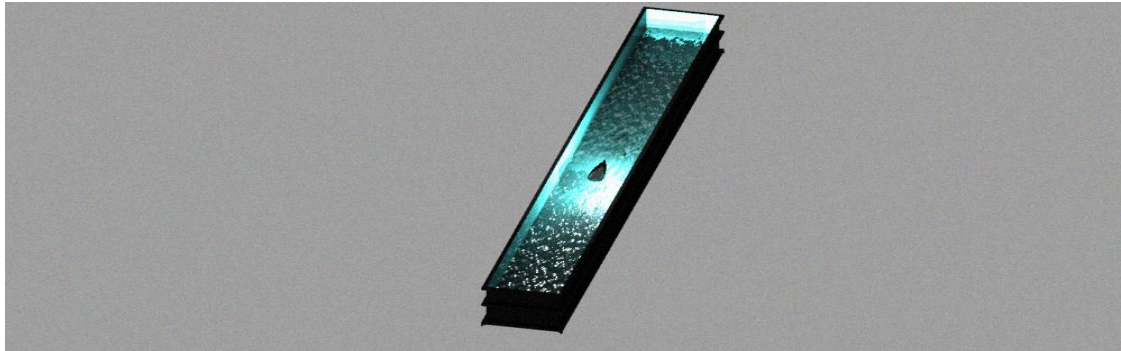




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE



Διπλωματική εργασία:

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΙΣΤΙΟΠΛΟΙΚΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ RACING

RACING SAILBOAT MODEL CONSTRUCTION

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Μηχ. Θωμάς Π. Μαζαράκος, Επίκουρος Καθηγητής

ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΑΘΗΣ

A.M.: 51114045

ΑΙΓΑΛΕΩ, 2022

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE

Διπλωματική Εργασία:

Κατασκευή μοντέλου ιστιοπλοϊκού σκάφους *racing*

Συγγραφέας:

Κωνσταντακόπουλος Στάθης (51114045)

Επιβλέπων:

Δρ. Μηχ. Θωμάς Π. Μαζαράκος,
Επίκουρος Καθηγητής, ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης:

04/03/2022

Εξεταστική Επιτροπή:

Θωμάς Π. Μαζαράκος,
Επίκουρος Καθηγητής, ΠΑ.Δ.Α.

Αλέξανδρος Θεοδοουλίδης,
Επίκουρος Καθηγητής, ΠΑ.Δ.Α.

Σωτηρία Δημητρέλλου,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, ΠΑ.Δ.Α.

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Κωνσταντακόπουλος Στάθης** του **Φώτιου**, με αριθμό μητρώου **51114045** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Ναυπηγών Μηχανικών**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Ο Δηλών

Κωνσταντακόπουλος Στάθης



- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Δρ. Μηχ. Θωμά Π. Μαζαράκο για την άμεση ανταπόκριση του στα προβλήματα που προέκυπταν, την υπομονή και αποφασιστικότητα που μου μετέδωσε, καθώς και τις γνώσεις που προσέφερε τόσο μέσω του διδακτικού του έργου όσο και μέσω της θεωρητικής καθοδήγησης στα στάδια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης, πολύτιμη ήταν η συνεισφορά των κυρίων Αναστάσιου Μισθού, Μέλος Ειδικού Τεχνικού Εργαστηριακού Προσωπικού (Ε.Τ.Ε.Π.), Ιακωβίδη Ισίδωρου, Λέκτορα και Τσιασιώτη Χρήστου, η αρωγή των οποίων συνέβαλε σημαντικά στην περάτωση του κατασκευαστικού εγχειρήματος. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους οικείους μου για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή πολυεστερικού μοντέλου, αγωνιστικής γάστρας ιστιοφόρου σκάφους, χωρίς πηδάλια και καρίνα, σε κλίμακα 1:10. Ξεκινώντας από το σχέδιο σε τρισδιάστατο περιβάλλον, καταγράφονται, απεικονίζονται και αναλύονται οι διαδικασίες στο εκάστοτε στάδιο κατασκευής μέχρι το τελικό μοντέλο με το φινίρισμα του. Στη συνέχεια γίνεται εκτίμηση της αντίστασης του σκάφους μέσω λογισμικού, προεκτιμάται η αντίσταση του μοντέλου, για ταχύτητες σκάφους πλήρους κλίμακας από 0 έως 10 κόμβους. Ολοκληρώνοντας, προτείνονται ενέργειες βελτιστοποίησης της διαδικασίας ως προς την ακρίβεια, το χρόνο και το κόστος αυτής.

Λέξεις κλειδιά: Μοντέλο, καλούπι, πολυεστέρας, φινίρισμα, κατασκευαστική πορεία, αντίσταση.

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Abstract

The subject of the current thesis is the construction of a fiberglass model, which consists of sailing's boats racing hull without rudders and keel on a scale of 1:10. Starting with the design on a three dimensional environment, the procedures of each stage of construction are being recorded, depicted and analyzed until the final model is completed along with its finish. Continuing, estimations take place regarding the vessel's resistance through different software, pre estimated the model's resistance for speeds of a full scale boat ranging from 0 to 10 knots. In the end, optimization actions for the whole procedure are made in regards to the accuracy, time needed and cost of said procedure.

Keywords: Model, mold, fiberglass, surface finish, construction, resistance

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	1
1.1.	Πρόλογος.....	1
1.2.	Ιστορική Αναδρομή	2
1.2.1.	Πρώιμη μοντελοποίηση και διεξαγωγή πειραμάτων	3
1.2.2.	Από τα πρώιμα πειράματα, στον <i>William Froude</i>	4
1.2.3.	ITTC, από τον 20 ^ο αιώνα μέχρι σήμερα.....	6
2.	Κατασκευαστικό υπόβαθρο	11
2.1.	Πολυμερή	11
2.2.	Σύνθετα υλικά	11
2.3.	Πολυμερισμός	12
2.5.	Πολυεστερική ρητίνη	14
2.5.1.	Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα πολυεστέρα	15
2.5.2.	Χρήσιμοι ορισμοί και ιδιότητες.....	16
2.5.3.	Είδη πολυεστερικών ρητινών.....	17
2.5.4.	Ενδεικτικός πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	20
2.5.5.	Μέτρα προφύλαξης και αποθήκευση.....	20
2.5.6.	Οδηγός χρήσης σε βήματα και γενικές πληροφορίες.....	21
2.6.	Πολυεστερικά χρώματα (<i>Gel coat</i>).....	23
2.6.1.	Είδη πολυεστερικών χρωμάτων.....	23
2.6.2.	Οδηγός χρήσης και γενικές πληροφορίες.....	24
2.7.	Υαλοϋφάσματα (<i>Glass fiber</i>)	25
2.7.1.	Ίνες γυαλιού	26
2.7.2.	Είδη υαλοϋφασμάτων.....	27
3.	Πορεία κατασκευής.....	32
3.1.	Κατασκευή ξύλινου μοντέλου (Πρωτότυπο).....	32
3.1.1.	Εξαγωγή και αποτύπωση διαμήκους μορφής	33
3.1.2.	Εξαγωγή και αποτύπωση νομέων	33
3.1.3.	Κοπή και διαμόρφωση δομικών στοιχείων	36
3.1.4.	Συναρμολόγηση.....	39
3.1.5.	Εξωτερικό περίβλημα.....	40
3.1.6.	Ομαλοποίηση εξωτερικής επιφάνειας.....	44
3.1.7.	Βαφή και τελικό φινίρισμα.....	47
3.2.	Κατασκευή πολυεστερικού καλουπιού (Μήτρα).....	52

3.2.1.	Προετοιμασία επιφάνειας	53
3.2.2.	Τοποθέτηση πολυεστερικής ρητίνης και υαλοϋφασμάτων	55
3.2.3.	Διαδικασία αποκόλλησης-ξεκαλουπώματος	59
3.2.4.	Επιδιορθώσεις εσωτερικής επιφάνειας και εφαρμογή Gel Coat	65
3.2.5.	Παρατηρήσεις και σχόλια επί της διαδικασίας	72
3.3.	Κατασκευή πολυεστερικού μοντέλου.....	73
3.3.1.	Προεκτίμηση βάρους και επιλογή υλικών	73
3.3.2.	Κοπή υφασμάτων και προετοιμασία επιφάνειας.....	74
3.3.3.	Τοποθέτηση πολυεστερικής ρητίνης και υαλοϋφασμάτων	79
3.3.4.	Διαδικασία αποκόλλησης-ξεκαλουπώματος	82
3.3.5.	Επιδιορθώσεις και ομαλοποίηση της επιφάνειας.....	87
3.3.6.	Εξωτερική βαφή και τελικό φινίρισμα	90
3.3.7.	Παρατηρήσεις και σχόλια επί της διαδικασίας	98
4.	Προεκτίμηση αντίστασης	99
4.1.	Προεκτίμηση αντίστασης σκάφους πλήρους κλίμακας.....	99
4.1.1.	Εισαγωγή γεωμετρίας στο λογισμικό.....	99
4.1.2.	Προεκτίμηση αντίστασης	109
4.1.3.	Υπολογισμός κυματικού μοτίβου ελεύθερης επιφάνειας	117
4.2.	Προεκτίμηση αντίστασης μοντέλου.....	130
4.2.1.	Υπολογισμός κυματικού μοτίβου ελεύθερης επιφάνειας μοντέλου	134
4.3.	Παρατηρήσεις- σχόλια επί της διαδικασίας	147
5.	Συμπεράσματα	149
6.	Προτάσεις.....	150
6.1.1.	Προτάσεις βελτιστοποίησης της διαδικασίας.....	150
6.1.2.	Αξιοποίηση και περαιτέρω εξέλιξη του υπάρχοντος μοντέλου.....	151
7.	Βιβλιογραφία.....	152
7.1.	Έντυπη	152
7.2.	Διαδικτυακή	154

