



National  
Technical  
University of  
Athens

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ  
SEMI-SWATH ΚΑΙ CATAMARAN**

**Σπουδαστής :**

**ΓΙΩΡΓΟΣ Κ. ΚΟΥΝΑΝΗΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

**ΓΙΩΡΓΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική εργασία με τίτλο « **ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ SEMI SWATH ΚΑΙ CATAMARAN** » γράφτηκε το 2016 για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών στο ΕΜΠ στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. **Γιώργο Ζαραφώνιτη** για την καθοδήγηση του και την βοήθεια που μου πρόσφερε όχι μόνο στην επεξεργασία της παρούσας Διπλωματικής αλλά και σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Πρέπει να σημειώσω ότι οι σπουδές στη Σχολή των Ναυπηγών του ΕΜΠ είναι ιδιαίτερα απαιτητικές και απαιτούν σημαντική συγκέντρωση και προσήλωση. Όταν λοιπόν πρέπει να αντιμετωπίσεις την κατάσταση όπως εξελίσσεται στην εξωπανεπιστημιακή κοινωνία και ταυτόχρονα τις σπουδές σε μια Σχολή σαν τους Ναυπηγούς είναι πολύ εύκολο να τα παρατήσεις αν δεν έχεις ηθική υποστήριξη.

Πολύτιμη ήταν η βοήθεια του κ. **Δημήτρη Μουρκογιάννη** που η βοήθειά του στη χρήση του προγράμματος Shipflow συνέβαλε ουσιαστικά στην εκπόνηση της Διπλωματικής.

**ΑΘΗΝΑ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016**

**Αφιερωμένη**

στην κόρη μου **Μαρινίκη Κουνάνη** που αποτελεί για μένα πηγή έμπνευσης

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>3</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>5</b>
<b>1. ΠΛΟΙΑ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ</b>	<b>11</b>
1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΝΕΑΣ ΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	12
1.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ	14
1.3 ΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΩΣΗΣ	14
<b>2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ</b>	<b>18</b>
2.1 ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	18
2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ (CATAMARAN ΚΑΙ SEMI SWATH)	18
2.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	19
2.4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ	21
<b>3. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SHIPFLOW</b>	<b>24</b>
<b>4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>25</b>
4.1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΡΟΗΣ	25
4.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	26
<b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ</b>	<b>29</b>
5.1 ΣΧΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	31
5.1.1 ΓΑΣΤΡΑ HULLA	31
5.1.2 ΓΑΣΤΡΑ HULLB	35
5.1.3 ΓΑΣΤΡΑ HULLC	39
5.1.4 ΓΑΣΤΡΑ HULLD	43
5.1.5 ΓΑΣΤΡΑ SWATH A	47
5.1.6 ΓΑΣΤΡΑ SWATH B	51
<b>6. ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ <math>C_T - V</math></b>	<b>55</b>

<b>7. ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ - ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ</b>	<b>58</b>
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>65</b>
<b>9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>67</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ ( NAPA)</b>	<b>69</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΣΧΕΔΙΑ ΤΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ (AUTOCAD)</b>	<b>77</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 SHIPFLOW</b>	<b>85</b>

<b>ΠΙΝΑΚΕΣ</b>	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>
5.1 ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS / ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $C_F$	30
5.2 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL A	31
5.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL A	31
5.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL A	32
5.5 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL A	34
5.6 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL B	35
5.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL B	35
5.8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL B	36
5.9 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL B	37
5.10 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL C	39
5.11 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL C	39
5.12 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL C	40
5.13 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL C	42
5.14 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL D	43
5.15 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL D	43
5.16 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL D	44
5.17 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL D	46
5.18 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL SWATH A	47
5.19 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL SWATH A	47
5.20 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL SWATH A	48
5.21 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL SWATH A	50
5.22 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΑΣΤΡΑΣ HULL SWATH B	51
5.23 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL SWATH B	51
5.24 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL SWATH B	52

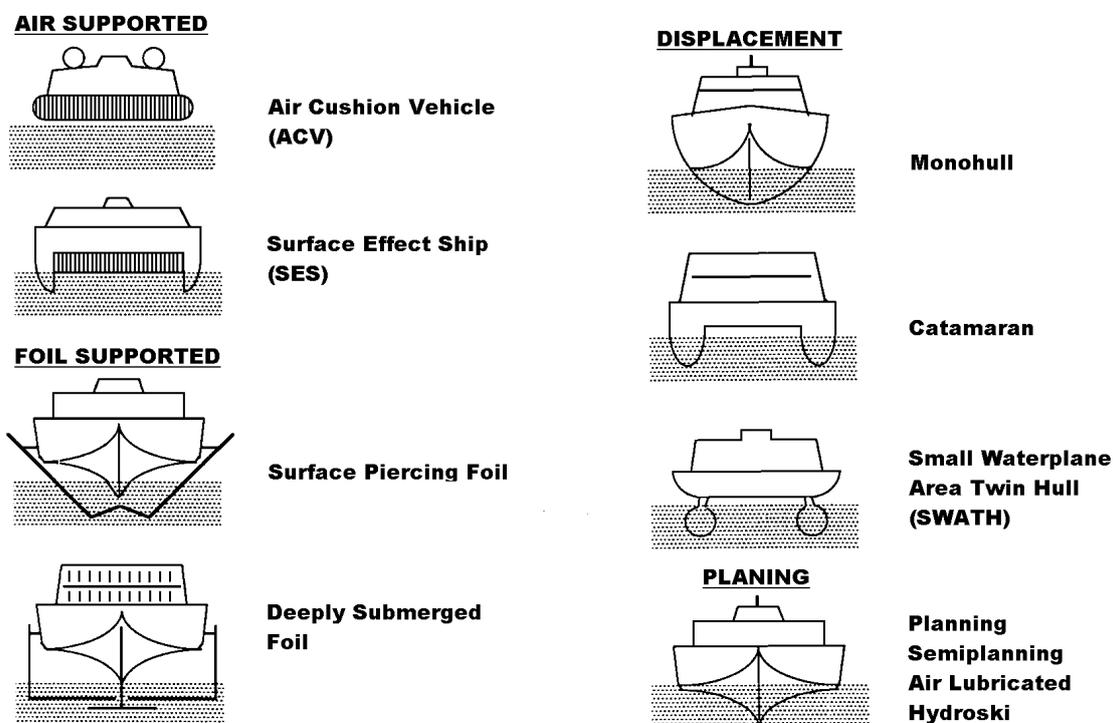
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ</b>	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>
5.25 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL SWATH B	54
6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL A, B, C, D	55
6.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL SWATH A, B	57
7.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ -10%	58
7.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ -5%	59
7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ INITIAL	60
7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 5%	61
7.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10%	62
7.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 15%	63

<b>ΣΧΗΜΑ</b>	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>	
1.1	ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	11
1.2	ΤΥΠΟΙ ΜΟΝΟΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ	13
1.3	ΤΥΠΟΙ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ	13
1.4	ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΠΤΕΡΥΓΩΝ ΣΚΑΦΩΝ`	13
1.5	ΑΕΡΟΣΤΡΩΜΝΑ ΣΚΑΦΗ	13
1.6	ΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΩΣΗΣ	16
1.7	Η ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΤΗΣ ΑΝΤΩΣΗΣ	16
1.8	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΣΚΑΦΩΝ Ν. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	17
2.1	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	19
2.2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	20
2.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	23
5.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL A	32
5.4	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL A	33
5.5	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL A	33
5.6	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL B	36
5.7	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL B	37
5.8	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL B	37
5.9	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL C	40
5.10	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL C	41
5.11	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL C	41
5.12	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL D	44
5.13	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL D	45
5.14	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL D	45
5.15	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL SWATH A	48
5.16	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL SWATH A	49

<b>ΣΧΗΜΑ</b>	<b>ΣΕΛΙΔΑ</b>	
5.17	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL SWATH A	49
5.18	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ HULL SWATH B	52
5.19	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL SWATH B	53
5.20	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ HULL SWATH B	53
6.1	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ HULL A,B,C, D	56
6.2	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ SWATH A,B	56
7.1	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ -10%	58
7.2	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ -5%	59
7.3	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ INITIAL	60
7.4	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ 5%	61
7.1	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ 10%	62
7.1	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΙΑ 15%	63

## 1. ΠΛΟΙΑ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες παρακολουθήσαμε την εμφάνιση και ανάπτυξη αρκετών νέων τύπων πλοίων, των οποίων η σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία διαφέρει ριζικά από το μονόγαστρο πλοίο εκτοπίσματος, αυτό δηλαδή που έχουμε συνηθίσει να αποκαλούμε συμβατικό τύπο πλοίου. Από τους νέους τύπους πλοίων, τα ταχύπλοα μονόγαστρα σκάφη ημικετοπίσματος παρουσιάζουν τις περισσότερες συγγένειες με τα συμβατικά πλοία. Από τους πιο διαδεδομένους τύπους είναι οι Ολισθάκατοι, τα Υδροπτέρυγα, τα Catamaran, τα SWATH, τα Wave Piercers, τα ACV (αερόστρωμα), τα SES (βλ. ΣΧΗΜΑ 1.1). Όλοι αυτοί οι τύποι πλοίων, καθώς και οι βασικές παραλλαγές τους και οι υβριδικοί τύποι που συνδυάζουν χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων κύριων τύπων, έχουν ήδη κάνει ιδιαίτερα αισθητή την παρουσία τους στις θαλάσσιες μεταφορές, έχουν αποδείξει στην πράξη τα πλεονεκτήματά τους και μειονεκτήματά τους και αποτελούν πλέον καταξιωμένες λύσεις και αξιόπιστους ανταγωνιστές των συμβατικών πλοίων.



ΣΧΗΜΑ 1.1: Τύποι Πλοίων Νέας Τεχνολογίας

Όλοι αυτοί οι νέοι τύποι πλοίων συνηθίζεται να αποκαλούνται «μη Συμβατικά Πλοία» ή «Πλοία Νέας Τεχνολογίας». Μεταξύ τους, οι τύποι πλοίων Νέας Τεχνολογίας παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά την αρχή λειτουργίας τους, τη σχεδίαση και την κατασκευή τους. Παρ' όλα αυτά ένα κοινό χαρακτηριστικό για όλους τους τύπους πλοίων είναι η ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα υπηρεσίας τους.

Τα πρώτα ταχύπλοα ήταν στην πραγματικότητα μικρά πειραματικά σκάφη, χωρίς άμεση πρακτική εφαρμογή. Όμως, τα σκάφη αυτά άνοιξαν ένα καινούργιο δρόμο στην εξέλιξη της ναυπηγικής, αποδεικνύοντας στην πράξη την εφικτότητα της κατασκευής ταχύπλοων σκαφών και διευρύνοντας σημαντικά τα όρια ταχυτήτων στις θαλάσσιες μεταφορές. Αν και η εισαγωγή των ταχύπλοων

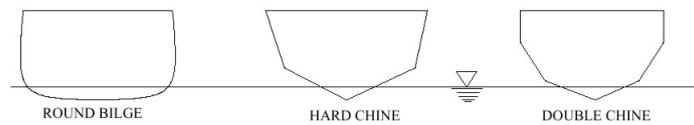
σκαφών στις θαλάσσιες μεταφορές καθυστέρησε μερικές δεκαετίες, αντίθετα η στρατιωτική χρήση τους ξεκίνησε πολύ νωρίτερα. Αναγνωρίζοντας τα επιχειρησιακά πλεονεκτήματα μικρών, ευέλικτων και φθηνών στην παραγωγή σκαφών, ικανών να αναπτύξουν ταχύτητες στην περιοχή των 30kn, αρκετά κράτη προχώρησαν από τις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην έρευνα και ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας και στην κατασκευή πλοίων για χρήση από το πολεμικό τους ναυτικό (π.χ. περιπολικά, τορπιλάκατοι, ναρκοθετικά/ναρκαλιευτικά κ.τ.λ.). Εν τω μεταξύ, ενώ στις χερσαίες και στις αεροπορικές συγκοινωνίες, χάρις στις τεχνικές εξελίξεις η ταχύτητα των μεταφορικών μέσων είχε ήδη σημειώσει κατακόρυφη άνοδο, στις θαλάσσιες μεταφορές η ταχύτητα των πλοίων παρέμενε ουσιαστικά αμετάβλητη για πολλές δεκαετίες. Και ενώ όσον αφορά τα φορτηγά πλοία, μπορούμε να πούμε ότι ακόμη και σήμερα δε συντρέχουν οικονομικοί λόγοι για ουσιαστική αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς, στα επιβατηγά και επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία αντίθετα, η απαίτηση για σημαντική αύξηση της ταχύτητας έγινε πλέον επιτακτική. Η συνεχής και συστηματική έρευνα οδήγησε στην ωρίμανση της τεχνολογίας σχεδίασης και κατασκευής αρκετών τύπων μη συμβατικών πλοίων, σε βαθμό που να επιτρέψει τη σταδιακή εισαγωγή τους στις θαλάσσιες επικοινωνίες, σε πρώτη φάση για την μεταφορά επιβατών σε μικρές αποστάσεις και σε σχετικά προασπισμένες περιοχές.

### 1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

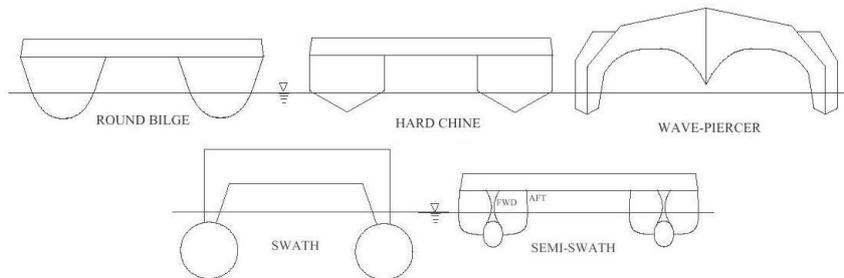
Κάτω από το γενικό τίτλο 'Πλοία Νέας Τεχνολογίας', περιλαμβάνεται μια σειρά τύπων πλοίων με μεγάλες διαφορές στη σχεδίαση και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Από τους τύπους αυτούς, θα μας απασχολήσουν κυρίως:

- Τα μονόγαστρα σκάφη με γάστρες στρογγυλού πυθμένα (round bilge) και με γάστρες με ακμή (hard chine) .
- Τα δίγαστρα σκάφη: τα 'συμβατικά' Catamaran, τα Wave Piercers, τα SWATHs και τα SemiSWATHs .
- Τα Υδροπτέρυγα σκάφη με διάφορους τύπους πτερυγίων: surface piercing foils, surface following foils, deeply submerged foils, foilcats .
- Τα Αερόστρωμνα: ACV ).

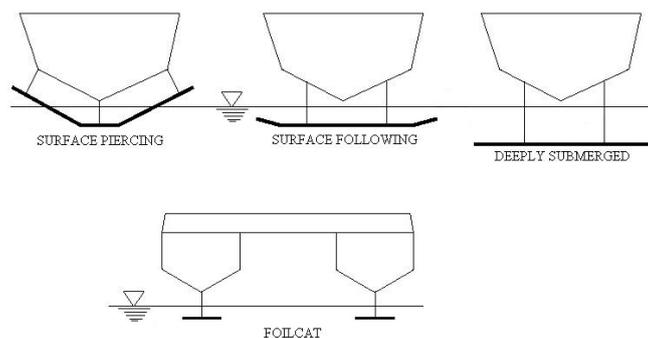
Εκτός από τους ανωτέρω κύριους τύπους πλοίων, μπορούμε να αναφέρουμε και μια σειρά ακόμη τύπους που δεν έχουν μέχρι σήμερα γνωρίσει ευρεία χρήση στις θαλάσσιες μεταφορές, είτε γιατί τεχνικά βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης, είτε γιατί για διάφορους λόγους δεν έχουν ακόμη ωριμάσει οι συνθήκες που θα επιτρέψουν την εισαγωγή τους. Τέτοιοι τύποι είναι διάφορα πολύγαστρα σκάφη (trimarans και pentamarans), τα WIGs (σκάφη τα οποία πετούν σε μικρό ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας), τα Ram Wing Crafts κ.τ.λ.



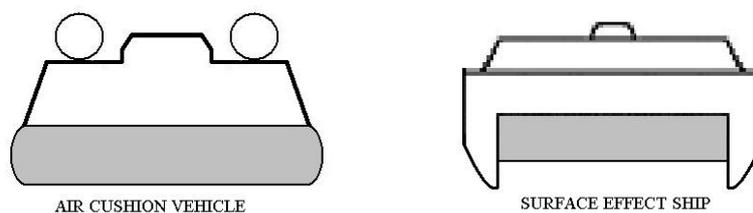
**ΣΧΗΜΑ 1.2: Τύποι μονόγαστρων σκαφών**



**ΣΧΗΜΑ 1.3: Τύποι δίγαστρων σκαφών**



**ΣΧΗΜΑ 1.4: Τύποι υδροπτέρυγων σκαφών**



**ΣΧΗΜΑ 1.5: Αερόστρωμνα σκάφη (ACV, SES)**

Σε πρώτη ματιά, τα κοινά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων Νέας Τεχνολογίας είναι λίγα και μικρής σημασίας, σε σχέση με τις έντονες και προφανείς διαφορές τους. Εξετάζοντας όμως το θέμα προσεκτικότερα, διαπιστώνεται ότι μια σειρά γενικών χαρακτηριστικών μπορεί να εντοπιστεί σε όλους, ή σε ορισμένες περιπτώσεις, σχεδόν σε όλους τους τύπους πλοίων Νέας Τεχνολογίας.

## 1.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Τα πλοία Νέας Τεχνολογίας χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μεγάλες ταχύτητες υπηρεσίας, σε σχέση με τα συμβατικά πλοία. Συνήθως η ταχύτητα υπηρεσίας τους είναι της τάξης των 30 με 45 κόμβους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ταχύτητα υπηρεσίας ξεπερνά τους 50 κόμβους (υδροπτέρυγα, ACV, SES). Ακόμη και στην περίπτωση παλαιότερων Επιβατηγών πλοίων SWATH, με ταχύτητες περί τους 25 ή 28 κόμβους, οι αριθμοί Froude των πλοίων αυτών που κυμαίνονται μεταξύ του 0.8 και 0.85, είναι ασύγκριτα υψηλότεροι από αυτούς των συμβατικών πλοίων. Η ανάγκη επίτευξης μεγάλων ταχυτήτων, όπως θα δούμε στη συνέχεια, είναι ο βασικότερος παράγων που επιδρά αποφασιστικά στην μελέτη, σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία των πλοίων αυτών.

Όλοι οι τύποι πλοίων Νέας Τεχνολογίας χαρακτηρίζονται από την επιδίωξη του μελετητή για την απομάκρυνση του εκτοπίσματος από την ελεύθερη επιφάνεια, μεταφέροντάς το στις περισσότερες περιπτώσεις πάνω από αυτήν, ή βυθίζοντάς το όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Η επίτευξη των πολύ μεγάλων ταχυτήτων προϋποθέτει την μείωση της αντίστασης του σκάφους στο ελάχιστο, κυρίως της αντίστασης κυματισμού, η οποία από ένα σημείο και πέρα αυξάνει δραματικά αυξανόμενη της ταχύτητας. Η μερική ανύψωση του σκάφους (πλοία ημεκτοπίσματος, ολισθάκατοι, SES, Foil Assisted Catamarans) ή ακόμη η μεταφορά ολόκληρου του όγκου του έξω από το νερό (υδροπτέρυγα, αερόστρωμα, Foilcats) περιορίζει την αύξηση της αντίστασης και επιτρέπει την επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων. Ταυτόχρονα, η μετακίνηση του όγκου πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, σε ορισμένους τύπους πλοίων (κυρίως στα υδροπτέρυγα και τα Foilcats με πλήρως βυθισμένα πτερύγια, αλλά κατά περίπτωση και στα ACV), περιορίζει την επίδραση των θαλάσσιων κυματισμών, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι κινήσεις και επιταχύνσεις του σκάφους. Αυτό βέβαια ισχύει μόνο σε θάλασσες με χαμηλό ύψος κύματος, καθώς από ένα ύψος κύματος και πάνω (που εξαρτάται βασικά από τον τύπο και το μέγεθος του σκάφους), η λειτουργία των πλοίων αυτών είναι ιδιαίτερα προβληματική. Ακραίο παράδειγμα μεταφοράς του εκτοπίσματος πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, αποτελούν βέβαια τα σκάφη τύπου WIG.

Από την άλλη πλευρά, η βύθιση του εκτοπίσματος αρκετά κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια με ταυτόχρονη μείωση της επιφάνειας ισάλου, όπως στα πλοία SWATH και Semi-SWATH ή τα HYSWAS και τα HSV, αποβλέπει τόσο στη μείωση της αντίστασης κυματισμού, όσο και στην επίτευξη εξαιρετικά καλής συμπεριφοράς σε κυματισμούς.

## 1.3 ΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΆΝΤΩΣΗΣ

Η φύση των δυνάμεων οι οποίες εξισορροπούν το εκτόπισμα των διαφόρων τύπων πλοίων Νέας Τεχνολογίας διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες.

- Υδροστατική άντωση (static lift)
- Δυναμική άντωση (dynamic lift)
- Μηχανική άντωση (powered lift).

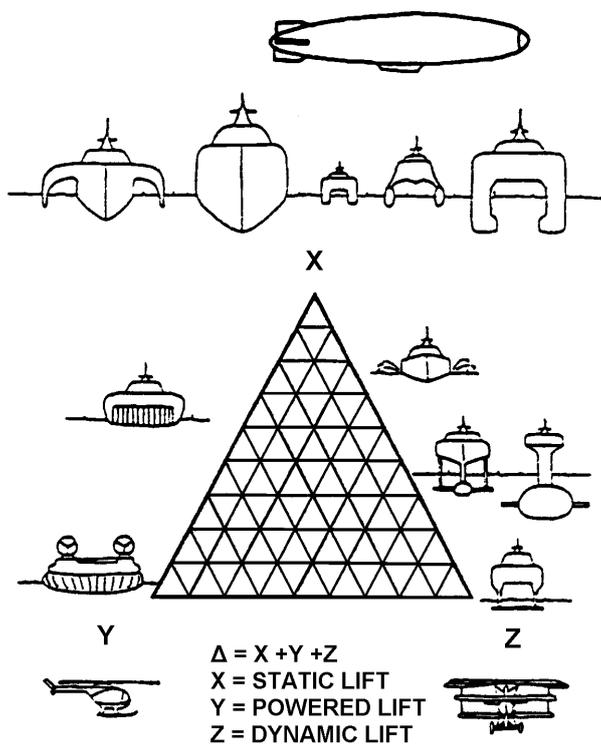
Η υδροστατική άντωση, όπως και στα συμβατικά πλοία εκτοπίσματος, προκύπτει από την ολοκλήρωση των υδροστατικών πιέσεων πάνω στην βρεχόμενη επιφάνεια. Η δυναμική άντωση αντίστοιχα είναι η συνισταμένη των δυναμικών πιέσεων που αναπτύσσονται στη βρεχόμενη επιφάνεια ολισθακάτων και πλοίων ημiekτοπίσματος ή/και της άντωσης που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των βυθισμένων πτερυγίων. Η δυναμική άντωση εμφανίζεται όταν το σκάφος αναπτύσσει ταχύτητα. Με τον όρο «μηχανική άντωση» εννοούμε την άντωση που αναπτύσσεται με τη βοήθεια μηχανικής ισχύος, όπως στην περίπτωση των ACV και SES, τα οποία στηρίζονται πάνω σε στρώμα αέρα που δημιουργείται και συντηρείται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων (ανεμιστήρων).

