.871	1.798	2.673	4235	232.7	8.01	1.507
0.955	0.162	4.63	3.225	1.770	2.846	5691	351.3	9.00	2.025
1.061	0.180	5.14	3.583	1.746	2.997	7397	507.3	10.00	2.632
1.166	0.198	5.65	3.938	1.724	3.157	9410	709.2	10.99	3.348
1.272	0.216	6.17	4.296	1.705	3.396	12048	990.6	11.99	4.286
1.379	0.235	6.68	4.657	1.687	3.695	15405	1373.1	12.99	5.481
1.488	0.253	7.21	5.026	1.670	4.005	19442	1869.9	14.02	6.917
1.593	0.271	7.72	5.380	1.655	3.950	21980	2263.1	15.01	7.820
1.698	0.289	8.23	5.735	1.642	4.507	28489	3126.7	16.00	10.136
1.804	0.307	8.75	6.093	1.629	5.568	39733	4633.0	17.00	14.136
1.911	0.325	9.26	6.454	1.617	6.123	49030	6056.1	18.01	17.444
2.016	0.343	9.77	6.809	1.606	5.463	48680	6343.3	19.00	17.319
2.122	0.361	10.29	7.167	1.596	4.794	47331	6491.8	20.00	16.839

Displacement in S.W. = 2810.78 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>

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

Ship Name : CARGO\_EXPRESS\_3

Test Condition : C3 S/L=0.313

Model Number : 211/11

Date : 23-11-12

Model Scale = 1: 23.5

Trip Wires :YES

Ship Data

LWL : 82.86 Metres  
Lbulb : 82.86 Metres  
BWL : 21.00 Metres  
T : 4.42 Metres  
Trim : t= -1.00 m  
Wetted Surf.:1781.01 m<sup>2</sup>  
S. W. Temp. : 15.00 Degrees  
Dcf\*1000 : 0.0000

Model Data

LWL : 3.526 Metres  
Lbulb : 3.526 Metres  
BWL : 0.894 Metres  
T : 0.188 Metres  
Wetted Sur.: 3.225 m<sup>2</sup>  
F. W. Temp.: 19.00 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	0.089	1.080	5.464	4.610	0.854	0.054	1.185	0.002
0.419	0.143	1.436	4.962	4.340	0.622	0.071	1.143	0.006
0.529	0.232	1.813	5.050	4.136	0.915	0.090	1.221	0.016
0.635	0.316	2.177	4.774	3.986	0.788	0.108	1.198	0.034
0.742	0.421	2.543	4.658	3.864	0.794	0.126	1.205	0.066
0.850	0.562	2.914	4.739	3.763	0.976	0.145	1.259	0.116
0.955	0.713	3.274	4.763	3.679	1.083	0.162	1.294	0.189
1.059	0.886	3.630	4.813	3.607	1.206	0.180	1.334	0.291
1.166	1.096	3.997	4.911	3.542	1.369	0.198	1.387	0.436
1.275	1.342	4.370	5.029	3.483	1.546	0.217	1.444	0.634
1.382	1.644	4.737	5.244	3.431	1.813	0.235	1.528	0.889
1.488	2.017	5.100	5.549	3.384	2.165	0.253	1.640	1.211
1.593	2.273	5.460	5.457	3.342	2.115	0.271	1.633	1.610
1.700	2.857	5.827	6.022	3.303	2.720	0.289	1.824	2.114
1.804	3.858	6.184	7.222	3.267	3.955	0.307	2.210	2.710
1.912	4.550	6.554	7.582	3.233	4.349	0.325	2.345	3.455
2.015	4.622	6.907	6.935	3.203	3.732	0.343	2.165	4.302
2.117	4.703	7.257	6.393	3.174	3.218	0.360	2.014	5.289

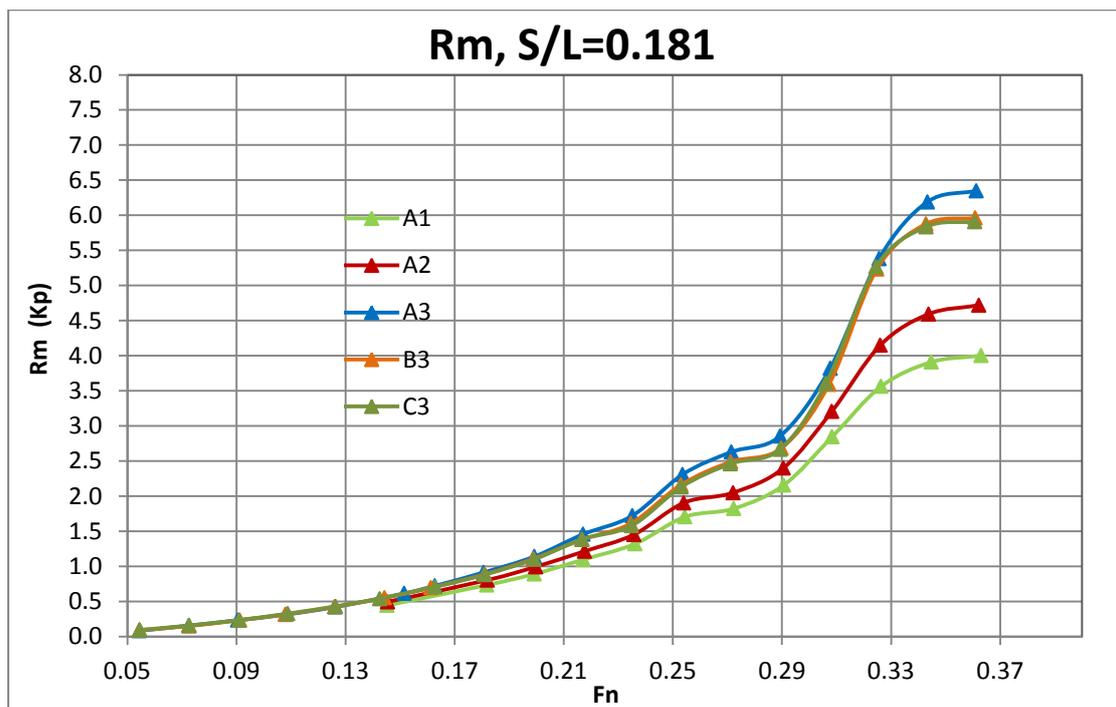
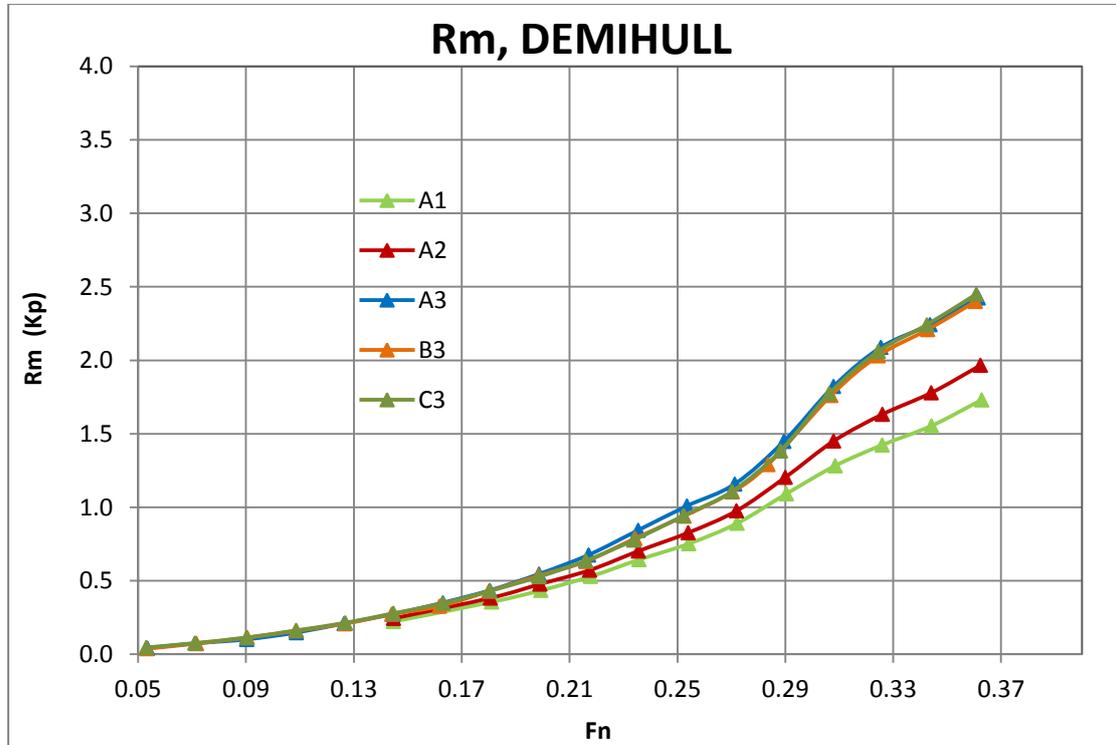
VM	FN	VS	RNS	CFS	CTS	RS	EHP	Vkn	RS/DISPL
m/s		m/s	*10 <sup>-8</sup>	*10 <sup>3</sup>	*10 <sup>3</sup>	Kp	PS	Knots	Kp/Ton
0.315	0.054	1.53	1.065	2.065	2.918	634	12.9	2.97	0.226
0.419	0.071	2.03	1.416	1.982	2.605	1001	27.1	3.95	0.356
0.529	0.090	2.56	1.788	1.919	2.833	1736	59.3	4.98	0.618
0.635	0.108	3.08	2.146	1.871	2.659	2347	96.3	5.98	0.835
0.742	0.126	3.60	2.508	1.831	2.625	3164	151.8	6.99	1.126
0.850	0.145	4.12	2.873	1.798	2.774	4387	241.0	8.01	1.561
0.955	0.162	4.63	3.228	1.770	2.854	5698	351.7	9.00	2.027
1.059	0.180	5.13	3.580	1.746	2.952	7247	496.1	9.98	2.578
1.166	0.198	5.65	3.941	1.724	3.093	9206	693.8	10.99	3.275
1.275	0.217	6.18	4.310	1.704	3.250	11567	953.2	12.01	4.115
1.382	0.235	6.70	4.672	1.686	3.499	14629	1306.8	13.02	5.205
1.488	0.253	7.21	5.030	1.670	3.835	18590	1787.9	14.02	6.614
1.593	0.271	7.72	5.385	1.655	3.770	20943	2156.4	15.01	7.451
1.700	0.289	8.24	5.746	1.642	4.361	27592	3031.9	16.02	9.817
1.804	0.307	8.75	6.098	1.629	5.584	39781	4638.5	17.00	14.153
1.912	0.325	9.27	6.463	1.617	5.966	47747	5900.7	18.02	16.987
2.015	0.343	9.77	6.811	1.606	5.338	47451	6180.0	18.99	16.882
2.117	0.360	10.26	7.156	1.596	4.815	47236	6463.5	19.95	16.805

