



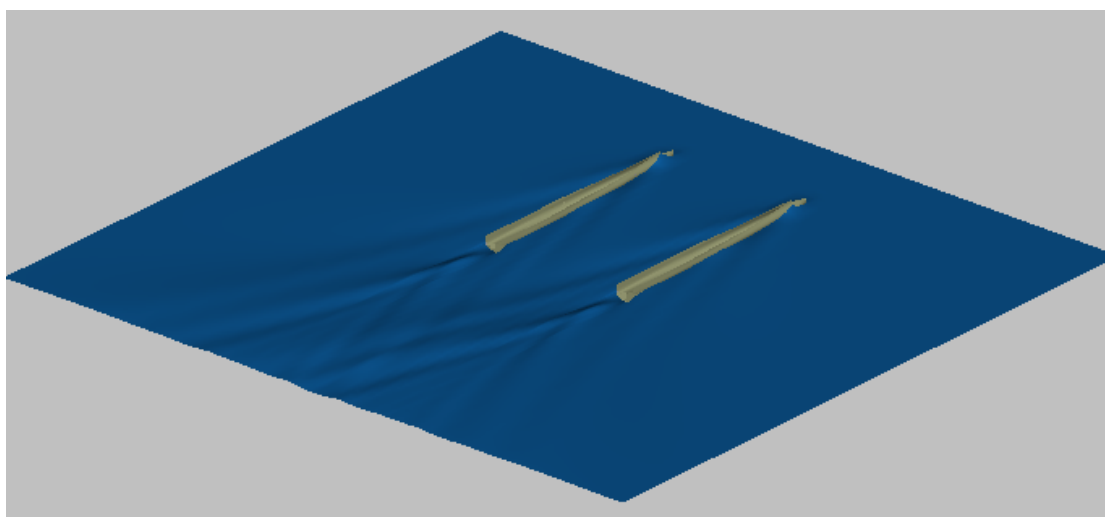
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ SEMI-SWATH”**



Όνομα: ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1 – Σκάφη Τύπου semi-SWATH.....σελ. 1

Κεφάλαιο 2 – Παρουσίαση Υπό Μελέτη Σκαφών

2.1 – Εισαγωγή.....σελ. 4

2.2 – semi-SWATH A.....σελ. 4

2.3 – semi-SWATH B.....σελ. 5

Κεφάλαιο 3 – Αντίσταση Δίγαστρου Σκάφους

3.1 – Αντίσταση και Συνιστώσες.....σελ. 6

3.2 – Αντίσταση Δίγαστρων Σκαφών.....σελ. 7

3.3 – Αντίσταση Κυματισμού.....σελ. 9

Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διερεύνηση Αντίστασης

4.1 – Εισαγωγή.....σελ. 12

4.2 – Πειραματική Διάταξη.....σελ. 14

4.3 – Πρότυπα Σκάφη Πειραματικής Μελέτης.....σελ. 18

4.4 – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....σελ. 22

4.4.1 – semi-SWATH A.....σελ. 22

4.4.2 – semi-SWATH B.....σελ. 30

Κεφάλαιο 5 – Αριθμητικοί Υπολογισμοί μέσω SWAN 2

5.1 – Εισαγωγή.....σελ.	38
5.2 – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....σελ.	40
5.2.1 – semi-SWATH A.....σελ.	40
5.2.2 – semi-SWATH B.....σελ.	43
5.3 – Συμπεράσματα.....σελ.	46

Κεφάλαιο 6 – Αριθμητικοί Υπολογισμοί μέσω Shipflow

6.1 – Εισαγωγή.....σελ.	47
6.2 – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....σελ.	49
6.2.1 – semi-SWATH A.....σελ.	50
6.2.2 – semi-SWATH B.....σελ.	53
6.3 – Συμπεράσματα.....σελ.	56

Κεφάλαιο 7 – Αριθμητικοί Υπολογισμοί μέσω RAPID

8.1 – Εισαγωγή.....σελ.	57
8.2 – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....σελ.	59

Κεφάλαιο 8 – Σύγκριση Πειραματικών και Αναλυτικών Αποτελεσμάτων

8.1 – Μέθοδος Hughes – Σύγκριση C_Rσελ.	64
8.2 – Μέθοδος Froude – Σύγκριση C_Tσελ.	66
8.2.1 – semi-SWATH A.....σελ.	68
8.2.2 – semi-SWATH B.....σελ.	73
8.3 – Σύγκριση wavecuts.....σελ.	77
8.4 – Σύγκριση μέσω wave pattern.....σελ.	86

Κεφάλαιο 9 – Συμπεράσματα.....σελ 96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο “Πειραματική και Αριθμητική Διεύθυνση Αντίστασης Πλοίων Τύπου semi-SWATH” εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2009-2010 στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών στη σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου της Αθήνας.

Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής κο Γ.Γρηγορόπουλο για την εμπιστοσύνη της ανάθεσης αυτής της διπλωματικής, για την καθοδήγησή του, αλλά και για την προθυμία να μου επιτρέψει τη χρήση του υπολογιστή στο γραφείο του όποτε εγώ επιθυμούσα, καθώς και τους καθηγητές Γ. Ζαραφονίτη και Γ. Τζαμπίρα για την αξιολόγηση της διπλωματικής.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους Ι.Τραχανά (ΕΤΕΠ), Φ.Κασάπη (ΕΕΔΙΠ), Δ.Συνετό (ΕΕΔΙΠ) και Δ. Λιαροκάπη Διπλ. Μηχ. Μηχανικό (ΙΔΑΧ) (Υ/Δ) για τη διεκπόνηση των πειραματικών μετρήσεων, τον Γ.Μυλωνά (Προτυποποιό) (ΙΔΑΧ) για την κατασκευή των πρότυπων μοντέλων και τη βοήθειά του στην προετοιμασία τους, καθώς και τον Δ. Τριπερίνα Διπλ. Ναυπηγό Μηχ. Μηχανικό (ΙΔΑΧ) για την καθοδήγησή του και τη βοήθειά του στην ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Δ. Μουρκογιάννη (Υ/Δ) για την πολύτιμη συμμετοχή του όσον αφορά τα αποτελέσματα του Shipflow, τόσο με τα αποτελέσματα του ίδιου του προγράμματος, όσο και με τους κώδικες Fortran για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, καθώς και για τις συμβουλές του για την ανάλυση των αριθμητικών αποτελεσμάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε αριθμητικά και πειραματικά η ολική αντίσταση σε ήρεμο νερό και οι επιμέρους συνιστώσες της για δύο τυπικά σύγχρονα επιβατηγά RoRo δίστατρα (semi-SWATH) σκάφη, σχέδια των οποίων φαίνονται στη συνέχεια. Και τα δύο έχουν ολικό μήκος 70m.

Αρχικά πραγματοποιήσαμε πειραματικές μετρήσεις στη δεξαμενή του τμήματος Υδροδυναμικής με πρότυπα σκάφη υπό κλίμακα (1/17.5). Τα πειράματα αυτά περιελάμβαναν μετρήσεις των μεγεθών της ολικής αντίστασης R_t , της δυναμικής ανύψωσης κέντρου βάρους (CG Rise) και της δυναμικής διαγωγής (dynamic trim).

Στη συνέχεια έγιναν αριθμητικοί υπολογισμοί του συντελεστή αντίστασης κυματισμού, καθώς επίσης και των μεγεθών της δυναμικής ανύψωσης κέντρου βάρους και της δυναμικής διαγωγής για σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα πειραματικά.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα SWAN 2, RAPID και Shipflow. Τα αποτελέσματα των αριθμητικών προγραμμάτων αυτών συγκρίθηκαν τόσο μεταξύ τους όσο και με τα πειραματικά για την ανάλυση και σύγκριση των μεθόδων που χρησιμοποιεί το καθένα.

Για περαιτέρω μελέτη των των αριθμητικών μεθόδων πραγματοποιήθηκε και σύγκριση αυτών μέσω των προφίλ και μορφών των δημιουργούμενων κυματισμών και των τριών προγραμμάτων (μέθοδοι wavecuts και wave pattern). Τα στοιχεία αυτά εξήχθησαν από τα προγράμματα SWAN 2 και RAPID στο γραφιστικό περιβάλλον του Tecplot. Τα αποτελέσματα του Shipflow τα εξήγαμε με τη βοήθεια κώδικα Fortran του Υ.Δ. Δ.Μουρκογιάννη τα μεν προφίλ των κυματισμών σαν σημεία στο πρόγραμμα Excell, ενώ τα wave pattern ομοίως στο Tecplot.

Η διαδικασία αυτή ανάλυσης ήταν επιτακτική για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη μέθοδο σύγκρισης πειραματικών και αριθμητικών επιραμάτων, καθώς και για τις μεθόδους αριθμητικών υπολογισμών.

Στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής.

ABSTRACT

The present thesis involves experimental and numerical study of the total resistance in calm water and its components for two typical semi-SWATHs of overall length 70m.

We conducted experiments in the towing tank of the department of Hydrodynamics with two models in scale (1/17.5). We measured the total resistance R_t , dynamic CG rise and dynamic trim.

Moreover, we applied numerical studies measuring the wave resistance coefficients as well as the dynamic CG rise and dynamic trim in order to compare them with the experimental results.

The numerical programs that were used are SWAN 2, Shipflow and RAPID. The results of these numerical methods were compared to each other and to the experimental results in order to see the efficiency of the methods.

Finally, for further analysis the methods were also compared via wave cuts and wave pattern analysis. Tecplot was used in order to visualize these results of SWAN 2 and RAPID, and on the other hand the results of Shipflow were visualized using a Fortran code.

This analysis was necessary for better and safe conclusions for the comparison of the experimental and numerical methods.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΚΑΦΗ ΤΥΠΟΥ SEMI-SWATH

1.1 Ιστορική εισαγωγή

Ο πρώτος τύπος δίγαστρου σκάφους (catamaran) παρατηρήθηκε από τον William Dampier στις όχθες της ακτής της Βεγγάλης να χρησιμοποιείται από ντόπιους για τοπικές μεταφορές και εμπορικές χρήσεις.

Η πρώτη, όμως, επίσημη σχεδίαση και κατασκευή catamaran έγινε από τους Woodbridge Brown και Alfred Kumalae που έφτιαξαν το πρώτο μοντέρνο δίγαστρο σκάφος για ταξίδια σε ανοικτή θάλασσα. Το catamaran αυτό πήρε το όνομα Manu Kai και «ναυπηγήθηκε» το 1947 στη Χαβάη.

1.2 Catamaran

Πλέον τα catamaran αποτελούν τον πιο κοινό τύπο ταχύπλοου σκάφους, σκάφος το οποίο συχνά εξοπλίζεται και με αυτόματα συστήματα που σκοπό έχουν την περαιτέρω ελαχιστοποίηση των κινήσεων λόγω κυματισμού. Στον τύπο αυτό περιλαμβάνονται και τα waverpiercing catamaran και τα semi-SWATH ως προς τα είδη γαστρών.

Η ανάπτυξη των σκαφών αυτών διπλής γάστρας προκλήθηκε από την απαίτηση για μεγάλο χώρο στα καταστρώματα με δεδομένο μήκος. Καθεμία από τις δύο γάστρες – ημιγάστρα (demihull) – μπορεί να είναι συμμετρική (symmetrical), ασύμμετρη (asymmetrical) ή πλήρως ασύμμετρη (wall sided). Τα catamaran λειτουργούν και στις τρεις περιοχές ταχυτήτων, δηλαδή ως λεπτόγραμμα σκάφη ημι-εκτοπίσματος, ως πλοία εκτοπίσματος και ως ολισθάκατοι.

1.3 SWATH



Μια ειδική κατηγορία σύγχρονων δίγαστρων σκαφών αποτελούν τα SWATH (Small Waterplane Area, Twin Hull). Χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή ίσαλο επιφάνεια και βύθιση του εκτοπίσματος μακριά από

την ελεύθερη επιφάνεια, γεγονός που τους εξασφαλίζει εξαιρετική συμπεριφορά σε κυματισμούς. Το σύνολο σχεδόν της άντωσης παρέχεται από δυο πλήρως βυθισμένες γάστρες, οι οποίες συνδέονται με την υπερκατασκευή με δύο (ή τέσσερα σε ορισμένες περιπτώσεις) λεπτόγραμμα struts.

1.4 Semi-SWATH

Τα semi-SWATH αποτελούν έναν υβριδικό τύπο δίγαστρου πλοίου, εξέλιξη των τελευταίων χρόνων. Στον τύπο αυτό η ίσαλος επιφάνεια μεγαλώνει όσο προχωράμε προς την πρύμνη με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η εγκατάσταση των Κύριων Μηχανών. Οι γραμμές των semi-SWATH τείνουν περισσότερο προς αυτές των catamaran και χαρακτηρίζονται από την πρύμνη καθρέφτη.



1.5 Χαρακτηριστικά Δίγαστρων

Πέρα από τα επιγραμματικά πλεονεκτήματα που γέννησαν την ιδέα των δίγαστρων σκαφών, αυτά παρουσιάζουν μια πληθώρα χαρακτηριστικών που συνηγορούν υπέρ της κατασκευής τους.

Όπως θα δειχθεί και σε επόμενο κεφάλαιο μεγάλο μέρος της αντίστασης ενός δίγαστρου, αποτελεί η αντίσταση κυματισμού, η οποία είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαταραχής της ελεύθερης επιφάνειας. Για να ελαχιστοποιηθεί, λοιπόν, η αντίσταση αυτή θα πρέπει το μεγαλύτερο μέρος του όγκου εκτοπίσματος να τοποθετηθεί είτε πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού, είτε κάτω από αυτήν. Τα semi-SWATH συνδυάζουν και τις δύο επιλογές αυτές, έχοντας μεγάλο όγκο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και σχεδόν τον υπόλοιπο πάνω από αυτήν. Με τον τρόπο αυτό «καλύπτουν» ουσιαστικά το μειονέκτημα να εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά αντίστασης τριβής (λόγω μεγάλης βρεχόμενης επιφάνειας).

Τα δίγαστρα σκάφη έχουν τη δυνατότητα να πετυχαίνουν υψηλότερες ταχύτητες μέσω διαφορετικών δυνατοτήτων. Κατ' αρχήν, πετυχαίνουν την επιθυμητή αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο γαστρών. Έπειτα, με την επιτυχημένη σχεδίαση λεπτόγραμμων ημιγαστρών (κυρίως για SWATH και semi-SWATH), κάτι που δεν είναι πάντα και σε τέτοιο βαθμό εύκολο για τα μονόγαστρα, λόγω των θεμάτων ευστάθειας που πρέπει να καλυφθούν. Και τέλος, θέτοντας τον όγκο εκτοπίσματος γάστρας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (π.χ. σκάφη ολίσθησης) ή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπως ακριβώς με τα SWATH.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι η συμπεριφορά σε κυματισμούς. Ενώ παράλληλα υπερτερούν έναντι των μονόγαστρων και ως προς τα φαινόμενα διατοιχισμού (roll) αλλά και στη δυναμική ευστάθεια. Το χαρακτηριστικό αυτό οφείλεται στις μεγάλες τιμές ροπών αδρανείας των δύο γαστρών που καθιστούν τα δίγαστρα τόσο σταθερά και περιορίζουν κατά πολύ τις γωνιακές επιτάχυνσης διατοιχισμού.

Τέλος, στα δίγαστρα σκάφη υπάρχει μεγαλύτερη ελευθερία ως προς την επιλογή των βασικών διαστάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΦΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Τα semi-SWATH που μελετήθηκαν είναι σύγχρονα επιβατηγά RoRo τα οποία έχουν και τα δύο ολικό μήκος 70m. Εξετάστηκαν σε τρεις καταστάσεις βυθισμάτων και απόστασης ημιγαστρών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά και οι καταστάσεις αυτές.

2.2 Semi-SWATH A

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά σχεδίασης του σκάφους αυτού. Πέραν από την κατάσταση σχεδίασης με $T=3.3m$ και απόσταση ημιγαστρών $S=17.5m$, μελέτη έγινε και για βυθίσματα $T=2.795m$ και $T=3.045m$, ενώ παράλληλα εξετάστηκε η αντίσταση για ακόμα 2 διαφορετικές αποστάσεις ημιγαστρών στο βύθισμα σχεδίασης ($T=3.3m$) για $S=14m$ και $S=21m$. Τέλος, ελέγχθηκε μια ακόμα κατάσταση για $T=3.3m$ και $S=14m$ με έμπρυμνη διαγωγή $\delta T=0.3m$. Ακολουθεί πίνακας με τα χαρακτηριστικά του σκάφους.

Πίνακας 1

Loa	70.0m
Lwl	64.71m
T	3.3m
B	21.5m
S	17.5m
b	4m

Το b παριστάνει το πλάτος της κάθε ημιγάστρας.

2.3 Semi-SWATH B

Και για το σκάφος αυτό εξετάζουμε πέρα από την κατάσταση σχεδίασης ($T=3.1m$, $S=17.5m$) και τα βυθίσματα $T=2.88m$ και $T=2.66m$ (για $S=17.5m$) και $S=14m$ και $S=21m$ (για $T=3.1m$). τέλος, εξετάζουμε και την περίπτωση έμπρυμνης διαγωγής $\delta T=0.3m$.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται πάλι τα στοιχεία του σκάφους στην κατάσταση σχεδίασης.

Πίνακας 2

Loa	70.0m
Lwl	66.9m
T	3.1m
B	21.5m
S	17.5m
b	4m

Για τη μελέτη και σύγκριση των καταστάσεων αυτών πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις με μοντέλα υπό κλίμακα 1/17.5 και για τα δύο σκάφη, αλλά και αναλυτικές υπολογιστικές μέθοδοι τόσο για το σκάφος όσο και για την ημιγιάστρα ξεχωριστά.

Οι μετρήσεις και η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγιναν για τα σκάφη στα μεγέθη των μοντέλων. Έτσι, τα χαρακτηριστικά των σκαφών για τις υπόλοιπες καταστάσεις μελέτης παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ

3.1 Αντίσταση και συνιστώσες

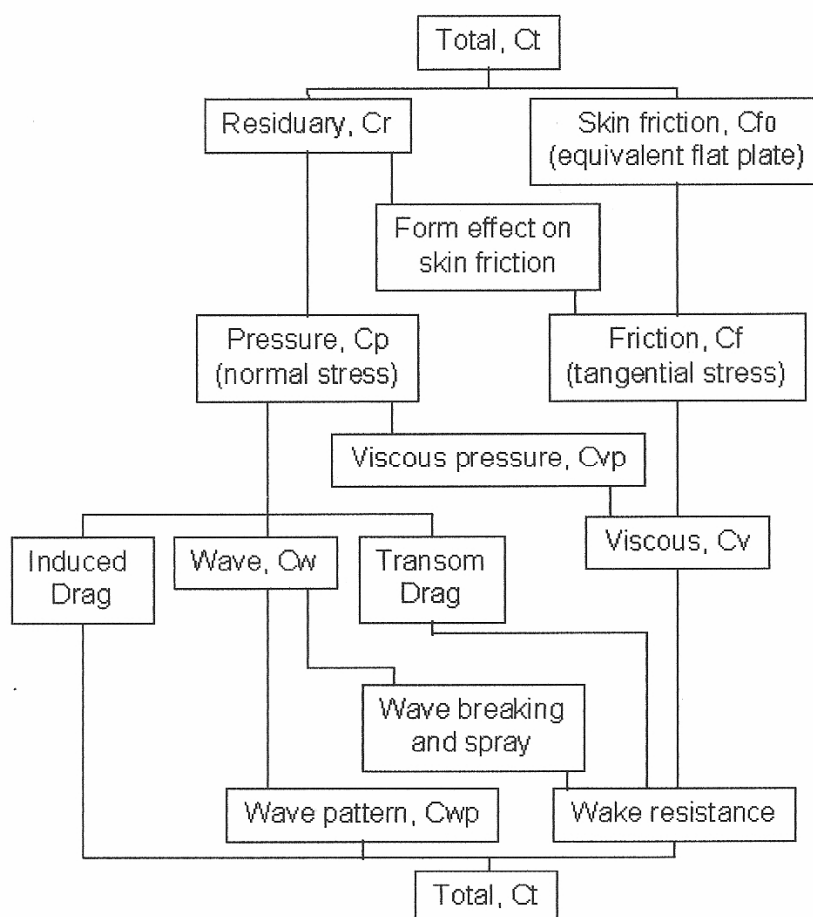
Σε κάθε σημείο επαφής της γάστρας με το περιβάλλον ρευστό ασκείται μια στοιχειώδης δύναμη. Η δύναμη αυτή μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους συνιστώσες, μια κάθετη στην επιφάνεια που οφείλεται στην πίεση και μια εφαπτόμενη στην επιφάνεια που οφείλεται στη συνεκτικότητα. Η αντίσταση του πλοίου είναι ουσιαστικά η προβολή κατά τη διεύθυνση της κίνησης του πλοίου του ολοκληρώματος των στοιχειωδών αυτών δυνάμεων στην επιφάνεια της γάστρας. Έτσι, προκύπτουν οι δύο συνιστώσες αντίστασης του πλοίου:

- *Αντίσταση τριβής*, που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτομενικών τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Η αντίσταση τριβής θεωρείται μηδενική για ιδανικό ρευστό, ενώ αποτελεί την κύρια συνιστώσα σε χαμηλούς αριθμούς Froude. Είναι συνάρτηση της ταχύτητας, της βρεχόμενης επιφάνειας και της μορφής του σώματος-γάστρας (τραχύτητα και γεωμετρία).
- *Αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας*, που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων δυνάμεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Είναι και αυτή μηδενική για ιδανικό ρευστό αν δε λάβουμε υπόψιν μας τον κυματισμό ελεύθερης επιφάνειας (παράδοξο D' Alambert). Αποτελεί μέρος της υπόλοιπης αντίστασης, ενώ είναι συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας, της ταχύτητας και της γεωμετρίας της γάστρας.

Στις συνιστώσες αυτές έρχεται να προστεθεί και η *αντίσταση κυματισμού*, που είναι κυρίαρχη σε υψηλότερες ταχύτητες (μεγάλος αριθμός Froude). Χωρίζεται σε *αντίσταση σχηματισμού κυματισμών* (wave pattern resistance) και σε *αντίσταση θραύσεως κυματισμών* (wave breaking resistance). Θα αναλυθεί περισσότερο σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2 Αντίσταση Διγαστών σκαφών (catamaran και semi-SWATH)

Για την πλήρη κατανόηση της αντίστασης, ειδικά σε διγαστρα σκάφη (και ακόμα ειδικότερα, με πρύμνη καθρέφτη), είναι σημαντικός ο αναλυτικότερος από τον τυπικό προηγούμενο διαχωρισμό της αντίστασης σε επιμέρους συνιστώσες. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται μια προσέγγιση διάσπασης της ολικής αντίστασης σε συνιστώσες, με ιδιαίτερη έμφαση σε αντιστάσεις λόγω συνεκτικότητας και κυματισμού, δίνοντας την απαιτούμενη προσοχή στην πρύμνη καθρέφτη, η οποία προσθέτει μια ξεχωριστή συνιστώσα αντίστασης για τα διγαστρα. Η ανάλυση αυτή έγινε σε δημοσίευση της εργασίας «Calm water powering predictions for high-speed catamarans» από τους P.R. Couser, A.F. Molland, N.A. Armstrong, I.K.A.P. Utama.



Εικόνα 1 – Συνιστώσες Αντίστασης

Η αντίσταση ενός δίγαστρου σκάφους εξαρτάται κυρίως από το λόγο βρεχόμενης επιφάνειας προς εκτόπισμα $WS/V^{2/3}$, το λόγο λυγηρότητας $L/V^{1/3}$ και το λόγο απόστασης των δύο ημιγαστρών S/L . Εξαιτίας του υψηλού λόγου βρεχόμενης επιφάνειας, τα σκάφη αυτά παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση σε μικρές ταχύτητες, σε περιοχές δηλαδή που κυριαρχεί η αντίσταση τριβής. Σε υψηλότερες ταχύτητες ($Fn > 0.4-0.5$) οι μικρές γωνίες δυναμικής διαγωγής οδηγούν σε μειωμένη αντίσταση.

Η υπεροχή των δίγαστρων σκαφών φαίνεται σε περιοχές ταχυτήτων ολίσθησης (ογκομετρικός αριθμός $F_v > 4.6$), όπως προκύπτει από πειραματικά αποτελέσματα του Clement. Σε τιμές $F_v = 7.0$ η διαφορά στην αντίσταση ενός δίγαστρου και ενός μονόγαστρου μπορεί να φτάσει και 45%. Η διαφορά αυτή και το πλεονέκτημα των δίγαστρων σκαφών οφείλεται στην παρουσία μεγαλύτερων τιμών δυναμικής διαγωγής που προσεγγίζουν τις βέλτιστες γωνίες διαγωγής.

Η μελέτη του Molland et al. (1996) πάνω στην αντίσταση δίγαστρων και μονόγαστρων (με βάση μια σειρά μοντέλων) έδειξε ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας επίδρασης της αντίστασης ενός δίγαστρου σκάφους είναι ο συντελεστής λυγηρότητας, που μάλιστα αύξηση του οποίου οδηγεί σε μείωση της αντίστασης. Αντιθέτως, ο λόγος B/D δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε ότι τα catamaran παρουσιάζουν διπλάσια αντίσταση από τα μονόγαστρα, ενώ φαίνεται και μια τάση ο δείκτης υπόλοιπης αντίστασης C_R των δίγαστρων να προσεγγίζει τον αντίστοιχο των μονόγαστρων με αύξηση του S/L . Επιπλέον, φάνηκε ότι η αντίσταση τριβής και αντίσταση κυματισμού επηρεάζουν εξίσου σχεδόν τη συνολική αντίσταση.

Ως προς τη διαγωγή και το βύθισμα, αυτά μοιάζουν να επηρεάζονται εμφανώς στα δίγαστρα από την ταχύτητά τους όταν πλέουν σε αριθμούς Froude που κυμαίνονται μεταξύ 0.3 και 0.4. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα δίγαστρα παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερη δυναμική διαγωγή από τα μονόγαστρα στην ίδια κατάσταση, αν και οι τιμές των γωνιών μοιάζουν να πλησιάζουν όσο αυξάνει ο λόγος S/L .

3.3 Αντίσταση κυματισμού

Η αντίσταση κυματισμού προκαλείται από τα κύματα που δημιουργεί το σκάφος ακολουθώντας ευθεία πορεία με σταθερή ταχύτητα σε κατάσταση ήρεμου νερού. Σχετίζεται με τη συνισταμένη δύναμη που είναι αποτέλεσμα κυρίως των κάθετων πιέσεων του ρευστού που δρουν στη γάστρα. Το σκάφος κινείται κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια, και τα «κινούμενα σημεία πίεσης» προκαλούν κύματα που απλώνονται μακριά από το σκάφος και μεταφέρουν μαζί τους ορισμένο ποσό ενέργειας το οποίο διασκορπίζεται στη θάλασσα. Τα δημιουργούμενα κύματα χωρίζονται σε τοπικούς κυματισμούς και απομακρυσμένο πεδίο κυματισμών (far-field waves).

Η αντίσταση κυματισμού είναι ίσως το χαρακτηριστικό των δίγαστρων σκαφών που έχει μελετηθεί περισσότερο από κάθε άλλο, καθώς αποτελεί το τμήμα αντίστασης των σκαφών αυτών που μπορεί να βελτιστοποιηθεί από το σχεδιαστή. Μια τέτοια βελτιστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με τη σχεδίαση λεπτόγραμμων ημιγαστρών, αλλά και με την επιθυμητή αντίσταση κυματισμού λόγω αλληλεπίδρασης γαστρών μέσω της προσεκτικής σχεδίασης των γραμμών της γάστρας και με την επιλογή της σωστής απόστασης των ημιγαστρών. Θεωρητικές μελέτες για την αντίσταση κυματισμού έχουν γίνει και για την επίδραση των βολβών σε αυτή κυρίως από τον Michalski, του οποίου τα πειράματα με δύο διαφορετικούς βολβούς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μπορεί να επέλθει μείωση και 48% στην υπόλοιπη αντίσταση.

Η αντίσταση κυματισμών εξαρτάται κυρίως από τη βρεχόμενη μορφή της γάστρας και από το βάθος του ρευστού στο οποίο πλέει το σκάφος, αν βέβαια πρόκειται για ρηκό ρευστό. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χωρίζεται σε αντίσταση σχηματισμού κυματισμών (wave pattern resistance) και σε αντίσταση θραύσεως κυματισμών (wave breaking resistance). Ειδικά στα ταχύπλοα σκάφη, η θραύση των κυματισμών κυρίως στην περιοχή της πλήρης και του βολβού – αν υπάρχει – μπορεί να έχει επίπτωση στο «υπόστρωμα» της ελεύθερης επιφάνειας προκαλώντας φαινόμενα δημιουργίας αφρού με την πρόσθετη αυτή *αντίσταση αφρού* (spray resistance).

Ειδικά για δίγαστρα σκάφη, προκύπτουν ισχυρά φαινόμενα υπέρθεσης κυματισμών μεταξύ των δύο γαστρών που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το πρυμναίο τμήμα του σκάφους.

Ο Newman το 1977 στηριζόμενος στη μέθοδο σταθερής φάσης και βάσει ενεργειακών επιχειρημάτων κατέληξε στην εξίσωση

$$R_w = 0.5 \pi \rho U^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |A(\theta)|^2 \cos^2\theta d\theta$$

για την αντίσταση κυματισμού, ενώ ο Lunde (1951) βάσει της γάστρας μορφής Wigley εισήγαγε τον τύπο

$$C_w = \frac{125 \cdot R_w}{\pi \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot V^{2/3}}$$

Για το συντελεστή αντίστασης κυματισμού, χωρίζοντας την αντίσταση αυτή στις συνιστώσες αποκλίνοντος κυματισμού (divergent) και εγκάρσιου κυματισμού (transverse).

Η ανάπτυξη της θεωρίας μελέτης αντίστασης κυματισμών στα δίγαστρα ή πολύγαστρα σκάφη αρχικά στηρίχθηκε στην υπόθεση υπέρθεσης (άθροισης) των κυματισμών που προκαλεί η κάθε γάστρα χωρίς παρουσία άλλης (Tuck and Lazauskas 1998 and Day et al. 2003). Έτσι, ουσιαστικά το πλάτος $A(\theta)$ της σχέσης του Newman προέκυπτε από το άθροισμα των επί μέρους πλατών του κυματισμού της κάθε γάστρας.

Στην πραγματικότητα, όμως, τα διαθλώμενα κύματα περιλαμβάνουν αντανακλώμενα και μεταδιδόμενα κύματα, οπότε το συνολικό σύστημα κυμάτων ενός δίγαστρου σκάφους δε μπορεί να είναι απλά μια υπέρθεση κυμάτων δημιουργούμενων από κάθε γάστρα χωριστά χωρίς να επηρεάζεται από την παρουσία της άλλης.

Για τον υπολογισμό της υδροδυναμικής συμβολής της γάστρας, υποθέτουμε αρχικά ότι αυτή δεν υπάρχει και στη συνέχεια θεωρούμε τη γωνία Kelvin α_c για μια από τις γάστρες και βλέπουμε αν τα κύματα μέσα στη γωνία αυτή βρίσκονται σε πορεία σύμπτωσης με την άλλη γάστρα και κατά συνέπεια διαθλώνται από αυτή. Έτσι, υπάρχει συγκεκριμένο μήκος στη γάστρα που επηρεάζεται από το κύμα και δίνεται από τη σχέση

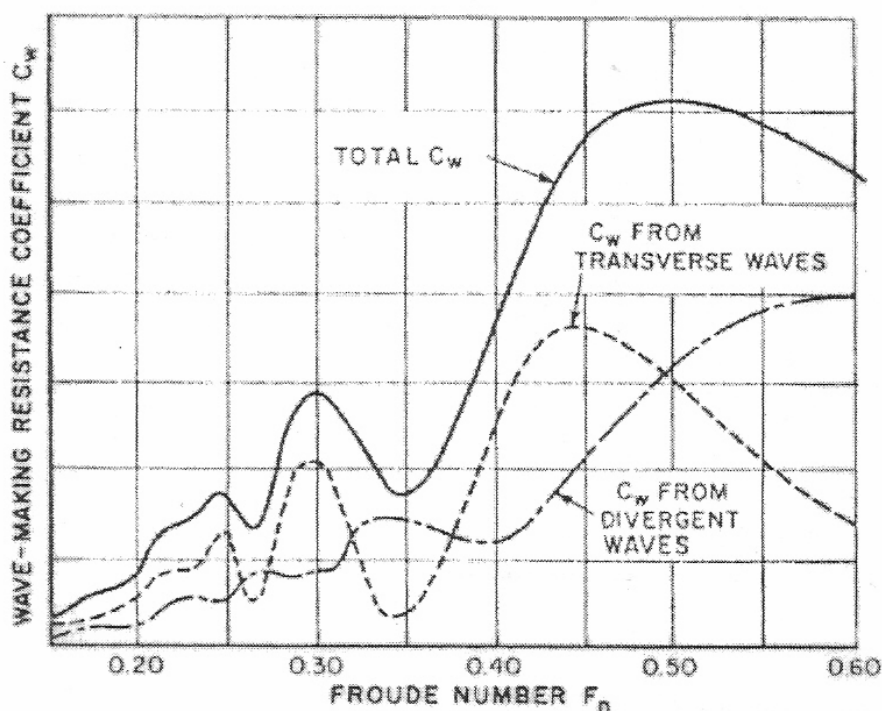
$$L_1 = L - (b_1 + 0.5b_2)\cot\alpha_c$$

Η υπέρθεση των κυματισμών μεταξύ των δύο γαστρών και η συμβολή τους παίζει θεμελιώδη ρόλο. Για το λόγο αυτό και ο σχηματισμός των κυματισμών γύρω από ένα catamaran είναι αρκετά διαφορετικός από αυτόν σε μονόγαстро.

Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν και αρνητικές «θέσεις» κυμάτων (κοιλιάδες) μεταξύ των γαστρών στο πρυμναίο τμήμα.

Οι πιο πρόσφατες αριθμητικές μελέτες της αντίστασης κυματισμών ακολουθούν τις ονομαζόμενες μεθόδους *συντοριακών στοιχείων (panel methods)*. Μια σειρά στοιχείων (panels) με κατανομημένες πηγές και καταβόθρες προσεγγίζουν την επιφάνεια του πλοίου (κυρίως του βρεχόμενου τμήματος). Το γεγονός ότι η κατανομή πηγών/καταβοθρών βρίσκεται πάνω στην πραγματική επιφάνεια είναι και η διαφορά με την αντίστοιχη μέθοδο για λεπτόγραμμα πλοία, στην οποία η κατανομή αυτή είναι στο κεντρικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται υπόψιν η πραγματική γεωμετρία της γάστρας.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τυπικές καμπύλες συντελεστών αντίστασης κυματισμού, όπως αυτές έχουν προκύψει μέσα από τις συστηματικές μελέτες.



Διάγραμμα 1 – Διάγραμμα Συντελεστών Αντίστασης [3]

Η αντίσταση κυματισμού, λοιπόν, είναι ιδιαίτερα σημαντική για ταχύπλοα δίγαστρα σκάφη, καθώς καταλαμβάνει και μεγάλο ποσοστό της συνολικής αντίστασης, που μπορεί να φτάσει και το 40-45% για αριθμούς Froude μεταξύ 0.3 και 0.6 . [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Κατ' αρχήν, η αντίσταση των δύο σκαφών εκτιμήθηκε με βάση πειραματικές μετρήσεις σε γεωμετρικά όμοια πρότυπα υπό κλίμακα. Ο προσδιορισμός της αντίστασης του πλοίου σε φυσική κλίμακα στηρίζεται στην εφαρμογή αδιαστατοποιημένων συνιστωσών αντίστασης και γνώση της επίδρασης των αδιάστατων παραμέτρων, όπως οι αριθμοί Reynolds και Froude.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η διαδικασία στηρίζεται στην υπόθεση Froude. Έτσι, η ολική αντίσταση C_T χωρίζεται σε δύο επιμέρους συνιστώσες

$$C_T = \frac{R_T}{0.5 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} = C_F + C_R$$

όπου

- ο C_F αποτελεί το συντελεστή αντίστασης τριβής του πλοίου $R_V=0.5\rho C_F S V^2$. Έχει υποθεθεί ότι είναι συνάρτηση μόνο του αριθμού Reynolds και σύμφωνα με την καμπύλη της ITTC 1957 λαμβάνεται ως $C_F=0.075/[(\log Re)-2]^2$
- ο C_R ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης, κύριο μέρος της οποίας αποτελεί η αντίσταση κυματισμού, $C_R=R_R/(0.5\rho S V^2)$. Η υπόλοιπη αντίσταση θεωρείται ότι είναι συνάρτηση μόνο του αριθμού Froude για γεωμετρικά όμοια μοντέλα.

$$Re = (V L_{WL}) / \nu \quad Fn = V / (L g)^{0.5}$$

Η διαδικασία υπολογισμών που ακολουθείται, έχοντας κάνει τους παραπάνω ορισμούς και υποθέσεις, είναι αρχικά ο προσδιορισμός της ταχύτητας του μοντέλου μέσω της σχέσης $V_M = V_S / \lambda^{0.5}$, όπου λ η κλίμακα. Η σχέση προκύπτει από την υπόθεση ισότητας των αριθμών Froude για πλοίο και μοντέλο.

Στη συνέχεια, μέσω των πειραματικών μας μετρήσεων φτάνουμε στον υπολογισμό του συντελεστή ολικής αντίστασης του πλοίου από τη σχέση

$$C_{Ts} = C_{Fs} + C_R \rightarrow C_{Ts} = C_{Fs} + (C_{Tm} - C_{Fm}) = C_{Tm} - (C_{Fm} - C_{Fs})$$

αφού ισχύει ότι C_R σταθερό για πλοίο και μοντέλο ως συνάρτηση μόνο του αριθμού Froude.

Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί η τιμή της ολικής αντίστασης μέσω της σχέσης

$$R_{Ts} = 0.5 \rho C_{Ts} S_s V_s^2$$

όπου $\rho=104.61 \text{ kp s}^2/\text{m}^4$ η πυκνότητα θαλασσινού νερού για θερμοκρασία $T=15^\circ\text{C}$.

Στη σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή ολικής αντίστασης του πλοίου προστίθεται και ένας συντελεστής συσχέτισης πλοίου-προτύπου C_A που βασίζεται σε στατιστικά και εμπειρία της εκάστοτε δεξαμενής. Ο συντελεστής αυτός θεωρητικά προστίθεται στην αντίσταση τριβής, αφού η ύπαρξή του αποδίδεται κυρίως στο γεγονός ότι οι πειραματικές μετρήσεις βασίζονται στην ύπαρξη λείας επιφάνειας του μοντέλου. Ο «διορθωτικός» συντελεστής αυτός θεωρείται ότι καλύπτει φαινόμενα όπως η τραχύτητα της επιφάνειας της γάστρας του πλοίου, τυχόν συγκολλήσεις κλπ, ενώ κατά ένα μέρος καλύπτει και την αντίσταση αέρα.

Παρατήρηση! Η διαδικασία αυτή υποθέτει αμελητέα αντίσταση αέρα γι' αυτό και περιλαμβάνεται στο τέλος στο συντελεστή C_A . Αν έχουμε αποκόλληση της ροής του αέρα στις «γωνίες» της υπερκατασκευής, τότε η εξάρτηση της συνιστώσας της αντίστασης που σχετίζεται με τον αέρα από τον αριθμό Reynolds θα είναι μικρή.

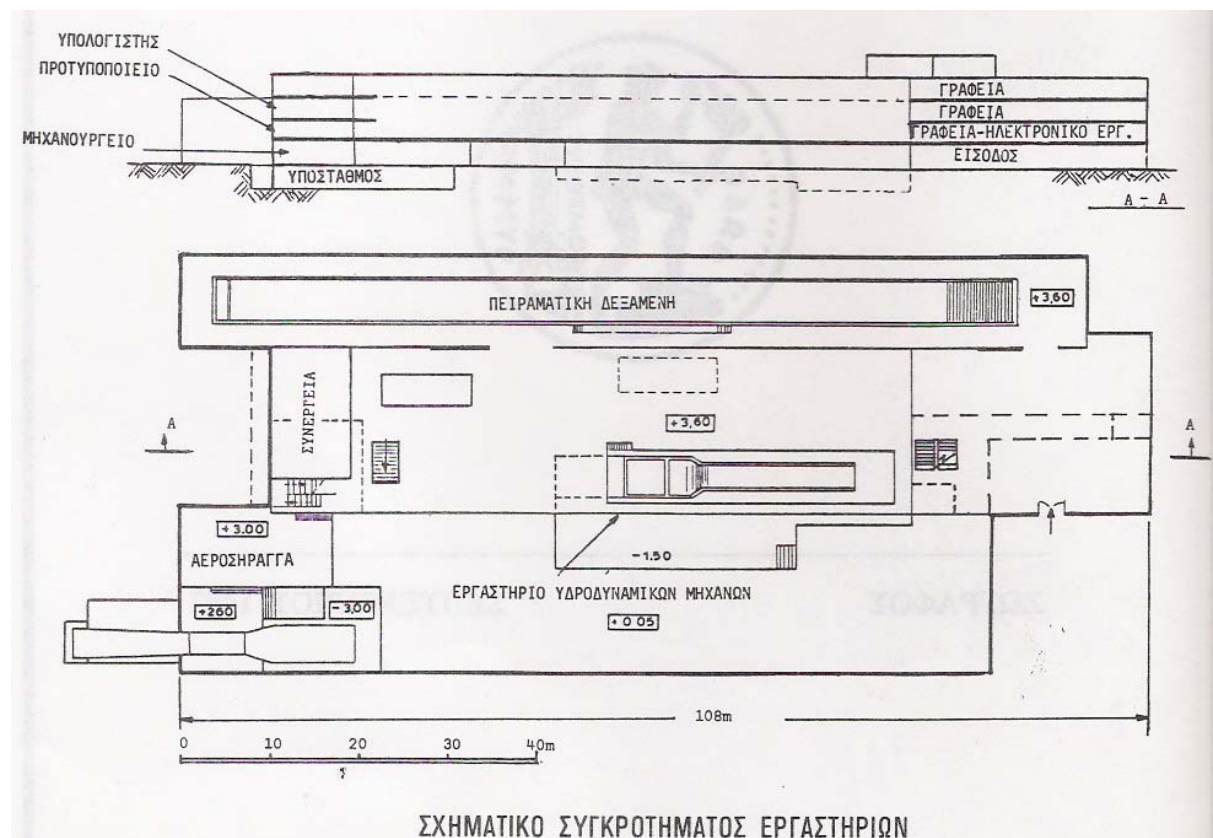
4.2 Πειραματική Διάταξη

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη δεξαμενή της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών στο Εργαστήριο Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής.

Πρόκειται για δεξαμενή μήκους 91m και πλάτους 4.6m. Το βάθος της δεξαμενής είναι κλιμακούμενο και έχει σαν μέγιστο τα 3m. Η Πειραματική αυτή Δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με φορείο δοκιμών και με σύστημα παραγωγής (το οποίο δε χρησιμοποιήθηκε, καθότι πρόκειται για πείραμα σε ήρεμο νερό) και αποσβέσεως κυματισμών. Για τη παρακολούθηση των πειραμάτων, υπάρχουν κατά μήκος της μιας πλευράς της δεξαμενής 18m ειδικών παραθύρων ύψους 1m.

Στη μια άκρη της δεξαμενής υπάρχει το σύστημα παραγωγής κυματισμών, το οποίο αποτελείται περύγιο ανοξείδωτου χάλυβα (πλάτος 4.6mm και ύψος 2m) εδρασμένο σε βάθρο χάλυβα ύψους 1.30m από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το περύγιο κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ισχύος 15KW. Το νερό από την πίσω πλευρά του περρυγίου αντλείται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Στο άλλο άκρο της δεξαμενής έχει κατασκευαστεί ειδική ημιπερατή ακτή συνολικού μήκους 11.1m για την απόσβεση των προσπιπόντων κυματισμών, που πετυχαίνει μέσο συντελεστή απόσβεσης 95%.