Σε μερικούς τύπους πλοίων, το σύνολο του εκτοπίσματος εξισορροπείται από ένα είδος άντωσης. Αμιγή πλοία εκτοπίσματος είναι για παράδειγμα τα συμβατικά πλοία, τα πολύ μεγάλα μονόγαστρα πλοία Νέας Τεχνολογίας που σχεδιάζονται για μεταφορά εμπορευμάτων (π.χ. το Euro Express) ή τα πλοία SWATH. Αμιγή πλοία δυναμικής άντωσης είναι τα υδροπτέρυγα και τα WIGs, ενώ τα ACV είναι καθαρά πλοία μηχανικής άντωσης.

Άλλοι τύποι πλοίων, με βάση την κατάταξη αυτή, χαρακτηρίζονται ως υβριδικοί, καθώς το εκτόπισμά τους εξισορροπείται από συνδυασμό δυνάμεων που ανήκουν σε δύο ή τρεις από τις πιο πάνω κατηγορίες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ολισθακάτων ή των πλοίων ημiekτοπίσματος, το βάρος τους εξισορροπείται κατά ένα μέρος από υδροστατική άντωση και το υπόλοιπο από την δυναμική άντωση που αναπτύσσεται στην γάστρα τους κατά την κίνηση τους. Στην περίπτωση των πλοίων SES, το 80% με 90% του εκτοπίσματος τους παραλαμβάνεται από την μηχανική άντωση που αναπτύσσεται στο στρώμα αέρα, ενώ το υπόλοιπο παραλαμβάνεται από τις υδροστατικές και υδροδυναμικές πιέσεις που ασκούνται στην βρεχόμενη επιφάνεια των δύο γαστρών. Τα Foilcats (πλοία τύπου Catamaran, εφοδιασμένα με πτερύγια), υποστηρίζονται εξ' ολοκλήρου από τη δυναμική άντωση που αναπτύσσεται στα πτερύγια τους, κρατώντας τις ημιγάστρες τους τελείως έξω από το νερό και συνεπώς χαρακτηρίζονται σαν αμιγή πλοία δυναμικής άντωσης. Αντίθετα, τα Foil Assisted Catamarans ταξιδεύουν με τις ημιγάστρες τους μερικώς βυθισμένες, καθώς η δυναμική άντωση που αναπτύσσεται από τα πτερύγια δεν αρκεί για να εξισορροπήσει εξ' ολοκλήρου το εκτόπισμα του πλοίου. Στην περίπτωση αυτή, το υπόλοιπο του εκτοπίσματος εξισορροπείται από την υδροστατική και την δυναμική άντωση που αναπτύσσεται πάνω στις δύο ημιγάστρες.

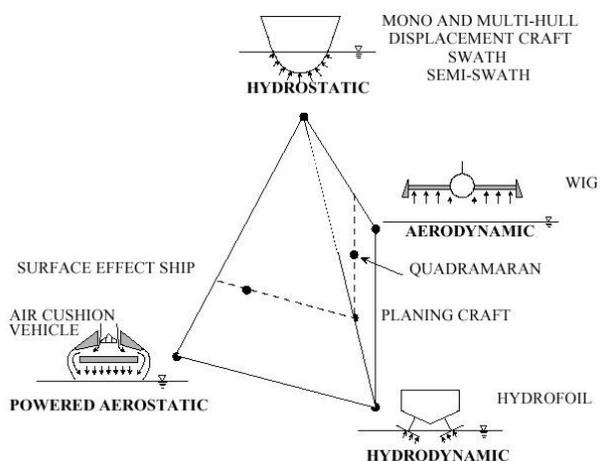
Στο Σχήμα 1.6 παριστάνεται γραφικά η διάκριση των διαφόρων τύπων πλοίων σε κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση της άντωσης που αναπτύσσουν (Jewell, 1976). Στις τρεις κορυφές του τριγώνου τοποθετούνται τύποι πλοίων που υποστηρίζονται αποκλειστικά από δυνάμεις άντωσης που ανήκουν σε μία από τις τρεις κατηγορίες. Στις πλευρές και στο εσωτερικό του τριγώνου κατατάσσονται οι υβριδικοί τύποι πλοίων, ανάλογα με το είδος των δυνάμεων άντωσης που

αναπτύσσουν. Εκτός από τα πλοία επιφανείας, στο σχήμα αυτό περιλαμβάνονται τα αερόπλοια (στατική άντωση), τα αεροπλάνα (δυναμική άντωση) και τα ελικόπτερα (μηχανική άντωση).

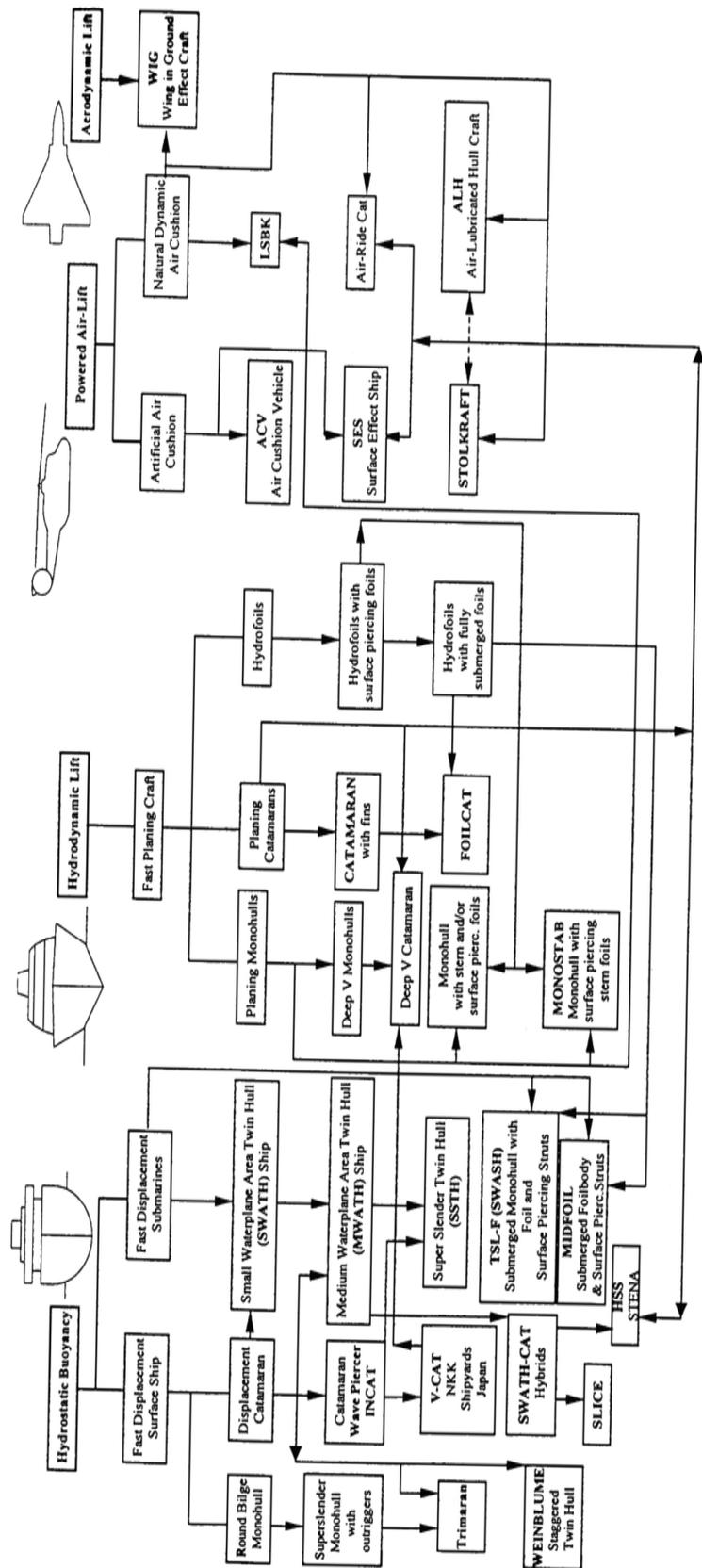


ΣΧΗΜΑ 1.6 : Το Τρίγωνο της Άντωσης

Συχνά γίνεται διάκριση της υδροδυναμικής από την αεροδυναμική άντωση. Στην περίπτωση αυτή, στο τρίγωνο του πιο πάνω Σχήματος προστίθεται μια ακόμη κορυφή, σχηματίζοντας την «Πυραμίδα» της Άντωσης (Σχ 1.7)



ΣΧΗΜΑ 1.7: Η Πυραμίδα της Άντωσης



ADVANCED MARINE VEHICLES  
Development of Basic Types and Hybrids  
acc. to A. D. Papanikolaou, 1997

ΣΧΗΜΑ 1.8 Ανάπτυξη βασικών τύπων και γυβριδικών σκαφών Νέας Τεχνολογίας

## 2. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΓΑΣΤΡΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ

### 2.1 ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Σε κάθε σημείο επαφής της γάστρας με το περιβάλλον ρευστό ασκείται μια στοιχειώδης δύναμη. Η δύναμη αυτή μπορεί να αναλύθει 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:

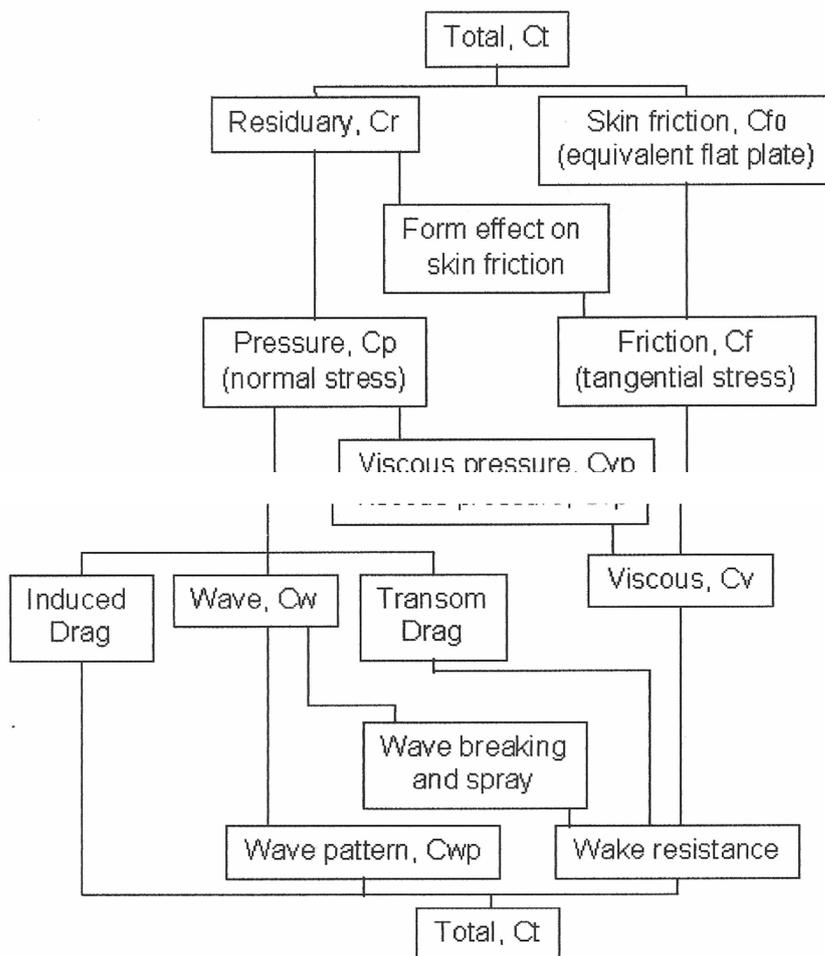
- **Αντίσταση τριβής**, που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτομενικών τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας) και προβολή κατά τη διεύθυνση της ροής. Η αντίσταση τριβής θεωρείται μηδενική για ιδανικό ρευστό, ενώ αποτελεί την κύρια συνιστώσα σε χαμηλούς αριθμούς Froude. Είναι συνάρτηση 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.

### 2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΣΚΑΦΩΝ (CATAMARAN ΚΑΙ SEMI-SWATH)

Για την πλήρη κατανόηση της αντίστασης, ειδικά σε δίγαστρα σκάφη (και ακόμα ειδικότερα, με πρύμνη καθρέφτη), είναι σημαντικός ο αναλυτικότερος από τον τυπικό προηγούμενο διαχωρισμός 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 δίγαστρα. 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.

Η αντίσταση ενός δίγαστρου σκάφους εξαρτάται κυρίως από το λόγο βρεχόμενης επιφάνειας προς εκτόπισμα  $WS/V^{2/3}$ , το λόγο λυγερότητας  $L/V^{1/3}$  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 ( $F_n > 0.4 - 0.5$ ) οι μικρές γωνίες δυναμικής διαγωγής οδηγούν σε μειωμένη αντίσταση.



ΣΧΗΜΑ 2.1 Συνιστώσες της αντίστασης

### 2.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

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 ημιγασρών, 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 ημιγασρών. 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.

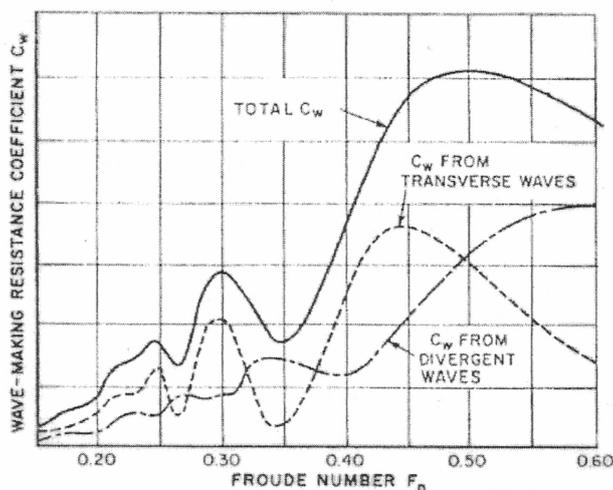
Η αντίσταση κυματισμών εξαρτάται κυρίως από τη βρεχόμενη μορφή της γάστρας και από το βάθος του ρευστού στο οποίο πλέει το σκάφος, αν βέβαια πρόκειται για ρηχό ρευστό. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χωρίζεται σε αντίσταση σχηματισμού κυματισμών (wave pattern resistance) και σε αντίσταση θραύσεως κυματισμών (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.

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 μονόγαστρο. Συνήθως η υπέρθεση των κυματισμών αυξάνει την αντίσταση των πλοίων, ενώ σε ορισμένες ευνοϊκές περιοχές ταχυτήτων (σε σχετικά χαμηλούς αριθμούς Froude) μπορεί να προκαλέσουν και μείωση.

Οι πιο πρόσφατες αριθμητικές μελέτες της αντίστασης κυματισμών ακολουθούν τις ονομαζόμενες μεθόδους συνοριακών 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 καλύτερα υπόψιν η πραγματική γεωμετρία της γάστρας.

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



ΣΧΗΜΑ 2.2 Διάγραμμα Συντελεστών Αντίστασης

## 2.4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των δίγαστρων πλοίων είναι η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων ταχυτήτων χάρις στις ιδιαίτερα λεπτόγραμμες ημιγάστρες τους που περιορίζουν την αύξηση της αντίστασης κυματισμού. Το πλεονέκτημά τους αυτό περιορίζεται σε ένα βαθμό λόγω της αύξησης της αντίστασης που προκαλείται από την αλληλεπίδραση των δύο γαστρών, αλλά και λόγω της αυξημένης βρεχόμενης επιφάνειάς τους σε σύγκριση με ένα μονόγαστρο πλοίο του ίδιου εκτοπίσματος (μεγαλύτερη αντίσταση τριβής).

Η μεταβολή της αντίστασης ρυμούλκησης λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των γαστρών οφείλεται αφ' ενός στην υπέρθεση των συστημάτων κυματισμού των δύο γαστρών (αντίσταση κυματισμού) και αφ' εταίρου στην μεταβολή του πεδίου ροής στην περιοχή της μιας γάστρας, μέσα στο οριακό στρώμα, λόγω της παρουσίας της άλλης (αντίσταση λόγω συνεκτικότητας). Ο συντελεστής αλληλεπίδρασης  $IF_{wp}$  ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

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

$$IF_{wp} = \frac{C_{wp} - 2C_{wpd}}{2C_{wpd}}$$

όπου  $R_{wp}$  η αντίσταση κυματισμού του δίγαστρου σκάφους και  $R_{wpd}$  η αντίσταση κυματισμού της κάθε ημιγάστρας. Θετικός συντελεστής αλληλεπίδρασης σημαίνει ότι η αντίσταση κυματισμού του δίγαστρου σκάφους είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της αντίστασης κυματισμού της ημιγάστρας. Αντίθετα, σε περιοχές του αριθμού Froude όπου ο συντελεστής αλληλεπίδρασης παίρνει αρνητικές τιμές, η συνολική αντίσταση κυματισμού μειώνεται.

Από την ολική αντίσταση, αφαιρώντας την αντίσταση τριβής  $R_F$  (που υπολογίζεται με βάση τη γραμμή της ITTC) προέκυψε η υπόλοιπη αντίσταση  $R_R$  και ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης  $C_R$ :

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2}\rho AV^2} = \frac{R_T - R_F}{\frac{1}{2}\rho AV^2}$$

$$R_F = \frac{1}{2}C_F\rho AV^2$$

όπου  $C_F$  ο συντελεστής αντίστασης τριβής επίπεδης πλάκας,  $\rho$  η πυκνότητα του νερού,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια του προτύπου και  $V$  η ταχύτητα σε m/sec. Ο συντελεστής αντίστασης τριβής υπολογίζεται:

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

όπου  $Rn$  ο αριθμός Reynolds:

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

και  $L$  το μήκος του προτύπου στην ίσαλο,  $\nu$  το κινηματικό ιξώδες του νερού (π.χ.  $\nu=1.19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$  για θαλασσινό νερό θερμοκρασίας  $15^\circ\text{C}$ ).

Ο συντελεστής ολικής αντίστασης μονόγαστρου πλοίου αναλύεται ως εξής:

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

όπου  $C_W$  ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού και  $k$  ο συντελεστής μορφής. Αν με δείκτες  $s$  και  $m$  παραστήσουμε τους αντίστοιχους συντελεστές σε κλίμακα πλοίου και κλίμακα προτύπου και θεωρώντας σταθερούς τους συντελεστές μορφής ( $k_s = k_m = k$ ) και αντίστασης κυματισμού ( $C_{Ws} = C_{Wm}$  για σταθερό αριθμό Froude) από την πιο πάνω σχέση προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για τον συντελεστή ολικής αντίστασης μονόγαστρου πλοίου:

$$C_{Ts} = C_{Ws} + (1+k)C_{Fs} = C_{Wm} + (1+k)C_{Fs} = C_{Tm} - (1+k)C_{Fm} + (1+k)C_{Fs} =$$

$$C_{Rm} - kC_{Fm} + (1+k)C_{Fs} \Rightarrow$$

$$C_{Ts} = C_{Rm} + C_{Fs} - k(C_{Fm} - C_{Fs})$$

Για την περίπτωση των δίγαστρων σκαφών οι Molland, Wellicome και Couser θεωρούν ότι ο συντελεστής μορφής  $k$  πρέπει να διορθωθεί κατάλληλα προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση της μιας γάστρας στο πεδίο ροής της άλλης. Εισάγεται λοιπόν ο συντελεστής διόρθωσης  $\beta$  και οι ανωτέρω σχέσεις τροποποιούνται κατάλληλα:

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

και

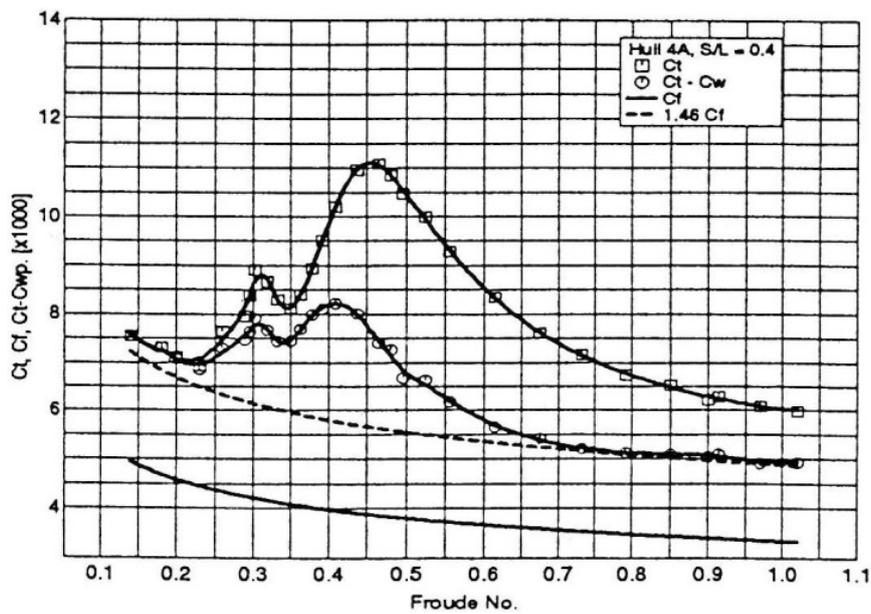
$$C_{Ts} = C_{Rm} + C_{Fs} - \beta k(C_{Fm} - C_{Fs})$$

Από τις πιο πάνω σχέσεις, αν είναι γνωστοί οι συντελεστές  $C_{Rm}$ ,  $k$  και  $\beta$  υπολογίζεται άμεσα ο συντελεστής ολικής αντίστασης και κατ' επέκταση η αντίσταση ρυμούλκησης σε κλίμακα πλοίου.

Ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης του προτύπου (μονόγαστρου ή δίγαστρου) υπολογίζεται άμεσα από τα πειράματα ρυμούλκησης, αφαιρώντας τον συντελεστή αντίστασης τριβής ( $C_{Fm}$ ) από τον συντελεστή ολικής αντίστασης ( $C_T$ ) που προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις αντίστασης. Για τον υπολογισμό των συντελεστών  $k$  και  $\beta$  οι Molland, Wellicome και Couser (1995) χρησιμοποιούν τον συντελεστή αντίστασης κυματισμού (wave pattern resistance coefficient  $C_{Wpm}$ ) που υπολόγισαν από την ανάλυση των συστημάτων κυματισμού που μέτρησαν στην δεξαμενή

δοκιμών. Για τον υπολογισμό του συντελεστή μορφής της κάθε ημιγάστρας ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Από τον συντελεστή ολικής αντίστασης της μονής γάστρας σε κλίμακα προτύπου ( $C_{Tm}$ ) αφαιρείται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού ( $C_{Wpm}$ ) και προκύπτει η καμπύλη  $C_{Tm}-C_{Wpm}$ . Παράλληλα σχεδιάζεται και η καμπύλη του συντελεστή αντίστασης τριβής ( $C_{Fm}$ ) που στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με κατάλληλο συντελεστή ( $1+k$ ) ώστε να συμπέσει με την καμπύλη  $C_{Tm}-C_{Wpm}$  στην περιοχή των μεγάλων αριθμών Froude (Σχήμα 2.3).



ΣΧΗΜΑ 2.3 Συντελεστές αντίστασης προτύπου 4a για S/L=0.4, (Molland et al, 1995)

### 3. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SHIPFLOW

Το Shipflow ασχολείται με τον υπολογισμό της υδροδυναμικής του πλοίου χρησιμοποιώντας τις αρχές της υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Η υδροδυναμική του πλοίου έχει την ιδιαιτερότητα της ύπαρξης ελεύθερης επιφάνειας η οποία λόγω των κυματισμών που δημιουργούνται συνεισφέρουν στην αντίσταση του πλοίου.

Το shipflow χωρίζοντας το ρευστό σε τρεις περιοχές .

