

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΣΚΑΦΩΝ «ΩΚΕΑΝΟΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΣΩΚΡΑΤΗ ΤΖΑΝΕΤΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Τζαμπίρας
Καθηγητής ΕΜΠ

Επιτροπή: Γ. Τζαμπίρας,

Γ. Γρηγορόπουλος,

Γ. Παπαδάκης,

Καθηγητής ΕΜΠ

Καθηγητής ΕΜΠ

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Μάρτιος 2019

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα και διευθυντή του Ε.Ν.Θ.Υ. κ. Γ. Τζαμπίρα, Καθηγητή, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου την εν λόγω διπλωματική εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δημήτριο Λιαροκάπη για την καθοδήγηση που μου προσέφερε, κατά την εκτέλεση και την επεξεργασία των πειραματικών μου μετρήσεων καθώς και κατά την συγγραφή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Ι. Τραχανά (ΕΤΕΠ) για την ταχεία εκτέλεση και προετοιμασία της συνολικής πειραματικής διαδικασίας καθώς και για τη διάθεσή του να μου επιλύσει όποιες απορίες προέκυψαν στην διάρκεια αυτής. Ακόμη, να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Μυλωνά, ξυλουργό Ε.Ν.Θ.Υ. του Ε.Μ.Π., για την καθοδήγηση και βοήθεια στην επισκευή των μοντέλων και για την διάθεσή του να μεταδώσει γνώσεις, ακόμη και αν δεν είναι μέρος των υποχρεώσεών του. Τέλος, δεν θα ήθελα να παραλείψω τα μέλη του Ωκεανού που συνεργάστηκα την περίοδο που βρισκόμουν στην ομάδα και θα ήθελα να τονίσω την βοήθεια του κ. Θ. Κουρμπέλη, κ. Δ. Σπαθή και της κα Κ. Φουντούλη.

Εν κατακλείδι, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την διερεύνηση της υδροδυναμικής αντίστασης των αγωνιστικών σκαφών της πανεπιστημιακής ερευνητικής ομάδας «Ωκεανός». Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια προετοιμασίας για τον διαγωνισμό «Hydrocontest» και στηρίζεται στα δεδομένα, τους περιορισμούς και τους σκοπούς του διαγωνισμού. Επικεντρώνεται στις πειραματικές διαδικασίες και στις δοκιμές στο 1^ο έτος συμμετοχής της ομάδας, στις μετατροπές που πραγματοποιήθηκαν στα σκάφη, την υδροδυναμική βελτιστοποίηση της απόδοσης της γάστρας, στην προσθήκη παρελκομένων και την ανάλυση της βελτιστοποίησης μέσω πειραμάτων αντίστασης στο 2^ο έτος συμμετοχής και την μελέτη και ανάλυση της αντίστασης των νέων σκαφών στο 3^ο έτος της πορείας της ομάδας.

Για τον σκοπό αυτό, εκτελέστηκαν πειράματα αντίστασης ρυμουλκούμενου μοντέλου για τα 3 σκάφη της ομάδας «Ωκεανός», σε διάφορες πειραματικές διατάξεις, ώστε να αναλυθεί και να βελτιωθεί η αντίσταση τους. Παράλληλα, εντοπίστηκε το σημείο πλεύσης με την βέλτιστη δυναμική διαγωγή για το κάθε σκάφος.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης στην δεξαμενή του ΕΝΘΥ, παρατήρηση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς των σκαφών, διαδικασία μορφοποίησης των σκαφών και προσθήκη βοηθητικών μερών με σκοπό, καλύτερα αποτελέσματα στις μετρήσεις αντίστασης. Με τον τρόπο αυτό, διερευνήθηκε σε βάθος η επίδραση διαφόρων μετατροπών στα μοντέλα, με σκοπό το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για την πορεία τους στο διαγωνισμό. Ύστερα, γίνεται αναφορά στον διαγωνισμό, στα προβλήματα που αντιμετώπισε η ομάδα, στους τρόπους και στην διαδικασία επίλυσης τους. Πολλές από τις μετατροπές που πραγματοποιήθηκαν και τα βήματα που ακολουθήθηκαν, έγιναν με την βοήθεια του επιστημονικού προσωπικού του ΕΝΘΥ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	- 1 -
Περίληψη	- 1 -
Εισαγωγή	- 1 -
1. Θεωρητικό υπόβαθρο	- 3 -
1.1. Γενικά	- 3 -
1.2. Διαχωρισμός σκαφών με βάση του F_n	- 3 -
1.2.1. Γενικά.....	- 3 -
1.2.2. Σκάφη εκτοπίσματος.....	- 4 -
1.2.3. Σκάφη ημεκτοπίσματος.....	- 4 -
1.2.4. Ταχύπλοα σκάφη ή ολισθάκατοι	- 5 -
1.3. Αντίσταση πλοίου	- 5 -
1.4. Υπολογισμός αντίστασης	- 6 -
1.4.1. Γενικά.....	- 6 -
1.4.2. Μαθηματικό μοντέλο	- 6 -
1.4.3. Φυσικό μοντέλο	- 7 -
1.5. Παρελκόμενα στα ταχύπλοα σκάφη	- 8 -
1.5.1. Γενικά.....	- 8 -
1.5.2. Αντιδιαβροχικές λωρίδες.....	- 8 -
1.5.3. Σφήνες και κινητά πτερύγια	- 8 -
2. Περιγραφή Διαγωνισμού	- 10 -
2.1. Γενικά	- 10 -
2.2. Κατηγορίες διαγωνισμού.....	- 10 -
2.3. Περιορισμοί διαγωνισμού.....	- 11 -
3. Περιγραφή εξοπλισμού	- 12 -
3.1. Γενικά	- 12 -
3.2. Εξοπλισμός διαγωνισμού	- 12 -
3.3. Εξοπλισμός που αγοράστηκε.....	- 13 -
3.4. Πειραματικός Εξοπλισμός – Όργανα Μέτρησης.....	- 14 -
3.4.1. Γενικά.....	- 14 -
3.4.2. Πειραματική Δεξαμενή – Φορείο	- 14 -
3.4.3. Μετρητικά Όργανα - Αισθητήρες.....	- 15 -
4. Μέθοδος πειραματικών διαδικασιών	- 21 -

4.1.	Γενικά	- 21 -
4.2.	Καταστάσεις που μελετήθηκαν	- 21 -
4.3.	Συναρτήσεις Μεταφοράς – Βαθμονόμηση.....	- 22 -
4.4.	Ροή διαδικασιών για την εκτέλεση πειραμάτων	- 22 -
5.	Προετοιμασία σκάφους για το έτος 2016.....	- 24 -
5.1.	Γενικά	- 24 -
5.2.	Περιγραφή σκάφους.....	- 24 -
5.3.	Πειράματα αντίστασης	- 25 -
5.3.1.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων	- 26 -
5.3.2.	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	- 28 -
5.4.	Μετατροπές.....	- 29 -
5.5.	Μηχανισμοί - περιγραφή εξοπλισμού	- 29 -
5.5.1.	Σύστημα πηδαλιουχίας.....	- 29 -
5.5.2.	Σύστημα ψύξης.	- 30 -
5.5.3.	Ηλεκτρονικό - ηλεκτρικό σύστημα – Σύστημα τηλεκατεύθυνσης...-	30 -
5.5.4.	Πρόωση – Προπέλα	- 32 -
5.6.	Δοκιμαστικά.....	- 33 -
5.7.	Πορεία διαγωνισμού.....	- 35 -
6.	Προετοιμασία σκαφών για το έτος 2017.....	- 36 -
6.1.	Γενικά	- 36 -
6.2.	Βελτιστοποίηση του σκάφους “Ωκεανός 1”	- 36 -
6.2.1.	Γενικά.....	- 36 -
6.2.2.	Προετοιμασία σκάφους και διόρθωση πρώτων αστοχιών.	- 37 -
6.2.3.	Αφαίρεση βάρους.....	- 39 -
6.2.4.	Πρώτες πειραματικές διαδικασίες.....	- 42 -
6.2.5.	Προετοιμασία σκάφους στα πρότυπα του διαγωνισμού	- 49 -
6.2.6.	Μορφοποίηση διαφόρων παρελκόμενων του σκάφους	- 51 -
6.2.7.	Κύριες πειραματικές διατάξεις	- 54 -
6.2.8.	Προσθήκη νέων παρελκόμενων (flaps).....	- 66 -
6.3.	Προετοιμασία σκαφών Ωκεανός 2-3.....	- 69 -
6.3.1.	Γενικά.....	- 69 -
6.3.2.	Κατηγορία σκαφών αναψυχής.....	- 69 -
6.3.3.	Κατηγορία φορτηγών πλοίων	- 70 -
6.3.4.	Διαδικασία κατασκευής.....	- 71 -
6.3.5.	Δοκιμαστικές διαδικασίες	- 72 -

6.4. Πορεία στον διαγωνισμό	- 73 -
7. Προετοιμασία σκαφών για το έτος 2018.....	- 74 -
7.1. Γενικά	- 74 -
7.2. Πειραματική μελέτη Ωκεανός 2.....	- 74 -
7.2.1. Γενικά.....	- 74 -
7.2.2. Πειραματικά αποτελέσματα	- 74 -
7.3. Πειραματική μελέτη Ωκεανός 3.....	- 75 -
7.3.1. Γενικά.....	- 75 -
7.3.2. Πειραματικά αποτελέσματα	- 76 -
7.4. Πορεία προς τον διαγωνισμό	- 77 -
7.4.1. Γενικά.....	- 77 -
7.4.2. Τριμαράν	- 77 -
7.4.3. Υδροπτέρυγο σκάφος.....	- 78 -
7.4.4. Μελέτη πρόωσης (προπέλες).....	- 79 -
7.4.5. Δοκιμαστικά πειράματα	- 80 -
7.5. Διαγωνισμός.....	- 81 -
8. Συμπεράσματα	- 82 -
Βιβλιογραφία	- 84 -

Εισαγωγή

Στα πλαίσια των ακαδημαϊκών μου υποχρεώσεων το 2016, μαζί με μία ομάδα διδακτορικών και προπτυχιακών φοιτητών ιδρύσαμε την φοιτητική ομάδα Ωκεανός με σκοπό την συμμετοχή στο διεθνή φοιτητικό διαγωνισμό «Hydrocontest». Ο συγκεκριμένος διαγωνισμός έχει ζητούμενο την κατασκευή ενός ή δύο τηλεκατευθυνόμενων σκαφών, για τη συμμετοχή σε δύο διαφορετικές κατηγορίες αγώνων, με μοναδικούς περιορισμούς τις εξωτερικές διαστάσεις, τον κινητήρα και την μπαταρία, αποσκοπώντας σε καινοτόμες σχεδιάσεις για βέλτιστη αποδοτικότητα τηρώντας τους συγκεκριμένους περιορισμούς.

Συνεπώς, η ομάδα χρειαζόταν να μελετήσει, να σχεδιάσει, να κατασκευάσει και να λειτουργήσει τουλάχιστον ένα πλήρως τηλεκατευθυνόμενο σκάφος με σκοπό την συμμετοχή του σε αγώνες ταχύτητας με άλλα σκάφη. Ο αγώνας λαμβάνει μέρος σε κλειστούς χώρους είτε στην θάλασσα (λιμάνια), είτε σε λίμνες.

Το έτος 2016 λόγω έλλειψης εμπειρίας και περιορισμένου χρόνου (ίδρυση ομάδας Φεβρουάριο 2016 – συμμετοχή στον διαγωνισμό Ιούλιο 2016) αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί για τα πλαίσια του διαγωνισμού ένα ήδη υπάρχον σκάφος, για συμμετοχή στις δύο από τις 3 κατηγορίες του διαγωνισμού, και όχι δύο, από τα μοντέλα που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στην πειραματική δεξαμενή του ΕΝΘΥ.

Στο ΕΝΘΥ παραδοσιακά γίνονται κατασκευές και μελέτες πλοίων υπό κλίμακα και διεξάγονται πειράματα αντίστασης και δυναμικής συμπεριφοράς στην δεξαμενή, ώστε να αναγάγουμε τα αποτελέσματα, του υπό κλίμακα μοντέλου στις πραγματικές διαστάσεις και να μελετήσουμε την συμπεριφορά των πραγματικών πλοίων και της αποδοτικότητάς τους.

Στην περίπτωση μας, το μοντέλο σκάφος ήταν και το μοντέλο πραγματικής κλίμακας. Το σκάφος επιλέχθηκε μέσα από ένα ευρύ σύνολο μοντέλων, σύμφωνα με τους περιορισμούς που έπρεπε να τηρούμε, έγιναν οι διάφορες μετατροπές που χρειαζόταν για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του διαγωνισμού, καθώς ακόμη αγοράστηκε και προστέθηκε ο εξοπλισμός που χρειαζόταν για να λειτουργήσει αυτόνομα, όπως η προπέλα, το ηλεκτρικό – ηλεκτρονικό σύστημα, η τηλεκατεύθυνση κ.α..

Μέσα στις ανάγκες της μελέτης του σκάφους, ήταν σημαντικό να μελετήσουμε την υδροδυναμική απόδοση της γάστρας, την συσχέτιση γάστρας με την προπέλα και τα υπόλοιπα παρελκόμενα του σκάφους, όπως το συνολικό σύστημα πρόωσης και το πηδάλιο. Για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών πραγματοποιήθηκαν πολλά και διάφορα πειράματα στην δεξαμενή του ΕΝΘΥ σε διάφορες διατάξεις, όπως πειράματα ρυμούλκησης γυμνής γάστρας και με παρελκόμενα, πειράματα αυτοπρόωσης και πειράματα ελεύθερης ροής για την απόδοση της προπέλας.

Το έτος 2017 συνεχίζοντας στην ομάδα, ο Ωκεανός μελέτησε, κατασκεύασε και σχεδίασε 2 καινούργια σκάφη με σκοπό την συμμετοχή του πάλι στον διαγωνισμό, ώστε να διεκδικήσει μια διάκριση, αλλά και να αποκτήσει εμπειρία από

την διαδικασία της μελέτης από την αρχή. Έτσι η ομάδα εμπνεύστηκε και σχεδίασε δύο καινούργια σκάφη για τις δύο κατηγορίες του διαγωνισμού, μελέτησε τις επιδόσεις τους με ημιεμπειρικούς τύπους, αλλά και με CFD, προχώρησε στην μελέτη αντοχής τους και στην κατασκευή τους από σύνθετα υλικά για την ελαχιστοποίηση του βάρους τους, τα κατασκεύασε, και έκανε πειράματα ανοιχτής θαλάσσης για την επαλήθευση της θεωρητικής της έρευνας.

Την συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ασχολήθηκα ειδικότερα με την βελτιστοποίηση της απόδοσης του σκάφους με το οποίο διαγωνιστήκαμε το 2016, καθώς φάνηκε ότι δεν έφτασε στο μέγιστο των δυνατοτήτων του, το οποίο αποφασίστηκε ύστερα από προτροπή, από το προσωπικό του εργαστήριου του ΕΝΘΥ, αλλά και με σκοπό την ύπαρξη ενός πλάνου διαφυγής στην περίπτωση που αποτύγχανε η διαδικασία μελέτης των άλλων σκαφών.

Έχοντας πλέον τα χρονικά περιθώρια για καλύτερη και σωστότερη μελέτη, μελετήθηκαν διεξοδικά οι τρόποι επίτευξης καλύτερης υδροδυναμικής αποδοτικότητας. Έγινε μείωση του βάρους του σκάφους, βελτιστοποιήθηκαν τα παρελκόμενα του σκάφους, χρησιμοποιήθηκε πιο αποδοτική προπέλα καθώς και προστέθηκαν κάποια παρελκόμενα για την καλύτερη απόδοση της γάστρας. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα για την εύρεση σημείου για την βέλτιστη δυναμική διαγωγή, πειράματα για την κάθε αλλαγή που κάναμε, ώστε να παρατηρήσουμε το ποσοστό βελτίωσης που προκαλέσαμε, καθώς και πειράματα σε πραγματικές συνθήκες.

Παράλληλα, ασχολήθηκα θερμά με την κατασκευή και την επίδοση των 2 καινούργιων σκαφών της ομάδας χρησιμοποιώντας τις γνώσεις και την εμπειρία μου από την βελτιστοποίησης της γάστρας του πρώτου έτους. Διεξήχθησαν πάρα πολλές δοκιμές στην ανοιχτή θάλασσα, επιλύθηκαν κάποια από τα προβλήματα που προέκυψαν και εν τέλει επιτύχαμε καλύτερες θέσεις.

Το 2018, αποφασίστηκε να βελτιστοποιήσουμε τα σκάφη που χρησιμοποιήσαμε το 2017 καθώς είχαν εμφανίσει κάποια προβλήματα, είτε λόγω λαθών στην διαδικασία κατασκευής, είτε στην μελέτη τους. Ακόμη, μπήκαμε στην διαδικασία να μελετήσουμε και να κατασκευάσουμε προπέλες της σειράς Wageningen B – series με την βοήθεια του κ. Γ. Πολίτη, καθηγητή του τομέα ΝΘΥ. Τέλος, μελετήθηκαν πιο διεξοδικά η συμβολή των υδροπτερύγων στα σκάφη.

Στην δικιά μας περίπτωση, λόγω του ότι κάποια κομμάτια ήταν ομαδικά, θα επικεντρωθούμε σε ένα κομμάτι του διαγωνισμού, στους τρόπους βελτιστοποίησης της απόδοσης του πρώτου σκάφους της ομάδας, στην διερεύνηση της υδροδυναμικής αντίστασης των υπόλοιπων δύο σκαφών της ομάδας, αλλά και στους τρόπους διόρθωσης των τυχόν αστοχιών που είχαν, είτε κατασκευαστικά, είτε με την μελέτη τους, καθώς ήταν το κύριο αντικείμενο της ενασχόλησής μου. Στην διπλωματική αυτή, οι παραπάνω διαδικασίες χωρίζονται ανά έτος, σύμφωνα με την πορεία της ομάδας. Περιγράφεται αναλυτικά το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάστηκε, ο διαγωνισμός και ο εξοπλισμός που χρειάστηκε και αναλύονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν με την χρονική περίοδο που πραγματοποιήθηκαν.

1. Θεωρητικό υπόβαθρο

1.1. Γενικά

Στην ναυσιπλοΐα και στην ναυπηγική σήμερα, ένα μείζον ζήτημα για τους πλοιοκτήτες είναι η πρόβλεψη της αντίστασης των πλοίων τους, με σκοπό την σωστή επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης, για την ελαχιστοποίηση του κόστους καυσίμου και συνεπώς την αύξηση των κερδών. Πολύ σημαντικό ρόλο στην αντίσταση ενός σκάφους έχει το υδροδυναμικό σχέδιο του. Θα μπορούσαν να διακριθούν, λοιπόν, τρεις κύριες κατηγορίες πλοίων, με βάση την υδροδυναμική τους συμπεριφορά. Αυτές είναι:

- Τα σκάφη εκτοπίσματος
- Τα σκάφη ημιεκτοπίσματος
- Τα ταχύπλοα σκάφη

Κάθε μία κατηγορία πλοίου από αυτές χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό.

1.2. Διαχωρισμός σκαφών με βάση του Fn

1.2.1. Γενικά

Κάθε μία κατηγορία θα μπορούσε να διαχωριστεί μέσω του αδιάστατου συντελεστή Froude. Ο αριθμός Froude, από φυσικής άποψης, σχετίζεται με την δημιουργία κυματισμών και είναι ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς της δυνάμεις βαρύτητας και συμβολίζεται ως Fn number ή Fn. Ως γνωστόν, ο αριθμός Froude πηγάζει από την εφαρμογή του θεωρήματος Π στην αντίσταση του πλοίου και υπολογίζεται ως εξής:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

Όπου:

V: η ταχύτητα πλεύσης (m/s)

g: η επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας (m/s²)

L: το μήκος της ισάλου πλεύσης του σκάφους

Στην ρευστομηχανική συγκεκριμένες τιμές του Fn σχετίζονται με την διάκριση των πλοίων σε αργόπλοα ($Fn < 0,3$), σε γρήγορα σκάφη εκτοπίσματος ($0,3 < Fn < 0,6$), στα σκάφη ημιεκτοπίσματος ($0,6 < Fn < 1$), και στα ταχύπλοα σκάφη ($Fn > 1$).

1.2.2. Σκάφη εκτοπίσματος

Σαν σκάφη εκτοπίσματος περιγράφονται τα πλοία τα οποία κατά την πλεύση τους, εκτοπίζουν πάντα το βάρος τους σε νερό, όπως για παράδειγμα είναι τα ποντοπόρα δεξαμενόπλοια, τα φορτηγά, τα ακτοπλοϊκά κ.α.. Οι γάστρες εκτοπίσματος δεν αλλάζουν το εκτόπισμα τους με την ταχύτητα. Τα πλοία αυτά προτιμούνται για την μεταφορά μεγάλου όγκου φορτίου, όμως η ταχύτητά τους είναι περιορισμένη. Η αύξηση της ταχύτητας των σκαφών αυτών απαιτεί σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος πρόωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αντίσταση των σκαφών αυτών για τις μικρές ταχύτητες είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες η αντίσταση ισούται με την τρίτη ή την τέταρτη δύναμη της ταχύτητας. Για το λόγο αυτό, ο αριθμός F_n περιορίζεται κάτω του 0,5 και σε ακραίες περιπτώσεις και πολύ καλές λεπτόγραμμες σχεδιάσεις μπορεί να αγγίξει το 0,6.

1.2.3. Σκάφη ημικτοπίσματος

Κύριο χαρακτηριστικό των γαστρών, αυτής της κατηγορίας είναι ότι κατά την πλεύση τους αντιμετωπίζουν σημαντική δυναμική άνωση, αν και δεν ολισθαίνουν. Πρόκειται για σκάφη με στρογγυλό πυθμένα, τα οποία λειτουργούν σε περιοχές ταχυτήτων $0,6 < F_n < 1$. Κύρια χαρακτηριστικά των γαστρών είναι:

- Κυρτή μορφή των πωραίων νομέων
- Μεγάλη γωνία ανύψωσης πυθμένα
- Ευθείες ισάλους στην περιοχή της πλώρας με μικρές γωνίες εισόδου
- Πρύμνη καθρέπτη
- Κεντρική τρόπιδα στο πρυμναίο μέρος

Το βάρος των συγκεκριμένων σκαφών εξισορροπείται κυρίως από υδροστατικές δυνάμεις. Για $F_n > 0,7$ εμφανίζεται δυναμική άνωση που αυξάνεται με την ταχύτητα κατά τον ίδιο τρόπο που μειώνεται η υδροστατική άνωση. Η δυναμική ανύψωση του κέντρου βάρους υποδηλώνει την έναρξη της θετικής συνεισφοράς της υδροδυναμικής άνωσης. Η βρεχόμενη επιφάνεια μεταβάλλεται με την ταχύτητα και την δυναμική διαγωγή. Ακόμη, μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο με τη χρήση αντιδιαβροχικών λωρίδων ή σε μικρή έκταση μετακινώντας το κέντρο βάρους προς την πρύμνη.

Τέτοια σκάφη χρησιμοποιούνται για όλους τους τύπους σκαφών αναψυχής, επαγγελματικών σκαφών, περιπολικών και μικρών πολεμικών σκαφών.

1.2.4. Ταχύπλοα σκάφη ή ολισθάκατοι

Οι ολισθάκατοι είναι σκάφη που λειτουργούν σε ταχύτητες μεγαλύτερες από $F_n =$

1. Αυτές χαρακτηρίζονται από:

- Οξείες ακμές και πρύμνη καθρέπτη για να προκληθεί αποκόλληση της ροής στην πρύμνη και κατά μήκος των πλευρών
- Ευθείες διαμήκεις τομές και αποφυγή κυρτών νομέων
- Ανύψωση πυθμένα που αυξάνεται γρήγορα στην περιοχή της πλώρας για μειωθούν τα κρουστικά φορτία σε κυματισμούς
- Λεπτές γραμμές στην είσοδο για την μείωση της αντίστασης στις μικρές ταχύτητες

Όταν η ολισθάκατος οδηγηθεί σε ταχύτητες πέραν εκείνων στις οποίες συμπεριφέρεται σαν γάστρα εκτοπίσματος, αναπτύσσονται θετικές υδροδυναμικές πιέσεις στον πυθμένα. Καθώς με την αύξηση της ταχύτητας, αυξάνει η υδροδυναμική άνωση, μειώνεται αντίστοιχα η υδροστατική άνωση. Σε κατάσταση ολισθήσεως, η ροή αποκολλάται από τον καθρέπτη και τις ακμές και ο λόγος αντιστάσεως προς την ανωστική δύναμη παραμένει ουσιαστικά σταθερός για δεδομένη γωνία διαγωγής. Οι ολισθάκατοι χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σαν πολεμικά περιπολικά, σκάφη αναφυχής, ταχύπλοα μεταφοράς επιβατών και σκάφη αγώνων.

Στην κατηγορία των ταχύπλοων σκαφών, καλό θα ήταν να γίνει αναφορά και στα υδροπτέρυγα σκάφη, τα οποία αποτελούν ξεχωριστή ειδική κατηγορία, αλλά λόγω των ταχυτήτων που πετυχαίνουν θα τα αναφέρουμε στο παρόν κεφάλαιο. Σε αυτήν την κατηγορία τα σκάφη χρησιμοποιούν πτερύγια για την επίτευξη της υδροδυναμικής άνωσης.

Τα συγκεκριμένα σκάφη έχουν 2 καταστάσεις λειτουργίας. Την κανονική λειτουργία σε μικρές ταχύτητες, όπου συμπεριφέρονται λίγο έως πολύ ως ολισθάκατοι και την «ιπτάμενη» λειτουργία. Στην τελευταία κατάσταση μεταβαίνουν αφού, με την αύξηση της ταχύτητας, ανυψωθούν, οπότε η πλεύση τους βασίζεται κυρίως στις ανωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια.

1.3. Αντίσταση πλοίου

Η αντίσταση ενός πλοίου με δεδομένη ταχύτητα είναι η δύναμη που απαιτείται για να ρυμουλκωθεί το πλοίο σε αυτήν ταχύτητα σε ήρεμο νερό. Αν η γάστρα δεν έχει παρελκόμενα, τότε η αντίσταση καλείται αντίστασης γυμνής γάστρας ή ρυμούλκησης. Η αντίσταση ρυμούλκησης δεν είναι ίδια με την αντίσταση πρόωσης διότι στην τελευταία εμπλέκονται και οι αλληλεπιδράσεις γάστρας – έλικας.

Σε κάθε σημείο της επαφής της γάστρας με το περιβάλλον ρευστό ασκείται μια στοιχειώδης δύναμη, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η συνισταμένη μιας κάθετης στην επιφάνεια συνιστώσας, που οφείλεται στην πίεση και μιας εφαπτόμενης στην επιφάνεια που οφείλεται στην συνεκτικότητα.

Προκύπτουν έτσι με φυσικό τρόπο οι δύο βασικές συνιστώσες της αντίστασης του πλοίου, οι οποίες είναι:

- Η αντίσταση τριβής: είναι η συνιστώσα που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των εφαπτόμενων τάσεων (τάσεις συνεκτικότητας) και προβολή κατά την διεύθυνση της ροής
- Η αντίσταση πίεσης: είναι η συνιστώσα της αντίστασης που παράγεται με ολοκλήρωση στην επιφάνεια της γάστρας των κάθετων τάσεων (δυνάμεις πίεσης) και προβολή κατά την διεύθυνση της ροής.

Πέρα από τις βασικές συνιστώσες, υπάρχει και μια ποικιλία δευτερευόντων συνιστωσών, όπως η αντίσταση παρελκομένων, αέρα κ.α..

Γενικότερα, η συνολική αντίσταση ενός πλοίου *απαρτίζεται* από την αντίσταση συνεκτικότητας και την αντίσταση κυματισμού. Η αντίσταση συνεκτικότητας περιλαμβάνει την αντίσταση τριβής και την αντίσταση πίεσης λόγω συνεκτικότητας, ενώ η αντίσταση κυματισμού μπορεί να διασπαστεί στην αντίσταση σχηματισμού κυματισμών και στην αντίσταση θραύσεων κυματισμών. Το άθροισμα της αντίστασης κυματισμού και της αντίστασης πίεσης λόγω συνεκτικότητας αποτελούν την συνολική αντίσταση πίεσης.

1.4. Υπολογισμός αντίστασης

1.4.1. Γενικά

Για την επίλυση του προβλήματος της αντίστασης του πλοίου, έχει αναπτυχθεί ένα θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο εξυπηρετεί στην παραγωγή μοντέλων, με την επίλυση των οποίων προκύπτει το ζητούμενο μέγεθος. Γενικότερα έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά μοντέλα αλλά και φυσικά μοντέλα όταν αυτό είναι εφικτό.

1.4.2. Μαθηματικό μοντέλο

Προκειμένου να μπορεί κανείς να προβλέψει την κατάσταση ενός συστήματος, θα πρέπει πρώτα να αναπαρασταθεί αυτό σε σαφείς, επιλύσιμες και πλήρεις μαθηματικές εκφράσεις. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο να περιγράφει με ικανοποιητική ακρίβεια (ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε επιστημονικού κλάδου) το φυσικό πρόβλημα.

Έτσι, μία ενδεικτική μαθηματική μοντελοποίηση είναι η εξής. Αρχικά η περιγραφή της κίνησης του ρευστού (δηλαδή η περιγραφή του πεδίου πιέσεων και ταχυτήτων αυτού) μπορεί να γίνει με το γνωστό σύστημα των εξισώσεων Navier-Stokes. Οι οριακές συνθήκες που θα πρέπει να εφαρμοστούν είναι οι συνθήκες στην

ελεύθερη επιφάνεια (κινηματική και δυναμική), οι συνθήκες μη εισχώρησης και μη ολίσθησης¹ στα στερεά σύνορα καθώς και μία συνθήκη ακτινοβολίας στο άπειρο (μακριά από το εξεταζόμενο σώμα).

Αρχικά, το σύστημα εξισώσεων Navier-Stokes –το οποίο περιγράφει την κατανομή του πεδίου ταχυτήτων και πίεσης του ρευστού - σε διανυσματική μορφή:

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla \times p + \mu \Delta \vec{u} \quad (2)$$

όπου

- ρ η πυκνότητα του ρευστού, η οποία παραμένει σταθερή για ασυμπίεστη ροή (όπως στο πρόβλημα που μας ενδιαφέρει εδώ - $\nabla \cdot \vec{u} = 0$)
- $\vec{u} = \begin{Bmatrix} u_1(x_1, x_2, x_3) \\ u_2(x_1, x_2, x_3) \\ u_3(x_1, x_2, x_3) \end{Bmatrix}$ το πεδίο ταχυτήτων
- $\frac{Du_i}{Dt} = \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_i}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_i}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial u_i}{\partial x_3}$ η υλική (ή ουσιαώδης) παράγωγος
- \vec{g} το διάνυσμα της επιτάχυνσης της βαρύτητας
- $p = p(x_1, x_2, x_3)$ το πεδίο πιέσεων
- μ η τιμή του δυναμικού ιξώδους του ρευστού
- $\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2}$ ο τελεστής Laplace

Όπως είναι ευρέως διαδεδομένο στον κλάδο της ναυτικής υδροδυναμικής, ωστόσο, δεν μπορεί να αποκτηθεί λύση του παραπάνω προβλήματος σε οποιαδήποτε αναλυτική ή αριθμητική μορφή με ικανοποιητική ακρίβεια για τις ανάγκες του ναυπηγού μηχανικού.

1.4.3. Φυσικό μοντέλο

Σε μερικές περιπτώσεις, στις οποίες τα μαθηματικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι δύσχρηστα, όπως το προηγούμενο που περιγράψαμε, κρίνεται λογικό να αναπτυχθούν φυσικά μοντέλα για να περιγράψουν το πρόβλημα.