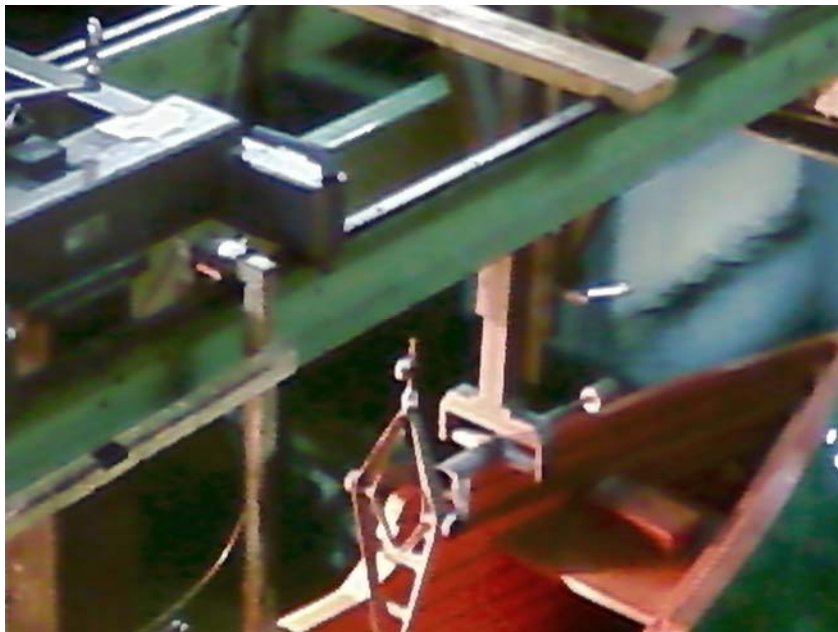


Εικόνα 2 - Το φορείο δοκιμών

Το φορείο έχει βάρος 5.5 tons και κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές κατά μήκος της δεξαμενής με μέγιστη ταχύτητα 5.5m/s ή 10.5 knots. Το φορείο δοκιμών οδηγείται από ειδικό χειριστήριο και διαθέτει γέφυρα προσδέσεως των προτύπων και γέφυρα παρακολούθησης των πειραμάτων. Στο πίσω μέρος του φορείου υπάρχει σύστημα αναρτήσεως για τη βαθμονόμηση μεγάλων οργάνων μέτρησης ταχύτητας νερού. Πάνω στο φορείο τοποθετείται όλος ο αναγκαίος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή των διαφόρων πειραμάτων. Η ταχύτητα του φορείου μετριέται με ειδικό τροχό με φωτοηλεκτρικό σύστημα με ακρίβεια 0.1mm/s .

Το φορείο κινείται στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων (μέχρι 0.5m/s) με ειδικό ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος, που τροφοδοτείται με ανορθωμένη από το δίκτυο τάση. Για μεγαλύτερες ταχύτητες, υπάρχουν τέσσερις κινητήρες συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτούνται από σύστημα 51KW μέσω εναέριων ροηφόρων αγωγών.

Το μοντέλο πλοίο συνδέεται με το φορείο (πέραν του δυναμόμετρου που περιγράφεται πιο κάτω) με όργανο στήριξης, πρόραθεν του μοντέλου, το οποίο ταυτόχρονα ρυθμίζει και τη διαγωγή του μοντέλου.



Εικόνα 3 - Πρωαίο όργανο συγκράτησης του μοντέλου

Ανάμεσα στο πρυμναίο όργανο στήριξης και το δυναμόμετρο υπάρχει το φρένο, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη συγκράτηση του μοντέλου όταν αυτό είναι ακίνητο.

Τέλος, στο πίσω μέρος του φορείου ακολουθεί ένας μηχανισμός βίαιας απόσβασης υψηλών κυματισμών που δημιουργεί το πρότυπο και δεν αποσβάνονται γρήγορα από μόνοι τους (σιδερώστρα). Η απόσβεση αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της σιδερώστρας εφαπτομενικά της επιφάνειας του νερού κατά την επιστροφή του φορείου στη θέση εκκίνησης.



Εικόνα 4 - «Σιδερώστρα» φορείου δοκιμών

Η αριθμητική προσομοίωση των πειραμάτων ή η πρόβλεψη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς των πλοίων ή των πλωτών κατασκευών γίνονται χάρη σε μία συστάδα ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων σε δίκτυο.

Τα μετρητικά συστήματα επί του φορείου είναι πλήρως αυτοματοποιημένα με χρήση H/Y, ο οποίος κάνει στη συνέχεια και την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων. Η πειραματική δεξαμενή διαθέτει όλα τα απαιτούμενα όργανα που απαιτούνται για τη μέτρηση των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν (δυνάμεις, ροπές, κινήσεις, ταχύτητες ρευστού, πιέσεις ρευστού) καθώς και πλήρες σύστημα βιντεοσκοπήσεως των πειραμάτων.

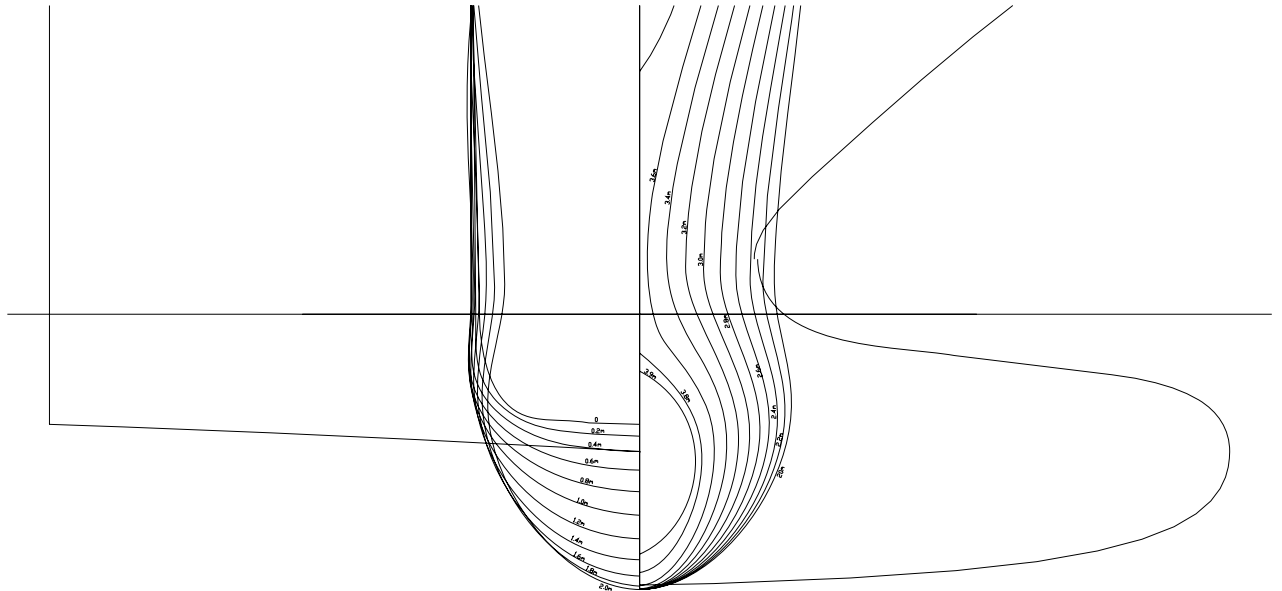
Για το πείραμα αυτό, το φορείο είναι συνδεδεμένο με το πρότυπο μέσω ενός δυναμόμετρου στο κέντρο βάρους του προτύπου, όπως φαίνεται στη φωτογραφία.



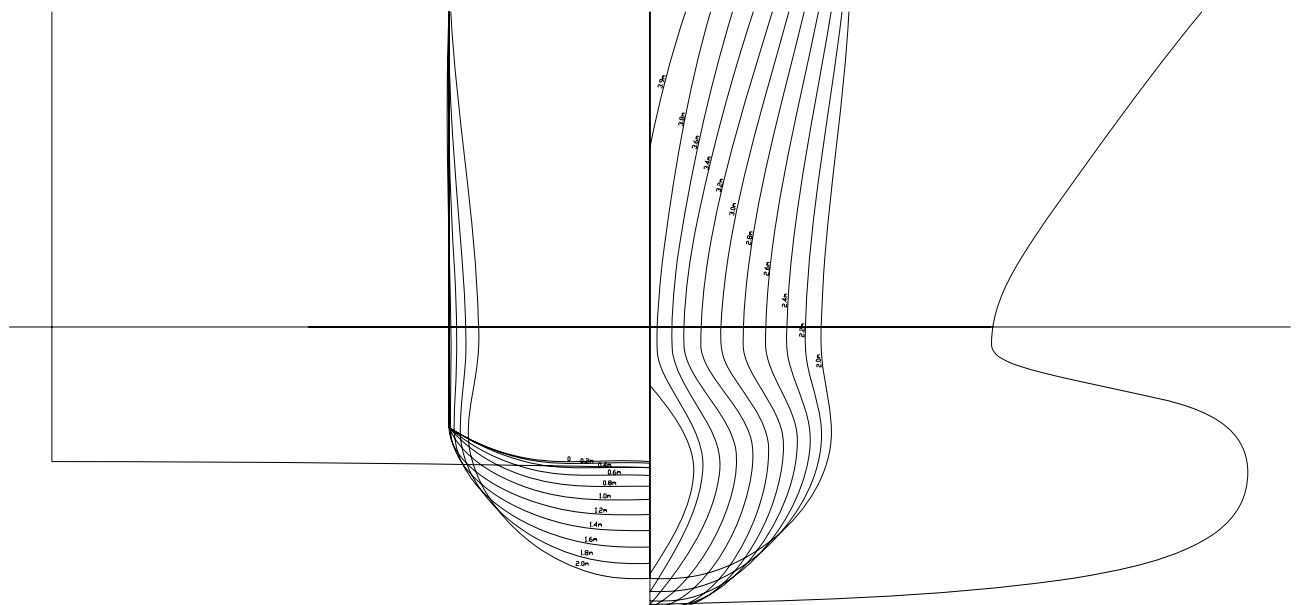
Εικόνα 5 - Δυναμόμετρο αντίστασης

4.3 Πρότυπα σκάφη πειραματικής μελέτης

Τα μοντέλα κατασκευάστηκαν σε κλίμακα 1/17.5 και η μορφή της γάστρας τους φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



Εικόνα 6 - Semi-SWATH A



Εικόνα 7 - Semi-SWATH B

Πίνακας 3 – Χαρακτηριστικά Προτύπων στην Κατάσταση Σχεδίασης

	Model A	Model B
Βρεχόμενο Μήκος (L_{wl})	3.7m	3.82m
Βύθισμα Σχεδίασης (T)	0.189m	0.177m
Μέγιστο Πλάτος Ημιγάστρας στην Ίσαλο Σχεδίασης (B_{wl})	0.229m	0.269m
Πλάτος Πρύμνης Καθρέφτη στην Ίσαλο Σχεδίασης	0.217m	0.269m
Βύθισμα Πρύμνης Καθρέφτη	0.075m	0.079m
Εκτόπισμα	191.27kg	191.26
Βρεχόμενη Επιφάνεια	3.409m ²	3.383m ²

Πίνακας 4 – Χαρακτηριστικά Προτύπων στη Δεύτερη Κατάσταση Εκτοπίσματος

	Model A	Model B
Βρεχόμενο Μήκος (L_{wl})	3.74m	3.841m
Βύθισμα Σχεδίασης (T)	0.174m	0.164m
Μέγιστο Πλάτος Ημιγάστρας στην Ίσαλο Σχεδίασης (B_{wl})	0.231m	0.232m
Πλάτος Πρύμνης Καθρέφτη στην Ίσαλο Σχεδίασης	0.215m	0.269m
Βύθισμα Πρύμνης Καθρέφτη	0.060m	0.066m
Εκτόπισμα	172.13kg	172.10kg
Βρεχόμενη Επιφάνεια	3.187m ²	3.187m ²

Πίνακας 5 – Χαρακτηριστικά Προτύπων στην Τρίτη Κατάσταση Εκτοπίματος

	Model A	Model B
Βρεχόμενο Μήκος (L_{wl})	3.817m	3.887m
Βύθισμα Σχεδίασης (T)	0.160m	0.152m
Μέγιστο Πλάτος Ημιγάστρας στην Ίσαλο Σχεδίασης (B_{wl})	0.232m	0.232m
Πλάτος Πρύμνης Καθρέφτη στην Ίσαλο Σχεδίασης	0.211m	0.269m
Βύθισμα Πρύμνης Καθρέφτη	0.045m	0.054m
Εκτόπισμα	153.00kg	152.93kg
Βρεχόμενη Επιφάνεια	2.958m ²	2.984m ²

Ακολουθεί οι πίνακες των ταχυτήτων στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις.

Πίνακας 6 – Ταχύτητες semi-SWATH A

	Fn	Vm (m/s)	Vs (m/s)
1	0.161	0.984	4.115
2	0.241	1.476	6.173
3	0.321	1.967	8.230
4	0.341	2.090	8.745
5	0.361	2.213	9.259
6	0.381	2.336	9.774
7	0.401	2.459	10.288
8	0.482	2.951	12.346
9	0.562	3.443	14.403
10	0.602	3.689	15.432
11	0.622	3.812	15.946
12	0.642	3.935	16.461
13	0.662	4.058	16.975
14	0.684	4.179	17.482
15	0.704	4.303	18.001

Πίνακας 7- Ταχύτητες semi-SWATH B

	Fn	Vm (m/s)	Vs (m/s)
1	0.161	0.985	4.121
2	0.241	1.476	6.175
3	0.320	1.964	8.216
4	0.341	2.090	8.743
5	0.361	2.212	9.253
6	0.381	2.336	9.772
7	0.401	2.458	10.282
8	0.481	2.950	12.341
9	0.562	3.444	14.407
10	0.602	3.687	15.424
11	0.622	3.810	15.938
12	0.643	3.938	16.475
13	0.666	4.079	17.064

Έγιναν μετρήσεις στις ίδιες ταχύτητες για τα βυθίσματα $T=2.795\text{m}$, $T=3.045\text{m}$ και $T=3.3\text{m}$ για το semi-SWATH A - που είναι και το βύθισμα σχεδίασης. Για το semi-SWATH B τα αντίστοιχα βυθίσματα ήταν $T=2.66\text{m}$, $T=2.88\text{m}$ και $T=3.1\text{m}$. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για απόσταση ημιγαστρών $S=17.4\text{m}$, ενώ παράλληλα ελέγχθηκαν και οι αποστάσεις $S=14\text{m}$ και $S=21\text{m}$ επιπλέον της αρχικής στα βυθίσματα σχεδίασης.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, πέραν της μέτρησης της αντίστασης, πραγματοποιήθηκε και καταγραφή της δυναμικής διαγωγής (running trim) και ανύψωσης κέντρου βάρους (CG rise).

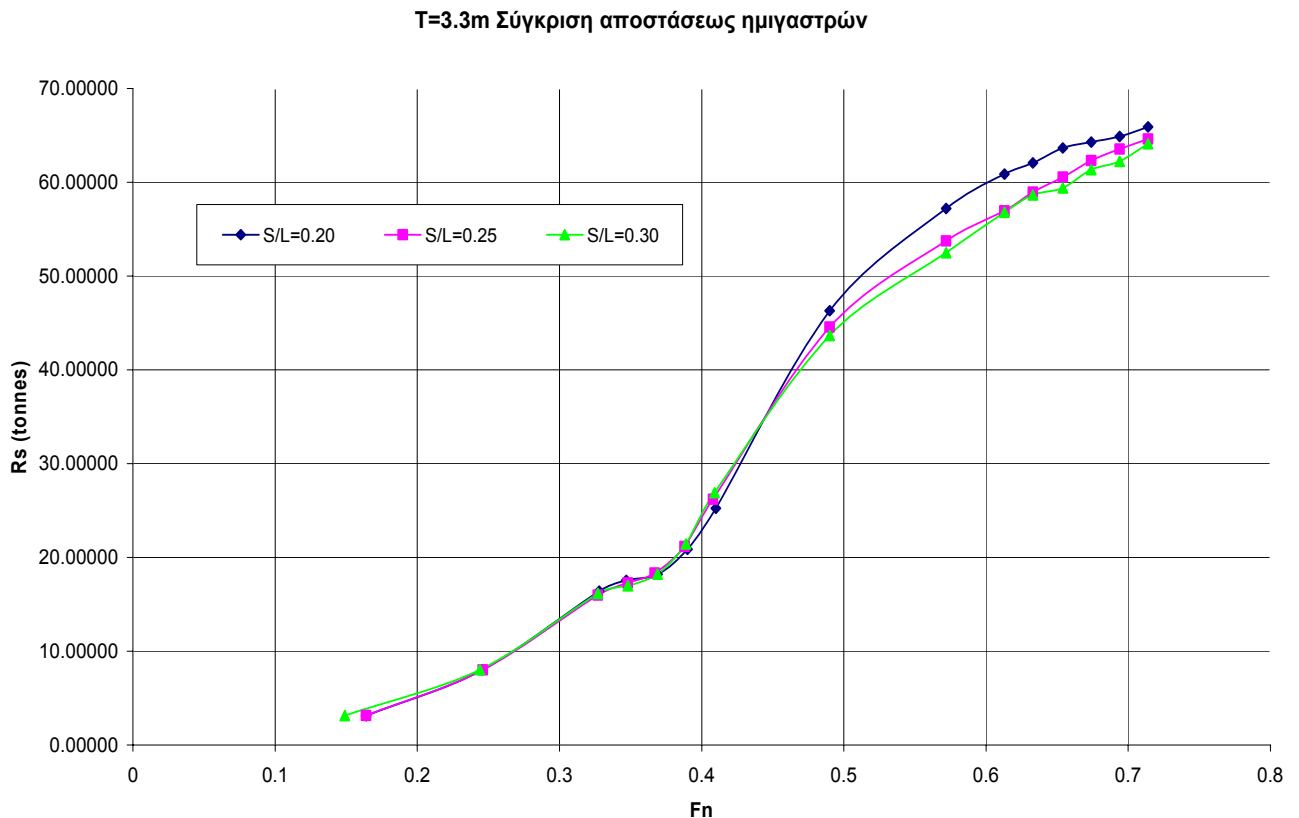
4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε μια τέτοια διερεύνηση μας ενδιαφέρει κυρίως, πέρα από μια γενική πρόβλεψη της αντίστασης στις διάφορες καταστάσεις, μια σύγκριση των παραμέτρων που επηρεάζουν την αντίσταση. Οι παράμετροι που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία ως προς την ολική αντίσταση είναι οι αποστάσεις των ημιγαστρών και τα βυθίσματα.

Στις σελίδες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ολικής αντίστασης ως προς την ταχύτητα για κάθε σκάφος με σκοπό τη σύγκριση και διερεύνηση των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν. Μετά τα διαγράμματα αυτά παρατίθενται και τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τη μεταβολή της δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους σε σχέση με την ταχύτητα, καθώς επίσης και ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης C_R .

4.4.1 Semi-SWATH A

Ακολουθεί το διάγραμμα που σύγκρισης των τριών αποστάσεων ημιγαστρών ως προς την ολική αντίσταση.



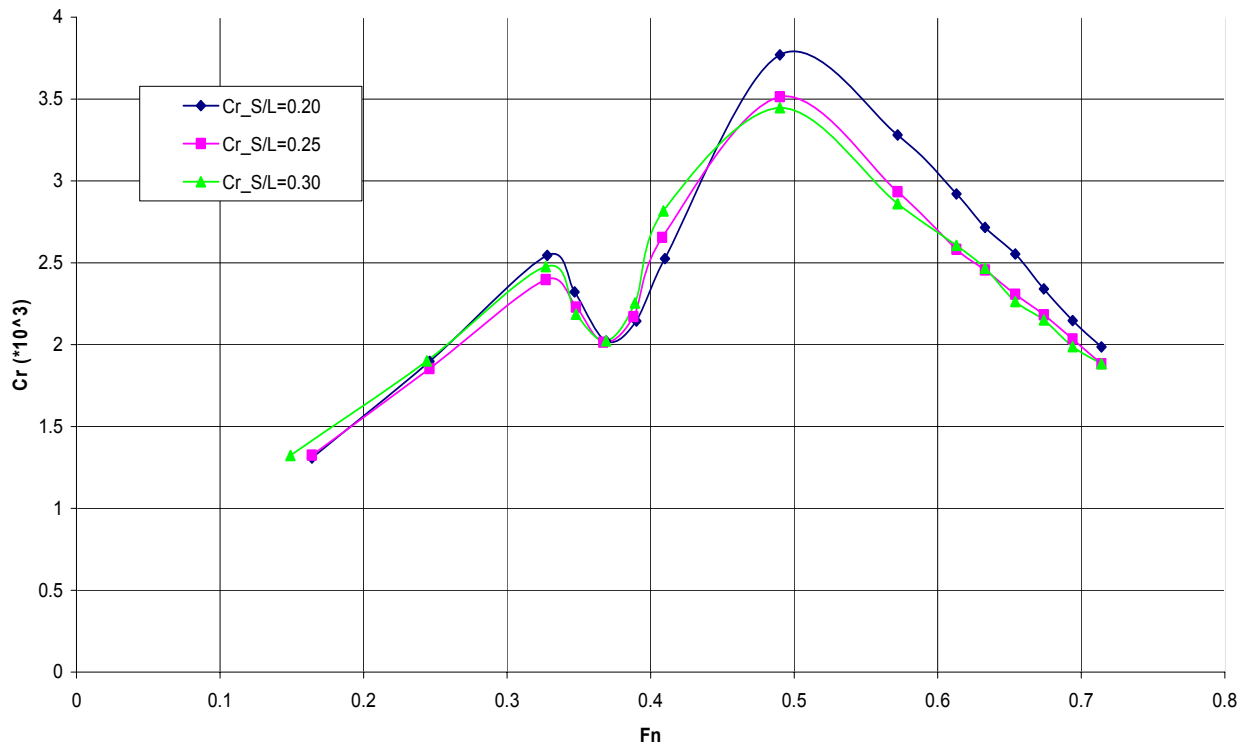
Διάγραμμα 2

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η ολική αντίσταση έχει τις ίδιες τιμές ολικής αντίστασης μέχρι τους αριθμούς Froude 0.45. Από $Fn \approx 0.45$ και μετά παρατηρείται μια εύλογη διαφοροποίηση στις τιμές αυτές. Όπως βλέπουμε, οι τιμές ολικής αντίστασης για $S/L=0.20$ είναι σημαντικά υψηλότερες για μεγάλους αριθμούς Froude, ενώ οι τιμές ολικής αντίστασης για $S/L=0.25$ είναι υψηλότερες αυτών για $S/L=0.30$, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό.

Σε πρώτη προσέγγιση, η διαφοροποίηση των τιμών της ολικής αντίστασης στις υψηλές τιμές ταχυτήτων μπορούμε να υποθέσουμε ότι οφείλεται στα φαινόμενα αλληλεπίδρασης και υπέρθεσης των δημιουργούμενων κυματισμών. Όσο αυξάνονται οι ταχύτητες οι δημιουργούμενοι κυματισμοί πιθανότατα αυξάνονται όχι μόνο ως προς το πλάτος, αλλά και κυρίως ως προς τη γωνία διάδοσής τους. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης με τη μείωση της απόστασης των ημιγαστρών, καθώς τότε το μήκος της κάθε ημιγάστρας που επηρεάζεται από τους κυματισμούς της άλλης αυξάνει με αποτέλεσμα να επηρεάζεται περισσότερο και η αντίσταση.

Καταλήξαμε σε αυτή την εξήγηση, καθώς η αντίσταση τριβής υποθέτουμε ότι δε μπορεί να μεταβάλλεται αφού η μορφή των ημιγαστρών και το βρεχόμενο τμήμα είναι ίδια και για τις τρεις καταστάσεις. Η υπόθεση-αιτιολόγηση αυτή βέβαια θα πρέπει να ελεγχθεί ως προς την εγκυρότητά της. Αρχικά, βέβαια, μια πρώτη προσπάθεια επαλήθευσης της υπόθεσης αυτής φαίνεται στο διάγραμμα C_R που ακολουθεί για τις τρεις αυτές καταστάσεις.

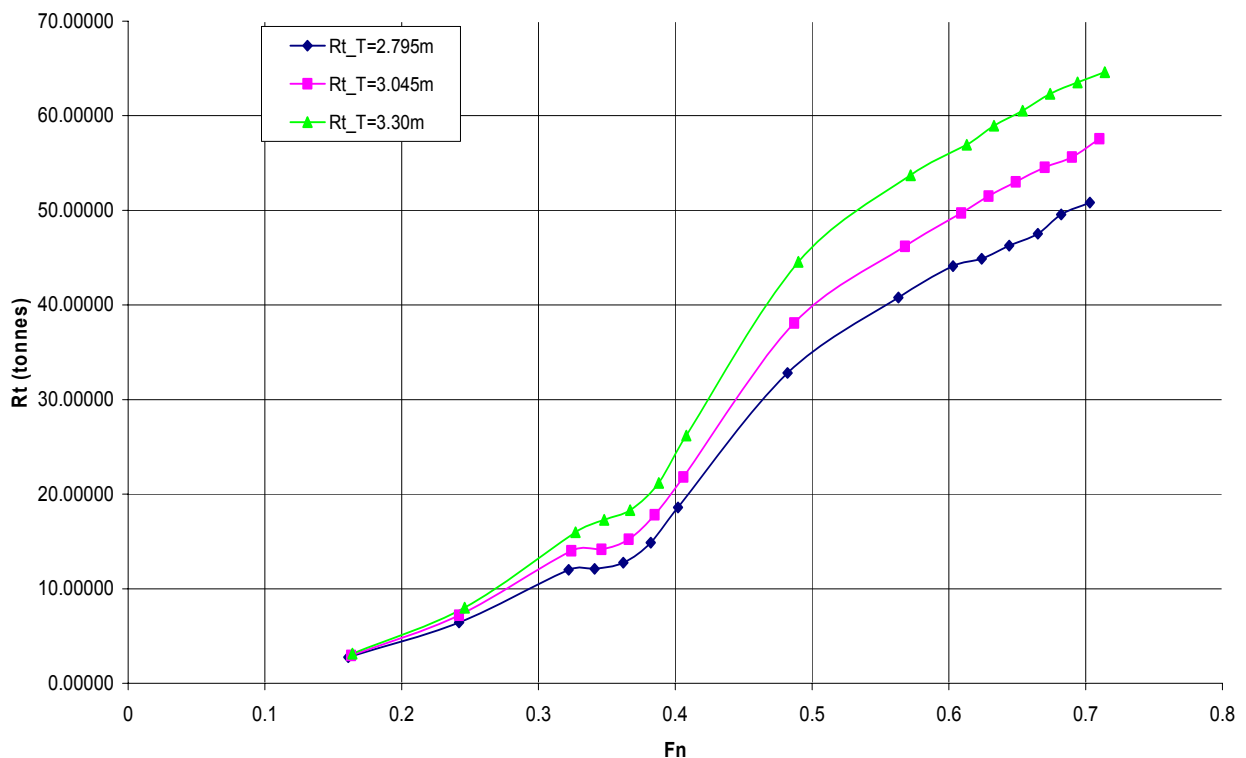
F_n - C_r Σύγκριση αποστάσεως ημιγαστρών



Διάγραμμα 3

Παρατηρούμε, λοιπόν, μια παρόμοια διαφοροποίηση μετά το $F_n=0.45$. Όπως έχει ήδη ειπωθεί στο τρίτο κεφάλαιο, το σημαντικότερο μέρος της υπόλοιπης αντίστασης - ειδικά για δίγαστρα ταχύπλοα - είναι η αντίσταση κυματισμού (θεωρητικά υπολογίζεται στο 80-90% της υπόλοιπης αντίστασης).

Rt - Fn Σύγκριση βυθισμάτων



Διάγραμμα 4

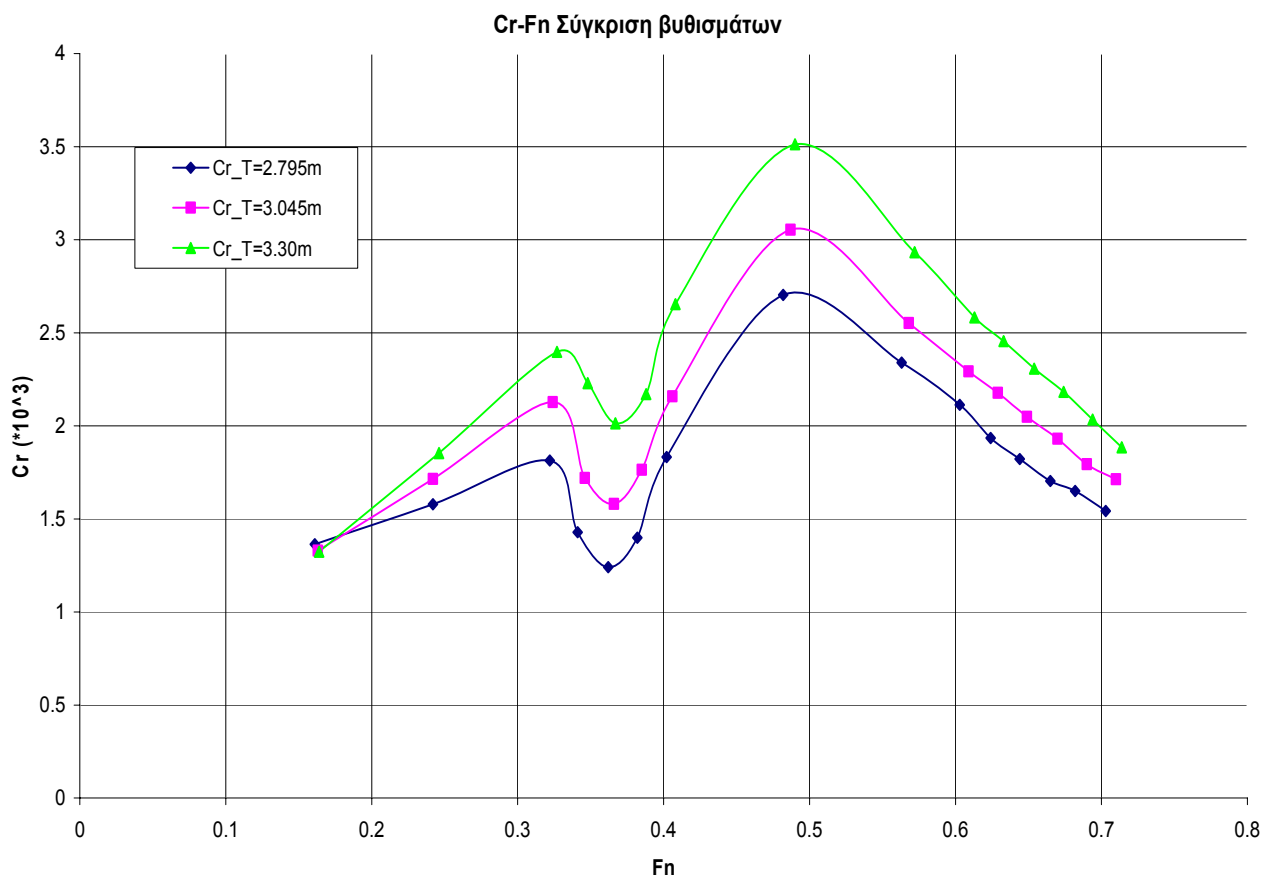
Στο άνωθεν διάγραμμα φαίνεται η σχέση ολικής αντίστασης και βυθίσματος για το semi-SWATH. Από τις πειραματικές μας μετρήσεις παρατηρείται ότι η ολική αντίσταση είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται το βύθισμα. Μάλιστα, η διαφορά των τιμών ολικής αντίστασης ανάμεσα στα τρία βυθίσματα αυξάνεται όσο κινούμαστε σε μεγαλύτερες τιμές αριθμού Froude.

Για να εξετάσουμε ορθότερα το διάγραμμα αυτό είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα βρεχόμενα μήκη και βρεχόμενες επιφάνειες για τα τρία βυθίσματα, καθώς και να γίνει πάλι και η αντίστοιχη σύγκριση ως προς το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R (ακόλουθο διάγραμμα).

Στους πίνακες με τα χαρακτηριστικά των προτύπων σκαφών φαίνονται τα βρεχόμενα μήκη, τα εκτοπίσματα και οι βρεχόμενες επιφάνειες για κάθε βύθισμα. Το σπουδαιότερο ρόλο διαδραματίζει η διαφορά στα εκτοπίσματα. Η μεταβολή στη βρεχόμενη επιφάνεια συνεισφέρει στη διαφορά ρόλο στη διαφορά που παρατηρείται και στις τιμές της ολικής αντίστασης. Όπως είναι λογικό, η διαφορά είναι κυρίως στο συντελεστή αντίστασης C_R και όχι στο C_F που εξαρτάται από τη βρεχόμενη επιφάνεια.

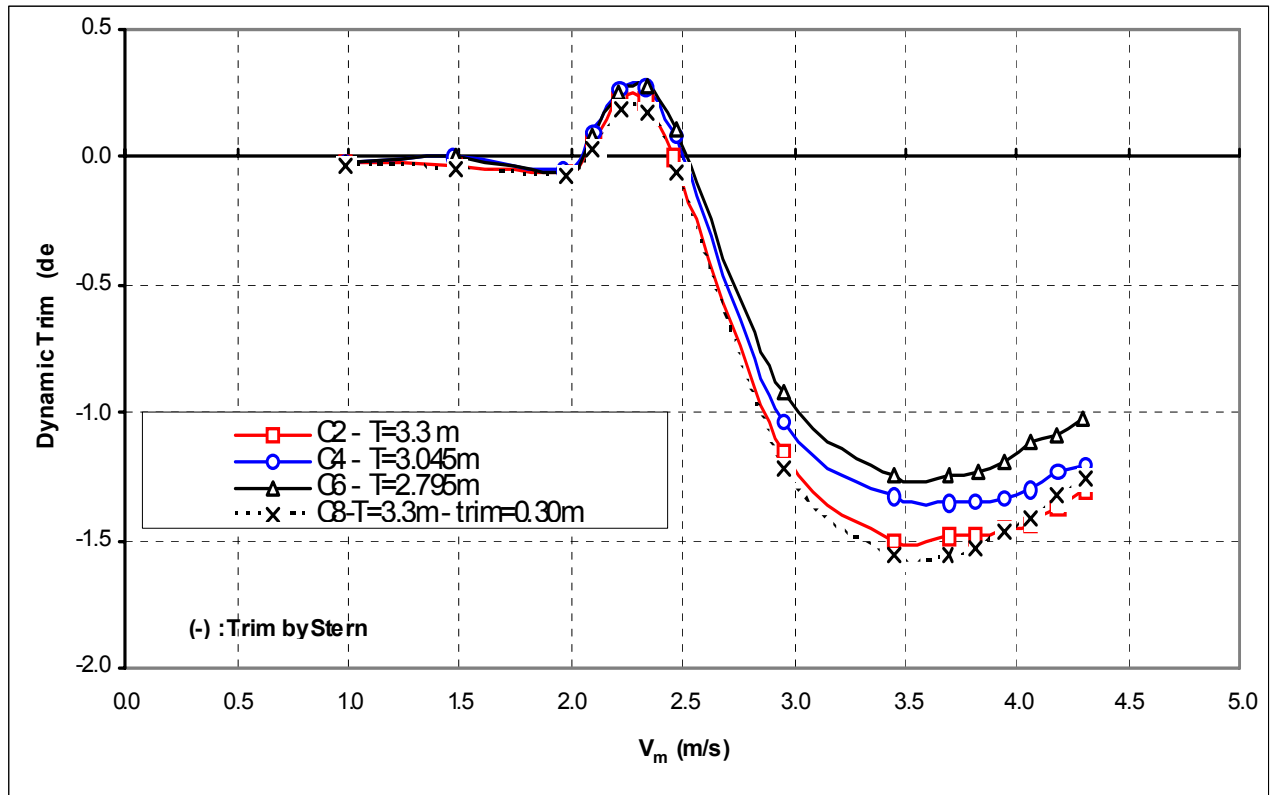
Οι μεταβολές αυτές εξηγούν και τη διαφορά που υπάρχει και στην υπόλοιπη αντίσταση. Μέρος της διαφοράς αυτής εξηγείται μέσω της αντίστασης λόγω

συνεκτικότητας, πάλι εξαιτίας της βρεχόμενης επιφάνειας – και της μορφής του βρεχόμενου τμήματος (περίπου το 20% της υπόλοιπης αντίστασης). Η αντίσταση κυματισμού, όπως είναι λογικό – οφείλεται στο γεγονός ότι τα πλάτη και η μορφή των δημιουργούμενων κυματισμών εξαρτώνται από τον όγκο της γάστρας που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του ρευστού. Έτσι, η αντίσταση κυματισμού αυξάνει με την αύξηση του βυθίσματος και συνεπώς την αύξηση του όγκου κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επιπλέον, η αντίσταση κυματισμού εξαρτάται ως ένα βαθμό και από το βρεχόμενο τμήμα του βολβού. Το βύθισμα επηρεάζει κατά συνέπεια την αποτελεσματικότητα του βολβού ως προς τον περιορισμό των δημιουργούμενων κυματισμών.

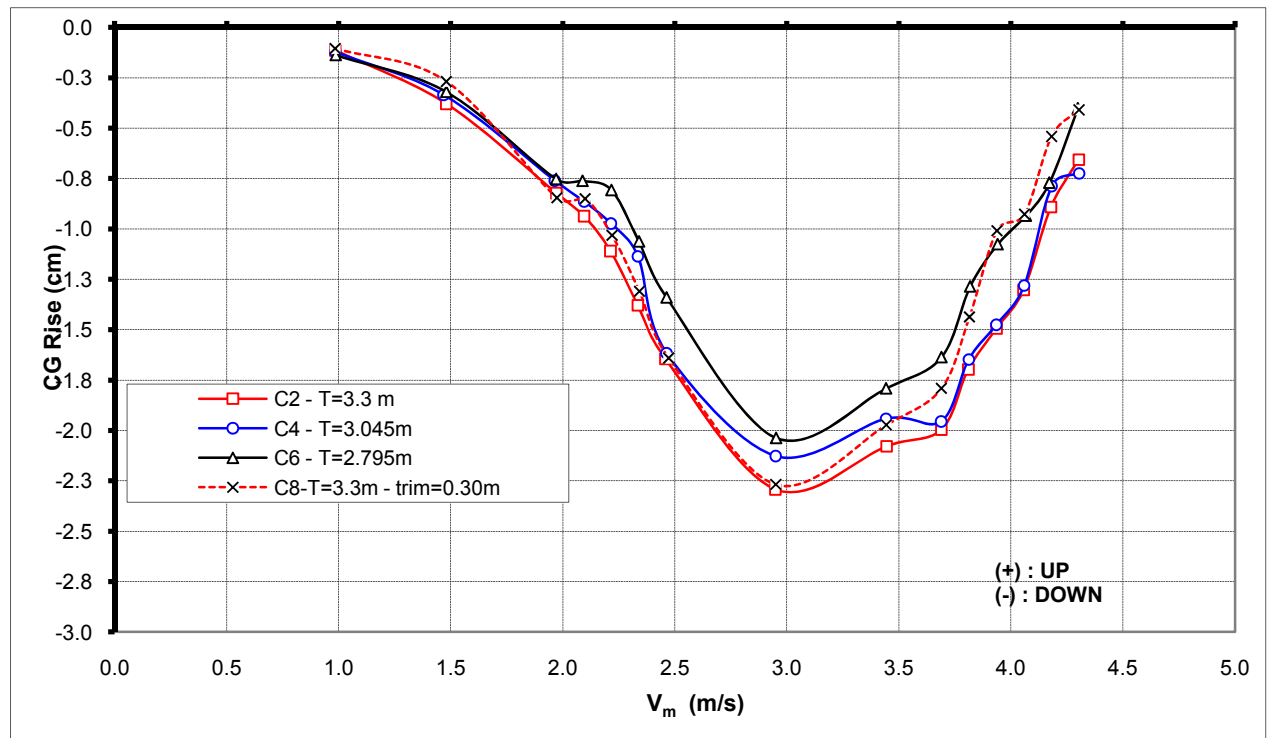


Διάγραμμα 5

Ακολουθούν τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους για περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 6 – Δυναμική Διαγωγή



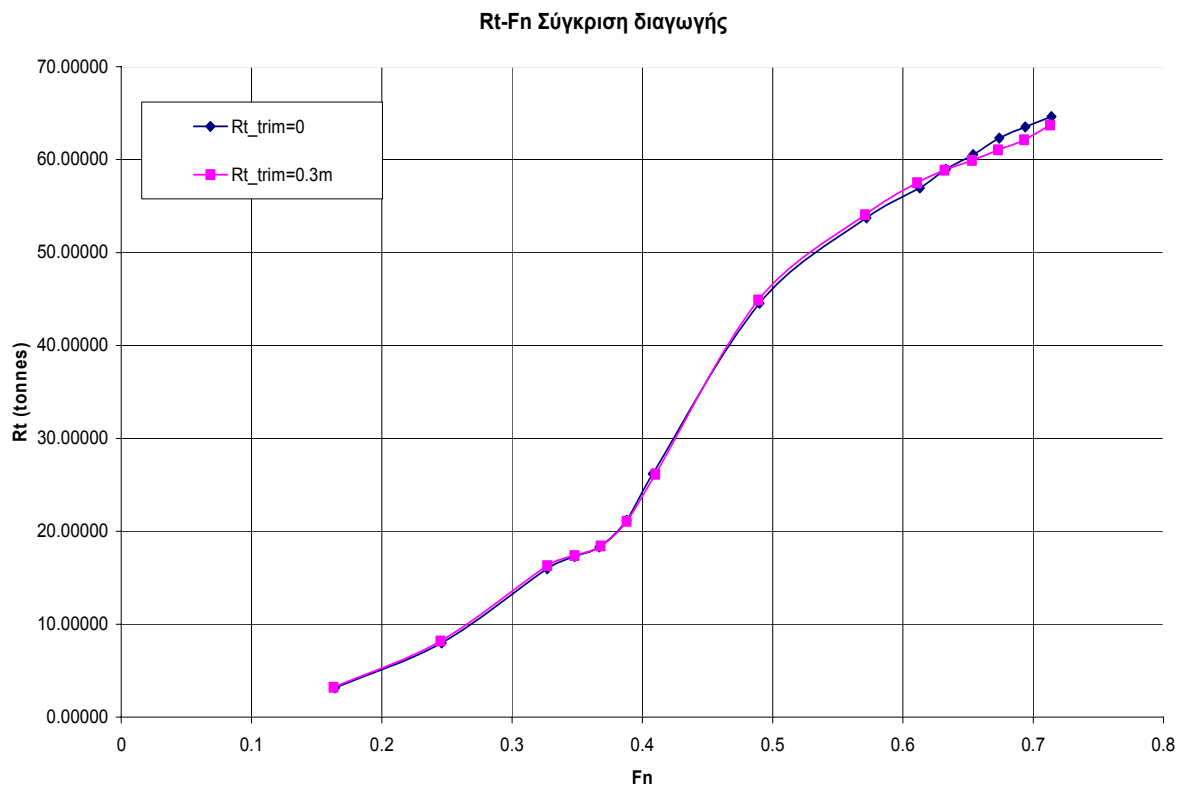
Διάγραμμα 7 – Ανύψωση Κέντρου Βάρους

Όπως φαίνεται στα διάγραμμα για όλες τις περιπτώσεις παρατηρείται η έναρξη του "πλαναρίσματος" στην περιοχή ταχυτήτων $V > 3\text{m/s}$ ($F_n = 0.55$). Το φαινόμενο αυτό είναι το ίδιο έντονο και για τις τρεις αποστάσεις ημιγασρών που δοκιμάστηκαν, ενώ είναι λιγότερο έντονο, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, για το βύθισμα $T = 3.30\text{m}$, γεγονός που λογικά πάλι οφείλεται στην ύπαρξη μεγαλύτερης ποσότητας όγκου κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

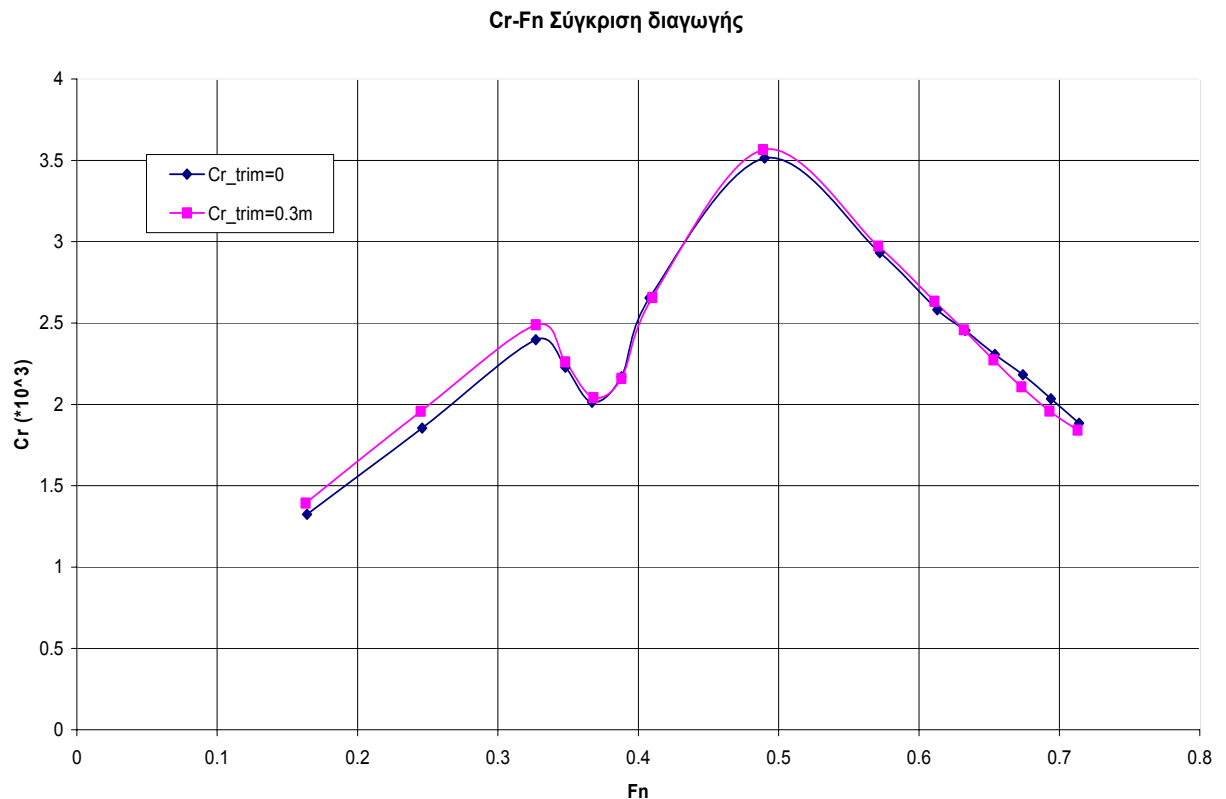
Στις χαμηλές ταχύτητες δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή στη δυναμική διαγωγή, ενώ στο διάγραμμα ανύψωσης του KB φαίνεται να αρχίζει μείωση του KB, μείωση που συνεχίζει ως την ταχύτητα $V = 3\text{m/s}$ ($F_n = 0.55$). Στο διάγραμμα δυναμικής διαγωγής παρατηρείται μια περιοχική έμπρορης διαγωγής στις ταχύτητες $V = 2 - 2.5\text{m/s}$ ($F_n = 0.3 - 0.4$) και στη συνέχεια φαίνεται η παρουσία έμπρομνης διαγωγής η οποία σταθεροποιείται σε ένα εύρος γωνιών μετά την $V = 3\text{m/s}$ ($F_n = 0.55$).