**Περιοχή 1.** Το ρευστό θεωρείται χωρίς τριβές, ασυμπίεστο και υπολογίζονται οι πιέσεις και οι ταχύτητες δημιουργώντας την κατάλληλη συνάρτηση δυναμικού. Καταρχήν βρίσκουμε την πίεση και την ταχύτητα στην βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου και με την ολοκλήρωση των πιέσεων επί της γάστρας (κάθετες) προκύπτει η αντίσταση κυματισμού.

**Περιοχή 2.** Περιοχή όπου για τον υπολογισμό του στρωτού και του τυρβώδους οριακού στρώματος χρησιμοποιούνται εξισώσεις.

**Περιοχή 3.** Περιλαμβάνει την πρύμνη του σκάφους και υπολογίζει χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις Navier Stokes και τις εξισώσεις 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, ισχύει η υπόθεση για άτυρβη ροή χωρίς τριβές στο πεδίο της ροής. Επιπλέον, στη μέθοδο αυτή υποτίθεται επίσης σταθερή ασυμπίεστη ροή σε σύστημα συντεταγμένων που κινείται με το σώμα. Η διατύπωση του οριακού προβλήματος για το δυναμικό της ροής και η διαδικασία επίλυσής του περιγράφονται συνοπτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

##### 4.1. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΡΟΗΣ

Το πεδίο ροής γύρω από το κινούμενο πλοίο στα πλαίσια της θεωρίας δυναμικού, δηλαδή ροής που περιγράφεται πλήρως από συνάρτηση δυναμικού  $\Phi$ , μπορεί να παρασταθεί ως:

$$\Phi = \Phi_{\infty} + \varphi'$$

Όπου  $\Phi_{\infty}$  το δυναμικό της αδιατάρακτης ροής χωρίς την παρουσία του πλοίου-εμποδίου, (σαν ένα ρεύμα ροής με ταχύτητα  $V_{\infty} = -V_{SHIP}$ ) και  $\varphi'$  το δυναμικό διαταραχής της ροής λόγω της παρουσίας του πλοίου, το οποίο θεωρείται ακίνητο και παρεμβάλλεται σαν εμπόδιο στη ροή (obstacle).

Εάν βρεθεί το δυναμικό  $\varphi'$ , τότε το πεδίο ροής έχει προσδιορισθεί επακριβώς. Υπενθυμίζεται ότι

$$\Phi_{\infty} = -U_{\infty X}X - U_{\infty Y}Y - U_{\infty Z}Z \quad \text{όπου } V_{ship} = (U_{\infty X}, U_{\infty Y}, U_{\infty Z}).$$

Το δυναμικό διαταραχής θα ικανοποιεί εξίσωση Laplace:

$$\nabla^2 \varphi' = 0 \tag{1}$$

Σε κάθε σημείο P επί της βρεχόμενης επιφάνειας θα πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη οριακή συνθήκη (Συνθήκη Στερεού Συνόρου):

$$\partial \varphi' / \partial n = \nabla \varphi' \cdot n_p = -V_{\infty} \cdot n_p \tag{2}$$

Η ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας δυσκολεύει την λύση-εύρεση του δυναμικού  $\varphi'$  σε σχέση με το πρόβλημα σώματος μέσα σε απέρατο υγρό (σώμα πλήρως βυθισμένο) και εισάγει δύο επιπλέον οριακές συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται σε κάθε σημείο επί της ελεύθερης:

A. Κινηματική συνθήκη:

Η ροή πρέπει να είναι εφαπτομενική στην ελεύθερη επιφάνεια, δηλαδή εάν  $\Phi$  το συνολικό Δυναμικό Ροής ( $\Phi_{\infty} + \varphi'$ ), για κάθε σημείο S πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια θα πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$V_s \cdot n_s = 0.$$

Την ελεύθερη επιφάνεια μπορούμε να την περιγράψουμε με μια συνάρτηση:

$$Z = h(x,y) \Rightarrow h(x,y) - Z = 0.$$

Τότε:

$$n_s = (\partial h / \partial x, \partial h / \partial y, -1) \forall S \in F.S.$$

και

$$V_s = (\partial \varphi / \partial x, \partial \varphi / \partial y, \partial \varphi / \partial z)$$

Με αυτό τον τρόπο, η κινηματική συνθήκη γίνεται:

$$\partial\varphi/\partial x \cdot \partial h/\partial x + \partial\varphi/\partial y \cdot \partial h/\partial y - \partial\varphi/\partial z = 0 \quad (3)$$

B. Δυναμική συνθήκη:

Για κάθε σημείο πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια που βρίσκεται «κοντά στο πλοίο», όπου είναι σημαντική η διαταραχή της ροής, ισχύει μία συνθήκη που εκφράζει την εξίσωση Bernoulli μεταξύ του σημείου αυτού με ένα σημείο στο άπειρο όπου η ροή είναι αδιατάρακτη:

$$gh + 1/2 \cdot ((\partial\varphi/\partial x)^2 + (\partial\varphi/\partial y)^2 + (\partial\varphi/\partial z)^2) - V^2_\infty = 0 \quad (4)$$

Τέλος ισχύει μια συνθήκη «ακτινοβολίας», που εξασφαλίζει ότι η διαταραχή του δυναμικού φ' λόγω ύπαρξης του πλοίου, θα μηδενίζεται στο άπειρο. Αυτό επιτυγχάνεται με λύσεις για το φ' τέτοιες ώστε στα πολύ μακρινά σημεία να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη:

$$|\nabla\varphi'| = 0 \text{ για } r = (x,y,z) \rightarrow \infty \quad (5)$$

Η σχέση (3) (κινηματική συνθήκης ελεύθερης επιφάνειας) πρέπει να εφαρμοστεί σε σημεία μιας άγνωστης αρχικά ελεύθερης επιφάνειας. Η προσέγγιση της μορφής της ελεύθερης επιφάνειας γίνεται με διαδοχικές επαναλήψεις, θεωρώντας μια βασική λύση και υπολογίζοντας διαδοχικά διαταραχές γύρω από τη λύση αυτή. Ως «βασική λύση» λαμβάνεται η λύση του «διπλού μοντέλου», σαν δηλαδή το πλοίο να περιλαμβάνει την «κατοπτρική του εικόνα» (image) πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, οπότε σε αυτή την περίπτωση η αρχική ελεύθερη επιφάνεια, για εφαρμογή της γραμμικοποιημένης συνθήκης είναι η  $Z=0$ . Ικανοποιείται μόνο η συνθήκη (2) στερεού συνόρου, η δε ελεύθερη επιφάνεια παραμένει αδιατάρακτη στο  $Z=\infty$  όπως στην περίπτωση που ένα σώμα (πλοίο) + (κατοπτρικό είδωλό του) να κινείται σε Απέρατο Υγρό. Αφού υπολογιστεί η λύση αυτή, η διαδικασία συνεχίζεται με διαδοχικά βήματα σε κάθε ένα από τα οποία υπολογίζεται μια διόρθωση της ελεύθερης επιφάνειας. Ταυτόχρονα, υπολογίζοντας τις δυνάμεις και ροπές που ασκούνται στο σώμα, και ισορροπώντας το πλοίο πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια, υπολογίζεται η νέα θέση ισορροπίας (νέο βύθισμα και νέα διαμήκης διαγωγή). Η επαναληπτική διαδικασία σταματά όταν ικανοποιηθεί ένα κριτήριο σύγκλισης, ή όταν συμπληρωθεί ένας καθορισμένος αριθμός επαναλήψεων, ή αν η λύση αποκλίνει πέρα από ένα αποδεκτό όριο.

#### 4.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

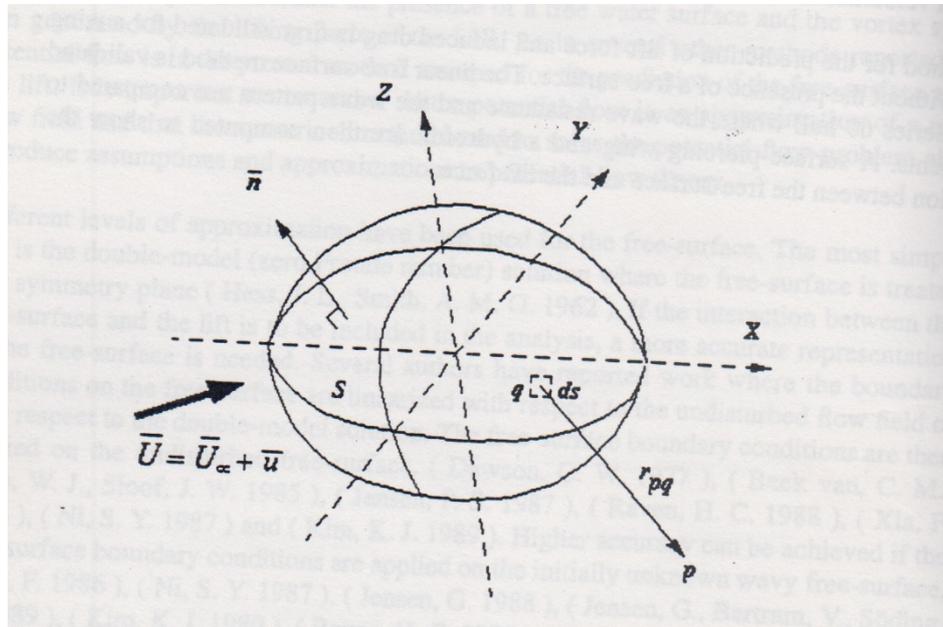
Η βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου (η απολύτως ακριβής τελική μορφή είναι άγνωστη αρχικά) και η ελεύθερη επιφάνεια (της οποίας η τελική μορφή είναι επίσης άγνωστη) σε μια «μεγάλη» περιοχή γύρω από το πλοίο, διακριτοποιούνται σε μικρά συνοριακά στοιχεία «panels» και σε κάθε panel κατανέμεται μια πηγή Rankine σταθερής έντασης  $\sigma_j$  (για κάθε panel  $j$  είναι η απλούστερη κατανομή). Η πηγή αυτή  $p_{\sigma}$  στο σημείο  $q$ , με επιφάνεια  $ds$ , επάγει δυναμικό σε ένα σημείο  $p$ :

$$\varphi_{PQ} = -\sigma_q / r_{PQ} \cdot ds$$

όπου  $r_{PQ} = r_P - r_Q$  η απόσταση από το σημείο  $Q$  μέχρι το σημείο  $P$ .

Έτσι λοιπόν το αναζητούμενο δυναμικό  $\phi'$  σε κάθε σημείο θα είναι η υπέρθεση των στοιχειωδών δυναμικών από όλα τα άλλα σημεία του πεδίου ροής.

$$\phi' = \iint_S -\sigma_j / r_{ij} \cdot dS_j.$$



ΣΧΗΜΑ 4.1

Η μορφή αυτή δυναμικού πηγής ικανοποιεί την εξίσωση Laplace (εξίσωση (1)) και την οριακή συνθήκη του δυναμικού σε άπειρη απόσταση (εξίσωση (5)). Οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες στη βρεχόμενη επιφάνεια (εξίσωση (2)) και στην ελεύθερη επιφάνεια (κινηματική (3) και δυναμική (4)) θα πρέπει να ικανοποιηθούν στο κέντρο κάθε panel με επαναληπτική διαδικασία. Αν  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των panels που χρησιμοποιούνται για τη διακριτοποίηση της βρεχόμενης επιφάνειας, σε κάθε βήμα αυτής της επαναληπτικής διαδικασίας, υπάρχουν  $n$  άγνωστοι (η ένταση της πηγής κάθε panel). Οι άγνωστοι αυτοί υπολογίζονται από την επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων, κάθε μια εκ των οποίων προκύπτει από την εφαρμογή των αντίστοιχων οριακών εξισώσεων πάνω στο κέντρο του κάθε panel. Για τη θέση του κάθε panel χρησιμοποιείται κάθε φορά η προσέγγιση που έχει υπολογιστεί κατά το προηγούμενο βήμα της διαδικασίας.

Η επαναληπτική διαδικασία σταματά όταν διαπιστωθεί σύγκλιση των αποτελεσμάτων (όταν δηλαδή ανάμεσα στα αποτελέσματα δύο διαδοχικών βημάτων οι διαφορές που προκύπτουν είναι μικρότερες από ένα συγκεκριμένο κριτήριο σύγκλισης), ή όταν συμπληρωθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων (ότι από τα δύο συμβεί πρώτο). Μετά την ολοκλήρωση των επαναλήψεων έχει υπολογιστεί κατά προσέγγιση η ένταση της πηγής σε κάθε panel, η νέα θέση του πλοίου (μεταβολή βυθίσματος και διαγωγής, η οποία προκύπτει υπό την επίδραση της κατανομής των πιέσεων του δυναμικού πάνω σε κάθε panel της βρεχόμενης επιφάνειας) η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας και η αντίσταση κυματισμού του πλοίου. Η αντίσταση κυματισμού είναι η οριζόντια συνισταμένη των πιέσεων που ασκούνται από το δυναμικό της ροής πάνω στη βρεχόμενη επιφάνεια του πλοίου.

Για την επίλυση του ανωτέρω προβλήματος και τον υπολογισμό του δυναμικού της ροής και τελικά της αντίστασης κυματισμού του πλοίου χρησιμοποιήθηκε το γνωστό πρόγραμμα SHIPFLOW.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Ο σκοπός της Διπλωματικής είναι η συγκριτική μελέτη 4 γαστρών Catamaran και 2 γαστρών Swath όσον αφορά την αντίσταση κυματισμού και την συνολική αντίσταση σε ήρεμο νερό. Σαν βασική γάστρα χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα CARGOEXPRESS με συνεργασία του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου και του Εργαστηρίου Υδροδυναμικής για βασική γάστρα με βολβό στην πλώρη και μικρότερο βολβό στην πρύμνη.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το NAPA και το SHIPFLOW. Με το NAPA διαμορφώσαμε τις γάστρες Catamaran και SWATH. Οι διάφορες γάστρες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την βασική διατομή και ειδικά στις SWATH σχεδιάζουμε στην βασική γάστρα μια στένωση για να προκύψει η ανάλογη διατομή. Οι διάφορες γάστρες A,B,C,D και SWATH A,B διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το βύθισμα, το πλάτος και το εκτόπισμα. Σε κάθε γάστρα εξετάζουμε την αντίσταση κυματισμού και την ολική αντίσταση με μαθηματικό τρόπο στο SHIPFLOW και μεταβλητή την ταχύτητα αλλάζοντας την απόσταση των ημιγαστρών από την βασική κατά -10%, -5%, +5%, 10%, 15%. Οι ταχύτητες ξεκινούν από 10 κόμβους και καταλήγουν στους 21 κόμβους που θεωρούμε ότι είναι οι ταχύτητες που κινούνται τα συγκεκριμένα πλοία.

### Για το SHIPFLOW έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά.

Η απόσταση που εξετάζουμε μπροστά στο πλοίο (upstream) είναι μισό μήκος πλοίου.

Η απόσταση που εξετάζουμε αριστερά από την αριστερή ημιγάστρα και δεξιά από την δεξιά ημιγάστρα (midstream) είναι ένα μήκος πλοίου από την κεντρική γραμμή (center line) του πλοίου.

Η απόσταση στο πίσω μέρος του πλοίου (downstream) είναι ένα μήκος πλοίου. Αυτό είναι και το τμήμα που συμμετέχει κυρίως στην αντίσταση κυματισμού.

Εξετάζουμε το ρευστό στην ήρεμη κατάσταση (χωρίς κυματισμούς) θεωρώντας ότι δεν έχουμε συνεκτικότητα αλλά μόνο δυναμική ροή οπότε υπάρχουν μόνο ορθές δυνάμεις ως προς την γάστρα του πλοίου.

Θεωρούμε την βρεχόμενη επιφάνεια κατά 20% μεγαλύτερη επειδή με την αύξηση της ταχύτητας το πλοίο μπορεί να αποκτήσει διαγωγή.

Τα συνολικά panel της ελεύθερης επιφάνειας είναι 2214 ενώ τα συνολικά panel του πλοίου είναι 2100.

Το πρόγραμμα SHIPFLOW ρυθμίζεται να συγκλίνει για μέχρι 18 επαναλήψεις. Συνήθως το τελικό αποτέλεσμα βρίσκεται μετά από 5-7 επαναλήψεις.

Για όλες τις γάστρες το μήκος είναι 94.4 m. Στον Πίν. 5.1 για κάθε ταχύτητα από 10kn μέχρι και 21kn παρουσιάζεται ο αριθμός Reynolds που υπολογίζεται από τον τύπο  $R_n = V.L/\nu$  και κατόπιν ο αντίστοιχος συντελεστής τριβής που είναι ίδιος για όλες τις γάστρες και υπολογίζεται από τον τύπο της ITTC:

$$C_F = 0.075 / (\log_{10} R_n - 2)^2$$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1\_ ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS / ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C<sub>F</sub>**

V (knots)	Reynolds	C <sub>F</sub>
10	408093579,8	0,001716163
11	872605042	0,001556826
12	951932773,1	0,001540011
13	1031260504	0,001524783
14	1110588235	0,001510884
15	1189915966	0,001498114
16	1269243697	0,001486315
17	1348571429	0,001475358
18	1427899160	0,001465139
19	1507226891	0,001455569
20	1586554622	0,001446576
21	1665882353	0,0014381

Για την περίπτωση των δίγαστρων σκαφών οι Molland, Wellicome και Couser θεωρούν ότι ισχύει ο ακόλουθος τύπος για τον συντελεστή ολικής αντίστασης C<sub>T</sub>:

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

Βάσει του τύπου αυτού υπολογίζεται ο συντελεστής συνολικής αντίστασης του πλοίου και κατ' επέκταση την αντίσταση ρυμούλκησης.

Με βάση διαθέσιμα στοιχεία, για τους υπολογισμούς που ακολουθούν ορίστηκε το γινόμενο  $\beta.k = 0.27$ .

**5.1 ΣΧΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**5.1.1 Γάστρα HULL A**

Στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULLA. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Υδροστατικά Μεγέθη γάστρας HULL A**

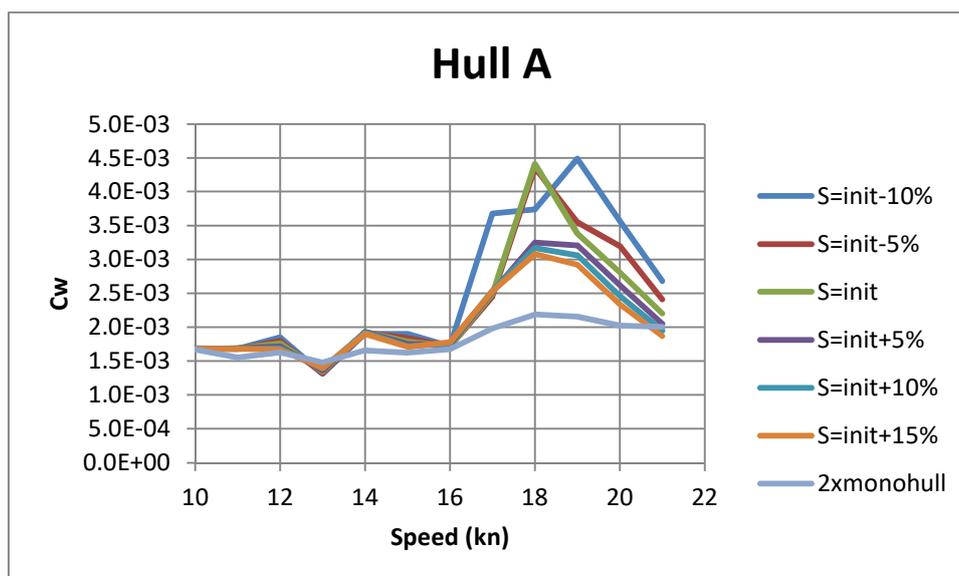
T m	DISP t	LCB m	KMT m	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	795.2	48.459	74.817	983	38.8	7.9
2.874	2133.0	47.858	38.649	1573	49.9	10.4
4.311	3731.4	47.182	26.561	2125	54.6	11.7
5.748	5483.6	46.175	21.477	2693	67.3	12.9
7.185	7442.9	45.171	19.041	3280	88.9	14.3

Στον Πίνακα 5.3 και στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL A. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσεως της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας (S=∞).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 και στο Σχήμα 5.4.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 : Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL A**

HULL a	S=15.264m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.96m (initial)	S=17.808m (initial+5%)	S=18.656m (initial+10%)	S=19.504 (initial+15%)	S=∞ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1.69E-03	1.68E-03	1.68E-03	1.67E-03	1.68E-03	1.68E-03	1.67178E-03
11	1.68E-03	1.68E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.68E-03	1.68E-03	1.55320E-03
12	1.85E-03	1.80E-03	1.76E-03	1.72E-03	1.69E-03	1.67E-03	1.62870E-03
13	1.31E-03	1.32E-03	1.34E-03	1.36E-03	1.39E-03	1.40E-03	1.47627E-03
14	1.90E-03	1.92E-03	1.93E-03	1.93E-03	1.92E-03	1.90E-03	1.65858E-03
15	1.90E-03	1.84E-03	1.79E-03	1.75E-03	1.72E-03	1.71E-03	1.62291E-03
16	1.72E-03	1.72E-03	1.72E-03	1.74E-03	1.76E-03	1.78E-03	1.67712E-03
17	3.68E-03	2.45E-03	2.49E-03	2.52E-03	2.54E-03	2.53E-03	1.98083E-03
18	3.74E-03	4.35E-03	4.41E-03	3.25E-03	3.17E-03	3.08E-03	2.18568E-03
19	4.49E-03	3.55E-03	3.38E-03	3.21E-03	3.06E-03	2.92E-03	2.15366E-03
20	3.57E-03	3.20E-03	2.81E-03	2.62E-03	2.46E-03	2.34E-03	2.02473E-03
21	2.68E-03	2.41E-03	2.20E-03	2.05E-03	1.95E-03	1.87E-03	2.00483E-03

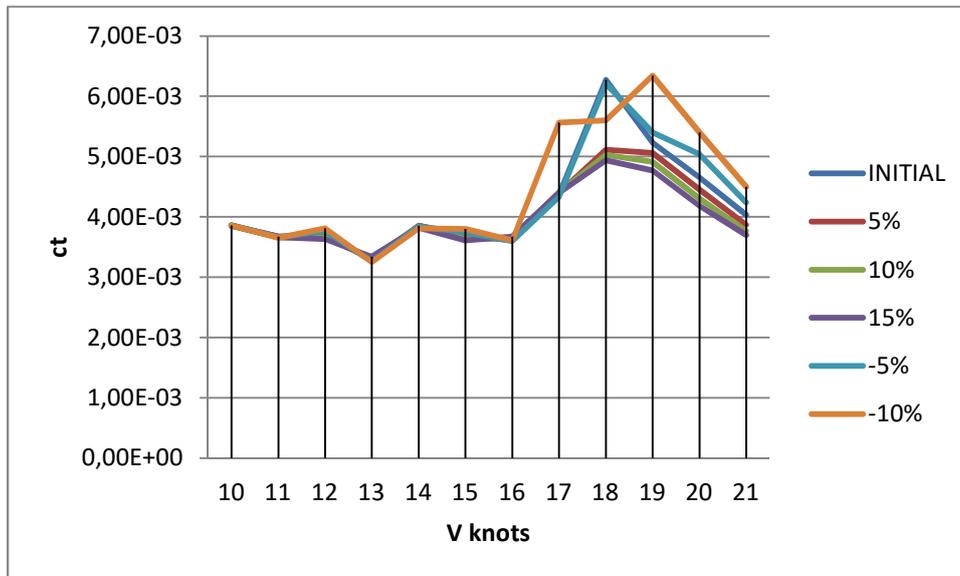


**ΣΧΗΜΑ 5.3: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL A**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 16kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική. Πάνω από τους 16 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Οι τρεις μεγαλύτερες ισαποστάσεις έχουν παρόμοια αντίσταση κυματισμού. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι πολύ ισχυρότερη για τις τρεις μικρότερες ισαποστάσεις. Παρατηρώ επίσης ότι έχω στους 13 κόμβους πτώση της αντίστασης κυματισμού όπως επίσης και μετά τους 21 κόμβους η αντίσταση κυματισμού πέφτει λόγω της συμβολής και αντισυμβολής των κυμάτων.