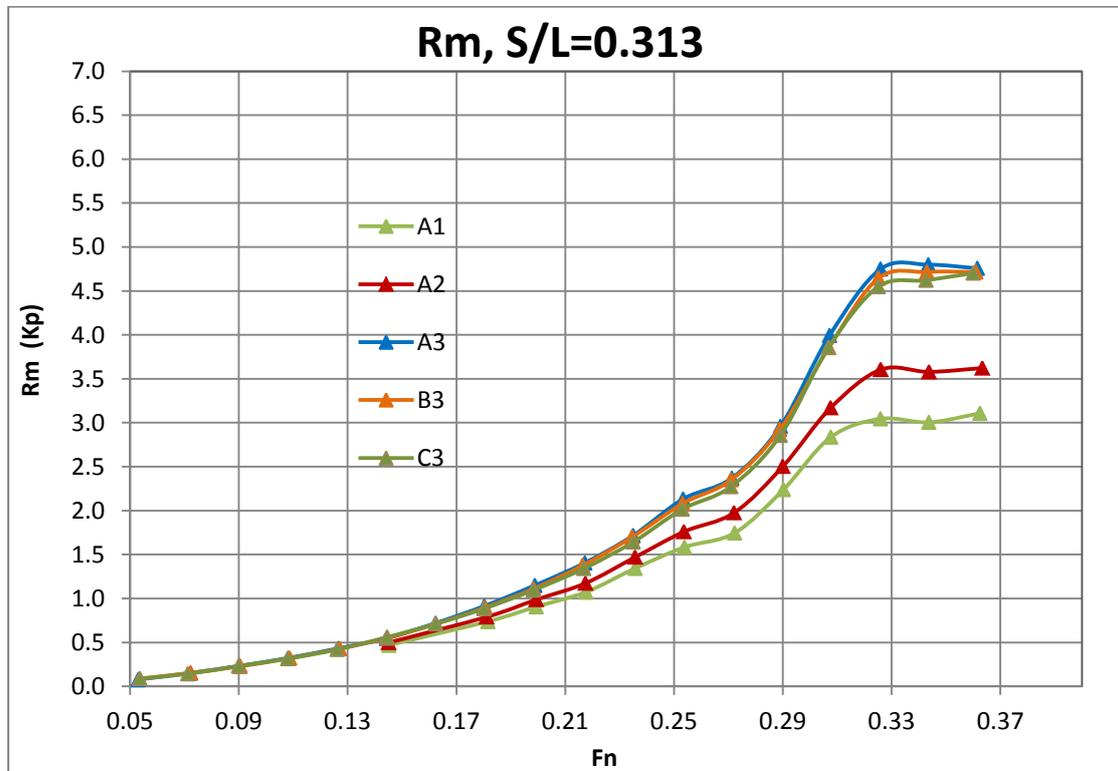
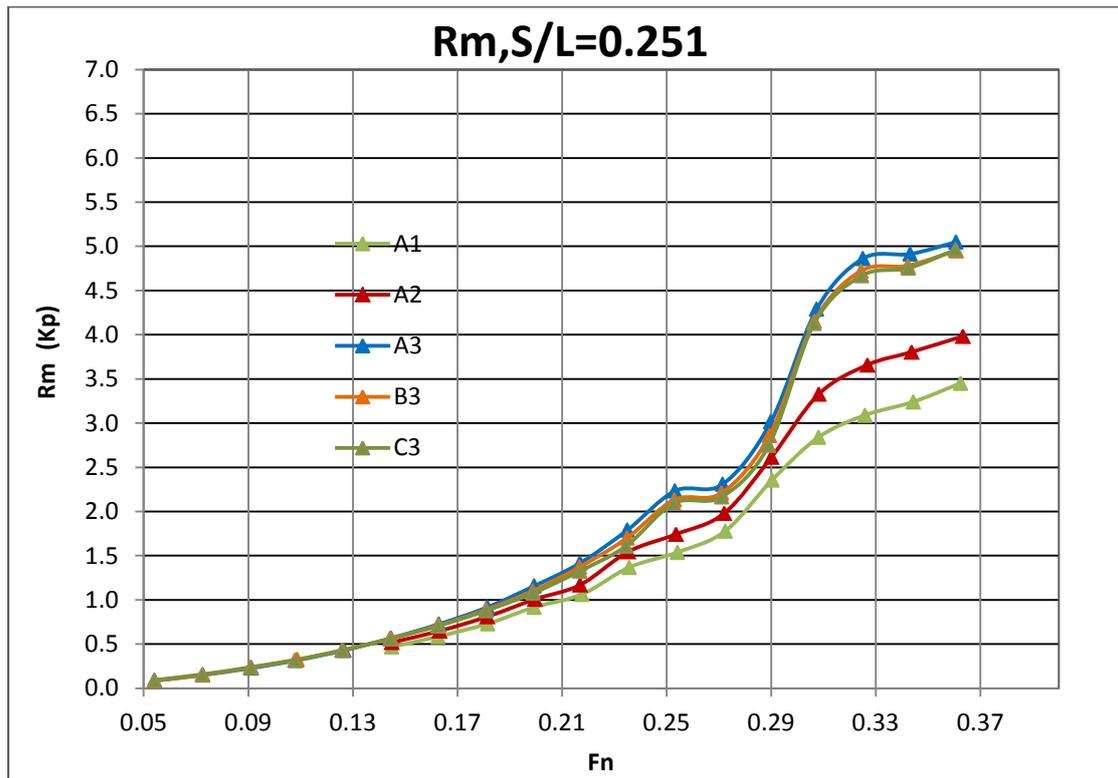
Displacement in S.W. = 2810.78 Tonnes