Στις περιπτώσεις των μεγάλων πλοίων για τον υπολογισμό της αντίστασης ρυμούλκησης ενός πλοίου, μπορεί κανείς να κατασκευάσει μία μικρογραφία του

¹ Οι συνθήκες μη ολίσθησης είναι περισσότερο αριθμητικές παρά φυσικές. Με άλλα λόγια, δεν είναι απολύτως (μαθηματικά) ακριβείς, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια για την μοντελοποίηση του κινούμενου πλοίου με σταθερή πρόσω ταχύτητα

προβλήματος και μετρώντας τα χαρακτηριστικά αυτής να μπορέσει να υπολογίσει με ακρίβεια τα μεγέθη που τον ενδιαφέρουν. Με άλλα λόγια, ο υπολογισμός της αντίστασης ενός πλοίου μπορεί να υπολογισθεί αν είναι γνωστή η αντίσταση ενός υπό κλίμακα σκάφους. Αυτό μπορεί να γίνει εφαρμόζοντας την Διαστατική ανάλυση και το θεώρημα Π στην αντίσταση του σκάφους.

Στην περίπτωση μας όμως, όπου τα υπό μελέτη σκάφη έχουν διαστάσεις οι οποίες είναι επιτρεπτές για να διεξαχθούν πειράματα στην δεξαμενή του ΕΝΘΥ, μας επιτρέπουν να προχωρήσουμε σε απευθείας εκτίμηση της αντίστασης των σκαφών και την μελέτη της υδροδυναμικής συμπεριφοράς, του υπό μελέτη σκάφους, χωρίς να προχωρήσουμε σε αναγωγές των αποτελεσμάτων σε άλλη κλίμακα.

1.5. Παρελκόμενα στα ταχύπλοα σκάφη

1.5.1. Γενικά

Πολλές φορές για τη βελτίωση των επιδόσεων τους στα ταχύπλοα σκάφη προστίθενται διάφορα παρελκόμενα. Αυτά έχουν ως σκοπό την μείωση της αντίστασης του και άρα την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Τέτοιες είναι:

- Οι αντιδιαβροχικές λωρίδες
- Οι σφήνες
- Τα ρυθμιζόμενα πτερύγια στον καθρέπτη

1.5.2. Αντιδιαβροχικές λωρίδες

Όπως έχει ήδη διατυπωθεί, οι συγκεκριμένες χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο της βρεχόμενης επιφάνειας τόσο των σκαφών ημιεκτοπίσματος όσον και των ολισθακάτων. Τοποθετούνται πάνω από την ίσαλο γραμμή για να περιορίσουν την πρόρα ή το λεπτό στρώμα νερού που αναπτύσσεται με την ταχύτητα.

Η επίδραση που έχουν οι λωρίδες στην αντίσταση είναι μικρή, εκτός από τις υψηλές ταχύτητες, όπου η αντίσταση μεταβάλλεται λόγω αλλαγής της δυναμικής διαγωγής από την ανύψωση της πρόρας που προκαλεί το νερό όταν χτυπάει στην κάτω πλευρά των αντιδιαβροχικών λωρίδων.

Οι διαστάσεις και οι θέσεις τους προσδιορίζονται συνήθως από πειράματα και το μήκος τους είναι συνήθως το μισός του μήκους του σκάφους.

1.5.3. Σφήνες και κινητά πτερύγια

Όταν ένα ταχύπλοο σκάφος πλέει σε ταχύτητες όπου αναπτύσσεται δυναμική άνοση, επιτυγχάνει την βέλτιστη απόδοσή του όταν πλέει στην βέλτιστη γωνία δυναμικής διαγωγής. Οι σφήνες και τα κινητά πτερύγια είναι καθαρά πρόσθετες

κατασκευές που δημιουργούν υδροδυναμικές δυνάμεις και μεταβάλλουν την δυναμική διαγωγή του σκάφους.

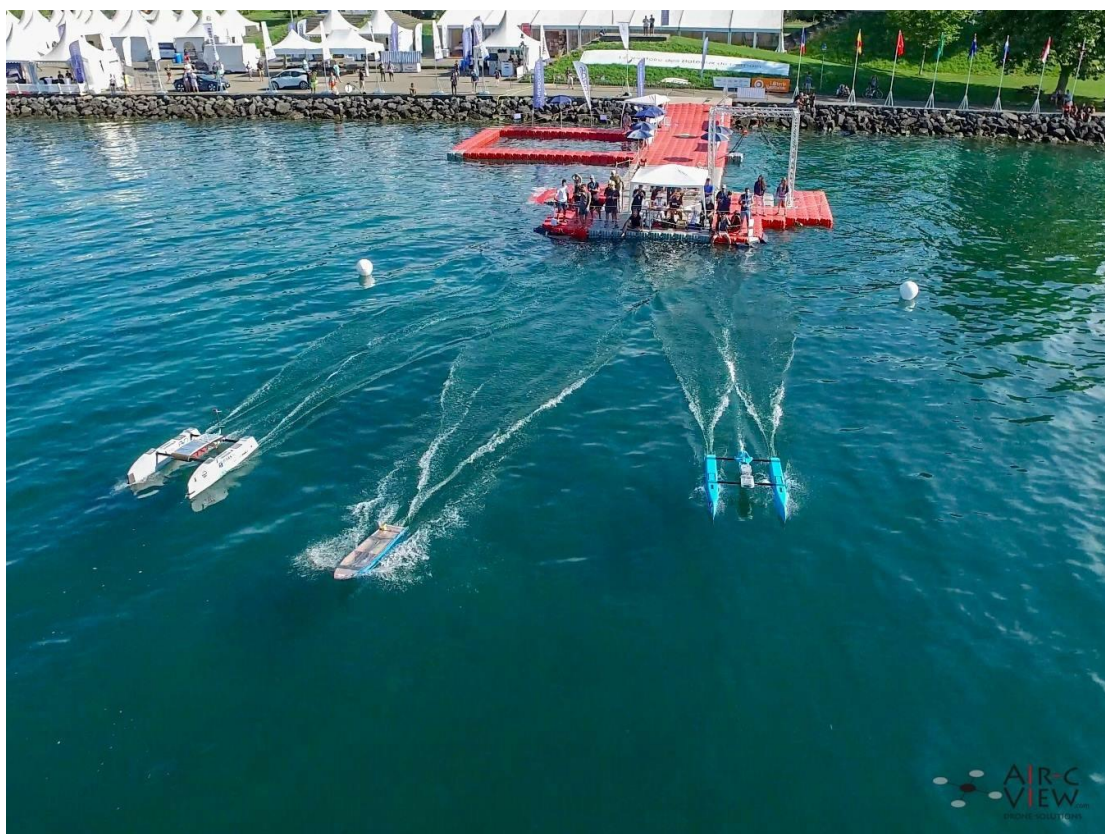
Οι σφήνες αυξάνουν την ανωστική δύναμη στην γάστρα. Δεδομένου ότι η επαγόμενη αντίσταση αυξάνει, η συνολική αντίσταση μειώνεται μόνον εφ' όσον στην νέα κατάσταση μειώνονται οι άλλες συνιστώσες της αντίστασης.

Ενώ οι μόνιμες σφήνες και τα μόνιμα μη σταθερά πτερύγια μπορούν να μειώσουν την αντίσταση του σκάφους κοντά στην ταχύτητα σχεδίασης, τα ρυθμιζόμενα πτερύγια στον καθρέπτη, μπορούν να επιτύχουν τα ίδια αποτελέσματα σε μια ευρύτερη περιοχή ταχυτήτων και εκτοπισμάτων.

2. Περιγραφή Διαγωνισμού

2.1. Γενικά

Ο διαγωνισμός στον οποίο πήρε μέρος η ομάδα Ωκεανός διοργανώνεται από το ίδρυμα “Hydros Foundation” από το 2014 στην λίμνη Leman στην Λωζάννη της Ελβετίας. Το ίδρυμα έχει σκοπό μέσω του συγκεκριμένου διαγωνισμού, την ευαισθητοποίηση των νέων μηχανικών και αρχιτεκτόνων της ναυπηγικής βιομηχανίας για την ανάγκη αποδοτικών ναυτικών σχεδιασμών και τεχνολογιών, οι οποίοι μπορούν, επίσης, να βρουν εφαρμογές στην βιομηχανία και να προσφέρουν έδαφος για πολλά υποσχόμενες εργασίες και να βελτιώσουν το ναυτικό οικολογικό ισοζύγιο. Στην Εικόνα 1 παρατηρείται την τοποθεσία των αγώνων.



Εικόνα 1- Φωτογραφία αγώνων

2.2. Κατηγορίες διαγωνισμού

Ο διαγωνισμός αποτελείται από 3 κατηγορίες αγώνων. Σκοπός σε αυτούς είναι η συμμετοχή τουλάχιστον ενός τηλεκατευθυνόμενου πρότυπου σκάφους σε

αγώνες ταχύτητας με τους άλλους διαγωνιζόμενους. Αυτοί είναι ο αγώνας ελαφριάς κατηγορίας, ο αγώνας της βαριάς κατηγορίας και ο αγώνας αντοχής.

Ο αγώνας ελαφριάς κατηγορίας παρομοιάζει ένα σκάφος αναψυχής, όπου τα διαγωνιζόμενο σκάφος μεταφέρει 20 kg έρμα σε μία διαδρομή 600 m. Στην βαριά κατηγορία το διαγωνιζόμενο σκάφος παρομοιάζει ένα φορηγό πλοίο και μεταφέρει 200 kg έρμα σε διαδρομή 400 m. Στις πρώτες 2 κατηγορίες ζητούμενο είναι η μέγιστη ταχύτητα υπηρεσίας του σκάφους, καθώς η απόσταση που διανύουν τα σκάφη είναι συγκεκριμένη και σχετικά μικρή. Στον αγώνα αντοχής, το σκάφος πρέπει να μεταφέρει έρμα 20 kg και ζητούμενο είναι με δεδομένη ενέργεια να διανύσει την μεγαλύτερη απόσταση μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε σχέση με τις αντίπαλες ομάδες.

2.3. Περιορισμοί διαγωνισμού

Στον συγκεκριμένο διαγωνισμό, πέρα από τις παραπάνω απαιτήσεις της κάθε κατηγορίας, υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί που έπρεπε να τηρεί η κάθε διαγωνιζόμενη ομάδα. Οι βασικοί κανονισμοί του είναι οι εξής:

- ❖ Δημιουργία σκάφους το οποίο θα χωράει σε ένα κουτί συνολικών διαστάσεων 2,5m x 2,5m x 2m
- ❖ Η προωστήρια εγκατάσταση είναι ηλεκτρική, δίνεται από τον διοργανωτή και έχει την ίδια ισχύ για όλους.
- ❖ Η μπαταρία δίνεται από τον διοργανωτή και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά για όλους.

Κοιτάζοντας και μελετώντας τους παραπάνω περιορισμούς παρατηρείται ότι η σχεδίαση των σκαφών είναι ελεύθερη, αρκεί να τηρούνται οι μέγιστες διαστάσεις, τα σκάφη έχουν σαν «καύσιμο» την ηλεκτρική ενέργεια και δεν υπάρχουν περιθώρια να τροποποιηθεί το μηχανολογικό κομμάτι. Μέσα από τους περιορισμούς αυτούς συμπεραίνουμε ότι η κατεύθυνση του διαγωνισμού, είναι η βέλτιστη υδροδυναμική απόδοση της γάστρας, άρα και η βέλτιστη σχεδίαση.

3. Περιγραφή εξοπλισμού

3.1. Γενικά

Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για να μπορέσουν να λειτουργήσουν στις ανάγκες του διαγωνισμού χρειάζονταν να εξοπλιστούν με τα κατάλληλα μηχανήματα. Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός χωρίζεται σε αυτό που παρέχεται από τον διοργανωτή και στον εξοπλισμό που χρειάστηκε να αγοράσει η ομάδα για την ομαλή λειτουργία των σκαφών.

Ακόμη, για την διεξαγωγή των πειραμάτων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός της πειραματικής δεξαμενής και των διαφόρων οργάνων μέτρησης. Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά το κάθε εξάρτημα που χρησιμοποιήθηκε.

3.2. Εξοπλισμός διαγωνισμού

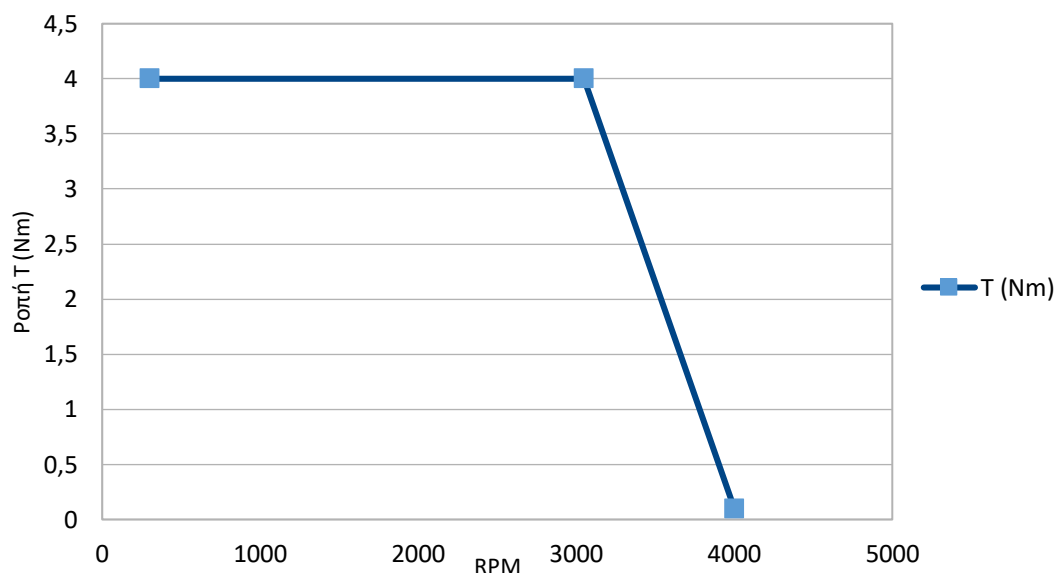
Ο διοργανωτής παρέχει στην κάθε διαγωνιζόμενη ομάδα την πρωσθήρια εγκατάσταση, η οποία αποτελείται από έναν εξωλέμβιο ηλεκτροκινητήρα, την μπαταρία, καθώς και τον ελεγκτή του κινητήρα (speed controller). Μέσω την παροχή των παραπάνω, ο διοργανωτής διασφαλίζει τον περιορισμό στην ισχύ που έχει θέσει σε όλες της ομάδες, ώστε να κατευθυνθούν σε αποδοτικές σχεδιάσεις.

Πιο συγκεκριμένα ο κινητήρας, ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 2, είναι ένας σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος. Τροφοδοτείται, μέσω της μπαταρίας, με συνεχές ρεύμα το οποίο οδηγείται σε κάθε φάση του κινητήρα μέσω ενός ελεγκτή. Ο ελεγκτής παρέχει παλμούς ρεύματος στις περιελίξεις του μοτέρ που ελέγχουν την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα.



Εικόνα 2-Ηλεκτροκινητήρας

Οι μέγιστες στροφές ανά λεπτό του κινητήρα περιορίζονταν από τον ελεγκτή στις 3000 για το 2016 και στις 2000 για τα υπόλοιπα έτη και η ροπή ήταν 4 kN*m. Παρακάτω στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται και το διάγραμμα ροπής – στροφές ανά λεπτό (RPM) του κινητήρα του 2016.



Διάγραμμα 1-Διάγραμμα Ροπής T - RPM

Η μπαταρία ήταν μια μπαταρία τεχνολογίας ιόντων λιθίου όπου για το έτος 2016 περιοριζόταν στα 52 Volt και το βάρος της στα 5 κιλά, ενώ στα υπόλοιπα έτη στα 36 Volt και στα 2 κιλά (το βάρος της αναφέρεται καθώς παίζει σημαντικό παράγοντα στη συγκεκριμένη εργασία).

3.3. Εξοπλισμός που αγοράστηκε

Φυσικά, ο εξοπλισμός που χρειαζόταν για τις ανάγκες του διαγωνισμού και την δημιουργία ενός πλήρους λειτουργικού τηλεκατευθυνόμενου σκάφους, δεν ήταν μόνο ότι παρείχε ο διοργανωτής, αλλά και τα διάφορα παρελκόμενα του σκάφους. Το πρότυπο μοντέλο, για να μετατραπεί σε λειτουργικό σκάφος το οποίο θα μπορούσε να κινείται αυτόνομα στο νερό, χρειαζόταν να κατασκευαστεί και να τοποθετηθεί μηχανισμός για την πηδαλιουχία, να κατασκευαστεί το ηλεκτρικό κύκλωμα για την ηλεκτροδότηση και την λειτουργία του απαραίτητου ηλεκτρικού εξοπλισμού, σύστημα τηλεκατεύθυνσης και λειτουργία συστήματος ψύξης για την αποφυγή της υπερθέρμανσης των διαφόρων παρελκομένων.

Οπότε, ο εξοπλισμός που αγοράστηκε και τοποθετήθηκε είναι:

- ο ηλεκτρικός σερβοκινητήρας για το πηδάλιο
- το σύστημα ψύξης του ελεγκτή
- σύστημα τηλεκατεύθυνσης,

- αδιάβροχα κουτιά για τα ηλεκτρονικά του σκάφους
- ηλεκτρικά καλώδια για την μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας. (κινητήρας-ελεγκτής, αντλία, τηλεκατεύθυνση)

το οποίο αποτελούταν από τον πομπό - τηλεχειριστήριο, τον αποδέκτη, μπαταρίες για την λειτουργία τους,

Πέραν του εξοπλισμού ο οποίος αγοράστηκε, υπήρξαν κάποια παρελκόμενα όπως τα πηδάλια των σκαφών, τα οποία κατασκευάστηκαν από εμάς. Η διαδικασία κατασκευής περιγράφεται αναλυτικότερα σε επόμενα κεφάλαια.

3.4. Πειραματικός Εξοπλισμός – Όργανα Μέτρησης

3.4.1. Γενικά

Τα αποτελέσματα καθώς και η ανάλυση αυτών που ακολουθεί μία σειρά πειραμάτων είναι τόσο αξιόπιστα όσο και η χρήση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Με άλλα λόγια, ο βαθμός στον οποίο τα όργανα μέτρησης χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών, είναι κατάλληλα για τη μέτρηση των μεγεθών που ενδιαφέρουν, η συντήρησή τους κλπ. είναι παράγοντες που επηρεάζουν το σφάλμα των αποτελεσμάτων.

Στον ελληνικό ερευνητικό χώρο δυστυχώς εξετάζονται τα αποτελέσματα χωρίς όμως να δίνεται επαρκής προσοχή στην αξιοπιστία των οργάνων και της χρήσης αυτών. Ωστόσο, η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στην Πειραματική Δεξαμενή του Εργαστηρίου Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής (ΕΝΘΥ) της Σχολής, όπου υπάρχει παραδοσιακά μεγάλο ενδιαφέρον στην εγκυρότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων, και συνεπώς όλες οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται παρακάτω για την ανάλυση των πειραμάτων λήφθηκαν με υποδειγματικό τρόπο.

3.4.2. Πειραματική Δεξαμενή – Φορείο

Όπως έχει αναφερθεί και ανωτέρω, η εκτέλεση των πειραμάτων πραγματοποιήθηκαν στην Πειραματική Δεξαμενή του ΕΝΘΥ. Οι διαστάσεις της είναι 91m μήκος, 4.52m πλάτος και περίπου 3.8m ύψος. Η στάθμη του νερού κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 2.9m. Στην μία άκρη της διαθέτει σύστημα παραγωγής κυματισμών, ενώ στο άλλο άκρο της διαθέτει ειδική ημιπερατή ακτή μήκους 11.1m η οποία βοηθάει στην ταχύτερη απόσβεση των διαταραχών. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της Διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν ως επιπλέον αποσβεστικές διατάξεις δύο σειρές φελλών οι οποίες τοποθετήθηκαν κατά μήκος της δεξαμενής.

Το φορείο δοκιμών κινείται πάνω σε δύο λείες χαλύβδινες ράγες και μπορεί να αναπτύξει ταχύτητες μέχρι και 5.5 m/s. Διαθέτει γέφυρα προσδέσεως των μοντέλων, και γέφυρα παρακολούθησης των πειραμάτων. Το βάρος του ανέρχεται στους 5.5t και φέρει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, φέρει όργανα μέτρησης, φίλτρα, μετατροπείς A/D, ψηφιακές κάρτες, υπολογιστές, ηλεκτροκινητήρες). Ακόμη διαθέτει στο πίσω μέρος του ειδικό μηχανισμό βίαιης απόσβεσης κυματισμών (σιδερώστρα) για τα μεγαλύτερα ύψη κυματισμών.

Η κίνηση του φορείου επιτυγχάνεται με χρήση τεσσάρων ηλεκτροκινητήρων συνεχούς ρεύματος οι οποίοι τροφοδοτούνται με ανορθωμένη τάση από το δίκτυο μέσω αγωγών κατά μήκος της δεξαμενής. Η ακριβής ταχύτητα που επιτυγχάνει το φορείο μετριέται από ειδικό τροχό με μεγάλης ακρίβειας φωτοηλεκτρικό σύστημα.

Στην Εικόνα 3 που ακολουθεί, φαίνεται η πειραματική δεξαμενή πάνω από την οποία διακρίνεται το φορείο.



Εικόνα 3-Πειραματική δεξαμενή - Φορείο

3.4.3. Μετρητικά Όργανα - Αισθητήρες

Τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση πειραμάτων στην πειραματική δεξαμενή του ΕΝΘΥ συνδέονται με Η/Υ ο οποίος συλλέγει και αναλύει τα σήματα σε πραγματικό χρόνο. Η δεξαμενή διαθέτει πληθώρα λειτουργικών μετρητικών διατάξεων (δυναμόμετρο, αισθητήρας κατακόρυφης κίνησης, αισθητήρας γωνιών διαγωγής, επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες ανύψωσης της επιφάνειας του νερού, μετρητικά πίεσης κ.ά.) προκειμένου να είναι δυνατή η μελέτη οποιουδήποτε μεγέθους ενδιαφέρει σε κάθε περίπτωση.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε (δυναμόμετρο) για την εκτέλεση των πειραμάτων της παρούσας εργασίας ονομάζεται R47 και διαθέτει παραμορφωσιόμετρα (για την μέτρηση της αντίστασης του ρυμουλκούμενου μοντέλου), αισθητήρα κατακόρυφης μετατόπισης (για την μέτρηση της αντίστοιχης κίνησης Heave του μοντέλου) και αισθητήρα γωνιακής μετατόπισης (για την μέτρηση της κίνησης Pitch του μοντέλου).

Όλοι οι αισθητήρες ήταν συνδεδεμένοι μέσω ενός φίλτρου και μίας A/D 12bit κάρτας σε Η/Υ. Όπως είναι ευρέως γνωστό, το μέγεθος που μετράται από την πλειοψηφία των μετρητικών διατάξεων (στην οποία ανήκουν και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν), είναι η ηλεκτρική τάση η οποία σχετίζεται με γραμμικό τρόπο.

Δυναμόμετρο

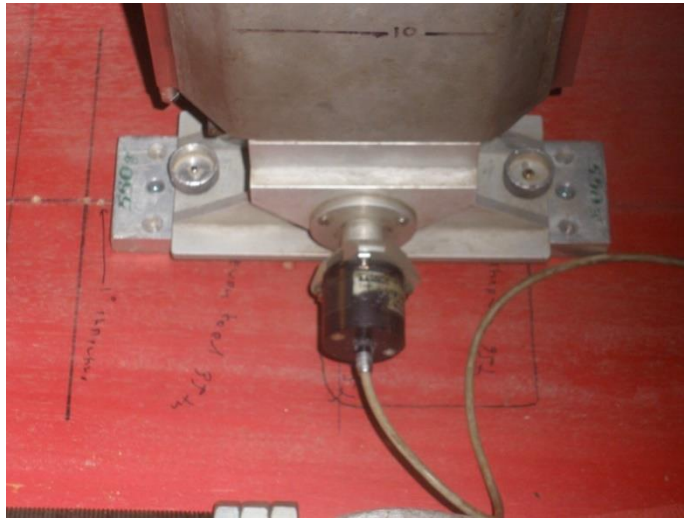
Το μοντέλο συνδέεται με το φορείο με τη χρήση ενός δυναμόμετρου τύπου Kempf & Remmers R47 με μέσο εύρος λειτουργίας τα $\pm 25\text{kp}$, και μέγιστο φορτίο τα 37.5kp . Το μέγεθος που μετράται –όπως σε όλους τους τύπους αισθητήρων- είναι η τάση, η οποία καταλήγει μέσω ενός φίλτρου και μίας A/D 12bit κάρτας σε πρόγραμμα καταγραφής σε Η/Υ. Το δυναμόμετρο φαίνεται στην Εικόνα 4 που ακολουθεί.



Εικόνα 4-Δυναμόμετρο

Αισθητήρας γωνιακής μετατόπισης (Pitch)

Πάνω στο πόδι του παραπάνω δυναμομέτρου είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος και ένας αισθητήρας γωνιακής μετατόπισης. Το εν λόγω όργανο είναι τύπου γραμμικού ποτενσιόμετρου, ατέρμονο. Ο αισθητήρας αυτός φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 5.



Εικόνα 5-Γωνιόμετρο

Αισθητήρας κατακόρυφης μετατόπισης (Heave)

Το πόδι του δυναμομέτρου είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη κατακόρυφη κίνηση του μοντέλου, η οποία μπορεί να μετρηθεί με χρήση του αισθητήρα κατακόρυφης μετατόπισης. Το εν λόγω όργανο είναι τύπου γραμμικού ποτενσιόμετρου, και έχει εύρος λειτουργίας που καλύπτει το όριο λειτουργίας του ποδιού του δυναμομέτρου (50cm), και φαίνεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6-Μετρητής κατακόρυφης μετατόπισης

Ηλεκτρονική & Αναλογική Ζυγαριά

Όπως θα περιγραφεί και αναλυτικότερα παρακάτω, για την επίτευξη ενός επιθυμητού εκτοπίσματος, έγινε πρόσθεση κατάλληλων βαρών που διαθέτει το εργαστήριο. Το μοντέλο κρεμάστηκε από μία ηλεκτρονική ζυγαριά, μέγιστης μετρητικής ικανότητας 200 kg και διακριτικής ικανότητας 5 gr, η οποία στηρίχτηκε από γερανό ανυψωτικής ικανότητας 5t. Στην Εικόνα 7 φαίνεται ο γερανός που υπάρχει πάνω από την πειραματική δεξαμενή, ενώ στην Εικόνα 8 φαίνεται η ηλεκτρονική ζυγαριά.



Εικόνα 7-Γερανός



Εικόνα 8-Ηλεκτρονική ζυγαριά

Για το ακριβές βάρος καθενός αντικειμένου που προστίθεντο στο μοντέλο, γινόταν χρήση μίας αναλογικής ζυγαριάς διακριτικής ικανότητας 10 gr και μέγιστης μετρητικής ικανότητας 30 kg. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται δύο ενδεικτικοί τύποι βαρών που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτέλεση των πειραμάτων, τα οποία είναι υπό ζύγιση στην αναλογική ζυγαριά.



Εικόνα 9-Χαλύβδινα βάρη στην αναλογική ζυγαριά

Μετρητής πραγματικής (επιτευχθείσας) ταχύτητας

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση που αφορά σε έναν συγκεκριμένο αριθμό Froude, θα πρέπει το φορείο να ρυμουλκήσει το μοντέλο με κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα. Αυτή η ταχύτητα δίνεται ως είσοδος στον υπολογιστή του φορείου το οποίο δίνει κατάλληλη εντολή στον ηλεκτρικό κινητήρα κίνησής του.

Ωστόσο, η πραγματική ταχύτητα που επιτυγχάνεται διαφέρει λιγάκι από την επιθυμητή που εισήχθη ως είσοδος. Για το λόγο αυτό, μετράται με ειδικό αισθητήρα ακριβείας η χρονική ιστορία της πραγματικής ταχύτητας του φορείου η οποία καταγράφεται μαζί με τα υπόλοιπα μετρούμενα μεγέθη.

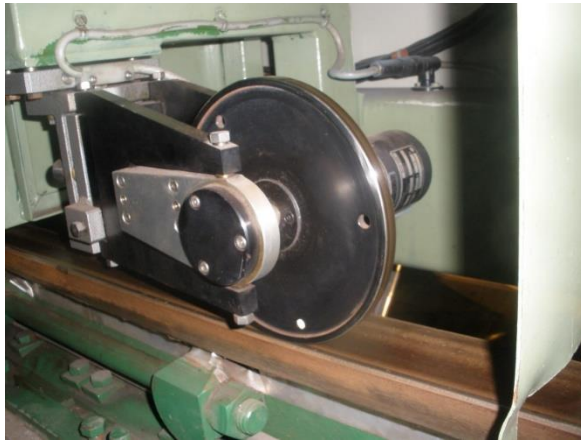
Πιο συγκεκριμένα, ο εν λόγω μετρητής είναι μία ρόδα κατασκευασμένη με μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων η οποία κινείται χωρίς να ολισθαίνει πάνω στην αριστερή ράγα μαζί με το φορείο και δίνει 5000 ηλεκτρικούς παλμούς για κάθε πλήρη κύκλο περιστροφής της. Έτσι μπορεί να υπολογισθεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια (η οποία ανέρχεται στα $\pm 0.1\text{m/s}$) η στιγμιαία ταχύτητα σε κάθε χρονική στιγμή της μέτρησης σύμφωνα με τη σχέση:

$$V = \frac{c\pi D}{2500\Delta t} \quad (3)$$

όπου

- c ο αριθμός των παλμών που διαβάζει ο υπολογιστής σε χρόνο Δt
- D η διάμετρος της εν λόγω ρόδας η οποία στην περίπτωση του ΕΝΘΥ ισούται με 15cm.

Η ρόδα αυτή φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 10.



Εικόνα 10-Ρόδα μέτρησης ταχύτητας φορείου

4. Μέθοδος πειραματικών διαδικασιών

4.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται εκτενώς η διαδικασία εκτέλεσης των πειραμάτων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγιναν διάφορα και πολλά πειράματα σε διάφορες καταστάσεις και παρακάτω περιγράφονται οι βασικές αρχές που ακολουθήσαμε πριν την εκτέλεση κάθε διαφορετικής διάταξης. Για την μέγιστη δυνατή εγκυρότητα των μετρήσεων, γινόταν συχνά βαθμονόμηση των οργάνων και κατά τη διάρκεια της καταγραφής περιορίζονταν – κατά το δυνατό - όλες οι διαταραχές από την κίνηση των ανθρώπων πάνω στο φορείο. Ακόμη, όλες οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας $f_s=100\text{Hz}$.

Τα μεγέθη που καταγράφονται κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είναι η ταχύτητα που επιτυγχάνει το φορείο², η αντίσταση του μοντέλου, η κατακόρυφη (δυναμική) μετατόπιση και η διαμήκης (δυναμική) διαγωγή. Οι υπόλοιπες κινήσεις του πλοίου, όπως είναι η εγκάρσια μετατόπιση (sway), η περιστροφή ως προς τον διαμήκη άξονα (roll) κλπ ήταν περιορισμένες.

4.2. Καταστάσεις που μελετήθηκαν

Όπως έχει αναφερθεί και ανωτέρω, σκόπος της εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς της αντίστασης των σκαφών της ομάδας «Ωκεανός», παραμετρικά ως προς την ταχύτητα και την διαγωγή. Το εκτόπισμα για κάθε ένα από τα μοντέλα ήταν σταθερό, καθώς έπρεπε να τηρούμε την κατάσταση φόρτωσης του διαγωνισμού.