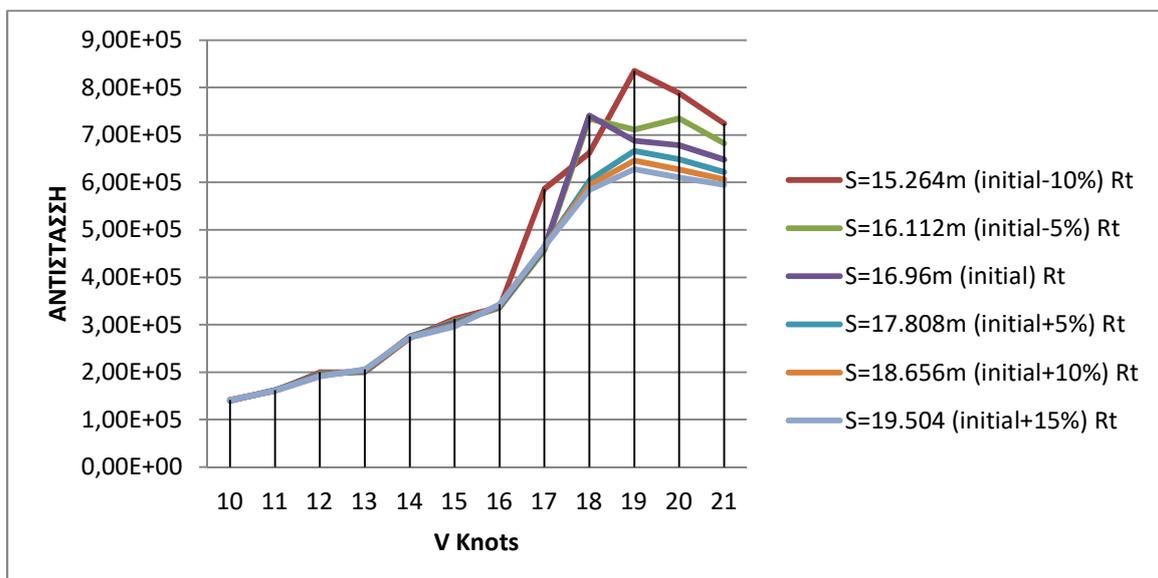
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL A**

HULL a	S=15.264m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.96m (initial)	S=17.808m (initial+5%)	S=18.656m (initial+10%)	S=19.504 (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,86E-03	3,86E-03	3,85E-03	3,85E-03	3,86E-03	3,86E-03
11	3,65E-03	3,66E-03	3,67E-03	3,67E-03	3,66E-03	3,66E-03
12	3,81E-03	3,76E-03	3,71E-03	3,68E-03	3,65E-03	3,63E-03
13	3,25E-03	3,26E-03	3,28E-03	3,30E-03	3,32E-03	3,34E-03
14	3,81E-03	3,84E-03	3,85E-03	3,85E-03	3,84E-03	3,82E-03
15	3,80E-03	3,74E-03	3,70E-03	3,66E-03	3,63E-03	3,61E-03
16	3,61E-03	3,60E-03	3,61E-03	3,63E-03	3,65E-03	3,67E-03
17	5,56E-03	4,33E-03	4,37E-03	4,40E-03	4,41E-03	4,40E-03
18	5,60E-03	6,21E-03	6,27E-03	5,11E-03	5,03E-03	4,94E-03
19	6,34E-03	5,40E-03	5,23E-03	5,06E-03	4,91E-03	4,77E-03
20	5,40E-03	5,04E-03	4,65E-03	4,45E-03	4,30E-03	4,18E-03
21	4,50E-03	4,24E-03	4,03E-03	3,87E-03	3,77E-03	3,70E-03



ΣΧΗΜΑ 5.4 Συντελεστής ολικής αντίστασης HULL A

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL A βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULLA έχουμε ότι  $A = 2693 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg/m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε τον Πίνακα 5.4 των συνολικών αντιστάσεων λαμβάνοντας υπόψιν πλέον και την βρεχόμενη επιφάνεια που είναι διαφορετική για κάθε γάστρα.



ΣΧΗΜΑ 5.5 Συνολικές αντιστάσεις γάστρας HULL A

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 Συνολικές Αντιστάσεις HULLA

HULL A	S=15.264m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.96m (initial)	S=17.808m (initial+5%)	S=18.656m (initial+10%)	S=19.504 (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,41E+05	1,41E+05	1,40E+05	1,40E+05	1,41E+05	1,41E+05
11	1,61E+05	1,61E+05	1,62E+05	1,62E+05	1,61E+05	1,61E+05
12	2,00E+05	1,97E+05	1,95E+05	1,93E+05	1,92E+05	1,91E+05
13	2,00E+05	2,01E+05	2,02E+05	2,03E+05	2,05E+05	2,06E+05
14	2,72E+05	2,74E+05	2,75E+05	2,75E+05	2,74E+05	2,73E+05
15	3,12E+05	3,07E+05	3,04E+05	3,00E+05	2,98E+05	2,96E+05
16	3,37E+05	3,36E+05	3,37E+05	3,39E+05	3,41E+05	3,43E+05
17	5,86E+05	4,56E+05	4,61E+05	4,64E+05	4,65E+05	4,64E+05
18	6,62E+05	7,34E+05	7,41E+05	6,04E+05	5,94E+05	5,84E+05
19	8,35E+05	7,11E+05	6,88E+05	6,66E+05	6,46E+05	6,28E+05
20	7,88E+05	7,35E+05	6,78E+05	6,49E+05	6,27E+05	6,10E+05
21	7,24E+05	6,82E+05	6,48E+05	6,22E+05	6,06E+05	5,95E+05

## 5.1.2 Γάστρα HULLB

Στον πίνακα 5.6 και το σχήμα που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULLB. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6 Υδροστατικά μεγέθη HULL B**

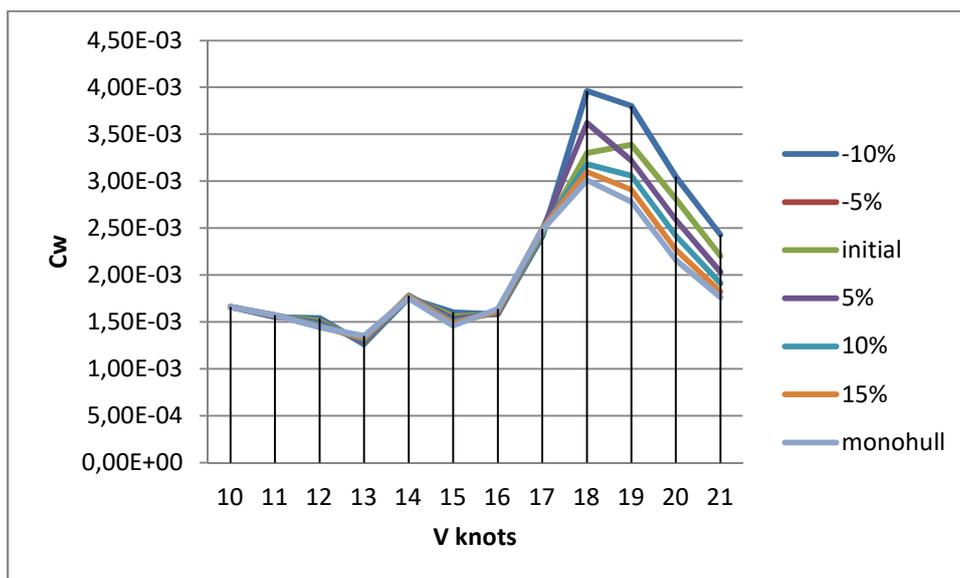
T m	DISP t	LCB m	KMT m	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	829.9	47.919	74.228	1006	39.7	8.2
2.874	2193.0	47.635	37.880	1586	50.8	10.5
4.311	3781.3	47.209	25.739	2130	53.7	11.5
5.748	5487.0	46.197	20.798	2694	62.7	12.5
7.185	7377.3	45.077	18.564	3277	81.6	13.8

Στον Πίνακα 5.7 και στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL B. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσει της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας (S=∞).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8 και στο Σχήμα 5.7

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7 Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL B**

HULL B	S=15.253m (initial-10%)	S=16.100m (initial-5%)	S=16.948m (initial)	S=17.795m (initial+5%)	S=18.642m (initial+10%)	S=19.490m (initial+15%)	S=∞ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1,66E-03	1,66E-03	1,66E-03	1,66E-03	1,66E-03	1,66E-03	1,6655E-03
11	1,55E-03	1,56E-03	1,56E-03	1,57E-03	1,57E-03	1,57E-03	1,5097E-03
12	1,54E-03	1,51E-03	1,49E-03	1,47E-03	1,45E-03	1,44E-03	1,4670E-03
13	1,26E-03	1,28E-03	1,29E-03	1,31E-03	1,33E-03	1,35E-03	1,3487E-03
14	1,75E-03	1,77E-03	1,78E-03	1,78E-03	1,77E-03	1,75E-03	1,5223E-03
15	1,60E-03	1,56E-03	1,53E-03	1,50E-03	1,48E-03	1,46E-03	1,4382E-03
16	1,58E-03	1,58E-03	1,59E-03	1,61E-03	1,62E-03	1,64E-03	1,5366E-03
17	2,41E-03	2,45E-03	2,48E-03	2,49E-03	2,49E-03	2,48E-03	1,8728E-03
18	3,96E-03	3,30E-03	3,62E-03	3,18E-03	3,10E-03	3,01E-03	2,1035E-03
19	3,80E-03	3,39E-03	3,22E-03	3,06E-03	2,91E-03	2,78E-03	2,0805E-03
20	3,05E-03	2,81E-03	2,59E-03	2,42E-03	2,27E-03	2,16E-03	1,9586E-03
21	2,43E-03	2,20E-03	2,03E-03	1,91E-03	1,82E-03	1,76E-03	1,9641E-03

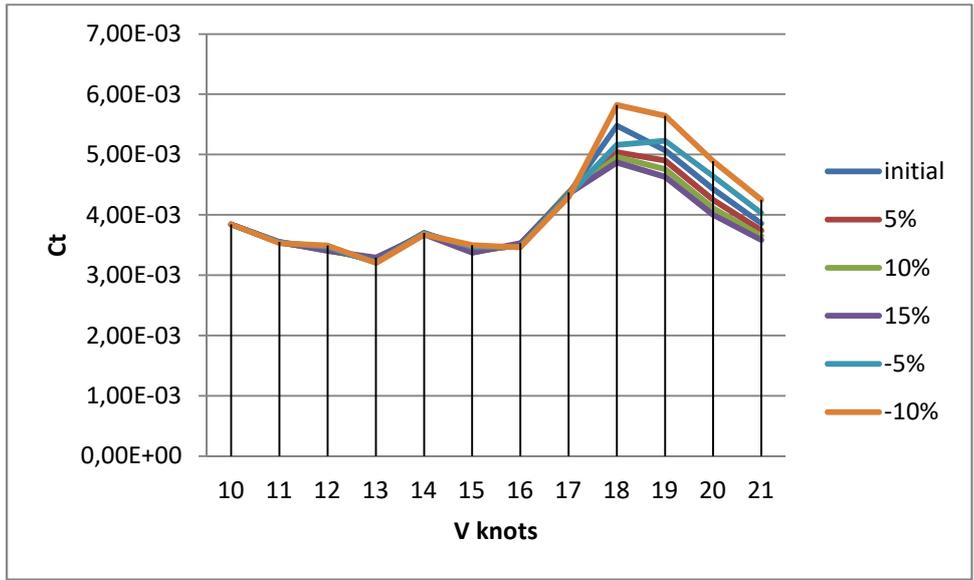


**ΣΧΗΜΑ 5.6: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού γάστρας HULL B**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 17kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική. Πάνω από τους 17 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Οι τρεις μεγαλύτερες ισαποστάσεις έχουν παρόμοια αντίσταση κυματισμού. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι πολύ ισχυρότερη για τις τρεις μικρότερες ισαποστάσεις. Η μεγαλύτερη αντίσταση και μάλιστα σχεδόν 50% παρουσιάζεται για την μικρότερη απόσταση.

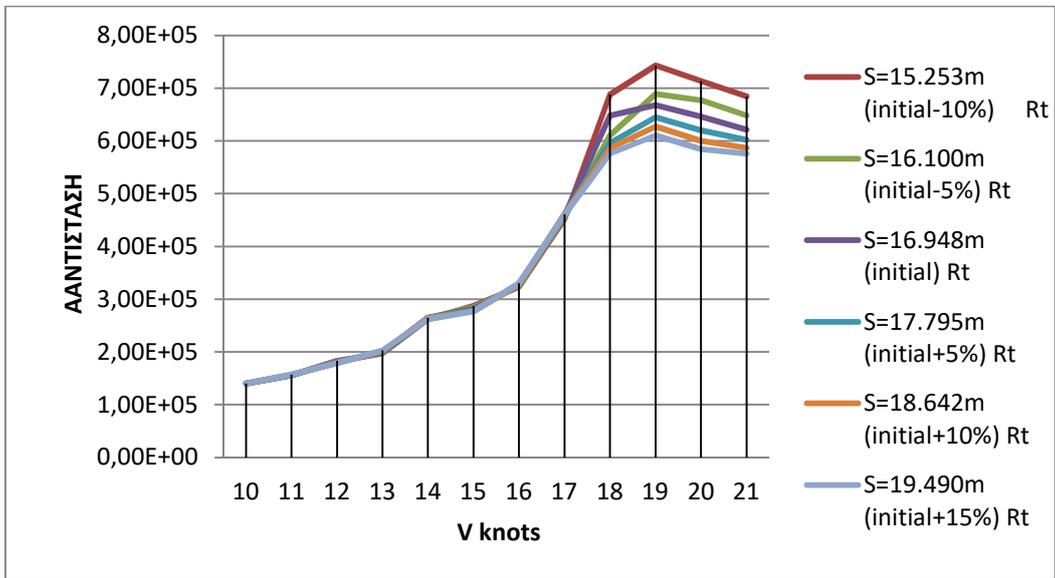
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8 : Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL B**

HULL B	S=15.253m (initial-10%)	S=16.100m (initial-5%)	S=16.948m (initial)	S=17.795m (initial+5%)	S=18.642m (initial+10%)	S=19.490m (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03
11	3,53E-03	3,54E-03	3,54E-03	3,54E-03	3,55E-03	3,55E-03
12	3,49E-03	3,47E-03	3,44E-03	3,42E-03	3,41E-03	3,40E-03
13	3,20E-03	3,21E-03	3,23E-03	3,25E-03	3,27E-03	3,29E-03
14	3,67E-03	3,69E-03	3,70E-03	3,70E-03	3,69E-03	3,67E-03
15	3,50E-03	3,47E-03	3,43E-03	3,40E-03	3,38E-03	3,37E-03
16	3,46E-03	3,47E-03	3,48E-03	3,49E-03	3,51E-03	3,53E-03
17	4,29E-03	4,33E-03	4,35E-03	4,37E-03	4,37E-03	4,35E-03
18	5,82E-03	5,16E-03	5,48E-03	5,04E-03	4,96E-03	4,87E-03
19	5,64E-03	5,23E-03	5,07E-03	4,90E-03	4,76E-03	4,63E-03
20	4,89E-03	4,64E-03	4,43E-03	4,25E-03	4,11E-03	4,00E-03
21	4,25E-03	4,03E-03	3,86E-03	3,74E-03	3,65E-03	3,58E-03



ΣΧΗΜΑ 5.7 Συντελεστής ολικής αντίστασης HULL B

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL B βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULL B έχουμε ότι  $A = 2694 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg / m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζεται ο πίνακας 5.9 των συνολικών αντιστάσεων.



ΣΧΗΜΑ 5.8 Συνολικές αντιστάσεις HULL B

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9 Συνολικές Αντιστάσεις HULL B**

HULL B	S=15.253m (initial-10%)	S=16.100m (initial-5%)	S=16.948m (initial)	S=17.795m (initial+5%)	S=18.642m (initial+10%)	S=19.490m (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,40E+05	1,40E+05	1,40E+05	1,40E+05	1,40E+05	1,40E+05
11	1,56E+05	1,56E+05	1,56E+05	1,56E+05	1,57E+05	1,57E+05
12	1,83E+05	1,82E+05	1,81E+05	1,80E+05	1,79E+05	1,79E+05
13	1,97E+05	1,98E+05	1,99E+05	2,00E+05	2,02E+05	2,03E+05
14	2,62E+05	2,64E+05	2,65E+05	2,65E+05	2,64E+05	2,62E+05
15	2,87E+05	2,85E+05	2,82E+05	2,79E+05	2,77E+05	2,77E+05
16	3,23E+05	3,24E+05	3,25E+05	3,26E+05	3,28E+05	3,30E+05
17	4,52E+05	4,56E+05	4,59E+05	4,61E+05	4,61E+05	4,59E+05
18	6,88E+05	6,10E+05	6,48E+05	5,96E+05	5,86E+05	5,76E+05
19	7,43E+05	6,89E+05	6,68E+05	6,45E+05	6,27E+05	6,10E+05
20	7,13E+05	6,77E+05	6,46E+05	6,20E+05	6,00E+05	5,84E+05
21	6,84E+05	6,48E+05	6,21E+05	6,02E+05	5,87E+05	5,76E+05

### 5.1.3 Γάστρα HULLC

Στον πίνακα 5.10 που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULLC. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10 Υδροστατικά μεγέθη HULL C**

T m	DISP t	LCB m	KMT m	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	883.0	49.496	73.614	1042	43.5	8.6
2.874	2294.5	49.287	36.782	1610	53.6	10.6
4.311	3871.5	48.756	24.338	2148	53.2	11.1
5.748	5488.1	47.551	19.577	2710	57.6	11.7
7.185	7274.7	46.280	17.892	3290	76.6	13.1

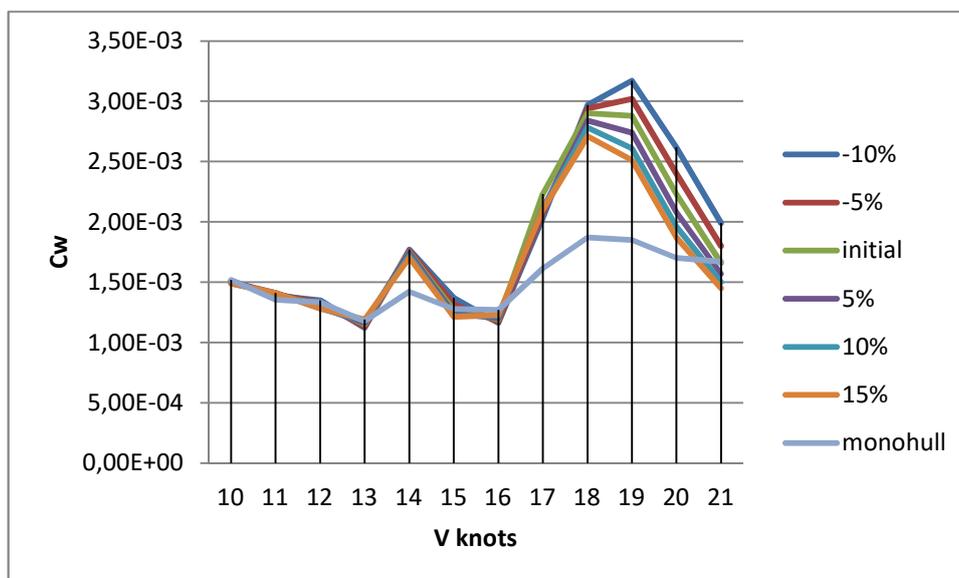
Στον Πίνακα 5.11 και στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL C. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσει της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας ( $S=\infty$ ).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.12 και στο Σχήμα 5.10

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11 : Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL C**

HULL C	S=15.256m (initial-10%)	S=16.104m (initial-5%)	S=16.952m (initial)	S=17.799m (initial+5%)	S=18.647m (initial+10%)	S=19.494m (initial+15%)	S= $\infty$ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1,51E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,49E-03	1,49E-03	1,5178E-03
11	1,39E-03	1,40E-03	1,40E-03	1,41E-03	1,41E-03	1,41E-03	1,3534E-03
12	1,35E-03	1,33E-03	1,31E-03	1,29E-03	1,28E-03	1,28E-03	1,3333E-03
13	1,12E-03	1,13E-03	1,15E-03	1,16E-03	1,18E-03	1,19E-03	1,1774E-03
14	1,77E-03	1,76E-03	1,75E-03	1,74E-03	1,72E-03	1,70E-03	1,4213E-03
15	1,37E-03	1,32E-03	1,27E-03	1,24E-03	1,22E-03	1,21E-03	1,2767E-03
16	1,16E-03	1,17E-03	1,19E-03	1,20E-03	1,22E-03	1,23E-03	1,2702E-03
17	2,03E-03	2,07E-03	2,23E-03	2,11E-03	2,11E-03	2,10E-03	1,6126E-03
18	2,97E-03	2,94E-03	2,90E-03	2,84E-03	2,78E-03	2,71E-03	1,8704E-03
19	3,17E-03	3,02E-03	2,88E-03	2,74E-03	2,61E-03	2,51E-03	1,8492E-03
20	2,62E-03	2,40E-03	2,23E-03	2,08E-03	1,96E-03	1,87E-03	1,7017E-03
21	1,99E-03	1,80E-03	1,66E-03	1,57E-03	1,50E-03	1,45E-03	1,6703E-03

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 17kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική.

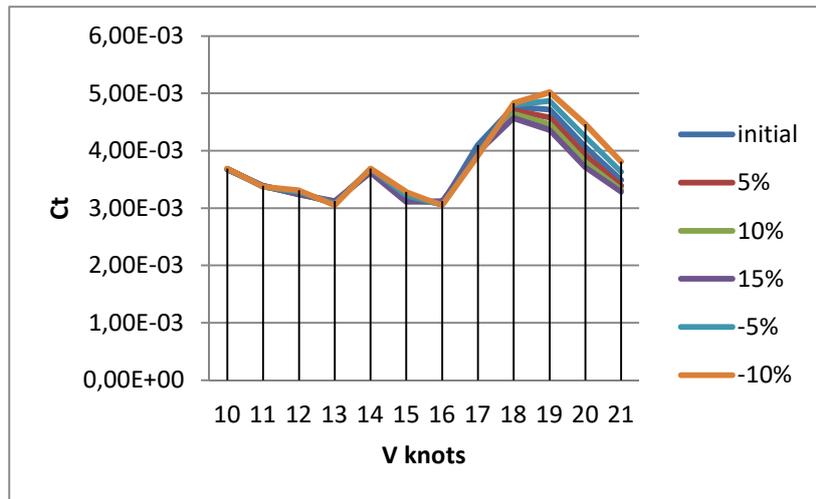


ΣΧΗΜΑ 5.9 : Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL C

Πάνω από τους 17 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Οι τρεις μεγαλύτερες ισαποστάσεις έχουν παρόμοια αντίσταση κυματισμού. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι πολύ ισχυρότερη για τις τρεις μικρότερες ισαποστάσεις. Πάλι έχουμε 50% αύξηση για την μικρότερη απόσταση. Παρατηρούμε και μια μικρή αριθμητική αύξηση στους 13kn.