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται, όπως θα δούμε στη συνέχεια, και στους αριθμητικούς υπολογισμούς και συγκεκριμένα μέσω των διαγραμμάτων αντίστασης κυματισμού.

Τέλος, γίνεται και μια σύγκριση των τιμών ολικής και υπόλοιπης αντίστασης στο βύθισμα σχεδίασης της μηδενικής διαγωγής με τιμή διαγωγής $\delta T_1 = 0.3\text{m}$ έμπρομνη (0.273 deg).



Διάγραμμα 8



Διάγραμμα 9

Η διαγωγή είναι σχετικά μικρή, οπότε δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές στις τιμές αντίστασης. Οι καμπύλες ολικής αντίστασης μοιάζουν να διαφοροποιούνται σε μικρό βαθμό στις τελευταίες τιμές ταχυτήτων ($F_n > 0.65$), με μεγαλύτερες τιμές για την κατάσταση μηδενικής διαγωγής.

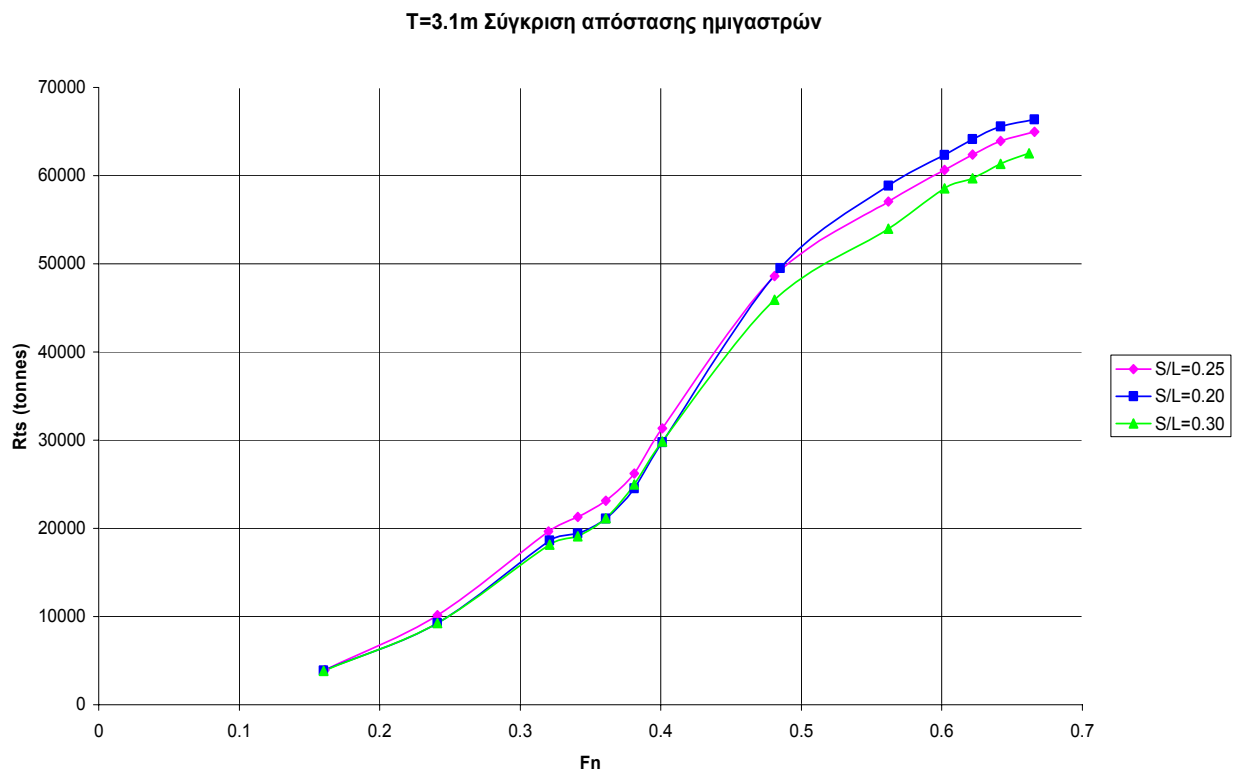
Αντιθέτως, από το διάγραμμα υπόλοιπης αντίστασης φαίνεται η κατάσταση διαγωγής να παρουσιάζει μεγαλύτερη υπόλοιπη αντίσταση στις χαμηλές ταχύτητες μέχρι $F_n \approx 0.33$, ενώ στις υψηλές ταχύτητες παρουσιάζονται αποτελέσματα μορφής ίδιας με αυτής της ολικής αντίστασης. Σε γενικές γραμμές, σε χαμηλές ταχύτητες, όπου δεν έχει αρχίσει η διαδικασία πλαναρίσματος και οι τιμές δυναμικής διαγωγής είναι χαμηλές, η ύπαρξη αρχικής διαγωγής λειτουργεί ανασταλτικά ως προς την αντίσταση. Με την αύξηση των ταχυτήτων, οι τιμές της διαγωγής τείνουν να γίνουν ίσες για τις δύο καταστάσεις, οπότε θεωρητικά πρόκειται σχεδόν για το ίδιο πρόβλημα.

Η εμφάνιση ίδιων τιμών ολικής αντίστασης σε όλο το εύρος των ταχυτήτων μέχρι $F_n > 0.65$, παρά τη διαφορά στην υπόλοιπη αντίσταση ενδεχομένως να οφείλεται στη σχετικά μικρότερη βρεχόμενη επιφάνεια στην κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής – και άρα και αντίστασης λόγω τριβής – που τελικά ισοσταθμίζει θεωρητικά την ολική αντίσταση.

Η τελική επιλογή των παραμέτρων σχεδίασης, φυσικά, καθορίζεται και από άλλους – μη υδροδυναμικούς – παράγοντες που σχετίζονται με τη βέλτιστη εκμετάλλευση του σκάφους.

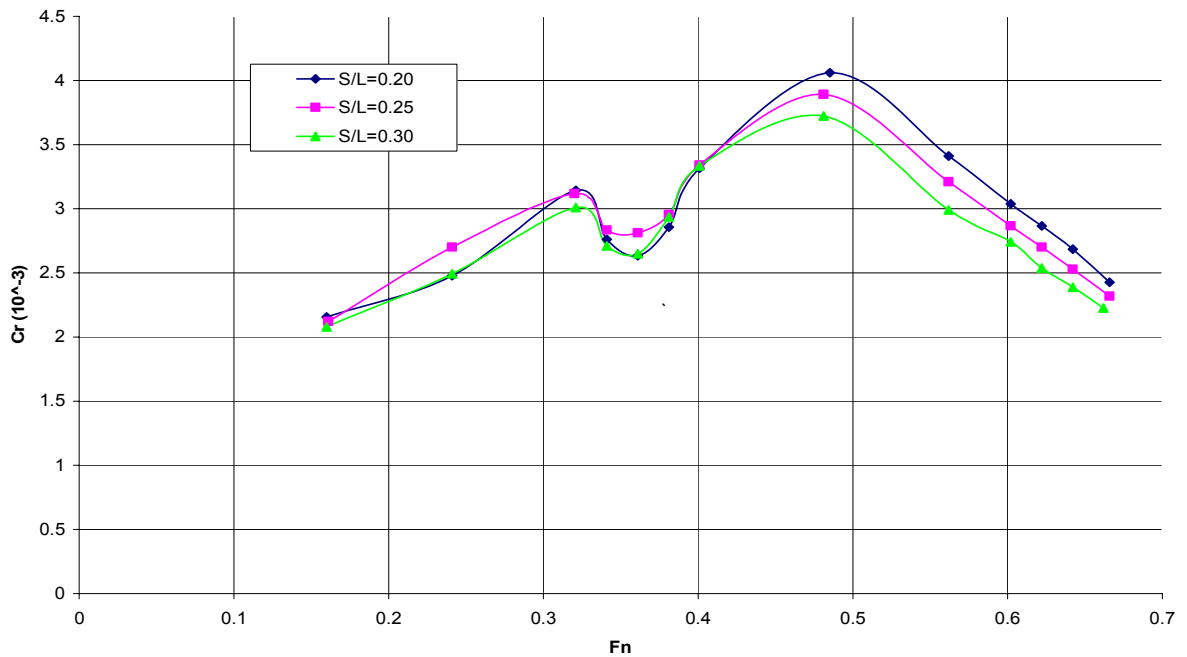
4.4.2 Semi-SWATH B

Όπως θα φανεί και από τα αντίστοιχα διαγράμματα που ακολουθούν για αυτό το σκάφος τα αποτελέσματα είναι όμοια.



Διάγραμμα 10

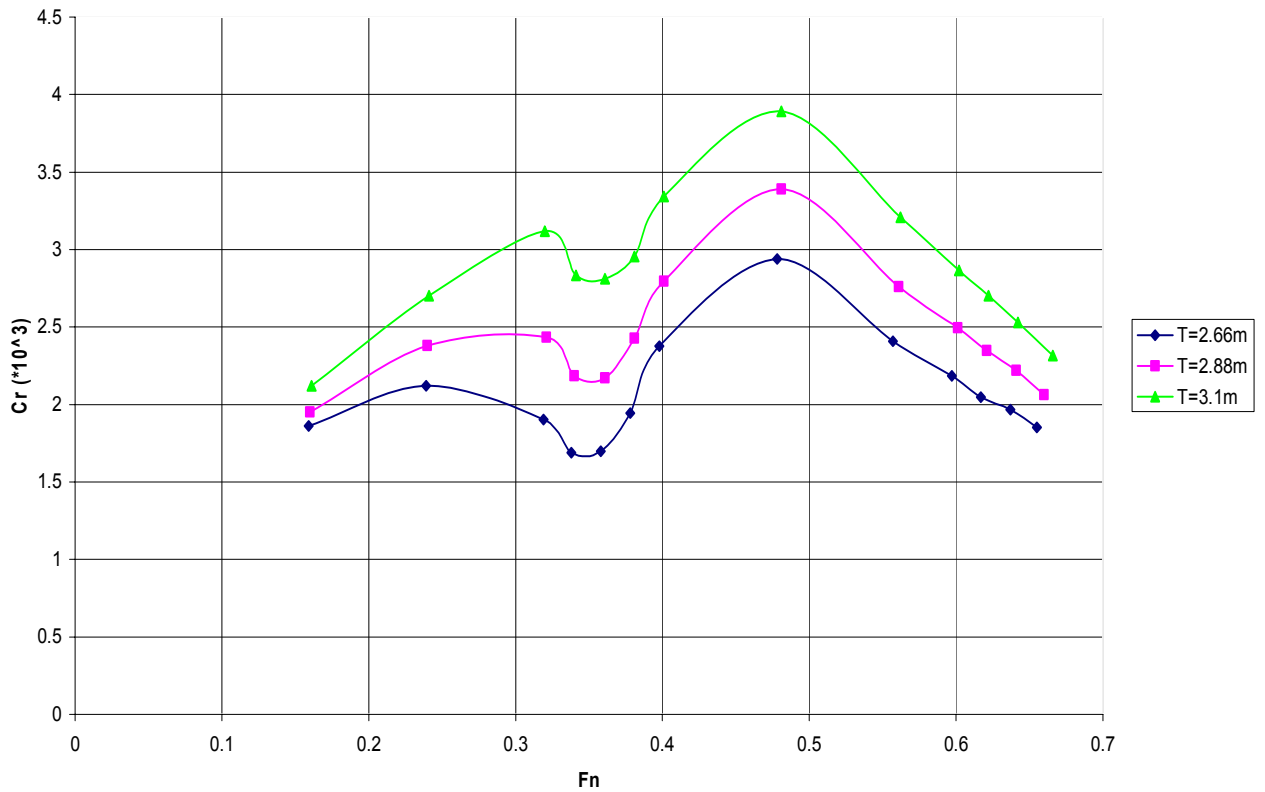
Fn-Cr Σύγκριση απόστασης ημιγαστρών



Διάγραμμα 11

Και στα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι η διαφοροποίηση των καμπύλων αρχίζει μετά την τιμή $F_n \approx 0.45$. Οι λόγοι βέβαια παραμένουν οι ίδιοι. Σε αυτό το μοντέλο βέβαια, η γωνία διάδοσης των κυματισμών μοιάζει να επηρεάζει διαφορετικά την αντίσταση για $S/L=0.25$ και $S/L=0.30$ σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση που οι τιμές ήταν σχεδόν ίδιες. Η διαφορά στις τιμές υπόλοιπης αντίστασης μεταξύ $S/L=0.25$ και $S/L=0.20$ είναι μεγαλύτερη.

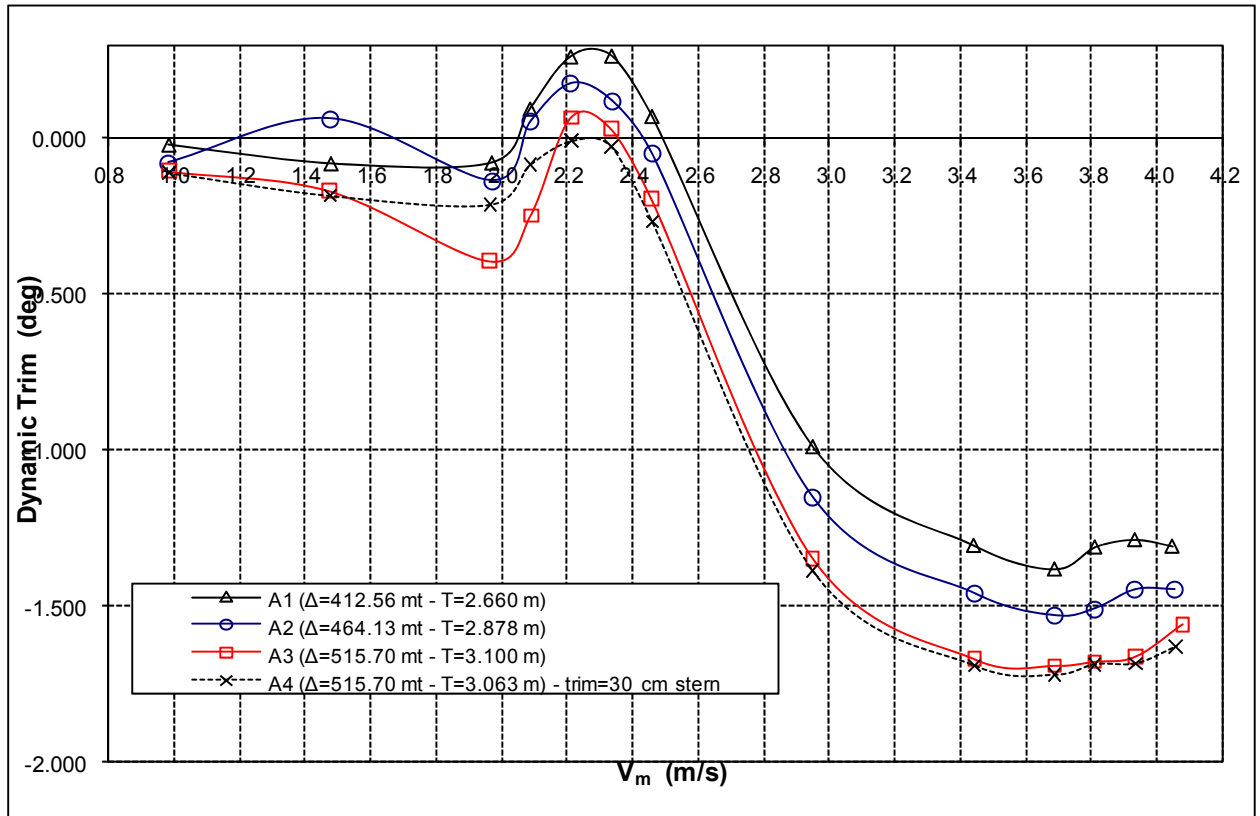
Fn-Cr Σύγκριση βυθισμάτων



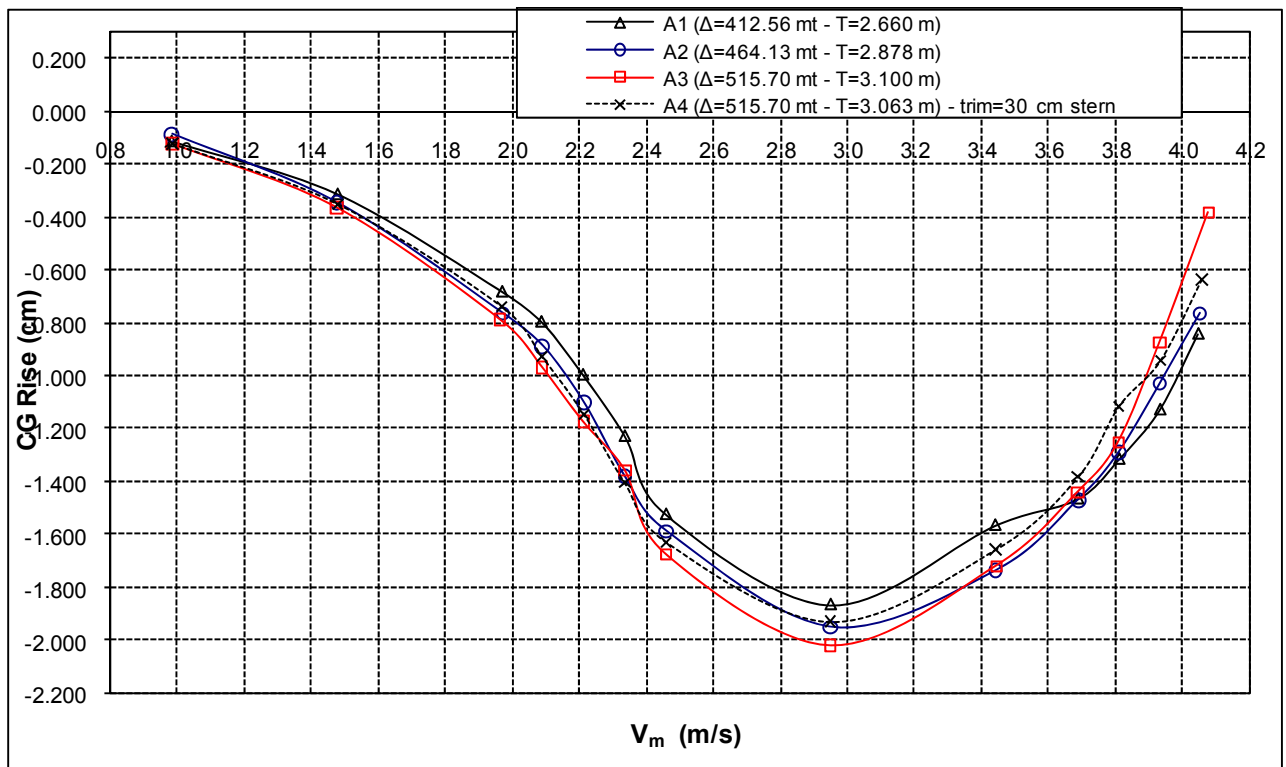
Διάγραμμα 12

Για τιμές $Fn=0.35-0.37$ παρατηρείται, όπως και στο προηγούμενο, η δημιουργία αυτή του ελαχίστου που φαίνεται, ενώ η μέγιστη τιμή προκύπτει για $Fn \approx 0.48$.

Τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους για το semi-SWATH B που ακολουθούν είναι και αυτά όμοια με τα αντίστοιχα του semi-SWATH A.

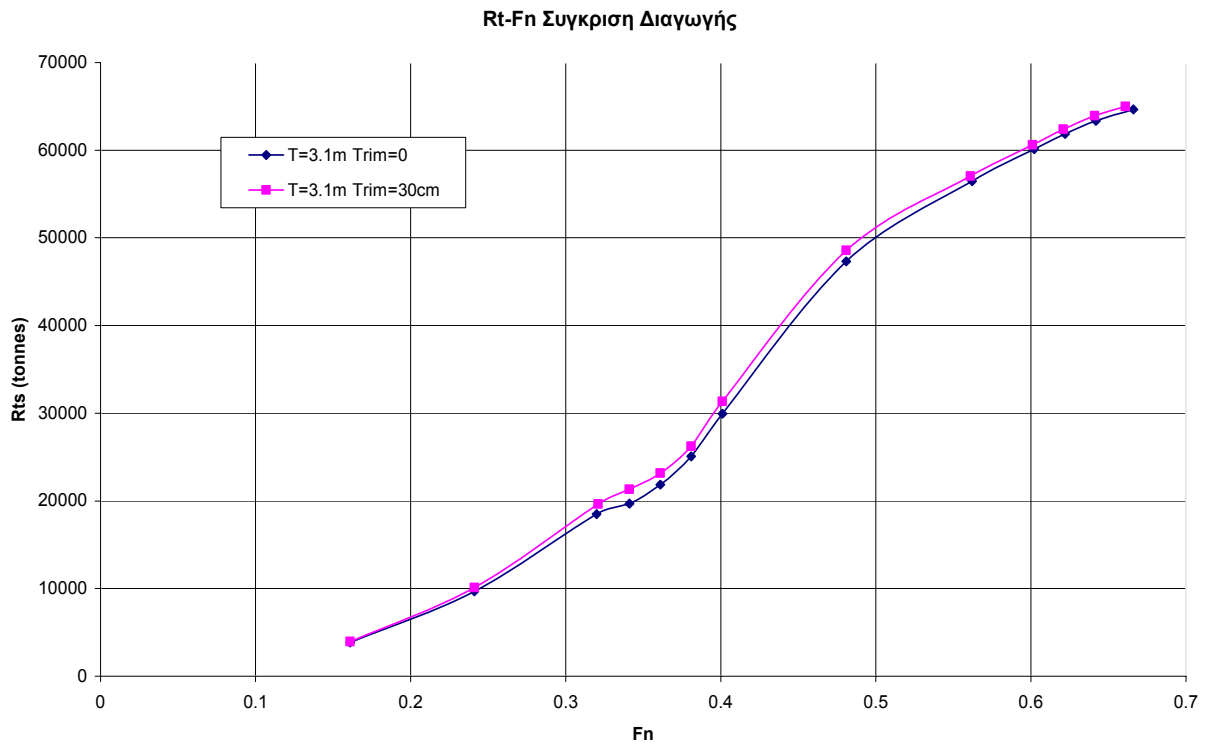


Διάγραμμα 13 – Δυναμική Διαγωγή

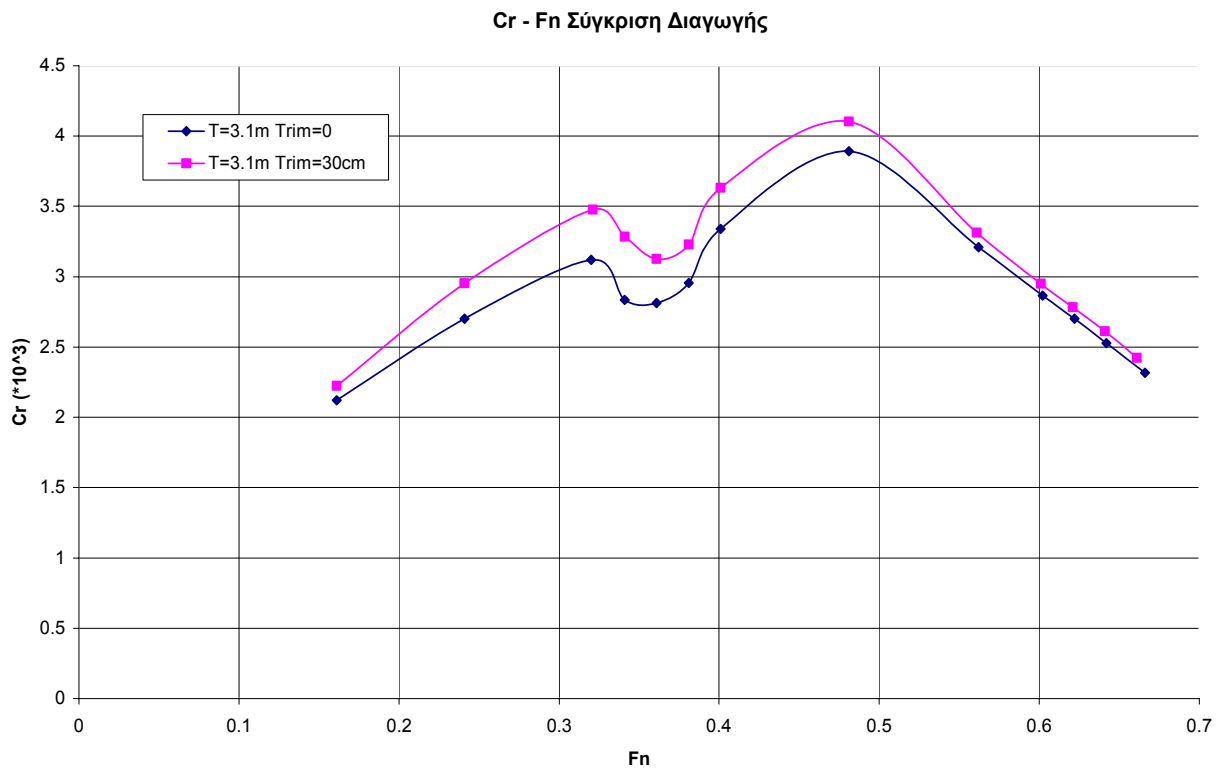


Διάγραμμα 14 – Δυναμική Μεταβολή Βυθίσματος

Έγιναν επιπλέον πειραματικές δοκιμές πάλι για έμπρυμνη διαγωγή 30cm στο μοντέλο.



Διάγραμμα 15



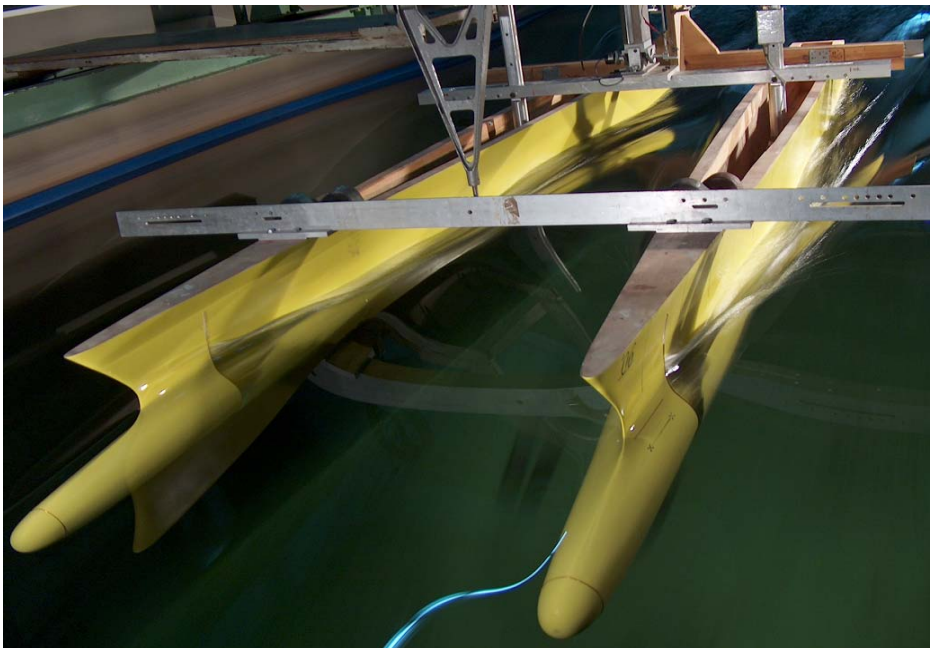
Διάγραμμα 16

Οι τιμές της ολικής αντίστασης φαίνονται να διαφοροποιούνται από την τιμή $F_n=0.3$ και πάνω με την κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής να εμφανίζει σχετικά υψηλότερες τιμές. Όσον αφορά τις καμπύλες υπόλοιπης αντίστασης, η κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής έχει εμφανώς μεγαλύτερες τιμές μέχρι την ταχύτητα $F_n \approx 0.5$ απ' όπου μειώνονται οι διαφορές.

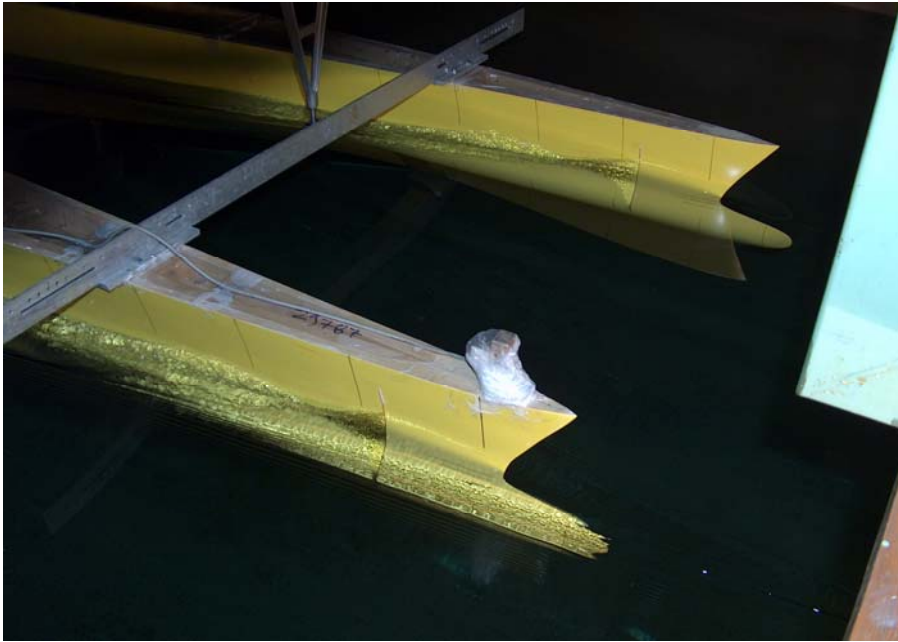
Ενώ ακολούθως παρατίθενται και εικόνες από τις πειραματικές μετρήσεις.



Εικόνα 8 – semi-SWATH A $F_n=0.40$



Εικόνα 9 – semi-SWATH B $F_n=0.56$



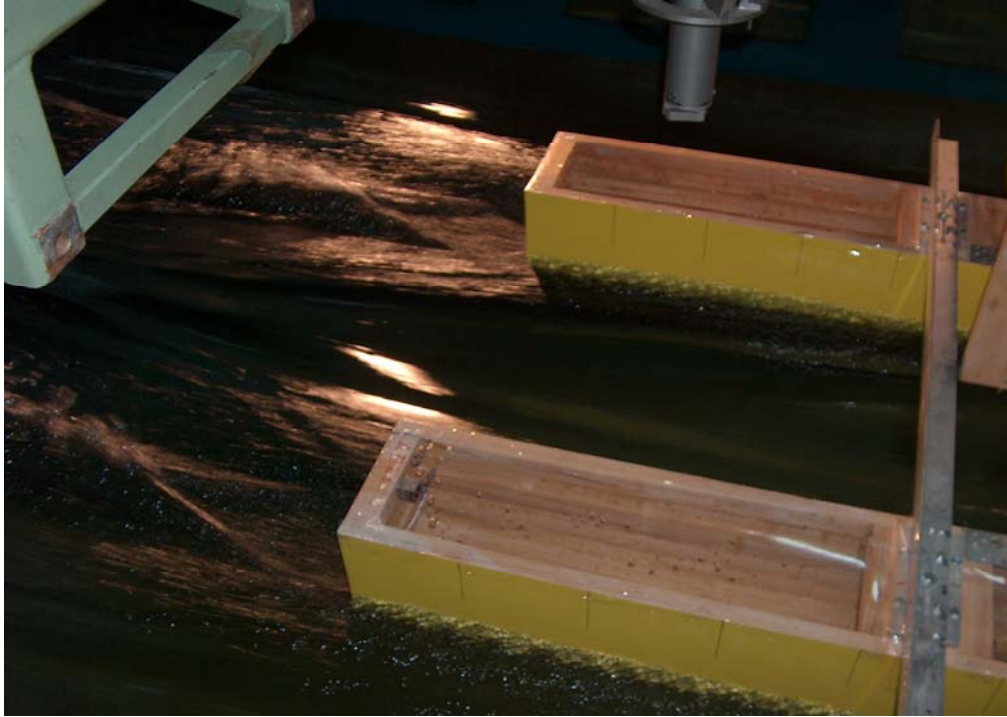
Εικόνα 10 – semi-SWATH B $F_n=0.40$



Εικόνα 11 – semi-SWATH B $F_n=0.56$

Στις εικόνες αυτές φαίνονται οι ροές στην πλήρη των πρότυπων σκαφών για δύο χαρακτηριστικές ταχύτητες. Από αυτές φαίνεται ότι η διαταραχή της ροής στο πρότυπο semi-SWATH B είναι εντονότερη καθώς φαίνεται μια εντονότερη θραύση του κύματος.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η ροή που ακολουθούσε το νερό και στα δύο σκάφη εξαιτίας της πρύμνης καθρέφτη.



Εικόνα 12 – Ροή στην πρύμνη καθρέφτη

Και για τις δύο περιπτώσεις σκαφών παρατηρούσαμε αποκόλληση της ροής στην πρύμνη καθρέφτη και πλήρη σχεδόν έξοδο της πρύμνης από το νερό ειδικά στις πολύ υψηλές ταχύτητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕ SWAN 2

5.1 Εισαγωγή

Το SWAN 2 είναι πρόγραμμα CFD δυναμικής ροής για τα ανάλυση σταθερών και μη ροών ελεύθερης επιφάνειας γύρω από πλοία σε άπειρο ή πεπερασμένο βάθος ή σε κανάλι.

Λύνει τα σταθερά και μη σταθερά προβλήματα ροής γύρω από πλοία χρησιμοποιώντας τη τρισδιάστατη μέθοδο «Rankine Panel» στο χώρο του χρόνου μέσω κατανομής ορθογωνίων πλαισίων – που συνιστούν το πλέγμα – στο πλοίο και την ελεύθερη επιφάνεια. Οι συνθήκες της ελεύθερης επιφάνειας που χρησιμοποιεί το SWAN 2 γραμμικοποιούν τις σταθερές και μη σταθερές κατανομές κύματος όσον αφορά τη ροή γύρω από το σώμα και το συμμετρικό του ως προς την ελεύθερη επιφάνεια (double body).

Πρόκειται για πρόγραμμα που αναπτύχθηκε κυρίως για Seakeeping, όμως χρησιμοποιήθηκε εδώ για υπολογισμούς σε ήρεμη επιφάνεια. Το πλέγμα που εισάγεται στο SWAN δημιουργείται από ρουτίνες ενσωματωμένες στο SWAN που είναι σχεδιασμένες να διασφαλίζουν ότι ισχύουν τα κριτήρια υπολογιστικής ευστάθειας.

Η διαφορά του με τα άλλα προγράμματα είναι η ικανοποίηση της γραμμικής συνθήκης ελεύθερης επιφάνειας. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για την εκτίμηση του πεδίου μακριά από το πλοίο. Έτσι, το πρόβλημα που μπορεί να λυθεί περιλαμβάνει ένα πεδίο το οποίο μπορεί να επεκταθεί ένα μήκος πλοίου σε εγκάρσια διεύθυνση και 4-5 μήκη πλοίου πρὸ μνηθεν αυτού. Το SWAN 2 έχει τη δυνατότητα να διανέμει τα ορθογώνια στοιχεία της επιφάνειας και στον καθρέφτη, ικανοποιώντας τη συνθήκη του στεγνού καθρέφτη. [16]

Στο SWAN 2 θεωρείται πλοίο που αναπτύσσει ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το χρόνο. Στην κατάσταση αυτή, υποθέτοντας ροή, ορίζεται η ταχύτητα διαταραχής του ρευστού ως το διαφορικό του δυναμικού της ταχύτητας $\Phi(x,t)$.

Η θέση της ελεύθερης επιφάνειας ορίζεται από την ανύψωση κύματος $\zeta(x,y,t)$, η οποία μαζί με το δυναμικό της ταχύτητας είναι οι άγνωστες ποσότητες, ή μεταβλητές κατάστασης, που πρέπει να οριστούν από τη μέθοδο Rankine Panel. Οι μεταβλητές κατάστασης σχετίζονται από δύο συνθήκες στην ελεύθερη επιφάνεια.

Η κινηματική συνθήκη απαιτεί το σωματίδιο του ρευστού που βρίσκεται στη διεπιφάνεια αέρα-νερού τη στιγμή $t=0$ να βρίσκεται εκεί σε κάθε στιγμή. Η

δυναμική συνθήκη δηλώνει ότι η πίεση του ρευστού στην ελεύθερη επιφάνεια πρέπει να ισούται με την ατμοσφαιρική πίεση.

Πάνω στη γάστρα, η ταχύτητα της ροής ισούται την ταχύτητα στο στερεό οριακό στρώμα.

Η δυσκολία της επίλυσης των εξισώσεων των συνθηκών αυτών υπερνικάται με την εισαγωγή ορισμένων γραμμικοποιήσεων.

Γραμμικοποίηση των συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας

Η παραπάνω γραμμικοποίηση δικαιολογείται αν ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες α) η περιβάλλουσα κλίση κύματος είναι μικρή, β) το σχήμα της γάστρας είναι επαρκώς “υδροδυναμικό”, σχετικά λεπτό, να έχει επαρκή λυγηρότητα ή να είναι επίπεδη. Ενώ σε μηδενική ταχύτητα η γραμμικοποίηση είναι σχετικά προφανής, δεν ισχύει το ίδιο για την ύπαρξη ταχύτητας πρόωσης. Η βασική συνέπεια της υπόθεσης ότι το πλοίο είναι υδροδυναμικό είναι ότι η ταχύτητα της διαταραχής του ρευστού που προκαλείται από την κίνηση του πλοίου πρόσω και την ταλαντωτική κίνηση στα κύματα είναι μικρές σε σχέση με την ταχύτητά του U . Τότε το δυναμικό της ταχύτητας Φ μπορεί να σπάσει σε δύο τμήματα, το δυναμικό βασικής ροής ϕ_0 και το δυναμικό διαταραγμένης ροής ϕ_1 . Το πλεονέκτημα της μεθόδου γραμμικοποίησης Double Body είναι ότι τα αποτελέσματα του πάκους του πλοίου μοντελοποιούνται καλύτερα από το δυναμικό βασικής ροής ϕ_0 .

Γραμμικοποίηση των συνθηκών ορίων του σώματος

Στην περίπτωση αυτή η βασική ροή μοντελοποιείται από το δυναμικό ροής double-body που ικανοποιεί τη συνοριακή συνθήκη στη γάστρα εξαιτίας της κίνησης πρόσω και τη συνθήκη στερεού σώματος στην επιφάνεια $z=0$.

Το πρόβλημα ενδεχομένως της γραμμικοποίησης στις δύο αυτές συνθήκες είναι η επίλυση σε περιοχές κοντά στην ίσαλο του πλοίου και ιδιαίτερα κοντά στην πλώρη.

Διαφορικές ποσότητες όπως διαγωγή, βύθιση και αντίσταση κυματισμού μπρούν να εκτιμηθούν είτε με ολοκλήρωση της πίεσης, είτε με επιβολή της αρχής διατήρησης των ροπών. [17]

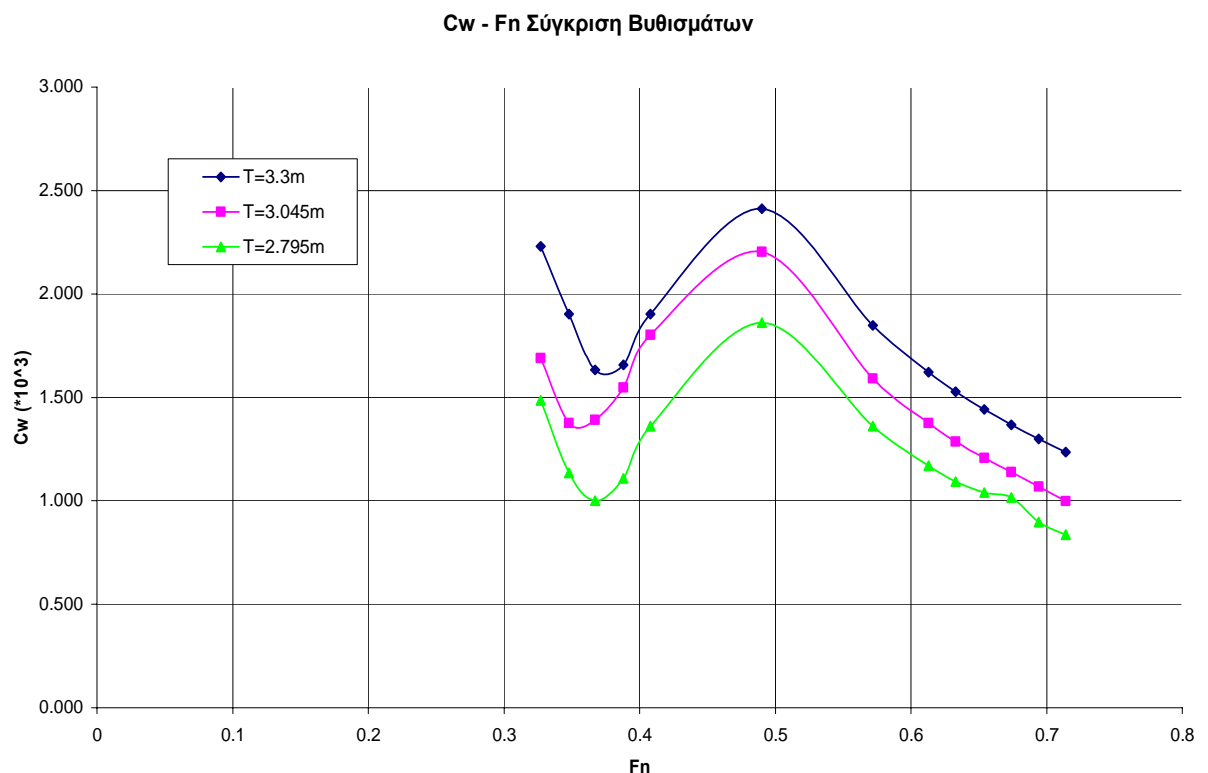
5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα – σε διαγράμματα – για τους συντελεστές αντίστασης κυματισμού που προέκυψαν για τις εκάστοτε εγκαταστάσεις. Ειδικότερα, θα γίνουν οι ίδιες συγκρίσεις που έγιναν και για τα πειραματικά αποτελέσματα, δηλαδή «Σύγκριση βυθισμάτων», «Σύγκριση απόστασης ημιγαστρών» και «Σύγκριση διαγωγών».