Για κάθε ένα από τα μοντέλα οριζόταν το εκτόπισμα του, σύμφωνα με την κατηγορία του στο διαγωνισμό, προσμετρώντας το βάρος του εξοπλισμού και του απαιτούμενου έρματος. Από την επιθυμητή τιμή του εκτοπίσματος του εκάστοτε μοντέλου, αν αφαιρέσουμε το ίδιο βάρος (του μοντέλου) υπολογίζεται η τιμή του επιπλέον βάρους που πρέπει να προστεθεί σε αυτό. Η προσθήκη αυτή έγινε με χρήση χαλύβδινων κομματιών που διαθέτει το εργαστήριο.

Οι καταστάσεις των πειραμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο κατά την χρονολογική σειρά με την οποία έγιναν.

² Η ταχύτητα την οποία βάζουμε ως είσοδο στο φορείο, διαφέρει εν γένει λιγάκι από την πραγματική που επιτυγχάνεται

4.3. Συναρτήσεις Μεταφοράς – Βαθμονόμηση

Όπως για όλα τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται, έτσι και για αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτέλεση των πειραμάτων ισχύει κάποια γραμμική σχέση μεταξύ μετρούμενης τάσης και υπό μέτρηση μεγέθους. Η σχέση αυτή έχει τη γνωστή μορφή $y = ax + b$, όπου με y συμβολίζουμε το μέγεθος που θέλουμε να μετρήσουμε (πχ τη δύναμη της αντίστασης, την κατακόρυφη κίνηση κλπ) ενώ με x συμβολίζουμε την μετρούμενη τάση σε Volts. Τα a και b είναι σταθερές οι οποίες ορίζουν την παραπάνω εξίσωση συσχέτισης του μεγέθους που ενδιαφέρει και της μετρούμενης τάσης η οποία ονομάζεται συνάρτηση μεταφοράς. Δεδομένου λοιπόν ότι αυτή η σχέση που μας ενδιαφέρει έχει γνωστή μορφή, μπορούμε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους (a και b) αν διεγείρουμε τον εκάστοτε αισθητήρα σε έναν αριθμό από γνωστές διαταραχές. Για παράδειγμα, αν εφαρμόσουμε δύναμη στο δυναμόμετρο ίση με $y=5kp$ και μετρήσουμε τάση ίση με $x=1.2\text{Volt}$ τότε έχουμε μία εξίσωση για τον υπολογισμό των παραμέτρων. Κάνοντας και άλλες δοκιμές (όσο περισσότερες, τόσο πιο αξιόπιστος ο υπολογισμός), μπορούμε τελικά να υπολογίσουμε τις παραμέτρους a και b .

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω ονομάζεται βαθμονόμηση και πραγματοποιήθηκε ανά τακτά χρονικά διαστήματα την περίοδο των πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η βαθμονόμηση του οργάνου της αντίστασης βαθμονομούταν κάθε μέρα, ο αισθητήρας της κατακόρυφης κίνησης (Heave) κάθε εβδομάδα, ενώ ο αισθητήρας της διαγωγής (Pitch) κάθε δεκαπέντε ημέρες.

Η συχνή βαθμονόμηση ενός αισθητήρα προέρχεται από το γεγονός ότι τα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπως η υγρασία, η θερμοκρασία κλπ.

Τέλος, στην παράγραφο αυτή αξίζει να αναφερθεί ότι πριν από την καταγραφή κάθε μίας μέτρησης, γινόταν μέτρηση μηδενικής τιμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περιορίζονται τα σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται λόγω της παραμέτρου b , μια και αυτή πλέον δεν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μετρούμενου μεγέθους. Δηλαδή, αν (x_0, y_0) η μέτρηση μηδενικής τιμής και (x, y) η μέτρηση του μεγέθους τότε η τιμή που μας ενδιαφέρει δίνεται ως

$$y - y_0 = (ax + b) - (ax_0 + b) = a(x - x_0) \quad (4)$$

Άρα πρακτικά χρησιμοποιείται μόνο η παράμετρος a .

4.4. Ροή διαδικασιών για την εκτέλεση πειραμάτων

Η παράγραφος αυτή έχει ως αποκλειστικό σκοπό να παραθέσει συγκεντρωτικά και επιγραμματικά όλες τις ενέργειες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να αποκτηθούν οι πειραματικές μετρήσεις, και έχουν σχολιασθεί ή θα

σχολιασθούν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στις προηγούμενες ή στις επόμενες σελίδες αντίστοιχα.

1. Επαλήθευση γεωμετρίας μοντέλου (μέτρηση μερικών χαρακτηριστικών σημείων της γάστρας)
2. Υπολογισμοί υδροστατικών μεγεθών και εκτόπισματος μοντέλου
3. Χάραξη των βυθισμάτων για την ισοβύθιστη κατάσταση
4. Εύρεση και χάραξη διαμήκους θέσεις κέντρου άντωσης (LCB) μοντέλου και τοποθέτηση της πλάκας του δυναμομέτρου³
5. Ζύγιση άφορτου μοντέλου (μαζί με την πλάκα που τοποθετήθηκε παραπάνω)
6. Πρόσθεση βαρών ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό εκτόπισμα του μοντέλου (συνυπολογίζοντας το βάρος του ίδιου του δυναμομέτρου –ποδιού- το οποίο ισούται με 7.360kg)
7. Τοποθέτηση του μοντέλου στο πόδι και μετακίνηση βαρών ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ίσαλος που χάραχθηκε στο βήμα 3
8. Βαθμονόμηση Οργάνων Resistance, Heave και Pitch
9. Εκτέλεση πειραμάτων

Είναι προφανές ότι η παραπάνω ροή ενεργειών ήταν απαραίτητη μόνο για την πρώτη κατάσταση. Για την κάθε επόμενη κατάσταση στο ίδιο εκτόπισμα, η αλληλουχία ήταν η εξής

1. Χάραξη θέσης LCB για τη νέα κατάσταση
2. Τοποθέτηση της πλάκας στο νέο LCB
3. Μετακίνηση βαρών ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διαγωγή με τη βοήθεια του ήδη βαθμονομημένου αισθητήρα του Pitch
4. Εκτέλεση πειραμάτων

Με τον τρόπο αυτό, πραγματοποιήθηκαν όλα τα απαραίτητα πειράματα και καταγράφηκαν οι αντίστοιχες μετρήσεις, οι οποίες εισήχθησαν στον υπολογιστή προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία και ανάλυση που θα παρουσιασθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

³ Το μοντέλο δένεται στο δυναμόμετρο παραδοσιακά στο LCB. Το πιο ορθολογικό θα ήταν να δεθεί στο σημείο του οποίου το αντίστοιχο στο πλοίο φέρει το ωστικό έδρανο, αλλά όλες οι πειραματικές δεξαμενές έχουν κάνει τη σύμβαση του LCB για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματά τους

5. Προετοιμασία σκάφους για το έτος 2016

5.1. Γενικά

Η ομάδα το 2016 αποφάσισε να συμμετάσχει στις 2 από τις 3 κατηγορίες αγώνων, αυτή της ελαφριάς κατηγορίας και αυτή του αγώνα αντοχής. Έτσι χρειαζόταν να μελετήσει και να κατασκευάσει μόνο ένα σκάφος. Όπως προαναφέρθηκε στο 1^ο έτος συμμετοχής της ομάδας χρησιμοποιήθηκε μια έτοιμη γάστρα από το ΕΝΘΥ το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί παλιότερα για ένα ερευνητικό έργο του τομέα. Η συγκεκριμένη γάστρα επιλέχθηκε με κριτήριο τους περιορισμούς στις διαστάσεις, αλλά και ύστερα από προτροπή του κ. Γ. Γρηγορόπουλου, καθηγητή του τομέα ΝΘΥ, καθώς ήταν μια ολισθάκατος, η οποία ταίριαζε στις απαιτήσεις για ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων.

5.2. Περιγραφή σκάφους

Το πρότυπο σκάφος κατασκευάστηκε από την ΟΛΥΜΠΙΚ ΜΑΡΙΝ Α.Ε. και χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διερεύνηση ενός ταχύπλοου σκάφους μήκους 76 ποδιών. Το μοντέλο σκάφος έχει μήκος 2.310m στο οποίο πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης γυμνής γάστρας για 4 διαφορετικούς συνδυασμούς εκτοπίσματος και διαμήκους θέσεως του κέντρου βάρους. Το σκάφος έχει κατασκευαστεί από σύνθετα υλικά και συγκεκριμένα από ίνες γυαλιού και ενισχυμένο πολυεστέρα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 1.

Πίνακας 1-Κύρια χαρακτηριστικά μοντέλου

Ολικό Μήκος LOA	2,310	m
Μέγιστο πλάτος B	0,543	m
Μέγιστο πλάτος Ακμής B_{cmx}	0,428	m
Ανύψωση πυθμένα	19,0	deg

Παρακάτω στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται το σκάφος, όπως ήταν όταν επιλέχθηκε.



Εικόνα 11- Φωτογραφία μοντέλου

Το πρότυπο σκάφος προφανώς για να έρθει στις ανάγκες του διαγωνισμού έπρεπε να μεταποιηθεί και να προστεθούν τα διάφορα παρελκόμενα που χρειάζονται. Έτσι, στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αυξήσαμε τα ενισχυτικά του σκάφους και προσθέσαμε όλους τους μηχανισμούς που χρειάστηκαν με την βοήθεια του προτύπου ξυλουργείου του ΕΝΘΥ και του εργαστηρίου σύνθετων υλικών.

5.3. Πειράματα αντίστασης

Αφού έγιναν οι πρώτες διεργασίες πάνω στο σκάφος, η διαδικασία πειραμάτων ξεκίνησε με την μέτρηση της καμπύλης αντίστασης σε ήρεμο νερό. Παραδοσιακά, η διαδικασία εκτίμησης ταχύτητας πλεύσης ενός πλοίου, αρχίζει με την διεξαγωγή πειράματος αντίστασης σε γυμνή γάστρα. Το επόμενο βήμα είναι να γίνουν πειράματα αυτοπρόωσης ώστε να διερευνήσουν πλήρως την υδροδυναμική συμπεριφορά του σκάφους και να υπολογίσουμε την ταχύτητα πλεύσης.

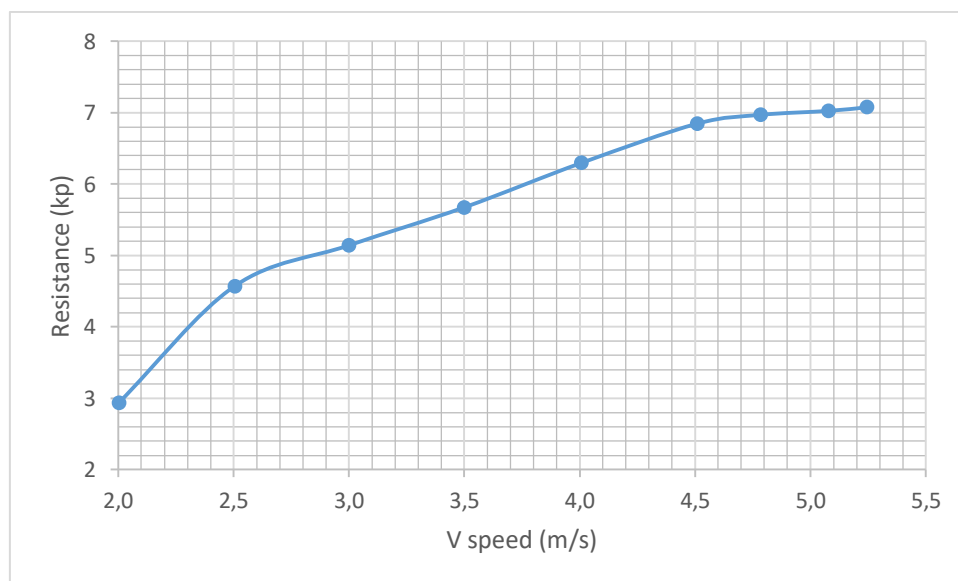
Στην περίπτωση των συγκεκριμένων πειραματικών διαδικασιών, αφού πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση βάρους στον εξοπλισμό που θα γινόταν χρήση αποφασίστηκε τα πειράματα να γίνουν στο εκτόπισμα των 40kg, εκτόπισμα το οποίο θεωρήθηκε ότι θα είναι το τελικό βάρος του σκάφους. Με την παρουσίαση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, γίνεται εκτίμηση της αντίστασης του μοντέλου.

5.3.1. Επεξεργασία αποτελεσμάτων

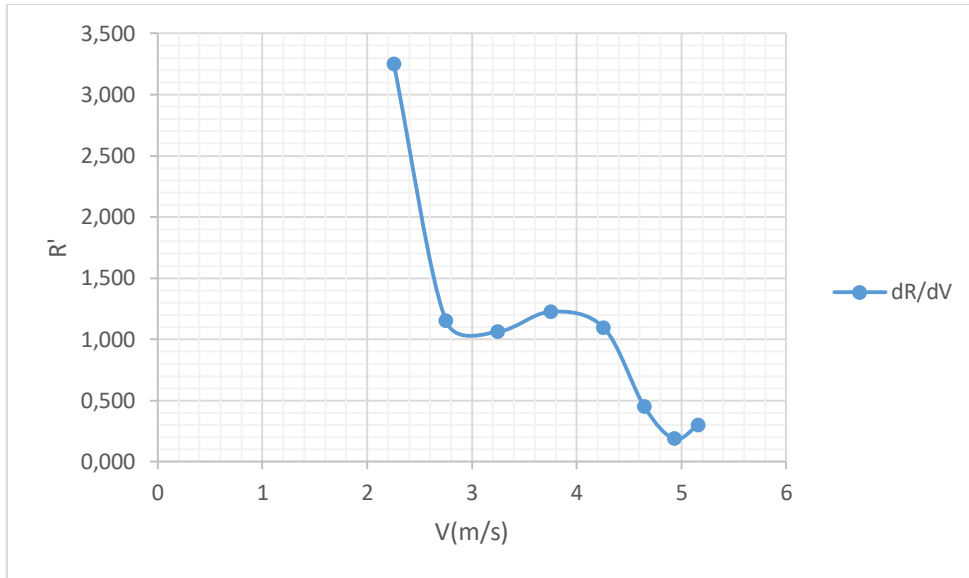
Μετά από την απόκτηση των πειραματικών μετρήσεων, έγινε η επεξεργασία τους προκειμένου να αποκτηθούν χρήσιμα μεγέθη όπως είναι οι καμπύλες αντίστασης και δυναμικής διαγωγής του μοντέλου.

Πιο συγκεκριμένα, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, γινόταν αρχικά μετατροπή των μετρημένων ποσοτήτων από Volts στην εκάστοτε μονάδα μέτρησης με χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς. Στη συνέχεια, έγινε γραφική αναπαράσταση των μεγεθών που μετρήθηκαν.

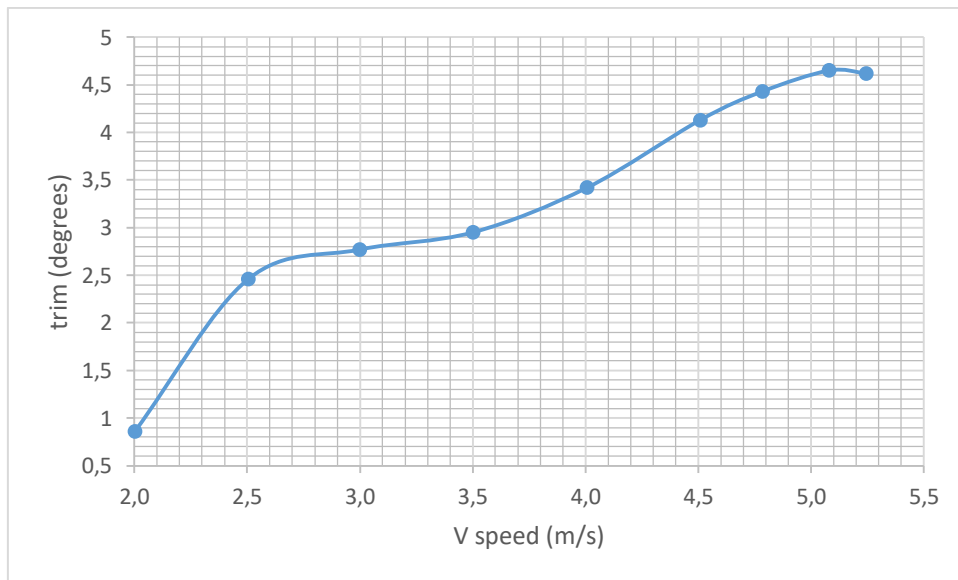
Τέλος, έγινε μία προσπάθεια τόσο ποιοτικής όσο και ποσοτικής ερμηνείας των αποτελεσμάτων με βάση τις παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το θεωρητικό υπόβαθρο και φυσικά την εμπειρία του προσωπικού του ΕΝΘΥ. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι ανωτέρω αναλύσεις και προβληματισμοί. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα αντίστασης και δυναμικής διαγωγής του σκάφους για το εκτόπισμα τον 40 Kg. Ακόμη, παρουσιάζεται και ο ρυθμός μεταβολής της αντίστασης σε σχέση με την ταχύτητα, ο οποίος ορίζεται ως την παράγωγο της συνάρτησης της αντίστασης.



Διάγραμμα 2- Καμπύλη αντίστασης



Διάγραμμα 3-Διάγραμμα ρυθμού μεταβολής της αντίστασης



Διάγραμμα 4-Καμπύλη διαγωγής

Πίνακας 2-Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων

Vspeed (m/s)	Resistance (kp)	trim (degrees)	FN
2.002	2.936	0.86	0,46
2.505	4.572	2.46	0,57
2.999	5.141	2.77	0,69
3.500	5.674	2.95	0,80
4.007	6.296	3.42	0,92
4.508	6.845	4.13	1,03
4.783	6.969	4.43	1,09

5.079	7.025	4.65	1,16
5.245	7.075	4.62	1,20

5.3.2. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα μπορούμε να διακριθούν χρήσιμα δεδομένα για το πώς θα συμπεριφερθούμε στην συνέχεια της μελέτης μας. Καταρχάς, παρατηρώντας την καμπύλη αντίστασης, θα μπορούσαμε να διαχωρίσουμε την καμπύλη σε 3 τμήματα. Στις μικρές ταχύτητες μέχρι 2,5 m/s στις μεσαίες από 2,5-4,5m/s και στις υψηλές από 4,5-5,25 m/s (μέγιστο όριο ταχύτητας του φορείου). Παρατηρούμε ότι η αντίσταση στις μικρές ταχύτητες αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι στα υπόλοιπα τμήματα το οποίο οφείλεται ότι το σκάφος βρίσκεται σε περιοχή $F_n < 0.6$ (ταχύτητα κάτω του 2,5) και λειτουργεί σαν σκάφος εκτοπίσματος υψηλών ταχυτήτων. Ύστερα στην περιοχή των μεσαίων ταχυτήτων ο F_n είναι μεταξύ των περιοχών ενός σκάφος ημεκτοπίσματος $0,6 < F_n < 1$ που σημαίνει ότι το σκάφος αρχίζει να ολισθαίνει με αποτέλεσμα η αντίσταση να μην αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό. Φτάνοντας στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων παρατηρείτε ότι, η αντίσταση μεταβάλλεται πολύ πιο αργά, όπου ο F_n είναι μεγαλύτερος του 1. Στο σημείο αυτό, το σκάφος ολισθαίνει πλήρως και φαίνεται ότι σε αυτό το σημείο αυξάνοντας ελάχιστα την ισχύ μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη αύξηση της ταχύτητας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα του ρυθμού μεταβολής της αντίστασης μπορεί να επαληθευθεί ότι η αντίσταση μεταβάλλεται διαφορετικά ανάλογα τον αριθμό F_n που εκφράζει το σκάφος ανάλογα με την ταχύτητα του. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι, όταν σκάφος λειτουργεί σαν σκάφος ημεκτοπίσματος ο dR/dV αρχίζει και μειώνεται μέχρι την ταχύτητα $V=4$ m/s. Στο σημείο αυτό, αρχίζει πάλι να αυξάνεται για λίγο και μετά ξαναμειώνεται γεγονός που οφειλόταν στο ότι το σκάφος ξεκινά να «πλανάει». Μέχρι την ταχύτητα $V=5,1$ m/s όπου ο ρυθμός συνεχίζει να μειώνεται, επαληθεύεται ότι με αλλαγές στην ταχύτητα στο διάστημα αυτό, η αντίσταση μεταβάλλεται αρκετά λιγότερο και μπορεί να επιτευχθεί με μικρή αύξηση της ισχύος αρκετά μεγαλύτερη ταχύτητα.

Ακόμα από το διάγραμμα δυναμικής διαγωγής, παρατηρείτε, ότι στην αρχή της πλεύσης το σκάφος παίρνει απότομα έμπρυμνη διαγωγή, ύστερα ισορροπεί περίπου μέχρι τα 3,5 m/s και έπειτα αυξάνεται πάλι η έμπρυμνη διαγωγή ώσπου φτάνει στην περιοχή πλαναρίσματος και ισορροπεί.

Τα πειράματα αντίστασης πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να γίνει εκτίμηση της ταχύτητας πλεύσης του σκάφους στον διαγωνισμό. Αυτό θα γινόταν, κοιτώντας τα διαγράμματα ελεύθερη ροής της προπέλας. Η προπέλα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μεταβλητού βήματος, οπότε ελέγχθηκε για το κάθε βήμα και τις αντίστοιχες στροφές που χρειαζόταν τι ροπή ζητούσε και τι ταχύτητα θα απέδιδε. Παράλληλα, επειδή η προπέλα δεν βρισκόταν σε σημείο όπου «έβλεπε» ελεύθερη ροή, έγινε υπόθεση ενός ποσοστού μείωσης της ώσης. Ύστερα, ανάλογα την ροπή που απαιτούσε η προπέλα, έγινε έλεγχος αν μπορούσε ο κινητήρας να την αποδώσει. Με αυτόν τον τρόπο, επιλέχθηκε το κατάλληλο βήμα για την προπέλα και έγινε εκτίμηση της ταχύτητας που θα έπλεε το σκάφος, η οποία ήταν στο πεδίο των 4,5-4,75.

5.4. Μετατροπές

Αφού πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα πειράματα εκτίμησης αντίστασης, ξεκίνησε η διαδικασία της μετατροπής και της συναρμολόγησης του μοντέλου με τον εξοπλισμό του. Οι μετατροπές που έγιναν, είχαν σκοπό την διασφάλιση της σωστής πλεύσης του σκάφους και της αίσθησης ασφάλειας ότι δεν θα υπάρξει αστοχία στην κατασκευή. Ακόμα, τροποποιήθηκε το σκάφος, ώστε να γίνει πιο εύκολη η τοποθέτηση του εξοπλισμού.

Στο διάστημα που απέμενε, αποφασίστηκε να μην γίνει κάποια σημαντική μελέτη αντοχής, αλλά να προχωρήσει η ομάδα εμπειρικά με την βοήθεια των καθηγητών της σχολής και κυρίως του κ. Τσούβαλη, καθηγητή του τομέα Ναυπηγικής Τεχνολογίας. Η διαδικασία ξεκίνησε, αφαιρώντας όλα τα ενισχυτικά του σκάφους όπως τα 2 εγκάρσια που φαίνονται στην Εικόνα 11 και την μικρή υπερκατασκευή στην πρύμνη και προστέθηκαν 2 εγκάρσιες φρακτές φτιαγμένες από σύνθετα υλικά με την μέθοδο sandwich με σκοπό την μέγιστη αντοχή σε στρέψη και όσον τον δυνατό λιγότερο βάρος. Αυτές τοποθετήθηκαν στο σκάφος και συνδέθηκαν χρησιμοποιώντας πολυεστέρα και σύνθετα υλικά.

Ακόμα, κατασκευάστηκε ένα ορθογώνιο ξύλινο κουτί, το οποίο ήταν η βάση του κινητήρα και σταθεροποιούσε τον κινητήρα με το σκάφος. Επιπλέον, στην πρύμνη τοποθετήθηκε ο μηχανισμός της πηδαλιουχίας και έγιναν 2 μικρές τρύπες για την είσοδο και την έξοδο του συστήματος ψύξης. Τέλος, το σκάφος έπρεπε να γυαλιστεί και να βαφτεί ώστε οι εξωτερική του επιφάνεια να γίνει απεγάδιαστη.

5.5. Μηχανισμοί - περιγραφή εξοπλισμού

5.5.1. Σύστημα πηδαλιουχίας

Το σύστημα πηδαλιουχίας θα μπορούσε να περιγραφεί ως το σύστημα, το οποίο με την λειτουργία του επιτρέπει στον χρήστη να έχει τον έλεγχο της πορείας του σκάφους προς οποιαδήποτε διεύθυνση. Το σύστημα πηδαλιουχίας του συγκεκριμένου σκάφους, αποτελούταν αρχικά από το πηδάλιο, τον ηλεκτρικό σερβοκινητήρα μετάδοσης της κίνησης για την στρέψη του πηδαλίου, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στο πηδάλιο καθώς και οι στηρίξεις αυτών.

Το πηδάλιο ήταν μια υδροτομή τύπου μαχαίρι, το οποίο ήταν τοποθετημένο πίσω από το σκάφος στον καθρέπτη της πρύμνης, όπου συνδεόταν με τον ηλεκτρικό σερβοκινητήρα με δύο μικρής κυκλικής διατομής σιδερένιες ράβδους με τον «σταυρό» του σερβοκινητήρα.

Ο σερβοκινητήρας ανάλογα με την εντολή που λάμβανε από τον χρήστη, στρεφόταν δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα και αντίστοιχα στρεφόταν το πηδάλιο με αποτέλεσμα να ορίζεται η πορεία του σκάφους.

5.5.2. Σύστημα ψύξης.

Σε ορισμένα συστήματα του σκάφους, λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους, αυξανόταν η θερμοκρασία τους πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Τα συστήματα αυτά ήταν ο εξωλέμβιος ηλεκτροκινητήρας και ο ελεγκτής (speed controller) του σκάφους. Στην πρώτη περίπτωση, ο ηλεκτροκινητήρας ψυχόταν παθητικά καθώς βρισκόταν εντός του νερού. Στην δεύτερη περίπτωση, ο speed controller χρειαζόταν ενεργητικό σύστημα ψύξης.

Σε αυτή την περίπτωση αγοράστηκε μια ηλεκτρική αντλία νερού. Η ηλεκτρική αντλία ήταν καθαρού νερού, 12V, η οποία χρησιμοποιούσε το νερό του περιβάλλοντος (λίμνη) για να ψύχει τον ελεγκτή. Ουσιαστικά, έκανε την εισροή νερού από ένα σωλήνα μήκους δέκα εκατοστών και εσωτερικής διαμέτρου έξι εκατοστών από τον πυθμένα του σκάφους κοντά στον καθρέπτη της πρύμνης. Το νερό διέσχισε ένα όμοιο σωλήνα, ο οποίος συνδεόταν με τον ελεγκτή, πραγματοποιούταν η ψύξη και ύστερα ακολουθούσε η εκροή του νερού, η οποία γινόταν έξω από το σκάφος.

5.5.3. Ηλεκτρονικό - ηλεκτρικό σύστημα – Σύστημα τηλεκατεύθυνσης

Το ηλεκτρονικό - ηλεκτρικό σύστημα γενικότερα σε ένα σκάφος θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι για την λειτουργία του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου το σκάφος έχει ως καύσιμο την ηλεκτρική ενέργεια, όλος ο εξοπλισμός του, πέρα των μηχανικών μερών, υπάγεται σε αυτό. Αυτά είναι ο ηλεκτροκινητήρας, ο σερβοκινητήρας, η αντλία νερού, ο ελεγκτής, το σύστημα ελέγχου των λειτουργιών, το σύστημα τηλεκατεύθυνσης και το σύστημα τηλεμετρίας.

- Ο ηλεκτροκινητήρας ήταν εξωλέμβιος κωνικού σχήματος, τριφασικός με μέγιστη απαίτηση ισχύος τα 1400 Watt στις 3000 στροφές ανά λεπτό και βάρους 3,89kg.
- Speed controller (Εικόνα 12) είναι ο ελεγκτής του κινητήρα, ο οποίος περιορίζει την λειτουργία του κινητήρα στα ονομαστικά του χαρακτηριστικά, δίνει το σήμα στον κινητήρα για την εκκίνησή του και ουσιαστικά είναι απαραίτητος για την λειτουργία του όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο Εξοπλισμός διαγωνισμού.



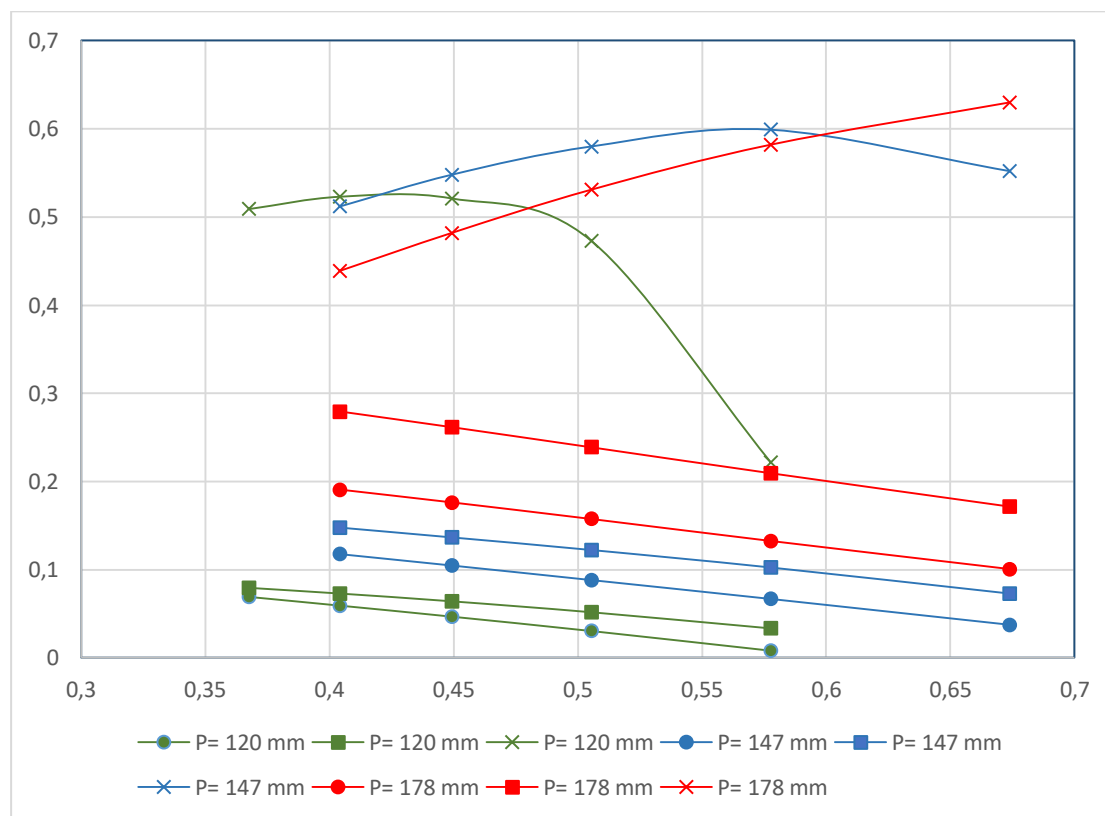
Εικόνα 12-Ελεγκτής/Speed controller

- Το σύστημα τηλεκατεύθυνσης αποτελείται από τον πομπό και τον αποδέκτη, όπου ο πομπός είναι ένα τηλεχειριστήριο, το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη του σκάφους να δίνει σήματα στον αποδέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο σκάφος, ο οποίος με την σειρά του μεταφέρει τα αντίστοιχα σήματα για την κίνηση του ηλεκτροκινητήρα και του σερβοκινητήρα, ώστε να «πilotάρετε» το σκάφος.
- Το σύστημα τηλεμετρίας είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικών αισθητήρων, οι οποίοι λαμβάνουν πληροφορίες από τις κινήσεις του σκάφους. Ενδεικτικά, οι πληροφορίες που λαμβάνουν είναι η ταχύτητα, η θέση και οι διάφορες κινήσεις του σκάφους στους 6 άξονες, ακόμα η ζήτηση και κατανάλωση ρεύματος της μπαταρίας .