Κατάλογος εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.2-1: ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΡΧΑΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΡΙΗΡΟΥΣ.	2
ΕΙΚΟΝΑ 1.2-2: ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΛΟΙΟΥ ΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΝΤΑΦΙΑΣΜΟΥ. ΑΡΧΑΙΑ ΑΙΓΥΠΤΟΣ, 2000 Π.Χ.	3
ΕΙΚΟΝΑ 1.2-3: ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ «SWAN» ΠΑΝΩ ΚΑΙ «RAVEN» ΚΑΤΩ.....	5
ΕΙΚΟΝΑ 1.2-4: EXPERIMENTAL MODEL BASIN CONSTRUCTION, WASHINGTON NAVY YARD, 1897.	6
ΕΙΚΟΝΑ 1.2-5: EXPERIMENTAL MODEL BASIN OPERATION, WASHINGTON NAVY YARD, 1917.....	7
ΕΙΚΟΝΑ 2.4-1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΟΚΚΩΝ ΑΝΑ ΜΜ ² ΚΑΙ ΟΜΑΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 2.7-1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΟΥ YOUNG- ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.7-2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ- ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.7-3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ- ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.7-4: ΕΙΔΗ ΠΛΕΞΗΣ ΥΑΛΟΥΨΑΣΜΑΤΩΝ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-1: SHEER PLAN.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-2: BODY PLAN.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-3: BODY PLAN, AFT FRAMES.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-4: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΕΝΩΣΗΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ CENTER LINE.	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-5: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΝΩΣΗΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ CENTER LINE.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-6: ΠΡΙΟΝΟΚΟΡΔΕΛΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΩΝ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΞΕΩΝ.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-7: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΝΟΜΕΩΝ.	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-8: ΝΟΜΕΙΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ.	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-9: ΣΧΕΔΙΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΓΚΟΠΩΝ ΣΤΗΝ CENTERLINE.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-10: ΣΧΕΔΙΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΓΚΟΠΗΣ ΝΟΜΕΑ.	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-11: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΓΚΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΕΙΣ.	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-12: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΟΠΩΝ ΣΤΗ CENTERLINE ΜΕ ΛΕΙΑΝΤΗΡΑ.	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-13: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΝΟΜΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΣΩ ΣΦΗΝΩΝ.	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-14: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΤΟΥΣ.	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-15: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΝΙΔΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (1/2).....	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-16: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΝΙΔΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (2/2).	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-17: ΕΛΑΣΤΙΚΟΙ ΙΜΑΝΤΕΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-18: ΣΥΝΟΛΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΣΑΝΙΔΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-19: ΣΦΗΝΟΕΙΔΗ ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΑΝΙΔΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-20: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ, STARBOARD ΠΛΩΡΗ ΕΩΣ ΜΕΣΗ ΤΟΜΗ.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-21: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ, STARBOARD ΜΕΣΗ ΤΟΜΗ ΕΩΣ ΠΥΡΜΝΗ.	44
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-22: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ, ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΜΕ ΑΚΡΥΛΙΚΟ ΣΤΟΚΟ.	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-23: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-24: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-25: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΙΤΡΟΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ.	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-26: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΦΗΣ ΜΑΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-27: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΒΑΦΗΣ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-28: ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΡΩΜΑ ΒΑΦΗΣ, MAGENTA.	49
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-29: ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-30: ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-31: ΤΡΙΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΒΑΦΗΣ, BLACK.	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-32: ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΤΡΙΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-33: ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΤΡΙΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-34: ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΞΥΛΙΝΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ.	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-1: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-2: ΤΟ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.	55

ΕΙΚΟΝΑ 3.2-3: ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ.	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ ΚΑΙ ΥΑΛΟΥΨΑΣΜΑΤΩΝ.	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-5: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ, ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ.	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-6: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ, ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΡΥΜΝΗΣ.	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-7: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ, ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΛΩΡΗΣ.	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-8: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-9: ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΧΑΡΑΞΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.	60
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-10: ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ.	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-11: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ.	61
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-12: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΚΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΛΑΜΑΣ.	62
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-13: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΦΗΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ.	62
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-14: ΕΓΧΥΣΕΙΣ ΑΚΕΤΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ.	63
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-15: ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ (1/2).	64
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-16: ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ (2/2).	64
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-17: ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (1/2).	65
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-18: ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (2/2).	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-19: ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.	66
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-20: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΟΥ ΣΤΟΚΟΥ.	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-21: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΟΥ ΣΤΟΚΟΥ ΚΑΙ ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.	67
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-22: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ GEL COAT.	68
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-23: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΤΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ GEL COAT.	69
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-24: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ GEL COAT.	69
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-25: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΙΤΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ GEL COAT.	70
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-26: ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΥΑΛΟΧΑΡΤΑ P600 ΚΑΙ P800.	70
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-27: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΑΝΣΗΣ ΜΕ ΥΑΛΟΧΑΡΤΑ ΝΕΡΟΥ.	71
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-28: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ.	71
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-29: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΟΙΦΗΣ ΓΥΑΛΙΣΜΑΤΟΣ.	72
ΕΙΚΟΝΑ 3.2-30: ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ.	72
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-1: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ.	75
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ.	75
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ.	76
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-4: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΤΟΜΕΑ Β.	76
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-5: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΟΡΙΟΘΕΤΗΜΕΝΟΥ ΤΟΜΕΑ Β.	77
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-6: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΜΕΑ Α ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΠΑΤΡΟΝ.	77
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-7: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ ΤΟΜΕΑ Α.	78
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-8: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΜΕΑ 2.	78
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-9: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ ΤΟΜΕΑ 2.	78
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-10: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΟΚΟΛΛΗΤΙΚΟ ΚΕΡΙ.	79
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-11: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-12: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ ΑΡΑΧΝΗΣ.	80
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-13: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΟΜΕΩΝ Α ΚΑΙ Β ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ WR300.	81
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-14: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΟΜΕΩΝ 1 ΚΑΙ 2 ΤΟΥ ΥΑΛΟΠΛΗΜΑΤΟΣ MAT450.	81
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-15: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ WR300 ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.	82
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-16: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΨΑΛΙΔΙΟΥ.	82
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-17: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΟΛΥΕΡΓΑΛΕΙΟ.	83
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-18: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΦΗΝΩΝ.	83
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-19: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ.	84
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-20: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ (1/2).	84
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-21: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ (2/2).	85
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-22: ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΚΜΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.	85
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-23: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΛΩΡΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ.	86
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-24: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ.	86
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-25: ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΠΛΩΡΗΣ.	87

ΕΙΚΟΝΑ 3.3-26: ΑΡΧΙΚΗ ΑΠΟΞΕΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΥΑΛΟΧΑΡΤΟ P180.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-27: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΞΕΣΗΣ GEL COAT.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-28: ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΦΙΝΟ ΣΙΔΗΡΟΣΤΟΚΟ.....	89
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-29: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	89
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-30: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΙΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΒΑΦΗΣ.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-31: ΤΡΙΒΗ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-32: ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ ΒΑΦΗΣ.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-33: ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ GEL COAT ΜΕ ΓΟΥΝΙΝΟ ΡΟΛΟ.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-34: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΦΗΣ.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-35: ΒΑΦΗ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-36: ΑΡΧΙΚΗ ΦΑΣΗ ΛΕΙΑΝΣΗΣ (1/3).....	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-37: ΑΡΧΙΚΗ ΦΑΣΗ ΛΕΙΑΝΣΗΣ (2/3).....	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-38: ΑΡΧΙΚΗ ΦΑΣΗ ΛΕΙΑΝΣΗΣ (3/3).....	94
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-39: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-40: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΡΙΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-41: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-42: ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-43: ΠΥΘΜΕΝΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-44: ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-1: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ ΓΙΑ TRIMMED SURFACES.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-2: ΣΧΕΔΙΟ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-3: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΠΡΥΜΝΗΣ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-4: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΠΡΥΜΝΗΣ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-5: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (1/2).....	103
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-6: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (2/2).....	103
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-7: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	104
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-8: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΠΛΩΡΗΣ.....	104
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-9: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΠΛΩΡΗΣ.....	105
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΑΠΟ RHINOCEROS.....	105
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-3: IGES IMPORT PARAMETERS.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-4: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MAXSURF MODELER ΜΕ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ.....	107
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-5: FULL SCALE MODEL RENDERED (1/2).....	107
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-6: FULL SCALE MODEL RENDERED (2/2).....	108
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-7: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	108
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-8: ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	111
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DELFT (1/2).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DELFT (2/2).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-11: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	113
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-12: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΙΣΧΥΟΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	113
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-13: SLENDER BODY METHOD.....	115
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-14: SLENDER BODY RESULTS (1/2).....	115
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-15: SLENDER BODY RESULTS (2/2).....	116
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-16: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	116
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-17: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΙΣΧΥΟΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-18: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-19: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=5KN (1/2).....	119
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-20: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=5KN (2/2).....	120
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-21: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=5KN.....	120
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-22: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ V=5KN.....	120
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-23: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=6KN (1/2).....	121
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-24: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=6KN (2/2).....	121
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-25: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V=6KN.....	122
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-26: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ V=6KN.....	122

ΕΙΚΟΝΑ 4.1-27: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=7\text{KN}$ (1/2).	123
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-28: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=7\text{KN}$ (2/2).	123
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-29: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=7\text{KN}$.	123
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-30: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ $V=7\text{KN}$.	124
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-31: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=8\text{KN}$ (1/2).	124
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-32: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=8\text{KN}$ (2/2).	125
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-33: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=8\text{KN}$.	125
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-34: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ $V=8\text{KN}$.	126
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-35: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=9\text{KN}$ (1/2).	126
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-36: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=9\text{KN}$ (2/2).	127
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-37: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=9\text{KN}$.	127
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-38: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ $V=9\text{KN}$.	128
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-39: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=10\text{KN}$ (1/2).	128
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-40: FREE SURFACE ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=10\text{KN}$ (2/2).	129
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-41: FREE SURFACE CONTOURED ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ $V=10\text{KN}$.	129
ΕΙΚΟΝΑ 4.1-42: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ $V=10\text{KN}$.	130
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.	131
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DELFT ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (1/2).	131
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DELFT ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (2/2).	132
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-4: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.	132
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SLENDER BODY ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟ(1/2).	133
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SLENDER BODY ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟ(2/2).	133
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-7:ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.	134
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-8: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.306$ (1/2).	134
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-9: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.306$ (2/2).	135
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-10: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.306$ CONTOURED.	135
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-11: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.306$.	136
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-12: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.367$ (1/2).	136
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-13: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.367$ (2/2).	137
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-14: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.367$ CONTOURED.	137
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-15: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.367$.	138
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-16: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.429$ (1/2).	138
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-17: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.429$ (2/2).	139
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-18: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.429$ CONTOURED.	139
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-19: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.429$.	140
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-20: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.49$ (1/2).	140
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-21: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.49$ (2/2).	141
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-22: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.49$ CONTOURED.	141
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-23: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.49$.	142
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-24: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.551$ (1/2).	142
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-25: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.551$ (2/2).	143
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-26: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.551$ CONTOURED.	143
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-27: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.551$.	144
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-28: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.612$ (1/2).	144
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-29: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.612$ (2/2).	145
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-30: MODEL FREESURFACE ΓΙΑ $F_N=0.612$ CONTOURED.	145
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-31: ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ $F_N=0.612$.	146

Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2-1: ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΤΡΟΠΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΤΤΣ ΑΠΟ ΤΟ 1948 ΕΩΣ ΤΟ 1993.	8
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2-2: ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΤΡΟΠΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΤΤΣ ΑΠΟ ΤΟ 1996 ΕΩΣ ΤΟ 2014.	9
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2-3: ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΤΡΟΠΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΤΤΣ ΑΠΟ ΤΟ 2014 ΕΩΣ ΤΟ ΕΠΕΡΧΟΜΕΝΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ (30 ^Η) ΣΥΝΕΔΡΙΟ.	10
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5-1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΡΗΤΙΝΩΝ.	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5-2: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ.	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6-1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΩΝ ΒΑΦΩΝ.....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7-1: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΥΑΛΙΟΥ.	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7-2: ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΑΛΟΨΦΑΣΜΑΤΩΝ MAT.	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7-3: ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΑΛΟΨΦΑΣΜΑΤΩΝ WOVEN ROVING.	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1-1: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MAXSURF.....	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1-2: ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RHINOCEROS.	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1-3: DELFT PARAMETER CHECK.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1-4: ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΤΙΒΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3-1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ-ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΑΦΟΣ.	147
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3-2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ-ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.	148