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

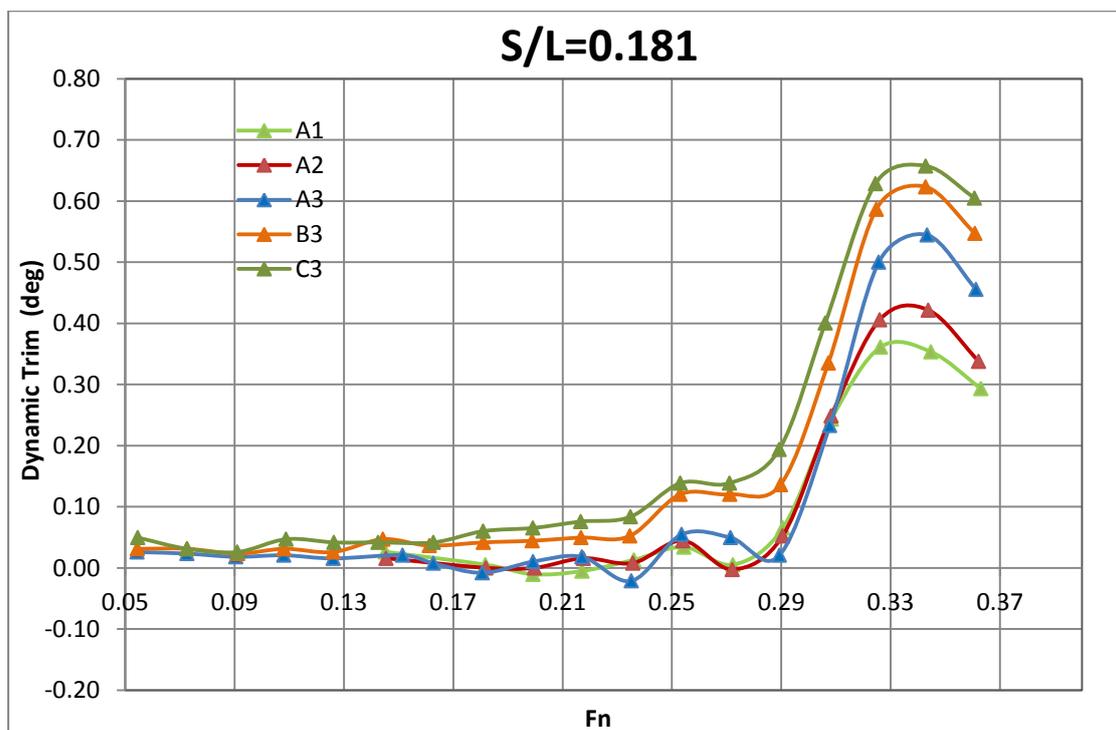
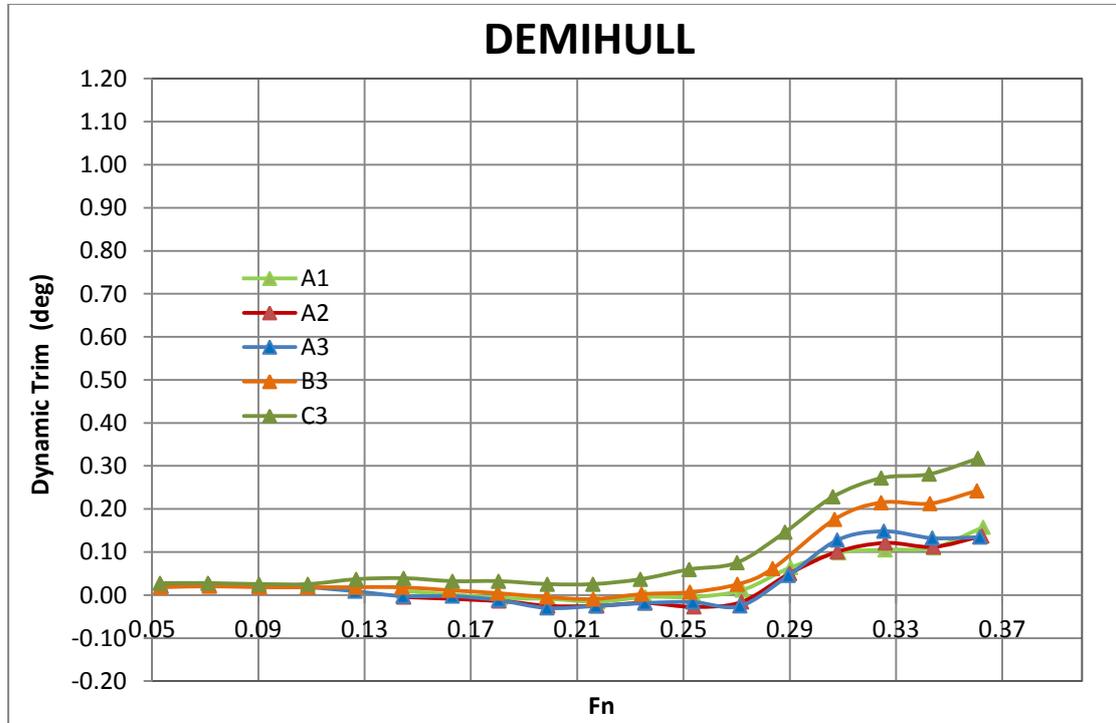
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ  $k_p$  ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ  $S/L$  ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.

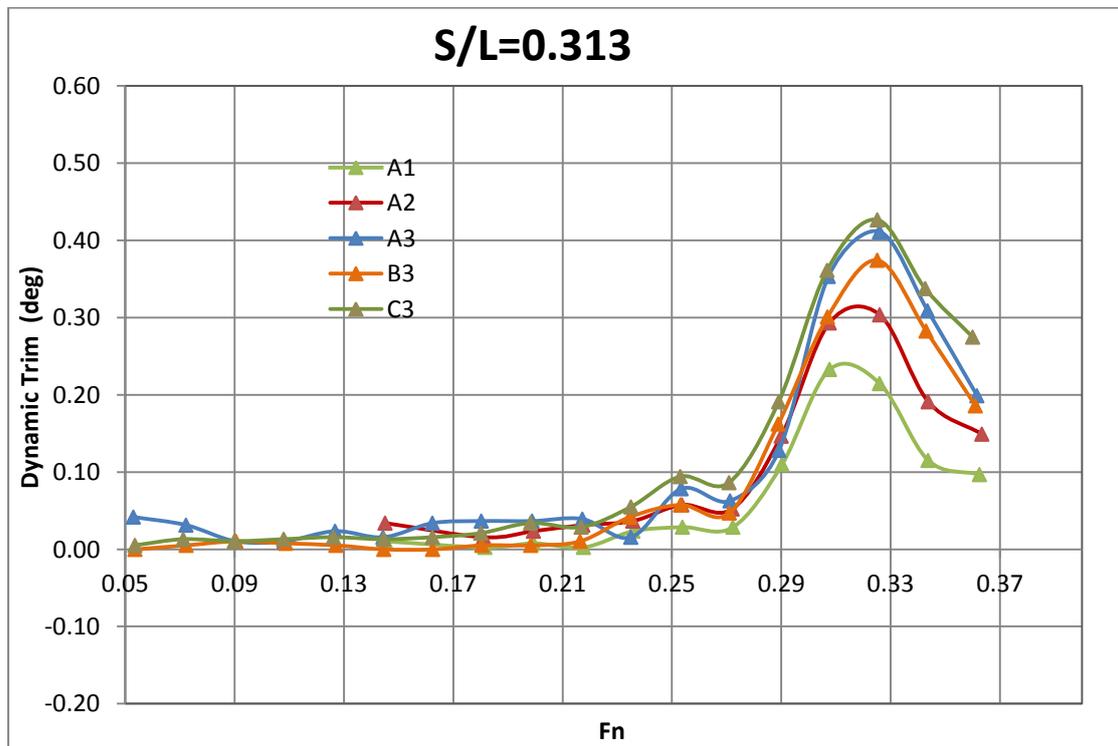
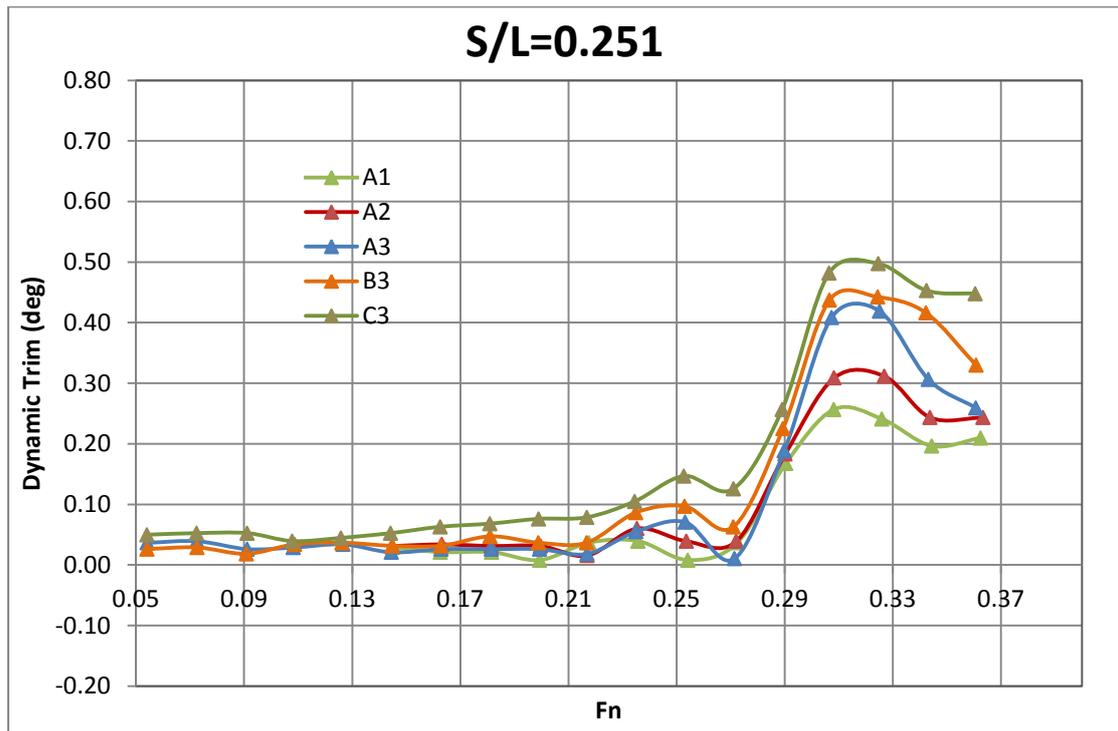