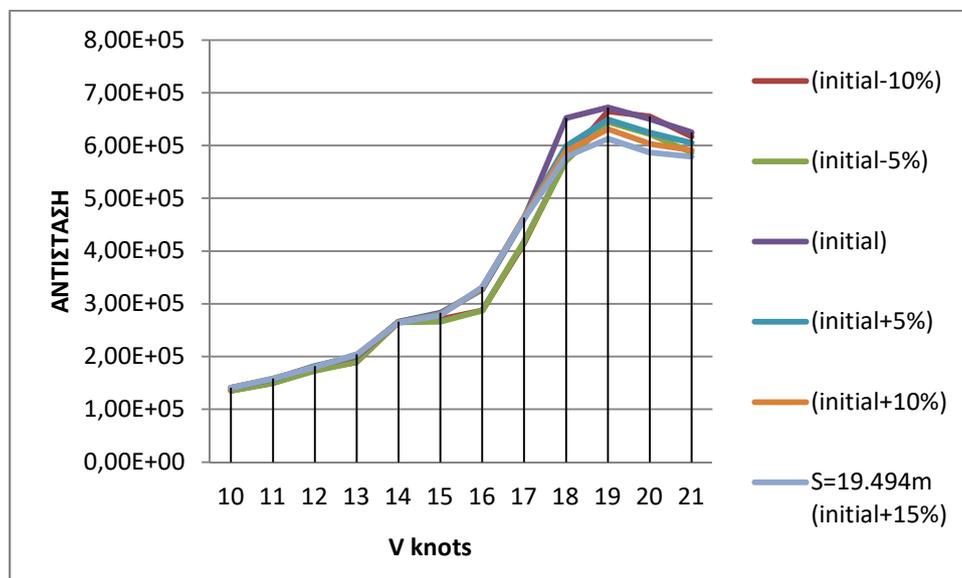
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.12 Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL C

HULL C	S=15.256m (initial-10%)	S=16.104m (initial-5%)	S=16.952m (initial)	S=17.799m (initial+5%)	S=18.647m (initial+10%)	S=19.494m (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,69E-03	3,68E-03	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03	3,84E-03
11	3,37E-03	3,37E-03	3,54E-03	3,54E-03	3,55E-03	3,55E-03
12	3,31E-03	3,28E-03	3,44E-03	3,42E-03	3,41E-03	3,40E-03
13	3,05E-03	3,07E-03	3,23E-03	3,25E-03	3,27E-03	3,29E-03
14	3,69E-03	3,68E-03	3,70E-03	3,70E-03	3,69E-03	3,67E-03
15	3,28E-03	3,22E-03	3,43E-03	3,40E-03	3,38E-03	3,37E-03
16	3,05E-03	3,06E-03	3,48E-03	3,49E-03	3,51E-03	3,53E-03
17	3,91E-03	3,94E-03	4,35E-03	4,37E-03	4,37E-03	4,35E-03
18	4,83E-03	4,80E-03	5,48E-03	5,04E-03	4,96E-03	4,87E-03
19	5,02E-03	4,87E-03	5,07E-03	4,90E-03	4,76E-03	4,63E-03
20	4,46E-03	4,24E-03	4,43E-03	4,25E-03	4,11E-03	4,00E-03
21	3,81E-03	3,63E-03	3,86E-03	3,74E-03	3,65E-03	3,58E-03



ΣΧΗΜΑ 5.10 Συντελεστής ολικής αντίστασης HULL C

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL C βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULL C έχουμε ότι  $A = 2710 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg / m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζεται ο Πίνακας 5.13 των συνολικών αντιστάσεων.



ΣΧΗΜΑ 5.11 Συνολικές αντιστάσεις HULL C

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.13 Συνολικές Αντιστάσεις HULL C**

HULL C	S=15.256m (initial-10%)	S=16.104m (initial-5%)	S=16.952m (initial)	S=17.799m (initial+5%)	S=18.647m (initial+10%)	S=19.494m (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,35E+05	1,35E+05	1,41E+05	1,41E+05	1,41E+05	1,41E+05
11	1,50E+05	1,50E+05	1,57E+05	1,57E+05	1,58E+05	1,58E+05
12	1,75E+05	1,73E+05	1,82E+05	1,81E+05	1,80E+05	1,80E+05
13	1,89E+05	1,90E+05	2,00E+05	2,02E+05	2,03E+05	2,04E+05
14	2,65E+05	2,65E+05	2,66E+05	2,66E+05	2,65E+05	2,64E+05
15	2,71E+05	2,66E+05	2,83E+05	2,81E+05	2,79E+05	2,78E+05
16	2,87E+05	2,87E+05	3,27E+05	3,28E+05	3,30E+05	3,32E+05
17	4,15E+05	4,18E+05	4,61E+05	4,63E+05	4,63E+05	4,61E+05
18	5,74E+05	5,71E+05	6,52E+05	5,99E+05	5,90E+05	5,79E+05
19	6,65E+05	6,45E+05	6,72E+05	6,49E+05	6,31E+05	6,13E+05
20	6,55E+05	6,22E+05	6,50E+05	6,24E+05	6,03E+05	5,87E+05
21	6,17E+05	5,87E+05	6,25E+05	6,05E+05	5,91E+05	5,79E+05

### 5.1.2 Γάστρα HULLD

Στον πίνακα 5.14 και το σχήμα που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULLD. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.14 Υδροστατικά στοιχεία γάστρας HULL D**

T m	DISP t	LCB m	KM	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	902.1	48.928	73.473	1056	45.0	8.8
2.874	2326.5	48.907	36.300	1618	53.6	10.6
4.311	3890.2	48.631	23.828	2151	51.8	10.9
5.748	5469.6	47.648	19.096	2709	55.2	11.4
7.185	7203.6	46.558	17.576	3286	73.8	12.8

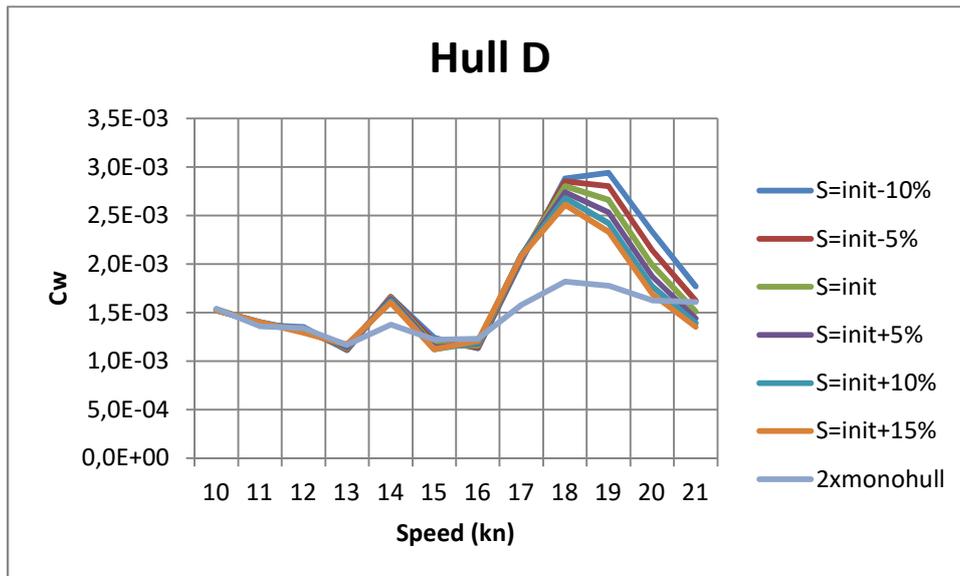
Στον Πίνακα 5.15 και στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL D. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσει της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας ( $S=\infty$ ).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.16 και στο Σχήμα 5.13.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.15: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULLD**

HULL D	S=15.265m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.961m (initial)	S=17.809m (initial+5%)	S=18.657m (initial+10%)	S=19.505m (initial+15%)	S= $\infty$ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1,53E-03	1,53E-03	1,53E-03	1,52E-03	1,52E-03	1,52E-03	1,53887E-03
11	1,37E-03	1,38E-03	1,39E-03	1,40E-03	1,40E-03	1,40E-03	1,35591E-03
12	1,35E-03	1,33E-03	1,32E-03	1,31E-03	1,30E-03	1,29E-03	1,33728E-03
13	1,11E-03	1,12E-03	1,13E-03	1,14E-03	1,16E-03	1,17E-03	1,16648E-03
14	1,66E-03	1,66E-03	1,65E-03	1,64E-03	1,62E-03	1,60E-03	1,37431E-03
15	1,24E-03	1,20E-03	1,16E-03	1,14E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,22033E-03
16	1,13E-03	1,14E-03	1,16E-03	1,18E-03	1,19E-03	1,21E-03	1,22943E-03
17	2,03E-03	2,06E-03	2,08E-03	2,09E-03	2,09E-03	2,08E-03	1,57749E-03
18	2,88E-03	2,85E-03	2,80E-03	2,74E-03	2,68E-03	2,61E-03	1,81687E-03
19	2,94E-03	2,80E-03	2,66E-03	2,53E-03	2,42E-03	2,33E-03	1,77361E-03
20	2,33E-03	2,14E-03	1,99E-03	1,87E-03	1,77E-03	1,69E-03	1,62343E-03
21	1,77E-03	1,62E-03	1,51E-03	1,44E-03	1,39E-03	1,35E-03	1,60812E-03

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 16kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική.

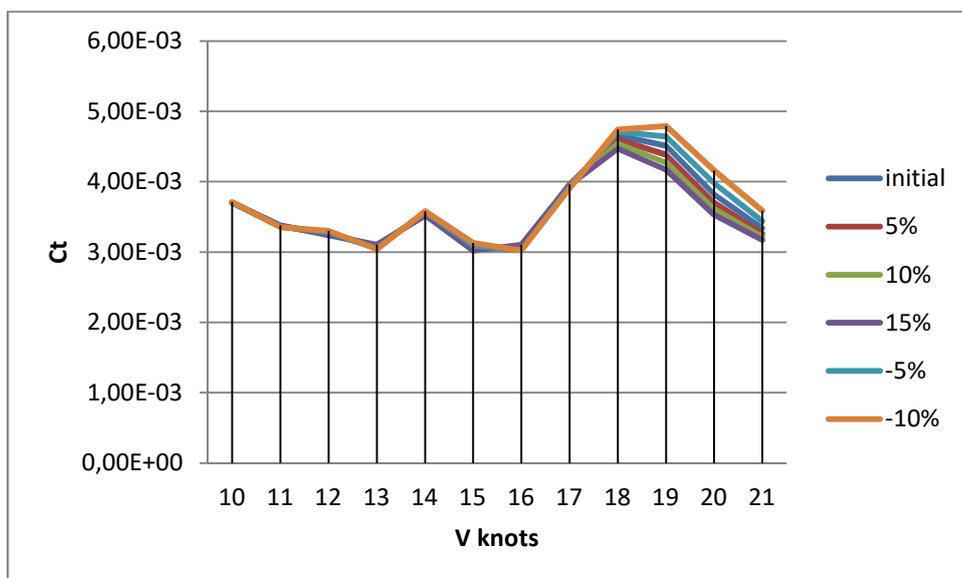


**ΣΧΗΜΑ 5.12: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL D.**

Πάνω από τους 16 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Οι τρεις μεγαλύτερες ισαποστάσεις έχουν παρόμοια αντίσταση κυματισμού. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι πολύ ισχυρότερη για τις τρεις μικρότερες ισαποστάσεις και ειδικότερα πάνω από τους 19 κόμβους παρόλα αυτά είναι σχετικά κοντά.

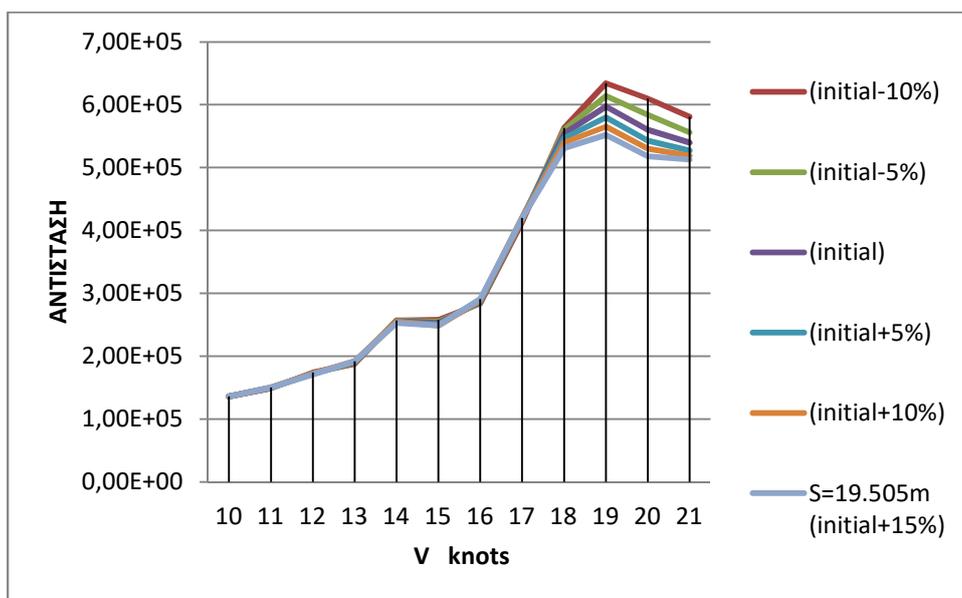
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.16: Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL D**

HULL D	S=15.265m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.961m (initial)	S=17.809m (initial+5%)	S=18.657m (initial+10%)	S=19.505m (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,71E-03	3,70E-03	3,70E-03	3,70E-03	3,70E-03	3,70E-03
11	3,35E-03	3,36E-03	3,36E-03	3,37E-03	3,37E-03	3,38E-03
12	3,30E-03	3,28E-03	3,27E-03	3,26E-03	3,25E-03	3,24E-03
13	3,04E-03	3,05E-03	3,06E-03	3,08E-03	3,09E-03	3,10E-03
14	3,58E-03	3,57E-03	3,56E-03	3,55E-03	3,54E-03	3,52E-03
15	3,13E-03	3,09E-03	3,06E-03	3,04E-03	3,02E-03	3,02E-03
16	3,02E-03	3,03E-03	3,05E-03	3,06E-03	3,08E-03	3,10E-03
17	3,90E-03	3,93E-03	3,95E-03	3,96E-03	3,96E-03	3,95E-03
18	4,74E-03	4,71E-03	4,66E-03	4,60E-03	4,54E-03	4,47E-03
19	4,79E-03	4,64E-03	4,51E-03	4,38E-03	4,27E-03	4,17E-03
20	4,16E-03	3,98E-03	3,82E-03	3,70E-03	3,61E-03	3,53E-03
21	3,59E-03	3,44E-03	3,34E-03	3,26E-03	3,21E-03	3,17E-03



ΣΧΗΜΑ 5.13 Συντελεστής ολικής αντίστασης HULL D

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL D βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULLD έχουμε ότι  $A = 2709 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg / m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζω τον Πίνακα 5.17 των συνολικών αντιστάσεων.



ΣΧΗΜΑ 5.14 Συνολικές Αντιστάσεις γάστρας HULL D

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.17 Συνολικές Αντιστάσεις γάστρας HULL D

HULL D	S=15.265m (initial-10%)	S=16.112m (initial-5%)	S=16.961m (initial)	S=17.809m (initial+5%)	S=18.657m (initial+10%)	S=19.505m (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05
11	1,49E+05	1,49E+05	1,49E+05	1,50E+05	1,50E+05	1,50E+05
12	1,74E+05	1,73E+05	1,73E+05	1,72E+05	1,72E+05	1,71E+05
13	1,88E+05	1,89E+05	1,90E+05	1,91E+05	1,92E+05	1,92E+05
14	2,57E+05	2,57E+05	2,56E+05	2,55E+05	2,55E+05	2,53E+05
15	2,58E+05	2,55E+05	2,53E+05	2,51E+05	2,49E+05	2,49E+05
16	2,84E+05	2,85E+05	2,86E+05	2,87E+05	2,89E+05	2,91E+05
17	4,13E+05	4,17E+05	4,19E+05	4,20E+05	4,20E+05	4,19E+05
18	5,63E+05	5,60E+05	5,54E+05	5,47E+05	5,40E+05	5,31E+05
19	6,34E+05	6,14E+05	5,97E+05	5,80E+05	5,65E+05	5,52E+05
20	6,10E+05	5,84E+05	5,60E+05	5,43E+05	5,30E+05	5,18E+05
21	5,81E+05	5,56E+05	5,40E+05	5,27E+05	5,19E+05	5,13E+05

### 5.1.4 Γάστρα HULL SWATH A

Στον πίνακα 5.18 που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULL SWATHA. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.18 Υδροστατικά μεγέθη γάστρας HULL SWATH A**

T m	DISP t	LCB m	KM	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	902.1	48.928	73.473	1056	45.0	8.8
2.874	2326.5	48.907	36.300	1618	53.6	10.6
4.311	3890.2	48.631	23.828	2151	51.8	10.9
5.748	5469.6	47.648	19.096	2709	55.2	11.4
7.185	7203.6	46.558	17.576	3286	73.8	12.8

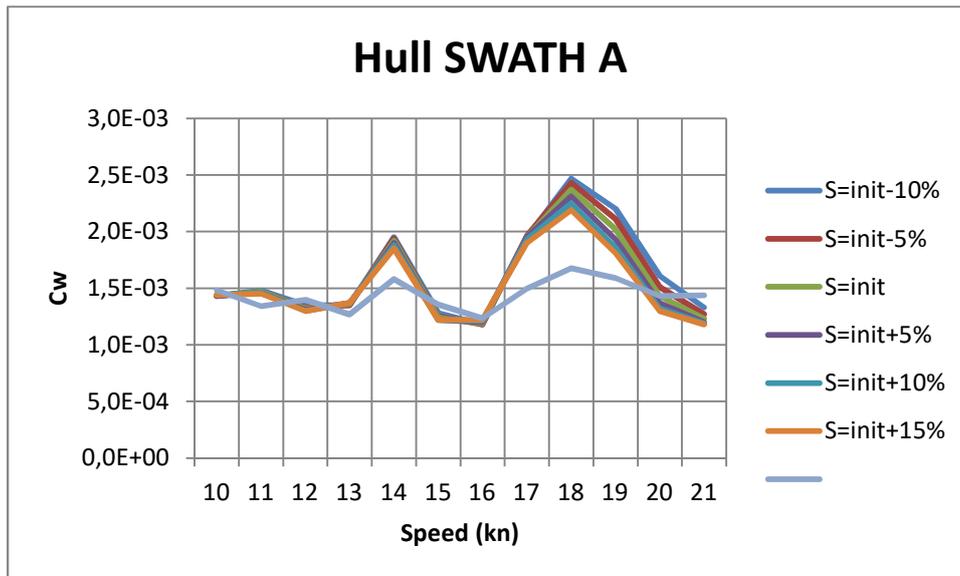
Στον Πίνακα 5.19 και στο Σχήμα 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL SWATH A. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσει της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας ( $S=\infty$ ).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.20 και στο Σχήμα 5.17.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.19 Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL SWATH A**

HULL SWATH A	S=15.240m (initial-10%)	S=16.087m (initial-5%)	S=16.934m (initial)	S=17.780m (initial+5%)	S=18.627m (initial+10%)	S=19.474m (initial+15%)	S= $\infty$ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1,43E-03	1,43E-03	1,43E-03	1,43E-03	1,44E-03	1,44E-03	1,48102E-03
11	1,48E-03	1,47E-03	1,47E-03	1,46E-03	1,46E-03	1,45E-03	1,33998E-03
12	1,35E-03	1,33E-03	1,32E-03	1,31E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,39862E-03
13	1,35E-03	1,35E-03	1,36E-03	1,37E-03	1,37E-03	1,37E-03	1,26648E-03
14	1,95E-03	1,94E-03	1,92E-03	1,90E-03	1,88E-03	1,85E-03	1,58021E-03
15	1,28E-03	1,25E-03	1,24E-03	1,22E-03	1,22E-03	1,22E-03	1,35630E-03
16	1,18E-03	1,18E-03	1,19E-03	1,20E-03	1,21E-03	1,22E-03	1,23449E-03
17	1,95E-03	1,96E-03	1,95E-03	1,95E-03	1,93E-03	1,90E-03	1,49572E-03
18	2,47E-03	2,43E-03	2,37E-03	2,31E-03	2,25E-03	2,19E-03	1,67566E-03
19	2,20E-03	2,11E-03	2,02E-03	1,93E-03	1,86E-03	1,81E-03	1,58969E-03
20	1,61E-03	1,51E-03	1,43E-03	1,37E-03	1,32E-03	1,30E-03	1,43247E-03
21	1,33E-03	1,27E-03	1,23E-03	1,20E-03	1,19E-03	1,18E-03	1,43779E-03

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 16kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική.

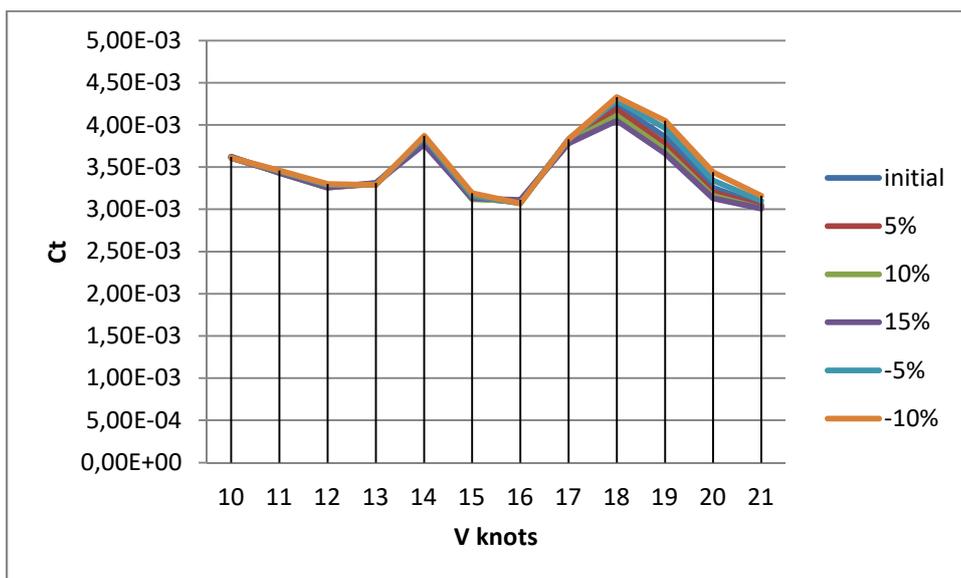


ΣΧΗΜΑ 5.15: Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL SWATH A.

Πάνω από τους 16 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι περίπου ίδια με μεγαλύτερη την στενοτερη γάστρα.