Φωτογραφία εξωφύλλου: Φωτορεαλιστική άποψη της κατασκευής

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

1. Εισαγωγή

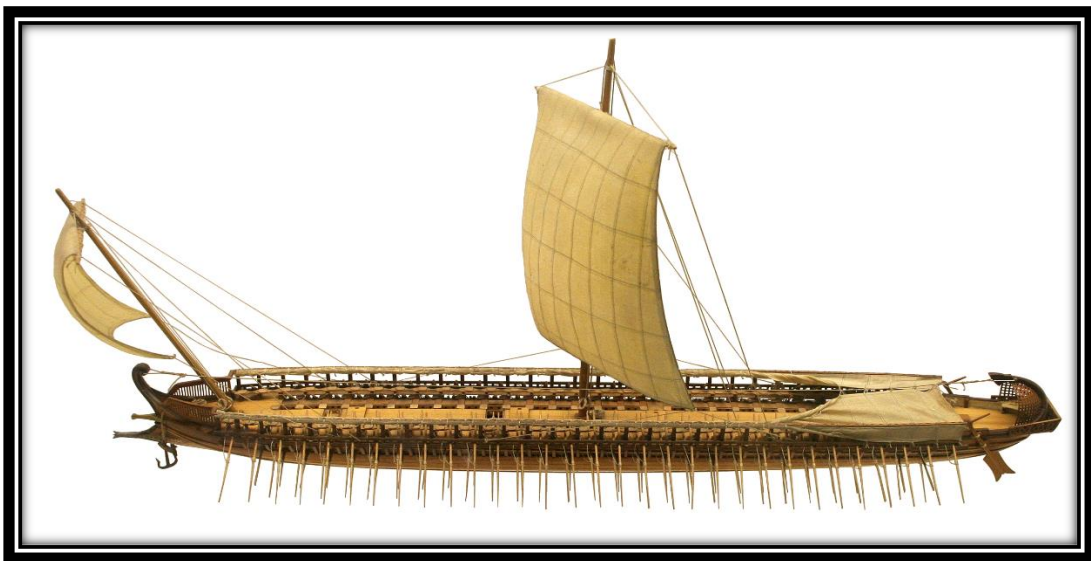
1.1. Πρόλογος

Η εξέλιξη της επιστήμης, βασίστηκε ανά τους αιώνες στη γενική μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος για την επίλυση τόσο εφαρμοσμένων όσο και θεωρητικών προβλημάτων. Η μέθοδος όμως ονοματίστηκε από τον *C. Lloyd Morgan*, χρησιμοποιήθηκε από τον *Thomas Edison* και περιεγράφηκε πειραματικά από τον *Edward Thorndike*, μόλις στα τέλη του 19ου αιώνα. Η ναυπηγική επιστήμη και τα πεδία στα οποία δραστηριοποιείται δεν αποτέλεσαν εξαίρεση, η μοντελοποίηση των προβλημάτων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό-κατασκευαστικό επίπεδο, αποτελεί μονόδρομο για την άρτια και κατά το δυνατό βέλτιστη επίλυση αυτών.

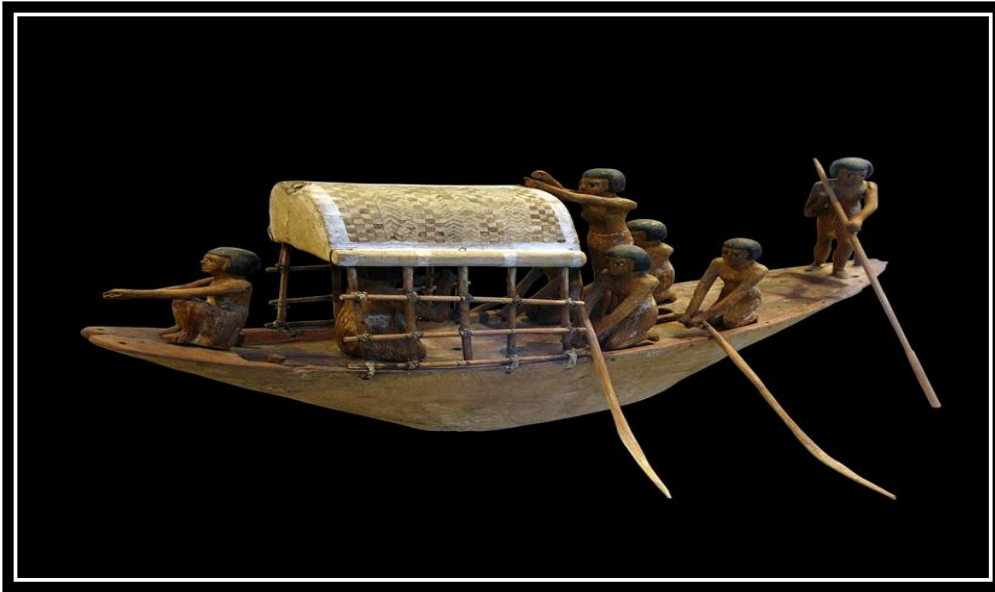
Πιο συγκεκριμένα, η κατασκευή υλικών μοντέλων επέτρεψε τον υπολογισμό παράγωγων μεγεθών (δυνάμεις, πιέσεις, ταχύτητες) της ροής πάνω σε μια εμβαπτιζόμενη επιφάνεια. Η κατασκευή όμως των μοντέλων απαιτεί χρόνο και πόρους. Κατά συνέπεια προέκυψε η ανάγκη για εξομοίωση της πειραματικής διαδικασίας σε ένα προγραμματιστικό περιβάλλον εισάγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους. Ο τομέας αυτός ονομάστηκε υπολογιστική ρευστοδυναμική και με την εξέλιξη της υπολογιστικής ισχύος των Η/Υ γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη από τις αρχές του 1990 που συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Παρόλα αυτά, η παραμετροποίηση ενός προγράμματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων συνδέεται άρρηκτα με αυτή, ενώ επιπρόσθετα η μοντελοποίηση σε τρεις διαστάσεις ενός χρονικά μεταβαλλόμενου προβλήματος, απαιτεί σημαντικό αριθμό υπολογιστικών πόρων. Συνεπώς, η κατασκευή μοντέλων για πειραματικές διαδικασίες όχι μόνο δεν εγκαταλείφθηκε, αλλά αποτελεί πάγια διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων τόσο από μόνη της, όσο και συνδυαστικά με όποια άλλη υπολογιστική μέθοδο.

1.2. Ιστορική Αναδρομή

Η εκτενής ιστορική ανάλυση με τις τεχνικές συνιστώσες όλων των εφαρμογών που καθόρισαν την εξέλιξη της κατασκευής μοντέλων πλοίων δύναται να αποτελέσει μια αυτόνομη εργασία, καθώς το πλοίο αποτελούσε την επιτομή της τεχνολογίας, εξυπηρετώντας εμπορικούς, αμυντικούς και επεκτατικούς σκοπούς ως μέσω διασύνδεσης των ανθρώπων, από τα πρώτα χρόνια εξέλιξης της ανθρωπότητας ως και τις απαρχές του 20^{ου} αιώνα, με την ανάπτυξη των πρώτων πτητικών μηχανών. Τα πρώτα μοντέλα πλοίων κατασκευάστηκαν από πολιτισμούς όπως ο ελληνικός, ο φοινικικός και ο αιγυπτιακός στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου. Η δημιουργία τους εξυπηρετούσε κατά κύριο λόγο σκοπούς τέχνης, παιδικών παιχνιδιών, συμβόλων κύρους και στοιχείων ενταφιασμού και όχι μελέτη φυσικών φαινομένων για την εξέλιξη των πλωτών μέσων, ενώ τα υλικά κατασκευής τους (ξύλο, πηλός, πέτρα) ποικίλουν αναλόγως της χρήσης τους και των διαθέσιμων φυσικών πόρων του εκάστοτε πολιτισμού. (Wikipedia Contributors, 2021)



Εικόνα 1.2-1: Μοντέλο αρχαίας ελληνικής τριήρους.
Πηγή: (Deutsches Museum, Μόναχο, Γερμανία)



Εικόνα 1.2-2: Μοντέλο πλοίου ως στοιχείο ενταφιασμού. Αρχαία Αίγυπτος, 2000 π.Χ.
Πηγή: (Rama, wikimedia.org)

1.2.1. Πρώιμη μοντελοποίηση και διεξαγωγή πειραμάτων

Παρά την κατασκευή μοντέλων πλοίων ανά τους αιώνες, μόλις στις απαρχές του 18^{ου} αιώνα εμφανίστηκαν τα πρώτα μοντέλα με συμβολή στη ναυτιλία. Πιο συγκεκριμένα, το Αγγλικό ναυαρχείο υιοθέτησε την κατασκευή μοντέλων ως μέσο παρουσίασης του τελικού πλοίου υπό κλίμακα, χωρίς τεχνικές λεπτομέρειες (νομείς, είδος ξυλείας, ενισχυτικά) παρά μόνο τη γενική μορφή του. Στα μέσα όμως του αιώνα και ειδικότερα το 1754 με την ίδρυση της Βασιλικής εταιρίας τεχνών *RSA (Royal Society of Arts)*, εκκινεί μια διαδικασία δοκιμών σειράς μοντέλων, με σκοπό την επιλογή του βέλτιστου προς κατασκευή πλήρους κλίμακας σκάφους και στόχο τη συνολική βελτίωση της πλεύσης των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Ενώ το αρχικό κριτήριο ήταν η ελαχιστοποίηση της αντίστασης, οι δοκιμές επεκτάθηκαν και σε άλλα πεδία όπως η ευστάθεια, η άντωση, η διαγωγή και στοιχεία ιστιοπλοΐας. Περίπου μια δεκαετία αργότερα, ο *William Bailey*, βασιζόμενος στο μηχανολογικό σύνολο του *John Smeaton* για μελέτες υδροτροχών, εφαρμόζει, μέσω χειροκίνητης αντλίας, ανακυκλούμενη ροή σταθερής ταχύτητας προσπίπτουσα σε εμβαπτιζόμενο μέσο.