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

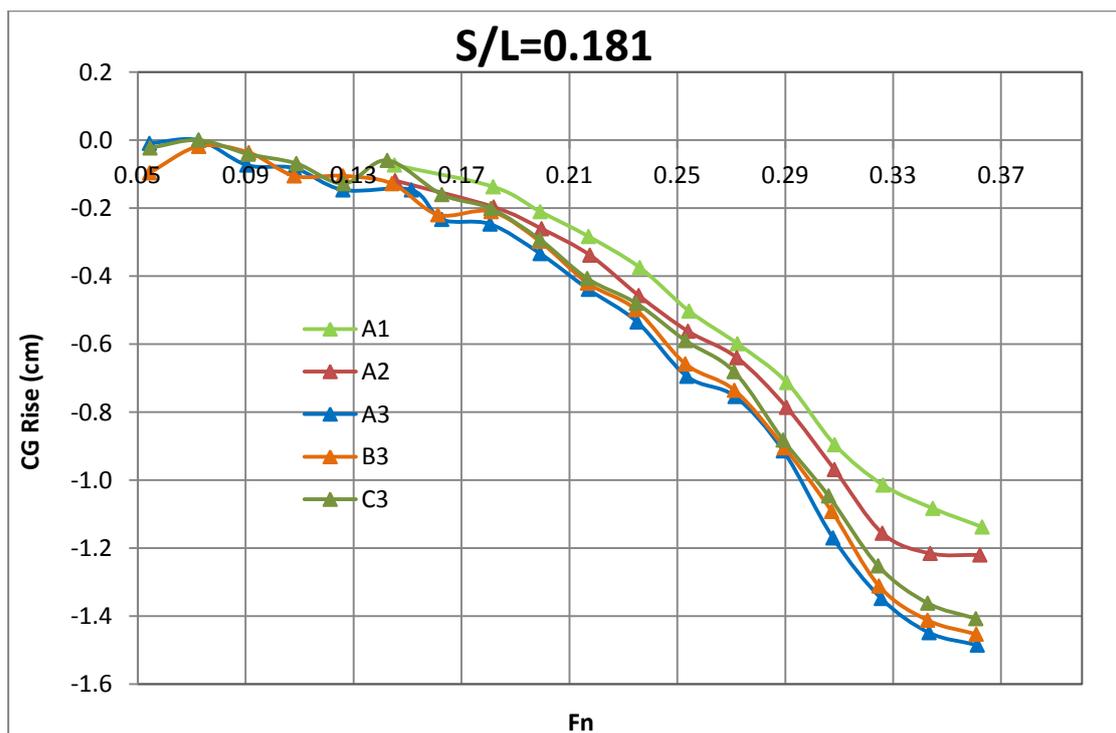
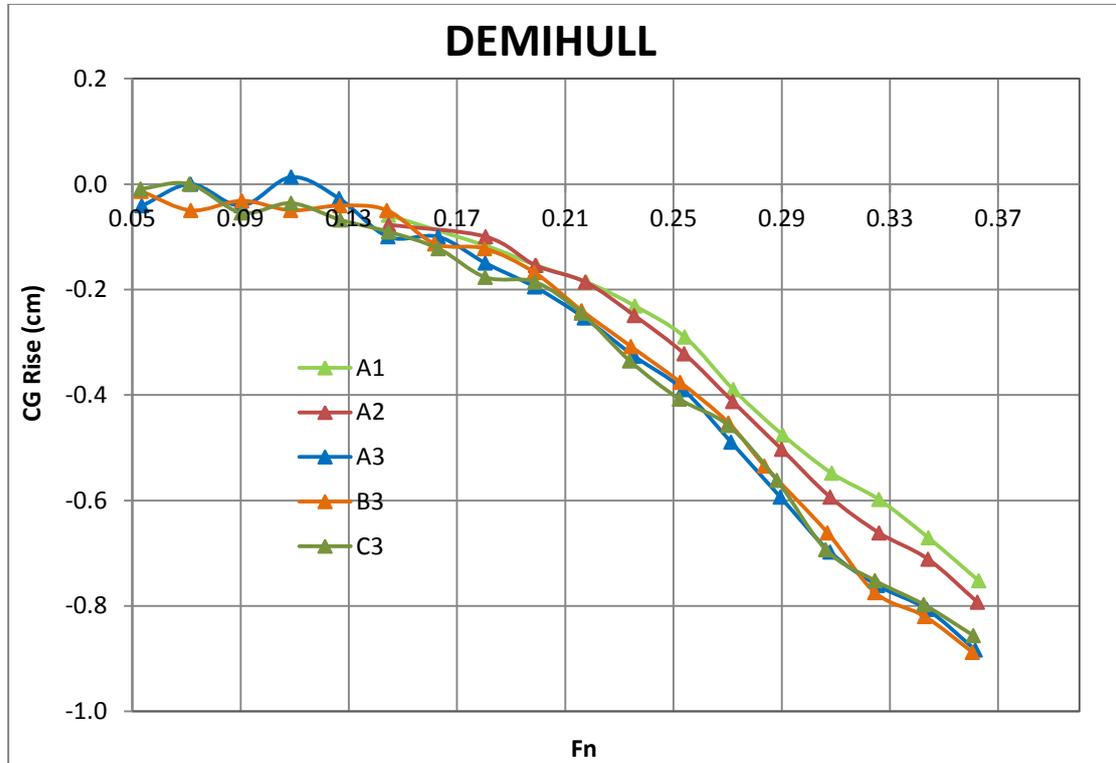
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ  
ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ S/L ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.