5.5.4. Πρόωση – Προπέλα

Φυσικά όλο το σκάφος δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς την τοποθέτηση και λειτουργία κάποιας προπέλας. Για τον συγκεκριμένο ηλεκτροκινητήρα που δόθηκε, προτεινόταν από τον κατασκευαστή συγκεκριμένη προπέλα από το εμπόριο όπου χρησιμοποιήθηκε την πρώτη χρονιά.

Η προπέλα αυτή ήταν μεταβλητού βήματος, *διαμέτρου 23 εκ.*, το οποίο βήμα ρυθμιζόταν μηχανικά εκτός νερού. Με λίγα λόγια, δεν γινόταν η ρύθμισή του όταν το σκάφος βρισκόταν σε λειτουργία, με αποτέλεσμα να έπρεπε να γίνουν πειράματα για την ρύθμιση του για τη βέλτιστη λειτουργία του. Με την αγορά της προπέλας δινότουσαν και τα χαρακτηριστικά ελεύθερης ροής, για 3 διαφορετικούς λόγους βήματος, το οποίο μας επέτρεψε να επιλέξουμε το βέλτιστο βήμα με τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Τα χαρακτηριστικά της προπέλας ελεύθερη ροή φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5- Διάγραμμα ελεύθερης ροής προπέλας Watt & Sea

5.6. Δοκιμαστικά

Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης του εξοπλισμού, δοκιμάστηκε το μοντέλο σε πραγματικές συνθήκες. Η κύρια διαφορά μεταξύ των πειραματικών δοκιμών και των δοκιμαστικών, βρίσκεται στο σημείο που ασκούνται οι δυνάμεις πρόωσης του σκάφους. Το τελευταίο έχει σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της δυναμικής διαγωγής του σκάφους και συνεπώς της αντίστασης. Δεύτερος σημαντικός παράγοντας, είναι η μελέτη της πηδαλιουχίας του σκάφους. Για τους παραπάνω λόγους, αποφασίστηκε να γίνουν δοκιμές σε ευθεία πορεία, καθώς και δοκιμές ελικτικών δυνατοτήτων στην τετράγωνη πειραματική δεξαμενή των Πολιτικών μηχανικών του ΕΜΠ. Η σχολή Πολιτικών Μηχανικών και πιο συγκεκριμένα το εργαστήριο λιμενικών έργων της σχολής, διαθέτει πειραματική δεξαμενή, η οποία χρησιμοποιείται για την προσομοίωση λιμανιών, χώρος ο οποίος είχε τις διαστάσεις για να γίνουν τεστ ταχύτητας και ελιγμών στο σκάφος.

Κατά την διάρκεια των δοκιμών, παρουσιάστηκαν τα πρώτα προβλήματα του σκάφους, τα οποία επικεντρωνόντουσαν σε θέματα υπερθέρμανσης και εισροής υδάτων. Πιο συγκεκριμένα, το σκάφος όταν έπλεε σε ταχύτητας ολίσθησης, έμπαινε αέρας από την είσοδο της αντλίας, με αποτέλεσμα να σταματάει η λειτουργία λόγω πτώσης πίεσης. Αυτό έχριζε άμεση αντιμετώπιση, λόγω κινδύνου υπερθέρμανσης του ηλεκτή, και ενδεχόμενη εγκατάλειψης του αγώνα, αν συνέβαινε και στον διαγωνισμό. Ακόμη παρατηρήθηκε, ότι έπρεπε να παρθούν επιπλέον μέτρα στεγανοποίησης στην περιοχή της βάσης του κινητήρα και ακόμη υπήρχαν θέματα με την ροπή που ζητούσε η προπέλα.

Όπως προαναφέρθηκε, τα πρώτα πειράματα αφορούσαν την λειτουργία της προπέλας με μέγιστο λόγω βήματος, ο οποίος επιλέχθηκε αφού έγιναν τα πειράματα αντίστασης. Δυστυχώς η ροπή που χρειαζόταν για να κινήσει ο κινητήρας την προπέλα, (ειδικά στις μικρές ταχύτητες) στο βήμα με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης ήταν απαγορευτική για την λειτουργία του και μπήκαμε στην διαδικασία πειραμάτων για τον εντοπισμό του βέλτιστου βήματος. Λόγω αυτού κατασκευάστηκε μηχανισμός, ώστε να διορθώνεται με ακρίβεια το βήμα και να ρυθμίζεται εύκολα. Αυτό μας επέτρεψε, να μπορούμε να δοκιμάσουμε πολλά διαφορετικά βήματα και να επιλέξουμε αυτό που έδινε την ικανότητα να πλέει το σκάφος πιο γρήγορα. Αυτό έγινε εφικτό και με την βοήθεια των αισθητήρων ταχύτητας οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί στο σκάφος.

Για την χρησιμοποίηση μεγαλύτερου βήματος προτείνεται η δημιουργία και η κατασκευή κατάλληλου ηλεκτρονικού κυκλώματος που να περιορίζει ηλεκτρονικά το μέγιστο ρεύμα του κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο, θα επιτύγχανε το σκάφος μικρότερη επιτάχυνση κατά την εκκίνηση, αλλά θα κατάφερνε να πλεύσει με μεγαλύτερη ταχύτητα ή την δημιουργία κάποιου προπέλας μεταβλητού βήματος ή οποία θα έδινε την δυνατότητα να ελέγχεται το βήμα της ηλεκτρονικά.. Λόγω έλλειψης εμπειρίας στην κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων έγινε προσπάθεια χειροκίνητης ρύθμισης του ρεύματος από τον χειριστή (ελεγχόμενο γκάζι). Η ομάδα χρησιμοποίησε ελαφρώς μεγαλύτερο βήμα για την επίτευξη μεγαλύτερης τελικής

ταχύτητας. Πολύ σημαντικό ήταν ο χειριστής να χρησιμοποιεί το μισό γκάζι κατά την εκκίνηση για να μην σταματήσει ο κινητήρας να λειτουργεί.

Αφού πραγματοποιήθηκαν αυτές οι αλλαγές και ρυθμίστηκε η ομαλή λειτουργία του σκάφους, η ομάδα ήταν έτοιμη για την πρώτη της συμμετοχή. Στην Εικόνα 13 φαίνεται η τελική εικόνα του μοντέλου πριν τον διαγωνισμό.



Εικόνα 13-Τελική εικόνα μοντέλου

5.7. Πορεία διαγωνισμού

Αφού πλέον το σκάφος είχε ετοιμαστεί και δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες, η ομάδα ήταν έτοιμη για την συμμετοχής τον διαγωνισμό. Η ομάδα μετέβει στην Λωζάννη και διαγωνίστηκε χωρίς προβλήματα και στις 2 κατηγορίες που πήρε μέρος. Πιο συγκεκριμένα, στην ελαφριά κατηγορία κατέλαβε την 9^η θέση και ομοίως στον αγώνα αντοχής πάλι την 9^η θέση ανάμεσα σε 24 πανεπιστήμια διεθνώς. Το αποτέλεσμα κρίθηκε ως επιτυχία καθώς μέσα σε ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς κάποια προηγούμενη εμπειρία κατάφερε να έχει αξιοπρεπής παρουσία στον διαγωνισμό. Το αποτέλεσμα έδωσε ώθηση στα μέλη της ομάδας για τον σχεδιασμό καινούργιων σκαφών και ελπίδες για επίτευξη καλύτερων μελλοντικών θέσεων. Στην Εικόνα 14 φαίνεται το σκάφος κατά την διάρκεια της πλεύσης του στον διαγωνισμό.



Εικόνα 14-Το σκάφος στον διαγωνισμό

6. Προετοιμασία σκαφών για το έτος 2017

6.1. Γενικά

Το 2^ο έτος της λειτουργίας της ομάδας, αποφασίστηκε να κατασκευαστούν 2 καινούργια σκάφη με σκοπό την συμμετοχή της και στις 3 κατηγορίες του διαγωνισμού. Παράλληλα, όπως προαναφέρθηκε, ξεκινήσαμε με την βοήθεια του προσωπικού του ΕΝΘΥ, την υδροδυναμική βελτιστοποίηση του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε το 2016. Με αυτό θέλαμε να πετύχουμε την βέλτιστη δυνατή απόδοση της γάστρας με σκοπό να κατανοήσουμε περισσότερο την λειτουργία των ολισθακάτων, αλλά και να επιλύσουμε πολλά προβλήματα που προέκυψαν και να τα επιλύσουμε με γνώμονα στην μελέτη στα επόμενα σκάφη. Εδώ θα προστεθεί ότι ο χώρος διεξαγωγής των αγώνων μεταφέρθηκε από το γλυκό νερό της λίμνης Lemano στο αλμυρό νερό της κυανής ακτής στο ύψος του St Tropez, Γαλλία. Ο οποίος ήταν ένας ακόμη παράγοντας που έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν. Από το σημείο αυτό, το σκάφος που χρησιμοποιήθηκε το 2016 θα λέγεται **Ωκεανός 1**, ενώ τα σκάφη που χρησιμοποιήθηκαν το 2017, θα αναφέρονται **Ωκεανός 2** (για την ελαφριά κατηγορία) και **Ωκεανός 3** (για την βαριά κατηγορία).

6.2. Βελτιστοποίηση του σκάφους “Ωκεανός 1”

6.2.1. Γενικά

Η βελτιστοποίηση του πρότυπου σκάφους γίνεται με βάση τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου διαγωνισμού. Με λίγα λόγια θα προσπαθήσουμε να διορθώσουμε αστοχίες της προηγούμενης σεζόν και να πετύχουμε μέσω διαφόρων διεργασιών την ελάχιστη δυνατή υδροδυναμική αντίσταση της γάστρας. Τέλος, βρίσκουμε και προτείνουμε λύσεις για την καλύτερη λειτουργία των διάφορων παρελκόμενων.

Η βελτιστοποίηση του Ωκεανός 1 χωρίζεται σε 5 βασικά στάδια.

- *Προετοιμασία σκάφους και διόρθωση πρώτων αστοχιών*
- *Μείωση βάρους*
- *Εύρεση σημείου βέλτιστης δυναμικής διαγωγής*
- *Μορφοποίηση διαφόρων παρελκόμενων του σκάφους που θα οδηγούν σε καλύτερη υδροδυναμική συμπεριφορά και μείωση της αντίστασης*
- *Προσθήκη νέων παρελκόμενων, όπως σφήνες, υδροτομές, flaps πάλι με σκοπό την μείωση της αντίστασης*

Αυτές οι διαδικασίες περιγράφονται αναλυτικότερα στα παρακάτω εδάφια, όπου πραγματοποιούνται πειράματα για την ανάλυση της επίδρασης τους στην υδροδυναμική συμπεριφορά του σκάφους.

6.2.2. Προετοιμασία σκάφους και διόρθωση πρώτων αστοχιών.

Καθώς ο χρόνος προετοιμασίας για την συμμετοχή το 2016 ήταν αρκετά περιορισμένος, έγιναν αρκετά λάθη κατά τη διάρκεια προετοιμασία για το διαγωνισμό, με αποτέλεσμα να αποφασιστεί να ξεκινήσουν οι διαδικασίες προετοιμασίας από την αρχή. Παρατηρήθηκε, ότι η αρχική εκτίμηση του βάρους που είχε γίνει (40kg) ήταν αρκετά λάθος, καθώς το πραγματικό βάρος του σκάφους με όλα τα παρελκόμενα ανερχόταν στα 48 kg, βάρος το οποίο αντιστοιχεί σε απόκλιση **20%** από αυτό με το οποίο είχε αρχικά μελετηθεί. Ακόμη ξαναμετρήθηκαν οι διαστάσεις του και υπήρχε διαφορά στο μήκος καθώς το σκάφος μετρήθηκε 2,190m. Σημαντικό είναι να προστεθεί, ότι δεν υπήρχαν οι γραμμές του σκάφους σε ηλεκτρονική μορφή και αποφασίστηκε να γίνουν μετρήσεις και να κατασκευαστούν.

Η μετρήσεις έγιναν με την βοήθεια του μηχανήματος CNC του «Πρότυπου Ευλουργείου» του ΕΝΘΥ και την βοήθεια του κ. Γ. Μυλωνά.

Διαδικασία μετρήσεων της επιφάνειας της γάστρας μέσω μηχανήματος CNC

Καθώς ως τότε δεν είχε ξαναγίνει η αντίστοιχη διαδικασία για κάποιο άλλο μοντέλο, η σκέψη ήταν ευθυγραμμίζοντας και βαθμονομώντας το σκάφος πάνω στην πλατφόρμα του CNC και ύστερα χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα του μηχανήματος και πηγαίνοντας από σημείο σε σημείο πάνω στην γάστρα του σκάφους θα διατυπωνόταν σιγά σιγά το προφίλ και τους νομείς του μοντέλου.

Ο αισθητήρας ήταν τοποθετημένος με ένα κοπτικό εργαλείο (το οποίο συνήθως περιστρέφεται, αλλά στην περίπτωση αυτή ήταν ακίνητο), με το οποίο ο χειριστής του μηχανήματος έδινε συντεταγμένες κατά τον διαμήκη και εγκάρσιο άξονα, οι οποίες ήταν ορισμένες και σιγά σιγά κατέβαζε το εργαλείο στον κατακόρυφο άξονα ως ώτου ακουμπήσει το μοντέλο. Σε αυτό το σημείο, ο βοηθός, που έλεγχε το σκάφος, έπρεπε να ενημερώσει τον χρήστη του μηχανήματος να σταματήσει την κίνηση του μηχανήματος (αν συνέχιζε θα γρατζουνούσε ή σε ακραία περίπτωση θα τρύπαγε το σκάφος) και να πάρει την μέτρηση για τον κατακόρυφο άξονα.

Επομένως, ισιώθηκε το κατάστρωμα του σκάφους, ώστε όταν θα είναι γυρισμένο ανάποδα να πατάει ακριβώς πάνω στο τραπέζι του μηχανήματος. Ύστερα ευθυγραμμίστηκε το σκάφος, πάνω στην πλατφόρμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία μετρήσεων.



Εικόνα 15-Μηχάνημα CNC, ευθυγράμμιση σκάφους

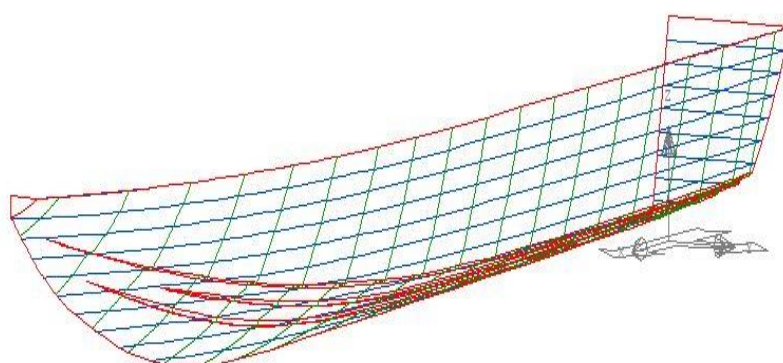
Αποφασίστηκε να ξεκινήσει η διαδικασία αποτυπώνοντας το προφίλ του σκάφους παίρνοντας μετρήσεις για 20 διαφορετικά σημεία ανά 0,120m. Ύστερα, αφού έγιναν οι μετρήσεις για το προφίλ του, για τα αντίστοιχα σημεία πάρθηκαν μετρήσεις για τους αντίστοιχους νομείς του σκάφους. Στους νομείς, θέλοντας να υπάρχει ακρίβεια στις μετρήσεις, ήταν ανάγκη να αποτυπωθούν πλήρως οι αντιδιαβροχικές λωρίδες του σκάφους, οπότε αποτυπώθηκαν περίπου 12 σημεία για κάθε νομέα. Η διαδικασία αποδείχθηκε αρκετά χρονοβόρα. Παρακάτω στην Εικόνα 16 παρατηρείται η διαδικασία των μετρήσεων.



Εικόνα 16- Διαδικασία μετρήσεων

Επεξεργασία αποτελεσμάτων μετρήσεων

Οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν με σκοπό την διατύπωση του σχεδίου του σκάφους σε ηλεκτρονική μορφή. Η επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα Avena Marine: Lines. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα περάστηκε το προφίλ της πλώρης, της πρύμνης και του καταστρώματος του μοντέλου. Ύστερα, αποτυπώθηκαν οι νομείς και έγινε εξομάλυνση σε σχέση με τις ισάλους του μοντέλου.



Εικόνα 17-Γραμμές μοντέλου

6.2.3. Αφαίρεση βάρους

Σημαντικός παράγοντας σε όλα τα ταχύπλοα σκάφη και ειδικά στις ολισθακάτους είναι το βάρος τους. Σκοπός των ολισθακάτων είναι να φτάνουν στην περιοχή πλαναρίσματος και σε $F_n > 1$. Σημαντικό ρόλο σε αυτό, έχει η βρεχόμενη επιφάνεια του σκάφους, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη αντίσταση έχει το σκάφος για να φτάσει σε αυτές τις ταχύτητες. Επομένως, μειώνοντας το βάρος, άρα και το εκτόπισμα του σκάφους, γίνεται προσπάθεια να μειωθεί η βρεχόμενη επιφάνεια και η συνολική αντίσταση του σκάφους.

Η διαδικασία αφαίρεσης βάρους, ξεκινάει από τα πιο βασικά, ξεκινώντας από τα σημεία του σκάφους τα οποία, για την μη αστοχία τους, υπερδιαστασολογήθηκαν το έτος 2016. Τέτοια σημεία ήταν οι φρακτές και η βάση στήριξης του κινητήρα.

Για αρχή αφαιρέθηκε υλικό από τις φρακτές φροντίζοντας να διατηρηθεί η ακαμψία που δημιουργούσαν οι φρακτές. Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία αποκοπής υλικού.



Εικόνα 18- Τελικό σχήμα φρακτών

Ύστερα, αποφασίστηκε να αφαιρεθεί υλικό από την βάση του κινητήρα, καθώς ομοίως θεωρήθηκε υπεραρκετό το μέγεθός του. Η διαδικασία παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 19- Διαδικασία κοπής βάσης κινητήρα



Εικόνα 20-τελικό αποτέλεσμα κοπής

Ακόμη, καθώς προχωρούσε η διαδικασία στο κομμάτι μείωσης βάρους, αποφασίστηκε να αλλαχθούν και τα μικρά εξαρτήματα του σκάφους ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μείωση. Έτσι αποφασίστηκε να αλλαχθεί το σχήμα και το μέγεθος της πλάκας στην οποία στηριζόταν ο κινητήρας με το σκάφος.



Εικόνα 21- Τελικό σχήμα στήριξης

Σε τελική φάση, χρησιμοποιήθηκε τροχός, εργαλείο το οποίο με την περιστροφή του αφαιρεί υλικό από την επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή. Αυτό έγινε με σκοπό αφαίρεση υλικού από την εσωτερική επιφάνεια του σκάφους για περαιτέρω μείωση βάρους. Η διαδικασία αυτή δεν ήταν εύκολη, καθώς έπρεπε ο χρήστης να χρησιμοποιεί κατάλληλο εξοπλισμό για την προστασία του, ο οποίος και πάλι δεν ήταν αρκετός για την αποφυγή από την έκθεση σε σωματίδια πολυεστέρα και ίνες γυαλιού. Η διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22- Αφαίρεση υλικού

Έχοντας προβεί σε όλες αυτές τις διαδικασίες, το αποτέλεσμα που επιτευχθεί στην μείωση του βάρους του σκάφους ήταν 4,075kg, γεγονός που αποτελεί μείωση αρχικού εκτοπίσματος κατά **8,48%**.

6.2.4. Πρώτες πειραματικές διαδικασίες

Ύστερα αποφασίστηκε να γίνουν τα πρώτα πειράματα, ώστε να διατυπωθεί η σωστή καμπύλη αντίστασης και στο σωστό εκτόπισμα. Ακόμα, θεωρήθηκε περιττό να γίνουν πειράματα αντίστασης γυμνής γάστρας, αλλά να πραγματοποιηθούν τα πειράματα αντίστασης με παρελκόμενα. Εδώ αντιμετωπίστηκε ένα πρόβλημα, καθώς η ομάδα δεν είχε τον δικό της κινητήρα και περίμενε να σταλθεί από τον διοργανωτή (2 μήνες πριν τον διαγωνισμό). Καθώς τα συγκεκριμένα πειράματα θα πραγματοποιούντουσαν αρκετά πριν την ημερομηνία που θα λάμβανε ο «Ωκεανός» τον κινητήρα, αποφασίστηκε, για να να προσομοιωθεί ο κινητήρας του σκάφους να κατασκευαστεί μέσω του μηχανήματος του CNC ένα ομοίωμά του. Για να γίνει αυτό, κατασκευάστηκε με την βοήθεια του κ. Γ. Μυλωνά, το σχέδιο του κινητήρα σε ηλεκτρονική μορφή, σύμφωνα με τα σχέδια που είχε η εταιρεία παραγωγής του, και ύστερα προγραμματίστηκε ο τρόπος κοπής του. Η κατασκευή έγινε από ξύλο και έγινε σε διακριτά κομμάτια. Παρακάτω στην Εικόνα 1Εικόνα 23, φαίνεται η διαδικασία κοπής.



Εικόνα 23- Διαδικασία κοπής rod

Ύστερα αυτά τα κομμάτια ενώθηκαν και κολλήθηκαν μεταξύ τους με ξυλόκολλα και το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 24.



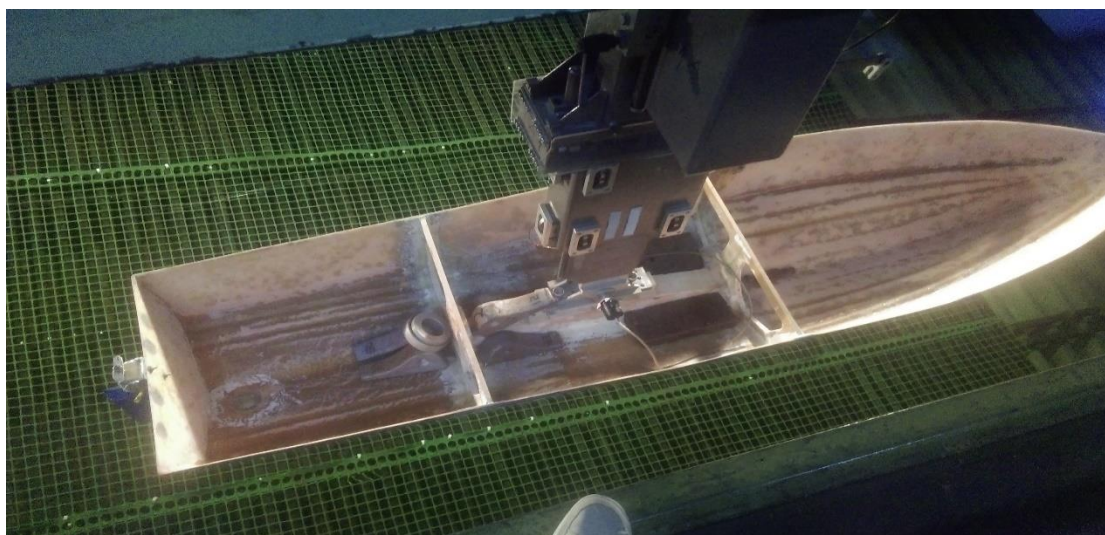
Εικόνα 24- Τελική μορφή rod

Τέλος, επικαλύφθηκε με βερνίκι, για την προστασία του από το νερό και τοποθετήθηκε πάνω στο σκάφος, δείχνοντας ότι δεν έγινε κάποιο λάθος στην κατασκευή μας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25- Ένωση rod με σκάφος

Ύστερα, πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα πειράματα αντίστασης, έχοντας τοποθετήσει όλα τα παρελκόμενα, τα οποία παίζουν ρόλο στην αντίσταση του σκάφους. Αυτά είχαν σκοπό να δείξουν αν κατευθυνόταν προς την σωστή διεύθυνση η λογική της αφαίρεσης βάρους και να παρατηρηθεί σε ένα βαθμό οι πρώτες αλλαγές στην αντίσταση. Στην Εικόνα 26 φαίνεται η πειραματική διάταξη και η σύνδεση του σκάφους με το φορείο.

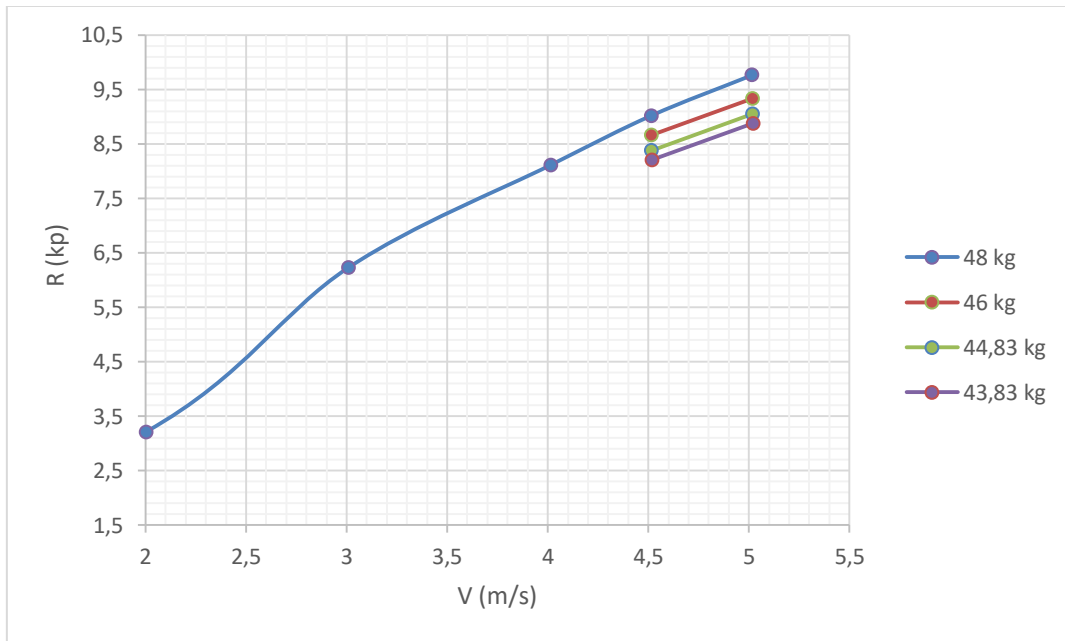


Εικόνα 26- Πειραματική διάταξη

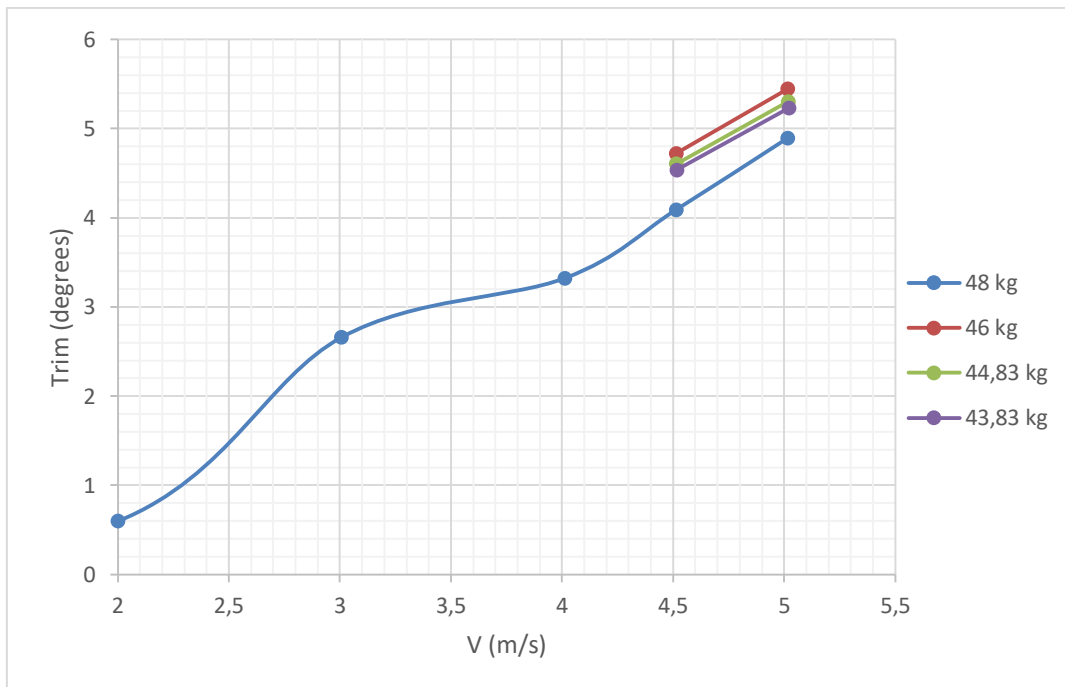
Τα πειράματα αυτά έγιναν σε διάφορα εκτόπισματά⁴, ξεκινώντας από το αρχικό και καταλήγοντας σταδιακά στο τελικό εκτόπισμα που επιτεύχθει, μέσω της μείωσης του βάρους, ώστε να παρατηρηθεί η επίδραση της μείωσης του εκτοπίσματος στην αντίσταση του σκάφους. Στα συγκεκριμένα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζεται η καμπύλη αντίστασης των 48kg, η οποία ήταν και η πραγματική κατάσταση πλεύσης του σκάφους για το 2016, αλλά και η διαφορά της αντίστασης στις μεγάλες ταχύτητες καθώς μειωνόταν το εκτόπισμα του σκάφους, για να παρατηρηθεί η σταδιακή βελτίωση στην αντίσταση, αλλά και τα αντίστοιχα διαγράμματα στην ανύψωση του κέντρου βάρους του σκάφους αλλά και της δυναμικής του διαγωγής.

⁴ Σημείωση: τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικά εκτοπίσματα στην ισοβύθιστη κατάσταση.