Το πλέγμα της ελεύθερης επιφάνειας είχε διαστάσεις 0.5L πρώραθεν του σκάφους, 1L σε εγκάρσια απόσταση από τη Center Line και 2L πρύμνηθεν, όπου L το μήκος του εκάστοτε σκάφους.

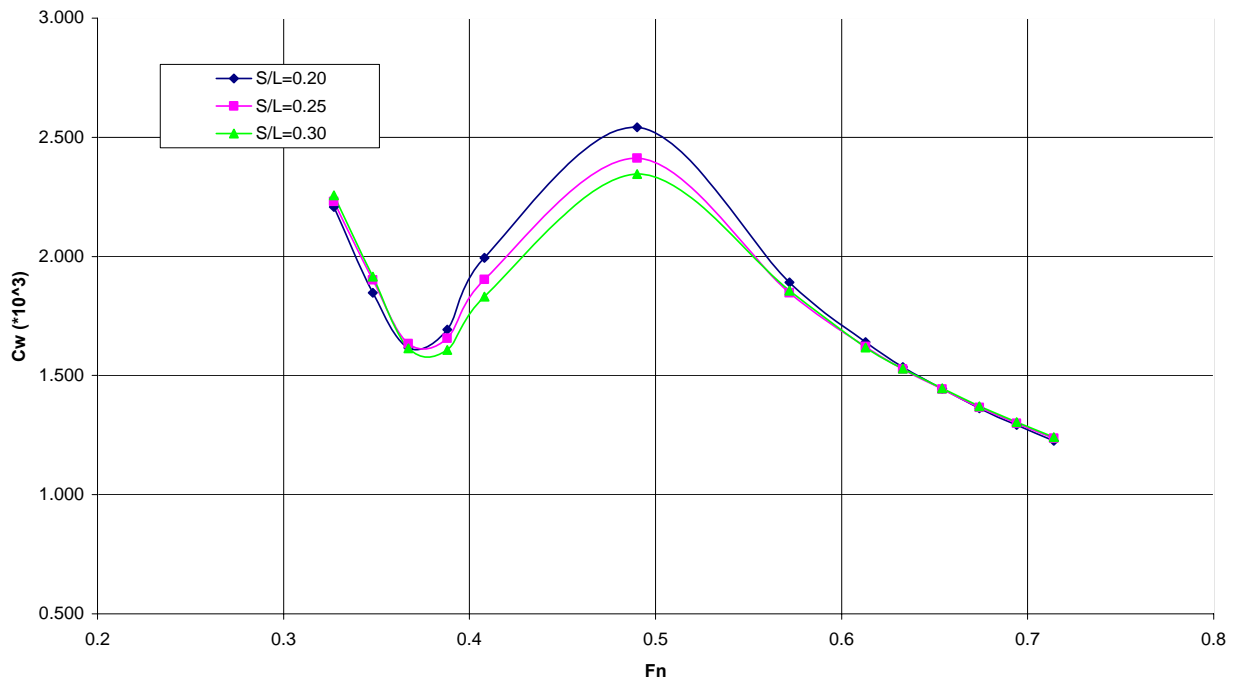
5.2.1 Semi-SWATH A

Στα διαγράμματα που ακολουθούν γίνεται σύγκριση της κατανομής του συντελεστή αντίστασης κυματισμού για τα τρία βυθίσματα, για τις τρεις αποστάσεις ημιγαστρών καθώς και σύγκριση διαγωγών στο βύθισμα σχεδίασης.



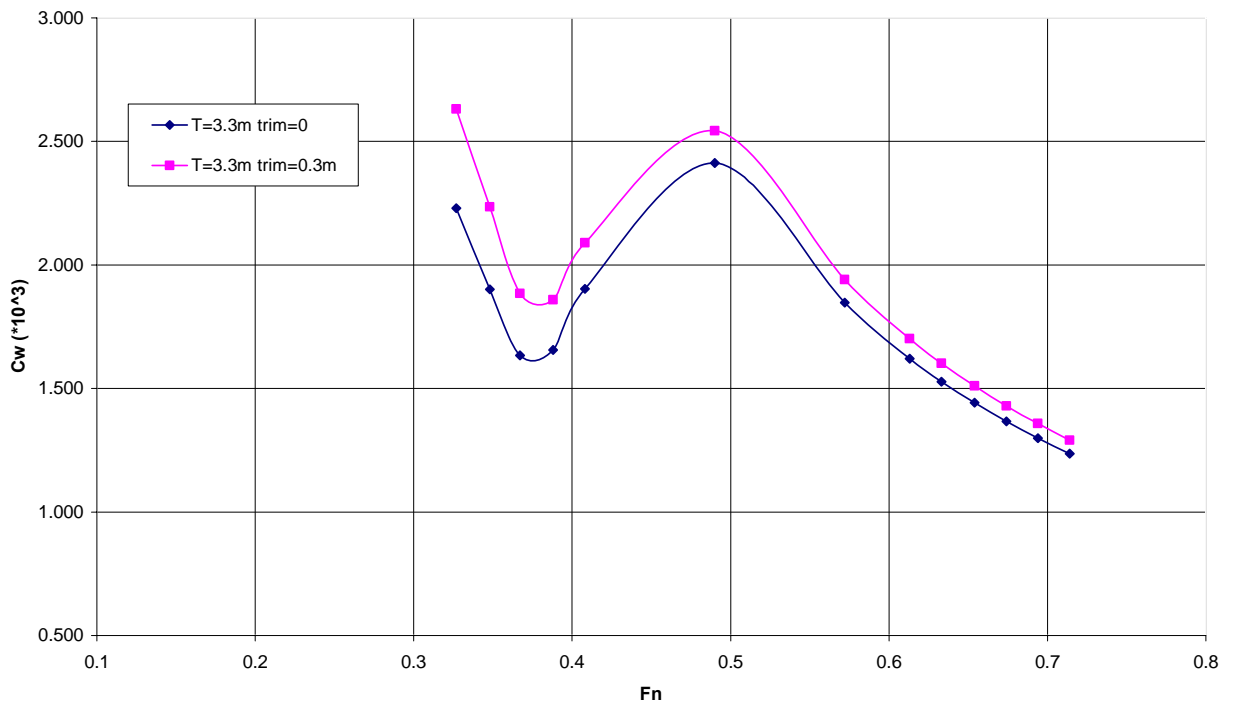
Διάγραμμα 17

Cw - Fn Σύγκριση απόστασης ημιγαστρών



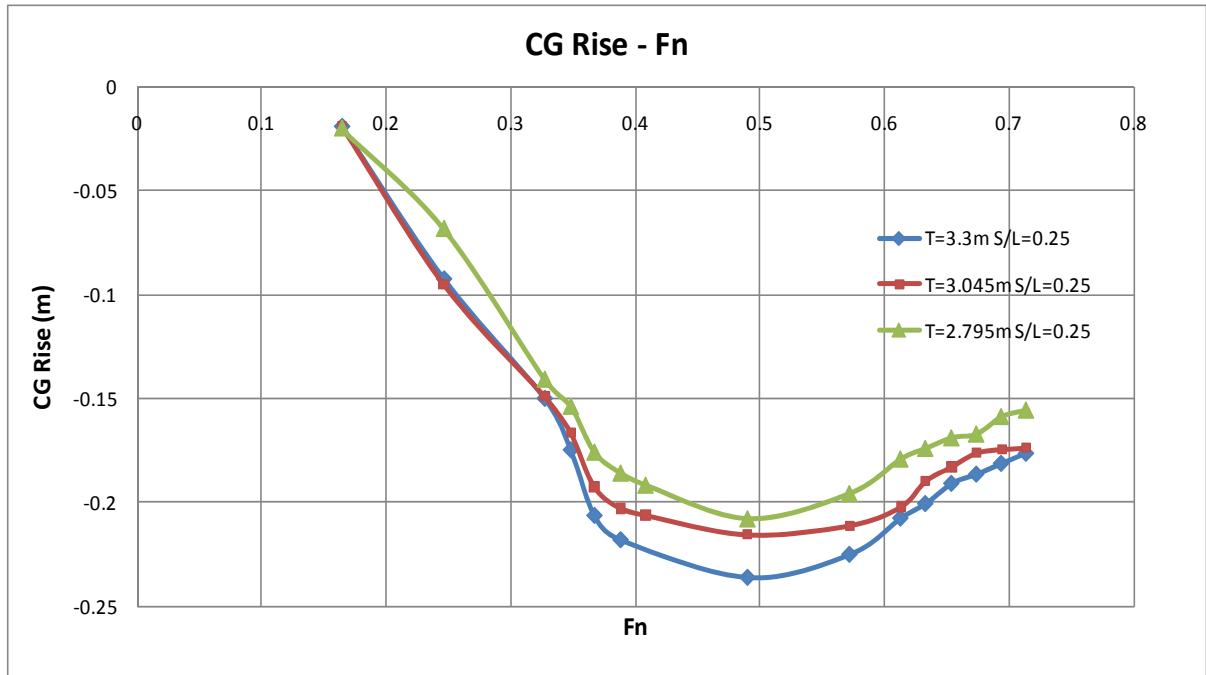
Διάγραμμα 18

Cw - Fn Σύγκριση Διαγωγής

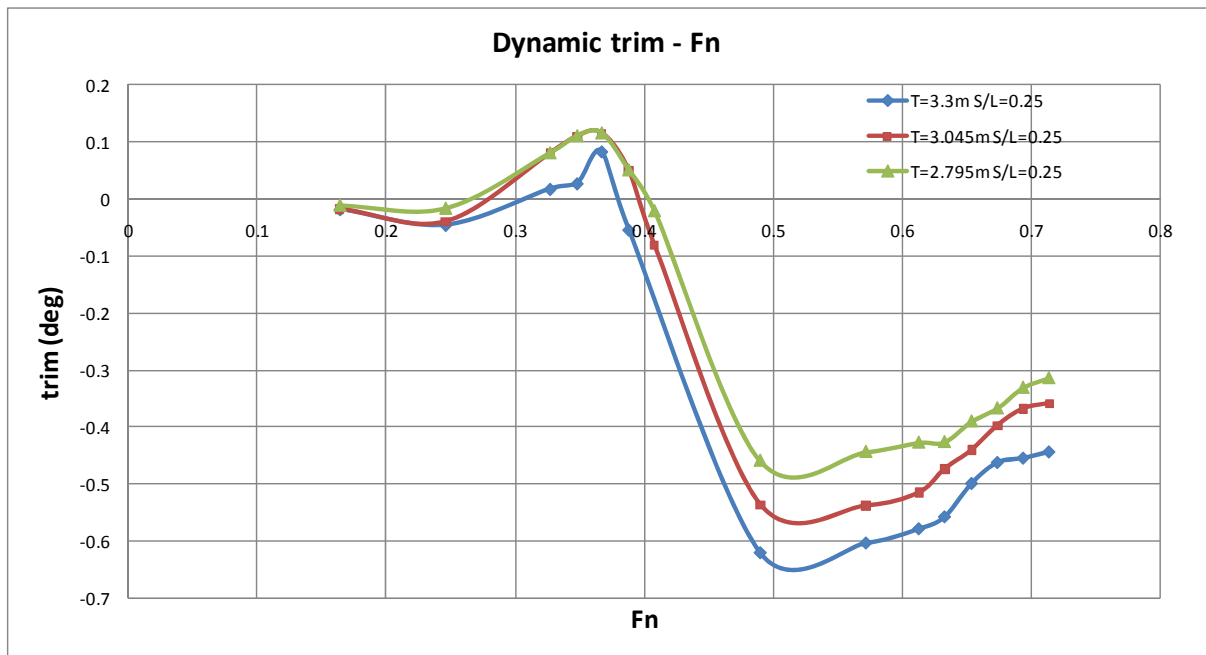


Διάγραμμα 19

Στη συνέχεια φαίνονται τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους για τα τρία βυθίσματα.



Διάγραμμα 20

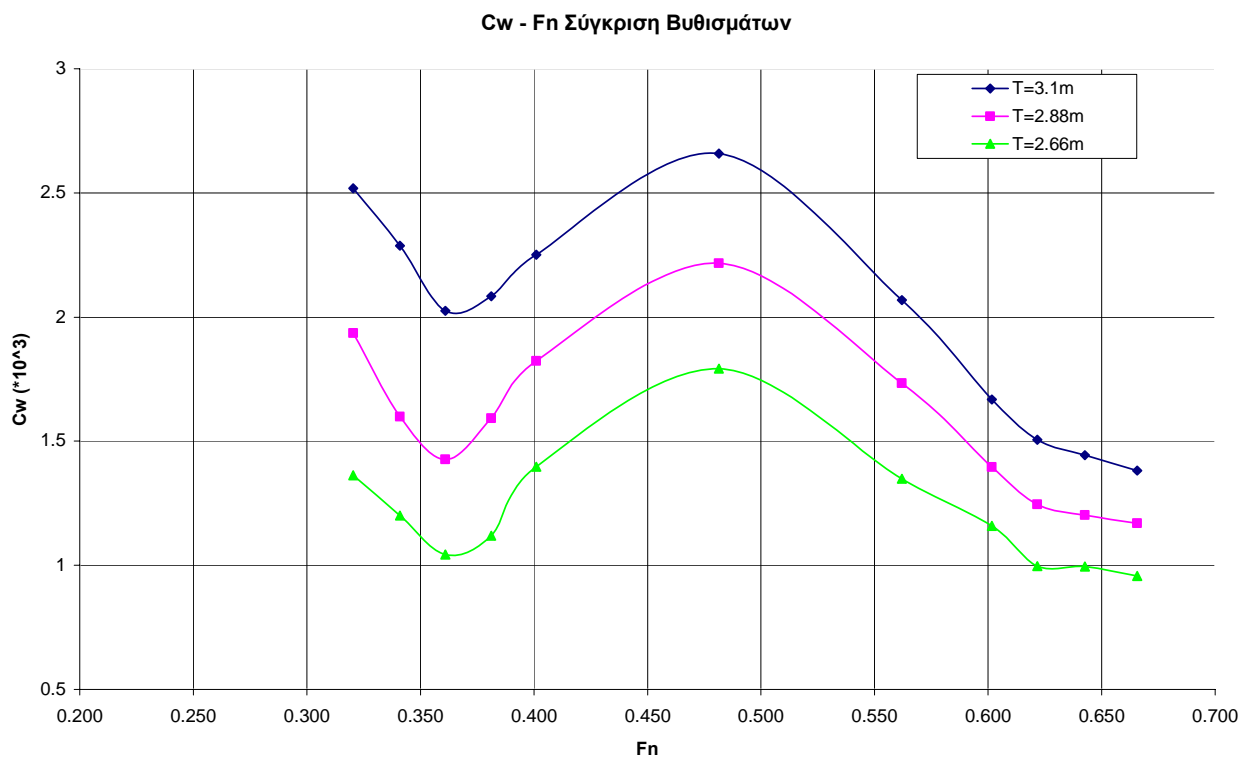


Διάγραμμα 21

5.2.2 Semi-SWATH B

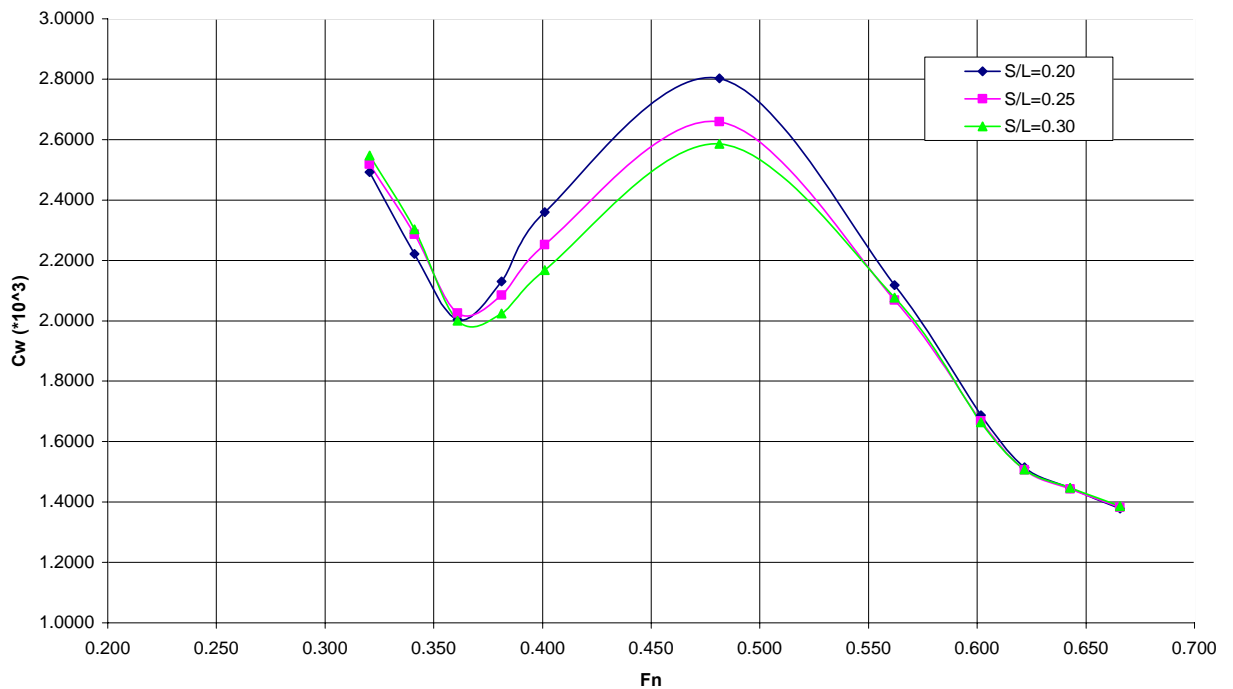
Τα ίδια διαγράμματα παρατίθενται για το semi-SWATH B. Όπως θα δούμε στα διαγράμματα αυτά η ομοιότητα ανάμεσα στα δύο αυτά σκάφη ως προς τη μορφή των καμπυλών είναι μεγάλη.

Αρχικά γίνεται η σύγκριση βυθισμάτων και απόστασης ημιγαστρών, καθώς και η παρουσίαση της κατάστασης με αρχική διαγωγή. Στο τέλος παρατίθενται και τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους για τα τρία βυθίσματα, αφού είναι αυτά στα οποία εντοπίζονται και οι σημαντικές διαφορές.



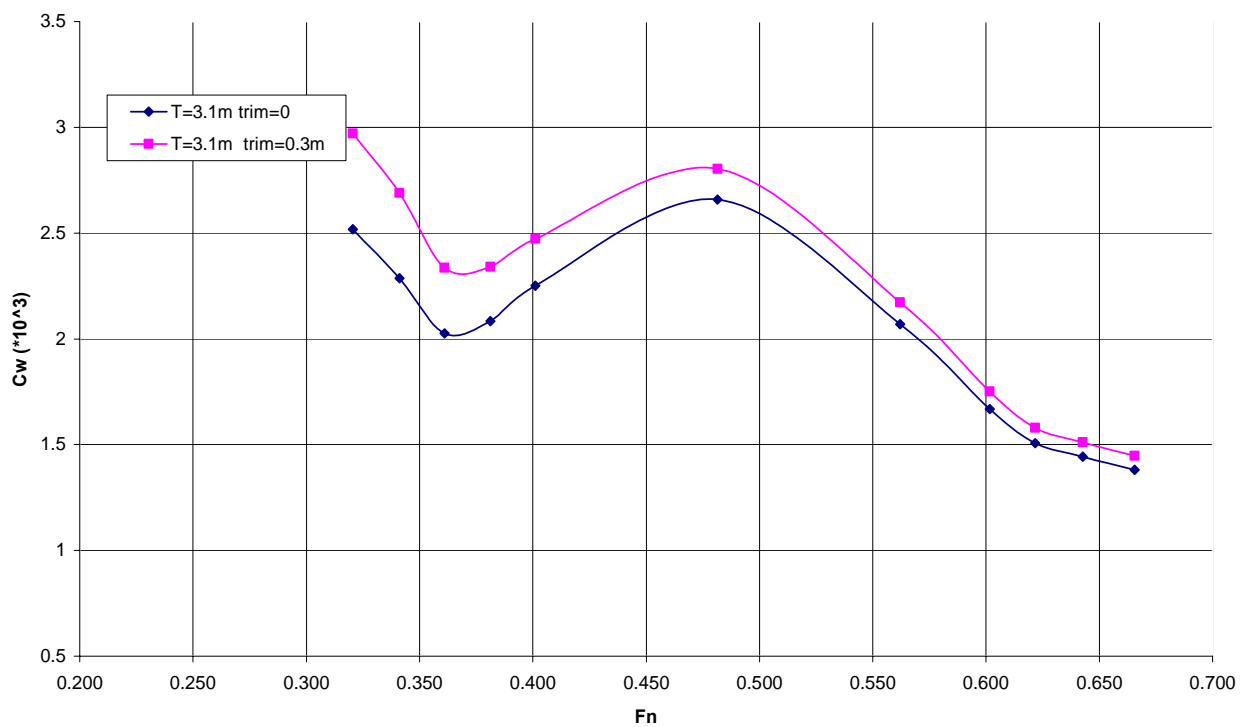
Διάγραμμα 22

Cw - Fn Σύγκριση απόστασης ημιγαστρών

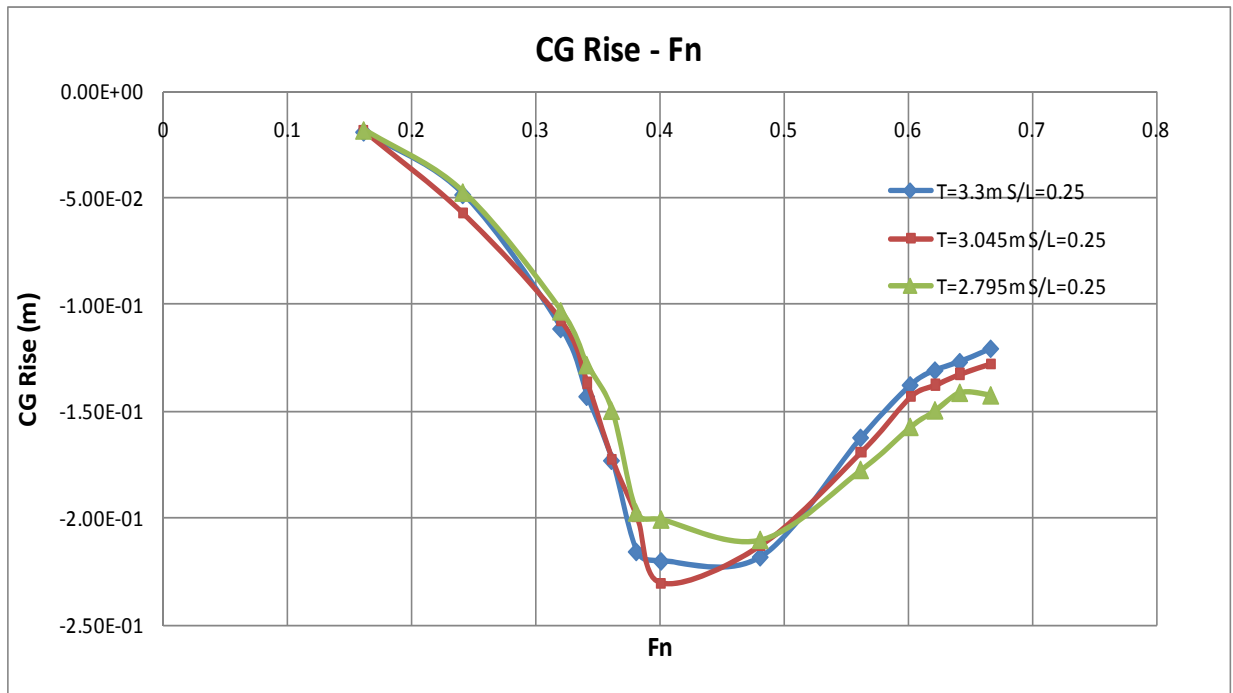


Διάγραμμα 23

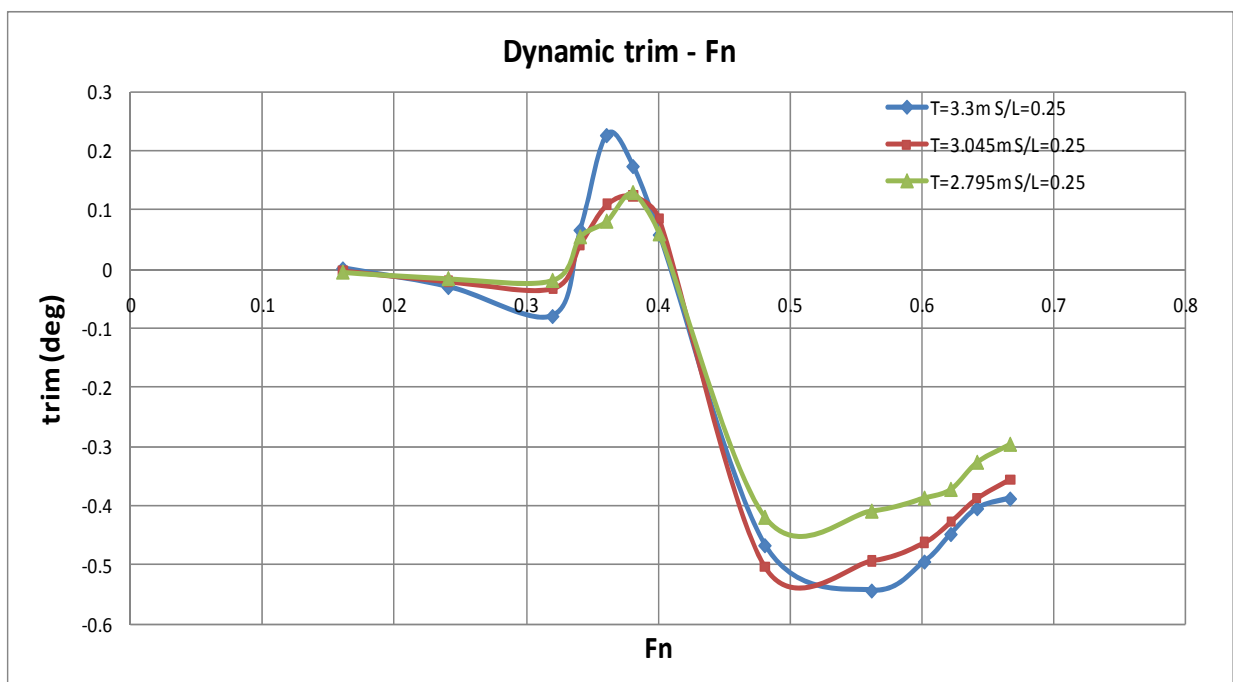
Cw - Fn Σύγκριση διαγωγών



Διάγραμμα 24



Διάγραμμα 25



Διάγραμμα 26

5.3 Συμπεράσματα

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα, ακολουθείται μια μορφή της καμπύλης C_w - F_n τυπική για σκάφη τέτοιου τύπου. Αρχικά παρατηρείται εμφάνιση τοπικού ελαχίστου για ταχύτητα $F_n \approx 0.35$ και στη συνέχεια τοπικό μέγιστο για την περιοχή ταχυτήτων $F_n \approx 0.45-0.50$. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα από το σημείο αυτό και μετά οι τιμές C_w μειώνονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση αυτή των τιμών είναι λιγότερο έντονη για ταχύτητες $F_n > 0.60$.

Όσον αφορά τη σύγκριση των βυθισμάτων, όπως είναι λογικό, ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού αυξάνεται, όσο αυξάνεται το βύθισμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ποσοστό όγκου εκτοπίσματος που βρίσκεται κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Μάλιστα, η διαφορά αυτή είναι σε ποσοστό μικρότερη όσο πλησιάζουμε τις πολύ υψηλές ταχύτητες.

Στα διαγράμματα σύγκρισης απόστασης ημιγαστρών φαίνεται για τιμές ταχυτήτων $F_n > 0.40$ οι τιμές του C_w αυξάνονται με μείωση της απόστασης ημιγαστρών ως την ταχύτητα, όμως, $F_n \approx 0.55$, απ' όπου και οι τιμές του C_w μοιάζουν να ταυτίζονται. Αυτό πιθανόν να εξηγείται από το γεγονός, ότι σε τέτοιες ταχύτητες κύριο ρόλο έπαιξε η αντίσταση τριβής και λιγότερο η αντίσταση κυματισμού.

Τέλος, ανάμεσα στην πλεύση χωρίς διαγωγή και στην πλεύση με αρχική γιαγωγή παρατηρούμε μια σύγκλιση των τιμών των δύο καταστάσεων όσο αυξάνονται οι ταχύτητες. Αυτό εξηγείται, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα διαγωγής, ότι σε υψηλές ταχύτητες οι τιμές δυναμικής διαγωγής και για τις δύο καταστάσεις είναι πολύ κοντά, με αποτέλεσμα η ύπαρξη αρχικής διαγωγής να μην επηρεάζει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕ SHIPFLOW

6.1 Εισαγωγή

Το Shipflow είναι πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) ειδικά σχεδιασμένο για την υδροδυναμική του πλοίου. Γενικά, η υδροδυναμική του πλοίου διαφοροποιείται από τους άλλους τομείς της μηχανικής των ρευστών λόγω της ύπαρξης ελεύθερης επιφάνειας με άμεση συνέπεια τη δημιουργία κυματισμών οι οποίοι προσθέτουν αντίσταση στην κίνηση του πλοίου. Ο τρόπος με τον οποίο το Shipflow αντιμετωπίζει τα υπολογιστικά προβλήματα της υδροδυναμικής του πλοίου είναι ο χωρισμός σε τρεις περιοχές.

Στην «Περιοχή 1» το ρευστό θεωρείται ως ατριβές και ασυμπίεστο και μέσω της κατάλληλης συνάρτησης δυναμικού υπολογίζονται οι πιέσεις και οι ταχύτητες. Από το δυναμικό ροής προκύπτει η πίεση και η ταχύτητα πάνω στη βρεχόμενη επιφάνεια και με την ολοκλήρωση των καθέτων επί της γάστρας πιέσεων προκύπτει η αντίσταση κυματισμού.

Στην «Περιοχή 2», περιοχή του οριακού στρώματος, χρησιμοποιούνται ολοκληρωτικές εξισώσεις τόσο για το στρωτό, όσο και για το τυρβώδες οριακό στρώμα.

Το Shipflow έχει και τη δυνατότητα “επέκτασης” και σε «Περιοχή 3», η οποία περιλαμβάνει την πρύμνη του σκάφους χρησιμοποιούνται εξισώσεις Navier-Stokes και διατήρησης της μάζας για την περιγραφή της ροής.

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής, όμως, δε χρειάστηκαν οι περιοχές αυτές, καθώς η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την επίλυση ήταν αυτή της ροής που βασίζεται σε δυναμικό – potential flow. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για πρόβλεψη της ροής γύρω από τρισδιάστατα σώματα αν, βέβαια, η υπόθεση για άτυρβη ροή χωρίς τριβές στο πεδίο της ροής. Επιπλέον, στη μέθοδο αυτή υποθέτεται επίσης σταθερή ασυμπίεστη ροή σε σύστημα συντεταγμένων που κινείται με το σώμα.

Και εδώ ορίζεται δυναμικό ταχύτητας Φ για την ολική ταχύτητα και εξαιτίας της γραμμικοποίησης του προβλήματος χωρίζεται σε δυναμικό για την αρχική ροή και δυναμικό για την ταχύτητα διαταρχής λόγω της ύπαρξης και κίνησης του σώματος.

Το πρόβλημα της ελεύθερης επιφάνειας είναι μη γραμμικό λόγω μη-γραμμικών οριακών συνθηκών. Για την ικανοποίηση της αρχικά άγνωστης κυματικής ελεύθερης επιφάνειας η λύση που προτείνεται εδώ είναι η γραμμικοποίηση των

συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας και επίλυση του προβλήματος με ολοκληρωματικό τρόπο.

Σε κάθε επανάληψη που πραγματοποιείται το πρόβλημα γραμμικοποιεί με βάση τη λύση της τελευταίας επανάληψης. Οι γραμμικοποιημένες συνθήκες αυτές στην πρώτη γραμμική λύση εφρμόζονται στην αδιατάρακτη ελεύθερη επιφάνεια και στις επόμενες επαναλήψεις μετακινούνται στην κυματική ελεύθερη επιφάνεια που υπολογίζεται στην προηγούμενη επανάληψη. Η γραμμικοποίηση των συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας γίνεται με ανάπτυγμα Taylor πρώτης τάξης.

Όσον αφορά τη δομή της αριθμητικής μεθόδου, η επιφάνεια του σώματος και η ελεύθερη επιφάνεια διακριτοποιούνται σε έναν αριθμό ορθογώνιων στοιχείων (panels). Στο Shipflow υπάρχουν δύο είδη panels για τη διακριτοποίηση αυτή:

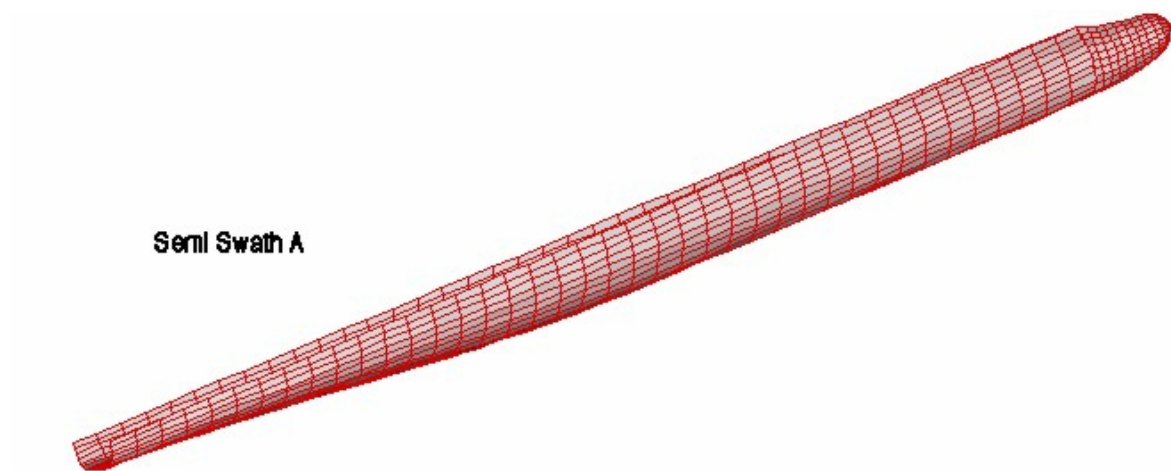
- 1) Επίπεδα (flat) παραλληλεπίπεδα panels, στα οποία η πηγή δύναμης είναι σταθερή.
- 2) Παραβολικά (parabolic) panels με γραμμικά μεταβαλλόμενη πηγή δύναμης, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή.

Ο υπολογισμός της αντίστασης κυματισμού βασίζεται στην ολοκλήρωση της πίεσης στην επιφάνεια του σώματος. Η αντίσταση που προέρχεται από έναν τέτοιο υπολογισμό πρέπει να οφείλεται στην επίδραση των κυματισμών για περίπτωση μελέτης χωρίς ανύψωση (lift), αφού η αντίσταση για διπλό μοντέλο (double-model) σε potential flow πρέπει να είναι μηδενική σύμφωνα με το παράδοξο του d' Alembert. Αν περιλάβουμε περίπτωση ανύψωσης τότε η ολοκλήρωση της πίεσης περιλαμβάνει τις ολικές επιδράσεις των κυμάτων, τη δύναμη ανύψωσης και την επιβαλλόμενη αντίσταση τριβής (induced drag). [18]

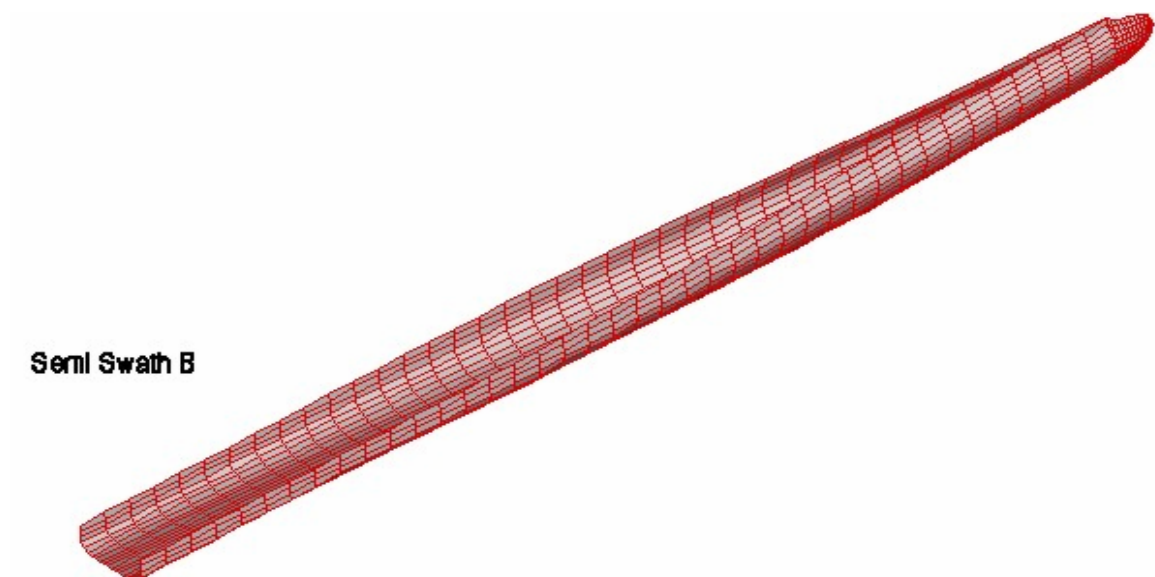
6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα – σε διαγράμματα – για τους συντελεστές αντίστασης κυματισμού που προέκυψαν για τις εκάστοτε εγκαταστάσεις. Ειδικότερα, θα γίνουν οι ίδιες συγκρίσεις που έγιναν και για τα πειραματικά αποτελέσματα, δηλαδή «Σύγκριση βυθισμάτων», «Σύγκριση απόστασης ημιγαστρών» και «Σύγκριση διαγωγών».

Οι γάστρες που χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα είναι οι ακόλουθες.



Εικόνα 13 – semi-SWATH A

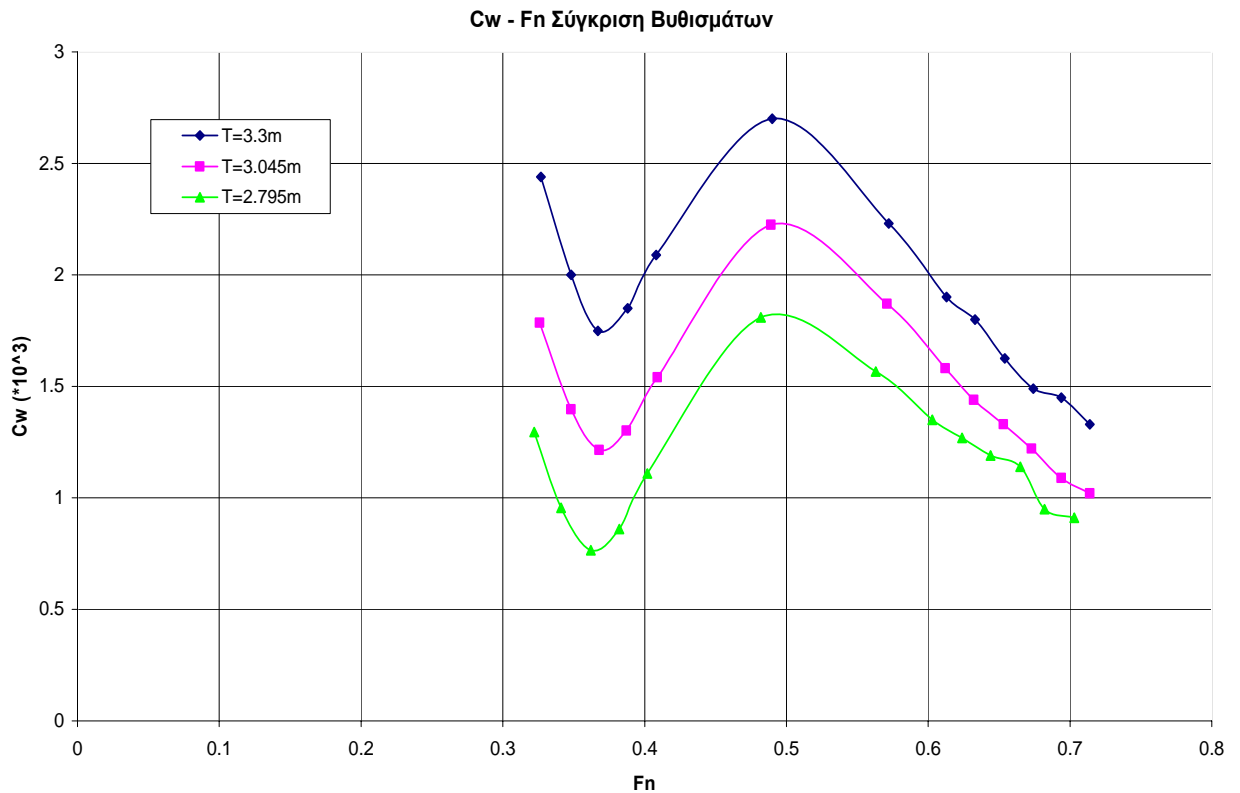


Εικόνα 14 – semi-SWATH

Το πλέγμα της ελεύθερης επιφάνειας είχε και εδώ διαστάσεις 0.5L πλώραθεν του σκάφους, 1L σε εγκάρσια απόσταση από τη Center Line και 2L πρύμνηθεν.

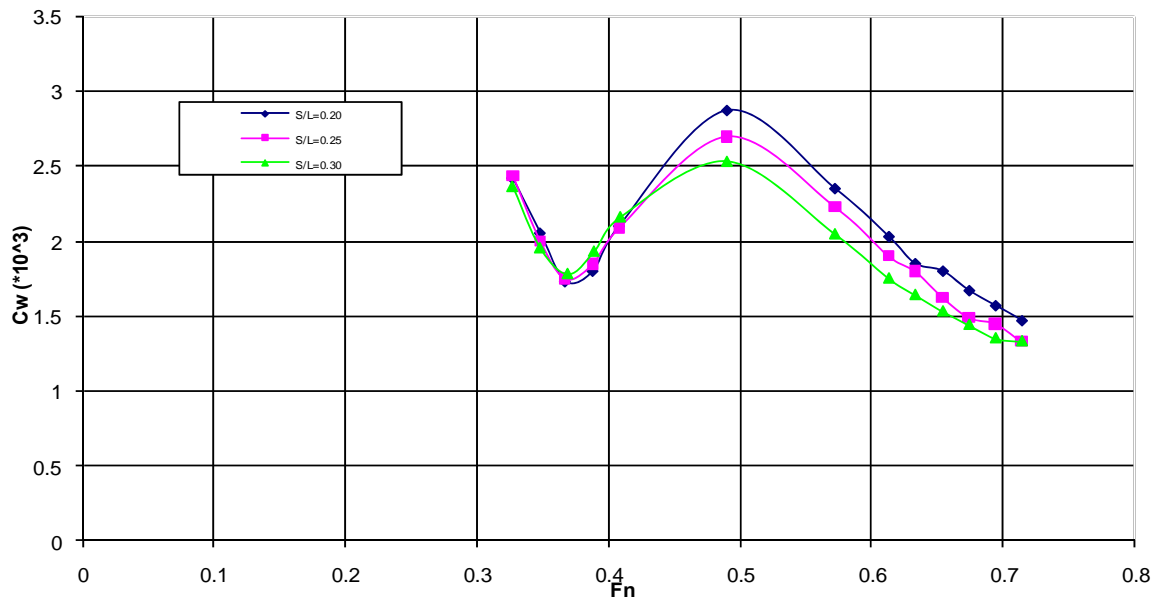
6.2.1 Semi-SWATH A

Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται σύγκριση της κατανομής του συντελεστή αντίστασης κυματισμού για τα τρία βυθίσματα.