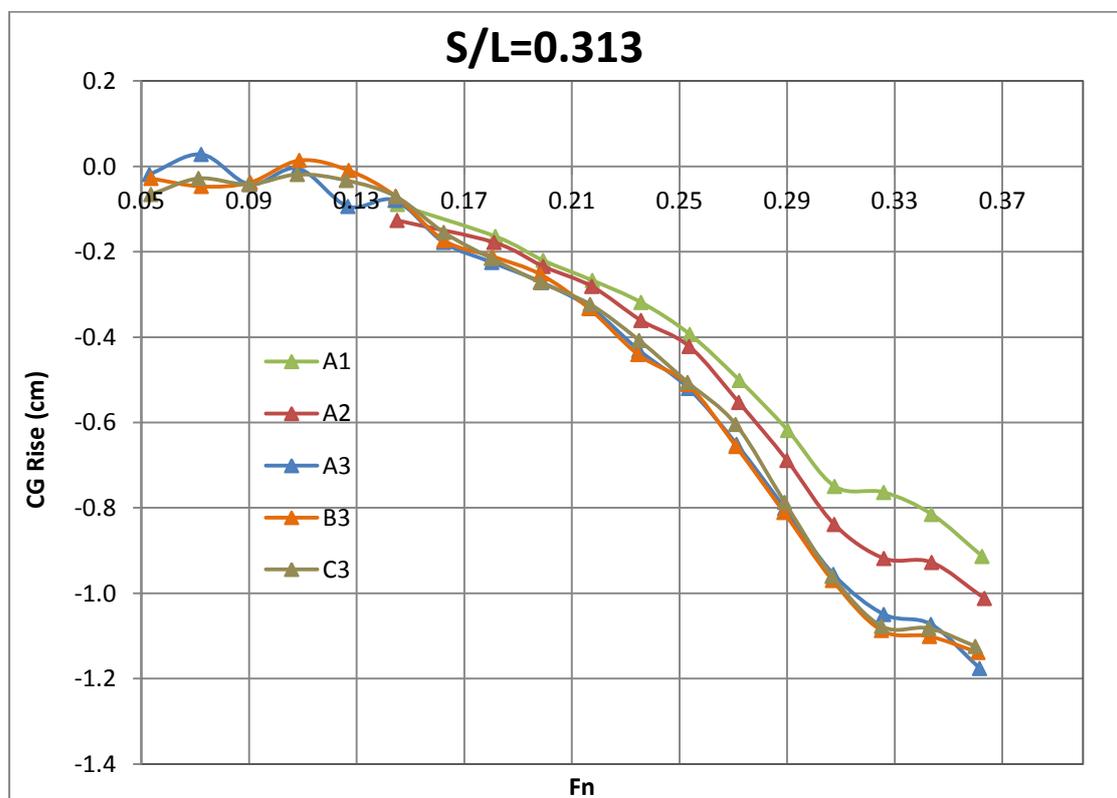
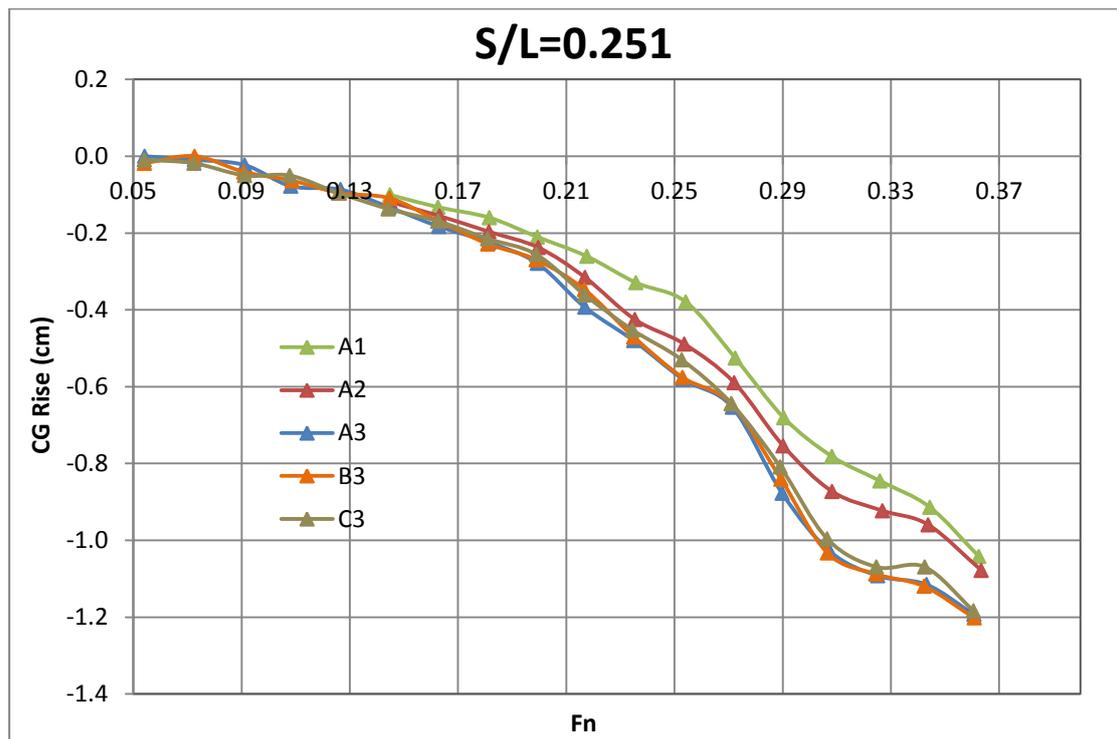




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

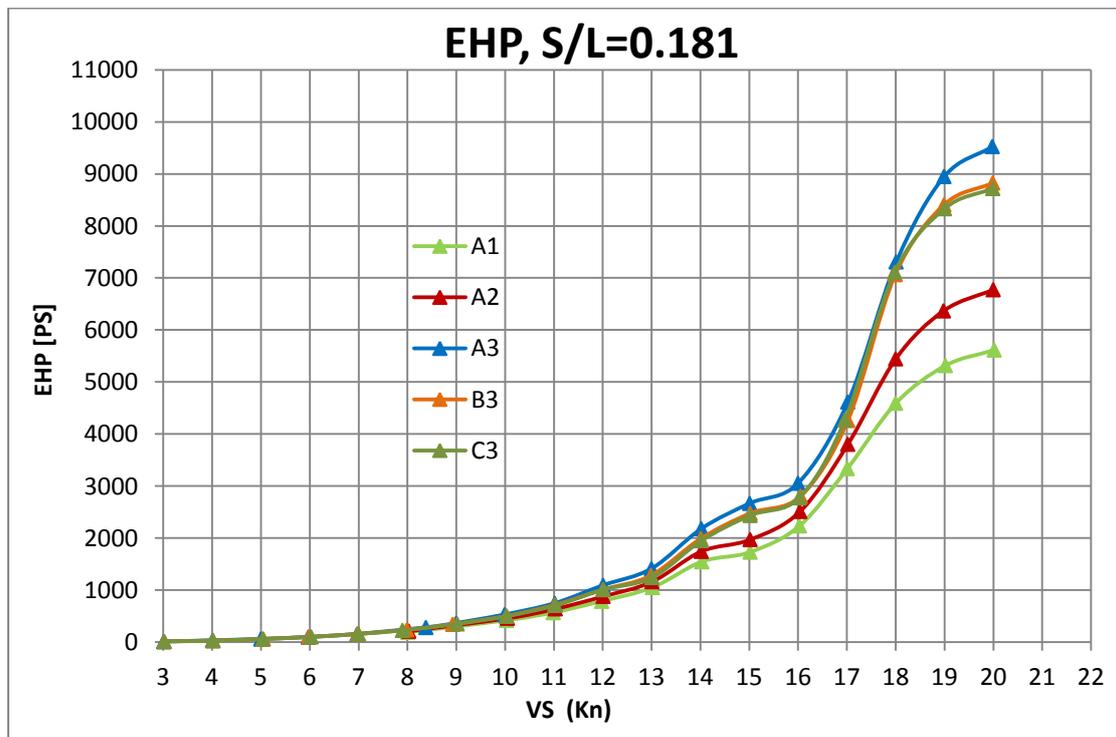
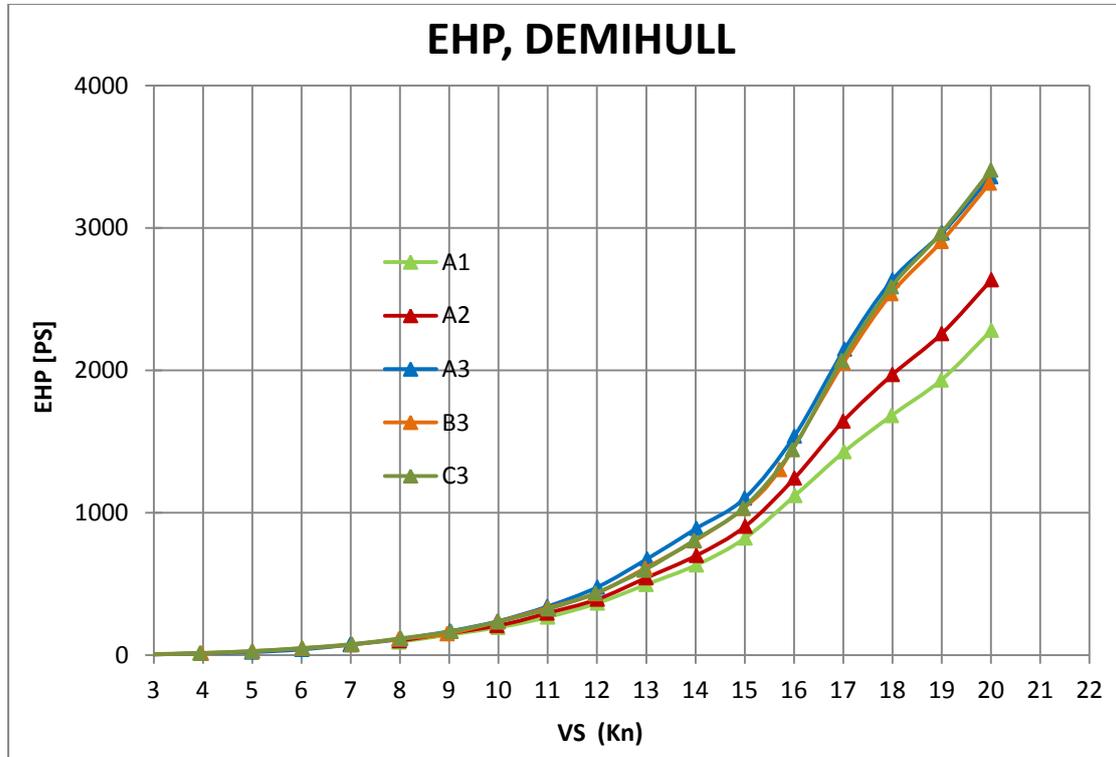
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ cm ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ  
ΓΑΣΤΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ S/L ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE.