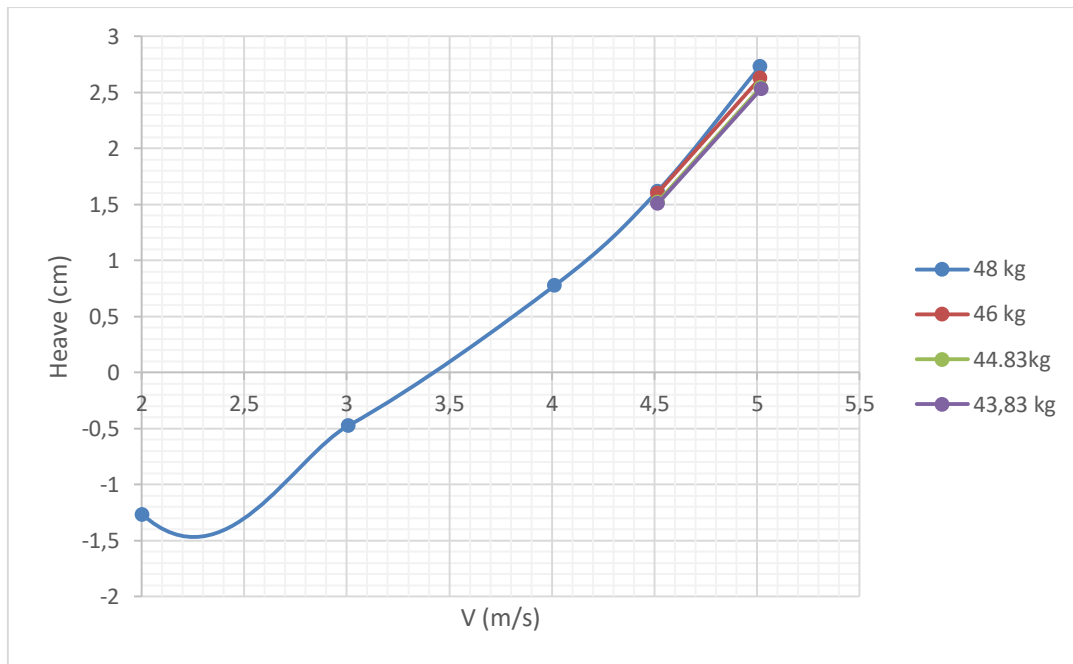
Παρουσίαση αποτελεσμάτων



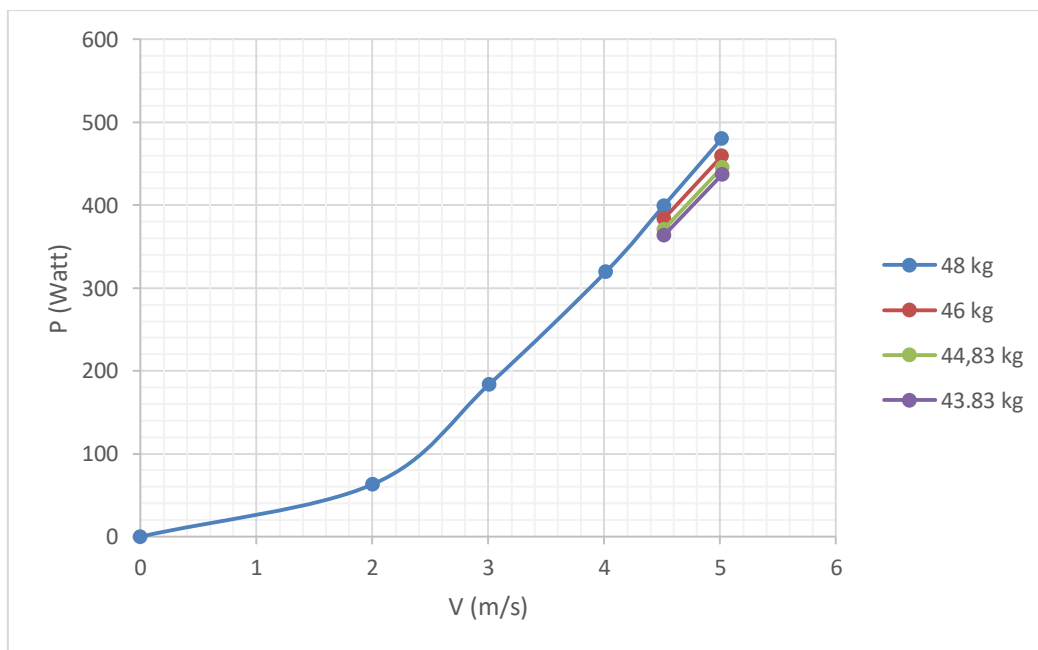
Διάγραμμα 6- Καμπύλη αντίστασης



Διάγραμμα 7-Δυναμική διαγωγή



Διάγραμμα 8-Ανύψωση ΚΒ



Διάγραμμα 9-Ισχύς ρυμούγκωσης

Πίνακας 3-Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεδομένων

	<i>V(m/s)</i>	<i>R (kp)</i>	<i>Pitch (deg)</i>	<i>Heave(cm)</i>	<i>P(watt)</i>
48 kg	0,000	0,000	-0,373	4,516	0,000
	2,002	3,215	0,598	-1,264	63,125
	3,008	6,231	2,660	-0,474	183,792
	4,014	8,117	3,324	0,777	319,497
	4,515	9,024	4,092	1,618	399,571
	5,016	9,767	4,895	2,736	480,458
46 kg	4,516	8,668	4,726	1,605	383,865
	5,017	9,338	5,447	2,630	459,418
44,83 kg	4,516	8,381	4,606	1,522	371,181
	5,019	9,057	5,306	2,547	445,770
43,83 kg	4,517	8,227	4,851	2,133	364,441
	5,019	8,689	5,356	3,214	427,684

Παρατηρήσεις-σχόλια

Παρατηρώντας την καμπύλη αντίστασης, όταν το σκάφος εισέρχεται στην περιοχή των μεσαίων ταχυτήτων (2,5-4,5 m/s) και ύστερα στην περιοχή των υψηλών ταχυτήτων η κλίση της καμπύλης δεν μεταβάλλεται όπως στα πρώτα πειράματα του 2016, και συνεχίζει να αυξάνεται με περίπου τον ίδιο ρυθμό. Συγκρίνοντας τώρα τα αποτελέσματα με τα πρώτα πειράματα, μπορούμε να δούμε ότι για την υψηλή ταχύτητα (5 m/s) υπήρξε αύξηση της αντίστασης **κατά 39 %** ποσοστό πολύ υψηλό, που σίγουρα αποδίδεται ένα μεγάλο ποσοστό του στο επιπλέον βάρος, αλλά και στην προσθήκη των παρελκομένων. Πιο συγκεκριμένα, το επιπλέον βάρος εμπόδιζε το σκάφος να ανυψωθεί και να πλεύσει σε άλλη ίσαλο.

Παρατηρώντας, την καμπύλη αντίστασης με εκτόπισμα 48 kg, σε σχέση με τις υπόλοιπες καμπύλες (χαμηλότερα εκτοπίσματα), φαίνεται ότι για επιπλέον μείωση του βάρους σημειώνονται μικρότερες τιμές της αντίστασης και το ποσοστό μείωσης της αντίστασης για $V=5$ m/s σε σχέση με την καμπύλη των 43,83 kg είναι **9,05%**. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η μείωση βάρους έχει θετικό αντίκτυπο (αναμενόμενο) στην μείωση της αντίστασης του σκάφους. Αυτό παρατηρείται αντίστοιχα και στο Διάγραμμα 9, όπου η ζητούμενη ισχύς μειώνεται όσο μειώνεται και το εκτόπισμα του σκάφους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρώντας την επίδραση του βάρους στην αντίσταση αποφασίστηκε να γίνει προσπάθεια για παραπάνω μείωση του βάρους, αλλά και να γίνει προσπάθεια για βελτιστοποίηση των παρελκόμενων του σκάφους.

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε ακόμη, ότι η ενεργή επιφάνεια του πηδαλίου ήταν αρκετά μικρότερη από την ολική του επιφάνεια. Αυτό εξηγείται από το γεγονός, ότι όταν το σκάφος βρισκόταν σε ταχύτητα στην οποία ολίσθαινε στην επιφάνεια του νερού, γινόταν αποκόλληση στον καθρέπτη της πρύμνης, που είχε ως αποτέλεσμα η ίσαλος να βρίσκεται στο ύψος του εξωτερικού

πυθμένα. Το συγκεκριμένο πηδάλιο όμως, έχοντας τοποθετηθεί έξω από την πρύμνη του σκάφους είχε σαν αποτέλεσμα, με την ανύψωση του σκάφους, να εξουδετερώνεται ένα μέρος της επιφάνειάς του. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι, στην ανενεργή επιφάνεια του πηδαλίου ανέβαινε νερό, γεγονός που είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία επιπλέον πιέσεων στον καθρέπτη, που οδηγεί σε μεγαλύτερες αντιστάσεις.

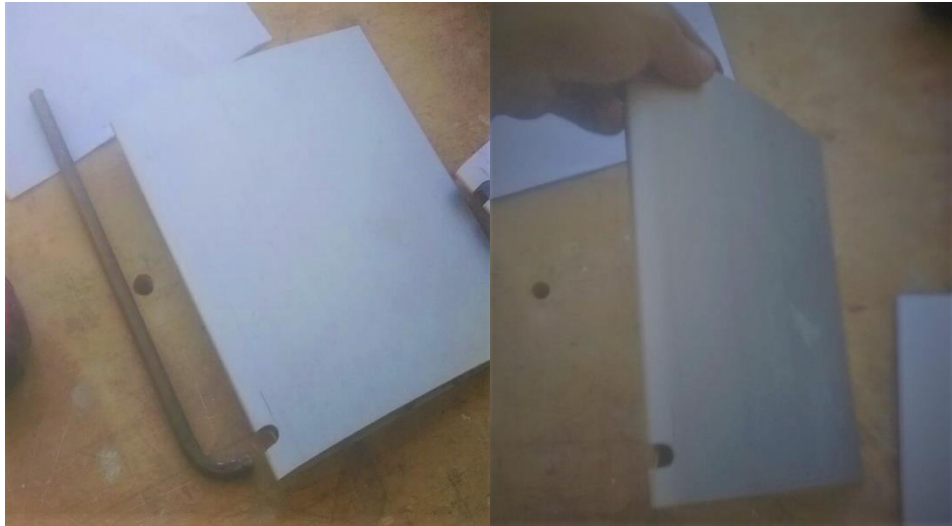
6.2.5. Προετοιμασία σκάφους στα πρότυπα του διαγωνισμού

Ύστερα από τα πρώτα πειράματα αποφασίστηκε, για την συνέχεια των πειραματικών διαδικασιών, να προσομοιαστεί πλήρως υδροδυναμικά το σκάφος με τις προδιαγραφές του διαγωνισμού. Ουσιαστικά, αυτό που επηρέαζε υδροδυναμικά το σκάφος, και δεν είχε συμπεριληφθεί ακόμη στις πειραματικές διατάξεις ήταν το σύστημα ψύξης του σκάφους. Η μέθοδος που είχε χρησιμοποιηθεί ως τώρα, δεν υπήρξε αποτελεσματική τις περισσότερες φορές. Αυτό γινόταν λόγω της ένταξης αέρα στο τμήμα εισόδου της αντλίας, με αποτέλεσμα της απώλειας πίεσεως και την παύση της εισροής νερού, όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως.

Για να το αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, αποφασίστηκε να τοποθετηθεί η είσοδος της αντλίας νερού πάνω στην υδροτομή – στήριξη του κινητήρα, σε σημείο ώστε να βρίσκεται πρόσωπο με την ροή του νερού. Έτσι, θα υπήρχε μία επιπρόσθετη δύναμη, καθώς το σκάφος θα αποκτούσε ταχύτητα, το οποίο θα διευκόλυνε την μεταφορά του νερού μέσα από το σύστημα ψύξης.

Η διαδικασία, στην σκέψη ήταν απλή, αλλά λόγω των μέσων που διέθετε το εργαστήριο, χρειάστηκε αρκετή δεξιοτεχνία και προσοχή ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Χρησιμοποιήθηκε ένας ορειχάλκινος σωλήνας, υλικό το οποίο επιλεχθεί λόγω της ιδιότητας της παθητικοποίησης του στην διάβρωση, καθώς και εργαλεία για το κόψιμο και την κατεργασία του.

Η λογική ήταν να ανοιχθεί μία τρύπα στην διάμετρο του σωλήνα στο χείλος πρόσπτωσης της υδροτομής, να στραφεί ο σωλήνας, χωρίς να τσαλακωθεί, σε γωνία 90°, ώστε να είναι εφικτό το πέρασμα του νερού, και ύστερα την ένωση αυτών των δύο. Για τον λυγισμό του άξονα χρειάστηκαν 2 μικρά ξύλινα ροδάκια, τα οποία θα ήταν σταθερά και θα λειτουργούσαν σαν έναν χειροποίητο κουρμαδόρο. Ταυτόχρονα, γεμίζουμε τον σωλήνα με άμμο, κλείνοντας τα άκρα του αποσκοπώντας να μην λυγίσει κατά την διαδικασία γωνιοποίησής του, και χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο θέρμανσης (καμινέτο), γίνεται θέρμανση του σωλήνα και σιγά σιγά χρησιμοποιώντας τον κουρμαδόρο και ασκώντας πίεση στον σωλήνα επιτευχθεί το αποτέλεσμα που χρειαζόταν. Ύστερα, τοποθετώντας το rod leg στο δράπανο του ξυλουργείου και ευθυγραμμίζοντας το, γίνεται η εσοχή στο χείλος πρόσπτωσης. Τέλος, τοποθετήθηκε ο σωλήνας και χρησιμοποιώντας ενισχυμένο πολυεστέρα γίνεται η κόλληση. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 27-Είσοδος αντλίας

Ύστερα, αποφασίστηκε να τοποθετηθεί το συνολικό σύστημα ψύξης χαμηλά στον πυθμένα (εντός του σκάφους) αποσκοπώντας να βρίσκεται κάτω από την ίσαλο πλεύσης. Αυτό είχε ως σκοπό, ότι η αντλία θα βρισκόταν οποιαδήποτε στιγμή κάτω από το νερό με αποτέλεσμα να μην υπάρξουν τα προβλήματα εισροής αέρα. Για το λόγο αυτό αφαιρέθηκε τμήμα από το κουτί στήριξης του κινητήρα στο προωραίο τμήμα του, σημείο όπου θα γινόταν η τοποθέτηση της αντλίας. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28- Σύστημα ψύξης

6.2.6. Μορφοποίηση διαφόρων παρελκόμενων του σκάφους

Παίρνοντας πληροφορίες από τα πρώτα πειράματα έγινε κατανοητό ότι μπορούσε να επιτευχθεί κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα υδροδυναμικά με κάποιον διαφορετικό μηχανισμό στην πηδαλιουχία. Ακόμα, βλέποντας την επίδραση του βάρους στην αντίσταση του σκάφους, έγινε προσπάθεια να μειωθεί το συνολικό βάρος του σκάφους ακόμη περισσότερο.

Μηχανισμός πηδαλιουχίας

Για αρχή λοιπόν, αποφασίστηκε να φτιαχτεί ένας νέος μηχανισμός πηδαλιουχίας, ο οποίος θα ήταν και ελαφρύτερος. Η ιδέα ήταν να τοποθετηθεί το πηδάλιο εντός των ορίων του μήκους του σκάφους και όσο πιο κοντά στο πρυμναίο τμήμα. Έτσι, έχοντας μόνο το πηδάλιο, αλλά και όλη την επιφάνεια του μέσα στο νερό θα γινόταν αποφυγή του φαινομένου της ανενεργής επιφάνειας, όταν το σκάφος θα ολισθαινε. Βέβαια, αφού είχε ήδη παρατηρηθεί, ότι το σκάφος είχε πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα στους ελιγμούς, κατά την διάρκεια του διαγωνισμού, θεωρήθηκε ότι η επιφάνεια που έμενε εκτός νερού ήταν περιττή και αποφασίστηκε να μειωθεί το μήκος του πηδαλίου ως εκείνο που θεωρούταν ενεργό.



Εικόνα 29-Παλιό πηδάλιο

Έτσι, κατασκευάστηκε νέο πηδάλιο στο επιθυμητό μήκος. Για την κατασκευή αποφασίστηκε να αποφευχθεί το ξύλο, που ήταν η προηγούμενη κατασκευή και να χρησιμοποιηθούν σύνθετα υλικά, ώστε να επιτευχθεί χαμηλότερο βάρος αλλά και μεγαλύτερη αντοχή. Για την κατασκευή, χρησιμοποιήθηκε έναν ανοξείδωτο άξονα τον 8mm (όμοιος με τον άξονα που χρησιμοποιούσαμε στο προηγούμενο πηδάλιο),

αφρό pvc υψηλής πυκνότητας για τον πυρήνα και ίνες γυαλιού με πολυεστέρα. Φέρνοντας τον αφρό στο επιθυμητό σχήδιο της υδροτομής (naca0008), τοποθετείται ο άξονα, στον οποίο έχουμε περαστεί 2 πριτσίνια, περίπου στο 1/3 της χορδής και χρησιμοποιείτε ειδική κόλλα για την κόλληση. Η τοποθέτηση του άξονα φαίνεται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30-Τοποθέτηση άξονα

Ύστερα στοκάρεται το πηδάλιο, για να κλειστούν τυχόν εσοχές που δημιουργούν ανωμαλίες στην επιφάνεια και τρίβεται η επιφάνεια για την ομαλοποίησή της, όπως φαίνεται παρακάτω. Το σημείο αυτό, θέλει ιδιαίτερη προσοχή, γιατί τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνεια σε αυτό το στάδιο, αν παραμείνουν, είναι δύσκολο, μετά την τοποθέτηση των ινών γυαλιού, να εξομαλυνθούν.



Εικόνα 31- Στοκάρισμα εσοχών

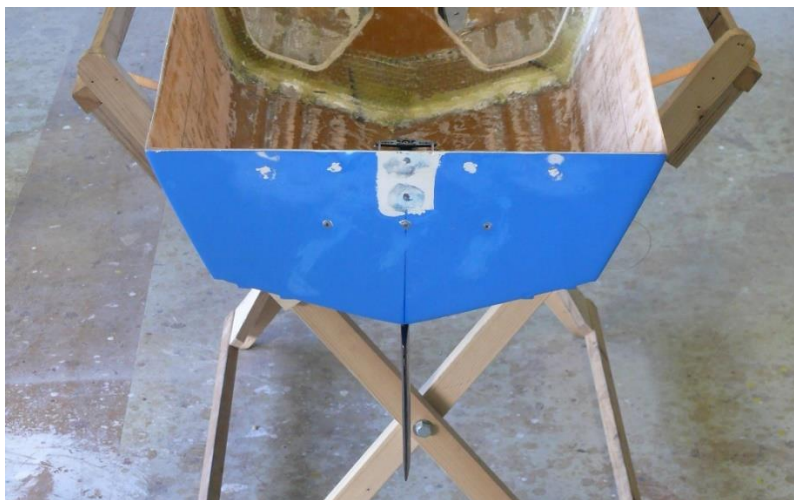
Τέλος, η διαδικασία συνεχίζεται με το «ντύσιμο», όπου το πηδάλιο παίρνει την τελική του μορφή, γίνεται δύσκαμπτο και είναι έτοιμο για χρήση.



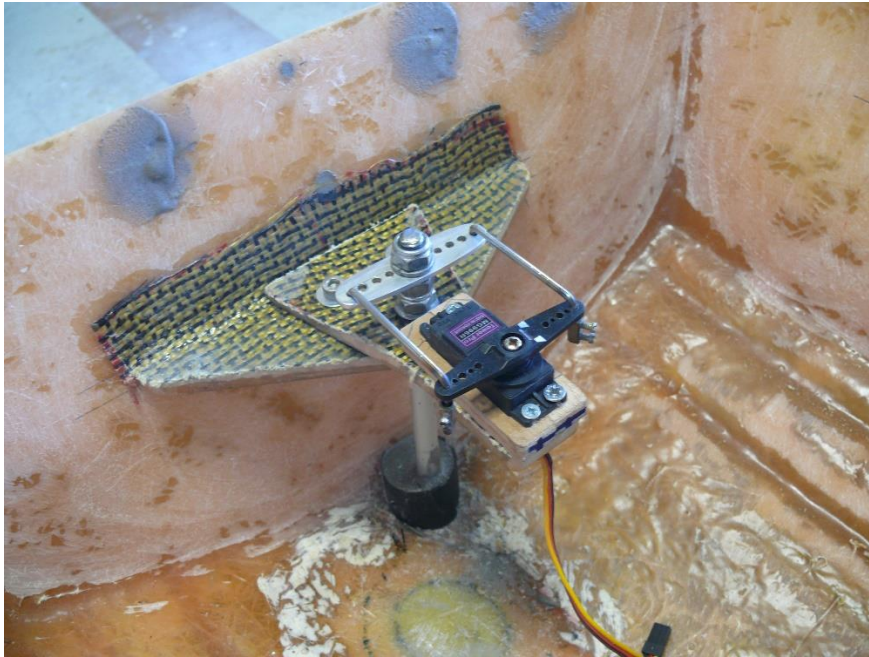
Εικόνα 32-Ντύσιμο πηδαλίου

Εφ' όσον κατασκευάστηκε το καινούργιο πηδάλιο, η διαδικασία συνεχίστηκε με την κατασκευή του νέου μηχανισμού στήριξης. Όπως, προαναφέρθηκε ο νέος μηχανισμός θα βρισκόταν εξ' ολοκλήρου εντός του σκάφους. Το πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί, ήταν το θέμα της στεγανοποίησης του μηχανισμού, καθώς ουσιαστικά θα ανοιγόταν μία τρύπα εντός του σκάφους. Γενικότερα, υπήρχαν πολλές λύσεις κοιτώντας την βιομηχανία, αλλά στις διαστάσεις και στην κλίμακα τις κατασκευής αυτής, έπρεπε να κατασκευαστεί κάτι απλό, εύχρηστο και οικονομικό. Εν τέλει, η ιδέα ήταν να σταθεροποιηθεί ένας σωλήνας, του οποίου το μήκος θα ήταν μεγαλύτερο από το ύψος της ισάλου του σκάφους, λειτουργώντας στην ίδια λογική με την αντλία, αλλά αντίστροφα, ώστε να μην μπαίνει νερό μέσα. Ακόμη, θα φτιάχτηκε μια υπερκατασκευή για την στήριξή του, πάλι χρησιμοποιώντας σύνθετα υλικά για την επίτευξη χαμηλότερου βάρους. Τέλος, τοποθετήθηκε πάνω στην κατασκευή στήριξης και ο ηλεκτρικός σερβοκινητήρας του σκάφους.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο μηχανισμός του πηδαλίου εσωτερικά και εξωτερικά του σκάφους.



Εικόνα 33-Μηχανισμός πηδαλιουχίας εξωτερικά



Εικόνα 34-Μηχανισμός πηδαλιουχίας εσωτερικά

Τέλος, αποφασίστηκε η επιπλέον μείωση του μήκους της υδροτομής - στήριξης του κινητήρα όσον το δυνατόν περισσότερο για την επιπλέον μείωση του βάρους, αλλά και την μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας. Το τελικό μήκος ορίστηκε τόσο, ώστε η προπέλα να απέχει ελάχιστα από το σκάφος (2cm).

Πραγματοποιώντας τις παραπάνω διεργασίες το τελικό βάρος του σκάφους μειώθηκε κατά 0,700kg. Το τελικό βάρος της γάστρας ανήλθε στα 12,5 kg.

6.2.7. Κύριες πειραματικές διατάξεις

Έχοντας προχωρήσει στις παραπάνω αλλαγές και έχοντας καταλήξει ότι δεν γίνεται να μεταβληθεί κάτι άλλο πάνω στο σκάφος, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν τα πρώτα πειράματα, όπου το σκάφος θα απεικονίζει πλήρως την κατάσταση πλεύσης στον διαγωνισμό. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις βάρους του εξοπλισμού και ορίζεται με ακρίβεια το εκτόπισμα του σκάφους.

Στα πειράματα αυτά γίνονται μετρήσεις, για την απεικόνιση της επίδρασης της επιπλέον μείωσης του βάρους της γάστρας χρησιμοποιώντας τον παλιό μηχανισμό πηδαλιουχίας, και ύστερα πραγματοποιούνται τα υπόλοιπα με τον καινούργιο μηχανισμό, ώστε να παρατηρηθεί αν τελικά επήλθε βελτίωση στην αντίσταση του σκάφους. Παράλληλα, πραγματοποιούνται διατάξεις σε διαφορετικές διαγωγές, με σκοπό την εύρεση του σημείου βέλτιστης διαγωγής στο οποίο ελαχιστοποιείται η αντίσταση κατά την πλεύση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι καμπύλες συγκρίνονται στις υψηλές ταχύτητες, όπου βρίσκεται και το σημείο ενδιαφέροντος.

Προετοιμασία πειραμάτων

Αφού έγιναν μετρήσεις, ορίστηκε το τελικό βάρος της γάστρας σε κατάσταση πλήρους φόρτωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας βαρών του σκάφους και το συνολικό εκτόπισμα του σκάφους.

Πίνακας 4-Πίνακας βαρών

Προσμέτρηση βαρών			
			Βάρος (kg)
Γάστρα			12,500
Μηχανικός εξοπλισμός	Κινητήρας	3,890	5,096
	προπέλα	0,279	
	Pod leg	0,527	
	Πηδάλιο	0,400	
Παρελκόμενα- εξοπλισμός	Μπαταρία	2,000	3,700
	Κοντρόλλερ	1,000	
	Ψύξη	0,300	
	Λοιπά ηλεκτρονικά	0,400	
Έρμα			20,000
Σύνολο			41,296

Τα πειράματα που αφορούσαν το συγκεκριμένο μοντέλο στην παρούσα φάση, ήταν σε 5 ταχύτητες για 4 διαφορετικές καταστάσεις διαγωγής για το εκτόπισμα των 41,3 κιλών. Η πρώτη κατάσταση φόρτωσης ορίζεται στο ισοβύθιστο στο συγκεκριμένο εκτόπισμα. Για λόγους κατανόησης και ευκολότερης επεξεργασίας των μετρήσεων, έγινε μία στοιχειώδης κωδικοποίηση των μελετώμενων καταστάσεων ανάλογα με το εκτόπισμα και την τιμή της διαγωγής⁵.

Πίνακας 5-Πίνακας Καταστάσεων "Α"

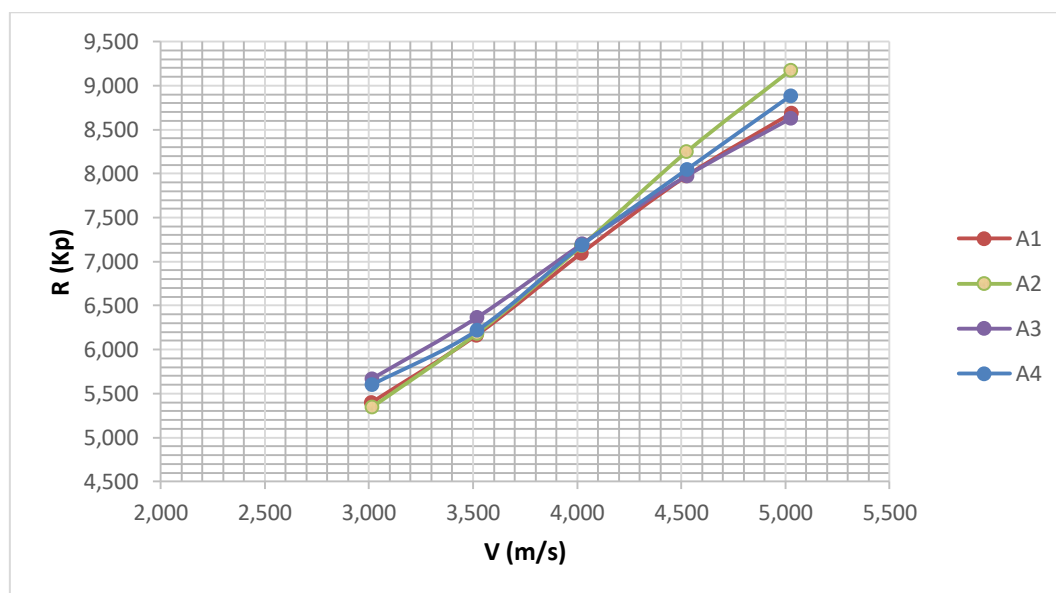
	Ισοβύθιστο	1° έμπροωρο	1° έμπρυμνο	0,5° έμπρυμνο
Παλιό πηδάλιο	A1	A2	A3	A4

Οι ταχύτητες που μελετήθηκαν για τις παραπάνω καταστάσεις είναι σε μεσαίες και υψηλές καθώς μας ενδιέφεραν τα αποτελέσματα στις καταστάσεις πλεύσης του σκάφους σύμφωνα με την πορεία του στον διαγωνισμό.

⁵ Δεδομένου ότι η υπολογιζόμενη αντίσταση έχει νόημα να παρουσιασθεί γραφικά ως προς την ταχύτητα, η κωδικοποίηση αυτή αφορά επίσης στις παραγόμενες καμπύλες

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που αφορούν την αντίσταση του μοντέλου με τον παλιό μηχανισμό πηδαλιουχίας παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Υπενθυμίζεται, ότι τα πειράματα έγιναν με το τελικό εκτόπισμα των 41,3 κιλών.



Διάγραμμα 10-Συγκριτικό Διάγραμμα Καταστάσεων "Α"

Στο συγκεκριμένο εκτόπισμα, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

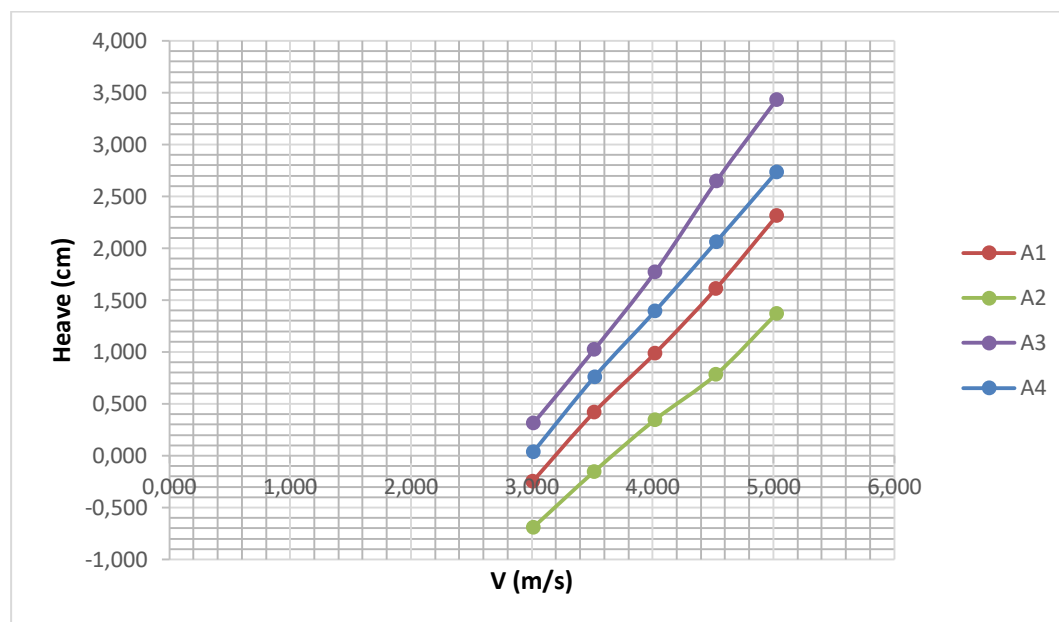
- Αρχικά, λόγω της επιπλέον μείωσης του βάρους, εν τέλει η τελική μείωση της αντίστασης λόγω βάρους ανέρχεται στο ποσοστό του **11,08%**.
- Συγκρίνοντας τις καμπύλες μεταξύ τους – και πρακτικά συγκρίνοντας τις διάφορες τιμές διαγωγής μεταξύ τους- παρατηρείται ότι η έμπρομη διαγωγή συνεπάγεται μείωση της αντίστασης στις μεγάλες ταχύτητες. Αυτό δικαιολογείται παρακάτω και από τα διαγράμματα ανύψωσης.

Αν συγκριθούν τώρα οι καταστάσεις μεταξύ τους, θα παρατηρηθούν τα εξής. Από την ισοβύθιστη κατάσταση (A1) στην 1 μοίρα έμπρομη (A2) παρατηρείται μία αισθητή διαφορά (αύξηση αντίστασης) στις μεγάλες ταχύτητες. Ακόμη φαίνεται ότι η καλύτερη διαγωγή για το σκάφος είναι η A3.

Βρίσκοντας το **σημείο βέλτιστης δυναμικής διαγωγής**, η βελτίωση που επιτευχθεί ανέρχεται στο ποσοστό του **0,65 %**. Αυτό υπολογίζεται με την διαφορά της αντίστασης από την ισοβύθιστη κατάσταση σε αυτήν με την μικρότερη αντίσταση (A3). Παρατηρείται βέβαια ότι το ποσοστό βελτίωσης από την 1 μοίρα έμπρομη στην μία μοίρα έμπρομη η βελτίωση θα αντιστοιχούσε σε 5,9% μείωση της αντίστασης!

Κατακόρυφη κίνηση

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την κατακόρυφη κίνηση που μετρήθηκε στο μοντέλο. Θετικές τιμές του heave αντιστοιχούν σε ανύψωση ενώ αρνητικές σε βύθιση.