Το έργο αυτό, εξαιρετικά καινοτόμο για την εποχή του, αποτέλεσε τον ακρογωνιαίο λίθο για τα σύγχρονα πειράματα σε δεξαμενές καθώς επέτρεψε για πρώτη φορά την

παρατήρηση υπό κλίμακα της συμπεριφοράς ενός σκάφους σε ανοιχτά νερά (το μήκος της σύμφωνα με αναφορές έφτανε τα 100 μέτρα) και σε διάφορες καταστάσεις θάλασσας. (Harley, 1994)

1.2.2. Από τα πρώιμα πειράματα, στον *William Froude*

Η εξέλιξη του επιστημονικού αυτού πεδίου συνεχίστηκε με μεγάλους επιστήμονες όπως ο Άγγλος ναυπηγός *Fredrick Henrick Chapman*, που μετά τη δημοσίευση του θεμελιώδους έργου του «*Architettura Navalis Mercatoria*» συνέχισε να πειραματίζεται σε πρώιμους τύπους δεξαμενών αφήνοντας πίσω του μια σειρά σχεδίων γαστρών χωρίς όμως θεωρητικά συμπεράσματα. Στη συνέχεια, ο *Scott Russel* χρησιμοποιώντας μικρές πολύχρωμες σφαίρες μέσα στο νερό απέδειξε πως το πέρασμα ενός λεπτόγραμμου σώματος μέσα από αυτό, δημιουργεί μικρότερες δίνες και ομαλότερη ροή γύρω του (τα σφαιρίδια είχαν την τάση να προσκολλώνται στην επιφάνεια της γάστρας) σε αντίθεση με ένα πιο ογκώδες σώμα με αμβλείς γραμμές ροής. Επιπρόσθετα, ο Σκώτος *W. Macquoron* το 1865 πειραματιζόμενος με την αντίσταση της κίνησης ενός ρευστού μέσα από αγωγούς κυκλικής διατομής, έθεσε τις βάσεις για την έννοια της αντίστασης τριβής.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως παρά τις επιμέρους προσπάθειες και εξελίξεις στον τομέα της υδροδυναμικής δεν είχε επιτευχθεί η σύζευξη των αποτελεσμάτων των πειραμάτων υπό κλίμακα με το πραγματικό σκάφος, που θα απέδιδε το ζητούμενο αποτέλεσμα, δηλαδή, την εκτίμηση της συμπεριφοράς μιας γάστρας ως προς την αντίσταση και την ευστάθεια πριν αυτή κατασκευαστεί. Το κενό αυτό γεφύρωσε με μεγάλη επιτυχία ο Βρετανός μηχανικός *William Froude* ο οποίος εκλέχθηκε από τη Βρετανική ένωση το 1860 με αποστολή τη μελέτη της απόδοσης των ατμόπλοιων της εποχής, καθώς μέχρι τότε δεν υπήρχε τρόπος εκτίμησης της ισχύος για κίνηση ενός πλοίου με συγκεκριμένη ταχύτητα. Κατασκεύασε δύο τύπους γαστρών, μία λεπτόγραμμη που ονόμασε «*Raven*» (μτφ. «*Κοράκι*») και μια με πιο αμβλείς γραμμές ροής που ονόμασε «*Swan*» (μτφ. «*Κύκνος*»). Τα δύο μοντέλα, κατασκευάστηκαν σε μήκη ενός, δύο και τεσσάρων μέτρων το κάθε ένα και κατά τις δοκιμές παρατηρήθηκε οπτικά, πως όταν η ταχύτητα τους ήταν ανάλογη του τετραγώνου του μήκους τους, τότε το κάθε μοντέλο παρήγαγε πανομοιότυπα κυματικά μοτίβα.



*Εικόνα 1.2-3: Τα μοντέλα «Swan» πάνω και «Raven» κάτω.
Πηγή: (William M. Connolley, English Wikipedia)*

Η παρατήρηση του αυτή τον ώθησε να αιτηθεί από το Αγγλικό Ναυαρχείο την κατασκευή μίας δεξαμενής πειραμάτων με μήκος 90, πλάτος 11 και βάθος 3 μέτρα η οποία, με την ολοκλήρωση της περί το 1871, αποτέλεσε την πρώτη, επισήμως, δεξαμενή πειραμάτων μοντέλων πλοίων στον κόσμο. Μέχρι το 1874 ο *William Froude*, βρήκε τη μέθοδο συσχέτισης μεταξύ του πραγματικού πλοίου και του μοντέλου, που κατ' επέκταση συσχέτιζε την αντίσταση των δύο, τελειοποίησε το νόμο της γεωμετρικής ομοιότητας και διατύπωσε τον αδιάστατο αριθμό *Froude*, με το έργο του να αποτελεί ορόσημο για την Ναυπηγική επιστήμη μέχρι και σήμερα.

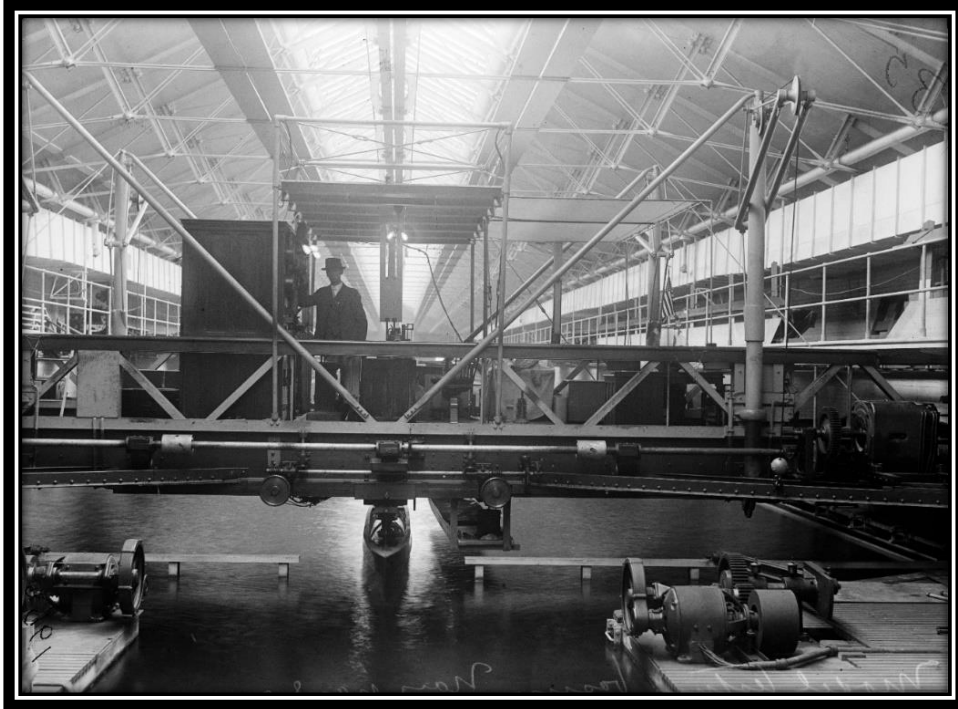
(https://www.gracesguide.co.uk/William_Froude)

1.2.3. ΙΤΤC, από τον 20^ο αιώνα μέχρι σήμερα

Το τέλος του 19^{ου} αιώνα βρίσκει τη ναυπηγική επιστήμη σε αναβρασμό. Η παραγωγή γνώσης από πειραματικές μεθόδους με κόστος σημαντικά μικρότερο της εμπειρικά προερχόμενης γνώσης από πλοία πλήρους κλίμακας, οδήγησε τόσο στην εξέλιξη του θεωρητικού υποβάθρου της ρευστομηχανικής και των εφαρμογών της όσο και σε αυτή καθ' εαυτή κατασκευαστική άνθιση δεξαμενών ρυμούλκησης. Ήδη από το 1883 το ναυπηγείο *William Denny and Brothers* ολοκλήρωσε την πρώτη, παγκοσμίως, εμπορική δεξαμενή διεξαγωγής πειραμάτων ενώ στην Ουάσιγκτον των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής ο πλωτάρχης *David W. Taylor* περί το 1899 σχεδίασε και υλοποίησε για το πολεμικό ναυτικό δεξαμενή με μήκος 143, πλάτος 12,8 και βάθος 5 μέτρα, η χωρητικότητά της οποίας έφτανε τα 3.785.411 λίτρα γλυκού νερού. Το έργο του *Taylor* έμελλε να αποτελέσει την επιτομή των πειραματικών δεξαμενών μέχρι και το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου το 1918. (*National Museum of the U.S. Navy*)



Εικόνα 1.2-4: *Experimental Model Basin construction, Washington Navy Yard, 1897.*
Πηγή: (*National Museum of the U.S. Navy, n.d.*)



Εικόνα 1.2-5: *Experimental Model Basin operation, Washington Navy Yard, 1917.*
Πηγή: (National Museum of the U.S. Navy, n.d.)

1.2.3.1. Θεσμική εξέλιξη του ΙΤΤC

Λίγο πριν τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και πιο συγκεκριμένα το 1932 στο Αμβούργο, έλαβε χώρα το διεθνές συνέδριο υδρομηχανικής με την απόφαση της τακτικής επανάληψης των συνεδρίων υπό την ονομασία «*The International Conference of Ship Tank Superintendents* (Διεθνές Συνέδριο Επιθεωρητών Πειραματικών Δεξαμενών Πλοίων)» να αποτελεί μία εκ των εκβάσεων αυτού. Η αρχική ιδέα ήταν η βελτιστοποίηση όλων των πτυχών της κατασκευής πειραματικών μοντέλων και η κοινώς αποδεκτή στοιχειοθέτηση των βασικών διαδικασιών και των μεθόδων παρουσίασης αποτελεσμάτων προς δημοσίευση. Το πρώτο «Συνέδριο Επιθεωρητών Δεξαμενών Πλοίων» πραγματοποιήθηκε στη Χάγη το 1933, το δεύτερο έγινε στο Λονδίνο το 1934, το τρίτο στο Παρίσι το 1935 και το τελευταίο, πριν από το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, το 1937 στο Βερολίνο. Έπειτα από τη λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ο θεσμός συνεχίστηκε, με την πέμπτη διάσκεψη να πραγματοποιείται στο Λονδίνο το 1948, όπου πάρθηκαν δύο σημαντικές θεσμικές αποφάσεις. Η πρώτη ήταν ο ορισμός μίας «Μόνιμης Επιτροπής» για την εξασφάλιση της περιοδικότητας των συνεδρίων και η δεύτερη όριζε τον πρόεδρο του συνεδρίου ως τον εκάστοτε εκπρόσωπο της

διοργανώτριας χώρας. Οι διασκέψεις της Ουάσιγκτον (1951) και του Όσλο (1954), εδραίωσαν το χρόνο μεταξύ των συνεδρίων στα τρία έτη και κατέληξαν στην ονομασία «*International Towing Tank Conference* (Διεθνής Διάσκεψη Δεξαμενών Ρυμούλκησης)» όπου παραμένει (ευρέως γνωστή με το αρκτικόλεξο *I.T.T.C.*) μέχρι και σήμερα. (ITTC n.d., <https://eclass.uniwa.gr/modules/link/?course=NA191>)

1.2.3.2. Συγκεντρωτικός πίνακας εξέλιξης τεχνικών επιτροπών

Από την πρώτη διάσκεψη το 1933 μέχρι και την πέμπτη το 1948 οι τεχνικές συνεδρίες περιορίζονταν σε παρουσιάσεις εργασιών και δημοσιεύσεων από μεμονωμένους αντιπροσώπους. Η πρώτη αναφορά των τεχνικών επιτροπών περιλαμβάνεται στις προτάσεις της πέμπτης διάσκεψης, όπου συγκροτήθηκαν με σκοπό την αντιμετώπιση της σπηλαιώσης στην προπέλα και της τριβής του κελύφους του πλοίου (αργότερα μετονομάστηκε σε αντίσταση).

Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 1948 έως το 1993										
Έτος δημιουργίας * Δεν γίνεται αναφορά στα έτη που δεν πραγματοποιήθηκαν αλλαγές.	1948	1954	1960	1963	1978	1981	1984	1987	1990	1993
Τεχνικές επιτροπές										
Προπέλα-Έλικα	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Σπηλαιώση	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Αντίσταση	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Αξιοπλοΐα		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Παρουσίαση*		x	x	x	x	x				
Ελικτικές ικανότητες			x	x	x	x	x	x	x	x
				x	x	x	x	x	x	x
Ωκεάνια Μηχανική-Ναυπηγική				x	x	x	x	x	x	x
Πάγος				x	x	x	x	x	x	x
Ταχύπλοα					x	x	x	x	x	x
Υδροστρόβιλοι										x
Ομάδες										
*Ορολογία και συμβολισμοί							x	x	x	x
Γραμματεία								x		
Ποιοτικός έλεγχος									x	x
*Η ονομασία άλλαξε από Παρουσίαση σε Πληροφορίες το 1975 και σε Ορολογία και Συμβολισμοί το 1987, επίσης άλλαξε από τεχνική επιτροπή σε ομάδα το 1984.										
Σύνολο Επιτροπών και Ομάδων	3	5	6	7	9	10	10	11	11	12

Πίνακας 1.2-1: Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 1948 έως το 1993.
Πηγή: (ITTC, n.d.)



Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 1996 έως το 2014							
Έτος δημιουργίας	1996	1999	2002	2005	2008	2011	2014
Γενικές Επιτροπές							
Αντίσταση	x	x	x	x	x	x	x
Πρόωση	x	x	x	x	x	x	x
Ποιότητα πλεύσης (<i>seakeeping</i>)			x	x	x	x	x
Ελικτικές ικανότητες	x	x	x	x	x	x	x
Ωκεάνια Μηχανική-Ναυπηγική			x	x	x	x	x
Δυναμική Ευστάθεια σε κυματισμούς						x	x
Φορτίσεις και ανταπόκριση σε αυτές, πλοίων και πλωτών κατασκευών (αέρας, κυματισμοί, ρεύματα)	x	x					
				x	x	x	x
Ειδικές Επιτροπές							
Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας							x
Υδροδυναμική μοντελοποίηση ναυπηγικών συσκευών ανάκτησης ενέργειας (Α.Π.Ε.)						x	x
Μοντελοποίηση περιβαλλοντικών συνθηκών	x						x
Πλοία σε υπηρεσία (παράγοντες που επηρεάζουν τον δείκτη <i>E.E.D.I</i> του IMO)						x	x
Υδροδυναμικός θόρυβος						x	x
Πάγος	x	x	x	x		x	x
Υπολογιστική ρευστομηχανική στη θαλάσσια υδροδυναμική					x	x	
Τεχνικές λεπτομερούς μέτρησης ροής					x	x	
Ταχύπλοα					x		
Κλιμακοποίηση πεδίου ροής του ομόρρου					x		
Επεξεργασία επιφάνειας (<i>surface treatment</i>)					x		
Ανάλυση αβεβαιότητας				x	x		
Λογήσεις λόγω αλληλεπίδρασης δινών (<i>V.I.V</i>)				x	x		
Ευστάθεια σε κυματισμούς/ Ανατροπή	x	x	x	x	x		
Πεδίο ροής ομόρρου				x			
Σηπλάωση				x			
Ελικοπηδάλια			x	x			
Προεκτίμηση ισχύος πρόωσης/ ταχύτητας			x	x			
Εκτίμηση θεμάτων θαλάσσιας ρύπανσης			x				
Σηπλάωση ελίκων και εξαρτημάτων σε πλοία υψηλής ταχύτητας		x	x				
Επικύρωση διαδικασιών για προεκτίμηση πρόωσης με υδροστροβίλους	x	x	x				
Διαδικασίες για αντίσταση, πρόωση και έλκα σε δοκιμές ανοιχτής θαλάσσης		x					
Χαρακτηριστικά ύδατος (ποιότητα νερού) και σηπλάωση		x					
Κυματισμοί		x					
Στατικά πλωτά συστήματα		x					
Ανάλυση πλοίου "Esso Osaka "		x					
Πιέσεις που προκαλούνται από σηπλάωση	x	x					
Δοκιμές και καταγραφή παρατηρήσεων/Δοκιμές ισχύος πρόωσης και ταχύτητας	x	x					
Μη συμβατικά μέσα πρόωσης	x						
Υπολογιστικές μέθοδοι εκτίμησης σηπλάωσης έλκας	x						
Αγκύρωση σε βαθιά νερά	x						
Ασφάλεια ταχυπλόων σκαφών	x						
Δοκιμές μοντέλων ταχυπλόων	x						
Ομάδες							
*Ορολογία και συμβολισμοί	x						
Ποιοτικός έλεγχος	x	x	x	x	x	x	x
Σύνολο Γενικών επιτροπών	4	4	5	5	5	6	6
Σύνολο Ειδικών επιτροπών	11	9	7	8	8	6	6
Σύνολο Ομάδων	2	1	1	1	1	1	1
Σύνολο Επιτροπών και Ομάδων	17	14	13	14	14	13	13

Πίνακας 1.2-2: Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 1996 έως το 2014.
Πηγή: (ITTC, n.d.)

Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 2014 έως το επερχόμενο τριακοστό (30th) συνέδριο			
Έτος δημιουργίας	2017	2021	Έπεται
Γενικές Επιτροπές			
Αντίσταση	x	x	
Πρόωση	x	x	
Ποιότητα πλεύσης (<i>seakeeping</i>)	x	x	x
Ελικτικές ικανότητες	x		x
Ωκεάνια Μηχανική-Ναυπηγική	x	x	x
Ευστάθεια σε κυματισμούς	x	x	x
Αντίσταση και πρόωση			x
Απόδοση πλοίων πλήρους κλίμακας			x
Ειδικές Επιτροπές			
Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας	x	x	
Υδροδυναμική μοντελοποίηση ναυπηγικών συσκευών ανάκτησης ενέργειας (Α.Π.Ε.)	x	x	
Μοντελοποίηση περιβαλλοντικών συνθηκών	x	x	
Απόδοση πλοίων σε υπηρεσία	x	x	
Υδροδυναμικός θόρυβος	x	x	
Πάγος	x	x	x
Συνδυαμός μεθόδων υπολογιστικής και πειραματικής υδροδυναμικής		x	x
Ελικτικές ικανότητες σε κυματισμούς		x	
Σηλαίωση και θόρυβος			x
Ωκεάνιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας			x
Πλοία με μέσο πρόωσης τον άνεμο			x
Ομάδες			
*Ορολογία και συμβολισμοί			
Ποιοτικός έλεγχος	x	x	x
Σύνολο <u>Γενικών επιτροπών</u>	6	5	6
Σύνολο <u>Ειδικών επιτροπών</u>	6	8	5
Σύνολο <u>Ομάδων</u>	1	1	1
Σύνολο <u>Επιτροπών και Ομάδων</u>	13	15	12

Πίνακας 1.2-3: Θεματολογία τεχνικών επιτροπών και ομάδων του ITTC από το 2014 έως το επερχόμενο τριακοστό (30th) συνέδριο.

Πηγές: (Appendix 3 Tasks and structure of the 28th ITTC technical committees and groups, The Executive Committee Final Report of the 28th ITTC, Tasks and structure of the 30th ITTC technical committees and groups, n.d.)

2. Κατασκευαστικό υπόβαθρο

Το δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας έχει ως στόχο τη σύνδεση του κατασκευαστικού μέρους με το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο δημιουργήθηκε. Αρχικά γίνεται μια γενική αναφορά στα πολυμερή, τα σύνθετα υλικά και τον τρόπο δημιουργίας τους. Στη συνέχεια, γίνεται παρουσίαση της πολυεστερικής ρητίνης ως μήτρας των σύνθετων υλικών *GRP (Glass Reinforced Plastic)* ή *FRP (Fiber Reinforced Plastic)*. Τέλος παρατίθενται τα διαφορετικά ήδη ενίσχυσης, η πολυεστερική βαφή (*Gel coat*) και γενικές πληροφορίες ως προς τα μέτρα προφύλαξης και προστασίας, την ορθή χρήση και αποθήκευση των ανωτέρω υλικών.

2.1. Πολυμερή

Η σειριακή σύνδεση, πολλαπλών απλών μορίων, συντελεί στη σύνθεση μακρομορίων μεγάλης σχετικής μοριακής μάζας (M_r). Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται πολυμερή και χωρίζονται αρχικά δύο μεγάλες κατηγορίες, τα ανόργανα και τα οργανικά. Η κάθε μία με τη σειρά της χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες τα φυσικά και τα συνθετικά. Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας, οι αναφορές και αναλύσεις θα περιοριστούν στην υποκατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων, συνθετικών, οργανικών πολυμερών και πιο συγκεκριμένα στον πολυεστέρα που αποτελεί το βασικό υλικό για την κατασκευή μας. (http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/CI_Sintheta_ilika.pdf n.d.)

2.2. Σύνθετα υλικά

Σύνθετα ονομάζονται τα υλικά τεχνητής παρασκευής που αποτελούνται από περισσότερες της μίας φάσεις, διαφοροποιημένες ως προς τη μορφή και τη χημική σύσταση. Επεξηγηματικά, είναι ο συνδυασμός συστατικών διαφορετικών ιδιοτήτων, αδιάλυτα το ένα στο άλλο στην περιοχή μακροσκοπικών μεγεθών. Η συνεχής φάση καλείται «μήτρα» ενώ οι υπόλοιπες που τελούν υπό διασπορά εντός της συνεχούς, καλούνται «ενισχυτικές φάσεις». Το ουσιώδες πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών είναι η συνδυαστική εκμετάλλευση των θετικών (κατά κύριο λόγο) στοιχείων των υλικών που το απαρτίζουν. (Ιακωβίδης, 2018a)

2.3. Πολυμερισμός

Αποτελεί τη διαδικασία δημιουργίας του πολυμερούς, όπως αυτό περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 2.1. Ειδικότερα όμως για την πολυεστερική ρητίνη, περιγράφει τη μετάβαση αλλαγής φάσης από υγρό σε στερεό, πέραν της οποίας η επαναφορά στην αρχική της κατάσταση αδυνατεί να λάβει χώρα.