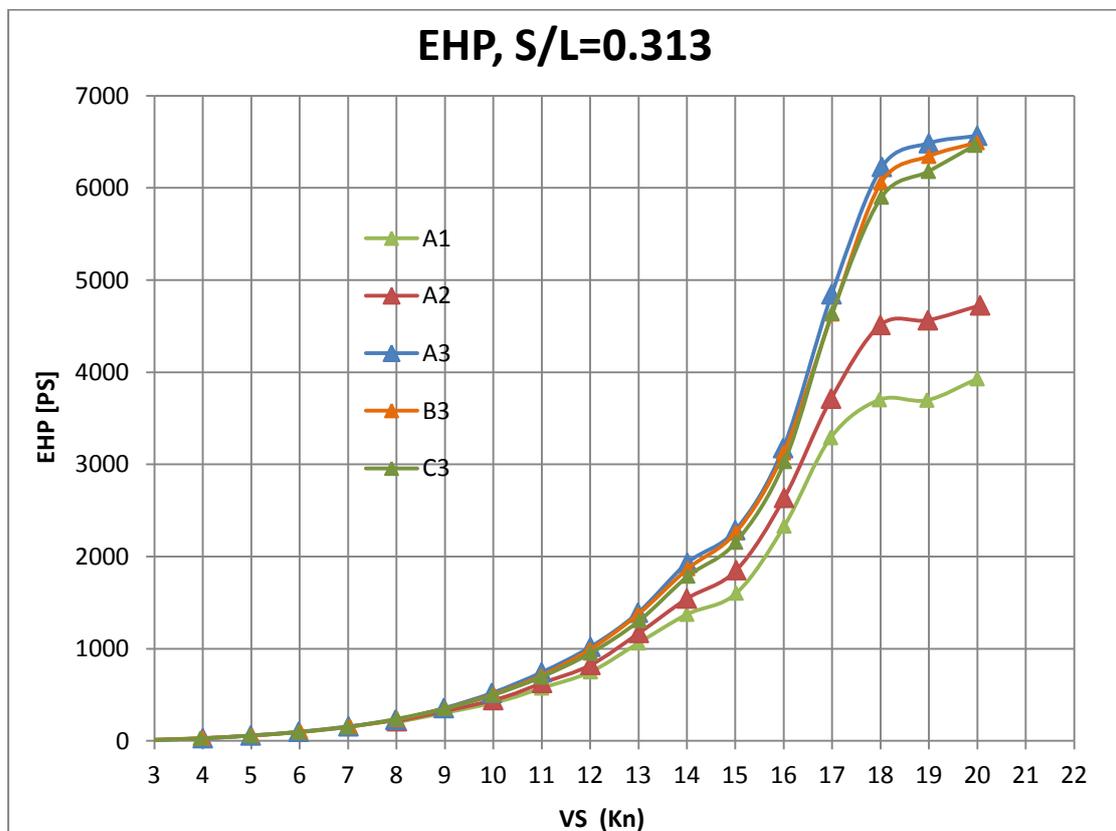
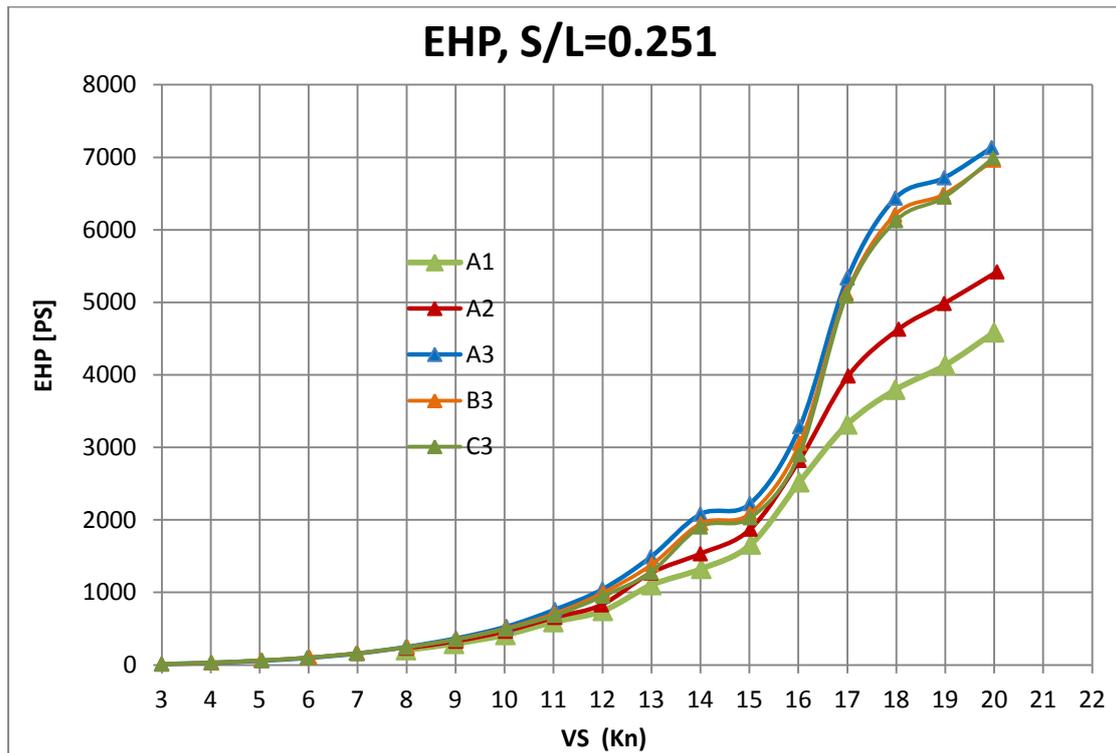