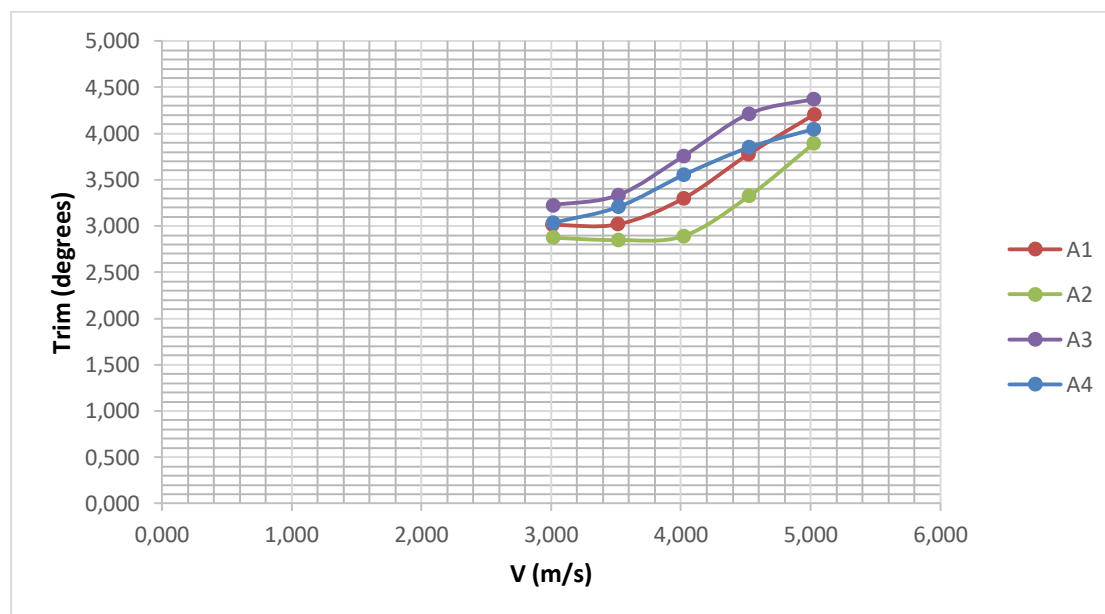
Διάγραμμα 11-Ανύψωση KB καταστάσεων "A"

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται η εξής συμπεριφορά. Σε κάθε κατάσταση, όταν αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται η δυναμική ανύψωση του μοντέλου. Αν υπήρχαν δεδομένα στις πιο μικρές ταχύτητες θα παρατηρούσαμε μια αρχική βύθιση του μοντέλου, όσο το μοντέλο θα λειτουργούσε σε περιοχές $F_n < 0.6$ (λειτουργία ως σκάφος εκτοπίσματος). Το σκάφος όμως, καθώς λειτουργεί σε περιοχές όπου στο σκάφος ασκούνται οι ανωστικές δυνάμεις και επομένως παρατηρείται η σταδιακή ανύψωση του, η οποία οφείλεται στον υδροδυναμικό σχεδιασμό της γάστρας.

Παρατηρείται ότι στην κατάσταση όπου το σκάφος έχει την μικρότερη αντίσταση έχει και την μεγαλύτερη ανύψωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι λόγω των έμπρυμων διαγωγών, αναπτύσσονται μεγαλύτερες υδροδυναμικές δυνάμεις στην γάστρα του σκάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη ανύψωση. Ταυτόχρονα, λόγω της ανύψωσής του, μειώνεται η βρεχόμενη επιφάνειά του και η αντίσταση τριβής με αποτέλεσμα να μειώνεται και η συνολική αντίσταση του σκάφους.

Pitch

Μία ακόμη ενδιαφέρουσα οικογένεια αποτελεσμάτων είναι τα διαγράμματα που απεικονίζουν την δυναμική διαγωγή του μοντέλου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει σαφές ότι η τιμή που παρουσιάζεται σε κάθε καμπύλη αφορά *επιπλέον* διαγωγή από την στατική. Για παράδειγμα, αν η τιμή της καμπύλης A4 (η οποία έχει στατική διαγωγή +1deg - έμπρυμνη) σε κάποια ταχύτητα είναι +2deg, η συνολική γωνία διαγωγής που θα πάρει το πλοίο σε συνθήκες λειτουργίας είναι (+1+2)deg=+3deg.



Διάγραμμα 12-Διάγραμμα Δυναμικής Διαγωγής Καταστάσεων "A"

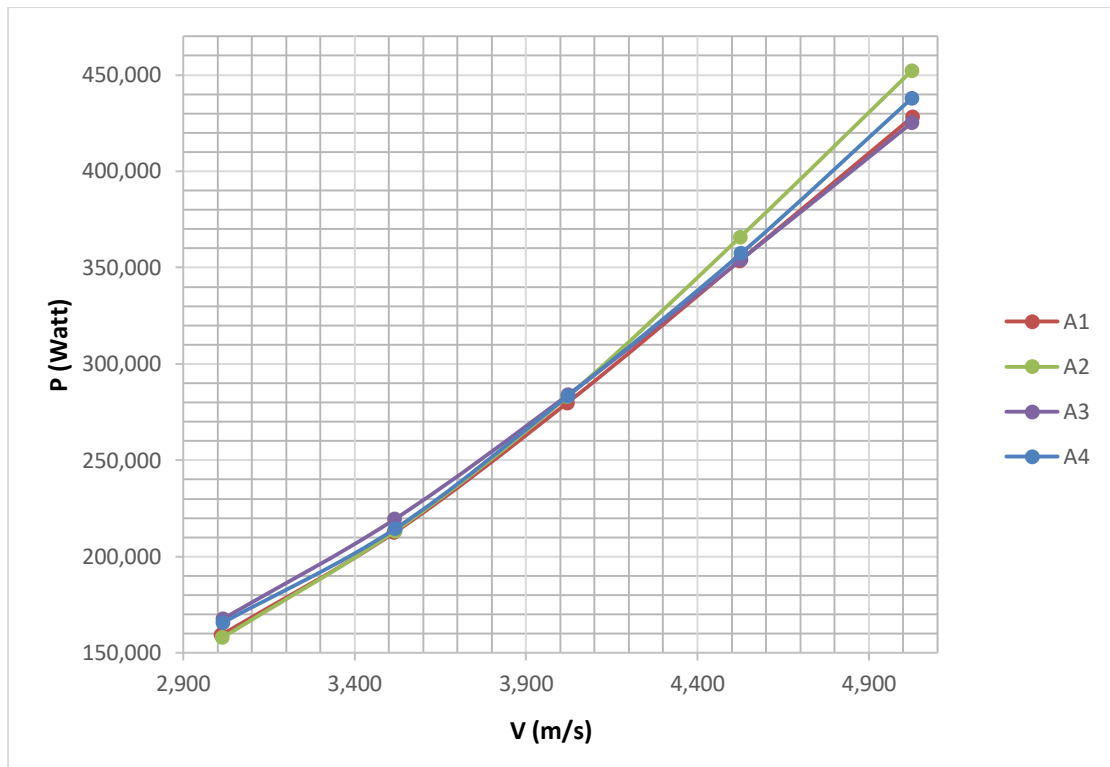
Από το συγκεκριμένο διάγραμμα μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις. Η γενική εικόνα της μορφής των καμπυλών σε όλες τις καταστάσεις είναι ότι αυξανόμενης της ταχύτητας επιτυγχάνονται έμπρυμνες διαγωγές⁶. Ωστόσο, σε καταστάσεις με στατική έμπρωρη διαγωγή παρατηρείται μία μικρή επιπλέον βύθιση της πλώρης σε μικρές ταχύτητες.

Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω της έμπρωρης φόρτωσης στις μικρές ταχύτητες η ανωστικές δυνάμεις δεν είναι αρκετές για να ανυψώσουν την πλώρη. Σε αυτό το γεγονός οφείλεται και η μικρότερη ανύψωση στις έμπρωρες διαγωγές.

Ισχύς ρυμούλκησης (EHP)

Τέλος, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες της απαιτούμενης ισχύος ρυμούλκησης ως προς την ταχύτητα.

⁶ Υπενθυμίζεται ότι θετικά προσημασμένη γωνία Pitch αντιστοιχεί σε βύθιση της πρύμνης



Διάγραμμα 13- Ισχύς Ρυμούλκησης Καταστάσεων "Α"

Όπως είναι λογικό η Α3 έχει την μικρότερη απαίτηση ισχύος, ενώ η Α2 την μεγαλύτερη.

Συνέχεια πειραματικών διατάξεων με το καινούργιο μηχανισμό.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν πειράματα με το καινούργιο μηχανισμό πηδαλίου (να υπενθυμίσουμε ότι η γεωμετρία και η ενεργή επιφάνεια του πηδαλίου παρέμεινε η ίδια) στις υψηλές ταχύτητες στις 3 από τις 4 διαφορετικές καταστάσεις διαγωγής (η κατάσταση με την έμπρομη διαγωγή απορρίφθηκε καθώς η αντίσταση ήταν αρκετά υψηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες). Για λόγους κατανόησης και ευκολότερης επεξεργασίας των μετρήσεων, έγινε και σε αυτή την περίπτωση μία στοιχειώδης κωδικοποίηση των μελετώμενων καταστάσεων ανάλογα την τιμή της διαγωγής.

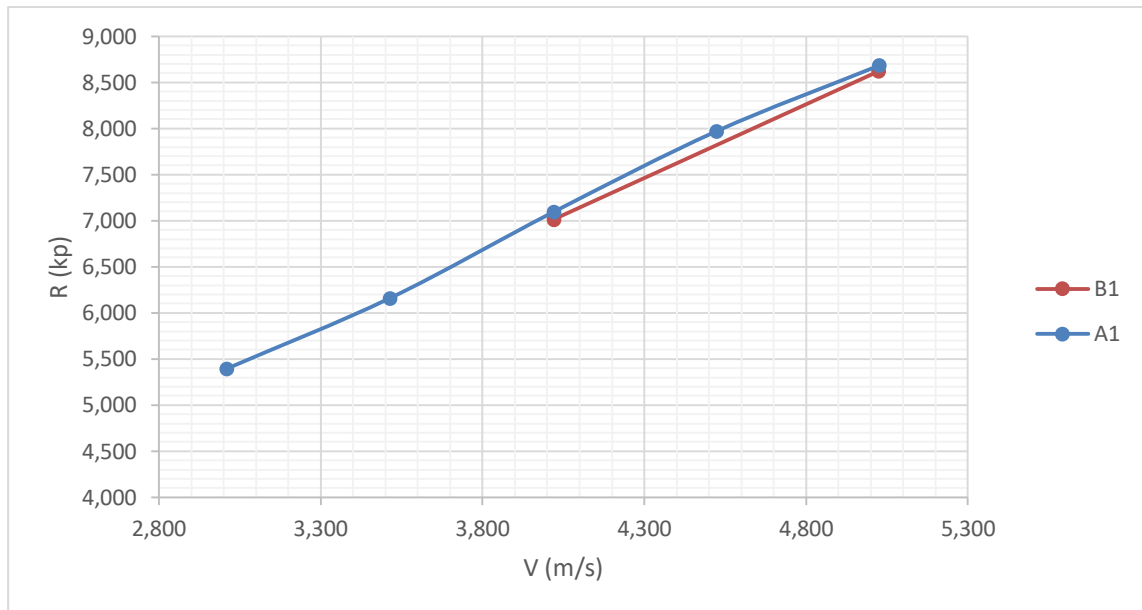
Πίνακας 6-Πίνακας κωδικοποίησης καταστάσεων "Β"

	Ισοβύθιστο	1° έμπρομο	1° έμπρομο	0,5° έμπρομο
Καινούργιος μηχανισμός πηδαλίου	B1	-	B3	B4

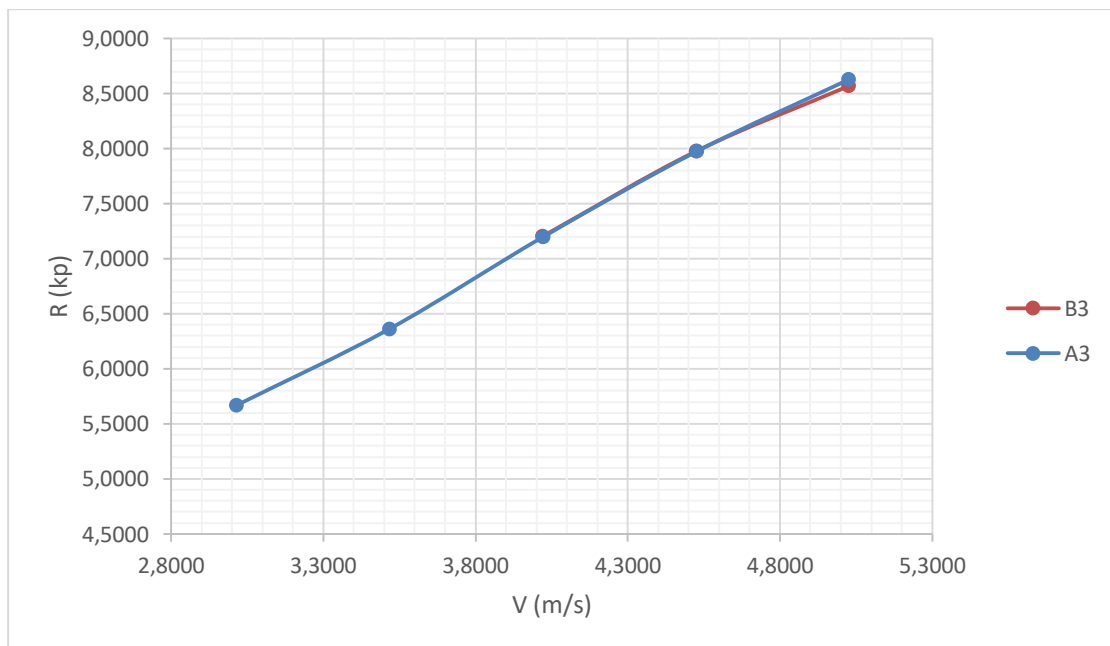
Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα αντίστασης σε σχέση με τις αντίστοιχες καμπύλες με τον παλιό μηχανισμό πηδαλίου.

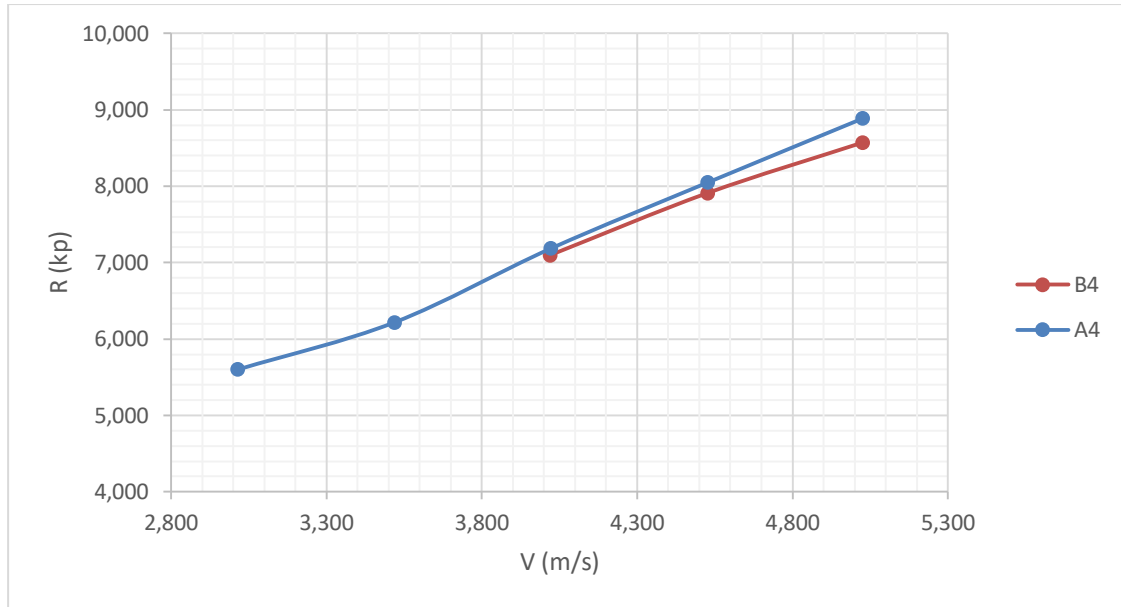
Διαγράμματα αντίστασης



(α)



(β)

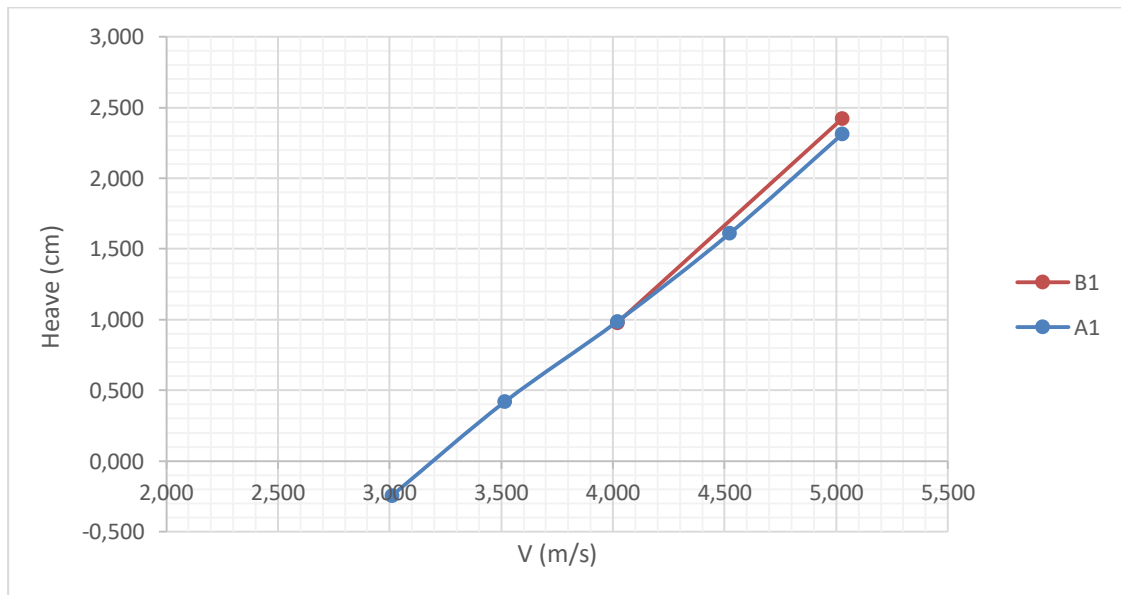


(γ)

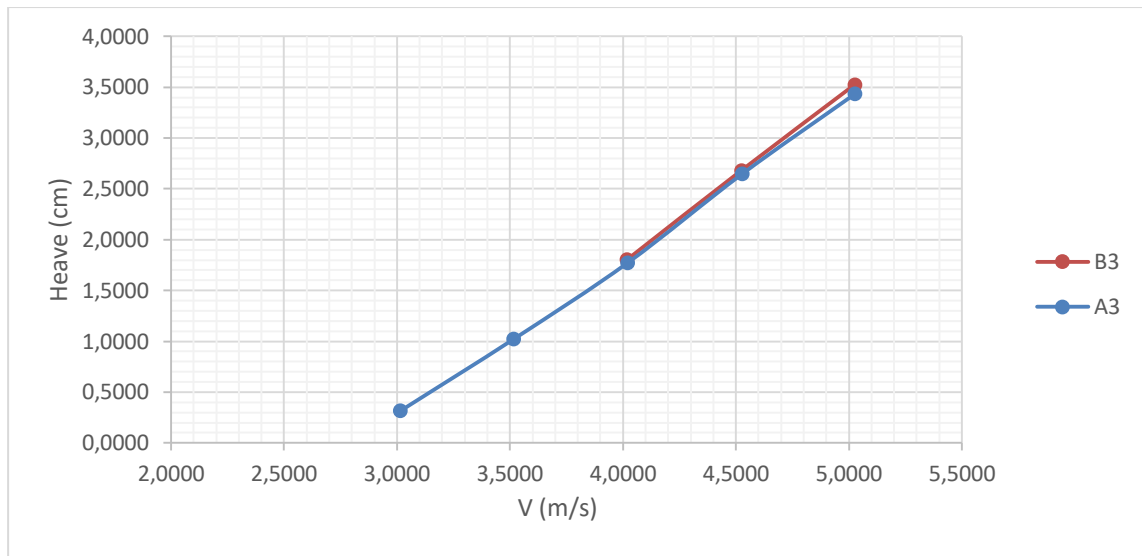
Διάγραμμα 14-Καμπύλες Αντίστασης Καταστάσεων "B"

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι και στις 3 περιπτώσεις η αντίσταση μειώθηκε γεγονός που δείχνει ότι επήλθε βελτίωση. Ειδικότερα στην κατάσταση B4 η διαφορά της αντίστασης είναι τόσο αισθητή που πλέον είναι χαμηλότερη από αυτής της καμπύλης A1-B1. Διαλέγοντας, πάλι την καμπύλη A3-B3 (χαμηλότερη αντίσταση) η αντίσταση μειώθηκε της τάξης του **0,69%**.

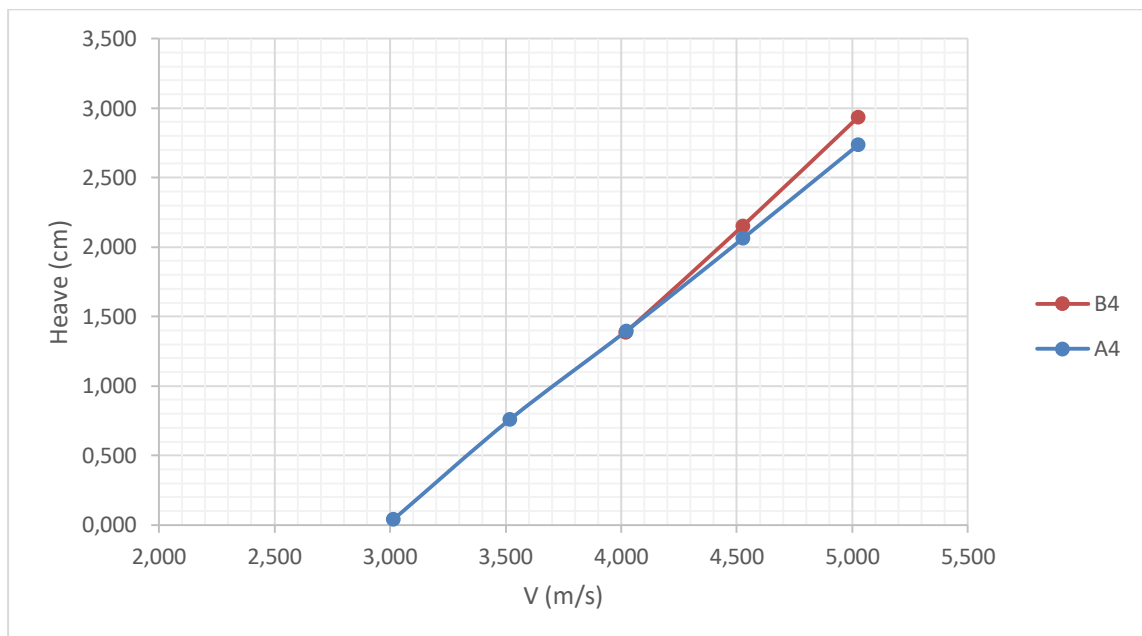
Διαγράμματα ανύψωσης KB



(α)



(β)

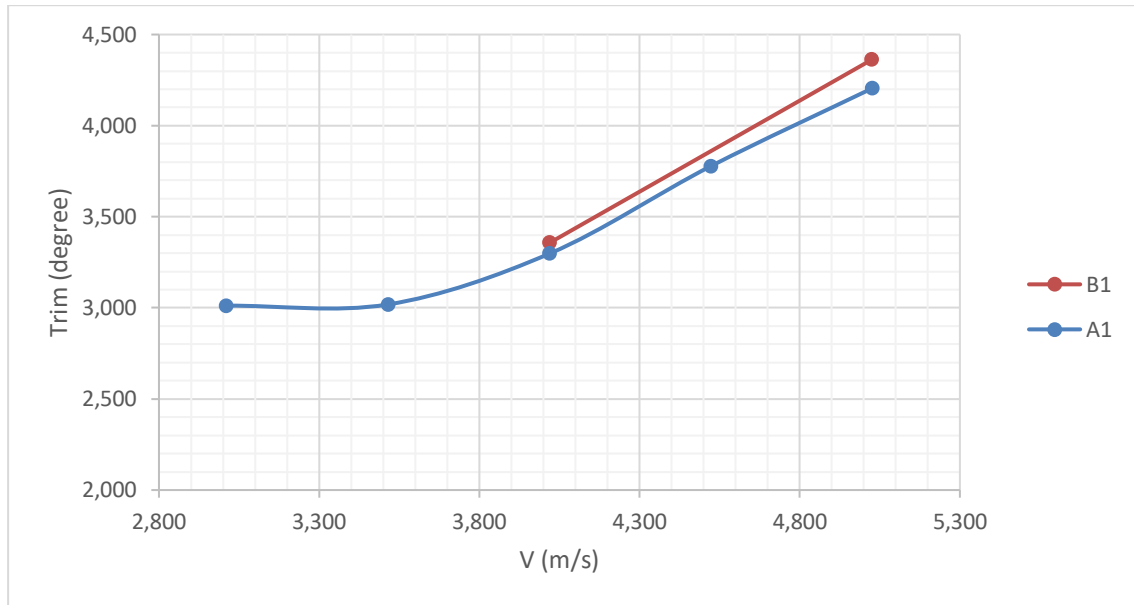


(γ)

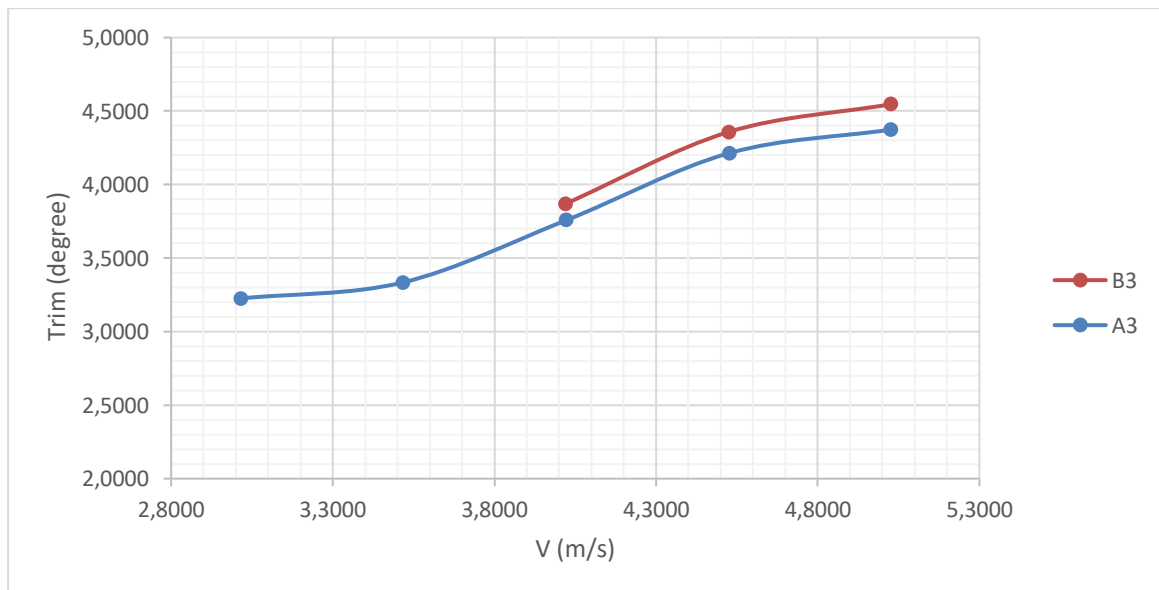
Διάγραμμα 15-Διαγράμματα Ανύψωσης ΚΒ Καταστάσεων "B"

Παρατηρείται ότι η αλλαγή του πηδαλίου είχε θετική επίδραση στην ανύψωση του ΚΒ, γεγονός που αποτυπώνεται στα παραπάνω διαγράμματα. Γενικότερα, η μείωση της αντίστασης όπως παρουσιάστηκε πιθανόν οφείλεται στην επιπλέον μείωση της βρεχόμενης επιφάνειας λόγω της επιπλέον ανύψωσης που προκάλεσε.

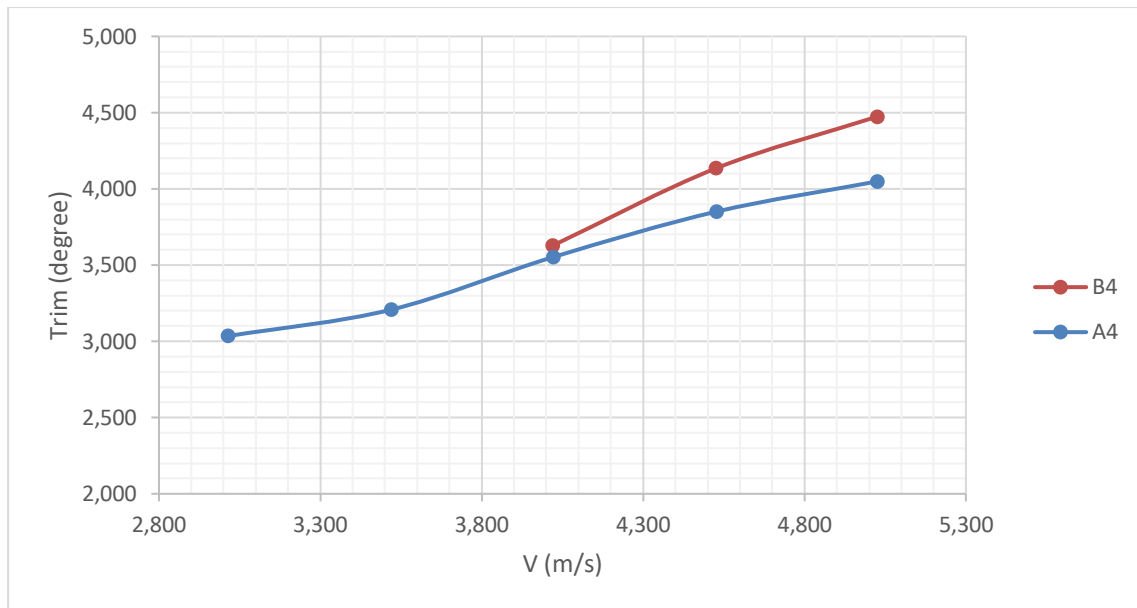
Διαγράμματα Προεντασμού



(α)



(β)



(γ)

Διάγραμμα 16- Διαγράμματα δυναμική διαγωγής Καταστάσεων "B"

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι το πηδάλιο επιδρούσε στην διαγωγή του σκάφους σημαντικά και ότι η αλλαγή του προκάλεσε μεγαλύτερες έμπρομες διαγωγές, που λόγω αυτών υπήρξε και μεγαλύτερη ανύψωση του ΚΒ.