Για τον πολυμερισμό της ρητίνης, απαιτούνται αντιδρώντα ελευθέρων ριζών και πιο συγκεκριμένα, καταλύτης ο οποίος συνήθως είναι υπεροξειδίο του βενζολίου και επιταχυντής όπου αναφέρεται ως διάλυμα κοβαλτίου με περιεκτικότητα 6% (w/w ή % βάρος κατά βάρος). Ο καταλύτης δραστηριοποιείται από τον επιταχυντή και η εξώθερμη αντίδραση εκκινεί σε πρώτο χρόνο, δημιουργώντας γέφυρες ανάμεσα στις αλυσίδες μακρομορίων, με αποτέλεσμα τη σύνδεση των μορίων της ρητίνης. Η μορφή (διακλαδώσεις) και το μήκος των αλυσίδων, σχετίζονται άμεσα με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. (Ιακωβίδης, 2018b)

2.4. Υαλόχαρτα

Τα υαλόχαρτα, χαρακτηρίζονται ως λειαντικό μέσο που αποτελείται από μια επιφάνεια «βάση» στην οποία προσκολλώνται κόκκοι διαφόρων υλικών και διαμέτρων. Η βάση του υαλόχαρτου συνήθως είναι από χαρτί, όμως κατά την εξέλιξη του χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υφάσματα ως βάση, όπως βαμβακερά, πολυεστερικά, λεπτά φύλλα από θερμοπλαστικά πολυμερή και λάστιχο, η ελαστικότητα των οποίων επιτρέπει τη χρήση τους σε επιφάνειες με έντονη καμπυλότητα και απότομες μεταβολές της γεωμετρίας. Η χρήση τους αφορούσε ξηρά τριβή χωρίς την ύπαρξη κάποιου λιπαντικού μέσου, όμως χαρακτηριστικά η 3M το 1921 παρήγαγε μια μορφή υαλόχαρτου με κόκκους από καρβίδιο του πυριτίου, αδιάβροχη βάση και κόλες, εισάγοντας πρώτη φορά την υγρή τριβή με λιπαντικό μέσο το νερό που συνέβαλε στην απομάκρυνση του απορριπτόμενου υλικού και των κατακερματισμένων κόκκων καθιστώντας τη διαδικασία λείανσης ευκολότερη και πιο αποτελεσματική. (Polley, 1980)

Τα υλικά των κόκκων ποικίλουν ανάλογα με την προς κατεργασία επιφάνεια και το επιθυμητό αποτέλεσμα, ενώ διακρίνονται σε φυσικά και τεχνητά λειαντικά.

Φυσικά λειαντικά

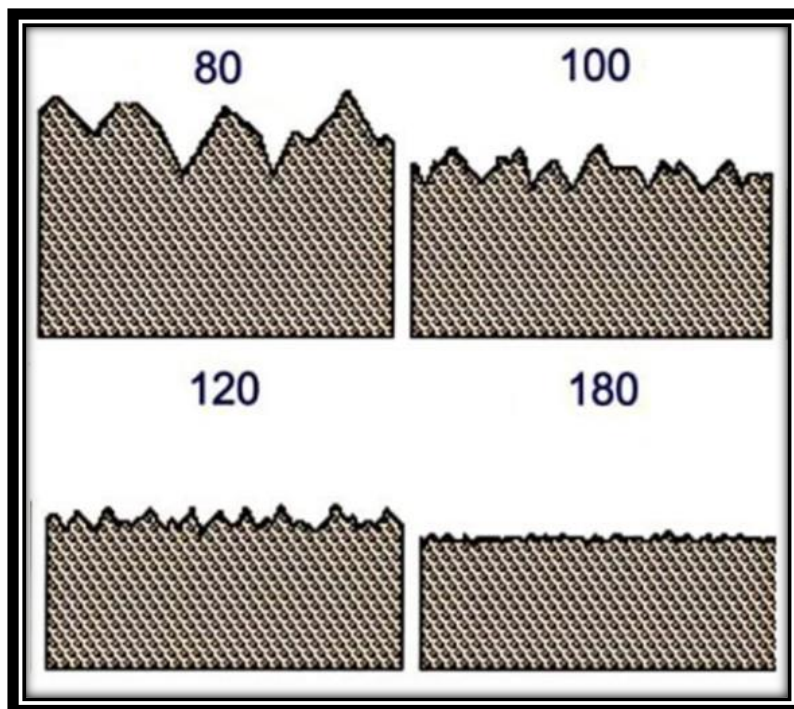
- Λυχνίτης: Χρησιμοποιείται ευρέως για τη χειρωνακτική κατεργασία ξύλινων επιφανειών προς απομάκρυνση μικρών εκδορών και προετοιμασία τους για το τελικό φινίρισμα. Η ιδιότητα του λυχνίτη να φθείρεται εύκολα συμβάλλει στην επίτευξη προοδευτικής λείανσης με καλύτερο αποτέλεσμα.
- Σμυριδόπετρα: Γνωστό και ως σμυριδόπανο, λόγω της υφασμάτινης βάσης του. Αποτελεί ένα τραχύ λειαντικό υλικό με μεγάλη αποτελεσματικότητα στο γυάλισμα μεταλλικών επιφανειών.

Τεχνητά λειαντικά

- Οξείδιο του αργιλίου: Χρησιμοποιείται στις περισσότερες επιφάνειες όπως ξύλο, μέταλλο, πλαστικό και σοβάς. Βασικό του πλεονέκτημα είναι πως ο κατακερματισμός των κόκκων κατά τη χρήση του δημιουργεί νέες αιχμηρές ακμές αυξάνοντας σημαντικά τη διάρκεια ζωής του λειαντικού μέσου.
- Καρβίδιο του πυριτίου: Σε συνδυασμό με αδιάβροχη βάση αποτελεί το δημοφιλέστερο λειαντικό υγρής τριβής. Πλεονεκτεί στην ταχύτητα αφαίρεσης υλικού σε σχέση με το οξείδιο του αργιλίου αλλά φθείρεται ευκολότερα.
- Οξείδιο αργιλίου - Οξείδιο ζirkονίου: Αποτελείται από κράμα οξειδίου αργιλίου και οξειδίου του ζirkονίου με χαρακτηριστικό την υψηλή αντοχή του. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται συνήθως σε επιφάνειες από ξύλο, *FRP (Fiber Reinforced Plastic)* και μέταλλο.
- Κεραμικά υλικά από οξείδιο του αργιλίου: Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν εξαιρετική σκληρότητα και αντοχή καθιστώντας τα ιδανικά για χρήση με μηχανήματα όπως λειαντήρες ζώνης και τροχοί.

(*Empire Abrasives n.d.*)

Το χαρακτηριστικό μέγεθος του υαλόχαρτου προκύπτει από τον αριθμό των κόκκων που μπορούν να καλύψουν επιφάνεια μίας τετραγωνικής ίντσας ($1 \text{ in}^2 = 645,16 \text{ mm}^2$). Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κόκκων ανά τετραγωνικό χιλιοστό, τόσο μικρότερη η διάμετρος τους και ομαλότερη η επιφάνεια του μέσου απόξεσης.



Εικόνα 2.4-1: Χαρακτηριστική απεικόνιση συγκέντρωσης κόκκων ανά mm^2 και ομαλότητας της επιφάνειας.

Πηγή: (Wang, Jun, William Scott, L C Zhang, Queensland University Of Technology, and Japan Society Of Grinding Engineers, 1999)

Διάφορα πρότυπα έχουν εδραιωθεί για τον καθορισμό της μέσης διαμέτρου των κόκκων που αποτελεί και το χαρακτηριστικό γνώρισμα των υαλόχαρτων, με το αμερικάνικο *CAMI* (*Coated Abrasive Manufacturers Institute*), το ευρωπαϊκό *FEPA* (*Federation of European Producers of Abrasives*) που χρησιμοποιεί το αγγλικό γράμμα «P» προς το χαρακτηρισμό του μεγέθους των κόκκων και είναι το ίδιο με το *ISO6344* (*International Organization for Standardization*) να απαντώνται με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Στη συνέχεια της εργασίας η αναφορά στα υαλόχαρτα θα γίνεται κατά το πρότυπο *FEPA* δηλαδή πριν τον αριθμό, θα αναγράφεται το γράμμα «P».

2.5. Πολυεστερική ρητίνη

Η πολυεστερική ρητίνη ανήκει στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών (*thermosets*) και αποτελεί ένα ημιδιαγές, κολλώδες ρευστό υψηλού ιξώδους, με ειδικό βάρος 1,1-1,2 και χαρακτηριστική οσμή στυρενίου. Ανήκει στη μήτρα ή συνεχή φάση των σύνθετων υλικών και υλοποιεί τη σύνδεση μεταξύ των ινών των διαφόρων

ενισχυτικών. Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, η χρήση της απαντάται σε πληθώρα κατασκευών σε μέσα μεταφοράς (χερσαία, αεροπορικά, θαλάσσια), με το εύρος τους να κυμαίνεται από μικρές εφαρμογές (φωριαμοί, χώροι ενδιαίτησης, βοηθητικές κατασκευές), σε δομικά στοιχεία (μπρακέτα, υποστυλώματα, ενισχυτικά), έως ολόκληρους κατασκευαστικούς τομείς (αεροπτέρυγες, υδροπτέρυγες, μονομπλόκ γάστρες ή τμήματα αυτών).

2.5.1. Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα πολυεστέρα

Ενδεικτικά αναφέρονται τα κύρια πλεονεκτήματα στη γενική τους μορφή, καθώς η ποσοτικοποίηση και ανάλυση τους είναι πολυπαραγοντική, εξαρτώμενη τόσο από το είδος του σύνθετου υλικού με μήτρα, την πολυεστερική ρητίνη, όσο και από ένα πολυπληθές σύνολο παραγόντων, όπως η χρήση, η εφαρμογή, οι συνθήκες αποθήκευσης και επεξεργασίας.

- Σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή σε σύγκριση με υλικά ίδιου όγκου ή βάρους.
- Υψηλή ανθεκτικότητα σε ώσμωση και παρατεταμένη έκθεση σε υγρασία.
- Αντιδιαβρωτικές ιδιότητες σε χημικά και επιθετικές ουσίες.
- Ελαχιστοποιημένες απαιτήσεις συντήρησης και προστασίας.
- Μικρές απαιτήσεις σε εξειδικευμένα εργαλεία και γνώσεις.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης.
- Χαμηλής δυσκολίας μορφοποίηση και επισκευή.
- Καλές μονωτικές ιδιότητες.

Τα μειονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

- Σχετικά υψηλό κόστος κτήσης.
- Εύφλεκτο υλικό.
- Ιδιαίτερα τοξικό υλικό κατά την διαδικασία πολυμερισμού του, επιβάλλεται η χρήση μέσων ατομικής προστασίας (ΜΑΠ).
- Συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης, όπως αυτές θα αναφερθούν σε επόμενη υποενότητα.