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

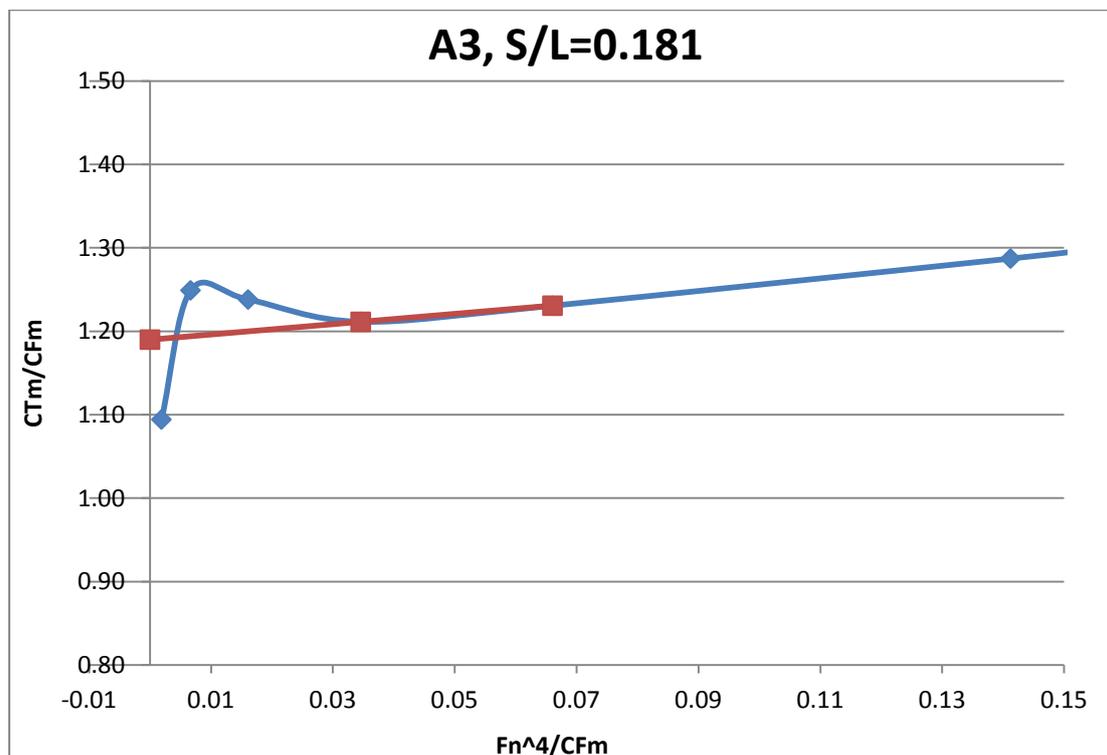
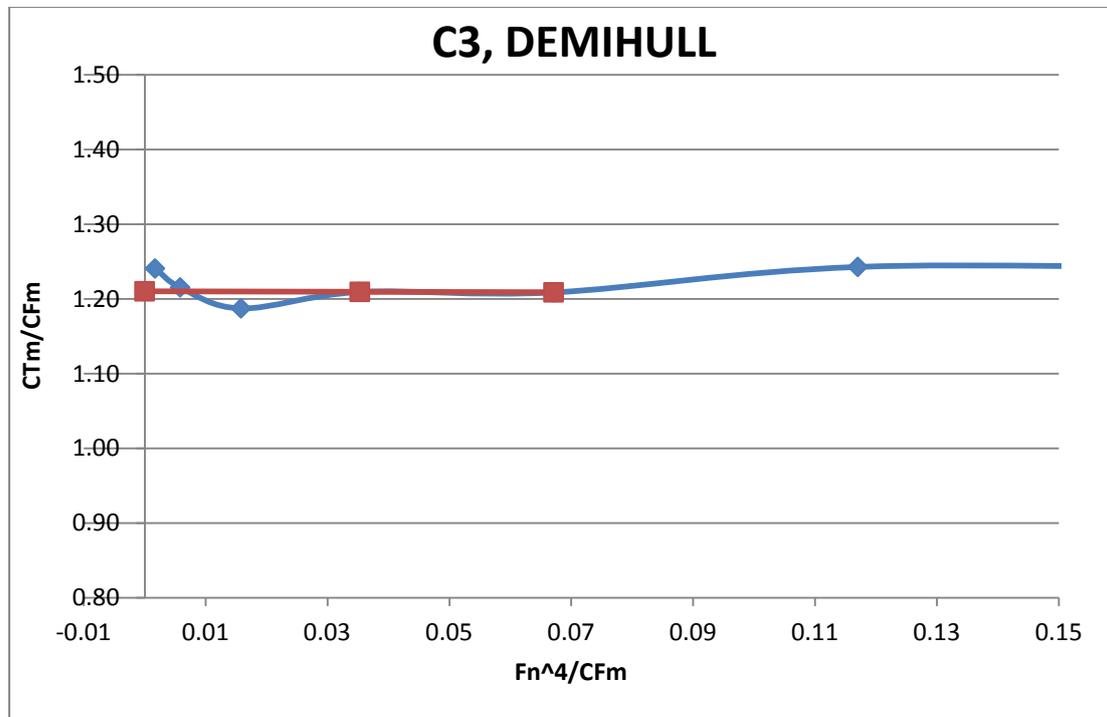
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ PS ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΓΑΣΤΡΕΣ  
ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΛΟΓΟΥΣ S/L ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ.

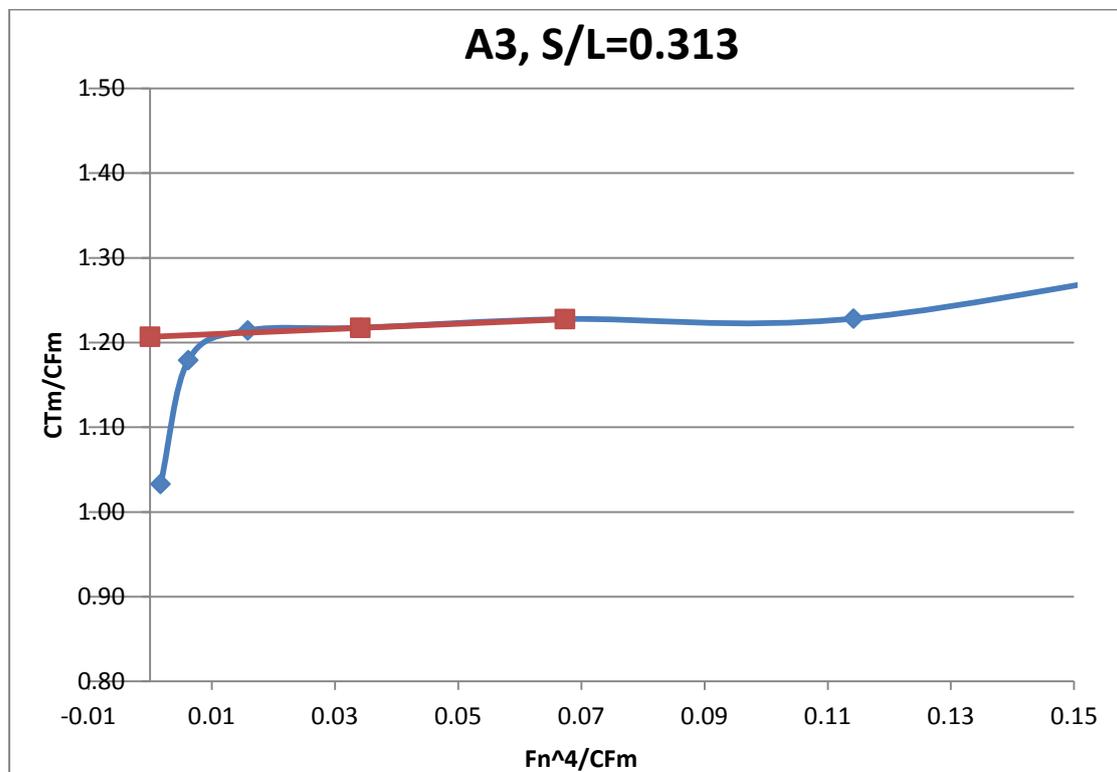
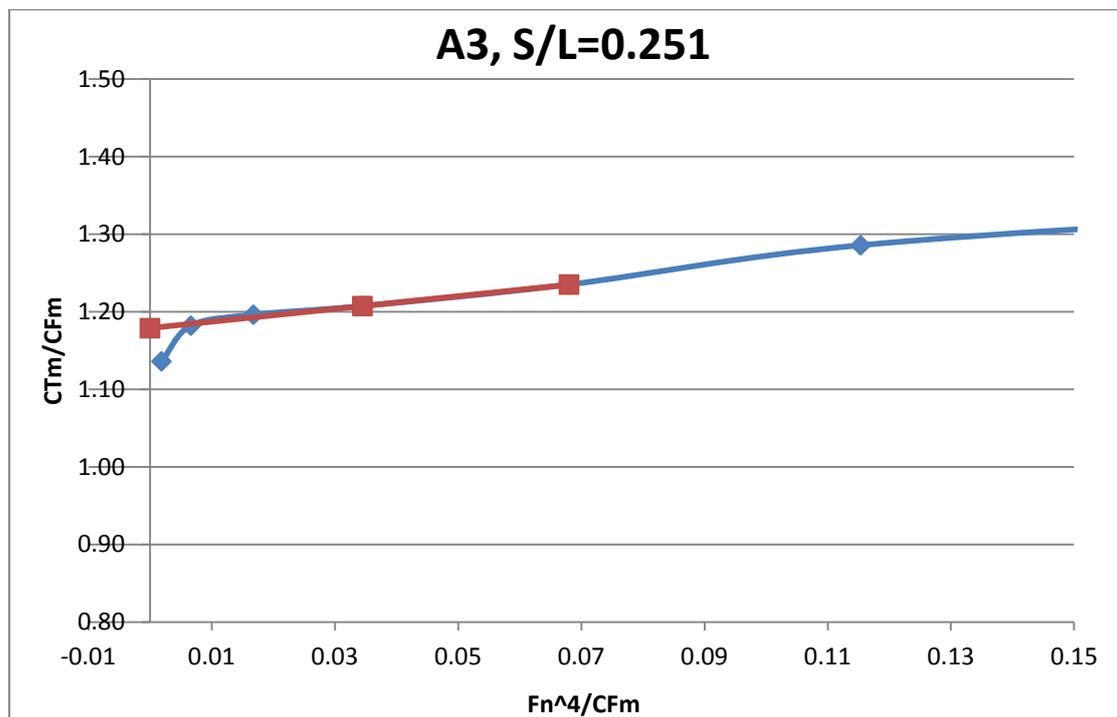




## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ  $k$  ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROHASKA ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HUGHES.





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ INPUT FILE ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Α3 ΤΟΥ ΜΟΝΟΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ  
ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΩΝ 17 knots.

```

SDC_Hull_b_panelw_a3_17
-----GENERAL DATA-----
IWIT_KCRT_IVIS_NGRI_MAD7_
0      01      0      0
VELIN_____FROUDE_____DENSIT_____GRAV_____
-17.0_____          997.      9.81
VISCOS
1.E-6
SCALEL_____XLWL_____UCROSS_____CROSSL_____
-00.00_____ 082.600      +20.
XGRAV_____YGRAV_____ZGRAV_____
37.663_____ -0.000      -3.0
EXALA_____TRIM_____URSINK_____URTRIM_____SINKLIM_____TRIMLIM_____
5.323_____ -0.12798
DZWMIN_____DZWMAX_____DSURF_____FREBO_____FRELAS_____DYGMIN_____
0.010_____ 0.100      +0.010      30.
ISYM_MAST_NGRI_NDZS_NDYS_
1      4000      000      000      -000
ISUR_NSUR_ISPL_LAGR_ISU3_
+2      1      +0      01
IDOB_NONO_MODG_
      1      +1
IBUL_IHUB_NPKE_LTRA_KUTT_
2      0      000      +1      +4
NKBL_NKHB_LABA_ISUB_ITRL_
15      00      00
IVER_JUPA_IASC_ICON_ITRAV_
+1      00      -4      +0
JSUR_NOWC_KSCO_KGBC_MODE_
-02      -01      00      +000
ISIN_ITRI_KSIN_KTRI_
000      000      000      000
NK1M_NK2M_N3BM_N3SM_NK4M_NK5M_
070      25      60      60      40      090
NK1S_NK2S_N3BS_N3SS_NK4S_NK5S_
0
NK1F_NK2F_N3BF_N3SF_NK4F_NK5F_
0
NI1M_NI1S_NI1F_NJ1M_NJ1S_NJ1F_
30      00      0      100      00      0
DSURMA_____DSURMI_____TANEPT_____TANEPL_____TANBOD_____TANTRA_____YMINWA_____
-0.010      0.001      -0.      -00.      +45.      +45.00      -09.500
DELTAT_____YCOREC_____DXSCOB_____DXSCOS_____DXSCOR_____COSMAT_____TANZG_____
-0.030      -2.0      0.      -00.0      0.      10000.      +60.
URFVS_____URFTIM_____URFSUR_____URFBEM_____URFLEM_____BERNOUL_____URFPS_____
1.0      -0.0      -0.0      -0.0      0.00      -0.      -1.0
ZBULB_____ZBOW_____ZCUT1_____ZCUT2_____ZCUT3_____ZSTER_____
-02.500      -00.000      00.000      71.500      71.500      80.500

```

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ  
ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΒΟΛΒΟ**

```

ZG1_____ ZMID_____ ZG4_____ ZG34_____ ZTRANS_____ HTRA_____ BTRA_____
-
-080.00      36.      240.00      0.0000      80.500
DZBULB_____ DZBOWM1_____ DZBOWP1_____ DZKB1M1_____ DZSTERM1_____ DZSTERP1_____
0.15      +0.3000      0.0000      0.3      0.3      0.3
OM3B_____ DZKF1_____ ZPAR1_____ ZPAR2_____ Z1KEEL_____ Z2KEEL_____
1.5      0.400      0.      0.000
APLUS_____ BPLUSB_____ BPLUSS_____ DZHULL_____
0.100      0.150      0.20      0.100
ZHUB_____ DZHUB_____
000.000      0.000
IVDH_MAXH_NST_IDAN_
0      030      04
ISAV_ISAF_ISAM_MODF_
-2      00      9000
RR1_____ RR2_____ SORMH_____
0.0      0.0      0.0001
CONFOR*****
*****
ICU1_ICU2_ICU3_ICB1_ICB2_
0      00      0
KVDU_IPRK_IPR2_IPRB_IPLO_
-0      0      +0      +0      +0
ZCUB1_____ ZCUB2_____ ZCUBB1_____ ZCUBB2_____
0.      00.
GRID*****
*****
NISO_IXCO_KVDU_ITRB_IKB1_
10      000      -1      0
NI1_NI2_NI3_NI4_NI5_NIBU_
40      40      40      20      40      40
IAB3_IAM3_IAS3_ISPS_ITRS_INTR_
3      3      3      10
DRINV_____ ANJY_____ EXPA3Y_____ DAR1_____ DAR2_____ DAR3_____ DAR4_____
0.01
EXPAB_____ EXPAD_____ EXPA2B_____ EXPA2S_____ EXPA3S_____ BSKB2_____
0.      0.05
DEXFIR_____ DEXLAS_____ BCANAL_____ BCANALD_____ DCANAL_____
060.0      140.0
NKB_NJB_NJD_IADB_
      -0

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΚΑΙ  
ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.

ΘΕΡΜΟ- ΚΡΑΤΙΑ °C	ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ		ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	
	Πυκνότητα $\rho$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Κινηματικό λέμβος $\nu$ $\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \times 10^6$	Πυκνότητα $\rho$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Κινηματικό λέμβος $\nu$ $\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \times 10^6$
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, “ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΟΙΟΥ”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ 2008
- 2) Στυλιανός Πολύζος, “Numerical Investigation of the Wave Resistance of Catamaran Ships using Potential Solvers”, Master Thesis, July 2010, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Γ.Τζαμπίρας)
- 3) Θ.Α Λουκάκης, Γ.Ι Γρηγορόπουλος, “Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ 1996
- 4) Α.Δ Παπανικολάου, “Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ 2009
- 5) Γ. Ζαραφωνίτης, “Εισαγωγή στη Ναυπηγική και τη Θαλάσσια Τεχνολογία”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ 2005
- 6) Κ. Νίκας, “Πειραματική και Αριθμητική Διερεύνηση Αντίστασης Δίγαστρου Πλοίου”, ΑΘΗΝΑ 2012 (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Γ.Τζαμπίρας)
- 7) Ν. Βασιλειάδης, “Πειραματική και Αριθμητική Διερεύνηση Αντίστασης Πλοίων Τύπου Semi-Swath”, ΑΘΗΝΑ 2010, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Γ.Γρηγορόπουλος)
- 8) Σ. Τσαγκάρης, “Μηχανική των Ρευστών”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ 2005
- 9) Γ. Μπεργελές, “Υπολογιστική Ρευστομηχανική”, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ 2006