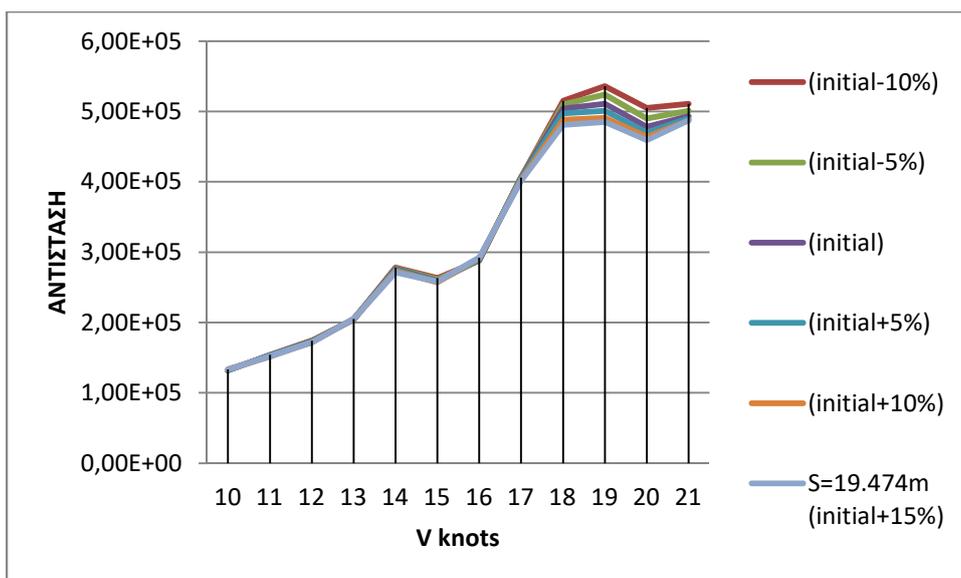
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.20 Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL SWATH A

HULL SWATH A	S=15.240m (initial-10%)	S=16.087m (initial-5%)	S=16.934m (initial)	S=17.780m (initial+5%)	S=18.627m (initial+10%)	S=19.474m (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,61E-03	3,61E-03	3,61E-03	3,61E-03	3,62E-03	3,62E-03
11	3,46E-03	3,45E-03	3,44E-03	3,44E-03	3,43E-03	3,43E-03
12	3,30E-03	3,29E-03	3,27E-03	3,26E-03	3,26E-03	3,26E-03
13	3,29E-03	3,29E-03	3,30E-03	3,30E-03	3,31E-03	3,31E-03
14	3,87E-03	3,85E-03	3,84E-03	3,82E-03	3,80E-03	3,77E-03
15	3,19E-03	3,16E-03	3,14E-03	3,13E-03	3,12E-03	3,13E-03
16	3,07E-03	3,07E-03	3,08E-03	3,09E-03	3,10E-03	3,11E-03
17	3,83E-03	3,83E-03	3,83E-03	3,82E-03	3,80E-03	3,78E-03
18	4,33E-03	4,29E-03	4,24E-03	4,18E-03	4,11E-03	4,05E-03
19	4,05E-03	3,96E-03	3,86E-03	3,78E-03	3,71E-03	3,66E-03
20	3,44E-03	3,34E-03	3,26E-03	3,20E-03	3,16E-03	3,13E-03
21	3,16E-03	3,10E-03	3,05E-03	3,03E-03	3,01E-03	3,01E-03



ΣΧΗΜΑ 5.16 Συντελεστής ολικής αντίστασης SWATH A

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL SWATH A βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULL SWATH A έχουμε ότι  $A = 2709 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg / m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζεται ο Πίνακας 5.21 των συνολικών αντιστάσεων.



ΣΧΗΜΑ 5.17 Συνολικές αντιστάσεις γάστρας HULL SWATH A

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.21 Συνολικές αντιστάσεις γάστρας HULL SWATH A

HULL SWATH A	S=15.240m (initial-10%)	S=16.087m (initial-5%)	S=16.934m (initial)	S=17.780m (initial+5%)	S=18.627m (initial+10%)	S=19.474m (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,32E+05	1,32E+05	1,32E+05	1,32E+05	1,33E+05	1,33E+05
11	1,54E+05	1,53E+05	1,53E+05	1,53E+05	1,52E+05	1,52E+05
12	1,74E+05	1,74E+05	1,73E+05	1,72E+05	1,72E+05	1,72E+05
13	2,04E+05	2,04E+05	2,05E+05	2,05E+05	2,05E+05	2,05E+05
14	2,78E+05	2,77E+05	2,76E+05	2,75E+05	2,73E+05	2,71E+05
15	2,63E+05	2,61E+05	2,59E+05	2,58E+05	2,57E+05	2,58E+05
16	2,88E+05	2,88E+05	2,89E+05	2,90E+05	2,91E+05	2,92E+05
17	4,06E+05	4,06E+05	4,06E+05	4,05E+05	4,03E+05	4,01E+05
18	5,15E+05	5,10E+05	5,04E+05	4,97E+05	4,88E+05	4,81E+05
19	5,36E+05	5,24E+05	5,11E+05	5,01E+05	4,91E+05	4,85E+05
20	5,05E+05	4,90E+05	4,78E+05	4,70E+05	4,64E+05	4,59E+05
21	5,11E+05	5,01E+05	4,93E+05	4,90E+05	4,87E+05	4,87E+05

### 5.1.5 Γάστρα HULL SWATH B

Στον πίνακα 5.22 που ακολουθεί δίνονται τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας HULL SWATH B. Το βύθισμα σχεδίασης ισούται με 5.748m.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.22 Υδροστατικά στοιχεία γάστρας HULL SWATH B**

T m	DISP t	LCB m	KMT m	WSA m <sup>2</sup>	MCT tm/cm	TPC t/cm
1.437	1000.3	48.637	72.601	1126	46.6	9.6
2.874	2521.4	48.687	34.976	1680	56.4	11.1
4.311	4046.2	48.482	20.627	2227	49.1	9.8
5.748	5383.6	47.490	16.114	2791	48.2	9.4
7.185	6861.2	46.344	16.249	3378	67.7	11.3

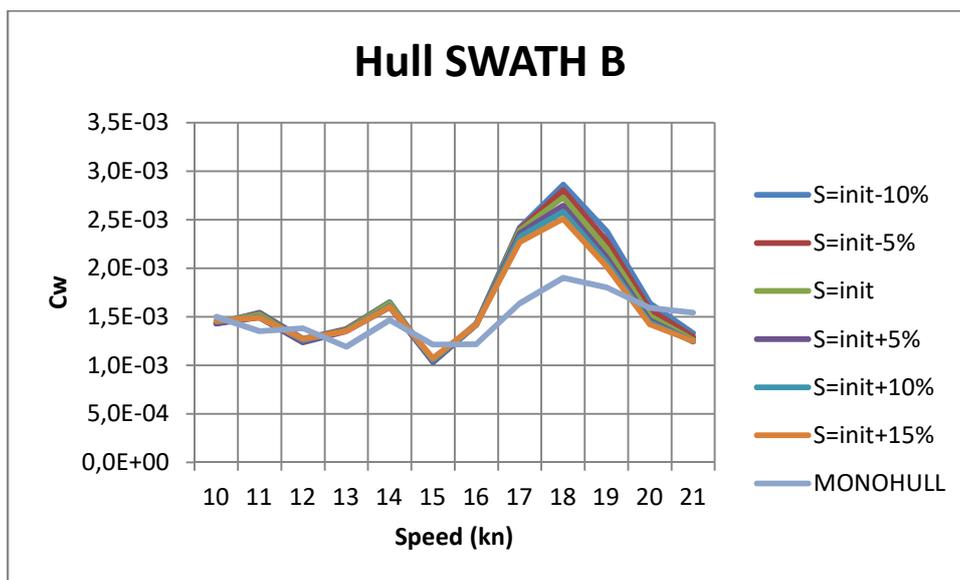
Στον Πίνακα 5.23 και στο Σχήμα 5.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την γάστρα HULL SWATH B. Δίνεται ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού συναρτήσει της ταχύτητας για τις 6 ισαποστάσεις, καθώς και για την περίπτωση της μιας γάστρας ( $S=\infty$ ).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον ολικό συντελεστή αντίστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.24 και στο Σχήμα 5.19.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.23 : Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL SWATH B**

HULL SWATH B	S=15.232m (initial-10%)	S=16.078m (initial-5%)	S=16.925m (initial)	S=17.771m (initial+5%)	S=18.617m (initial+10%)	S=19.464m (initial+15%)	S= $\infty$ (monoHULL)
V(knots)	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw	Cw
10	1,43E-03	1,43E-03	1,44E-03	1,431E-03	1,45E-03	1,46E-03	1,49836E-03
11	1,54E-03	1,53E-03	1,52E-03	1,492E-03	1,50E-03	1,49E-03	1,34898E-03
12	1,27E-03	1,26E-03	1,25E-03	1,235E-03	1,26E-03	1,27E-03	1,38052E-03
13	1,37E-03	1,37E-03	1,36E-03	1,349E-03	1,36E-03	1,35E-03	1,18919E-03
14	1,65E-03	1,64E-03	1,64E-03	1,597E-03	1,61E-03	1,60E-03	1,46613E-03
15	1,04E-03	1,04E-03	1,03E-03	1,030E-03	1,05E-03	1,07E-03	1,21345E-03
16	1,43E-03	1,42E-03	1,42E-03	1,419E-03	1,42E-03	1,42E-03	1,21431E-03
17	2,42E-03	2,40E-03	2,39E-03	2,356E-03	2,32E-03	2,27E-03	1,63545E-03
18	2,86E-03	2,80E-03	2,73E-03	2,644E-03	2,58E-03	2,51E-03	1,90074E-03
19	2,38E-03	2,28E-03	2,20E-03	2,110E-03	2,06E-03	2,02E-03	1,80266E-03
20	1,64E-03	1,57E-03	1,51E-03	1,464E-03	1,44E-03	1,42E-03	1,59226E-03
21	1,33E-03	1,29E-03	1,26E-03	1,241E-03	1,25E-03	1,25E-03	1,53986E-03

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέχρι την ταχύτητα των 16kn η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών δεν είναι πολύ σημαντική.

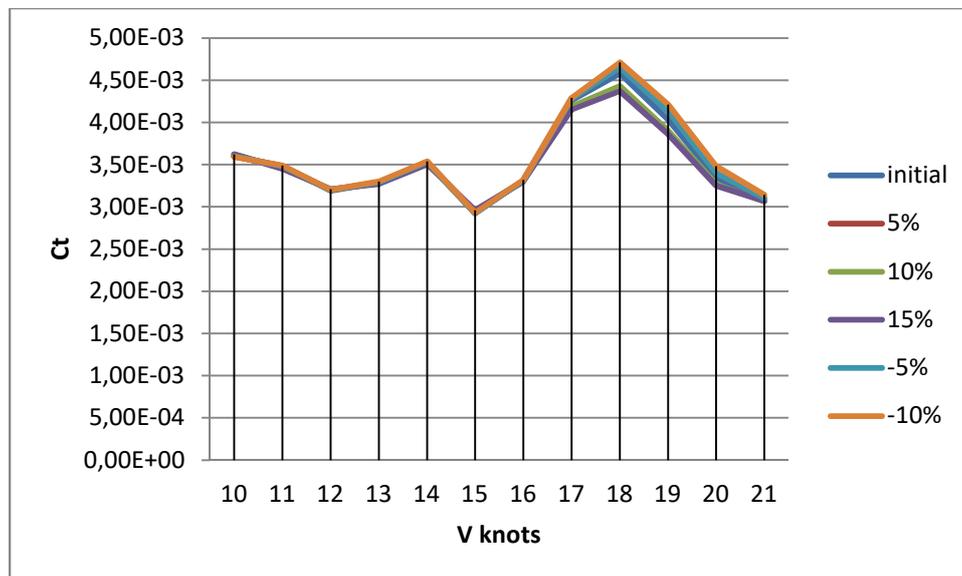


ΣΧΗΜΑ 5.18 Συντελεστής αντίστασης κυματισμού, Γάστρα HULL SWATH B.

Πάνω από τους 16 κόμβους αντίθετα, οι συντελεστές αντίστασης κυματισμού των δίγαστρων πλοίων είναι πολύ μεγαλύτεροι από αυτόν του μονόγαστρου. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γαστρών είναι σχετική για όλες τις γάστρες.

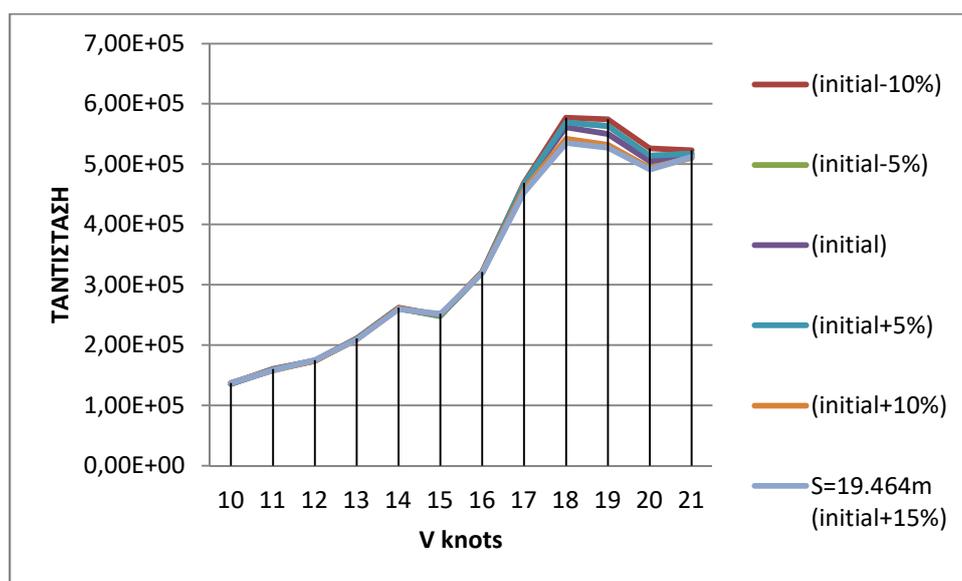
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.24 Συντελεστής ολικής αντίστασης, Γάστρα HULL SWATH B

HULL SWATH B	S=15.232m (initial-10%)	S=16.078m (initial-5%)	S=16.925m (initial)	S=17.771m (initial+5%)	S=18.617m (initial+10%)	S=19.464m (initial+15%)
V(knots)	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct	Ct
10	3,59E-03	3,60E-03	3,60E-03	3,60E-03	3,62E-03	3,62E-03
11	3,49E-03	3,48E-03	3,48E-03	3,48E-03	3,46E-03	3,45E-03
12	3,20E-03	3,20E-03	3,19E-03	3,20E-03	3,20E-03	3,21E-03
13	3,30E-03	3,29E-03	3,29E-03	3,29E-03	3,28E-03	3,27E-03
14	3,54E-03	3,53E-03	3,53E-03	3,53E-03	3,51E-03	3,50E-03
15	2,93E-03	2,92E-03	2,93E-03	2,92E-03	2,94E-03	2,96E-03
16	3,32E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,30E-03
17	4,29E-03	4,28E-03	4,26E-03	4,28E-03	4,19E-03	4,15E-03
18	4,71E-03	4,65E-03	4,58E-03	4,65E-03	4,43E-03	4,37E-03
19	4,21E-03	4,13E-03	4,03E-03	4,13E-03	3,90E-03	3,86E-03
20	3,48E-03	3,40E-03	3,34E-03	3,40E-03	3,27E-03	3,25E-03
21	3,14E-03	3,10E-03	3,08E-03	3,10E-03	3,06E-03	3,07E-03



ΣΧΗΜΑ 5.19 Συντελεστής ολικής αντίστασης SWATH B

Θα υπολογίσουμε την ολική αντίσταση της HULL SWATH B βάσει του τύπου  $R_T = 1/2 \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$  όπου  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$ ,  $A$  η βρεχόμενη επιφάνεια σε  $m^2$  και  $V$  η ταχύτητα σε  $m/sec$ . Για την HULL SWATH B έχουμε ότι  $A = 2791 m^2$ , και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι  $1025 kg/m^3$ . Με τις τιμές αυτές κατασκευάζεται ο Πίνακας 5.25 των συνολικών αντιστάσεων.



ΣΧΗΜΑ 5.20 Συνολικές αντιστάσεις γάστρας HULL SWATH B

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.25 Συνολικές αντιστάσεις γάστρας HULL SWATH B

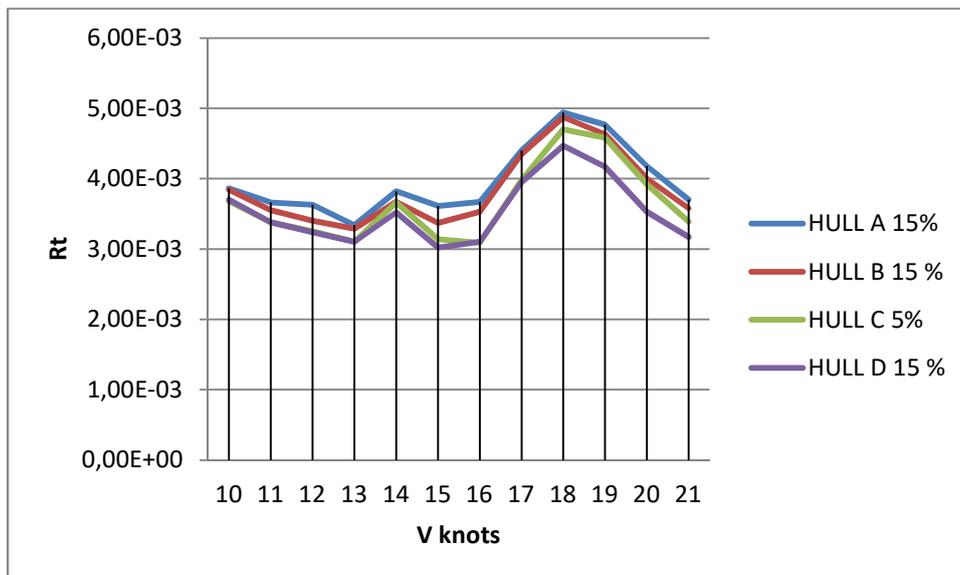
HULL SWATH B	S=15.232m (initial-10%)	S=16.078m (initial-5%)	S=16.925m (initial)	S=17.771m (initial+5%)	S=18.617m (initial+10%)	S=19.464m (initial+15%)
V(knots)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
10	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,37E+05	1,37E+05
11	1,60E+05	1,59E+05	1,59E+05	1,59E+05	1,58E+05	1,58E+05
12	1,74E+05	1,74E+05	1,74E+05	1,74E+05	1,74E+05	1,75E+05
13	2,11E+05	2,10E+05	2,10E+05	2,10E+05	2,09E+05	2,09E+05
14	2,62E+05	2,61E+05	2,61E+05	2,61E+05	2,60E+05	2,59E+05
15	2,49E+05	2,48E+05	2,49E+05	2,48E+05	2,50E+05	2,52E+05
16	3,21E+05	3,20E+05	3,20E+05	3,20E+05	3,20E+05	3,19E+05
17	4,69E+05	4,67E+05	4,65E+05	4,67E+05	4,58E+05	4,53E+05
18	5,77E+05	5,69E+05	5,61E+05	5,69E+05	5,42E+05	5,35E+05
19	5,74E+05	5,63E+05	5,50E+05	5,63E+05	5,32E+05	5,27E+05
20	5,26E+05	5,14E+05	5,05E+05	5,14E+05	4,94E+05	4,91E+05
21	5,23E+05	5,17E+05	5,13E+05	5,17E+05	5,10E+05	5,12E+05

### 6.1 ΣΧΗΜΑΤΑ C<sub>T</sub> - V

Κάνω μια σύγκριση των συντελεστών ολικής αντίστασης για τα HULL A, B, C, D όπου παρουσιάζουν τις μικρότερες αντιστάσεις και έχω τον Πίνακα 6.1 και το Σχήμα 6.1.

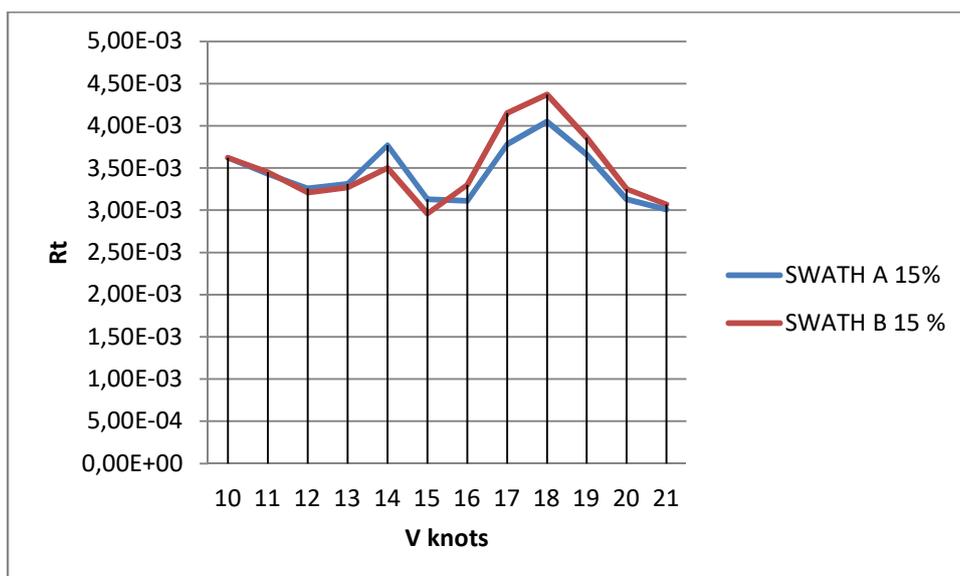
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Σύγκριση συντελεστών ολικής αντίστασης HULL A, B, C, D**

V knots	HULL A	HULL B	HULL C	HULL D
	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>	<b>15%</b>
10	3,86E-03	3,84E-03	3,68E-03	3,70E-03
11	3,66E-03	3,55E-03	3,38E-03	3,38E-03
12	3,63E-03	3,40E-03	3,25E-03	3,24E-03
13	3,34E-03	3,29E-03	3,10E-03	3,10E-03
14	3,82E-03	3,67E-03	3,66E-03	3,52E-03
15	3,61E-03	3,37E-03	3,14E-03	3,02E-03
16	3,67E-03	3,53E-03	3,09E-03	3,10E-03
17	4,40E-03	4,35E-03	3,98E-03	3,95E-03
18	4,94E-03	4,87E-03	4,70E-03	4,47E-03
19	4,77E-03	4,63E-03	4,58E-03	4,17E-03
20	4,18E-03	4,00E-03	3,92E-03	3,53E-03
21	3,70E-03	3,58E-03	3,39E-03	3,17E-03



ΣΧΗΜΑ 6.1 Σύγκριση συντελεστών ολικής αντίστασης HULL A, B, C, D

Αντίστοιχα έχω για τους μικρότερους συντελεστές ολικής αντίστασης για τις γάστρες HULL SWATH A και SWATH B τον Πίνακα 6.2 και το Σχήμα 6.2.