(www.andreou.gr, Ιακωβίδης, 2018a)

2.5.2. Χρήσιμοι ορισμοί και ιδιότητες

2.5.2.1. Χρόνος Εργασιμότητας

Ο χρόνος που το μείγμα διατηρεί τη ρευστότητα του πριν αρχίσει να πήζει ονομάζεται χρόνος εργασιμότητας ή *gel time*. Το *gel time* έχει χρονικό εύρος από 10 έως 30 λεπτά και εξαρτάται από την ποσότητα του μείγματος, τις αναλογίες επιταχυντή-καταλύτη (κάποιες φορές από προσθήκη επιβραδυντή) και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους (υγρασία, θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ροής αέρα γύρω από αυτό). Αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της πολυεστερικής ρητίνης καθώς πέραν του χρόνου αυτού αρχίζει η στερεοποίηση της, που καθιστά την κατεργασία της αδύνατη, κάτι που συχνά αποφέρει σπατάλη του υλικού και κατά συνέπεια αύξηση του κόστους κατασκευής. (Haleh Ardebili, 2019)

2.5.2.2. Σκλήρυνση

Μετά την εισαγωγή του καταλύτη, σκλήρυνση ή *cure time* ορίζεται ο χρόνος πολυμερισμού ή στερεοποίησης της ρητίνης. Για συνθήκες περιβάλλοντος με θερμοκρασία 17-25 °C και υγρασία 55-65% μπορούμε να διακρίνουμε τη σκλήρυνση σε τρεις χρονικές φάσεις. Αρχικά σε διάστημα 2-6 ωρών η ρητίνη στερεοποιείται στην- κατά το μεγαλύτερο μέρος- τελική της μορφή. Το διάστημα αυτό θεωρείται ιδανικό για την προσθήκη νέων επικαλύψεων καθώς η διαδικασία του πολυμερισμού δεν έχει ολοκληρωθεί. Σε 48 ώρες η ρητίνη έχει σταθεροποιηθεί και δύναται να λάβουν χώρα ήπιες κατεργασίες. Με το πέρας 7 ημερών ο πολυμερισμός έχει ολοκληρωθεί και το υλικό έχει αναπτύξει πλήρως τις χημικές και μηχανικές του ιδιότητες. (Permabond, 2011)

2.5.2.3. Θιξοτροπία

Όταν η διαταραχή της ηρεμίας ενός ρευστού επιφέρει την μείωση του ιξώδους του λαμβάνει χώρα ένα φαινόμενο που ονομάζεται θιξοτροπία. Η μείωση της με διάφορες μεθόδους προσδίδει την ιδιότητα του πολυεστέρα να μην αποκολλάται από τα

ενισχυτικά υφάσματα κατά την εφαρμογή του σε κατακόρυφες επιφάνειες. (*Chhabra and Richardson, 2008*)

2.5.3. Είδη πολυεστερικών ρητινών

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα διαθέσιμα είδη πολυεστερικών ρητινών στην αγορά με μια σύντομη περιγραφή στη χρήση και τις ιδιότητες τους.

Ορθοφθαλικοί πολυεστέρες: Χαρακτηρίζονται ως γενικής χρήσης και εφαρμογών. Αποτελούν το ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος ρητίνης λόγω του χαμηλού τους κόστους σε συνδυασμό με καλές μηχανικές ιδιότητες και ευκολία εφαρμογής.

Ισοφθαλικοί πολυεστέρες: Αποτελούν την αμέσως επόμενη ποιοτικά κατηγορία από τους ορθοφθαλικούς. Εμφανίζουν υψηλή ανθεκτικότητα στην ώσμωση και βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά, ενώ συμβάλλουν στην καλύτερη σύνδεση μεταξύ των ενισχυτικών ινών και υφασμάτων μεταξύ τους. Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σκαφών, δεξαμενών νερού αλλά και για γενική χρήση. (*www.worldofchemicals.com n.d.*)

Βινιλεστέρες: Η καλύτερη σε ποιοτικά χαρακτηριστικά κατηγορία πολυεστέρα με μοναδικό μειονέκτημα, συγκριτικά με τους ορθοφθαλικούς και ισοφθαλικούς, το υψηλό κόστος κτήσης. Προσφέρει υψηλή στεγανοποίηση και αντοχή σε επιθετικές ουσίες, σε συνδυασμό με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες. Επιπρόσθετα, λόγω των συγκολλητικών του ιδιοτήτων, δύναται να δημιουργηθούν σύνθετα υλικά με ίνες ή υφάσματα από *carbon* ή *kevlar*.

Υποκατηγορία βινιλεστέρων αποτελούν οι **οξύμαχοι** για κατασκευές δεξαμενών καυσίμων ή τοξικών αποβλήτων.

Πολυεστέρες καυσίμων και υψηλών θερμοκρασιών: Εξειδικευμένος τύπος ρητίνης για αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (έως 180° C) και τα πετρελαιοειδή. Χρησιμοποιείται για κατασκευές σε μηχανοστάσια, δεξαμενές καυσίμων κ.α.

Οικολογικοί πολυεστέρες: Χρησιμοποιούνται κυρίως σε χώρους με ανεπαρκή εξαερισμό. Λόγω χαμηλής περιεκτικότητας σε στυρένιο είναι πιο φιλικό προς το

περιβάλλον και ασφαλέστεροι προς το χρήστη. Έχουν μικρότερο χρόνο σκλήρυνσης γι' αυτό και δεν προτείνονται για κατασκευές που απαιτούν πολλαπλές στρώσεις για την καλύτερη συνεκτικότητα του υλικού.

Πολυεστέρες καλουπιών: Αποτελούν ρητίνες ειδικής σύστασης με υψηλή αντοχή στις καταπονήσεις και στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας (συστολές-διαστολές). Επιπρόσθετα, διαθέτουν τον μικρότερο συντελεστή συρρίκνωσης σε σχέση με τους υπόλοιπους πολυεστέρες.

Πολυεστέρες χύτευσης: Χρησιμοποιούνται κυρίως για κατασκευή επίπλων, στοιχεία εσωτερικού διάκοσμου και ψεύτικα μάρμαρα. Παρουσιάζουν χαμηλή θερμοκρασία κατά τον πολυμερισμό και ελάχιστη συρρίκνωση. Δύνανται να αναμιχθούν με πληθώρα αδρανών υλικών και χυτεύονται σε καλούπια σιλικόνης κατά κύριο λόγο.

Διαφανείς πολυεστέρες: Ευρέως διαδεδομένοι ως υγρό γυαλί. Έχουν χαμηλό ιξώδες (στερούνται θιξοτροπίας) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές τέχνης εξαιτίας της χαρακτηριστικής διαύγειας που προσφέρουν.

Αυτοσβενύμενοι πολυεστέρες: Ενδείκνυνται για κατασκευές σε χώρους με υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς. Εξαιτίας της σύστασης τους, δεν επιτρέπουν την επέκταση της, με προϋπόθεση την κατάσβεση της αρχικής εστίας.

Πολυεστέρες κενού (*Vacuum-Infusion*): Ειδικοί πολυεστέρες για κατασκευές σε καλούπια κενού. Επειδή τοποθετούνται όλες οι στρώσεις ενίσχυσης στο καλούπι πριν τη σφράγιση του, οι ρητίνες αυτές παρουσιάζουν πολύ χαμηλό ιξώδες, μεγάλο χρόνο εργασιμότητας και εξαιρετικά χαμηλό εξώθερμο που επιτρέπει τον πλήρη εμποτισμό και την ομοιόμορφη κατανομή τους σε όλα τα στοιχεία που βρίσκονται εντός του θαλάμου. (www.andreou.gr n.d.)

2.5.3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας ρητινών

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	ΤΥΠΟΙ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
Μικρά-μεγάλα σκάφη, γενικές χρήσεις	GP-2000/ G-102/EXTRAPOL	Ορθοφθαλικοί
Μεγάλα σκάφη και ειδικές κατασκευές	491PA/K-530/272PA	Ισοφθαλικοί
Σκάφη με υψηλές προδιαγραφές	679PA/676-1TP/ AME-6000	Βινιλικοί
Κατασκευές καλουπιών	474PA/491PA/679PA	Ισοφθαλικοί, βινιλικοί
Πλαστικοποιήσεις ξύλινων σκαφών	GP-2000/ G-102/446MPALV/491PA/ K-530/679PA	Ορθοφθαλικοί, ισοφθαλικοί, βινιλικοί
Εφαρμογές κυρίως σε κλειστούς χώρους	446MPALV	Οικολογικός
Δεξαμενές καυσίμων	199PA/676-1TP	Ισοφθαλικοί, οξύμαχοι
Δεξαμενές οξέων	676-1TP/DERAKANE411	Βινιλικοί, οξύμαχοι
Μηχανοστάσια, εξατμίσεις (προστασία από φωτιά)	1355PA/199PA	Αυτοσβενήμενοι, υψηλών θερμοκρασιών
Θάλαμοι, ψυγεία, έπιπλα, τροχόσπιτα	GP-2000/ G-102/446MPALV/491PA	Ορθοφθαλικοί, ισοφθαλικοί
Χώροι αποθήκευσης τροφίμων, δεξαμενές νερού	491PA	Ισοφθαλικοί
Πάνελ και αξεσουάρ αυτοκινήτων	446MPALV/8500PA	Οικολογικός
Είδη υγιεινής	757	Μη θιξοτροπικός. χαμηλό εξώθερμο
Τεχνητοί λίθοι, αγάλματα, είδη διακόσμησης	FS-1973/757/920 /1381PA	Μη θιξοτροπικοί. χαμηλό εξώθερμο
Διάφανα είδη, μπιμπελό, (υγρό γυαλί)	FS-1973	Διάφανος, μη θιξοτροπικός
Κατασκευές <i>Vacuum</i>	702PA/703PA /679-03PA	Χαμηλό ιξώδες και εξώθερμο, μακρύ <i>gel time</i>

Πίνακας 2.5-1: Συγκεντρωτικός πίνακας ρητινών.
Πηγή: (Ανδρέου, www.andreou.gr)

2.5.4. Ενδεικτικός πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

		ortho-	iso-	iso-NPG-
viscosity	mPa.s	350–400	280–350	270–300
density	Mg/m ³	1.20–1.23	1.19–1.20	1.14–1.16
tensile strength	MPa	50–70	70–75	70–73
tensile modulus	GPa	3.8–4.6	3.5–3.6	3.1–3.4
elongation at break	%	1.6–2.3	3.0–5.0	3.0–6.5
flexural strength	MPa	90	130	135
flexural modulus	GPa	4.0	3.7	3.0
Barcol hardness		45	45	35–45
heat distortion temperature	°C	62–72	75–78	76–90
in-mould shrinkage	%	5.5–6.5	7–8	8
water absorption (28 days)	%	0.8	0.8	0.5

Notes: Water absorption is measured according to ISO 62 using a plaque size 50 mm × 50 mm × 3 mm. If any other size is used, the volume pick-up needs to be converted to mass pick-up using the formula $m = \rho V$. Varying exposure times could also lead to different values.

Πίνακας 2.5-2: Ενδεικτικές μηχανικές ιδιότητες πολυεστερικών ρητινών.

Πηγή: (DESIGN DATA FOR REINFORCED PLASTICS, Table 4.1, Neil L. Hancox, Rayner M. Mayer, 1994, Springer Netherlands)

2.5.5. Μέτρα προφύλαξης και αποθήκευση

Η πολυεστερική ρητίνη όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ένα ιδιαίτερος τοξικό και εύφλεκτο υλικό γι' αυτό κατά τη χρήση και την αποθήκευση της, επιβάλλεται να λαμβάνονται και να τηρούνται μέτρα προστασίας όπως αναφέρονται παρακάτω:

- Χρήση προστατευτικών γυαλιών (σε περίπτωση επαφής με τα μάτια απαιτείται ξέπλυμα με άφθονο νερό για παρατεταμένη ώρα και ιατρική συμβουλή).
- Χρήση μάσκας κατακράτησης μικροσωματιδίων (επιπέδου *ffp2* ή ανώτερο).
- Χρήση γαντιών και φόρμας εργασίας (σε περίπτωση επαφής με το δέρμα, αρχικά καθαρίζουμε τοπικά με ασετόν και στη συνέχεια με σχολαστικό πλύσιμο με σαπούνι και νερό υπό ροή).
- Ο χώρος εργασίας απαιτεί επαρκή αερισμό τέτοιο ώστε να αποτρέπει τη συγκέντρωση ατμών για δύο λόγους. Αφενός για να μην εισπνέονται (καμία μάσκα, εκτός αυτών που φέρουν ανεξάρτητη παροχή αέρα, δεν προσφέρει

απόλυτη κατακράτηση μικροσωματιδίων) και αφετέρου για την ελαχιστοποίηση κινδύνου πρόκλησης πυρκαγιάς.