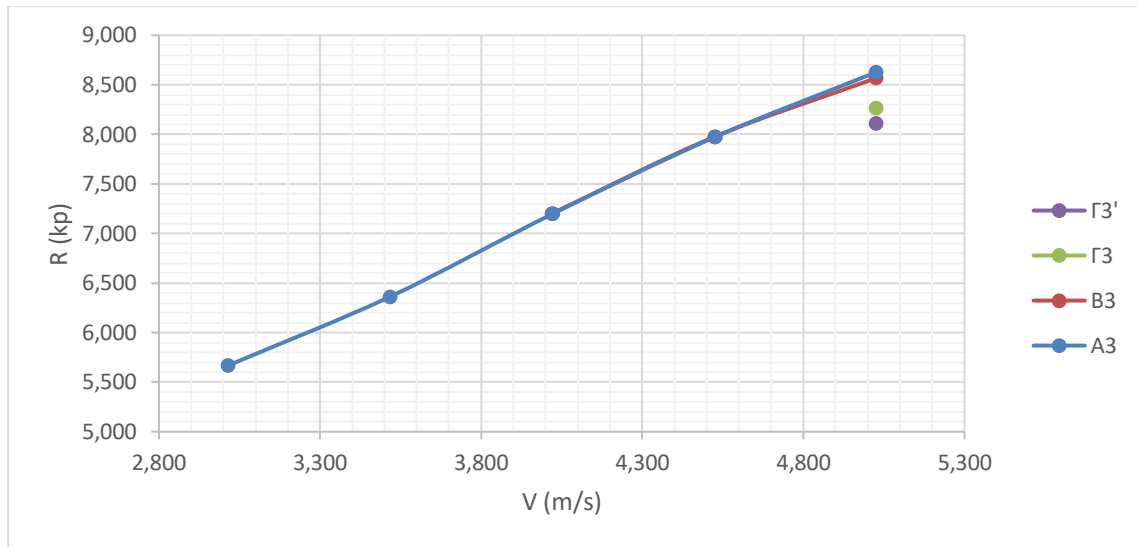
Συνέχεια πειραματικών διατάξεων

Στην συνέχεια, η παρούσα εργασία διατυπώνει την προσπάθεια σε περίπτωση μείωσης ακόμη παραπάνω του εκτοπίσματος του σκάφους (αν θα ήταν εφικτή), αν θα υπήρχε ακόμη καλύτερη απόδοση. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε κάθετη ανύψωση του κέντρου βάρους στις καταστάσεις έμπρυμνης διαγωγής (οι οποίες είχαν και τις μικρότερες αντιστάσεις). Στον παρακάτω Πίνακας 7 παρουσιάζεται η κωδικοποίηση και η τιμές μείωσης του βάρους. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν μόνο στις υψηλές ταχύτητες και παρουσιάζονται συγκριτικά με τις προηγούμενες καταστάσεις τους.

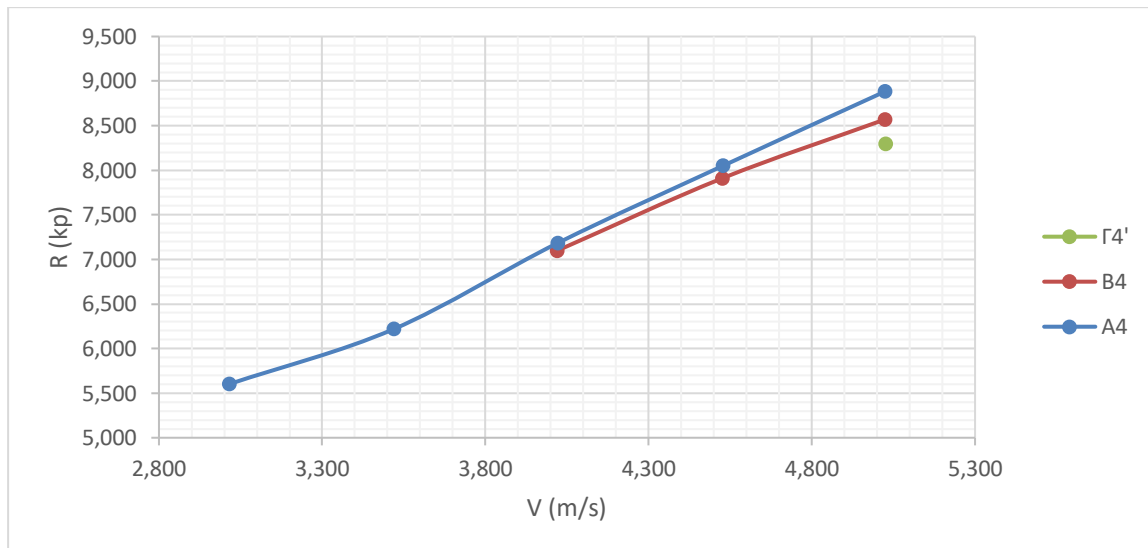
Πίνακας 7-Πίνακας κωδικοποίησης καταστάσεων "Γ"

Ανύψωση ΚΒ	1 ^ο έμπρυμνη	0,5 ^ο έμπρυμνη
1,620 kg	Γ3	-
2,620 kg	Γ3'	Γ4'

Παρουσίαση αποτελεσμάτων



(α)



(β)

Διάγραμμα 17- Διαγράμματα Καμπύλης αντίστασης καταστάσεων "Γ"

Όπως ήταν λογικό, η αντίσταση μειώνεται όπως είχε παρατηρηθεί και σε προηγούμενα εδάφια όπου έγινε μελέτη για την μείωση του εκτοπίσματος. Παρατηρείται βέβαια ότι η αντίσταση είναι μικρότερη για την κατάσταση Γ3' σε σχέση με την Γ4'.

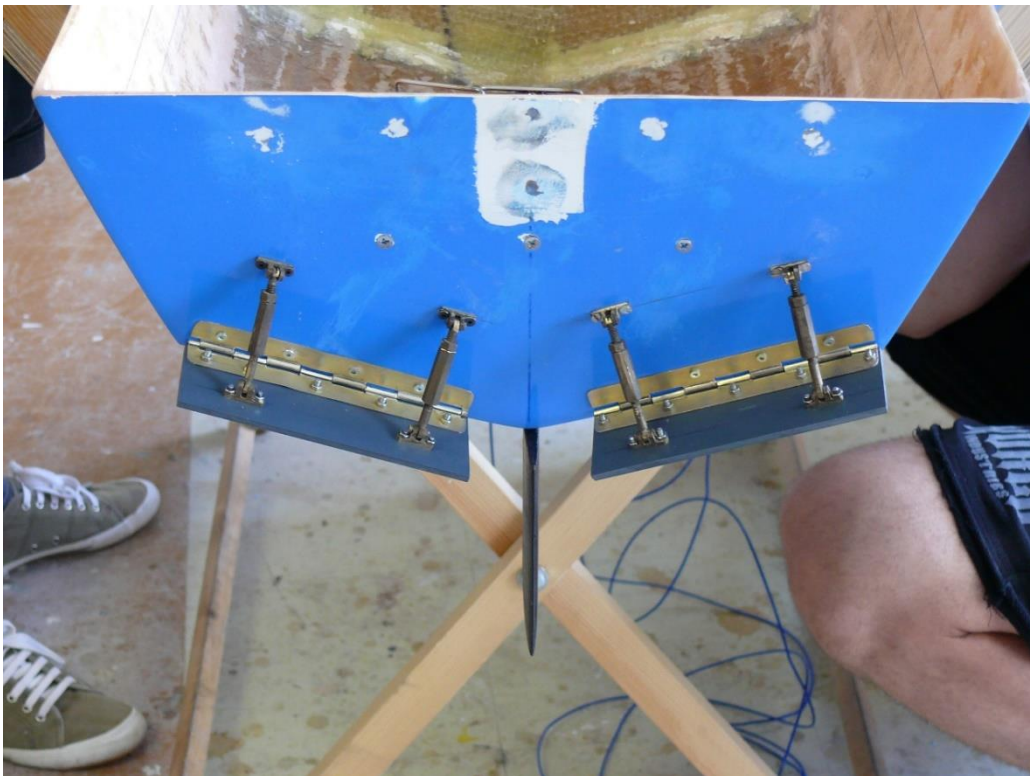
6.2.8. Προσθήκη νέων παρελκομένων (flaps)

Σε τελικό στάδιο θεωρήθηκε να δοκιμαστούν ρυθμιζόμενα πτερύγια (flaps). Παρατηρώντας κατά την διάρκεια των πειραμάτων, ότι η πρύμνη ήταν αρκετά βυθισμένη, θεωρήθηκε, ότι η συγκεκριμένη προσθήκη πιθανόν θα βελτιώνει την αντίσταση του σκάφους. Είναι γνωστό, ότι όταν ένα ταχύπλοο πλέει σε ταχύτητες όπου αναπτύσσεται δυναμική άνοση, η αντίσταση του βελτιώνεται, όταν πλέει σε συγκεκριμένη γωνία δυναμικής διαγωγής, όπως φάνηκε και από τα προηγούμενα αποτελέσματα.

Τα ρυθμιζόμενα πτερύγια είναι καθαρά πρόσθετες κατασκευές που δημιουργούν υδροδυναμικές δυνάμεις και μεταβάλλουν τη δυναμική διαγωγή του σκάφους. Ακόμη αυξάνουν την ανωστική δύναμη στη γάστρα.

Κατασκευή και σύνδεση με την γάστρα

Για την κατασκευή τους χρειάστηκαν 2 πλάκες από PVC οι οποίες συνδέονταν με 2 ρυθμιστές μήκους η κάθε μία ώστε να ρυθμίζεται εύκολα η κλίση τους. Στην Εικόνα 35 μπορεί να παρατηρηθεί ο μηχανισμός που κατασκευάστηκε.



Εικόνα 35-Μηχανισμός κινητών πτερυγίων (Flaps)

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί τοποθετήθηκαν στο καθρέπτη της πρύμνης.

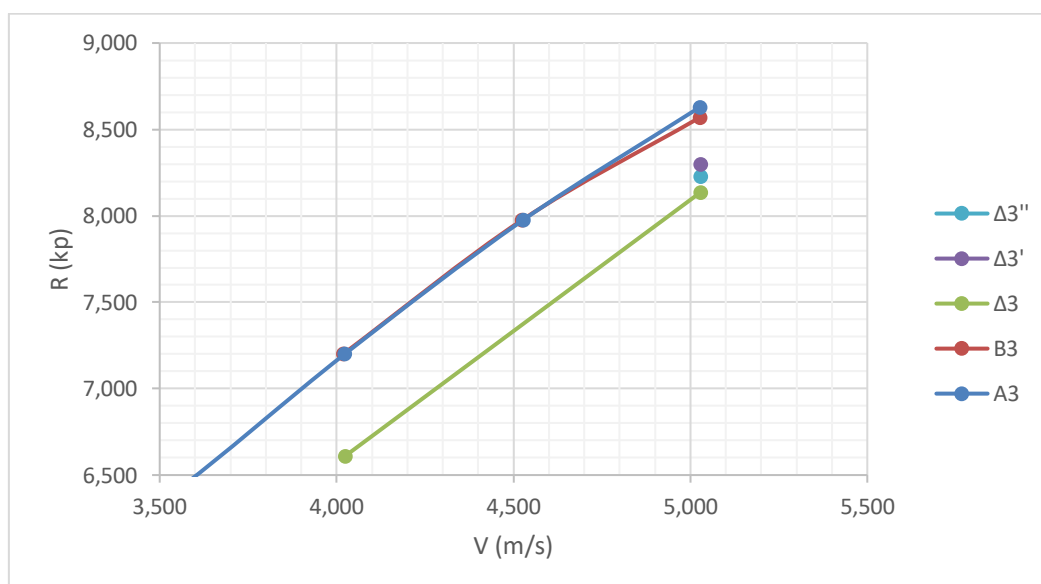
Πειραματική διαδικασία

Αφού τοποθετήθηκαν τα πτερύγια, αποφασίστηκε να γίνουν πειράματα σε 3 διαφορετικές κλίσεις με επίπεδο αναφοράς την πρύμνη του σκάφους ως σημείο 0. Τα πειράματα αφορούσαν την κατάσταση πλεύσης με αρχική διαγωγή 1^ο έμπρυσμη, καθώς ήταν η κατάσταση με την χαμηλότερη αντίσταση. Τα πειράματα πάλι πραγματοποιήθηκαν μόνο στην υψηλότερη ταχύτητα, καθώς σε εκείνο το σημείο μας ενδιέφερε η πλεύση του σκάφους. (για την κλίση του πτερυγίου που επιλέχθηκε έγιναν πειράματα και σε μικρότερη ταχύτητα). Είναι γνωστό ότι τα ρυθμιζόμενα πτερύγια και οι σφήνες λειτουργούν σε συγκεκριμένες ταχύτητες. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με την κλίση των πτερυγίων να είναι 1^ο και 2^ο κάτω, αλλά και 1^ο πάνω σε σχέση με την πρύμνη. Στον Πίνακα 8 Πίνακας 8 φαίνεται η κωδικοποίηση των καταστάσεων των πειραμάτων.

Πίνακας 8-Πίνακας κωδικοποίησης καταστάσεων "Δ"

Πειραματική διάταξη	1 ^ο κάτω	2 ^ο κάτω	1 ^ο πάνω
		Δ3	Δ3'

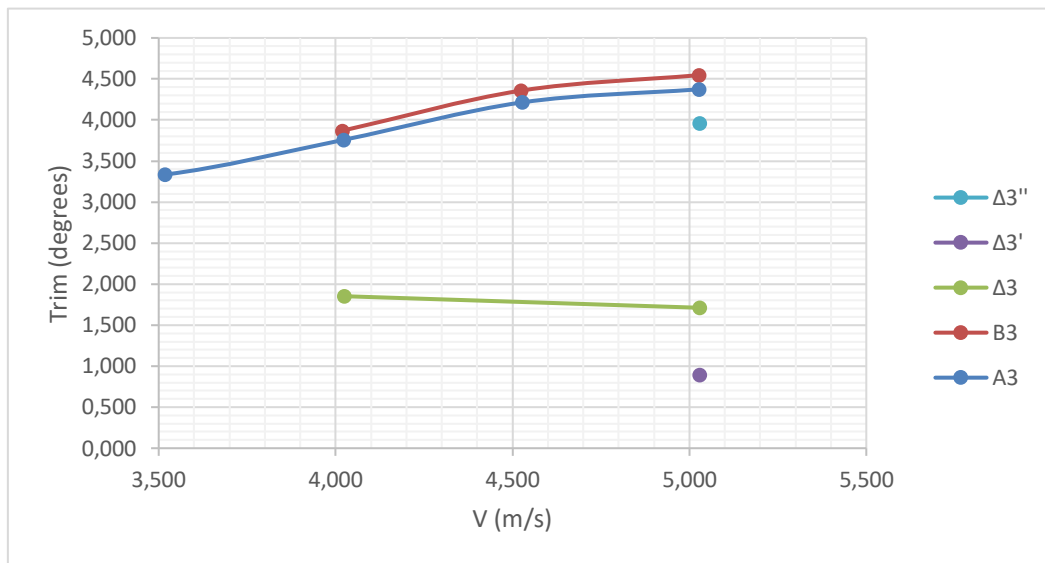
Πειραματικά αποτελέσματα



Διάγραμμα 18- Καμπύλη αντίστασης καταστάσεων "Δ"

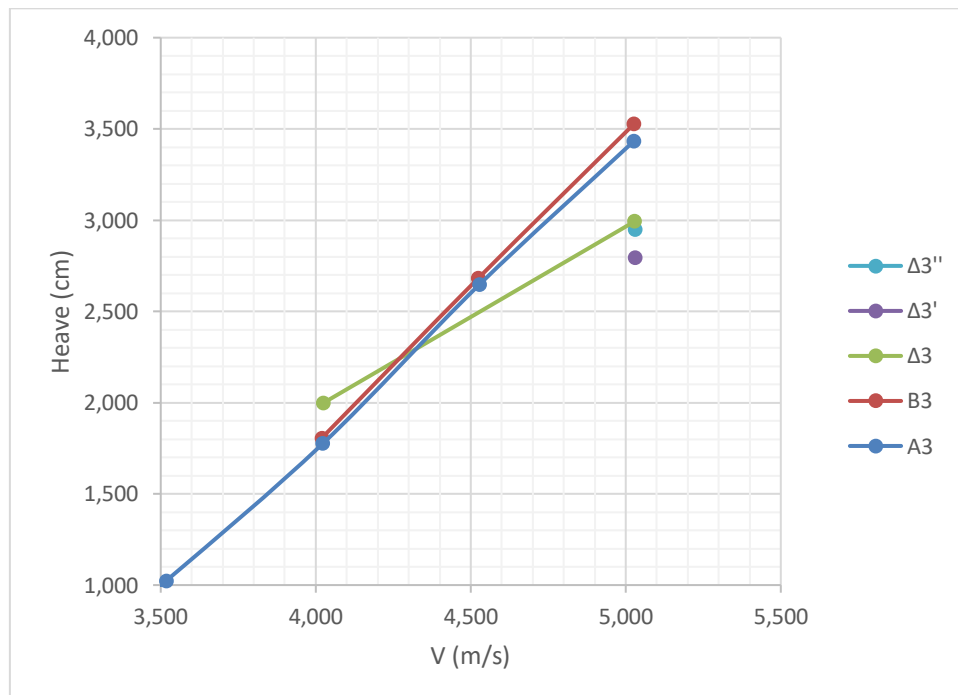
Παρατηρείται ότι τα ρυθμιζόμενα πτερύγια σε οποιαδήποτε κλίση βελτιώνουν σημαντικά την αντίσταση του σκάφους. Αυτό οφείλεται στην καλύτερη αποκόλληση της ροής στην πρύμνη λόγω της επέκτασης του μήκους. Ως καλύτερη κατάσταση πλεύσης παρατηρείται η κατάσταση Δ3. Το ποσοστό μείωσης της αντίστασης από την

κατάσταση B3 ανέρχεται στο **5,06%**. Εν τέλει, η συνολική μείωση της αντίστασης ανήλθε σε ποσοστό της τάξης του **16,71%**.



Διάγραμμα 19-Καμπύλη δυναμικής διαγωγής καταστάσεων "Δ"

Στο Διάγραμμα 19 παρατηρώντας τις τιμές διαγωγής του σκάφους παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη η κλίση των flaps τόσο μικρότερες οι τιμές διαγωγής του σκάφους. Αυτό οφείλεται στις υδροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται λόγω της ύπαρξης των πτερυγίων και τείνουν να «μπρουμντίζουν» το σκάφος.



Διάγραμμα 20-Καμπύλη ανύψωσης KB καταστάσεων "Δ"

Στο Διάγραμμα 20 παρατηρείται ότι ύπαρξη των πτερυγίων μειώνουν την ανύψωση του ΚΒ και αυτό οφείλεται στην μείωση των μεγάλων εμπρυμνων κλίσεων που δημιουργούν.

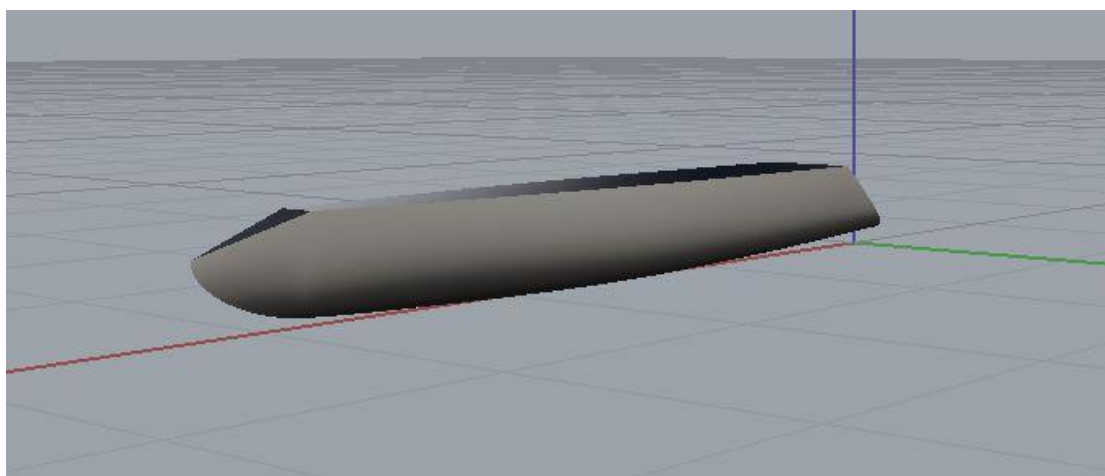
6.3. Προετοιμασία σκαφών Ωκεανός 2-3

6.3.1. Γενικά

Για την προετοιμασία για τον διαγωνισμό, όπως προαναφέρθηκε κατασκευάστηκαν 2 καινούργια μοντέλα για την συμμετοχή και στις 2 κύριες κατηγορίες του διαγωνισμού (κατηγορία σκαφών αναψυχής, κατηγορία φορτηγών πλοίων). Η υδροδυναμική μελέτη και η μελέτη αντοχής πραγματοποιήθηκε με την συμβολή διδακτορικών της σχολής και συγκεκριμένα από τον τομέα μελέτης πλοίου και τον τομέα ναυπηγικών κατασκευών. Και τα 2 μοντέλα κατασκευάστηκαν πλήρως από ίνες άνθρακα για την ελαχιστοποίηση του βάρους τους.

6.3.2. Κατηγορία σκαφών αναψυχής

Στην συγκεκριμένη κατηγορία η ομάδα εμπνεύστηκε και σχεδίασε ένα αρκετά λεπτόγραμμο και μακρύ σκάφος. Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε με σκοπό να επιτύχει ταχύτητα 6 m/s, ταχύτητα ανταγωνιστική σε σχέση με τις άλλες ομάδες, ώστε να διεκδικήσει κάποια διάκριση στον διαγωνισμό. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το σχέδιο της γάστρας όπως αυτό σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Rhinoceros.



Εικόνα 36-Σχέδιο "Ωκεανός 2"

Οι σημαντικές διαστάσεις του σκάφους φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

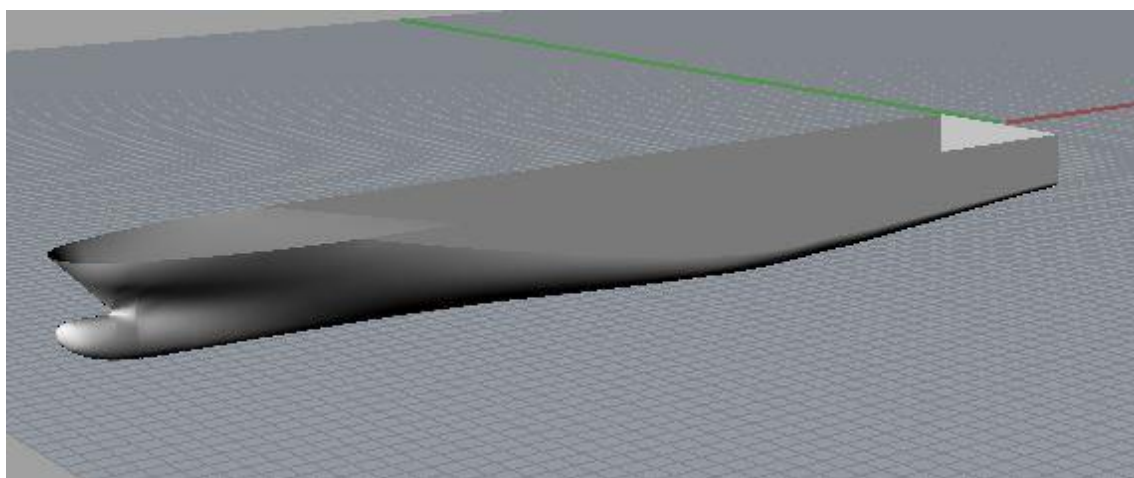
Πίνακας 9-Κύριες Διαστάσεις Ωκεανός 2

Μήκος	3,3	m
Πλάτος	0,41	m
Βύθισμα	0,09	m
Κοίλο	0,35	m

6.3.3. Κατηγορία φορτηγών πλοίων

Στην συγκεκριμένη κατηγορία, η ομάδα εμπνεύστηκε ένα σκάφος εκτοπίσματος από σχέδια πλοίων εμπορευματοκιβωτίων και οχηματαγωγά τα οποία είναι λεπτόγραμμα και σχεδιάζονται για υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους φορτηγών πλοίων. Ομοίως, το συγκεκριμένο σκάφος σχεδιάστηκε με σκοπό την διεκδίκηση κάποιας διάκρισης, οπότε παρατηρώντας τον ανταγωνισμό, μελετήθηκε για να έχει ταχύτητα πλεύσης στα 3 m/s.

Παρακάτω παρατηρείται το σχέδιο, όπως αυτό σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Rhinoceros.



Εικόνα 37-Σχέδιο "Ωκεανός 3"

Παρακάτω φαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους.

Πίνακας 10-Κύρια χαρακτηριστικά Ωκεανός 3

Μήκος L_{OA}	3,334	m
L_{BP}	3,24	m
Πλάτος	0,57	m
Βύθισμα	0,202	m
Κοίλο	0,445	m

6.3.4. Διαδικασία κατασκευής

Αφού τα παραπάνω σκάφη μελετήθηκαν και οριστικοποιήθηκαν οι τελικές τους διαστάσεις αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί η κατασκευή τους. Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε σε πρώτο στάδιο με την δημιουργία θηλυκών καλουπιών από αφρό εξηλασμένης πολυεστερίνης, ο οποίος κρίθηκε κατάλληλος λόγω της εύκολης κατεργασίας του και την μείωση του χρόνου κοπής σε σχέση με το ξύλο. Η διαδικασία κοπής πραγματοποιήθηκε στο πρότυπο ξυλουργείο και χρησιμοποιώντας το μηχάνημα cnc.

Παρακάτω φαίνεται το καλούπι του Ωκεανός 3.



Εικόνα 38- Καλούπι "Ωκεανός 3"

Ύστερα, στάλθηκαν σε έναν χορηγό της ομάδας για να πραγματοποιήσει το τελικό ντύσιμο των καλουπιών, το οποίο θα γινόταν από ίνες άνθρακα. Ύστερα τοποθετήθηκαν από την ομάδα τα ενισχυτικά και δημιουργήθηκαν οι βάσεις για να τοποθετηθεί ο εξοπλισμός



Εικόνα 39-Αποτέλεσμα διαδικασίας ντυσίματος

Όπως φαίνεται και στην εικόνα η τελική επιφάνεια του σκάφους δεν ήταν καλή με αποτέλεσμα να γίνουν διεργασίες για την ομαλοποίησή της. Για το λόγο αυτό, στοκαρίστηκαν και εξομαλύνθηκαν οι επιφάνειες και στο εν τέλει βάρφηκε το σκάφος.

6.3.5. Δοκιμαστικές διαδικασίες

Λόγω ότι η διαδικασία κατασκευής των σκαφών τελείωσε τον Ιούλιο, και τα εργαστήρια της σχολής κλείνουν αυτήν την περίοδο, δεν πραγματοποιήθηκαν πειράματα στην δεξαμενή του ΕΝΘΥ. Έτσι προχώρησαν οι διαδικασίες κατευθείαν σε δοκιμές ανοιχτής θαλάσσης. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε κλειστό περιβάλλον στις εγκαταστάσεις της μαρίνας του αγίου Κοσμά, περιβάλλον κατάλληλο για να προσομοιώσει τις συνθήκες του διαγωνισμού. Κατά την διάρκεια των δοκιμών τα σκάφη αποδείχτηκαν λειτουργικά και αξιόπλοα, αν και πάλι δημιουργήθηκαν κάποια προβλήματα.

Πιο συγκεκριμένα, στο Ωκεανός 2 παρατηρήθηκαν προβλήματα δυναμικής ευστάθειας όταν έπιανε μεγάλες ταχύτητες, τα οποία η ομάδα θεώρησε ότι ήταν προβλήματα διατοιχισμού και ταυτόχρονα δεν ανταποκρινόταν ο μηχανισμός πηδαλιουχίας, ώστε να ελεγχθεί το σκάφος. Για τον λόγο αυτό, η ομάδα αποφάσισε να του προσθέσει παρατροπίδια, ώστε να ελεγχθεί το φαινόμενο. Ως έναν βαθμό με τα παρατροπίδια, επιτευχθεί καλύτερη πλευση αν και δεν γινόταν να φτάσει στο πλήρες των δυνατοτήτων του.

Στο Ωκεανός 3 χρειάστηκαν πολλές διατάξεις στην κατανομή των βαρών, ώστε να βρεθεί το σημείο που λειτουργούσε σωστά ο βολβός. Γενικότερα, για τις ταχύτητες που έπλεε το σκάφος, το συγκεκριμένο σχέδιο βολβού δεν λειτουργούσε σωστά, καθώς «πέταγε» πολλά νερά. Το σκάφος όμως αναμφισβήτητα, έπλεε κόντα στην ταχύτητα σχεδίασης, και δεν είχε σοβαρά προβλήματα, ώστε να χρειαστεί να του αλλαχθεί κάτι.

Επομένως, η ομάδα αποφάσισε να κατευθυνθεί στο διαγωνισμό με τα υπάρχοντα σκάφη και να διεκδικήσει με αυτά την διάκριση.

6.4. Πορεία στον διαγωνισμό

Η ομάδα κατά την διάρκεια του διαγωνισμού κατάφερε να κερδίσει την 4^η θέση στην κατηγορία ελαφρών βαρών και την 13^η στην κατηγορία βαρέων βαρών. Η θέση στην τελευταία κατηγορία δεν ανταποκρίνεται όμως στις πραγματικές αποδόσεις του σκάφους, καθώς σε αγώνα αποκλεισμού στην φάση των 16, αντιμετώπιστηκε πρόβλημα υπερθέρμανσης στην μπαταρία, και εγκατέλειψε τον αγώνα. Γενικότερα, η ομάδα ήταν ευχαριστημένη με το αποτέλεσμα και πήρε αρκετές ιδέες για την συνέχεια της πορείας της.



Εικόνα 40- Το "Ωκεανός 2" κατά την πλεύση του στον διαγωνισμό



Εικόνα 41- Το "Ωκεανός 3" κατά την πλεύση του στον διαγωνισμό

7. Προετοιμασία σκαφών για το έτος 2018

7.1. Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει συνοπτικά τις κατευθύνσεις και τις διαδικασίες που ακολούθησε η ομάδα για το 2018. Την χρονιά αυτή η ομάδα αποφάσισε να συνεχίσει την πορεία της προσδοκώντας να βελτιώσει τα ήδη υπάρχοντα σκάφη που είχαν κατασκευαστεί. Αυτό βασίζεται στο ότι ο χρόνος προετοιμασία για τον διαγωνισμό για την σωστή μελέτη και την κατασκευή πρότυπων σκαφών στα πλαίσια των ακαδημαϊκών υποχρεώσεων είναι περιορισμένος για να υπάρξει ένα πλήρες αποτέλεσμα εντός λίγων μηνών.

Οπότε, αποφασίστηκε να κατευθυνθεί στην μελέτη της υδροδυναμικής αποδοτικότητας των μοντέλων, αλλά και στην κατεύθυνση κατασκευής προπελών ειδικών για το κάθε σκάφος. Γι' αυτήν την κατεύθυνση, χρειάστηκαν να πραγματοποιηθούν πειράματα αντίστασης στα σκάφη, που λόγω της προηγούμενης εμπειρίας μου στις πειραματικές διαδικασίες και στην κατανόηση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς των μοντέλων ανατέθηκε σε μένα.