ΣΧΗΜΑ 6.2 Σύγκριση συντελεστών ολικής αντίστασης HULL SWATH A, B

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 Σύγκριση συντελεστών ολικής αντίστασης HULL SWATH A, B

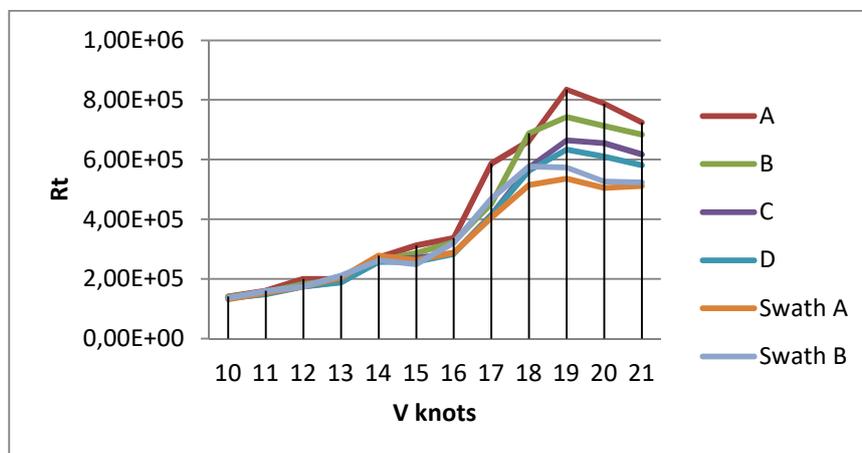
V knots	SWATH A	SWATH B
	<b>15%</b>	<b>15%</b>
10	3,62E-03	3,62E-03
11	3,43E-03	3,45E-03
12	3,26E-03	3,21E-03
13	3,31E-03	3,27E-03
14	3,77E-03	3,50E-03
15	3,13E-03	2,96E-03
16	3,11E-03	3,30E-03
17	3,78E-03	4,15E-03
18	4,05E-03	4,37E-03
19	3,66E-03	3,86E-03
20	3,13E-03	3,25E-03
21	3,01E-03	3,07E-03

## 7. ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ- ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Σχηματίζω πίνακες και διαγράμματα για τις ίδιες ισαποστάσεις μεταξύ των γαστρών και συγκρίνω ποια έχει την μικρότερη ολική αντίσταση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1 Σύγκριση ολικών αντιστάσεων για απόσταση S-10 %**

HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,41E+05	1,40E+05	1,35E+05	1,36E+05	1,32E+05	1,36E+05
11	1,61E+05	1,56E+05	1,50E+05	1,49E+05	1,54E+05	1,60E+05
12	2,00E+05	1,83E+05	1,75E+05	1,74E+05	1,74E+05	1,74E+05
13	2,00E+05	1,97E+05	1,89E+05	1,88E+05	2,04E+05	2,11E+05
14	2,72E+05	2,62E+05	2,65E+05	2,57E+05	2,78E+05	2,62E+05
15	3,12E+05	2,87E+05	2,71E+05	2,58E+05	2,63E+05	2,49E+05
16	3,37E+05	3,23E+05	2,87E+05	2,84E+05	2,88E+05	3,21E+05
17	5,86E+05	4,52E+05	4,15E+05	4,13E+05	4,06E+05	4,69E+05
18	6,62E+05	6,88E+05	5,74E+05	5,63E+05	5,15E+05	5,77E+05
19	8,35E+05	7,43E+05	6,65E+05	6,34E+05	5,36E+05	5,74E+05
20	7,88E+05	7,13E+05	6,55E+05	6,10E+05	5,05E+05	5,26E+05
21	7,24E+05	6,84E+05	6,17E+05	5,81E+05	5,11E+05	5,23E+05

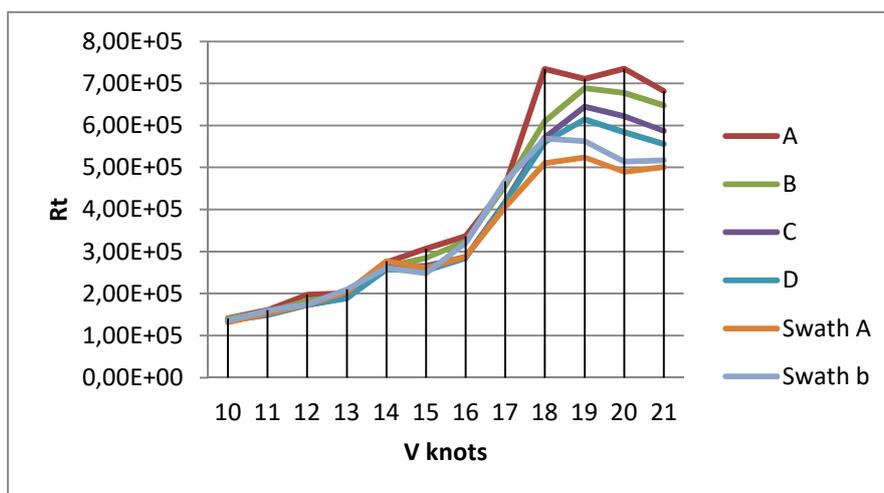


**ΣΧΗΜΑ 7.1 Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση -10%**

Για απόσταση μικρότερη κατά 5% της αρχικής έχω.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση S- 5%

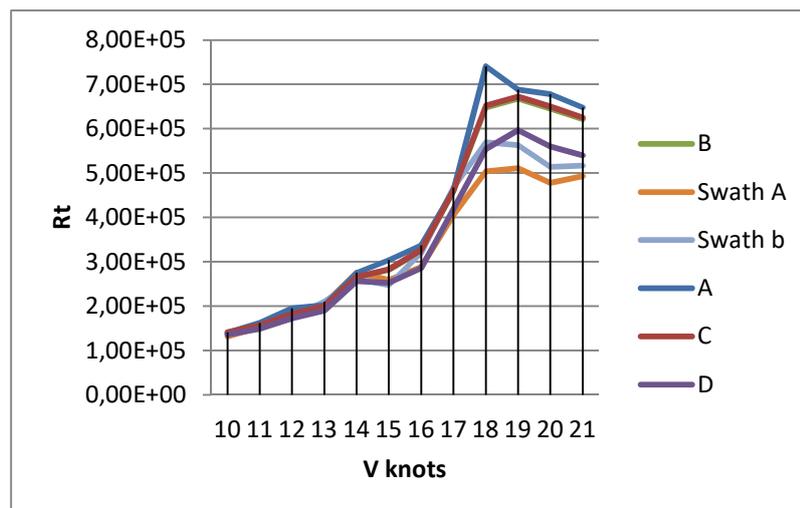
HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,41E+05	1,40E+05	1,35E+05	1,36E+05	1,32E+05	1,36E+05
11	1,61E+05	1,56E+05	1,50E+05	1,49E+05	1,53E+05	1,59E+05
12	1,97E+05	1,82E+05	1,73E+05	1,73E+05	1,74E+05	1,74E+05
13	2,01E+05	1,98E+05	1,90E+05	1,89E+05	2,04E+05	2,10E+05
14	2,74E+05	2,64E+05	2,65E+05	2,57E+05	2,77E+05	2,61E+05
15	3,07E+05	2,85E+05	2,66E+05	2,55E+05	2,61E+05	2,48E+05
16	3,36E+05	3,24E+05	2,87E+05	2,85E+05	2,88E+05	3,20E+05
17	4,56E+05	4,56E+05	4,18E+05	4,17E+05	4,06E+05	4,67E+05
18	7,34E+05	6,10E+05	5,71E+05	5,60E+05	5,10E+05	5,69E+05
19	7,11E+05	6,89E+05	6,45E+05	6,14E+05	5,24E+05	5,63E+05
20	7,35E+05	6,77E+05	6,22E+05	5,84E+05	4,90E+05	5,14E+05
21	6,82E+05	6,48E+05	5,87E+05	5,56E+05	5,01E+05	5,17E+05



**ΣΧΗΜΑ 7.2** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση -5%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση αρχική (INITIAL)

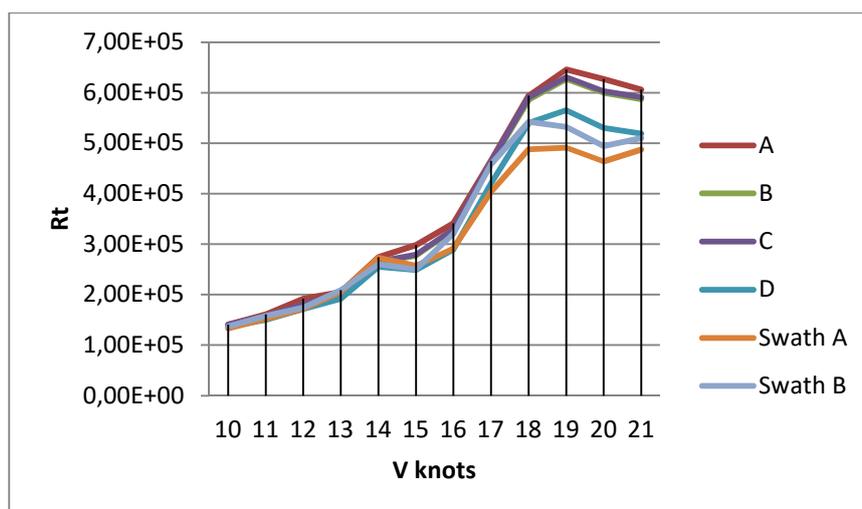
HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,40E+05	1,40E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,32E+05	1,36E+05
11	1,62E+05	1,56E+05	1,57E+05	1,49E+05	1,53E+05	1,59E+05
12	1,95E+05	1,81E+05	1,82E+05	1,73E+05	1,73E+05	1,74E+05
13	2,02E+05	1,99E+05	2,00E+05	1,90E+05	2,05E+05	2,10E+05
14	2,75E+05	2,65E+05	2,66E+05	2,56E+05	2,76E+05	2,61E+05
15	3,04E+05	2,82E+05	2,83E+05	2,53E+05	2,59E+05	2,48E+05
16	3,37E+05	3,25E+05	3,27E+05	2,86E+05	2,89E+05	3,20E+05
17	4,61E+05	4,59E+05	4,61E+05	4,19E+05	4,06E+05	4,67E+05
18	7,41E+05	6,48E+05	6,52E+05	5,54E+05	5,04E+05	5,69E+05
19	6,88E+05	6,68E+05	6,72E+05	5,97E+05	5,11E+05	5,63E+05
20	6,78E+05	6,46E+05	6,50E+05	5,60E+05	4,78E+05	5,14E+05
21	6,48E+05	6,21E+05	6,25E+05	5,40E+05	4,93E+05	5,17E+05



**ΣΧΗΜΑ 7.3** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση αρχική (initial)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση + 5%

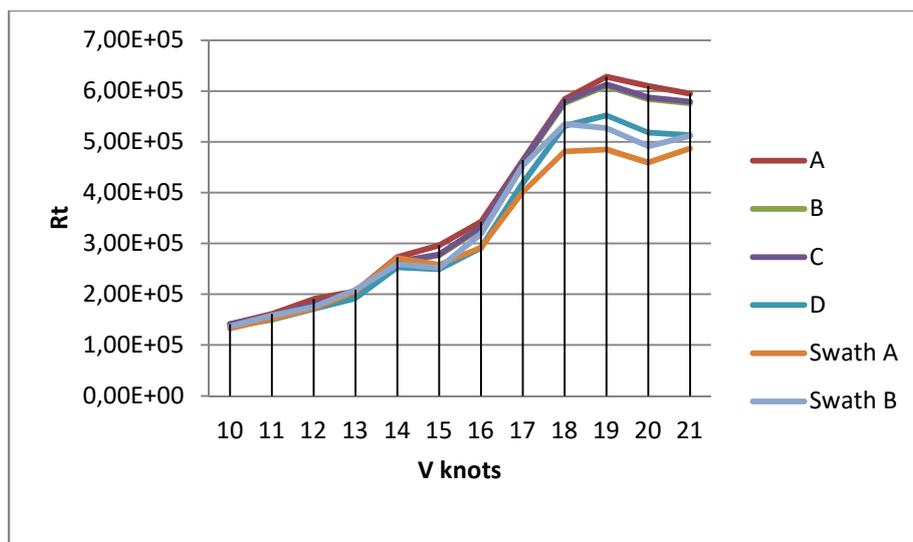
HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,40E+05	1,40E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,32E+05	1,36E+05
11	1,62E+05	1,56E+05	1,57E+05	1,50E+05	1,53E+05	1,59E+05
12	1,93E+05	1,80E+05	1,81E+05	1,72E+05	1,72E+05	1,74E+05
13	2,03E+05	2,00E+05	2,02E+05	1,91E+05	2,05E+05	2,10E+05
14	2,75E+05	2,65E+05	2,66E+05	2,55E+05	2,75E+05	2,61E+05
15	3,00E+05	2,79E+05	2,81E+05	2,51E+05	2,58E+05	2,48E+05
16	3,39E+05	3,26E+05	3,28E+05	2,87E+05	2,90E+05	3,20E+05
17	4,64E+05	4,61E+05	4,63E+05	4,20E+05	4,05E+05	4,67E+05
18	6,04E+05	5,96E+05	5,99E+05	5,47E+05	4,97E+05	5,69E+05
19	6,66E+05	6,45E+05	6,49E+05	5,80E+05	5,01E+05	5,63E+05
20	6,49E+05	6,20E+05	6,24E+05	5,43E+05	4,70E+05	5,14E+05
21	6,22E+05	6,02E+05	6,05E+05	5,27E+05	4,90E+05	5,17E+05



**ΣΧΗΜΑ 7.4** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση 5%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση +10%

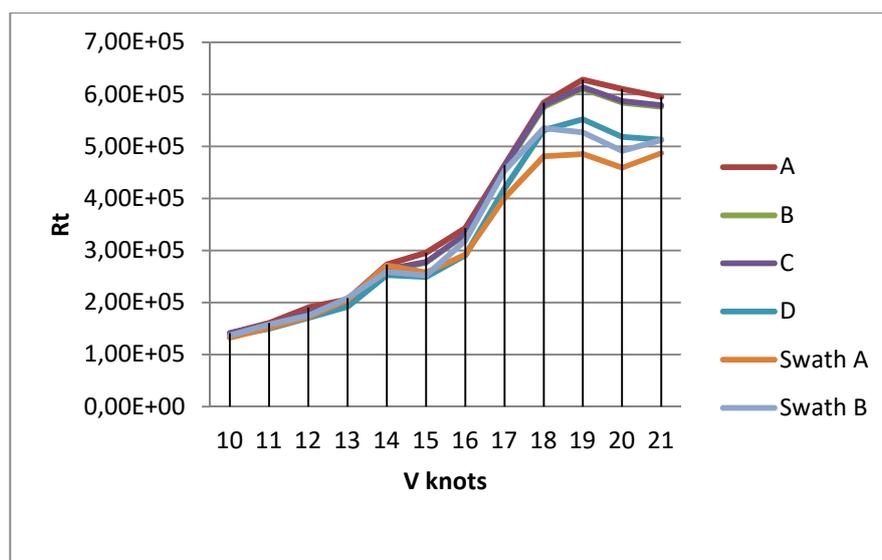
HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,41E+05	1,40E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,33E+05	1,37E+05
11	1,61E+05	1,57E+05	1,58E+05	1,50E+05	1,52E+05	1,58E+05
12	1,92E+05	1,79E+05	1,80E+05	1,72E+05	1,72E+05	1,74E+05
13	2,05E+05	2,02E+05	2,03E+05	1,92E+05	2,05E+05	2,09E+05
14	2,74E+05	2,64E+05	2,65E+05	2,55E+05	2,73E+05	2,60E+05
15	2,98E+05	2,77E+05	2,79E+05	2,49E+05	2,57E+05	2,50E+05
16	3,41E+05	3,28E+05	3,30E+05	2,89E+05	2,91E+05	3,20E+05
17	4,65E+05	4,61E+05	4,63E+05	4,20E+05	4,03E+05	4,58E+05
18	5,94E+05	5,86E+05	5,90E+05	5,40E+05	4,88E+05	5,42E+05
19	6,46E+05	6,27E+05	6,31E+05	5,65E+05	4,91E+05	5,32E+05
20	6,27E+05	6,00E+05	6,03E+05	5,30E+05	4,64E+05	4,94E+05
21	6,06E+05	5,87E+05	5,91E+05	5,19E+05	4,87E+05	5,10E+05



**ΣΧΗΜΑ 7.5** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση 10%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση +15%

HULL/V knots	A	B	C	D	Swath A	Swath B
10	1,41E+05	1,40E+05	1,41E+05	1,36E+05	1,33E+05	1,37E+05
11	1,61E+05	1,57E+05	1,58E+05	1,50E+05	1,52E+05	1,58E+05
12	1,91E+05	1,79E+05	1,80E+05	1,71E+05	1,72E+05	1,75E+05
13	2,06E+05	2,03E+05	2,04E+05	1,92E+05	2,05E+05	2,09E+05
14	2,73E+05	2,62E+05	2,64E+05	2,53E+05	2,71E+05	2,59E+05
15	2,96E+05	2,77E+05	2,78E+05	2,49E+05	2,58E+05	2,52E+05
16	3,43E+05	3,30E+05	3,32E+05	2,91E+05	2,92E+05	3,19E+05
17	4,64E+05	4,59E+05	4,61E+05	4,19E+05	4,01E+05	4,53E+05
18	5,84E+05	5,76E+05	5,79E+05	5,31E+05	4,81E+05	5,35E+05
19	6,28E+05	6,10E+05	6,13E+05	5,52E+05	4,85E+05	5,27E+05
20	6,10E+05	5,84E+05	5,87E+05	5,18E+05	4,59E+05	4,91E+05
21	5,95E+05	5,76E+05	5,79E+05	5,13E+05	4,87E+05	5,12E+05



**ΣΧΗΜΑ 7.7** Συνολικών Αντιστάσεων για απόσταση 15%



## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας συγκρίνοντας τις γάστρες μεταξύ τους μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

1. Στις ταχύτητες 12-13 κόμβους έχουμε μια πτώση της αντίστασης κυματισμού σε όλα τα δίγαστρα σκάφη που μελετήσαμε.
2. Μετά τους 16 κόμβους έχουμε απότομη αύξηση της αντίστασης κυματισμού που βρίσκει τα μέγιστα μεταξύ 18-20 κόμβων και μάλιστα ειδικά οι γάστρες HULL A και HULLB έχουν την μεγαλύτερη απόκλιση έως και 50% μεγαλύτερη τη αντίστασης των SWATH.
3. Οι γάστρες HULLA και HULLB έχουν παρόμοια συμπεριφορά σε όλο το μήκος των ταχυτήτων.
4. Οι γάστρες SWATH A και SWATH B φαίνονται να παρουσιάζουν την μικρότερη αντίσταση με καλλίτερη από τις δύο την SWATH A.
4. Μετά τους 19 κόμβους έχουμε πτώση της αντίστασης κυματισμού που οφείλεται στα φαινόμενα συμβολής αντισυμβολής των κυμάτων που παράγονται.
5. Μπορούμε να πούμε ότι για έναν περισσότερο σωστό έλεγχο των αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνουν πειραματικές δοκιμές στην δεξαμενή όπως επίσης να ελεγχθούν οι γάστρες και με άλλα προγράμματα, λαμβάνοντας υπ' όψιν και την επίδραση της συνεκτικότητας (CFD).

Επίσης μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αριθμητική και πειραματική μελέτη της συμπεριφοράς σε κυματισμούς των διαφόρων γαστρών προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση της ισαπόστασης μεταξύ των γαστρών αλλά και της μορφής της γάστρας στις κινήσεις και επιταχύνσεις κατά την πλεύση μέσα από θαλάσσιους κυματισμούς.



## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α.Δ. Παπανικολάου, «Μελέτη Πλοίου I,II».
2. Γ. Ζαραφωνίτης, «Μελέτη και Σχεδίαση πλοίων Νέας Τεχνολογίας».
3. G. Zaraphonitis, G. Grigoropoulos, D. Mourkoyiannis, «On The Resistance Prediction of High-Speed semiSWATH Hull Form».
4. Γ.Κ. Πολίτης, «Αντίσταση Πλοίου».
5. Dubronsky, V., Lyakhovitsky, A., Multihull Ships, Backbone Publishing Company,2001.
6. Insel, M., Molland, A.F., An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, vol. 134, 1992.
7. Molland, A.F., Wellicome, J.F., Couser, P.R., Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms, Proc. RINA 1995.
8. Millward, A., The Effect of Hull Separation and Restricted Water Depth on Catamaran Resistance, Proc. RINA, pp. 341-349, 1992.
9. Papanikolaou, A.,D., Types of Small Craft, 25th WEGEMT Graduate School on Small Craft Technology, Athens 1997.
10. Phillips, S., Review of recent Developments in Fast Sea Transportation and Future Potential, WEGEMT Workshop on Conceptual Designs of Fast Sea Transportation, Glasgow, 1996.
11. Tasaki, R., A Note on Wavemaking Resistance of Catamarans, Technical Report of the University of Michigan, Ann Arbor, 1962.
12. Shipflow –User Manual
13. Θ.Α. Λουκάκης, Υδροδυναμική Πλοίου: Αντίσταση Πρόωση».
14. Θ.Α. Λουκάκης, Γ.Ι. Γρηγορόπουλος, «Υδροδυναμική Σχεδίαση Μικρών Σκαφών».
15. Φ.Μ. Κορκόκιος, «Μελέτη Δίγαστρου Επιβατηγού Οχηματαγωγού Πλοίου» Διπλωματική Εργασία.
16. Ν. Βασιλειάδης «Πειραματική και Αριθμητική Διερεύνηση αντίστασης πλοίων τύπου semi-swath», Διπλωματική Εργασία.