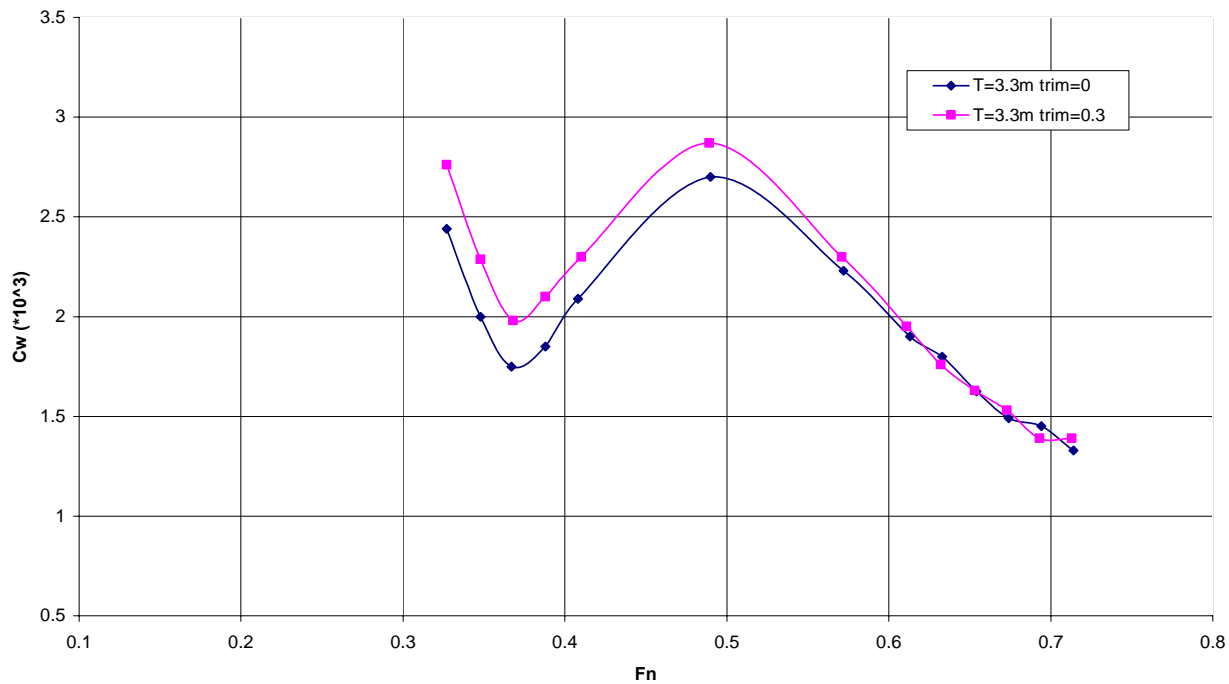
Διάγραμμα 27

Cw - Fn Σύγκριση Απόστασης Ημιγατρών



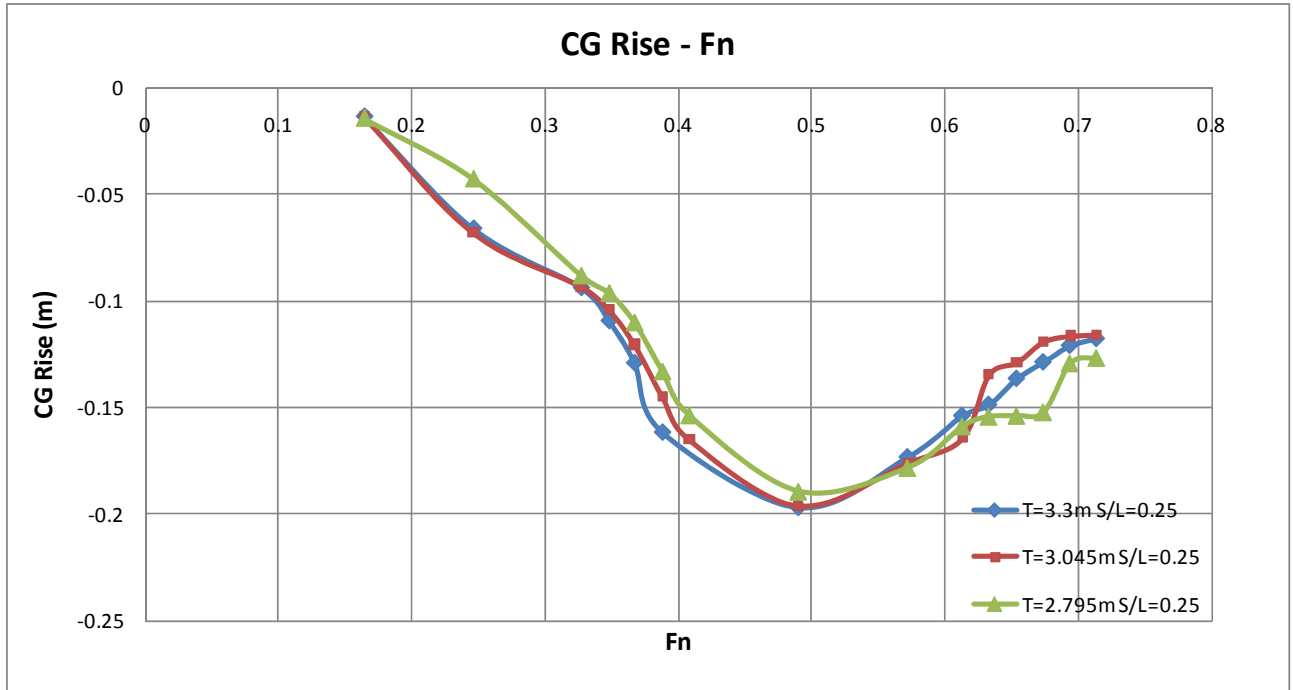
Διάγραμμα 28

Cw - Fn Σύγκριση Βυθισμάτων

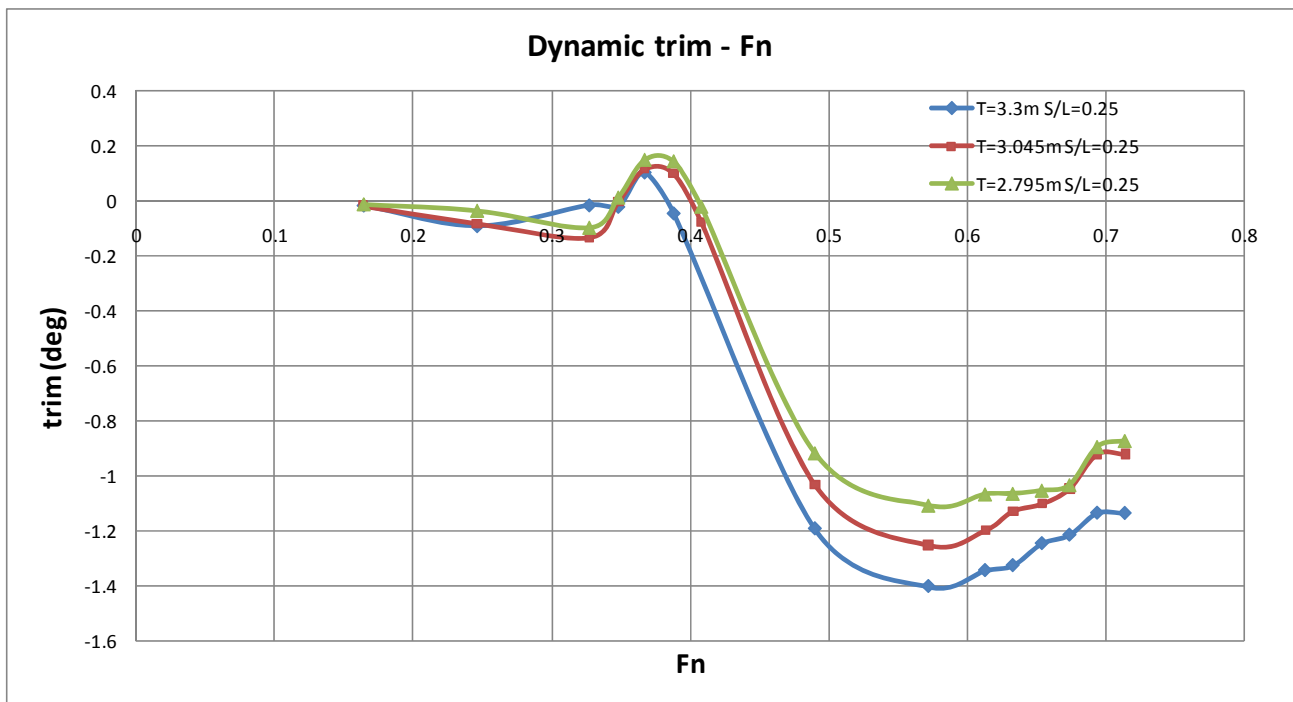


Διάγραμμα 29

Ακολουθούν τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους.



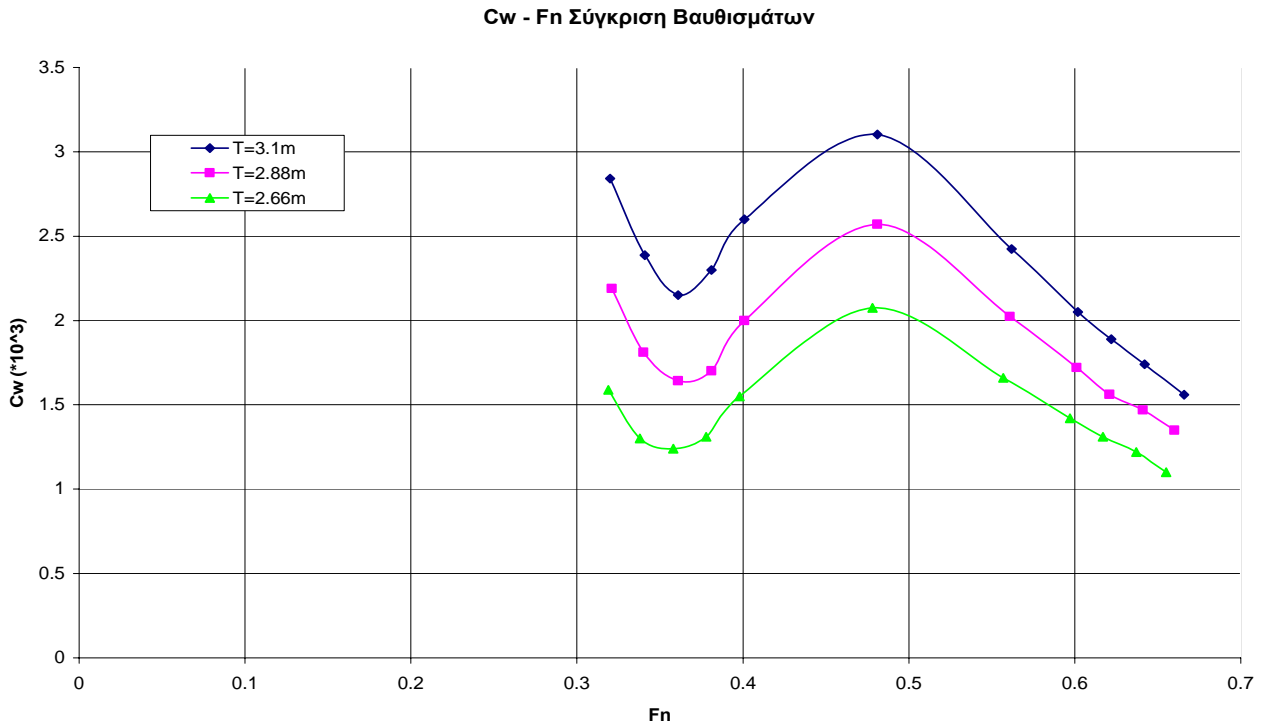
Διάγραμμα 30



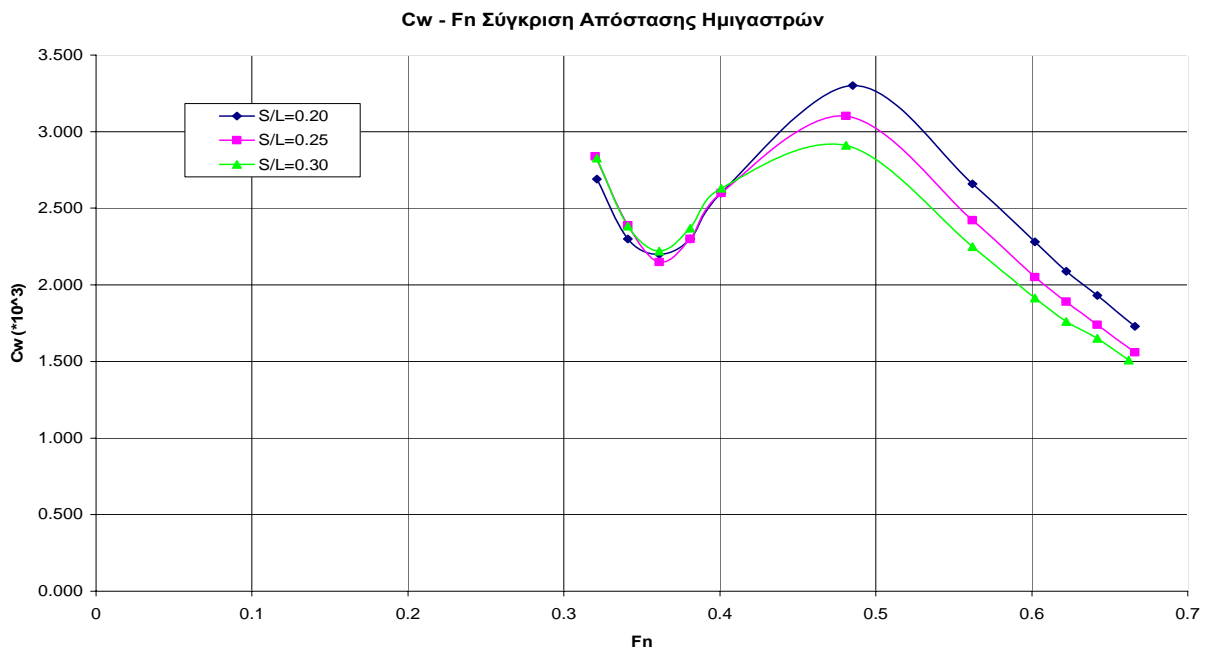
Διάγραμμα 31

6.2.2 Semi-SWATH B

Όμοια παραθέτουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα για το δεύτερο semi-SWATH.

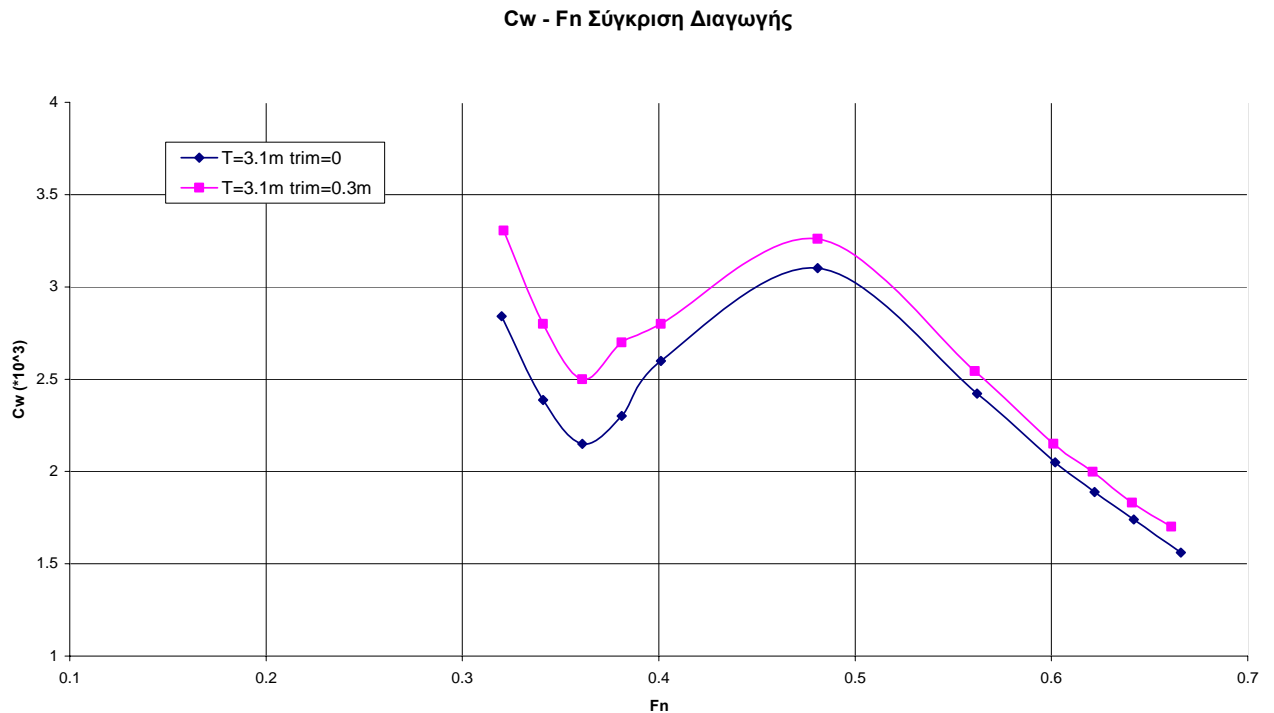


Διάγραμμα 32



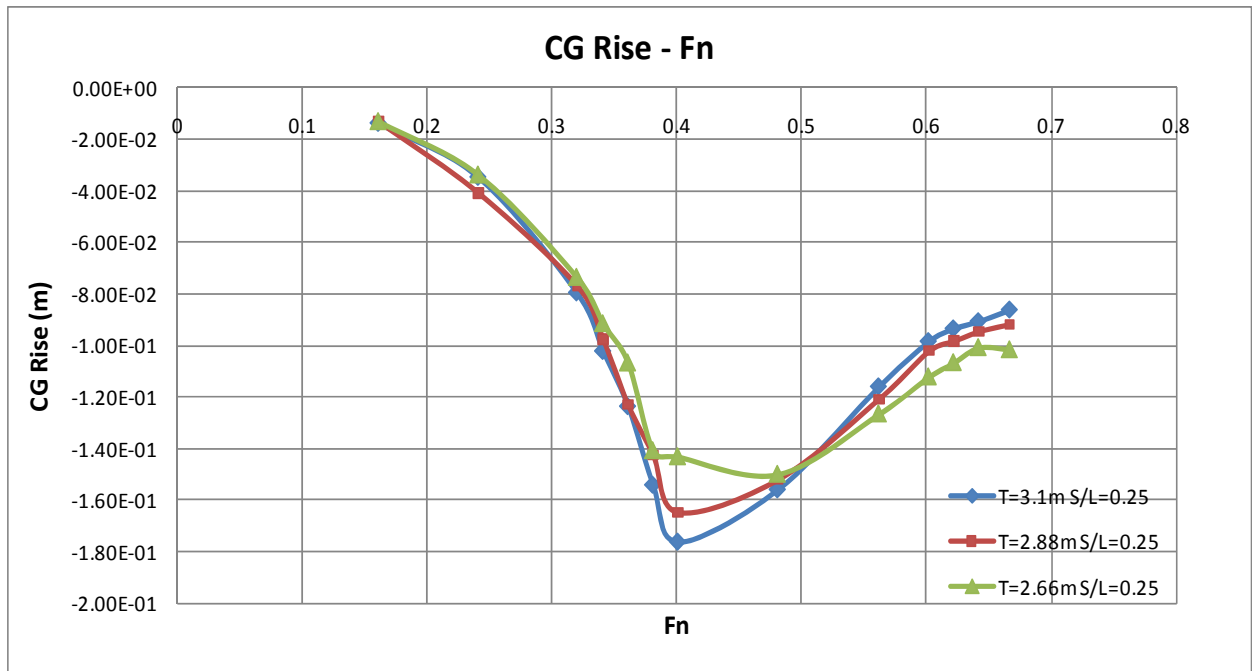
Διάγραμμα 33

Τέλος, παραθέτουμε διάγραμμα σύγκρισης των δύο καταστάσεων στο βύθισμα σχεδίασης ($T=3.1\text{m}$) για πλεύση χωρίς διαγωγή και πλεύση με έμπρυσμη διαγωγή 0.3m .

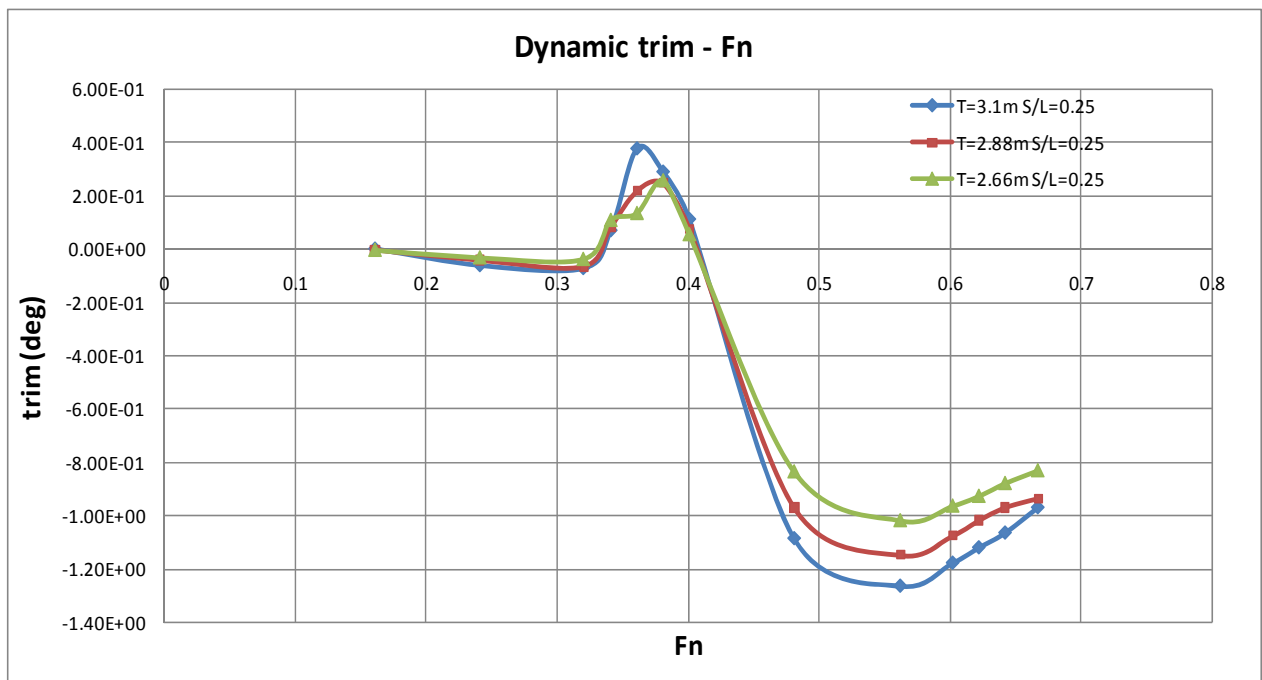


Διάγραμμα 34

Ακολουθούν τα διαγράμματα δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους. Όπως θα φανεί, και αυτά τα διαγράμματα ακολουθούν την ίδια μορφή που παρατηρήσαμε και στις πειραματικές μετρήσεις.



Διάγραμμα 35



Διάγραμμα 36

6.3 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα του Shipflow φαίνονται σε γενικές γραμμές να ταυτίζονται με αυτά του SWAN 2. Η μορφή των καμπυλών είναι η ίδια, ενώ τα τοπικά ελάχιστα και μέγιστα παρατηρούνται στις ίδιες ταχύτητες.

Η μόνη διαφορά στη μορφή των καμπυλών ανάμεσα στα δύο προγράμματα φαίνεται στα διαγράμματα σύγκρισης απόστασης ημιγαστρών, όπου οι καμπύλες και για τα δύο σκάφη φαίνονται πάλι να συγκλίνουν για τιμές ταχυτήτων $F_n > 0.55$, αλλά να μην υπάρχει η ταύτιση που παρατηρήθηκε στα αντίστοιχα διαγράμματα του SWAN 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕΣΩ RAPID

7.1 Εισαγωγή

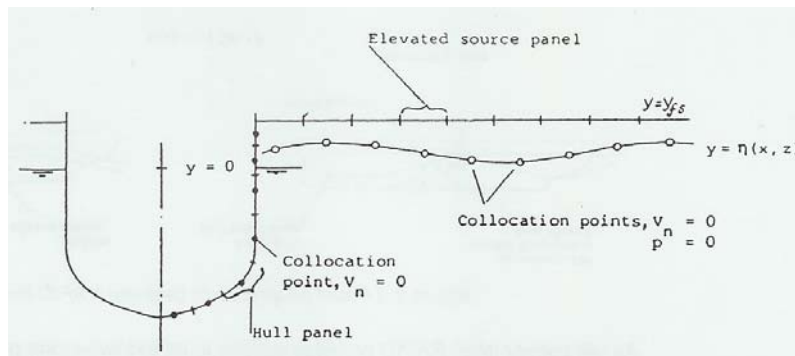
Επιπλέον των άλλων δύο προγραμμάτων επιχειρήθηκε και αριθμητικός υπολογισμός μέσω του προγράμματος RAPID (MARIN). Το RAPID ικανοποιεί και αυτό τις μη-γραμμικές συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας.

Το “πρόβλημα” το οποίο καλείται να λύσει το RAPID είναι αυτό της ροής γύρω από το σκάφος στην ελεύθερη επιφάνεια. Από μαθηματική άποψη το πρόβλημα αυτό ορίζεται από την εξίσωση Laplace για το δυναμικό της ταχύτητας και συνοριακές συνθήκες στη γάστρα και την επιφάνεια των κυματισμών. Η λύση επιτυγχάνεται στηριζόμενη στην υποδιαίρεση της ροής και της ελεύθερης επιφάνειας σε μικρά ορθογώνια τμήματα, με τη γνωστή δηλαδή μέθοδο των panels.

Το αρχικό εμπόδιο που τίθεται είναι ότι οι συνοριακές συνθήκες που πρέπει να οριστούν στην επιφάνεια του κύματος έχουν μη-γραμμική μορφή, γεγονός που πρώτον αποκλείει την εύκολη έκφρασή τους στις πηγές δυνάμεων, και κατά δεύτερον οι συνθήκες αυτές πρέπει να οριστούν στην επιφάνεια των κυμάτων που τη γνωρίζουμε εκ των προτέρων. Έτσι, επιβάλλεται η χρήση επαναληπτικής μεθόδου επίλυσης, που από επανάληψη σε επανάληψη έχουμε καλύτερη προσέγγιση της επιφάνειας κυματισμού και του πεδίου ταχυτήτων με σύγκλιση σε μία συγκεκριμένη λύση.

Γενικά δεν υπάρχει βεβαιότητα επίτευξης σύγκλισης σε κάποιο αποτέλεσμα. Σε δύσκολες περιπτώσεις, όπως η συγκεκριμένη, η σειρά των επαναλύσεων μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά διαφορετικών αποτελεσμάτων και κανένα από αυτά να μην είναι σωστό. Έτσι, χρειάζεται συγκεκριμένη στρατηγική για επίτευξη σύγκλισης σε κάποιο αποτέλεσμα.

Η ιδιαιτερότητα του RAPID είναι ότι, ενώ τα panels της γάστρας είναι τοποθετημένα απευθείας πάνω στην επιφάνεια της γάστρας, τα panels της ελεύθερης επιφάνειας βρίσκονται σε απόσταση πάνω από την επιφάνεια των κυμάτων (για το λόγο αυτό ονομάστηκε και RAPID: Raised Panel Iterative Dawson) . Η απόσταση αυτή ορίζεται από το χρήστη και έχει επιπτώσεις στην αριθμητική διαδικασία.



Εικόνα 15 – Όψη της γάστρας και της ελεύθερης επιφάνειας στη μέθοδο του RAPID

Η διαδικασία επίλυσης σε δύο στάδια

Όπως προαναφέρθηκε, για την επίλυση του μη γραμμικού προβλήματος χρειάζεται η επίλυση μιας σειράς προβλημάτων, όπου το καθένα βελτιώνει το αποτέλεσμα του προηγούμενου. Η αρχή γίνεται με μια πρώτη προσέγγιση του πεδίου ροής και της επιφάνειας των κυμάτων. Στην περίπτωση μας η αρχική συνθήκη προβλέπει ήρεμο νερό και ομαλή ροή.

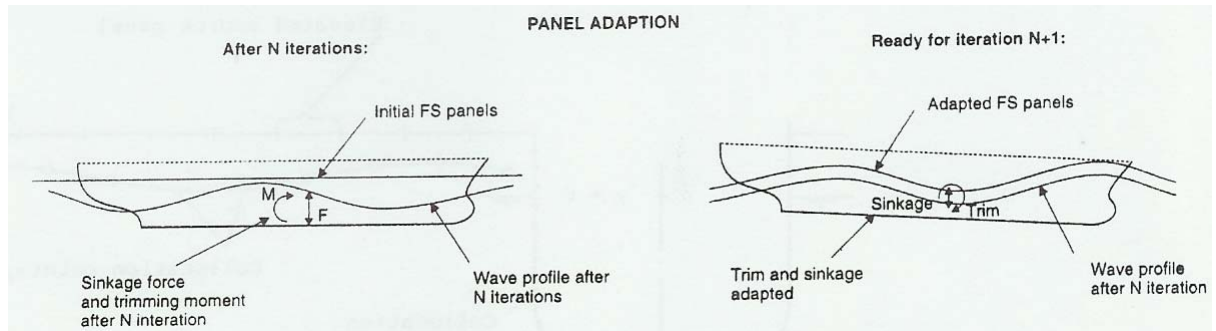
Το πλέγμα της ελεύθερης επιφάνειας τοποθετείται σε συγκεκριμένη απόσταση πάνω από την επιφάνεια κυμάτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου έχουμε επίπεδη αρχική επιφάνεια κυμάτων, το πλέγμα είναι τοποθετημένο σε οριζόντιο επίπεδο πάνω από αυτή.

Στη διάρκεια της διαδικασίας σύγκλισης η επιφάνεια των κυμάτων μεταβάλλεται και δημιουργούνται κορυφές που σε τοπικό επίπεδο πλησιάζουν ή και ξεπερνούν το πλέγμα της ελεύθερης επιφάνειας. Επειδή το γεγονός αυτό οδηγεί σε άμεση διακοπή της διαδικασίας, χρειάζεται κάθε τόσο επανατοποθέτηση της ελεύθερης επιφάνειας ώστε η απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών να μένει περίπου σταθερή.

Σε δεύτερη φάση η κατανομή δυναμικής πίεσης πάνω στη γάστρα οδηγεί σε δυναμική διαγωγή και βύθιση. Οι μεταβολές αυτές προφανώς και πρέπει να ληφθούν υπόψιν καθώς επηρεάζουν τη ροή. Έτσι, χρειάζεται παράλληλα και επανατοποθέτηση της γάστρας.

Για την επίτευξη τέτοιων τροποποιήσεων εφαρμόζεται διαδικασία επίλυσης σε δύο στάδια. Στη αρχή γίνεται επίλυση με μια σειρά διαδοχικών επαναλήψεων με σταθερή μοντελοποίηση της γάστρας και της ελεύθερης επιφάνειας. Στη συνέχεια η διαδικασία διακόπτεται και η γάστρα επανατοποθετείται βάσει των τελευταίων εκτιμήσεων γωνίας διαγωγής και βυθίσματος. Παράλληλα το πλέγμα της ελεύθερης επιφάνειας προσαρμόζεται στην εκτίμηση για την επιφάνεια των

κυμάτων. Με τη διαδικασία αυτή να επαναλαμβάνεται οδηγούμεστε στη σύγκλιση.



Εικόνα 16 – Μεταβολή της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας ανάμεσα στις επαναλήψεις

7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το RAPID χρησιμοποιήθηκε παρά τη σχετική ταύτιση των δύο προηγούμενων προγραμμάτων, καθώς τα αποτελέσματα που είχαμε από αυτό ως τώρα ήταν σχετικά περιορισμένα.

Στην προσπάθεια μελέτης των δύο αυτών γαστρών προχωρήσαμε, μετά τη δοκιμαστική μελέτη μοντέλων γάστρας τύπου Wigley και Σειράς 60 για πρώτο έλεγχο του προγράμματος και εξοικείωση με αυτό. Μετά την επιτυχημένη λειτουργία του προγράμματος στους τύπους αυτούς συνεχίσαμε στις περιπτώσεις που εξετάζουμε, οι οποίες και συγκέντρωναν και αρκετές από τις δυσκολίες του προγράμματος, όπως οι έντονες μεταβολές των γραμμών της γάστρας, το μεγάλο βυθισμένο τμήμα, ο βολβός αλλά κυρίως η πρύμνη καθρέφτης, όπως και το γεγονός, βέβαια, ότι πρόκειται για δίγαστρα σκάφη.

Για την επίτευξη σύγκλισης στην περίπτωση των δύο semi-SWATH, χρειάστηκε η εφαρμογή συνδυασμού από τις προτεινόμενες στρατηγικές για την επίλυση δύσκολων περιπτώσεων.

Αρχικά χρειάστηκε να μεταβάλλουμε τον τρόπο περιγραφής της γάστρας από αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στα άλλα δύο προγράμματα. Μειώσαμε σε ένα βαθμό τον αριθμό των σημείων περιγραφής του πλέγματος της γάστρας καθώς και τους νομείς αυτής. Επιπλέον δοκιμάστηκαν και διάφοροι συνδυασμοί αριθμών panels, διαστάσεις πλέγματος και αρχικού ύψους ελεύθερης επιφάνειας. Με τις μεταβολές αυτές σε πρώτη φάση το πρόγραμμα έμοιαζε να

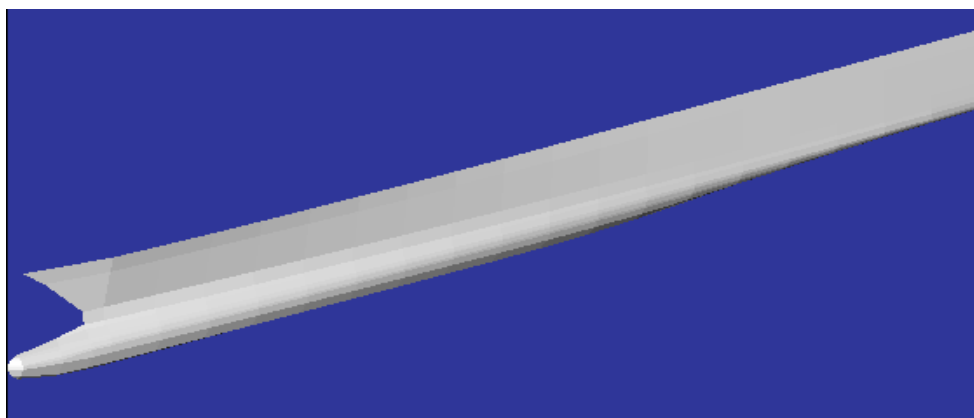
“αποδέχεται” καλύτερα τη γάστρα. Παρ’ όλα αυτά χρειάζονταν οι στρατηγικές αυτές για ολοκλήρωση των υπολογισμών.

Στις χαμηλές ταχύτητες η διαδικασία ήταν απλούστερη καθώς η σύγκλιση ερχόταν πιο εύκολα, λόγω των μικρότερων μεταβολών. Για ταχύτητες $F_n > 0.44$ χρειαζόταν αρχικά αλλαγή και ακριβέστερη αρχική εκτίμηση του σημείου αποκόλλησης (Z_{trans}) στην πρύμνη καθρέφτη.

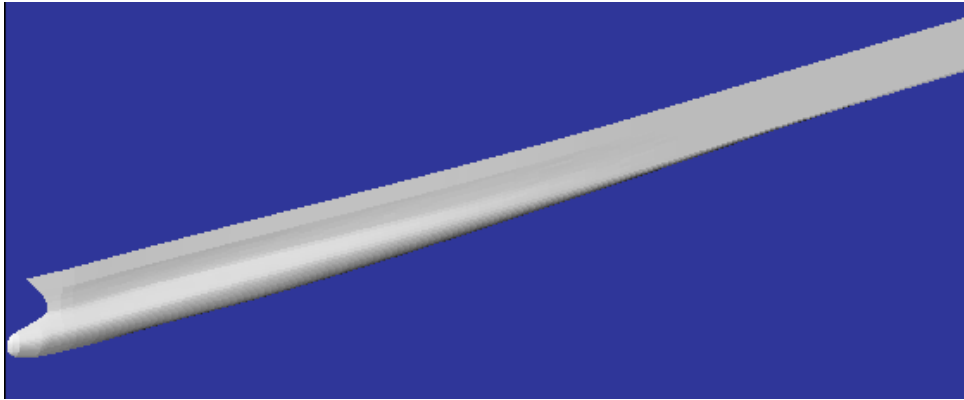
Επιπλέον, χρειαζόταν επαναληπτική διαδικασία και από την πλευρά μας καθώς η πρώτη διαδικασία επίλυσης γινόταν με δοσμένο μεγαλύτερο περιθώριο απόκλισης (relaxation factor). Με δεδομένα τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής, πραγματοποιούσαμε δεύτερη διαδικασία επίλυσης με μειωμένο περιθώριο απόκλισης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνονταν μέχρι την επίτευξη σύγκλισης για το ελάχιστο δυνατό περιθώριο απόκλισης.

Σε ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες ($F_n > 0.55$) χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα των άλλων δύο προγραμμάτων και των πειραματικών αποτελεσμάτων, αφού η πρώτη διαδικασία επίλυσης γινόταν για σταθερή γωνία διαγωγής και βύθισμα βάσει των αποτελεσμάτων που γνωρίζαμε. Έτσι, μετά την ολοκλήρωση της πρώτης διαδικασίας (και πάλι με αυξημένο περιθώριο απόκλισης), προχωρούσαμε σε δεύτερη επίλυση με δεδομένα τα αποτελέσματα της προηγούμενης, μέχρι την τελική σύγκλιση.

Στο RAPID εξετάστηκαν μόνο οι καταστάσεις σχεδίασης των δύο σκαφών. Επιπλέον, εξετάστηκαν και οι περιπτώσεις για πρύμνη η οποία έκλεινε σε μορφή τριγώνου αντί για πρύμνη καθρέφτη την οποία έχουν τα σκάφη αυτά, καθώς το πρόβλημα στην επίλυση των αριθμητικών υπολογισμών εντοπιζόταν στην πρύμνη καθρέφτη. Στη γάστρα αυτή τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα για ταχύτητες $F_n < 0.6$, αλλά για τις μεγαλύτερες ταχύτητες η τιμή των συντελεστών αντίστασης C_w έπερναν σταθερή τιμή. Το γεγονός αυτό δείχνει και την επίδραση της πρύμνης καθρέφτη η οποία φαίνεται από τα αποτελέσματα να μειώνει την τιμή τους σε τόσο υψηλές ταχύτητες.



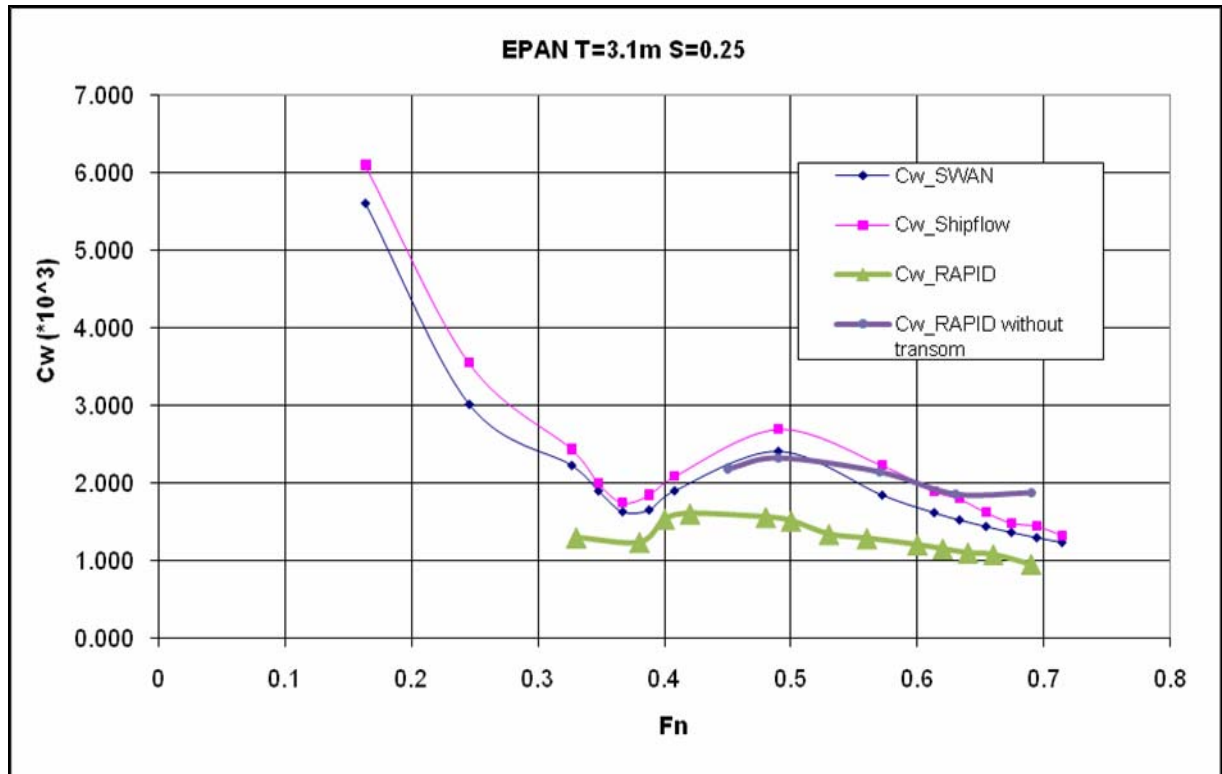
Εικόνα 17 – semi-SWATH A



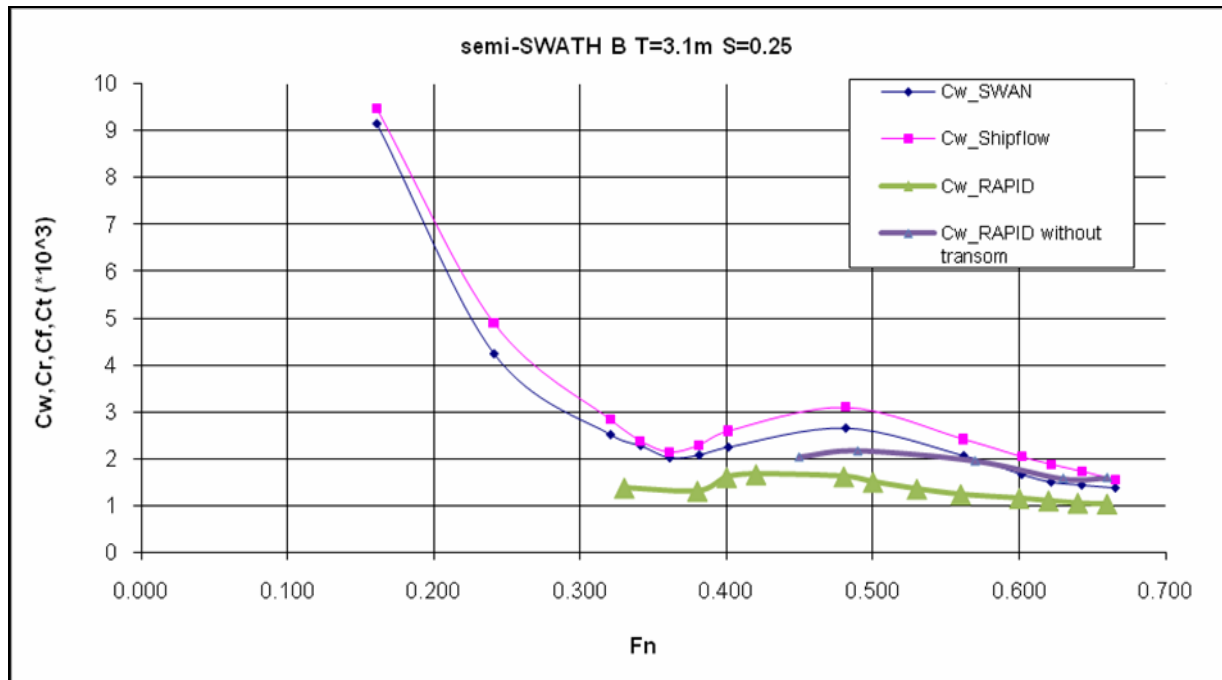
Εικόνα 18 – semi-SWATH B

Ακολουθούν τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα υπολογισμών της αντίστασης κυματισμού.