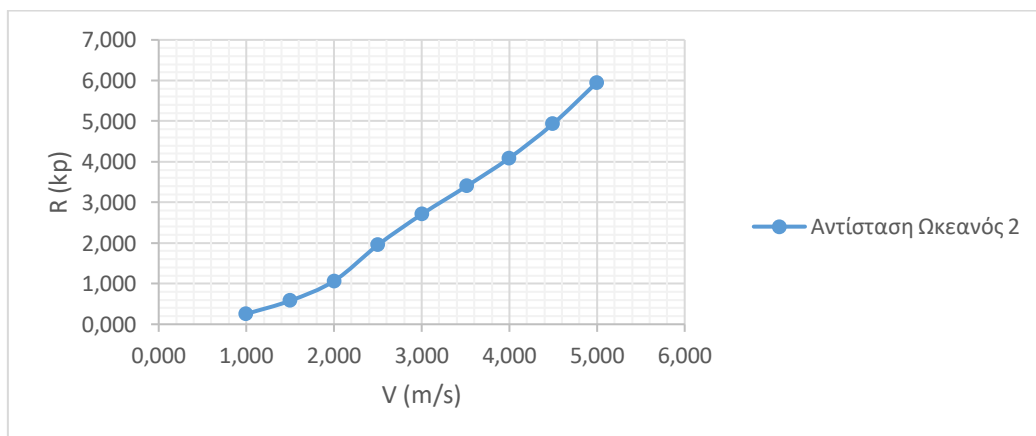
7.2. Πειραματική μελέτη Ωκεανός 2

7.2.1. Γενικά

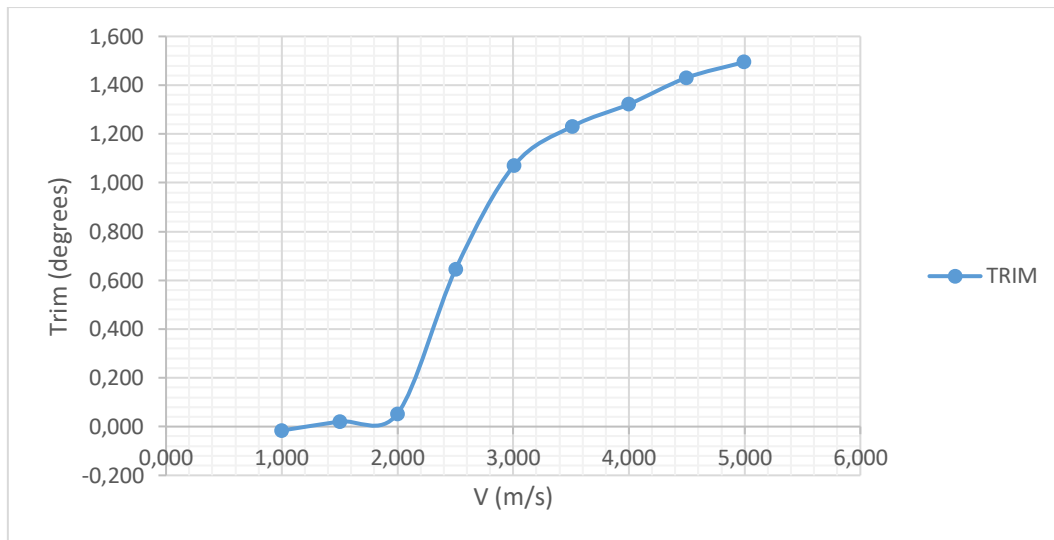
Για το σκάφος της ελαφριάς κατηγορίας πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης, ώστε να παραχθεί η καμπύλη αντίστασης του σκάφους, αλλά και τα διαγράμματα διαγωγής και ανύψωσης του κέντρου βάρους.

7.2.2. Πειραματικά αποτελέσματα

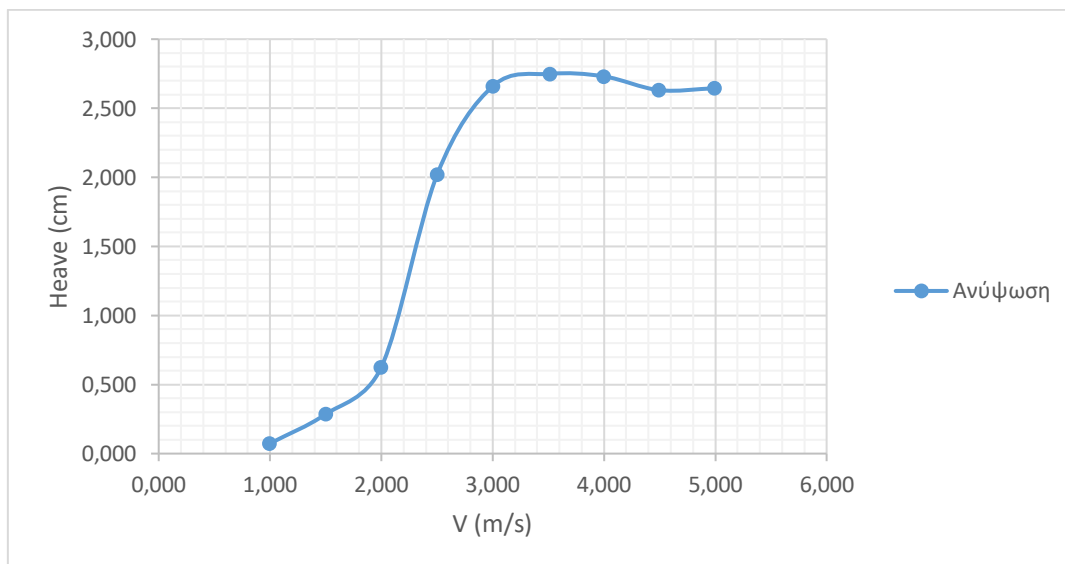
Παρακάτω παρατίθενται τα παραγόμενα πειραματικά αποτελέσματα.



Διάγραμμα 21- Καμπύλη αντίστασης "Ωκεανός 2"



Διάγραμμα 22-Καμπύλη διαγωγής "Ωκεανός 2"



Διάγραμμα 23-Καμπύλη ανύψωσης ΚΒ "Ωκεανός 2"

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν και για άλλες τιμές διαγωγής, όμως παρουσιάζονται οι καταστάσεις στην οποία υπήρχαν τα καλύτερα αποτελέσματα αντίστασης. Σκοπός ήταν να βρεθεί το σημείο διαγωγής στο οποίο πλέει το σκάφος, ώστε να τοποθετηθεί ο κινητήρας αντίστοιχα, ώστε να δίνει όλη την ώση παράλληλα με τον άξονα τον x.

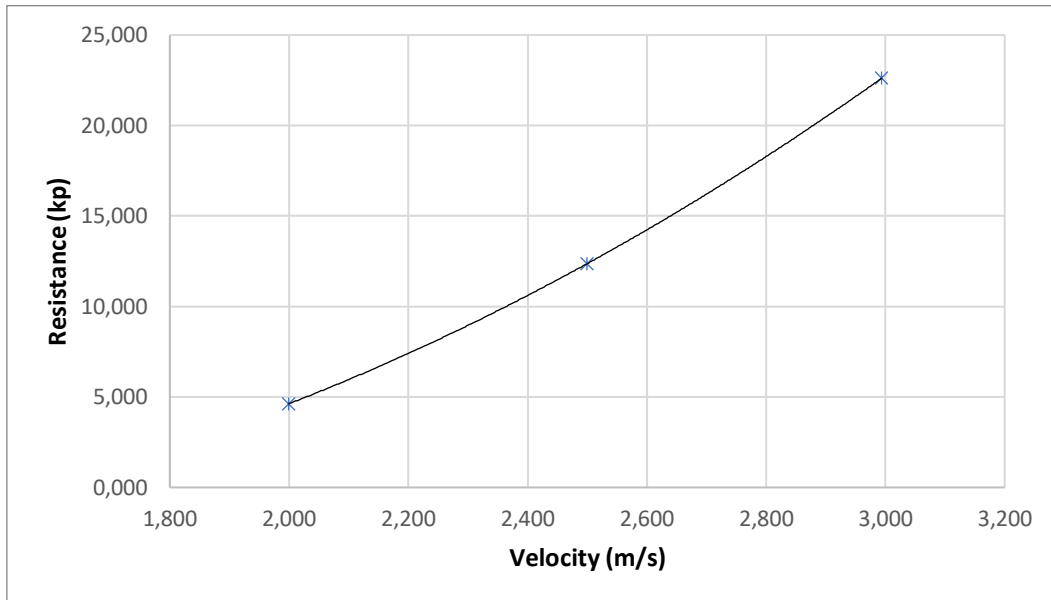
7.3. Πειραματική μελέτη Ωκεανός 3

7.3.1. Γενικά

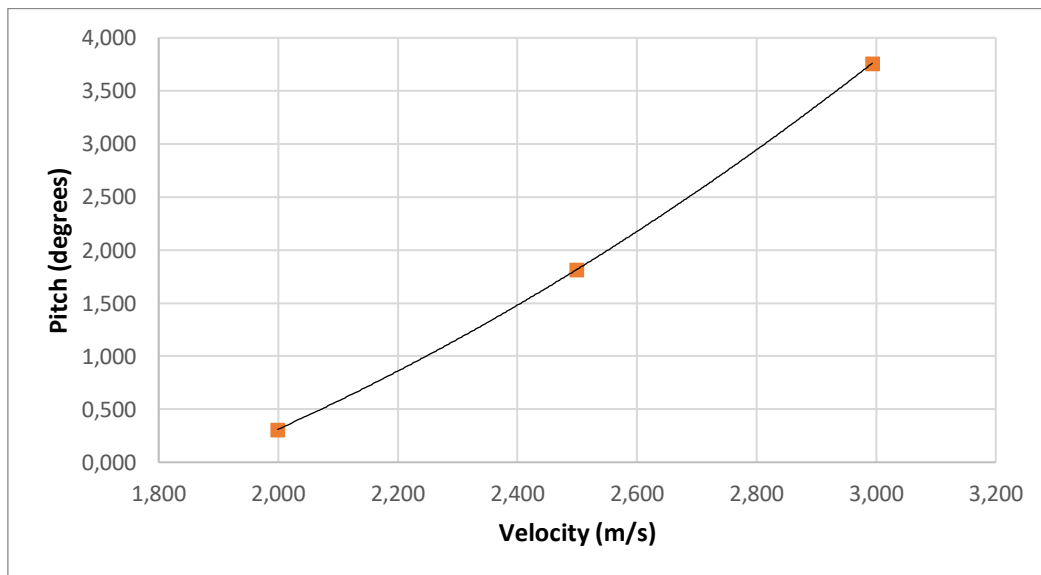
Αντίστοιχα, για το σκάφος της βαριάς κατηγορίας πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης πάλι για τον ίδιο σκοπό, ώστε αντίστοιχα να παραχθεί η

καμπύλη αντίστασης και να μπορέσει να γίνει και η μελέτη για την κατασκευή προπελών.

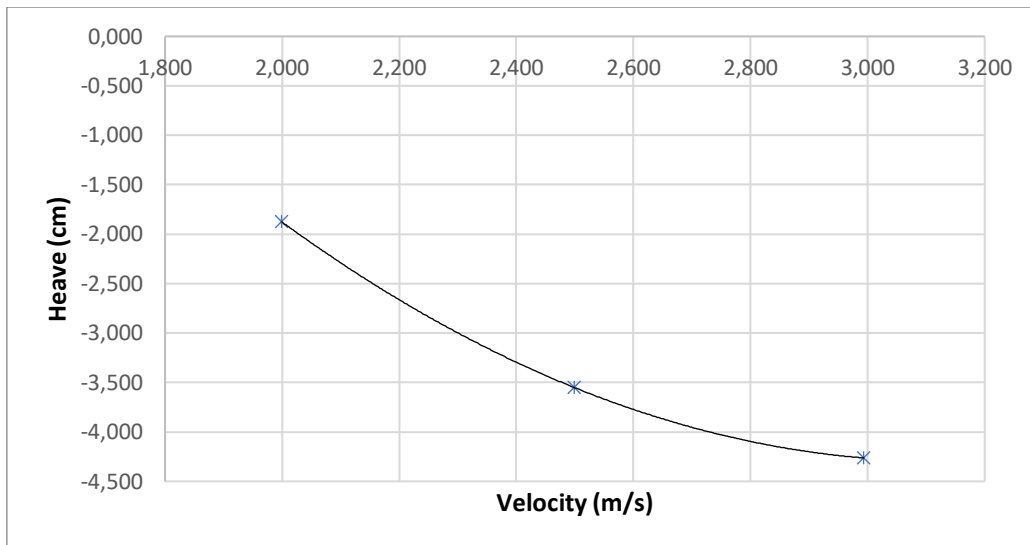
7.3.2. Πειραματικά αποτελέσματα



Διάγραμμα 24-Καμπύλη αντίστασης "Ωκεανός 3"



Διάγραμμα 25-Καμπύλη διαγωγής "Ωκεανός 3"



Διάγραμμα 26-Καμπύλη ανύψωσης KB "Ωκεανός 3"

7.4. Πορεία προς τον διαγωνισμό

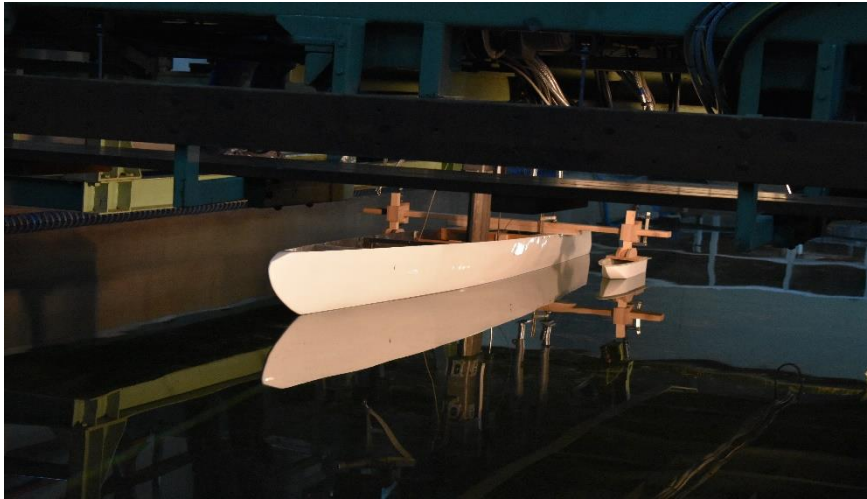
7.4.1. Γενικά

Η ομάδα ασχολήθηκε διεξοδικά για να λύσει τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών της προηγούμενης χρονιάς, αλλά και ταυτόχρονα να κατασκευάσει δικές της προπέλες για τα σκάφη. Για το σκάφος της ελαφριάς κατηγορίας υπήρχαν δύο ιδέες για την επίλυση των προβλημάτων της ευστάθειας πορείας που δημιουργήθηκαν, ενώ για το σκάφος της βαριάς κατηγορίας το οποίο δεν είχαν αντιμετωπιστεί κάποια προβλήματα, το κύριο μέρος της μελέτης του συγκεντρώθηκε στην κατασκευή προπελών για την επίτευξη μεγαλύτερης ταχύτητας.

7.4.2. Τριμαράν

Η πρώτη ιδέα ήταν να προστεθούν στο σκάφος δύο ακόμη πλωτήρες και να μετατραπεί σε τριμαράν. Οι δύο πλωτήρες θα είχαν μικρό μέγεθος και θα βοηθούσαν στην σταθεροποίηση του σκάφους. Η μετατροπή αυτή έγινε και πραγματοποιήθηκαν πειράματα αντίστασης ώστε να ερευνηθεί η επίδραση των πλωτήρων στην αντίσταση του σκάφους. Στα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν πολλές διαφορετικές διατάξεις που είχαν να κάνουν με την θέση των πλωτήρων ώστε να βρεθεί το σημείο με την καλύτερη συμπεριφορά

Εν τέλει όμως, αυτή η ιδέα δεν ευδοκίμησε. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, όταν και δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες το τριμαράν, αποδείχτηκε ότι δεν λύθηκε το πρόβλημα της ευστάθειας πορείας. Παρακάτω φαίνεται το τριμαράν κατά την διάρκεια των πειραμάτων.



Εικόνα 42-Κονσепτ Τριμαράν

7.4.3. Υδροπτέρυγο σκάφος

Η δεύτερη ιδέα ήταν το σκάφος να μετατραπεί σε υδροπτέρυγο σκάφος. Η λύση αυτή προέκυψε από την παρακολούθηση του ανταγωνισμού στον διαγωνισμό, καθώς οι νικήτριες ομάδες, χρησιμοποιούσαν υδροπτέρυγα. Τα υδροπτέρυγα γενικότερα, μπορούν να λειτουργήσουν σε αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τα συμβατικά ταχύπλοα.

Γενικότερα, λόγω έλλειψης εμπειρίας της ομάδας στο κομμάτι των υδροπτερύγων σκαφών η ομάδα κατευθύνθηκε προς τύπους υδροπτερύγων που προσφέρουν ευστάθεια και ενδεικνύονται για μονόγαστρα σκάφη. Σκοπός ήταν τα υδροπτερύγια να μπορέσουν να δοκιμαστούν σε συγκεκριμένες κλίσεις χωρίς την βοήθεια κάποιου ηλεκτρονικού συστήματος το οποίο θα έκανε πιο σύνθετη την κατασκευή. Βέβαια αυτή η επιλογή, είχε το μειονέκτημα να χρειαστούν πολλές δοκιμές. Για τις δοκιμές κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν διάφοροι τύποι υδροπτερύγων. Δυστυχώς, ο χρόνος για τις δοκιμές αυτού του τύπου σκάφους, αποδείχτηκε μικρός και προέκυπταν μικρά προβλήματα σε αρκετές δοκιμές. Βέβαια, τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά. Παρακάτω ακολουθεί φωτογραφία του υδροπτέρυγου σκάφους.



Εικόνα 43-Κόνσепт υδροπτέρυγου σκάφους

7.4.4. Μελέτη πρόωσης (προπέλες)

Κύρια φιλοδοξία της ομάδας ήταν να σχεδιάσει και να κατασκευάσει τις δικές της προπέλες για το κάθε σκάφος αλλά και την κάθε κατηγορία του διαγωνισμού. Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός τους, η ομάδα χρειαζόταν τις καμπύλες αντίστασης των σκαφών, και για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα που περιγράφονται σε προηγούμενα εδάφια.

Ύστερα, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της αντίστασης και εισάγοντάς στο πρόγραμμα Grid, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο εργαστήριο από τον κ. Γ. Πολίτη, καθηγητή του ΕΝΘΥ, πραγματοποιήθηκε η επιλογή των χαρακτηριστικών της προπέλας. Ακόμη με την βοήθεια ενός κώδικα που κατασκευάστηκε από τα μέλη της ομάδας πραγματοποιήθηκε εύκολα ο τρισδιάστατος σχεδιασμός των προπελών.

Έπειτα, για την κατασκευή τους επιλέχθηκε η τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς ήταν ο λιγότερος χρονοβόρος, με σχετικά μικρό κόστος και καλής ποιότητας επιφανείας το οποίο είναι αρκετά σημαντικό στην απόδοση των προπελών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η τρισδιάστατη εκτύπωση τεχνολογίας SLA (StereoLithography Apparatus) με υλικό ένα σκληρό είδος ρητίνης για μέγιστη λεπτομέρεια και αντοχή.

Οι προπέλες που κατασκευάστηκαν, μελετήθηκαν και για τις 3 κατηγορίες του διαγωνισμού. Συγκεκριμένα στις 2 βασικές κατηγορίες σκοπός ήταν η σχεδίαση για την μέγιστη ταχύτητα, ενώ στον αγώνα αντοχής σχεδιάστηκε για την μέγιστη ταχύτητα που θα μπορούσε να έπλεε το σκάφος καταναλώνοντας τόση ενέργεια ώστε να πλέει για όλο τον αγώνα αντοχής.

Στην δοκιμή τους, τα σκάφη με τις πρωτότυπες προπέλες πέτυχαν σε μεγάλο ποσοστό την ταχύτητα για την οποία σχεδιάστηκαν και ουσιαστικά η μελέτη πέτυχε. Στην Εικόνα 44 φαίνονται οι κατασκευασμένες προπέλες.



Εικόνα 44-Σχεδιασμένες προπέλες

7.4.5. Δοκιμαστικά πειράματα

Όπως προαναφέρθηκε, στις δοκιμές η λύση με το τριμαράν απέτυχε και η δεύτερη λύση με τα υδροπτέρυγο χρειαζόταν περισσότερες δοκιμές για να εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα για την πλεύση του σκάφους. Ωστόσο, κατά την διάρκεια των δοκιμών παρατηρώντας την συμπεριφορά του σκάφους και ύστερα από προτροπή του κ. Πολίτη, αποφασίστηκε να τοποθετηθεί ο κινητήρας στην πλώρη και να εγκαταλειφθεί ο παραδοσιακός τρόπος πηδαλιουχίας, αλλά να στρέφεται ολόκληρος ο κινητήρας για να στρέφεται το σκάφος. Αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Όπως μπορεί να διακριθεί ο κίτρινος κύλινδρος στην πλώρη είναι ο κινητήρας. Η αλλαγή αυτή βελτίωσε αισθητά το πρόβλημα της ευστάθειας πορείας και ακόμη έλυσε το ζήτημα πηδαλιουχίας που αντιμετώπιζε το σκάφος. Καθώς η τοποθέτηση του κινητήρα στην πλώρη φαντάζει σαν μια αντισυμβατική λύση, η εξήγηση που αποδόθηκε ήταν ότι επειδή το σκάφος ήταν αρκετά λεπτόγραμμο και με στρογγυλό πυθμένα ήταν αρκετά ευαίσθητο στις διαταραχές του περιβάλλοντος.

Έχοντας, λοιπόν, τον κινητήρα και την πηδαλιουχία στην πρύμνη του σκάφους, ήταν σαν το σκάφος να ωθείται προς τα μπροστά και ανάλογα τις διαταραχές του περιβάλλοντος ακολουθούσε την πορεία που είχε εκείνη την στιγμή από την διαταραχή. Τοποθετώντας τον κινητήρα και το σύστημα πηδαλιουχίας στην πλώρη, ουσιαστικά, ο χειριστής θεωρητικά «τραβούσε» το σκάφος προς την κατεύθυνση την οποία αυτός όριζε.

Από την άλλη πλευρά ο “Ωκεανός 3” με την προσθήκη της καινούργιας προπέλας ανέβασε ακόμη περισσότερο τις επιδόσεις του και το μόνο επιπλέον που άλλαξε η ομάδα ήταν ο βολβός του, ώστε να είναι πιο αποδοτικός στις ταχύτητες που έπλεε.

7.5. Διαγωνισμός

Η ομάδα κατά την διάρκεια του διαγωνισμού κατάφερε να κερδίσει την 5^η θέση στην κατηγορία ελαφρών βαρών και την 13^η στην κατηγορία βαρέων βαρών. Ακόμη, αγωνίστηκε και στον αγώνα αντοχής καταλαμβάνοντας την 11^η θέση. Γενικότερα, η ομάδα ήταν ευχαριστημένη με το αποτέλεσμα καθώς συμμετείχε και στις 3 κατηγορίες για πρώτη φορά.

Ακόμη, κατά την διάρκεια του διαγωνισμού δοκιμάστηκε μια πρωτότυπη ιδέα στο σκάφος της βαριάς κατηγορίας. Τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος της πρύμνης μια υδροτομή (hull vane) με σκοπό την βελτίωση των πιέσεων που δημιουργούνται στην πρύμνη αλλά και την δημιουργία επιπλέον ώσης με την κατάλληλη τοποθέτηση της υδροτομής εκμεταλλεύοντας την κατεύθυνση της ροής στην πρύμνη του σκάφους και την υδροδυναμική ανύψωση που προσφέρει η υδροτομή (lift). Σύμφωνα με τους αισθητήρες ταχύτητας που είχε η ομάδα στο σκάφος, επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα κατά 0,2 m/s! Στην παρακάτω εικόνα παρατηρείται η συγκεκριμένη κατασκευή στο σκάφος.



Εικόνα 45-Hull Vane

8. Συμπεράσματα

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε κατανοητή η συμπεριφορά μιας ολισθακάτου στις αλλαγές του εκτοπίσματός της και σε αλλαγές της διαγωγής της. Έγινε κατανοητό, πόσο σημαντικές είναι αυτές οι μεταβολές στην υδροδυναμική αντίσταση του σκάφους, αλλά και στην πλευση του. Ακόμη, παρατηρήθηκε πόσο σημαντική ήταν η προσθήκη των πτερυγίων και η εύρεση της σωστής γωνίας τους για την υδροδυναμική βελτίωση του σκάφους, καθώς και ότι μικρές αλλαγές όπως η αλλαγή του πηδαλίου μπορούν να επηρεάσουν θετικά την πλευση του σκάφους. Αποκτήθηκαν γνώσεις στην μεταποίηση πλαστικών σκαφών και χρήση σύνθετων υλικών. Η παραπάνω μελέτη μπορεί να συγκεντρωθεί στα παρακάτω ουσιαώδη συμπεράσματα:

- Η μελέτη ενός ταχύπλου σκάφους ξεκινά με την παραγωγή της καμπύλης αντίστασης και επικεντρώνεται στις ταχύτητες σε υψηλούς αριθμούς Froude. Καθώς πρόκειται για ένα αγωνιστικό σκάφος, σκοπός είναι να επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα. Μέσω των πειραμάτων γίνεται προσπάθεια εύρεσης του σημείου, στο οποίο το σκάφος ολισθαίνει και μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες με μικρή αύξηση της ισχύος (το οποίο φαίνεται από τον ρυθμό μεταβολής της αντίστασης). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο ρυθμός μεταβολής της αντίστασης του σκάφους μειώνεται αισθητά όταν το σκάφος εισέρχεται σε ταχύτητες αριθμού $F_n > 0.6$. Ειδικότερα, όταν ο ρυθμός μεταβολής παίρνει τις μικρότερες τιμές του, το σκάφος βρίσκεται σε πλευση όπου με πολύ μικρές μεταβολές της ισχύος, η ταχύτητα αυξάνεται, χωρίς κάποιο μεγάλο κόστος. Η μελέτη του ρυθμού μεταβολής της αντίστασης σε σχέση με την ταχύτητα παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα, για να βρεθεί το εύρος της ταχύτητας του σκάφους στο σημείο όπου οι μικρές μεταβολές της ισχύος δίνουν μεγάλη αύξηση της ταχύτητας. Ο υπολογισμός της πραγματικής ταχύτητας του σκάφους μπορεί να προσεγγιστεί με τα διαγράμματα ανοιχτής ροής της προπέλας, καθώς η προπέλα βλέπει ανοιχτή ροή (μικρό ποσοστό μείωσης ώσης) ελέγχοντας τις απαιτήσεις ροής της για συγκεκριμένες ταχύτητες, πάντα σε συνάρτηση με την ροπή που μπορούσε να αποδώσει ο κινητήρας, χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνουν πειράματα αυτοπρώσης.
- Επιπλέον, η εκτίμηση του βάρους ενός σκάφους είναι μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες και θα πρέπει να γίνεται με πολύ μεγάλη προσοχή και προσπάθεια για ακριβή προϋπολογισμό του. Η λανθασμένη εκτίμηση του βάρους, είναι σύνθητες και είναι ένα πρόβλημα που καλούνται να λύσουν οι ναυπηγοί σχεδιαστές. Το σκάφος που μελετήθηκε αποτελεί σαφέστατα ένα ισχυρό επιχείρημα της παραπάνω διατύπωσης. Πιο συγκεκριμένα, η αρχική εκτίμηση για 40 kg εκτόπισμα σε σχέση με την πραγματική τιμή των 48 kg έπαιξε σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα. Όπως φάνηκε από τα πειράματα, αν και στην δεύτερη περίπτωση τα πειράματα ρυμούλκησης έγιναν με παρελκόμενα, η αντίσταση αυξήθηκε κατά 39%. Ξεκινώντας την διαδικασία

βελτιστοποίησης, η αφαίρεση βάρους ήταν σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων καθώς η μείωση του βάρους κατά 8,5% μείωσε την αντίσταση κατά 9,05%, ενώ η συνολική μείωση του βάρους στο εκτόπισμα των 41,3 kg επίδρασε κατά 11,08% στην μείωση της συνολικής αντίστασης.

- Όπως είναι ευρέως γνωστό, η παρουσία του καθρέπτη στην πρύμνη του πλοίου επιδρά σημαντικά στην αντίσταση. Μάλιστα, όσο περισσότερο βυθισμένος είναι ο καθρέπτης, τόσο δραστηκότερη η αύξηση της αντίστασης. Βέβαια αυτό συμβαίνει στις μικρές τιμές του αριθμού Fn , όπου οι ανωστικές δυνάμεις δεν είναι επαρκώς μεγάλες. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες η βυθισμένη πρύμνη δημιουργεί μεγαλύτερες ανωστικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα να υπάρξει μεγαλύτερη ανύψωση του σκάφους. Αυτό σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα εξηγεί γιατί στις μικρές ταχύτητες η έμπρομη διαγωγή δίνει μικρότερη αντίσταση από την έμπρυμνη διαγωγή αλλά στις μεγάλες ταχύτητες το αποτέλεσμα αντιστρέφεται. Πιο συγκεκριμένα, για δεδομένο εκτόπισμα η μεταβολή της αντίστασης από 1 μοίρα έμπρομη σε 1 μοίρα έμπρυμνη μπορεί να προκαλέσει μείωση της αντίστασης κατά 5,9%. Είναι πολύ εντυπωσιακό το αποτέλεσμα με μία αλλαγή στην διαγωγή του σκάφους. Η βελτίωση που προήλθε, από την ισοβύθιστη κατάσταση στην 1 μοίρα έμπρυμνη διαγωγή είναι 0,65% ποσοστό σημαντικά μικρότερο, γεγονός που δεν αναιρεί την προσπάθεια βελτιστοποίησης. Ακόμη η αλλαγή των μικρών εξαρτημάτων του σκάφους που συντελούν στην αύξηση της αντίστασης, όπως το πηδάλιο στην συγκεκριμένη περίπτωση, στο οποίο δεν άλλαξε η γεωμετρία του και η ενεργή του επιφάνεια, αλλά άλλαξε το σημείο πρόσδεσης συντέλεσε στην μείωση της αντίστασης κατά 0,69 %.
- Η προσθήκη των κινητών πτερυγίων στην πρύμνη είχε αισθητή επίδραση στην καμπύλη αντίστασης του σκάφους. Το ποσοστό μείωσης ανέρχεται στο 5,06%. Μέσω των τελευταίων αποτελεσμάτων, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ένα ηλεκτρονικό σύστημα κινητών πτερυγίων θα μπορούσε να ελέγχει την βέλτιστη διαγωγή του σκάφους ώστε να έχει την καλύτερη αντίσταση ανάλογα την κατάσταση πλεύσης του. Για παράδειγμα, όπως παρατηρήθηκε στις μικρές ταχύτητες η έμπρομη διαγωγή έχει καλύτερη αντίσταση από την έμπρυμνη σε σχέση με τις μεγαλύτερες ταχύτητες όπου συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί με την σωστή κλίση των κινητών πτερυγίων ανάλογα με την ταχύτητα που πλέει το σκάφος.
- Μπορεί να ειπωθεί, ότι ενώ οι συνθήκες του διαγωνισμού απαιτούν την μεγαλύτερη ταχύτητα, αρά την επικέντρωση σε σχεδιάσεις με μικρή αντίσταση, στην συνολική εικόνα παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες όπως η πηδαλιουχία, η δυναμική ευστάθεια, τα ηλεκτρονικά κ.α..
- Όσον αναφορά το σκάφος της βαριά κατηγορίας, η επίδραση του hull vane στην γάστρα και στην ταχύτητά του επίδρασε θετικά (προσθήκη πτέρυγας

στην πρύμνη), γεγονός που θα μπορούσε να μελετηθεί μελλοντικά σε κάποια διπλωματική εργασία.

Βιβλιογραφία

- [1] Αντίσταση και πρόωση πλοίου (Σημειώσεις μαθήματος), Γ. Πολίτη, 2011
- [2] Υδροδυναμική σχεδίαση μικρών σκαφών, Γ. Γρηγορόπουλου
- [3] Αριθμητικές προσομοιώσεις υδροδυναμικών ροών, Γ. Τζαμπίρα, 1998
- [4] Δυναμική πλοίου, Γ. Αθανασούλη, Κ. Μπελιμπασάκη, 2012
- [5] Αριθμητικές προσομοιώσεις υδροδυναμικών ροών, Γ. Τζαμπίρα, 1998
- [6] Πειράματα αντιστάσεως προτύπου OM-76, Χ. Γραικούση, Θ. Λουκάκη, Ιούλιος 1986
- [7] Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου I – Τόμος Α, Γ. Τζαμπίρας, 2010
- [8] Μηχανική των ρευστών, Σ. Τσαγκάρης, 2005