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.**

### **ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΡΑ)**



**HULLA**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2015-12-05 time 16:45

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	106	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

T	DISP	LCB	KMT	WSA	MCT	TPC
m	t	m	m	m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	795.2	48.459	74.817	983	38.8	7.9
2.874	2133.0	47.858	38.649	1573	49.9	10.4
4.311	3731.4	47.182	26.561	2125	54.6	11.7
5.748	5483.6	46.175	21.477	2693	67.3	12.9
7.185	7442.9	45.171	19.041	3280	88.9	14.3

**HULLB**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2015-12-05 time 18:22

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	116	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

T	DISP	LCB	KMT	WSA	MCT	TPC
m	t	m	m	m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	829.9	47.919	74.228	1006	39.7	8.2
2.874	2193.0	47.635	37.880	1586	50.8	10.5
4.311	3781.3	47.209	25.739	2130	53.7	11.5
5.748	5487.0	46.197	20.798	2694	62.7	12.5
7.185	7377.3	45.077	18.564	3277	81.6	13.8

**HULL C**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2015-12-06 time 14:35

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	106	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

T	DISP	LCB	KMT	WSA	MCT	TPC
m	t	m	m	m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	883.0	49.496	73.614	1042	43.5	8.6
2.874	2294.5	49.287	36.782	1610	53.6	10.6
4.311	3871.5	48.756	24.338	2148	53.2	11.1
5.748	5488.1	47.551	19.577	2710	57.6	11.7
7.185	7274.7	46.280	17.892	3290	76.6	13.1

**HULL D**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

-----

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2015-12-06 time 14:31

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	106	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

-----

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

T	DISP	LCB	KM	WSA	MCT	TPC
m	t	m		m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	902.1	48.928	73.473	1056	45.0	8.8
2.874	2326.5	48.907	36.300	1618	53.6	10.6
4.311	3890.2	48.631	23.828	2151	51.8	10.9
5.748	5469.6	47.648	19.096	2709	55.2	11.4
7.185	7203.6	46.558	17.576	3286	73.8	12.8

**SWATH A**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2016-01-30 time 18:52

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	106	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

T	DISP	LCB	KMT	WSA	MCT	TPC
m	t	m	m	m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	965.2	48.998	72.859	1101	45.7	9.3
2.874	2453.9	49.057	35.555	1657	55.3	11.0
4.311	4003.6	48.755	21.89	2196	49.5	10.3
5.748	5446.1	47.586	17.376	2757	49.8	10.3
7.185	7037.3	46.304	16.785	3339	69.0	12.0

**SWATH B**

MAIN CHARACTERISTICS OF THE VESSEL:

Length between perpendiculars	91.72	m
Breadth (moulded)	8.72	m
Design draught (moulded)	5.75	m
X-coordinate of aft perpendicular	0.00	m
X-coordinate of reference point (XREF)	45.86	m
X-coordinate of midship section (XMID)	44.34	m
Thickness of keelplate	0.010	m
Mean thickness of shell plating	0.010	m
Seawater density	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Calculations are based on STABHULL date 2016-01-30 time 19:25

Shell thickness used in the calculation	10.0	mm
X-coord. of aft end of DWL	-3.00	m
X-coord. of fore end of DWL	91.72	m
Calc. sections	106	
Plate thickness	10.0	mm

EXPLANATION OF SYMBOLS:

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
KMT	transv. metac. height	m
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m <sup>2</sup>
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm

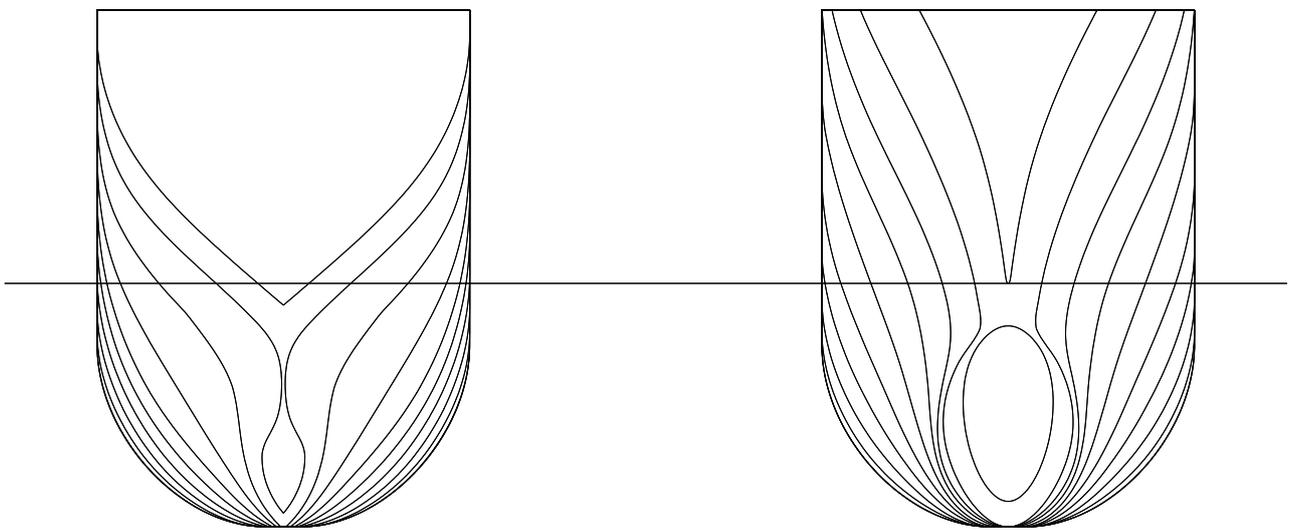
T	DISP	LCB	KMT	WSA	MCT	TPC
m	t	m	m	m <sup>2</sup>	tm/cm	t/cm
1.437	1000.3	48.637	72.601	1126	46.6	9.6
2.874	2521.4	48.687	34.976	1680	56.4	11.1
4.311	4046.2	48.482	20.627	2227	49.1	9.8
5.748	5383.6	47.490	16.114	2791	48.2	9.4
7.185	6861.2	46.344	16.249	3378	67.7	11.3

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

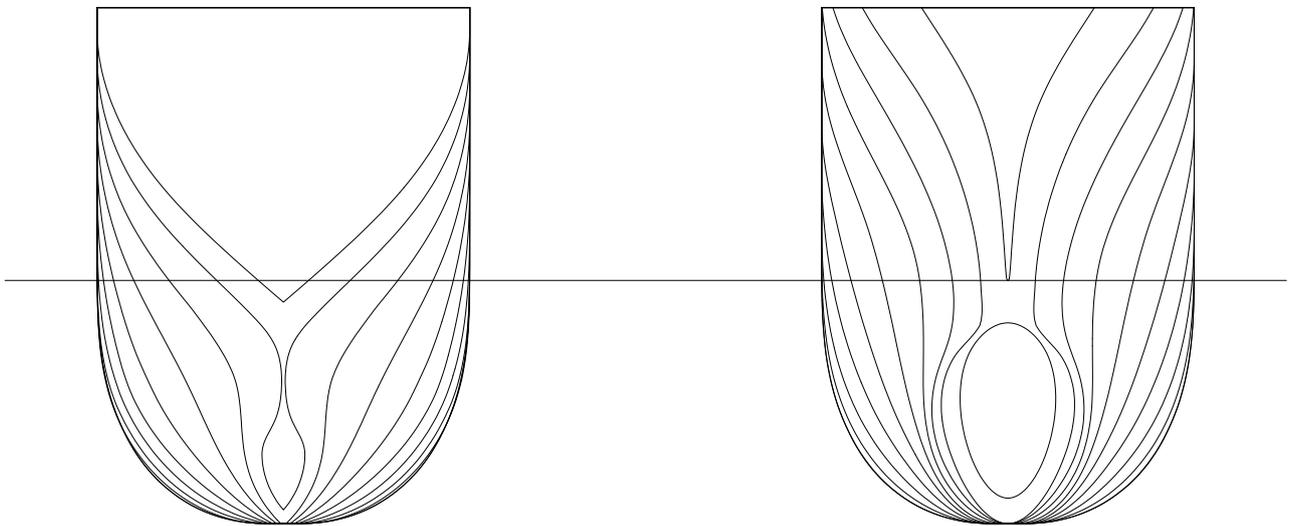
### ΣΧΕΔΙΑ ΤΩΝ ΓΑΣΤΡΩΝ ( AUTOCAD)



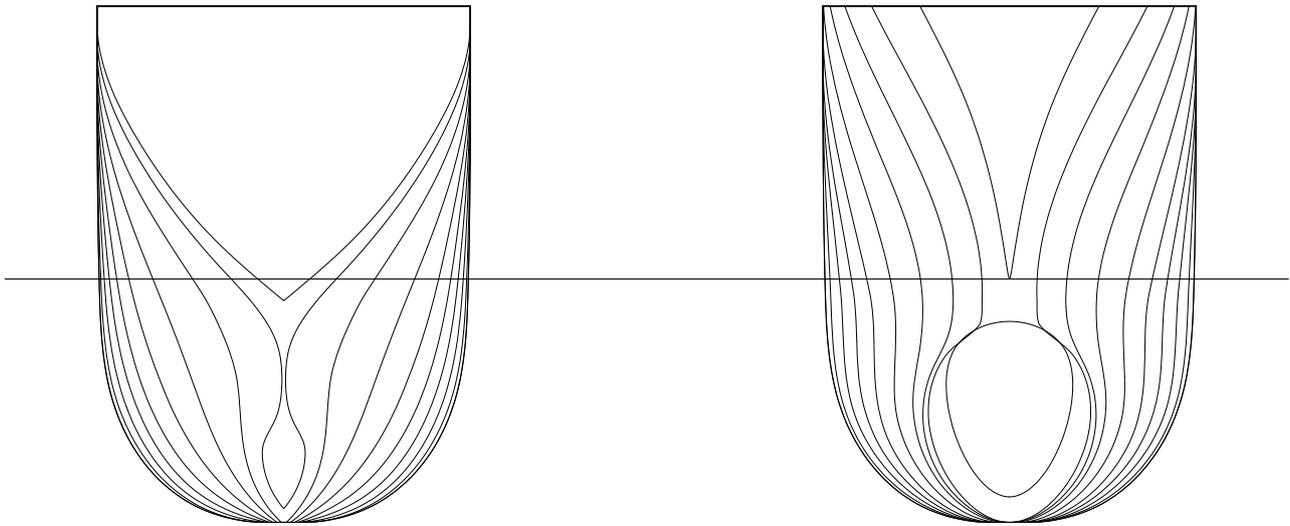
# HULL A



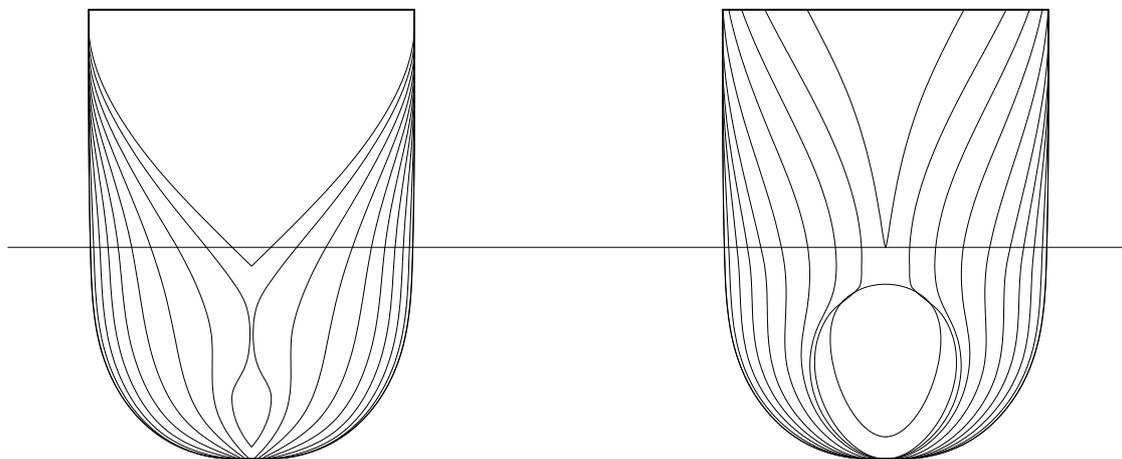
## HULL B



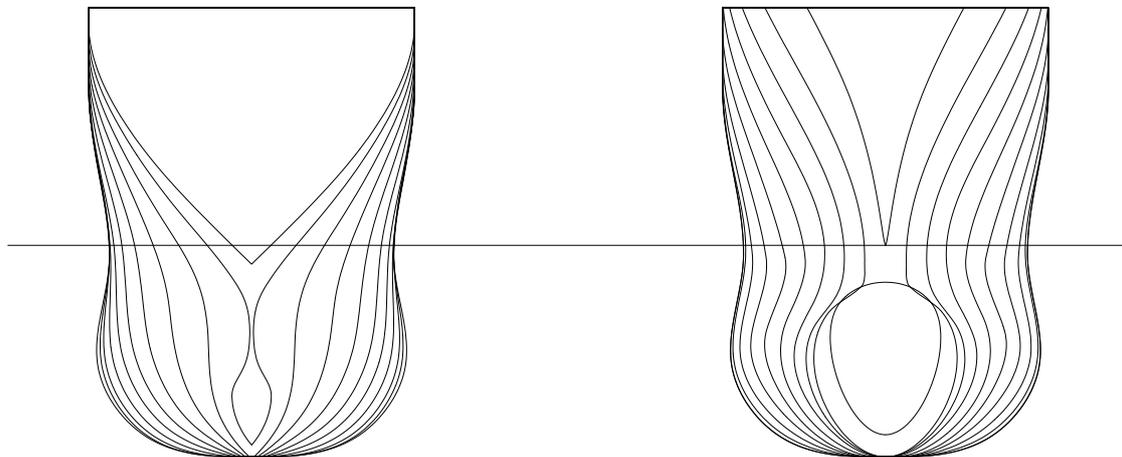
## HULL C



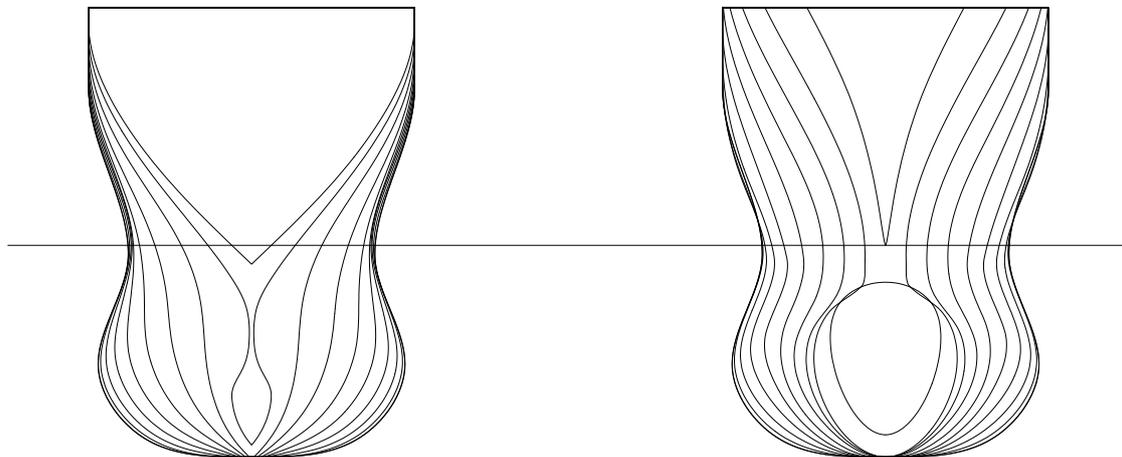
# HULL D



# HULL SWATH A



## HULL SWATH B



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

### SHIPFLOW



```
xflow
  titl( titl=" [CXPRESS]-i91720a Lwl=94.44")
  prog( xmesh , xpan )
  hull( catamaran )
  optim ( cw )
  offs(file = "off_19172swthb",Lpp=1.,xori=0.,yori=0.,
  zori=0.000399999)
  vshi( fn = [0.16903], Rn=[0.0])
  iposi(trim= 0)
```

end

xmesh

```
body( grno = 1, offsetgroup = "BODY1",
      station = 11, point = 15,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 2, offsetgroup = "BODY2",
      station = 45, point = 15 ,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 3, offsetgroup = "BODY3",
      station = 8, point = 7 ,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 4, offsetgroup = "BODY4",
      station =19, point = 15 ,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno =5, offsetgroup = "BODY1",
      station = 11, point = 15,ymir,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 6, offsetgroup = "BODY2",
      station = 45, point = 15,ymir,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 7, offsetgroup = "BODY3",
      station = 8, point = 7 ,ymir,ytra=-0.09001 )
```

```
body( grno = 8, offsetgroup = "BODY4",
      station =19, point = 15 ,ymir,ytra=-0.09001 )
```

```
free( grno = 9,y2side=0.0,
      nbd4 = 3, ibd4 = [5,6,8],
      point=4,xups=-0.5,x Dow=2,
      stau =15, stam = 35, stad = 35 )
```

```
free( grno = 10, y4side=-1.0,
      nbd2 = 3, ibd2 = [1,2,4],
      point=25,xups=-0.5,x Dow=2,
      stau =15, stam = 35, stad = 35 )
```

end

xpan

```
cont( eqav = 1.0e-3, free, nonlin )
iter( maxit=18)
twcu(on)
```

end

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΔΙΓΑΣΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ SEMI-SWATH ΚΑΙ CATAMARAN**

```

SSS  H  H  III  PPPP  FFFF  L    OO  W    W          SHIPFLOW-XFLOW
S    H  H  I   P   P   F    L    O  O  W    W
SSS  HHHH  I   PPPP  FFF  L    O  O  W    W          VERSION 4.1.00
   S  H  H  I   P    F    L    O  O  W  W  W
SSS  H  H  III  P    F    LLLL  OO    W  W  2010-12-04 AT  19:51:18
=====

```

```

*****
* THIS SOFTWARE IS A LICENSED PRODUCT OF FLOWTECH INTERNATIONAL AB, *
* AND MAY ONLY BE USED ACCORDING TO THE TERMS OF THAT LICENSE ON THE *
* SYSTEM IDENTIFIED IN THE LICENSE AGREEMENT. COPYRIGHT (C) 1990 BY *
* FLOWTECH INTERNATIONAL AB. ALL RIGHTS RESERVED. *
*****
Licensed under the SHIPFLOW EDUCATIONAL LICENSE AGREEMENT
--- To be used only in academic education ---

```

- TITLE

titl = [CXPRESS]-i91720a Lwl=94.44

```

=====
X  X      PPPP   AAA  N  N          SHIPFLOW-XPAN
X X      P   P  A   A  NN  N
X   --  PPPP   AAAAA  N  N  N          VERSION 4.1.00
X X      P     A   A  N  NN
X  X      P     A   A  N  N          2010-12-04 AT  19:51:23
=====

```

```

Licensed under the SHIPFLOW EDUCATIONAL LICENSE AGREEMENT
--- To be used only in academic education ---

```

```

=====
Case no 1 : Flow Angle = 0.0      Fn = 0.169      Iteration no 1
=====

```

- Hull data, non-dimensionalized by Lpp

```

LPP   ( length )           : 0.1000000000000000E+01
B     ( breadth )          : 0.293944688270762E+00
T     ( draught )          : 0.580346210839269E-01
WPA   ( water plane area ) : 0.100594207456966E+00
CWPA  ( water plane area coefficient) : 0.342221552118353E+00
CB    ( block coefficient ) : 0.346507301394494E+00
CPRISM ( prismatic coefficient ) : 0.360496219264262E+00
LCB   ( x - center of buoyancy ) : 0.462943466583930E+00
VCB   ( z - center of buoyancy ) : -0.272509314938850E-01
S     ( wetted surface area ) : 0.301249585020325E+00
V     ( displacement )      : 0.591105717534678E-02

```

- Resistance coefficients ( force/(0.5\*density\*Sref\*U\*\*2) )

CW ( Wave resist. coeff. press. int. ) : 0.146504349904692E-02  
 CWTWC ( Wave resist. coeff. wave cut ) : 0.239759595642675E-04

Sref ( Wetted surface at zero speed ) : 0.301249585020325E+00

- Sinkage and Trim calculation

TRIMAN ( trim angle in degrees ) : 0.980092196543387E-02  
 ZSINK ( draft change at Lpp/2 ) : -0.679768326985210E-03  
 ZSINKB ( draft change at bow ) : -0.594239147971282E-03  
 ZSINKS ( draft change at stern ) : -0.765297505999137E-03

=====  
 Case no 1 : Flow Angle = 0.0 Fn = 0.169 Iteration no 2  
 =====

- Hull data, non-dimensionalized by Lpp

LPP ( length ) : 0.100000000000000E+01  
 B ( breadth ) : 0.293953528285998E+00  
 T ( draught ) : 0.587742948517279E-01  
 WPA ( water plane area ) : 0.102005171760675E+00  
 CWPA ( water plane area coefficient) : 0.347011217573925E+00  
 CB ( block coefficient ) : 0.345850303637205E+00  
 CPRISM ( prismatic coefficient ) : 0.360102221923608E+00  
 LCB ( x - center of buoyancy ) : 0.463372700282145E+00  
 VCB ( z - center of buoyancy ) : -0.276251012778580E-01  
 S ( wetted surface area ) : 0.302997986070284E+00  
 V ( displacement ) : 0.597522503430013E-02

- Resistance coefficients ( force/(0.5\*density\*Sref\*U\*\*2) )

CW ( Wave resist. coeff. press. int. ) : 0.152739679278930E-02  
 CWTWC ( Wave resist. coeff. wave cut ) : 0.184987138246994E-04

Sref ( Wetted surface at zero speed ) : 0.301249585020325E+00

- Sinkage and Trim calculation

TRIMAN ( trim angle in degrees ) : -0.246212666677334E-02  
 ZSINK ( draft change at Lpp/2 ) : -0.655373897301432E-03

ZSINKB ( draft change at bow ) : -0.676860005769606E-03  
 ZSINKS ( draft change at stern ) : -0.633887788833257E-03

=====  
 Case no 1 : Flow Angle = 0.0 Fn = 0.169 Iteration no 3  
 =====

- Hull data, non-dimensionalized by Lpp

LPP ( length ) : 0.100000000000000E+01  
 B ( breadth ) : 0.293952814374122E+00  
 T ( draught ) : 0.587076270617456E-01  
 WPA ( water plane area ) : 0.101744849629125E+00  
 CWPA ( water plane area coefficient) : 0.346126468786353E+00  
 CB ( block coefficient ) : 0.346108254969677E+00  
 CPRISM ( prismatic coefficient ) : 0.359249676338227E+00  
 LCB ( x - center of buoyancy ) : 0.463201557144273E+00  
 VCB ( z - center of buoyancy ) : -0.276195286485757E-01  
 S ( wetted surface area ) : 0.302591357194840E+00  
 V ( displacement ) : 0.597288436668789E-02

- Resistance coefficients ( force/(0.5\*density\*Sref\*U\*\*2) )

CW ( Wave resist. coeff. press. int. ) : 0.147304167252364E-02  
 CWTWC ( Wave resist. coeff. wave cut ) : 0.183422866603732E-04

Sref ( Wetted surface at zero speed ) : 0.301249585020325E+00

- Sinkage and Trim calculation

TRIMAN ( trim angle in degrees ) : -0.248105229691289E-02  
 ZSINK ( draft change at Lpp/2 ) : -0.656223029714690E-03  
 ZSINKB ( draft change at bow ) : -0.677874295462339E-03  
 ZSINKS ( draft change at stern ) : -0.634571763967041E-03

=====  
 Case no 1 : Flow Angle = 0.0 Fn = 0.169 Iteration no 4  
 =====

- Hull data, non-dimensionalized by Lpp

```

LPP   ( length )           : 0.1000000000000000E+01
B     ( breadth )          : 0.293952743940513E+00
T     ( draught )          : 0.587086207808268E-01
WPA   ( water plane area ) : 0.101795150400384E+00
CWPA  ( water plane area coefficient) : 0.346297670284664E+00
CB    ( block coefficient ) : 0.346104533574981E+00
CPRISM ( prismatic coefficient ) : 0.358925486357492E+00
LCB   ( x - center of buoyancy ) : 0.463198216000820E+00
VCB   ( z - center of buoyancy ) : -0.276201563447415E-01
S     ( wetted surface area ) : 0.302646314134326E+00
V     ( displacement )     : 0.597291981379471E-02
    
```

- Resistance coefficients ( force/(0.5\*density\*Sref\*U\*\*2) )

```

CW     ( Wave resist. coeff. press. int. ) : 0.144934659163337E-02
CWTWC ( Wave resist. coeff. wave cut )    : 0.188820935035698E-04
    
```

```

Sref   ( Wetted surface at zero speed ) : 0.301249585020325E+00
    
```

- Sinkage and Trim calculation

```

TRIMAN ( trim angle in degrees ) : -0.402322347173222E-02
ZSINK  ( draft change at Lpp/2 ) : -0.652531222587959E-03
ZSINKB ( draft change at bow )   : -0.687640470650581E-03
ZSINKS ( draft change at stern ) : -0.617421974525337E-03
    
```

```

=====
Case no 1 : Flow Angle = 0.0      Fn = 0.169      Iteration no 5
=====
    
```

- Hull data, non-dimensionalized by Lpp

```

LPP   ( length )           : 0.1000000000000000E+01
B     ( breadth )          : 0.293952899642607E+00
T     ( draught )          : 0.587167107208301E-01
WPA   ( water plane area ) : 0.101810508453408E+00
CWPA  ( water plane area coefficient) : 0.346349733502172E+00
CB    ( block coefficient ) : 0.346032605500047E+00
CPRISM ( prismatic coefficient ) : 0.358770515451533E+00
LCB   ( x - center of buoyancy ) : 0.463170652580623E+00
VCB   ( z - center of buoyancy ) : -0.276194491868894E-01
S     ( wetted surface area ) : 0.302657503081160E+00
V     ( displacement )     : 0.597250456057193E-02
    
```

- Resistance coefficients (  $\text{force}/(0.5*\text{density}*S_{\text{ref}}*U^{**2})$  )

CW ( Wave resist. coeff. press. int. ) : 0.144440807695963E-02  
CWTWC ( Wave resist. coeff. wave cut ) : 0.191230526414516E-04

Sref ( Wetted surface at zero speed ) : 0.301249585020325E+00

- Sinkage and Trim calculation

TRIMAN ( trim angle in degrees ) : -0.442503800536982E-02  
ZSINK ( draft change at Lpp/2 ) : -0.651549488036103E-03  
ZSINKB ( draft change at bow ) : -0.690165229395896E-03  
ZSINKS ( draft change at stern ) : -0.612933746676310E-03

\*\*\* Convergence achieved after 5 iterations \*\*\*