Όπως θα φανεί, τα αποτελέσματα δε βρίσκονται σε μεγάλη συνάφεια με τα αντίστοιχα των άλλων μεθόδων, όχι μόνο ως προς τις τιμές των συντελεστών αντίστασης κυματισμού, αλλά και ως προς τη μορφή των καμπυλών αυτών. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία εκτέλεσης των υπολογισμών.



Διάγραμμα 37 – *semi-SWATH A*



Διάγραμμα 38 – *semi-SWATH B*

Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί αναλυτικότερα και σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα η αιτία αυτής της απόκλισης, καθώς θα πρέπει να εξεταστούν και άλλα σημεία της αριθμητικής αυτής επίλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 Μέθοδος Hughes – Σύγκριση C_R

Σε μια προσπάθεια πρώτης σύγκρισης των τριών προγραμμάτων αριθμητικού υπολογισμού της αντίστασης και των πειραματικών αποτελεσμάτων εξετάστηκαν τα αποτελέσματα στις καταστάσεις σχεδίασης για τα δύο semi-SWATH.

Εφαρμόσαμε τη μέθοδο Hughes που φαίνεται στη συνέχεια.

$$C_T = (1+k)C_F + C_W$$

$$C_T = C_F + C_R$$

Από τις δύο σχέσεις προκύπτει:

$$C_R = kC_F + C_W$$

Από τις πειραματικές μετρήσεις έχουμε τις τιμές C_R και C_F , ενώ το συντελεστή μορφής (form factor) $(1+k)$ τον υπολογίζουμε από το πρόγραμμα NAVCAD και έτσι μπορεί να γίνει μια πρώτη σύγκριση των αποτελεσμάτων στα διαγράμματα που ακολουθούν.

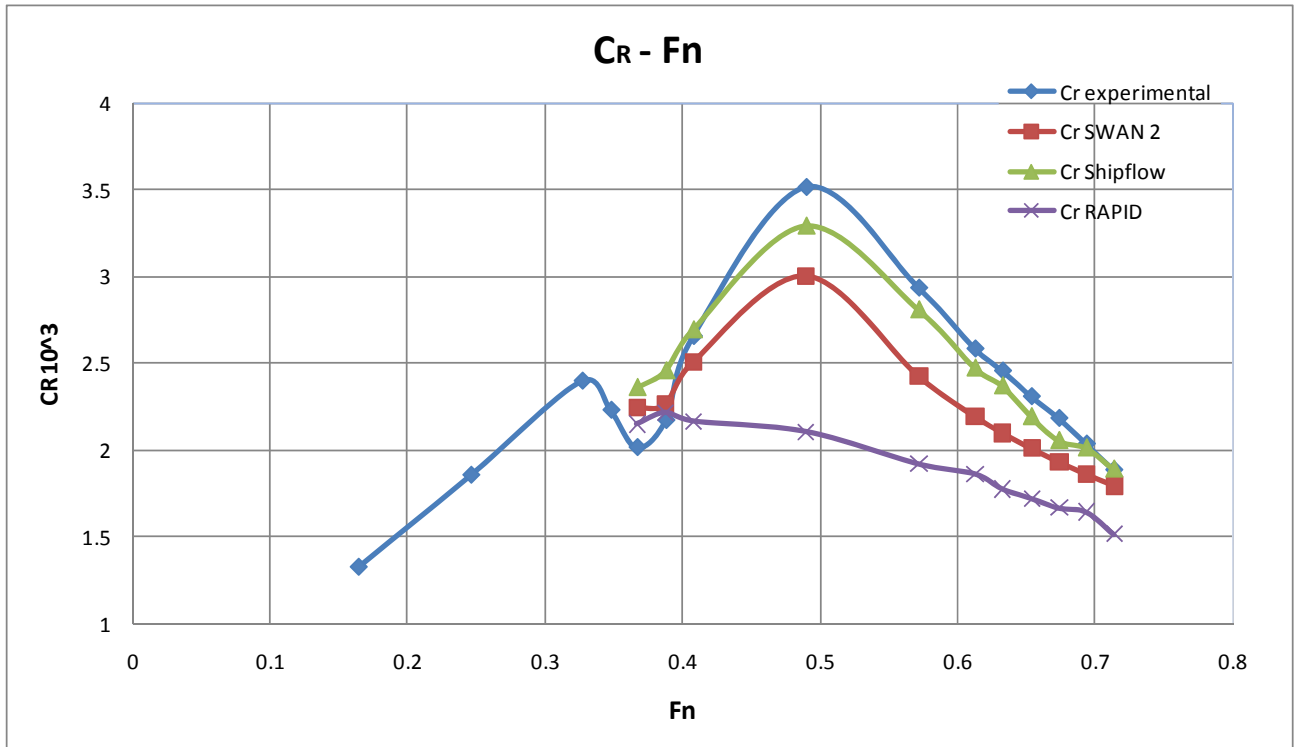
Από το πρόγραμμα λάβαμε τις τιμές των συντελεστών μορφής από διάφορες μεθόδους, Holtrop, BSRA, Hamburg LBS και Granville. Η μέθοδος που κρατήσαμε ήταν αυτή του Holtrop καθώς οι άλλες τιμές ήταν εκτός του εύρους.

Τα αποτελέσματα για τα δύο σκάφη ήταν:

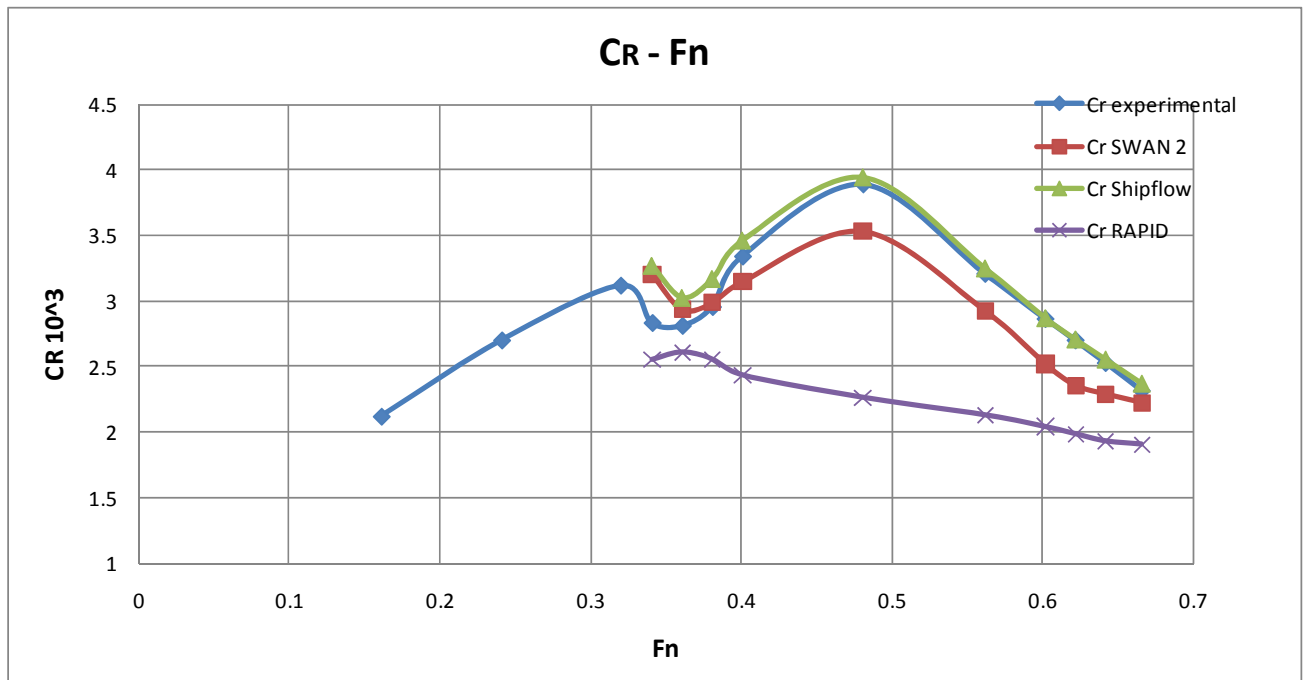
Πίνακας 8

	Semi-SWATH A	Semi-SWATH B
$(1+k)$	1.28	1.37

Ο συντελεστής μορφής k είναι ανεξάρτητος του αριθμού Reynolds. Ο συντελεστής κινείται σε τιμές 1.20-1.45 για ταχύπλοα, ενώ για ταχύπλοα δίγαστρα ο αριθμός αυτός είναι πολύ υψηλότερος. Ο υψηλότερος που έχει βρεθεί είναι 1.65. Επιπλέον, εκτιμάται ότι είναι περίπου 10% υψηλότερος σε δίγαστρο σκάφος απ' ότι σε μονόγαστρο. [4] , [5]



Διάγραμμα 39 – semi-SWATH A



Διάγραμμα 40 – semi-SWATH B

Στα διαγράμματα αυτά η απόκλιση του RAPID φαίνεται εντονότερη, καθώς δεν υπάρχει σχέση ούτε στις τιμές, αλλά ούτε στη μορφή των καμπυλών. Αντιθέτως υπάρχει μια πάρα πολύ καλή ταύτιση των δύο άλλων προγραμμάτων - SWAN 2 και Shipflow – με τα πειραματικά.

8.2 Μέθοδος Froude - Σύγκριση C_T

Εξαιτίας της απόκλισης αυτής του RAPID, στο σημείο δε θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα του RAPID για περαιτέρω σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων με εφαρμογή της μεθόδου σύγκρισης πειραματικών αποτελεσμάτων και αριθμητικών υπολογισμών που στηρίζεται στον τύπο των Molland & Insel. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στην εργασία των Γ. Ζαραφώνιτη, Γ. Γρηγορόπουλο και Δ. Μουρκογιάννη για την “Πρόβλεψη Αντίστασης σε ταχύπλοα σκάφη τύπου semi-SWATH”.

Παρακάτω φαίνεται περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε.

Ο συντελεστή ολικής αντίστασης μπορεί να εκφραστεί όπως φαίνεται στον ακόλουθο τύπο.

$$C_T = C_F + C_R = (1+k)C_F + C_W$$

Όπου

C_T : ο συντελεστής ολικής αντίστασης

C_F : ο συντελεστής αντίστασης τριβής

C_R : ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης

C_W : ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού

$1+k$: ο συντελεστής μορφής

Για τον υπολογισμό αντίστασης σε δίγαστρο σκάφος οι Insel & Molland χρησιμοποίησαν τη σχέση

$$C_T = (1 + \beta k)C_F + \tau C_W$$

Το C_W αναφέρεται στην απομονωμένη ημιγάστρα, ενώ ο πρόσθετος συντελεστής τ εισάγεται για τον συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης των συστημάτων κυματισμών που δημιουργούνται από τις δύο ημιγάστρες. Στην περίπτωση αυτή θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα του Shipflow και του SWAN 2 απευθείας που δίνουν τον ολικό συντελεστή αντίστασης κυματισμού και έτσι δεν είναι απαραίτητη η χρήση το τC_W .

Από την πλευρά του, ο πρόσθετος συντελεστής β εισάγεται για τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης όσον αφορά την αντίσταση λόγω συνεκτικότητας.

Έτσι, έχοντας υπολογίσει τους συντελεστές ολικής αντίστασης C_T πειραματικά, το συντελεστή αντίστασης τριβής C_F μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων και της καμπύλης ITTC-1957 και τον συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_W μέσω των αναλυτικών μεθόδων, υπολογίζουμε το γινόμενο βk από την ακόλουθη σχέση

$$\beta k = \frac{C_T - \tau C_W}{C_F} - 1$$

Από τους υπολογισμούς αυτούς για κάθε ταχύτητα σε κάθε κατάσταση παρατηρείται μικρή απόκλιση των τιμών του βk , γεγονός που καθιστά λογική και δυνατή την εύρεση ενός μέσου όρου των τιμών αυτών προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως μια σταθερή τιμή σε κάθε κατάσταση για τον προσεγγιστικό υπολογισμό του συντελεστή ολικής αντίστασης C_T .

$$C_T = (1 + \beta k)C_F + C_W$$

Στη συνέχεια φαίνονται τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία αυτή.

8.2.1 Semi-SWATH A

Υπενθυμίζουμε ότι υπολογίστηκε ο μέσος όρος των βk για κάθε κατάσταση και από κάθε πρόγραμμα ξεχωριστά. Έτσι, στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα βk που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση των διαγραμμάτων.

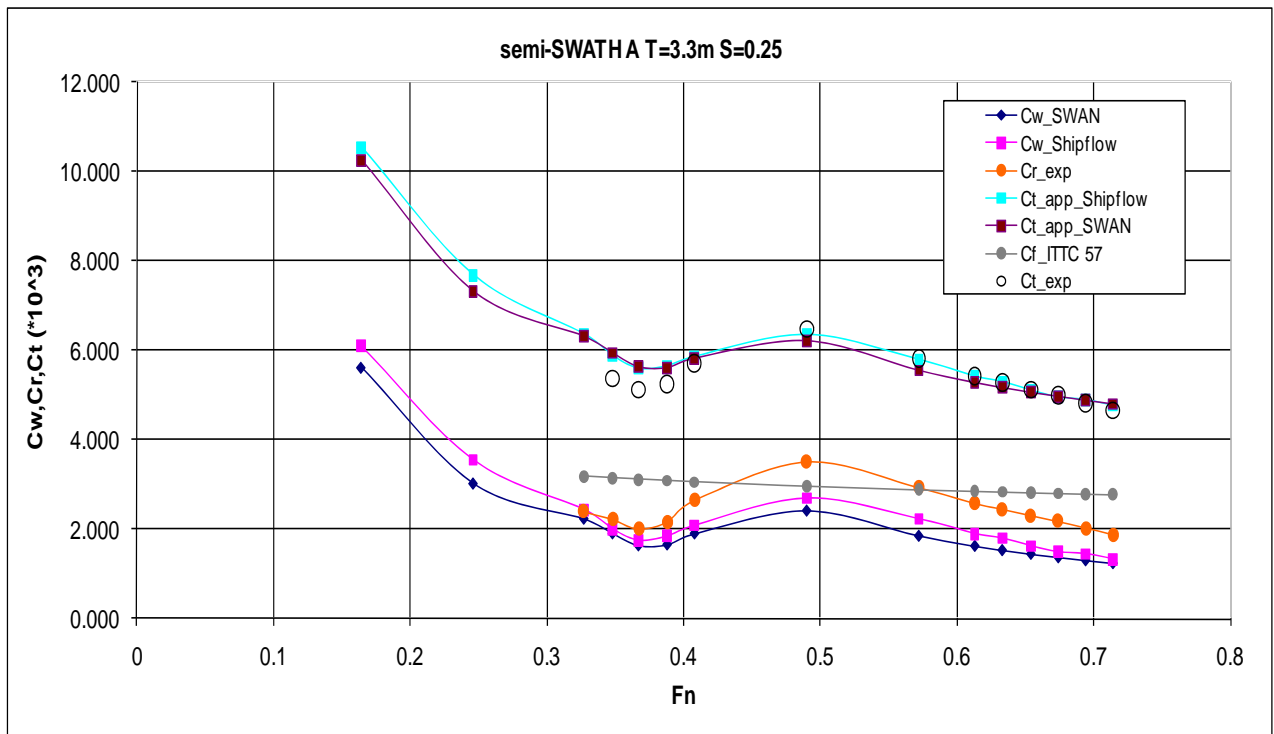
Πίνακας 9

	Shipflow	SWAN 2
T=3.3m S/L=0.25	0.240	0.284
T=3.3m S/L=0.20	0.257	0.312
T=3.3m S/L=0.30	0.264	0.312
T=3.045m S/L=0.25	0.252	0.290
T=2.795m S/L=0.25	0.249	0.276
T=3.3m trim=0.3m	0.222	0.275

Παρατηρείται μικρή απόκλιση της τάξης του 1.17 ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων. Η διαφορά στις τιμές του προσεγγιστικού συντελεστή ολικής αντίστασης είναι πολύ μικρή όπως θα φανεί και στα ακόλουθα διαγράμματα.

Αρχικά παρατίθενται τα διαγράμματα για τις τρεις καταστάσεις βυθισμάτων. Ακολουθούν τα διαγράμματα για τα υπόλοιπα βυθίσματα στα οποία εμφανίζονται όσα παρατηρήθηκαν και στο πρώτο διάγραμμα.

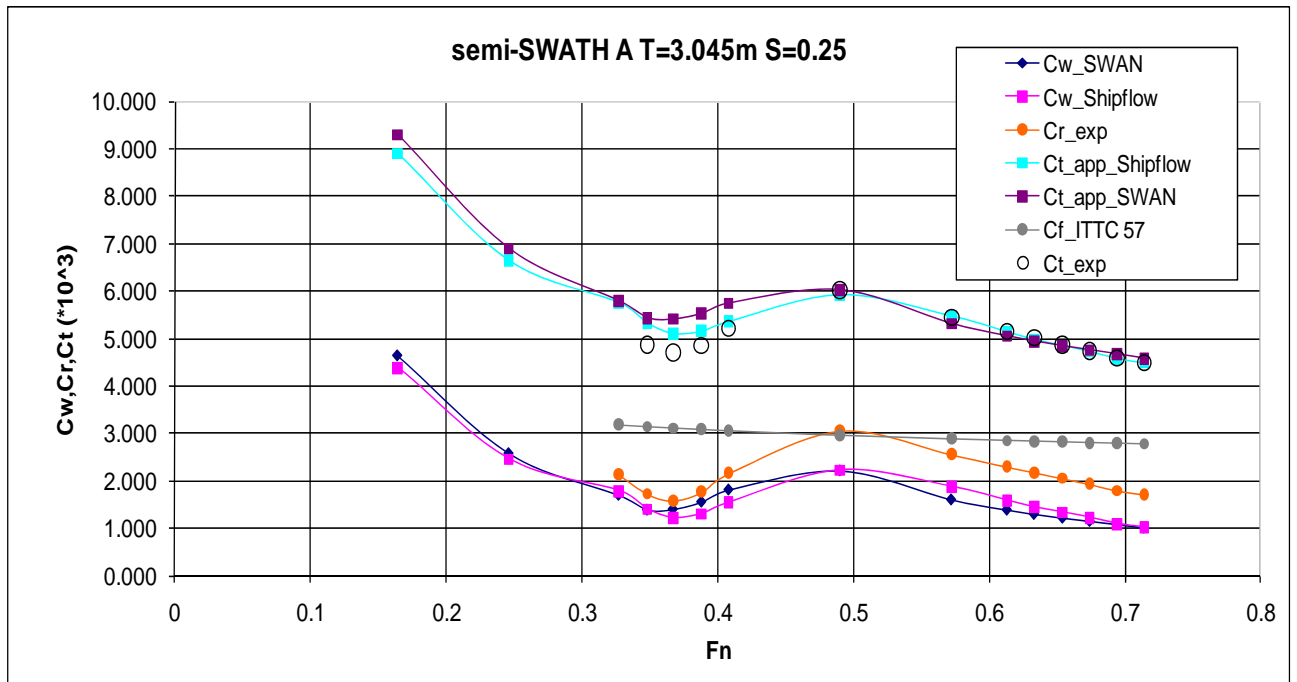
Στο τέλος φαίνονται και τα διαγράμματα σύγκρισης της δυναμικής διαγωγής και ανύψωσης κέντρου βάρους στην κατάσταση σχεδίασης.



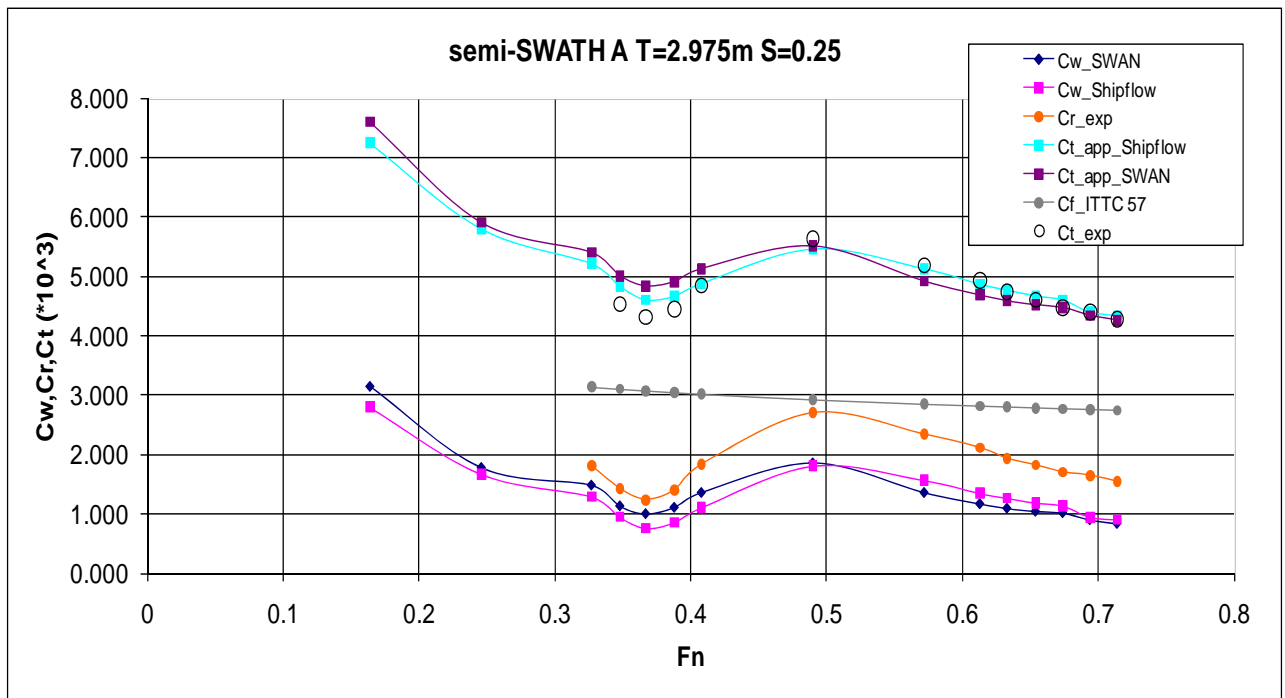
Διάγραμμα 41

Όπως βλέπουμε, στην κατάσταση σχεδίασης τα αποτελέσματα είναι σε πολύ καλή συμφωνία. Στις υψηλές ταχύτητες υπάρχει ιδιαίτερα καλή συμφωνία και με τα πειραματικά αποτελέσματα. Παρατηρούμε ότι το Shipflow έχει αποτελέσματα σχετικά πιο κοντά στα πειραματικά.

Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τα υπόλοιπα διαγράμματα, όπως θα φανεί στη συνέχεια.



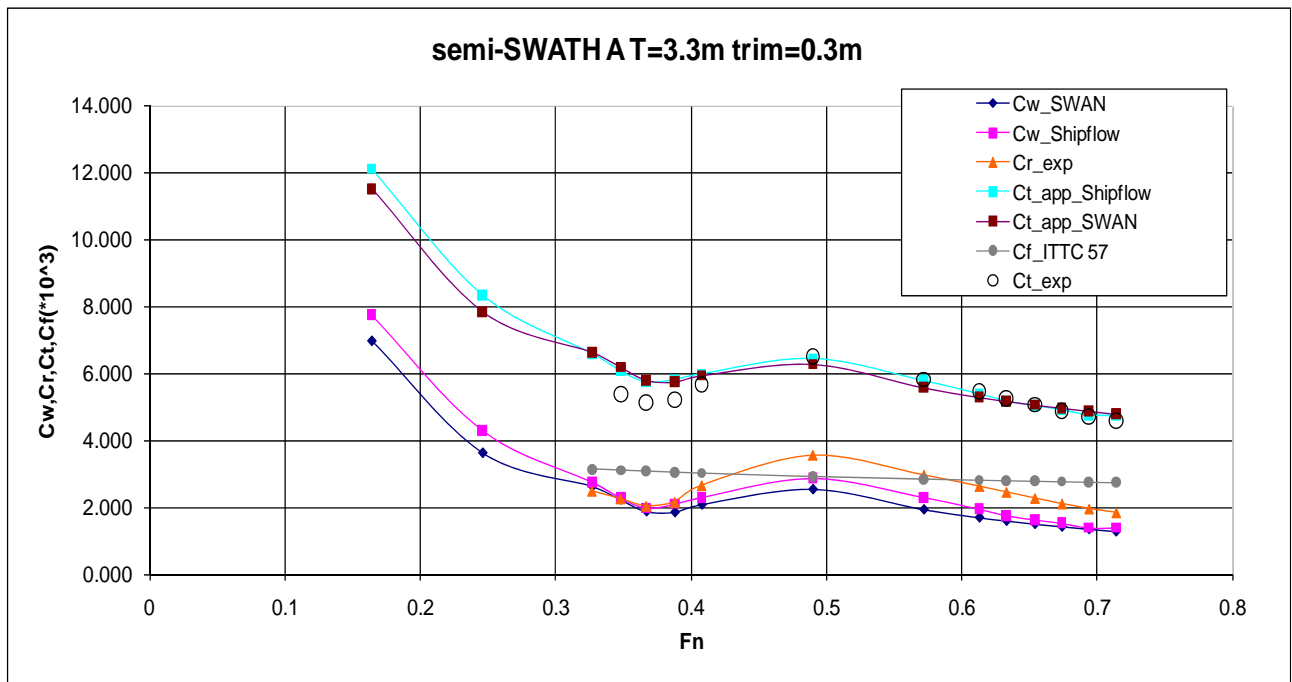
Διάγραμμα 42



Διάγραμμα 43

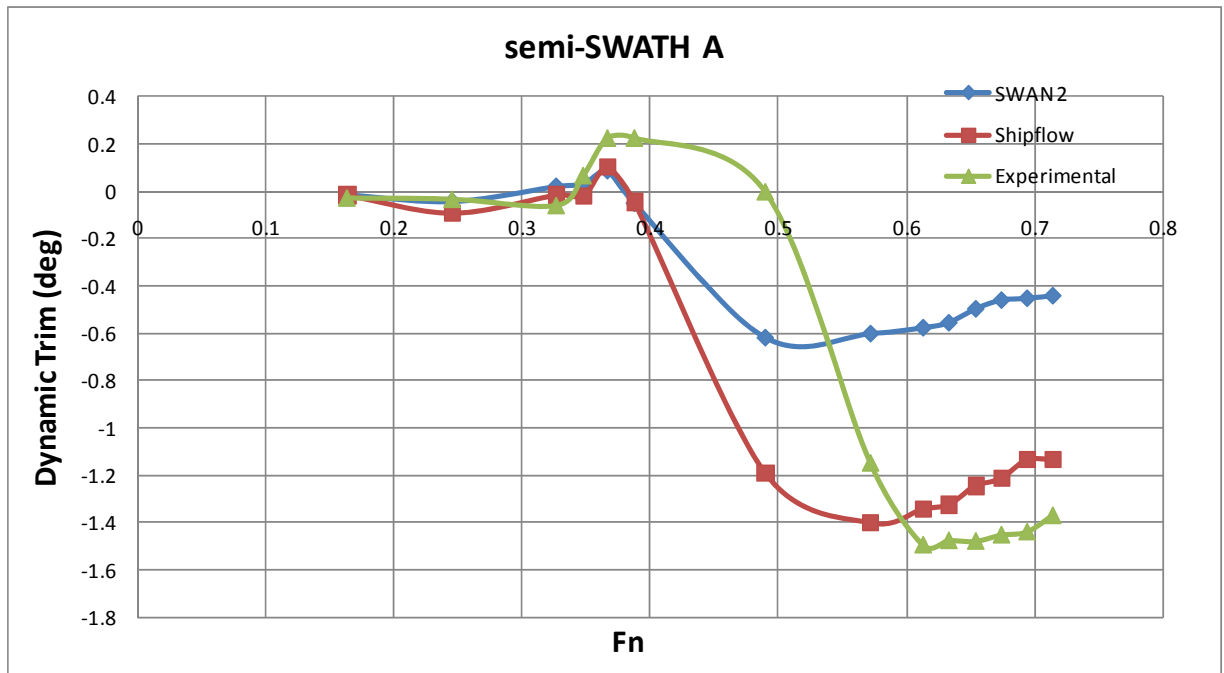
Τα αποτελέσματα ακολουθούν την ίδια μορφή. Για το συντελεστή ολικής αντίστασης λαμβάνουμε υπόψη μας τις τιμές για $F_n > 0.3-0.35$ καθώς για χαμηλότερες τιμές ταχύτητας τα αποτελέσματα για το συντελεστή αντίστασης κυματισμού C_w όπως βλέπουμε είναι προβληματικά.

Θα παραθέσουμε και το διάγραμμα για την κατάσταση έμπρυμνης διαγωγής.

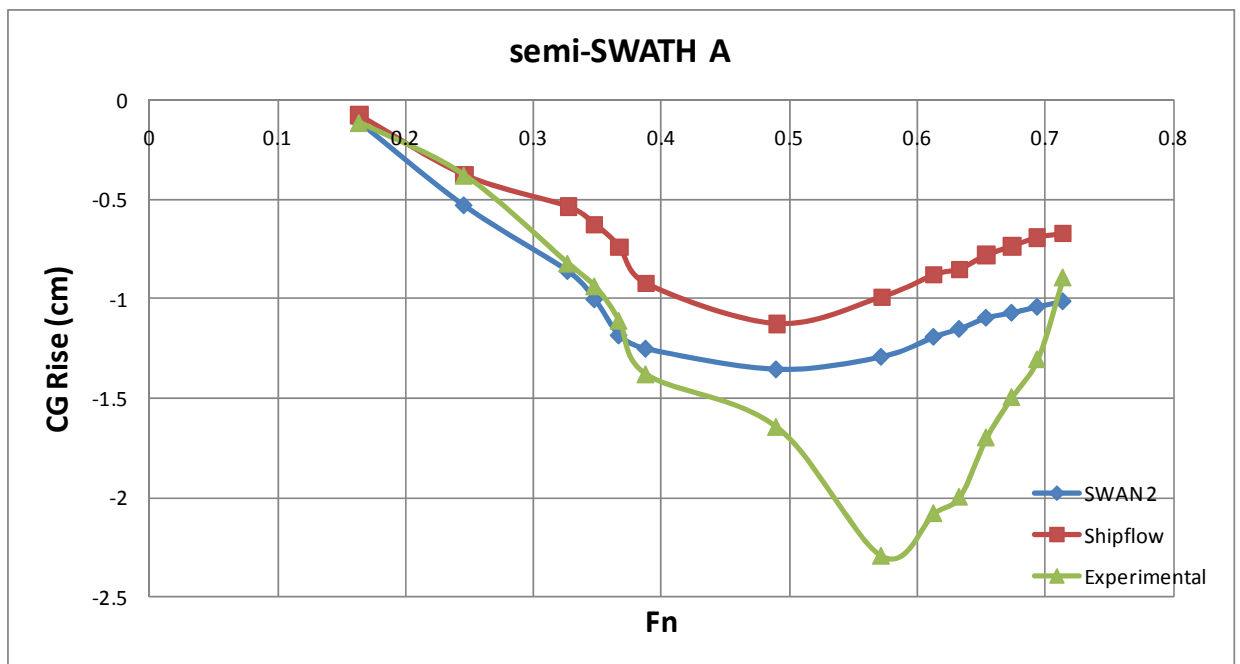


Διάγραμμα 44

Τα διαγράμματα που ακολουθούν αναφέρονται για τα σκάφη σε μέγεθος του πρότυπου σκάφους. Αρνητικές τιμές γωνιών αναφέρονται σε έμπρυμνη διαγωγή, ενώ αρνητικές τιμές ανύψωσης κέντρου βάρους σημαίνουν συναμική μείωση του βυθίσματος.



Διάγραμμα 45 – Δυναμική Διαγωγή



Διάγραμμα 46 – Δυναμική Ανύψωση Κέντρου Βάρους

Στα μεγέθη αυτά, οι διαφορές που φαίνονται είναι σημαντικότερες ως προς τις τιμές. Παρατηρούμε υποεκτίμηση των τιμών της δυναμικής διαγωγής από το SWAN 2, και αντίστοιχη υποεκτίμηση των τιμών της ανύψωσης κέντρου βάρους από το Shipflow. Παρ' όλα αυτά, η μορφή των καμπυλών είναι παρόμοια με τα

τοπικά μέγιστα και ελάχιστα να πραγματοποιούνται στις ίδιες περιοχές ταχυτήτων.

Η συμπεριφορά των μεγεθών αυτών εξηγεί και τις διακυμάνσεις των τιμών της αντίστασης κυματισμού με τους τρόπους που περιγράψαμε σε προηγούμενα κεφάλαια.

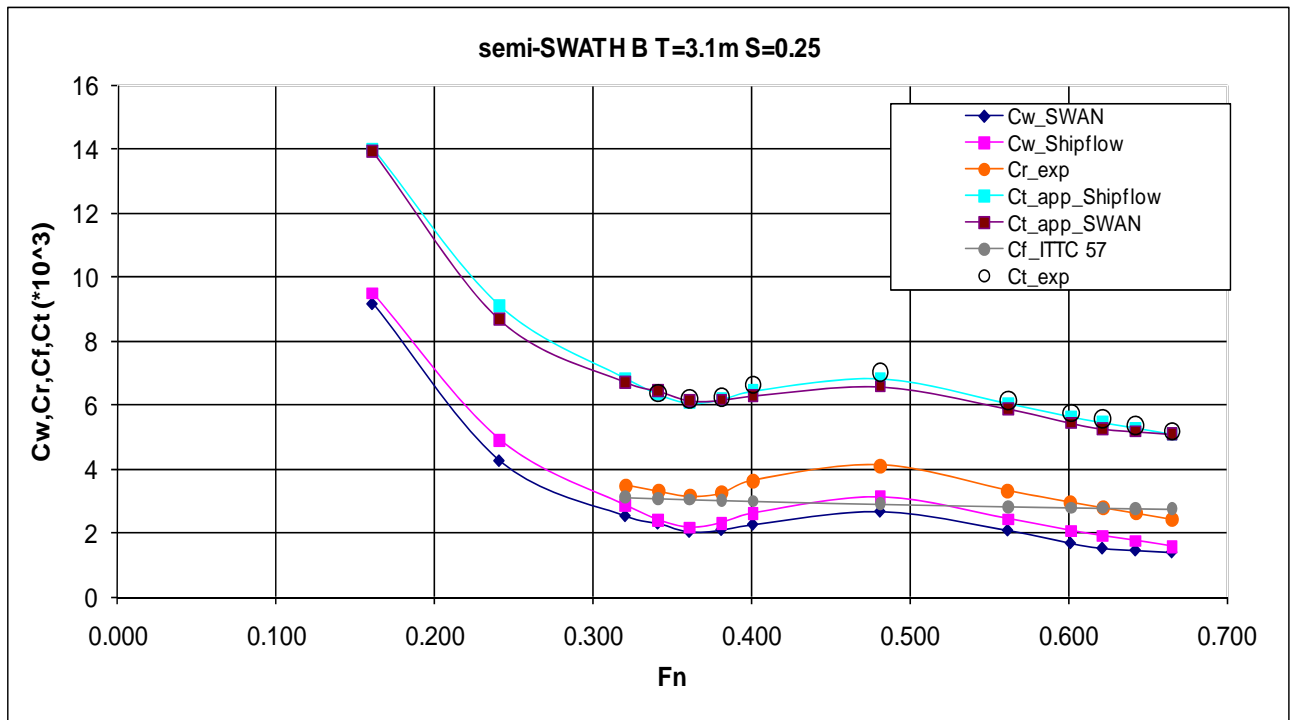
8.2.2 Semi-SWATH B

Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα για το σκάφος αυτό. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι μέσοι όροι των παραγόντων βk που χρησιμοποιήθηκαν.

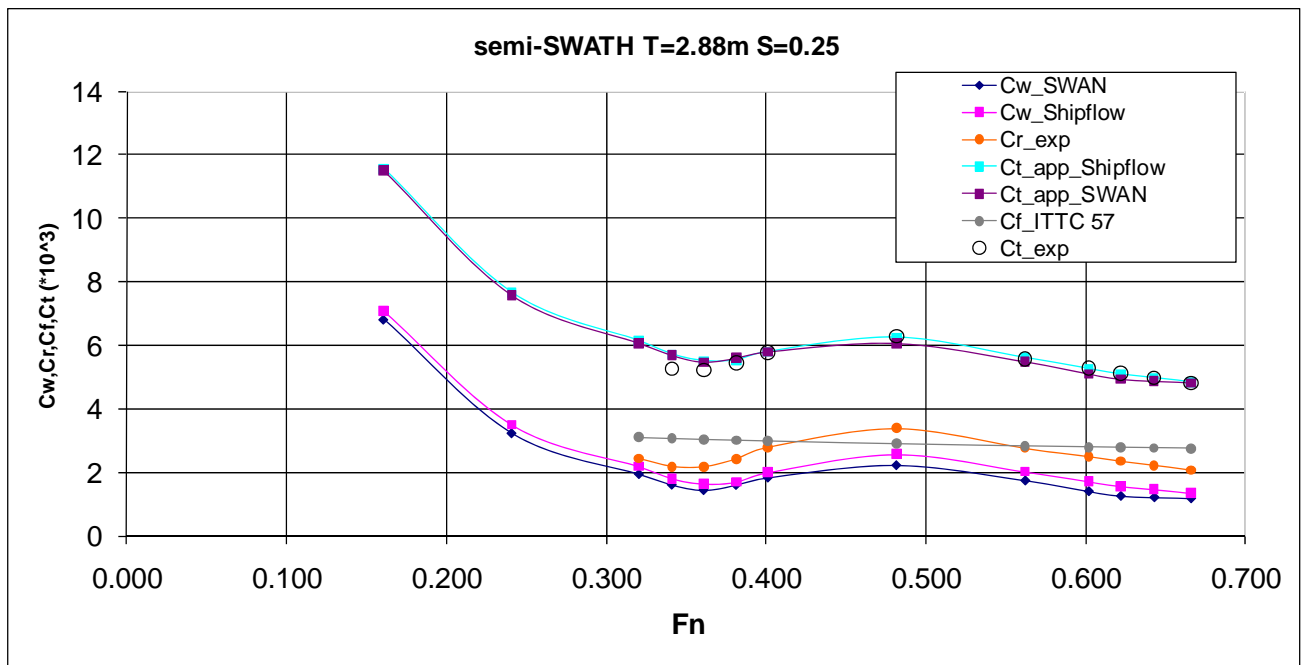
Πίνακας 10

	Shipflow	SWAN 2
T=3.1m S/L=0.25	0.283	0.352
T=3.1m S/L=0.20	0.261	0.341
T=3.1m S/L=0.30	0.267	0.327
T=2.88m S/L=0.25	0.269	0.329
T=2.66m S/L=0.25	0.275	0.349
T=3.1m trim=0.3m	0.280	0.380

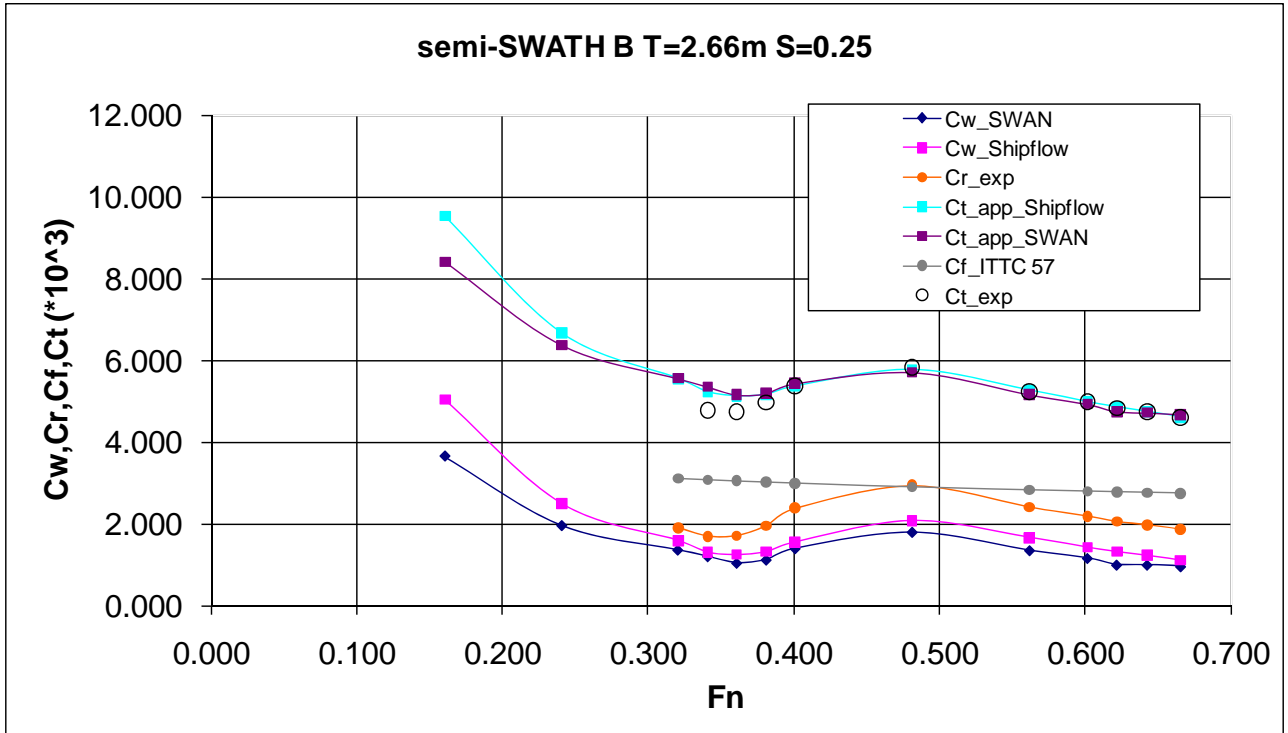
Τα διαγράμματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα με τα αποτελέσματα να είναι παρεμφερή με τα αντίστοιχα του semi-SWATH A.



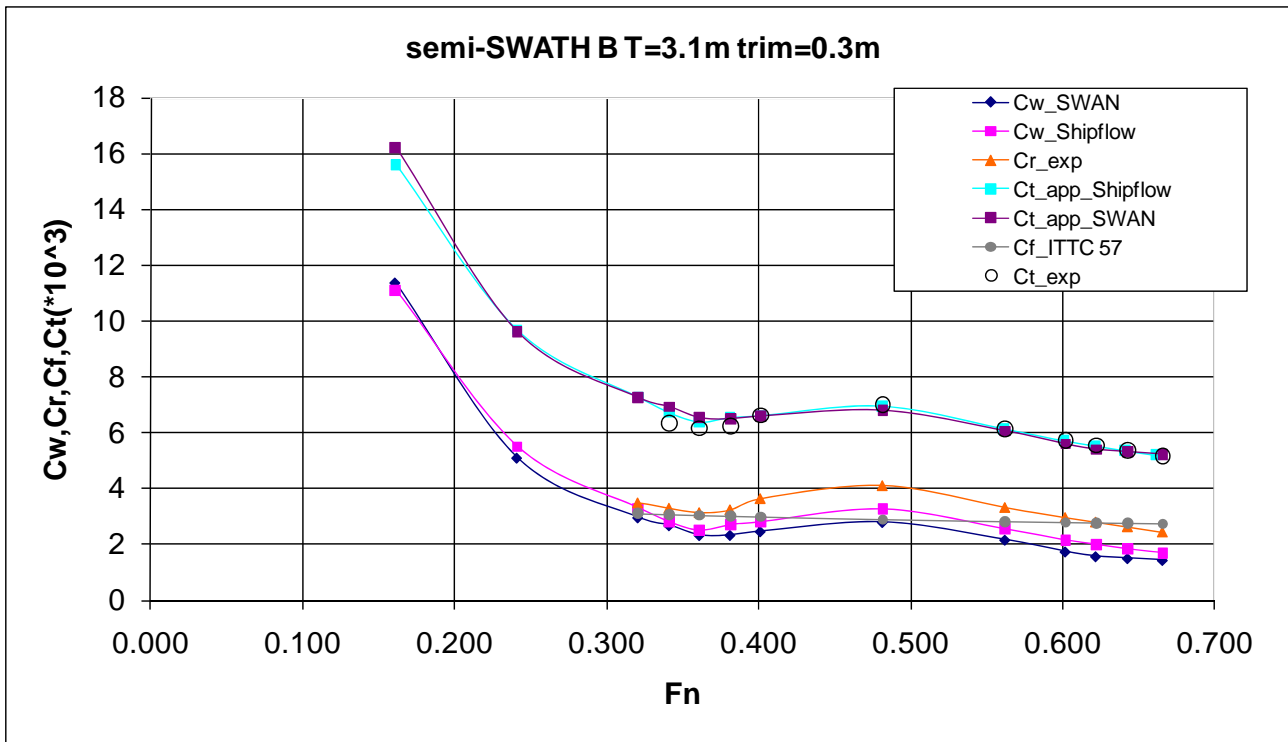
Διάγραμμα 47



Διάγραμμα 48

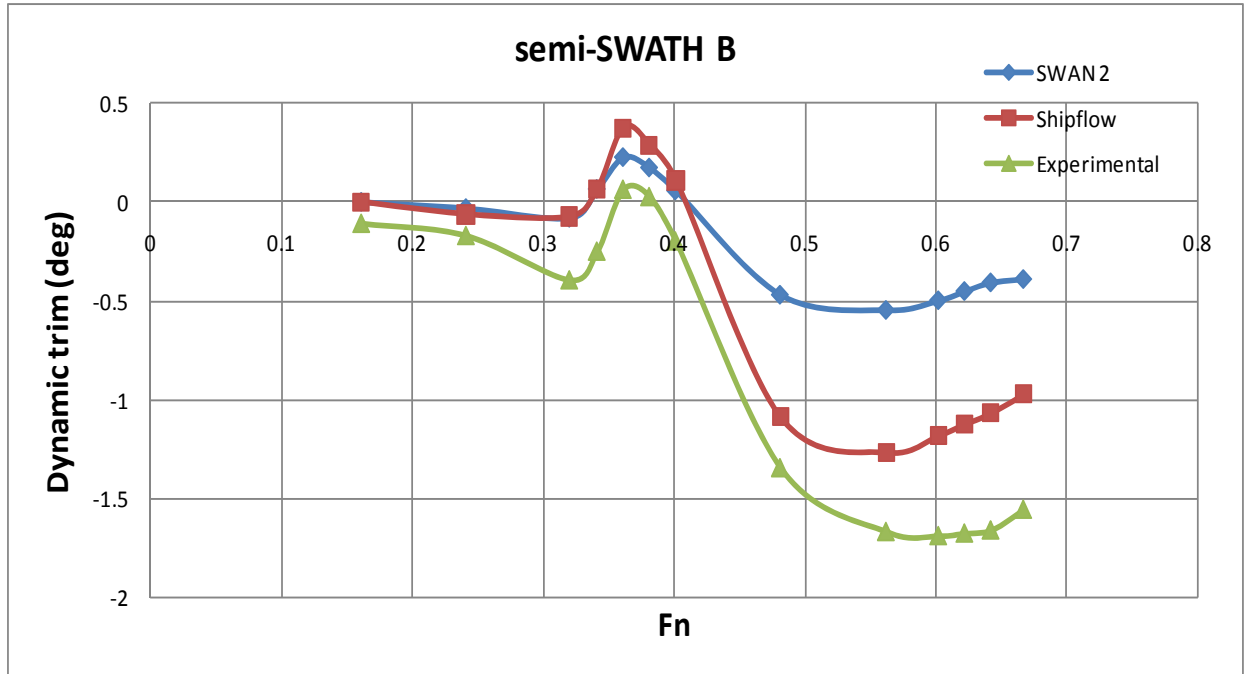


Διάγραμμα 49

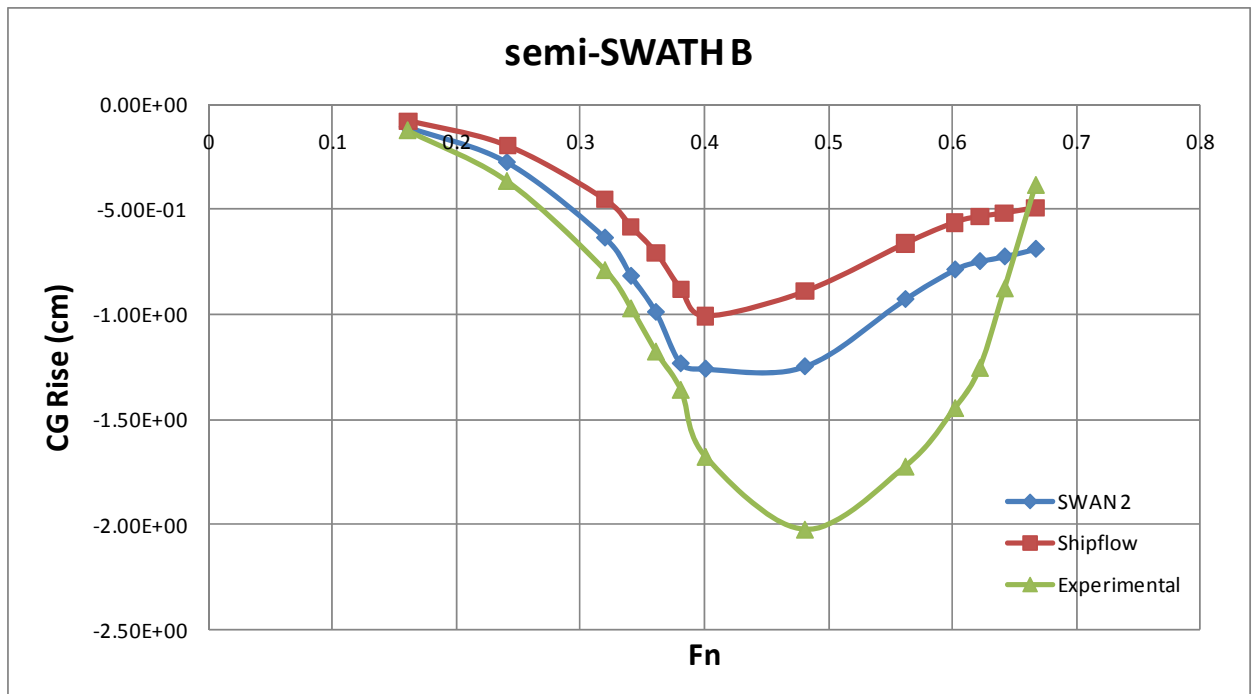


Διάγραμμα 50

Ομοίως και για το semi-SWATH B παρατηρούμε μικρή απόκλιση μεταξύ των μεθόδων, ιδιαίτερα πάντα για τις τιμές για $F_n > 0.35$.



Διάγραμμα 51 – Δυναμική Διαγωγή



Διάγραμμα 52 – Δυναμική Ανύψωση Κέντρου Βάρους

Έτσι, σε γενικές γραμμές, έχοντας δει τα αποτελέσματα για τις διάφορες καταστάσεις, μπορούμε πλέον να ισχυριστούμε ότι η μέθοδος αυτή είναι αρκετά αποτελεσματική και δίνει ικανοποιητική προσέγγιση του συντελεστή C_T .

8.3 Σύγκριση wavecuts

Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών έγινε με σύγκριση των προφίλ κυματισμών σε συγκεκριμένες εγκάρσιες θέσεις – wavecuts. Για τη μέθοδο αυτή ουσιαστικά καταγράφεται το προφίλ του κύματος από την πλώρη του σκάφους μέχρι 2-3 μήκη πλοίου πρύμνηθεν. Και πάλι λήφθηκαν αποτελέσματα από πειραματικές μετρήσεις και μέσω των υπολογιστικών προγραμμάτων. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε αδιαστατοποιημένα μεγέθη.

Το SWAN 2 με κατάλληλη εντολή εμφανίζει το προφίλ του κάθε κύματος μέσω του προγράμματος Tecplot σε διαστατά μεγέθη θέσης και ύψους κύματος, απ' όπου και έγινε εξαγωγή των σημείων των καμπυλών για το σχεδιασμό και σύγκρισή τους.

Το Shipflow εμφανίζει τα αντίστοιχα διαγράμματα στο δικό του περιβάλλον λειτουργίας. Για τη δημιουργία “εκμεταλλεύσιμων” καμπυλών χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο πρόγραμμα Fortran που στηρίζεται στην ανάγνωση του πλέγματος της ελεύθερης επιφάνειας μετά από το αντίστοιχο “τρέξιμο”.

Αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε και μέτρηση των δημιουργούμενων κυματισμών και στο RAPID. Τα αποτελέσματα εκεί προέκυπταν απευθείας αδιαστατοποιημένα ως προς το μήκος του πλοίου και εμφανίζονταν μέσω του Tecplot.

Εκτός από τα τρία αυτά προγράμματα, πραγματοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις στη δεξαμενή με κατάλληλους αισθητήρες (waveprobs) που κατέγραφαν το μεταβολή του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας ανά 0.02 sec. Και οι μετρήσεις αυτές αδιαστατοποιήθηκαν αναλόγως.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η σύγκριση των μεθόδων ως προς το προφίλ των δημιουργούμενων κυμάτων. Ως σημείο $O(0,0)$ ορίστηκε στο μέσο του πλοίου στο επίπεδο της ήρεμης ελεύθερης επιφάνειας (πάντα για το βύθισμα σχεδίασης των δύο σκαφών, $T_A=3.3m, T_B=3.1m$), ενώ οι αρνητικές τιμές x/L δείχνουν την αδιαστατοποιημένη απόσταση πρύμνηθεν του σκάφους. Εξετάστηκαν υψηλές ταχύτητες ώστε τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων να μην περιέχουν σφάλματα εξαιτίας της ανάκλασης των κυματισμών στα τοιχώματα της δεξαμενής. Οι μετρήσεις τόσο οι πειραματικές, όσο και οι αριθμητικές των πλατών των δημιουργούμενων κυματισμών έγιναν εξωτερικά των σκαφών.

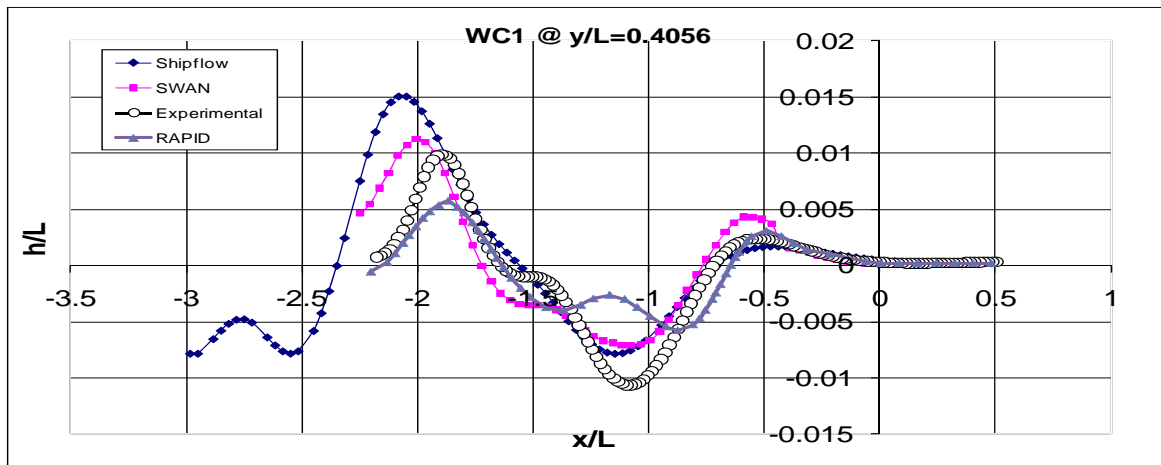
Semi-SWATH A

Τα διαγράμματα του semi-SWATH A σχεδιάστηκαν για τις ταχύτητες $F_n=0.572$, $F_n=0.633$, $F_n=0.694$, ενώ οι εγκάρσιες αποστάσεις ήταν $y/L=0.406$, $y/L=0.541$, $y/L=0.676$.

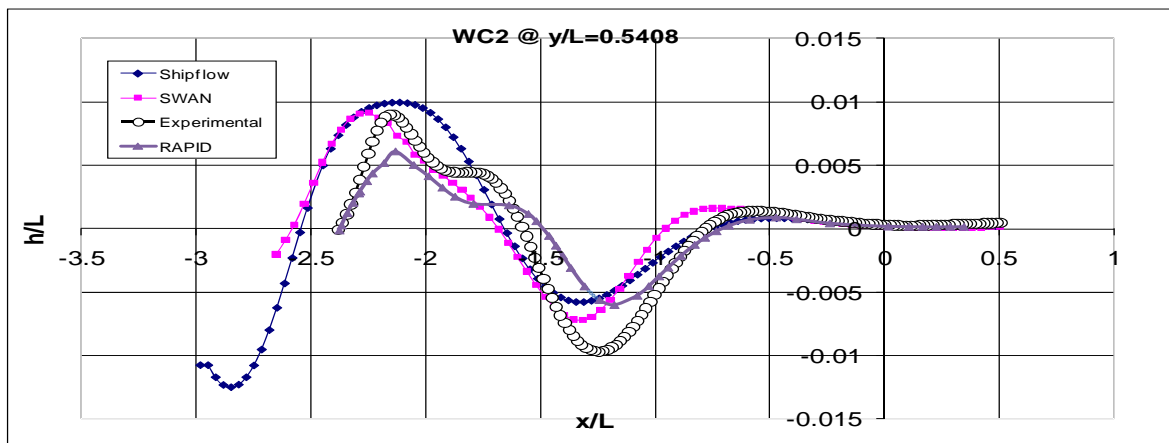
Semi-SWATH B

Τα αντίστοιχα διαγράμματα του semi-SWATH B αναφέρονται στις ταχύτητες $F_n=0.562$, $F_n=0.622$, $F_n=0.665$, ενώ οι εγκάρσιες αποστάσεις ήταν $y/L=0.392$, $y/L=0.522$, $y/L=0.653$.

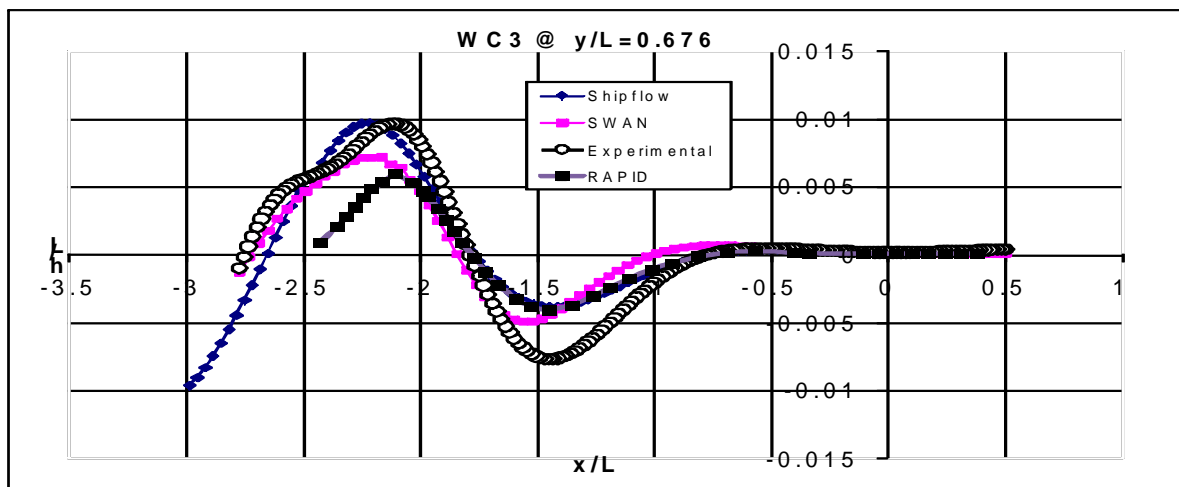
Semi-SWATH A $F_n=0.572$



Διάγραμμα 53

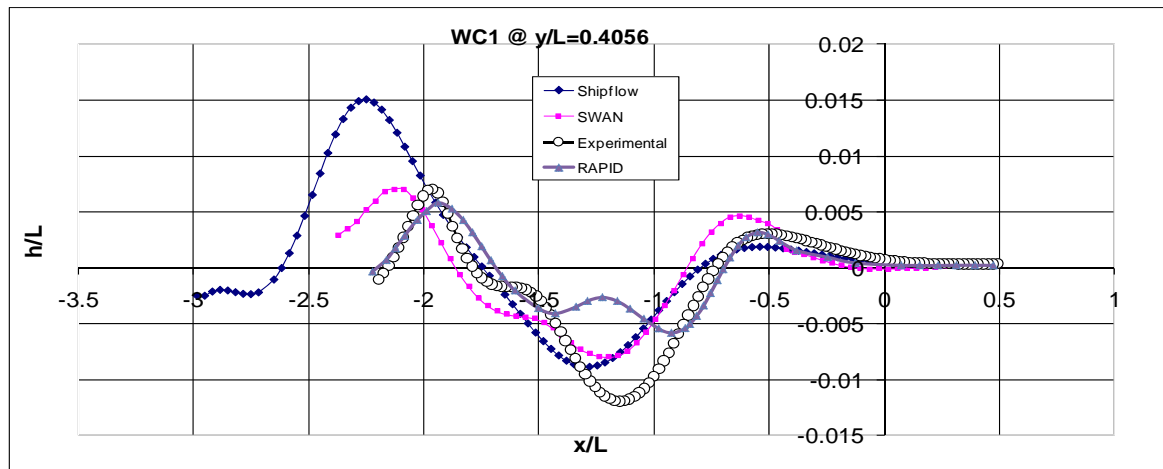


Διάγραμμα 54

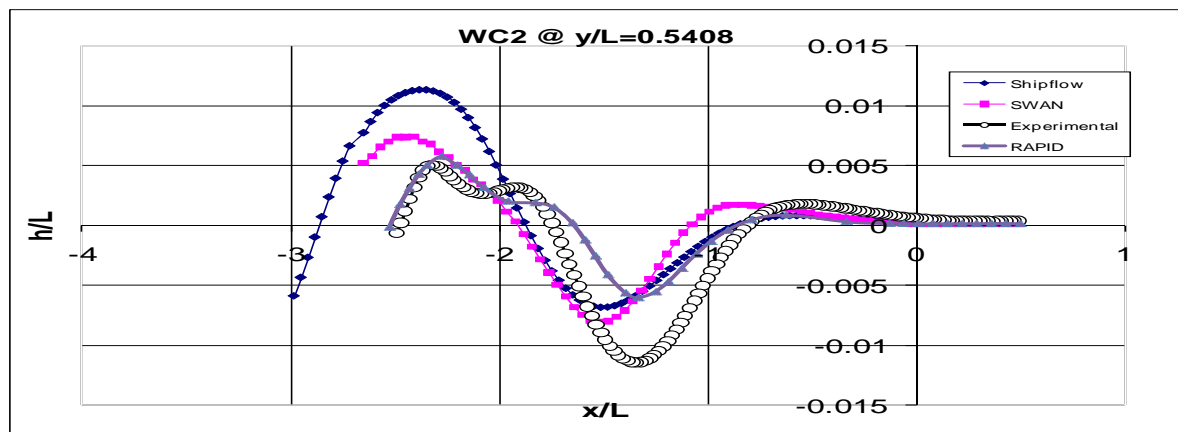


Διάγραμμα 55

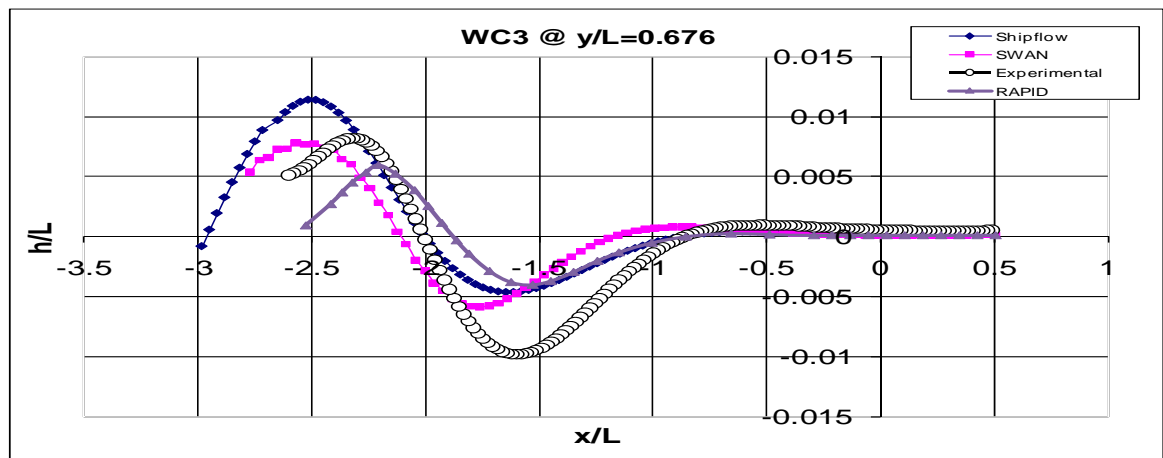
Semi-SWATH A $F_n=0.633$



Διάγραμμα 56

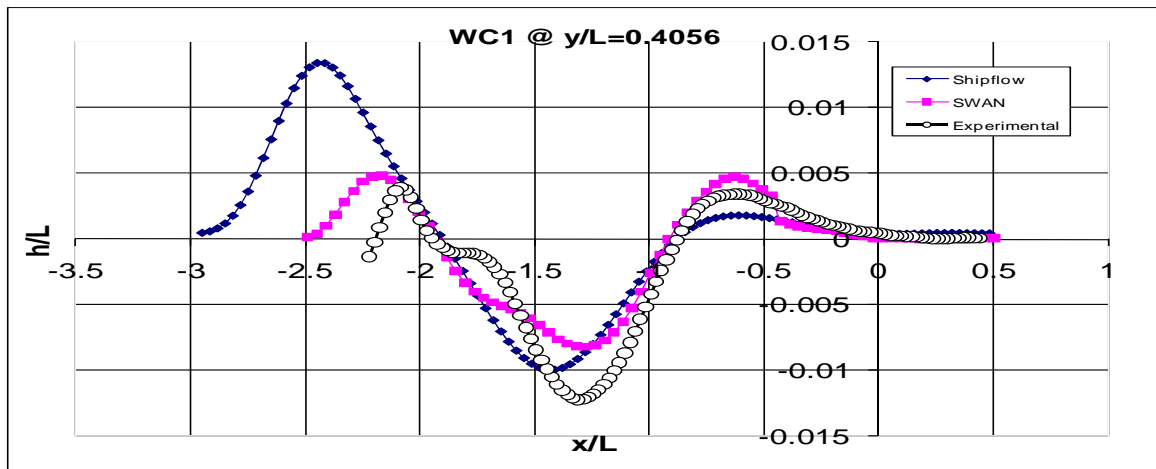


Διάγραμμα 57

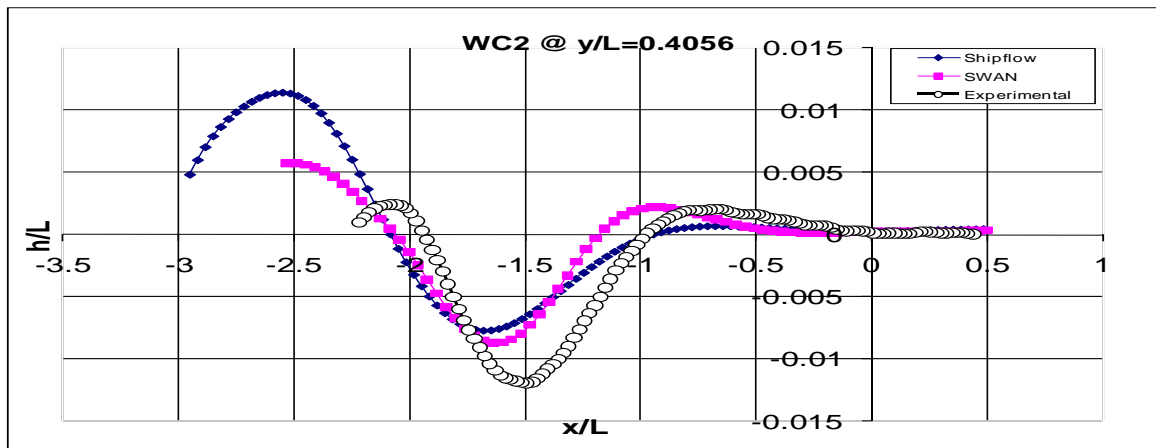


Διάγραμμα 58

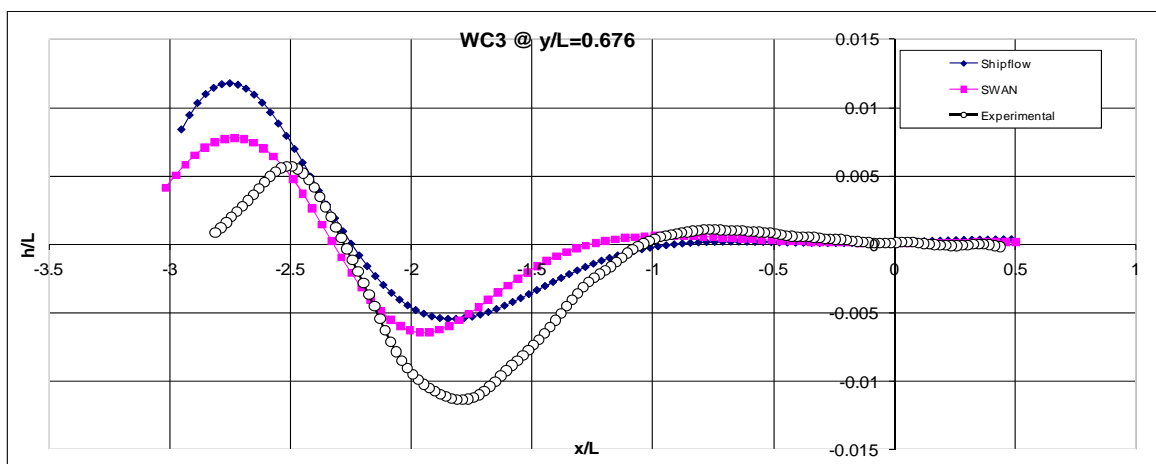
Semi-SWATH A $F_n=0.694$



Διάγραμμα 59

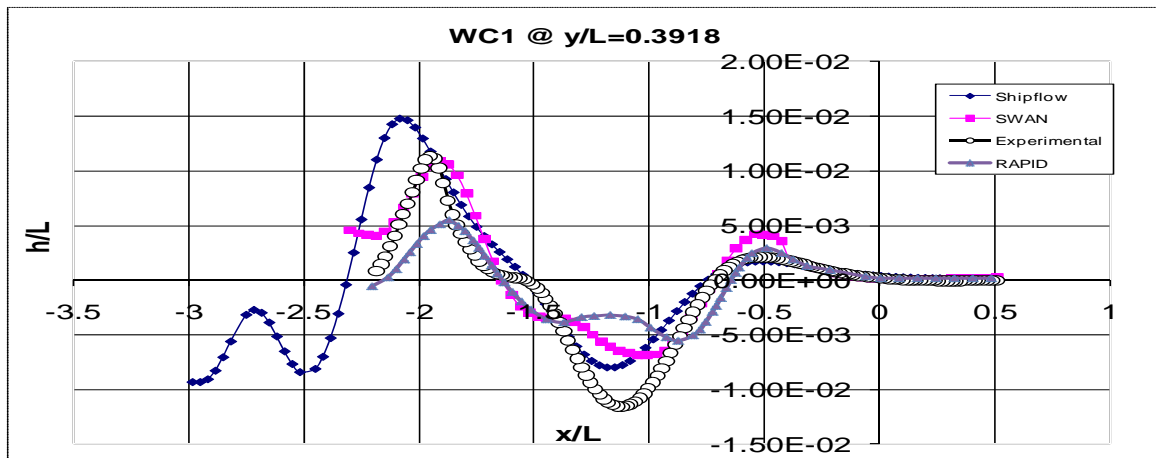


Διάγραμμα 60

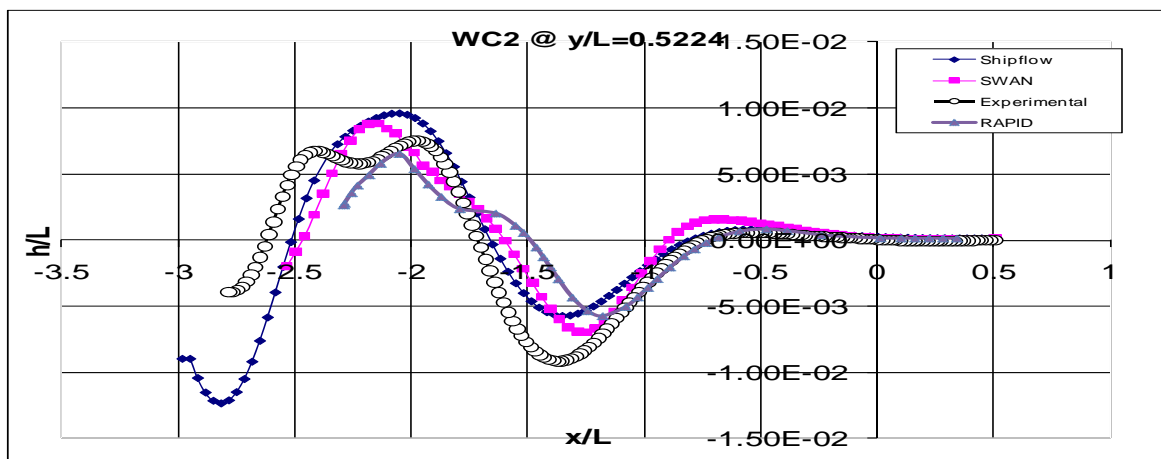


Διάγραμμα 61

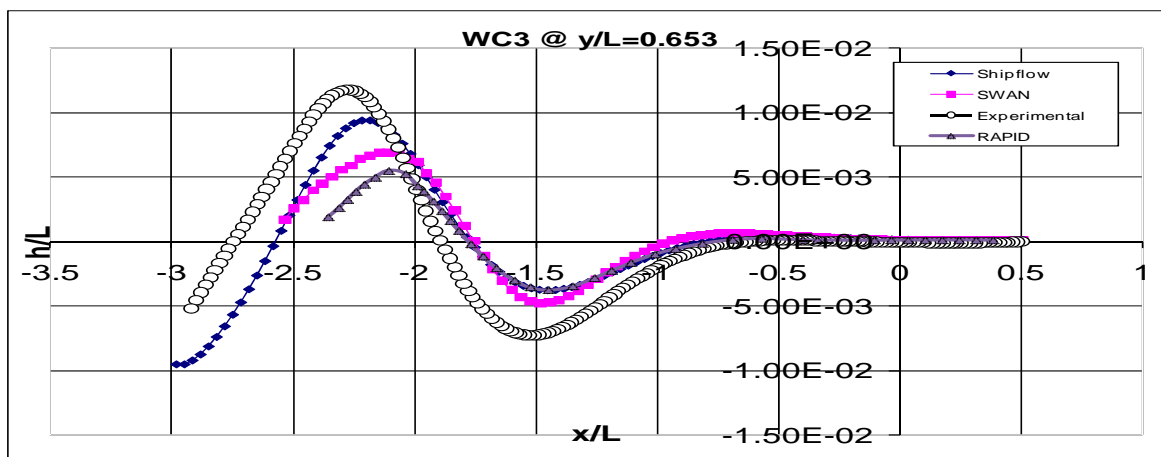
Semi-SWATH B Fn=0.562



Διάγραμμα 62

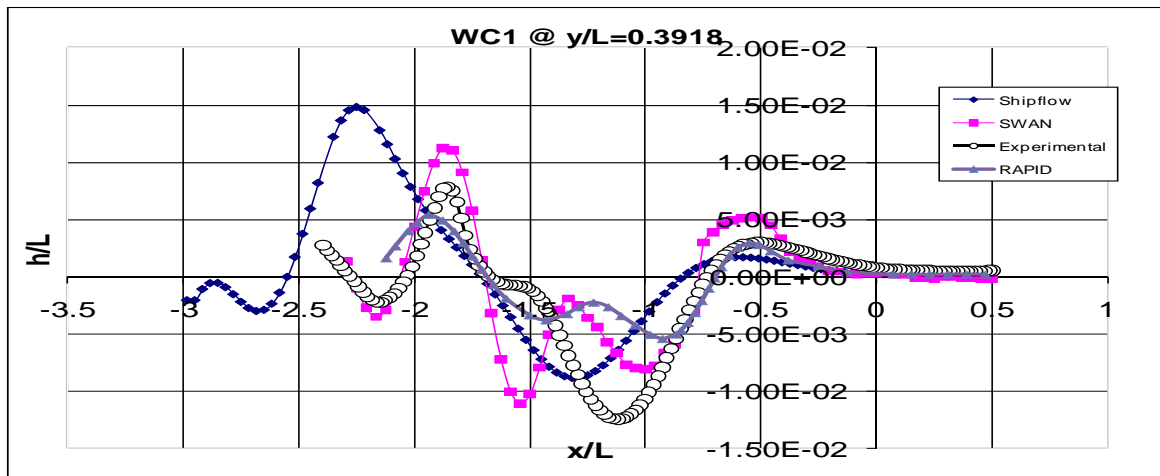


Διάγραμμα 63

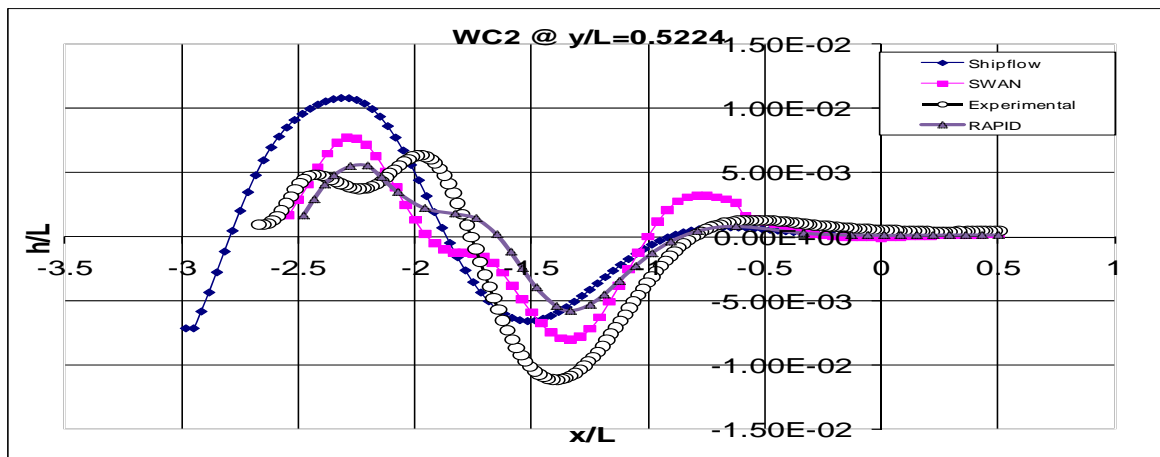


Διάγραμμα 64

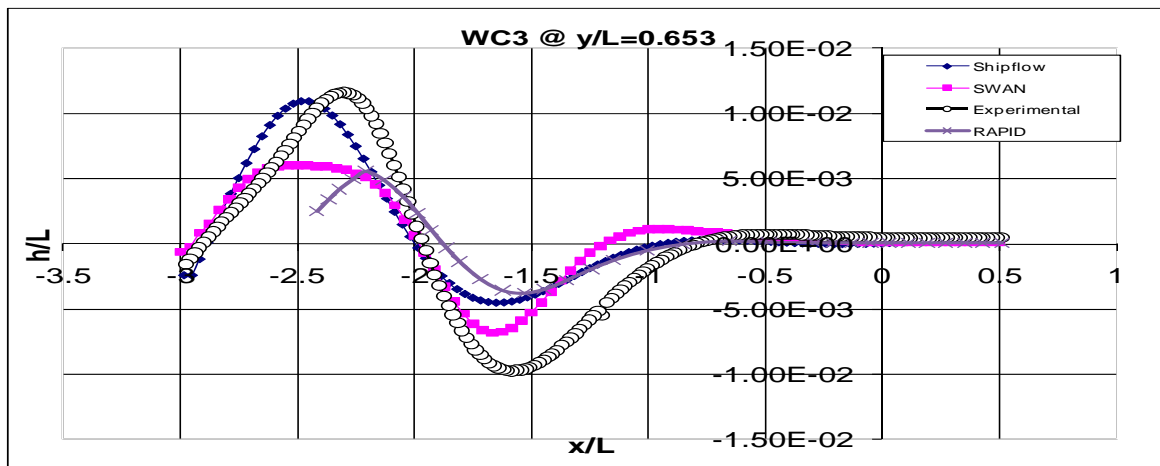
Semi-SWATH B $F_n=0.622$



Διάγραμμα 65

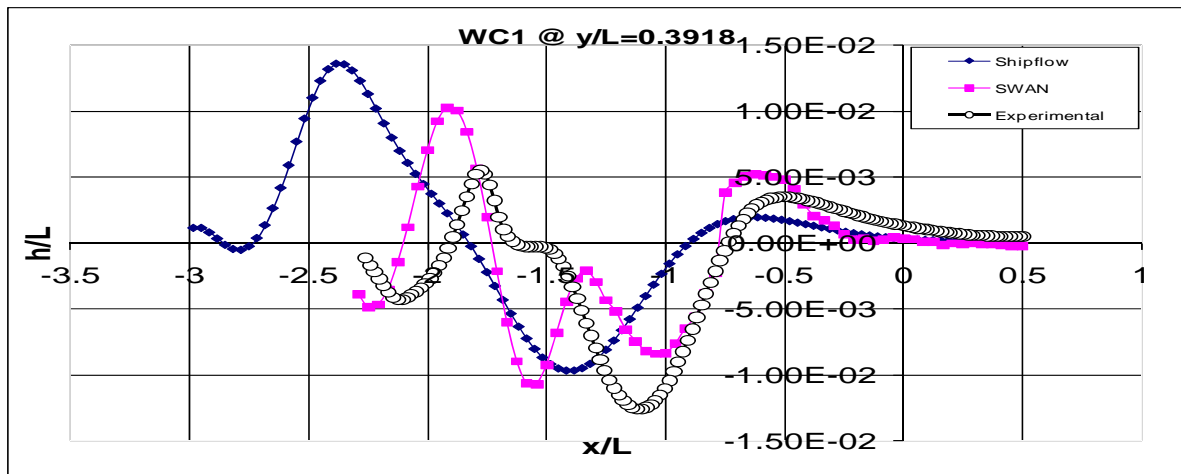


Διάγραμμα 66

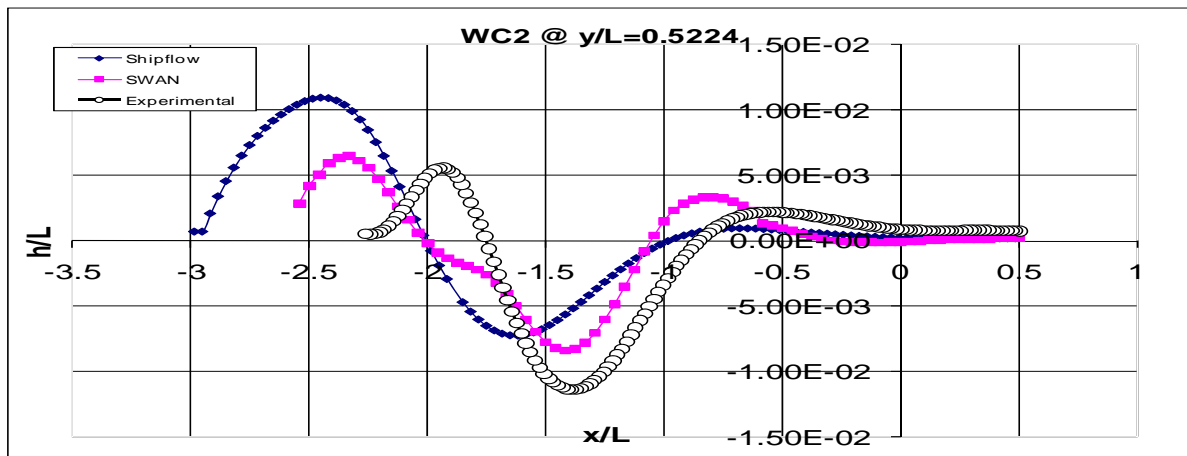


Διάγραμμα 67

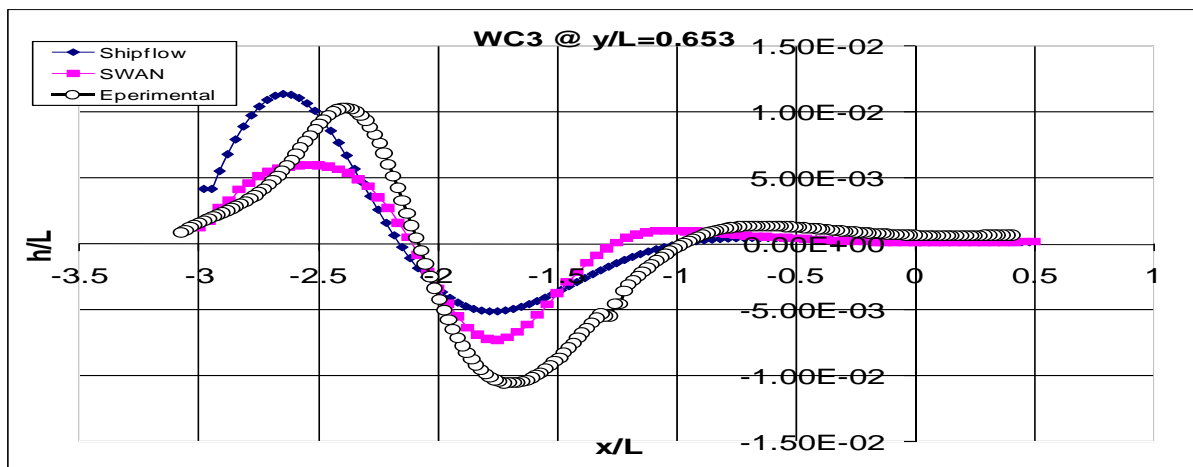
Semi-SWATH B Fn=0.665



Διάγραμμα 68



Διάγραμμα 69



Διάγραμμα 70

Σε γενικές γραμμές η απόκλιση μεταξύ των προγραμμάτων SWAN 2 και Shipflow είναι μικρή. Βέβαια, η μικρή απόκλιση αυτή ήταν αναμενόμενη δεδομένων των αποτελεσμάτων των συντελεστών αντίστασης κυματισμού, τα οποία εμφάνιζαν και αυτά μικρές διαφορές.

Η μεγαλύτερη τάση ταύτισης των δύο καμπυλών παρατηρείται στη μικρότερη των τριών ταχύτητα, ενώ στις μεγαλύτερες ταχύτητες η τάση αυτή παρατηρείται όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε εγκάρσιως από το πλοίο, δηλαδή κυρίως στη μέγιστη απόσταση y .

Τέλος, παρατηρείται πρόβλημα στις δύο υψηλότερες ταχύτητες στη θέση $y/L=0.3918$, όπου εμφανίζεται μια πιο έντονη μεταβολή των κυματισμών στην περιοχή $-1.5 < x/L < -1$.

Από την πλευρά του RAPID τα δημιουργούμενα πλάτη είναι σχετικά χαμηλότερα, γεγονός που εξηγεί και τις χαμηλότερες τιμές των συντελεστών C_w , καθώς τα χαμηλότερα πλάτη οφείλονται στη μικρότερη ενέργεια δημιουργούμενου κυματισμού και συνεπώς χαμηλότερες τιμές αντίστασης κυματισμού. Παρ' όλα αυτά, στις καταστάσεις που εξετάστηκε, το RAPID εμφανίζει σχετικά καλή προσέγγιση των δημιουργούμενων κυματισμών σε σχέση με τα πειραματικά αλλά και με αριθμητικά αποτελέσματα.

Λόγω της μη πετυχημένης ουσιαστικά σύγκλισης του RAPID σε κάποιο αποτέλεσμα (ουσιαστικά το αποτέλεσμα θεωρείτο ως η τελευταία τιμή των επαναλήψεων χωρίς να έχει επιτευχθεί σύγκλιση ως τότε) στις πολύ υψηλές ταχύτητες ($Fn > 0.65$), θεωρήθηκε ορθότερο να μη γίνει έλεγχος στις τιμές αυτές.

Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρείται πάντως ταύτιση των σημείων στα οποία δημιουργούνται οι κορυφές των κυματισμών και για τα τρία προγράμματα καθώς και για τα πειραματικά αποτελέσματα, με εξαίρεση ορισμένες καταστάσεις.

8.4 Σύγκριση με wave pattern

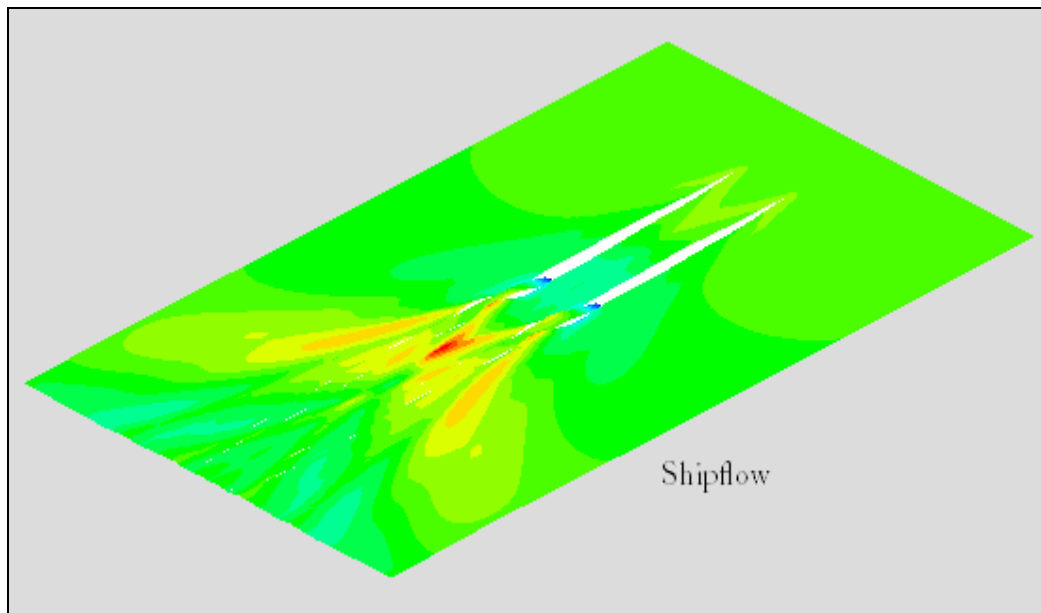
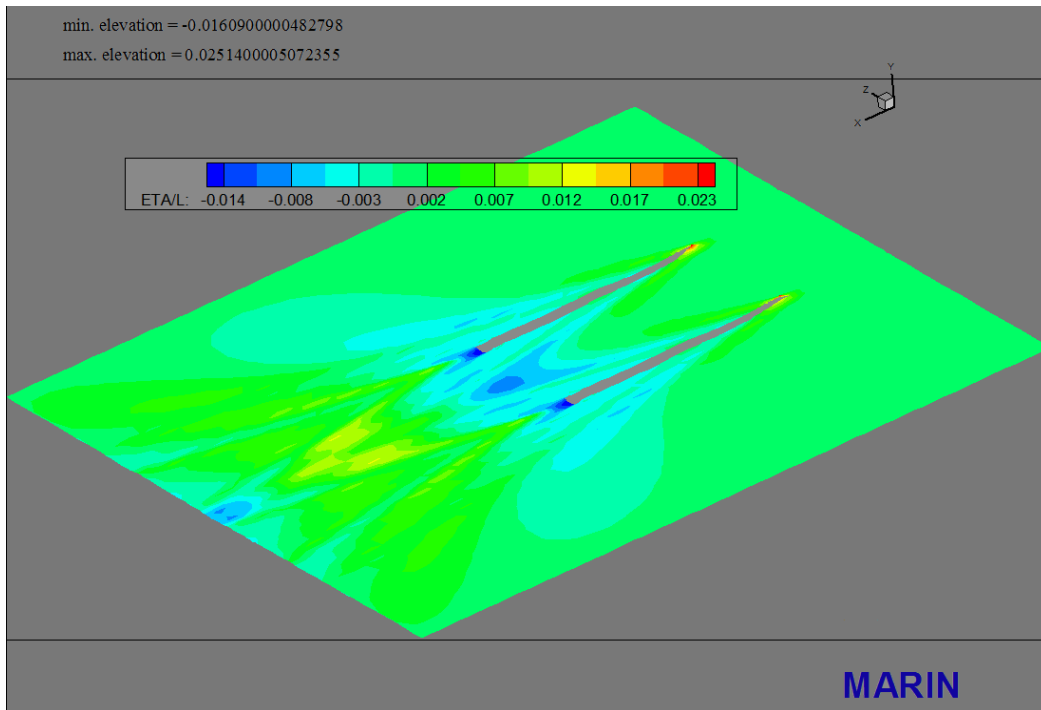
Τέλος, πέρα από τη σύγκριση των προφίλ των δημιουργούμενων κυμάτων (wavecuts) σε συγκεκριμένες εγκάρσιες αποστάσεις από τα σκάφη, εξετάστηκαν και οι εικόνες waverpattern, δηλαδή η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας πρύμνηθεν του πλοίου. Οι μεταβολές του χρώματος δείχνουν και τη μεταβολή του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας στην κάθε περιοχή. Η σύγκριση έγινε μεταξύ των προγραμμάτων Shipflow και RAPID για τις ταχύτητες που εξετάστηκαν και πιο πάνω.

Πρόκειται για μια μέθοδο απεικόνισης των μεταβολών της ελεύθερης επιφάνειας εξαιτίας της διάδοσης των δημιουργούμενων κυματισμών και διαταραχής της λόγω της κίνησης του σκάφους.

Στις εικόνες που ακολουθούν τα χρώματα αντιστοιχούν σε ύψη μεταβολών της ελεύθερης επιφάνειας. Και για τα δύο προγράμματα η αντιστοιχία αυτή φαίνεται στις φωτογραφίες του RAPID.

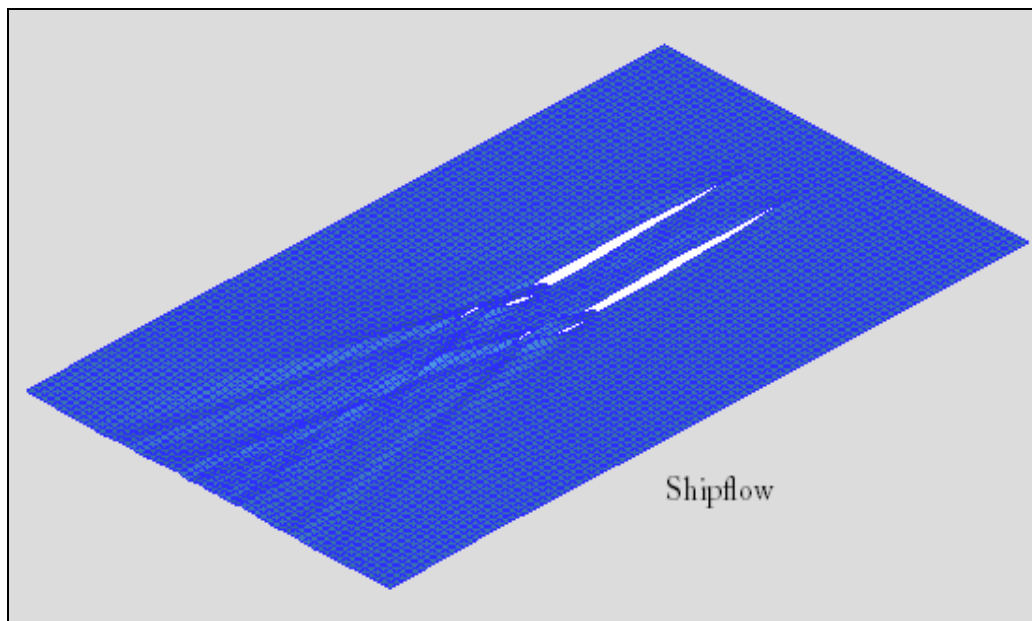
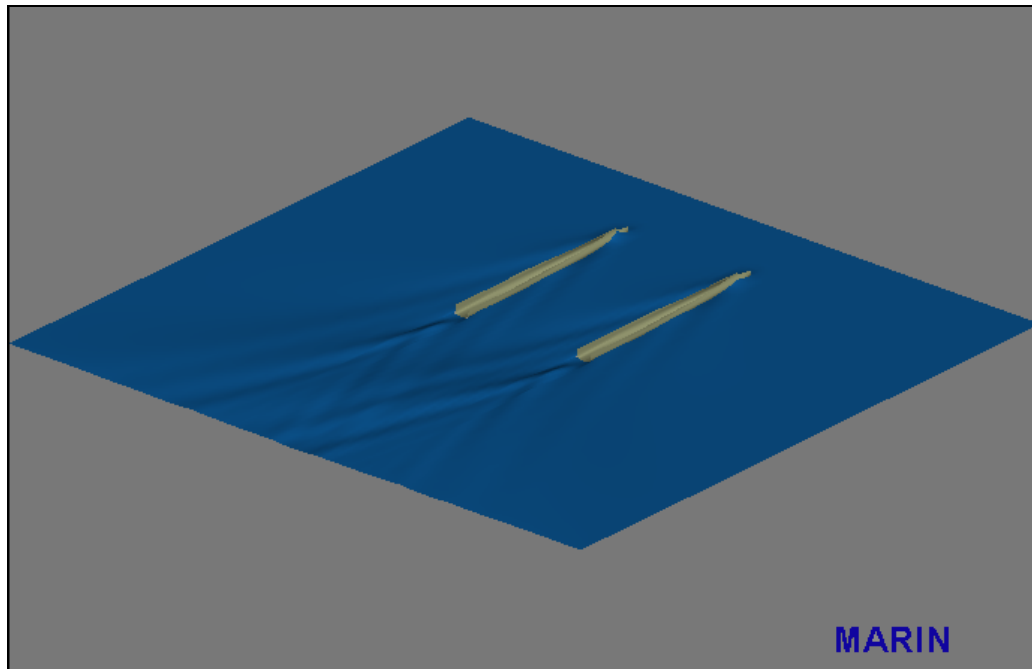
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εικόνες του Shipflow δημιουργήθηκαν πάλι με τη χρήση κώδικα Fortran που στηριζόταν στην ανάγνωση του τελικού πλέγματος της ελεύθερης επιφάνειας. Οι εικόνες αυτές ελέγχθηκαν και έρχονται σε απόλυτη αντιστοιχία με τις αντίστοιχες που προβάλλει το Shipflow στο περιβάλλον εργασίας του.

Semi-SWATH A $F_n=0.572$ wave pattern



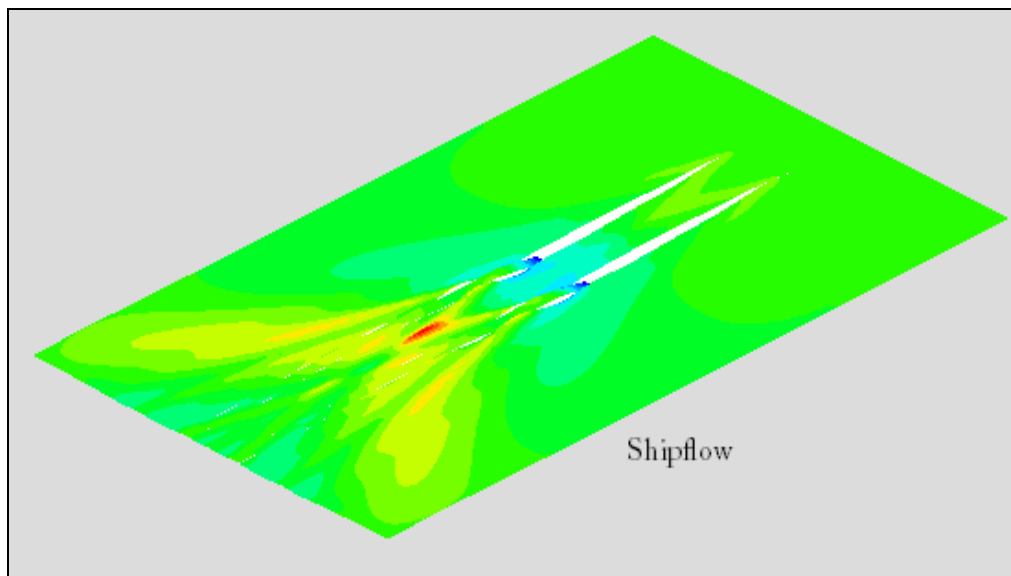
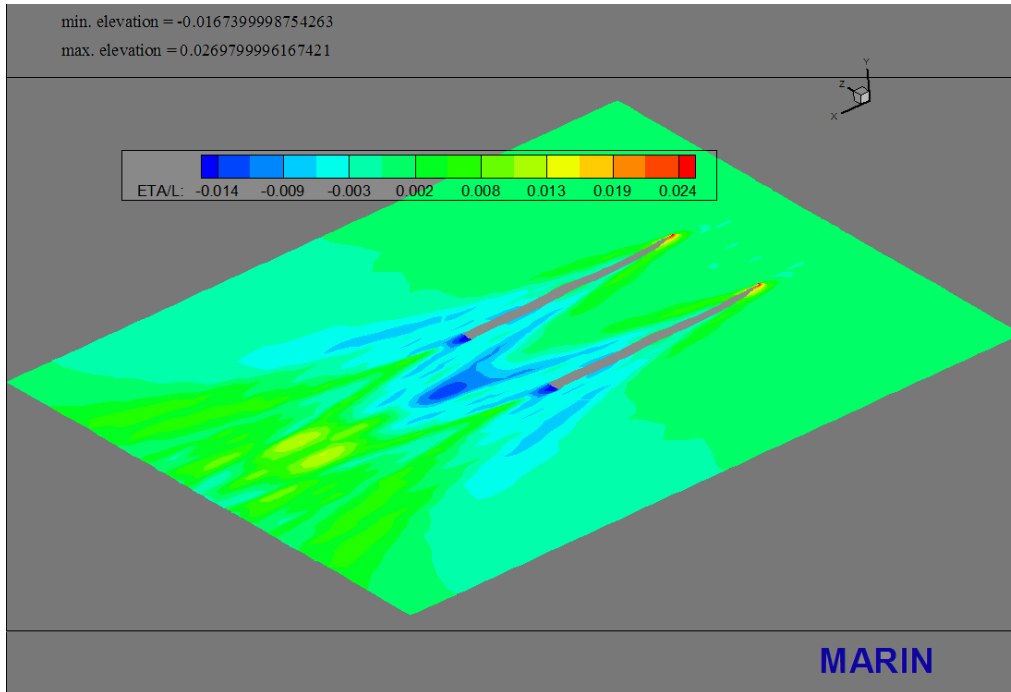
Εικόνα 19 – Wave pattern $F_n=0.572$

Semi-SWATH A $F_n=0.572$ in water



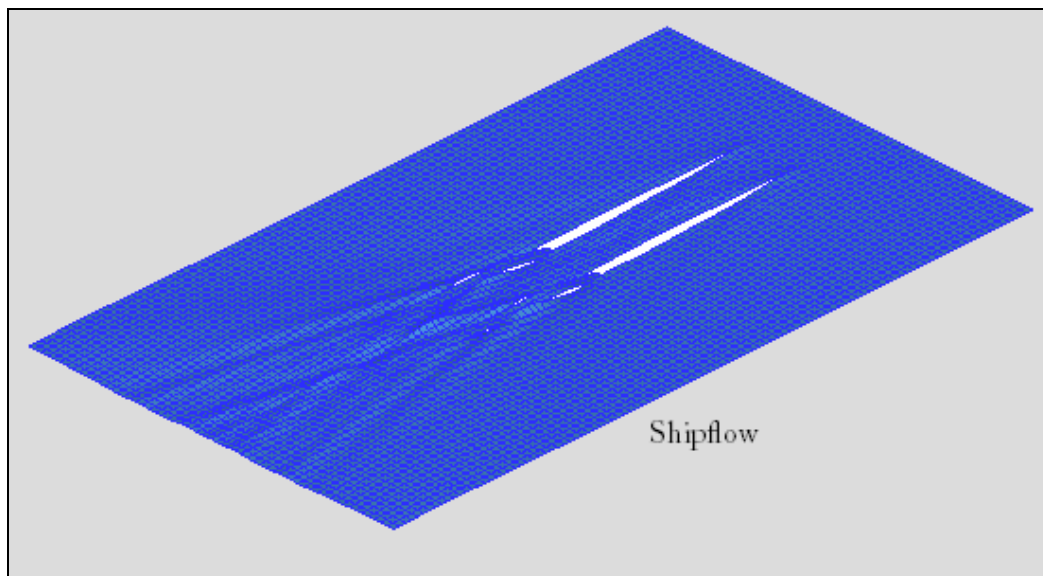
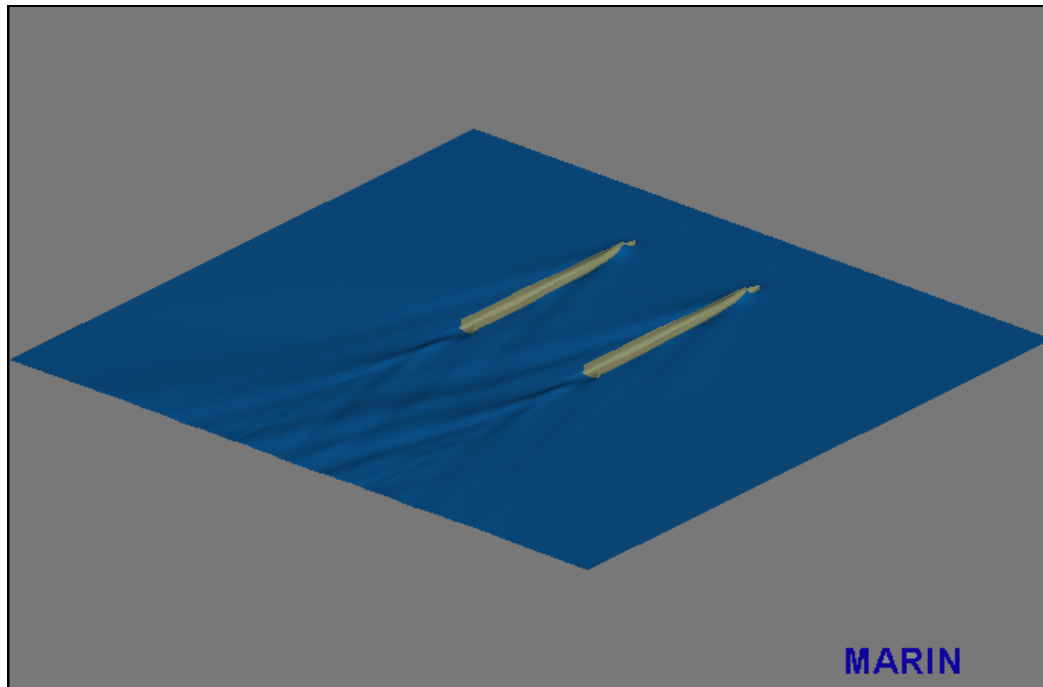
Εικόνα 20 – In water $F_n=0.572$

Semi-SWATH A $F_n=0.633$ wave pattern



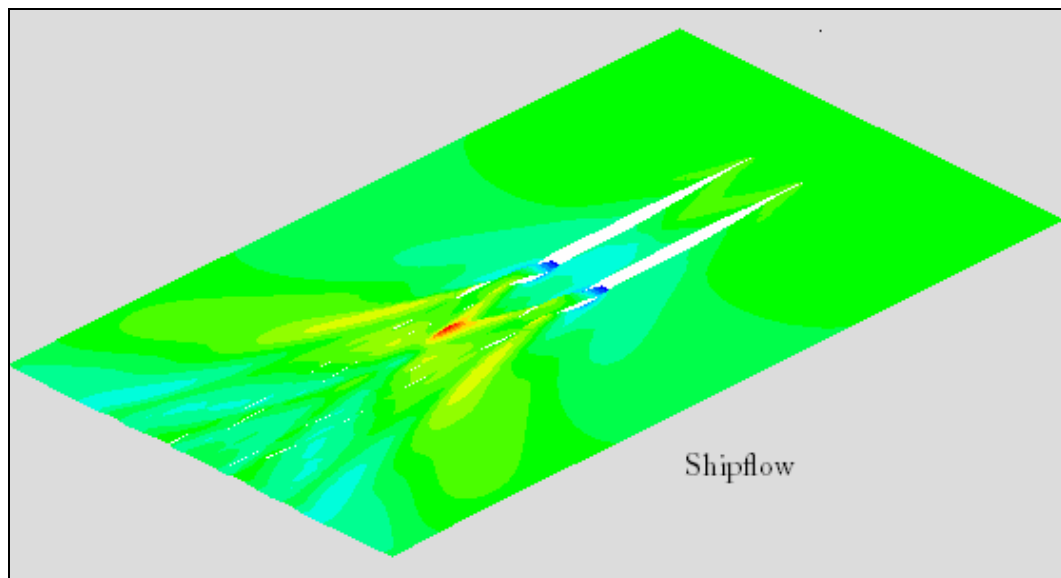
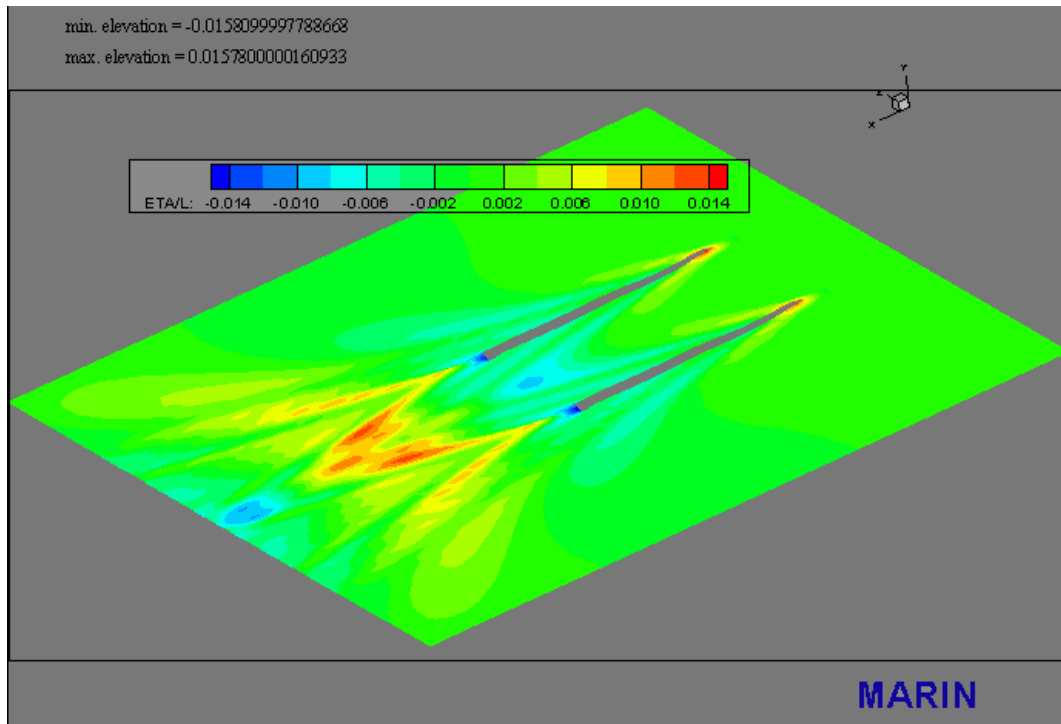
Εικόνα 21 – Wave pattern $F_n=0.633$

Semi-SWATH A $F_n=0.633$ in water



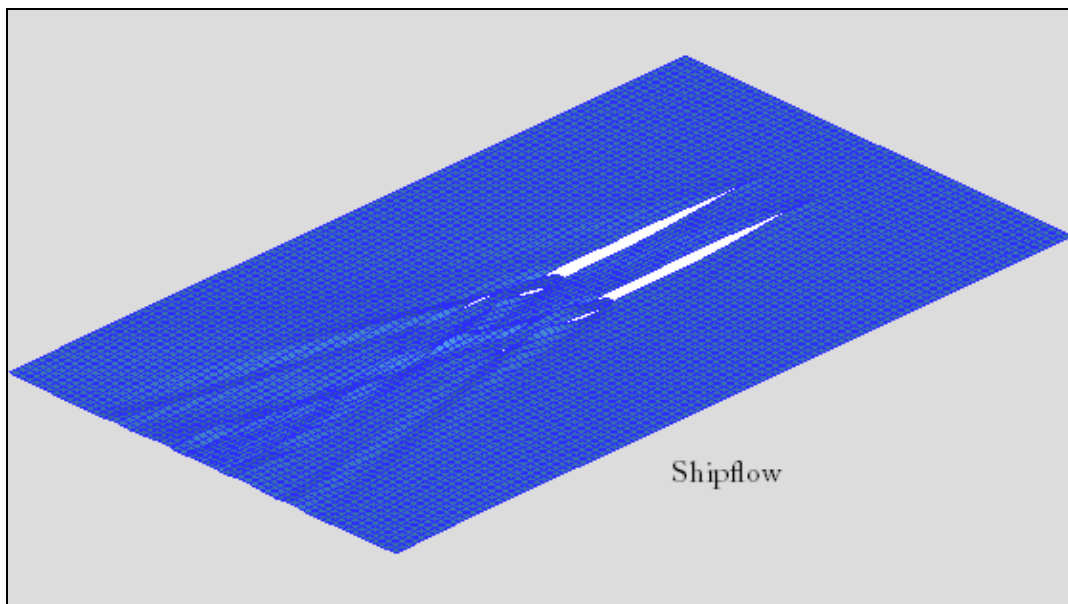
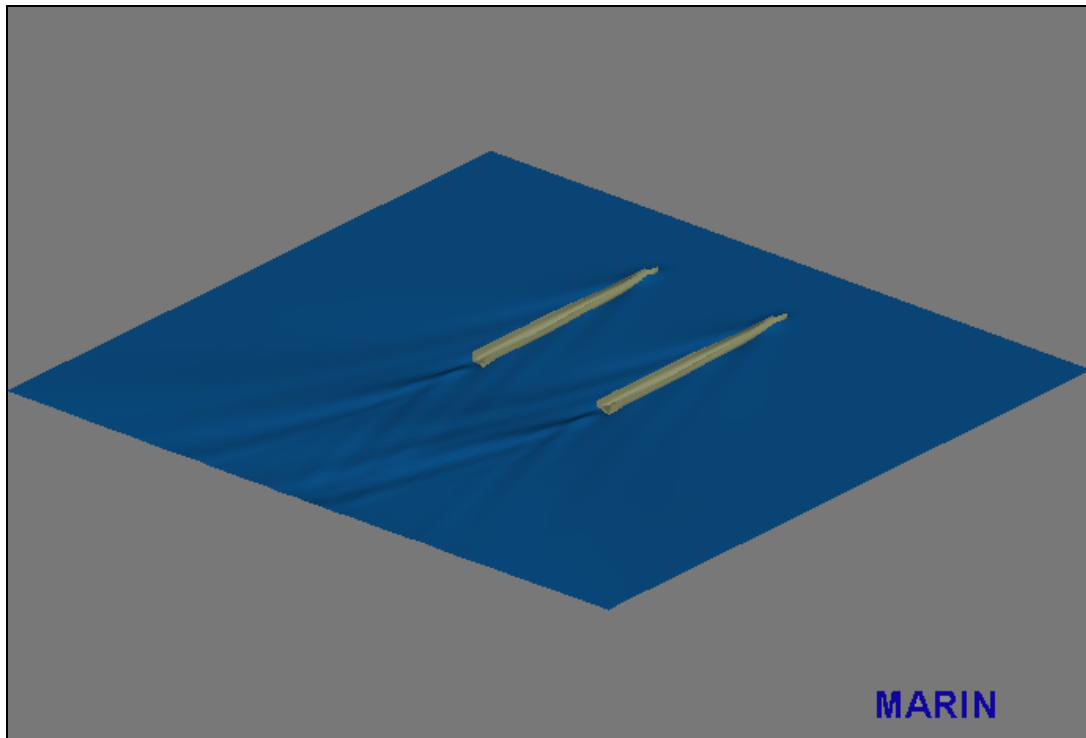
Εικόνα 22 – In water $F_n=0.633$

Semi-SWATH B Fn=0.562 wave pattern



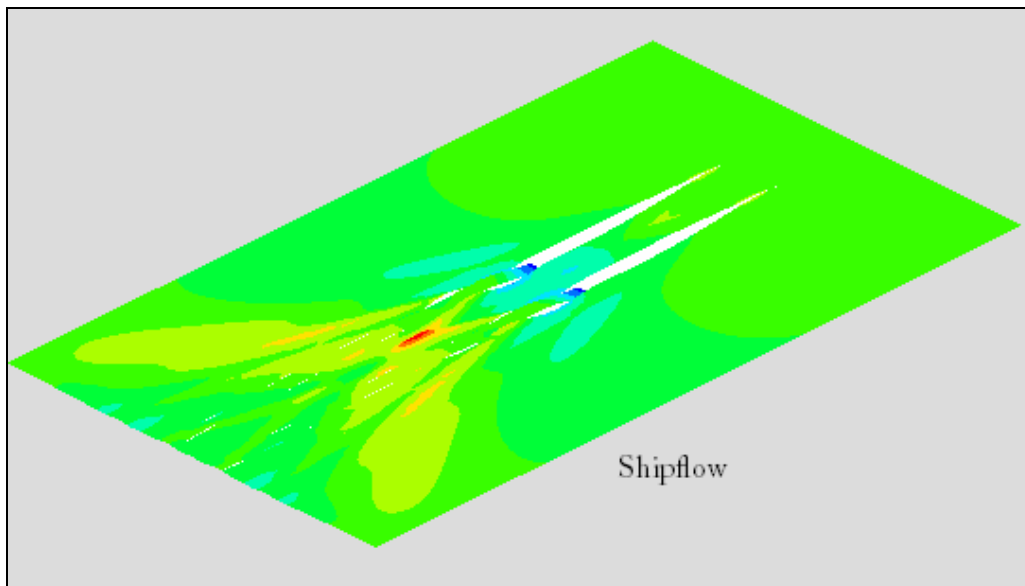
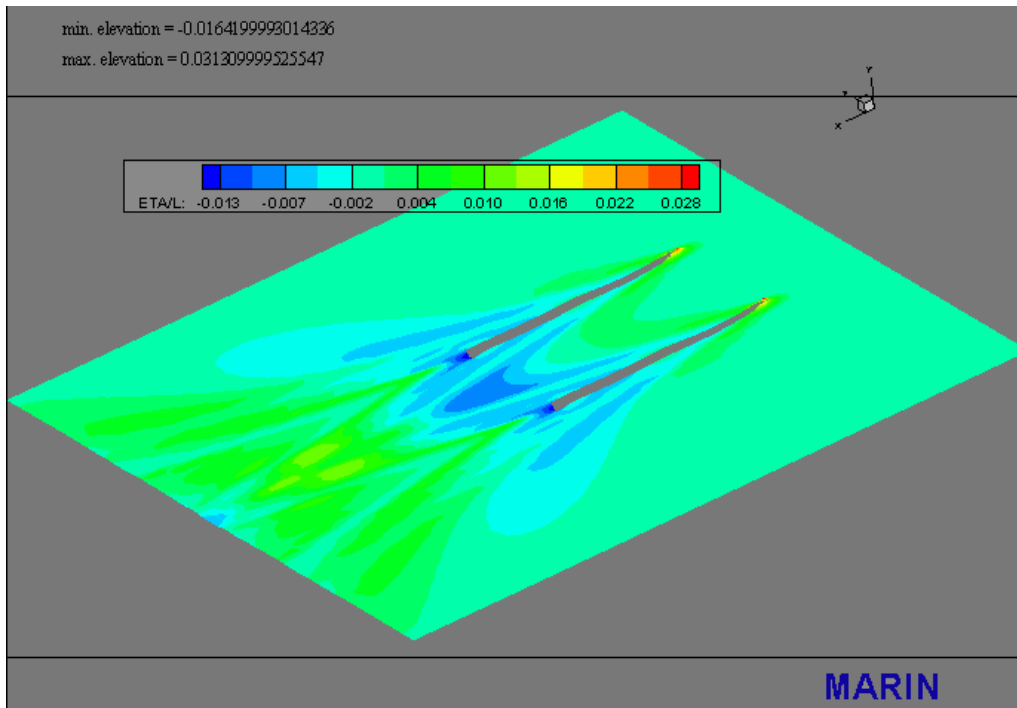
Εικόνα 23 – Wave pattern $Fn=0.562$

Semi-SWATH B $F_n=0.562$ in water



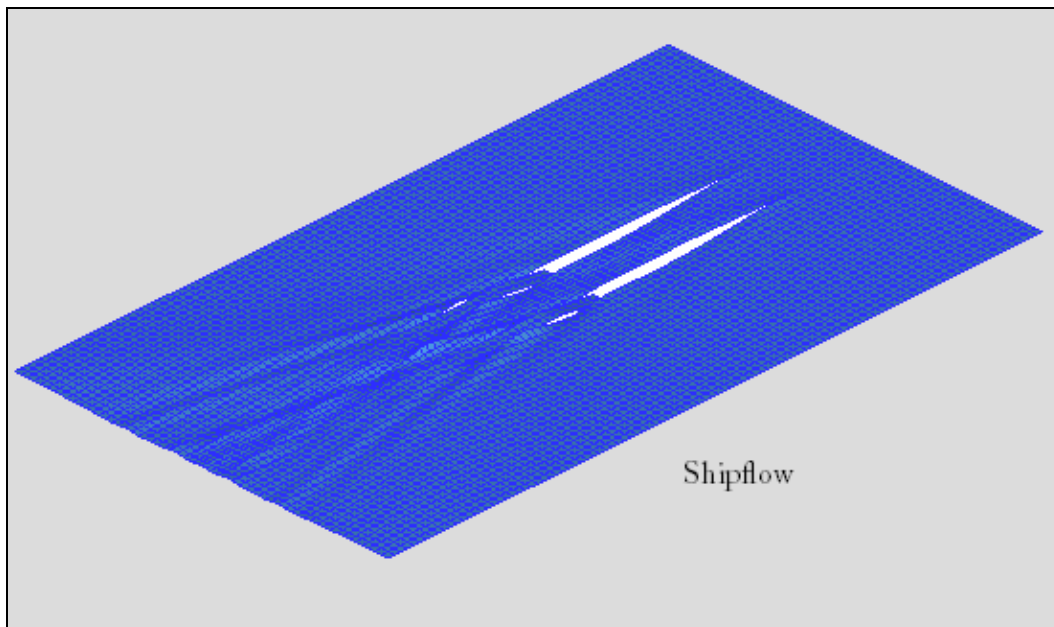
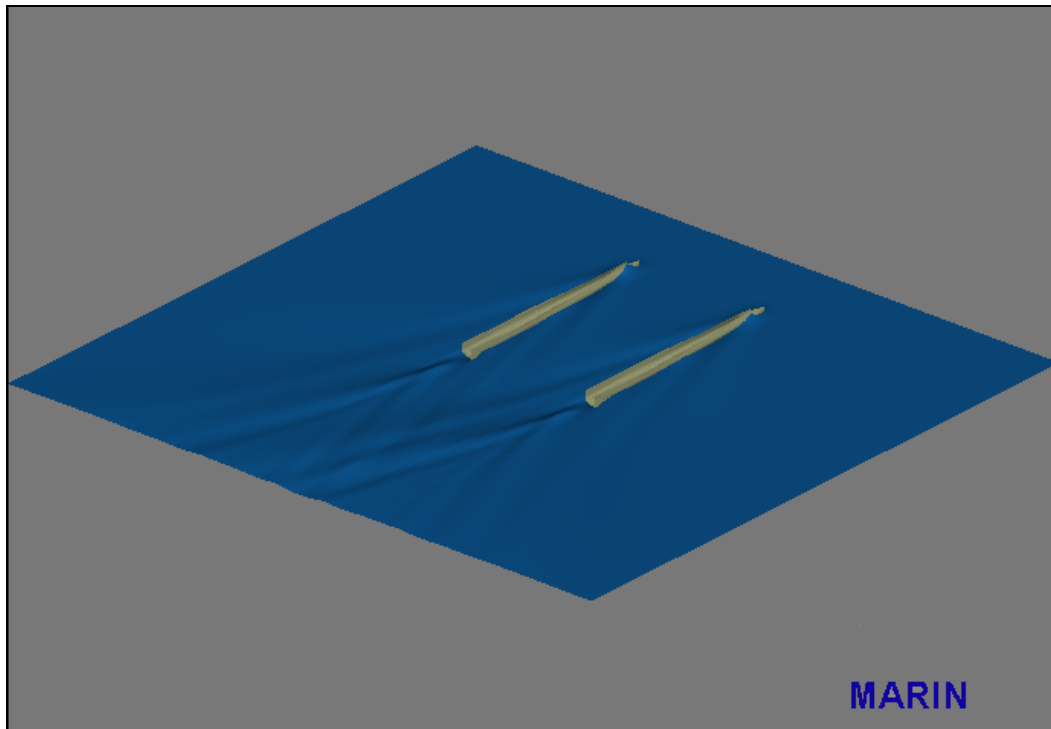
Εικόνα 24 – In water $F_n=0.572$

Semi-SWATH B Fn=0.622 wave pattern



Εικόνα 25 – Wave pattern $Fn=0.622$

Semi-SWATH B $F_n=0.622$ in water



Εικόνα 26 – In water $F_n=0.622$

Οι εικόνες αυτές φαίνεται να επαληθεύουν τα διαγράμματα wavecuts, όπως ήταν βέβαια και αναμενόμενο. Στις εικόνες αυτές των wave pattern, οι εκτιμώμενοι δημιουργούμενοι κυματισμοί από το RAPID εμφανίζονται να έχουν μικρότερα πλάτη από τους αντίστοιχους του Shipflow, γεγονός που φαίνεται και στα προφίλ των κυματισμών αυτών για κάθε μία από τις εγκάρσιες αποστάσεις που ελέγξαμε.

Όλα αυτά οδηγούν και στη διαφορά που εμφανίζεται στις υπολογιζόμενες τιμές των συντελεστών αντίστασης κυματισμού C_w , τις οποίες το RAPID υποεκτιμά.

Επειδή, όμως, απόκλιση πέρα από τις τιμές C_w εμφανίζεται και στη μορφή των καμπυλών αυτών, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα για σφάλμα στους υπολογισμούς μέσω RAPID. Τα σφάλματα αυτά πιθανό να οφείλονται στη δυσκολία αντιμετώπισης τέτοιων γαστρών από το πρόγραμμα και την ανάγκη ειδικής και πεπειραμένης μεταχείρισης από το χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής, διαπιστώνουμε και' αρχήν τα πλεονεκτήματα δίγαστρων σκαφών και ιδιαίτερα τύπου semi-SWATH. Οι τιμές τόσο ολικής, αλλά κυρίως αντίστασης κυματισμού των σκαφών αυτών δικαιολογούν δυναμική τους και την ανάγκη για παραπέρα ανάπτυξή τους. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από τα χαμηλά πλάτη των δημιουργούμενων κυματισμών για τα εκτοπίσματα στα οποία δοκιμάστηκαν.

Όσον αφορά τις μεθόδους εκτίμησης της αντίστασης, τα αποτελέσματα των αριθμητικών προγραμμάτων είναι γενικά ικανοποιητικά. Τα αποτελέσματα του κώδικα του SWAN 2 και του κώδικα του Shipflow βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία.

Προγράμματα γραμμικής συνθήκης ελεύθερης επιφάνειας, όπως το SWAN 2, έχει παρατηρηθεί ότι έχουν καλύτερα αποτελέσματα σε αποστάσεις μακριά από το πλοίο και ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες. Η άποψη αυτή αποδεικνύεται στην εργασία αυτή και μέσα από την ταύτιση με το Shipflow των τιμών αντίστασης κυματισμού, στο οποίο επιχειρήσαμε επίλυση μέσω potential flow με γραμμικοποίηση των συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας, αλλά και μέσα από τα αποτελέσματα των προφίλ των δημιουργούμενων κυματισμών. Μπορούμε να καταλήξουμε ότι το πρόγραμμα αυτό του SWAN 2 είναι αξιόπιστο για την αριθμητική πρόβλεψη της αντίστασης για σκάφη τέτοιου τύπου και κυρίως υψηλών ταχυτήτων.

Το Shipflow δίνει και αυτό πολύ καλή εκτίμηση της αντίστασης των σκαφών, καθώς και των προφίλ των δημιουργούμενων κυματισμών. Τις καμπύλες αυτές των προφίλ τις διακρίνει μια μεγαλύτερη ομαλότητα όσον αφορά την μορφή σε σχέση με τις αντίστοιχες του SWAN 2.

Αυτό που αναμέναμε και βάσει της θεωρίας είναι ότι στις απεικονίσεις των αριθμητικών και πειραματικών διαμήκων τομών κύματος, η πρόβλεψη με το SWAN 2 και του Shipflow φαίνεται να είναι καλύτερη για τις μεγαλύτερες εγκάρσιες αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο απομακρυνόμαστε από το σώμα, τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση των γραμμικοποιημένων συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας.

Όπως αποδεικνύεται, και οι δύο μέθοδοι επιτυγχάνουν πολύ καλές προσεγγίσεις με τις πειραματικές μετρήσεις τόσο στη μέθοδο Froude όσο και στη μέθοδο Hughes. Στη μέθοδο Hughes, βέβαια, απαιτείται και αξιόπιστη πρόβλεψη του συντελεστή μορφής k . Μια τέτοια πρόβλεψη γίνεται είτε με κώδικα επίλυσης του τυρβώδους πεδίου ροής (RANS Solvers) είτε με εμπειρικές μεθόδους (πχ Holtrop 1986).

Τέλος, όσον αφορά το πρόγραμμα RAPID (MARIN), είναι προφανές ότι απαιτείται περαιτέρω εργασία πάνω σε αυτό. Η θεωρία στην οποία στηρίζεται προβάλλει δυνατότητες πολύ καλής πρόβλεψης της αντίστασης κυματισμού και για το λόγο αυτό επιβάλλεται περισσότερη διερεύνηση του προγράμματος αυτού. Η πρόβλεψη των προφίλ των δημιουργούμενων κυματισμών δεν ήταν ιδιαίτερα μακριά από τις άλλες αιθμητικές μεθόδους. Παρ' όλα αυτά υπήρχε υποεκτίμηση των τιμών αντίστασης κυματισμού, αλλά και απόκλιση στη μορφή της καμπύλης που ακολουθούσαν οι τιμές αυτές.

Προτείνεται η επανάληψη των συγκρίσεων αυτής της εργασίας για την περίπτωση δίγαστρου σκάφους DELFT Catamaran, για το οποίο υπάρχουν ήδη πειραματικά αποτελέσματα από τη δεξαμενή BSHC στη Βάρνα (Βουλγαρία). Πρόκειται για τυπικό διεθνές μοντέλο για το οποίο θα γίνουν αριθμητικοί υπολογισμοί και με τους τρεις παραπάνω κώδικες, τόσο για βαθύ, όσο και για ρηκό νερό. Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν μέσω των μεθόδων που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία με τα υπάρχοντα πειραματικά αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, “Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών”
2. Α.Δ. Παπανικολάου, “Μελέτη Πλοίου”
3. Γ.Κ. Πολίτης, “Αντίσταση Πλοίου”
4. O.M. Faltinsen, “Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles”
5. P.R.Couser, A.F. Molland, N.A. Armstrong, I.K.A.P. Utama, “Calm Water Powering Predictions for High-Speed Catamarans”
6. X.P. Pham, K. Kantimahanthi, P.K. Sahoo, “Wave Resistance Prediction of Hard-Chine Catamarans through Regression Analysis”
7. G. Zaraphonitis, D. Spanos, A. Papanikolaou, “Numerical and Experimental Study on the Wave Resistance of Fast Displacement Asymmetric Catamarans”
8. SV. AA. Harvald, “Resistance and Propulsion of Ships”
9. M. Insel, “An Investigation into The Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans” (thesis submitted for PhD)
10. “SWAN2 2002 –User Manual”
11. “Shipflow –User Manual”
12. H.C. Raven, “A Solution Method for The Nonlinear Ship Wave Resistance Problem”

13. Φ.Μ. Κορκόκιος, “Μελέτη Δίγαστρου Επιβατηγού Οχηματαγωγού Πλοίου» (Επιβλέπων: Γ. Ζαραφωνίτης)
14. G. Zaraphonitis, G. Grigoropoulos, D. Mourkoyiannis, “On The Resistance Prediction of High-Speed semiSWATH Hull Form”
15. A. Oliveri, F. Pistani, A. Avanzini, F. Stern, “Towing Tank Experiments of Resistance, Sinkage and Trim, Boundary Layer, Wake, and Free Surface Flow Around A Naval Combatant INSEAN 2340 Model”
16. Δ. Χαλκιάς, Γ. Γρηγορόπουλος, “Απόνερα Ταχύπλων Μονόγαστρων Σκαφών”
17. P. Sclavounos, “Computation of Wave Ship Interactions”
18. Carl-Erik Janson, “Potential Flow Panel Methods for the Calculation of Free-surface Flows with Lift”