- Κατά τη διάρκεια της εργασίας απαγορεύεται στον ίδιο χώρο η χρήση οποιουδήποτε μέσου μπορεί να προκαλέσει σπινθήρα (αναπτήρας, κοπή μετάλλων), ηλεκτρικό τόξο (συγκόλληση μετάλλων) ή έντονη θερμότητα.
- Απαγορεύεται η ρίψη του υλικού σε βιότοπους πάσης φύσεως (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια, δάση).
- Η αποθήκευση του πρέπει να γίνεται σε σκιερό και δροσερό μέρος ($\leq 25^{\circ}\text{C}$), σε δοχεία ερμητικά κλειστά, μακριά από πηγές θερμότητας, σπινθήρες και καλώδια ρεύματος.
- Ο χρόνος ζωής των υλικών σε ιδανικές συνθήκες αποθήκευσης αναφέρεται ενδεικτικά στους 6 μήνες.

2.5.6. Οδηγός χρήσης σε βήματα και γενικές πληροφορίες

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί πως εκτός περιπτώσεων έρευνας αμιγώς εστιασμένης στην μελέτη των πολυεστερικών ρητινών, οι βασικές πληροφορίες και ο τρόπος χρήσης των υλικών αυτών πρέπει να κινείται εντός του εύρους που έχει οριστεί και αποτυπώνεται με σαφήνεια στις οδηγίες χρήσης του εκάστοτε κατασκευαστή. Βάσει των ανωτέρω και έπειτα από εκτεταμένη έρευνα αγοράς καταλήγουμε στις κάτωθι πληροφορίες ως οδηγίες, με στόχο τη θεωρητική πληρότητα σε γενικές εφαρμογές, ενώ σε καμία περίπτωση δεν προτρέπεται ο αναγνώστης στην αντικατάσταση με τα παρακάτω, των οδηγιών χρήσης του κατασκευαστή.

Βήμα 1^ο

Αρχικά υπολογίζεται η ποσότητα ρητίνης που χρειάζεται, αναλόγως την επιφάνεια και το είδος ενίσχυσης που θα χρησιμοποιηθεί. Αναδεύεται επιμελώς όλο το περιεχόμενο του δοχείου, λαμβάνεται η επιθυμητή ποσότητα και επανασφραγίζεται αεροστεγώς.

Βήμα 2^ο

Οι πλειοψηφία των ρητινών που διατίθενται στην αγορά εμπεριέχουν ήδη τον επιταχυντή (προεπιταχυνόμενες ρητίνες ή *pre Accelerated*). Στις περιπτώσεις μη

προεπιταχυνόμενων ρητινών είναι σημαντικό να τοποθετηθεί πρώτα ο επιταχυντής σε αναλογία κατά βάρος 0,2-0,4 % και αφού αναδευτεί καλά το υλικό να προστεθεί ο καταλύτης. Σε διαφορετική περίπτωση εγκυμονεί σοβαρός κίνδυνος ανάφλεξης ή και έκρηξης.

Βήμα 3^ο

Καθαρισμός της επιφάνειας με προπανόνη (εμπορική ονομασία της ακετόνης ή ασετόν) για αφαίρεση της σκόνης και κοπή των ενισχυτικών υφασμάτων στις επιθυμητές διαστάσεις. Σε περίπτωση που έχουν παρέλθει πάνω από 12 ώρες από την τοποθέτηση της προηγούμενης στρώσης υλικού απαιτείται τρίψιμο της επιφάνειας με υαλόχαρτο P120-240 πριν τον καθαρισμό της, προς αποφυγή αποκολλήσεων ή διαβρώσεων μεταξύ των στρώσεων.

Βήμα 4^ο

Προσθήκη καταλύτη στη ρητίνη σε αναλογία 1-2 % κατά βάρος και ανάδευση του. Η περιεκτικότητα καταλύτη σε προεπιταχυνόμενες ρητίνες καθορίζει το χρόνο εργασιμότητας. Ενδεικτικά σε θερμοκρασία 20° C με την υγρασία να μην υπερβαίνει το 60%, η αναλογία 1,5% κατά βάρος δίνει χρόνο εργασιμότητας 10 με 20 λεπτά και σωστό πολυμερισμό του υλικού, ενώ σπανίως σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες δύναται η αναλογία να ξεπεράσει το 2% χωρίς όμως να ξεπερνά το 3%. Επίσης, σε περιπτώσεις που η ποσότητα του μείγματος είναι μεγαλύτερη των 1500 γραμμαρίων ενδείκνυται η χρήση δοχείων με μεγάλη επιφάνεια (λεκάνη ή σκάφη) προς ταχύτερη αποβολή θερμότητας, καθώς η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην ταχύτερη στερεοποίηση του υλικού.

Βήμα 5^ο

Εφαρμογή του υλικού με πινέλο ή γούνινο ρολό και αφαίρεση των φυσαλίδων με μεταλλικό ρολό ή πλαστική σπάτουλα ή (σε απότομες μεταβολές της γεωμετρίας, δυσπρόσιτα σημεία και ακμές) απαλά χτυπήματα κάθετα στην επιφάνεια με εμποτισμένο σε ρητίνη πινέλο και καθαρισμός των εργαλείων με ακετόνη προς αποφυγή καταστροφής τους.

2.6. Πολυεστερικά χρώματα (*Gel coat*)

Τα πολυεστερικά χρώματα ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών (*thermosets*) και αποτελούν ένα έγχρωμο, κολλώδες ρευστό υψηλού ιξώδους. Απαντώνται στο σύνολο σχεδόν των πολυεστερικών κατασκευών ως εξωτερική επιφάνεια καθώς προσφέρουν σημαντική προστασία του *GRP* από την ώσμωση, ενώ στις περιπτώσεις χρήσης τους σε θαλάσσιο περιβάλλον προφυλάσσουν από τη διάβρωση λόγω της συνεχούς επαφής με το θαλασσινό νερό και την παρατεταμένη έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπρόσθετα εμφανίζουν υψηλή αντοχή σε κρούσεις και τριβές λόγω της ελαστικότητας τους και του πάχους της επίστρωσης που κυμαίνεται από 0,5 έως 0,8mm.

2.6.1. Είδη πολυεστερικών χρωμάτων

Οι πολυεστερικές βαφές ως υποκατηγορία των πολυεστερικών ρητινών, διακρίνονται και αυτές με τη σειρά τους στις ίδιες κατηγορίες με τις πολυεστερικές ρητίνες ως προς τη χημική τους σύσταση, τις ιδιότητες και τη χρήση τους, όπως αυτές περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 2.4.3. Εξάιρεση ίσως αποτελεί η κατηγορία των ορθοφθαλικών βαφών όπου διαφοροποιούνται ως προς την εμπορική τους ονομασία *Top Coat* αντί *Gel Coat* αλλά και την ενδεικνυόμενη χρήση τους σε εσωτερικούς κυρίως χώρους. (www.andreou.gr, n.d.)

2.6.1.1. Συγκεντρωτικός πίνακας πολυεστερικών βαφών

ΤΥΠΟΣ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
97ΡΑ ΙΣΟΦΘΑΛΙΚΟ (ΠΙΣΤΟΛΙΟΥ)	Σκάφη, δεξαμενές, πισίνες, ψυγεία, αυτοκινούμενα, παιδικά πάρκα
65ΡΑ ΙΣΟΦΘΑΛΙΚΟ (ΠΙΝΕΛΟΥ-ΡΟΛΟΥ)	Σκάφη και πάσης φύσεως μικρές ή μεγάλες κατασκευές
967ΡΑ ΝΡG (ΠΙΣΤΟΛΙΟΥ)	Μεγάλα κυρίως σκάφη, αποθηκευτικοί χώροι τροφίμων, είδη υγιεινής, κατασκευές με ενισχυμένες προδιαγραφές

12ΡΑ ΙΣΟΦΘΑΛΙΚΟ-NPG (ΠΙΝΕΛΟΥ)	Μεγάλα ή μικρά καλούπια
15ΡΑ ΒΙΝΙΛΙΚΟ (S)ΠΙΣΤΟΛΙΟΥ (B)ΠΙΝΕΛΟΥ	Καλούπια υψηλών προδιαγραφών (γυαλάδα, στιλπνότητα, αντοχή, διάρκεια)
72ΡΑ & 75ΡΑ (ΑΥΤΟΣΒΕΝΥΜΕΝΑ)	Μηχανοστάσια, κουβούκλια γεννητριών, φουγάρα, εξατμίσεις, βαγόνια και άλλες ειδικές κατασκευές
252ΡΑ	Συμβατό με εποξικές ρητίνες

Πίνακας 2.6-1: Συγκεντρωτικός πίνακας πολυεστερικών βαφών.

Πηγή: (Ανδρέου, www.andreou.gr).

2.6.2. Οδηγός χρήσης και γενικές πληροφορίες

Η χρήση των πολυεστερικών βαφών υπακούει στους ίδιους κανόνες με τη χρήση των πολυεστερικών ρητινών, πλην όμως μικρών διαφοροποιήσεων που σχετίζονται, με τη διαδικασία του πολυμερισμού τους και σημαντικότερων διαφορών ως προς τον τρόπο εφαρμογής τους.

Ως προς τον πολυμερισμό τους, η χρήση καταλύτη (*MEKP*) συνήθως προτείνεται σε αναλογία 1,5-2% κατά βάρος, με το χρόνο εργασιμότητας να κυμαίνεται σε 10-15 λεπτά για θερμοκρασία περιβάλλοντος 15-25 °C και υγρασία μικρότερη του 60%, ενώ ο χρόνος σκλήρυνσης του υλικού είναι περίπου 14 ημέρες μέχρι την πλήρη ανάπτυξη των χημικών και μηχανικών του ιδιοτήτων.

Ως προς τον τρόπο εφαρμογής τους τα πολυεστερικά χρώματα μπορούν να εφαρμοστούν με πιστόλι ή πινέλο-ρολό. Για την εφαρμογή με πιστόλι, ενδείκνυται η διάμετρος του ακροφύσιου να είναι 3-4 mm, η πίεση 4-5 bar, με την απόσταση του από την επιφάνεια να είναι από 50 έως 100 cm και το χέρι να εκτελεί συνεχή παλινδρομική κίνηση παράλληλη σε αυτή. Η ομοιόμορφη κάλυψη της συνήθως απαιτεί δύο χέρια με το πρώτο να δημιουργεί μία αχνή βάση και το δεύτερο να ολοκληρώνει τη διαδικασία στο απαιτούμενο πάχος. Μία εμπειρική εκτίμηση της ποσότητας πολυεστερικού χρώματος, για κάλυψη επιφάνειας 1 m² με πάχος περίπου 0,7 (+/- 0,15) mm είναι τα 800 gr. Από την άλλη, η χρήση τους με πινέλο ή ρολό χρειάζεται δύο ή τρία χέρια, με την εφαρμογή τους να γίνεται προς μία κατεύθυνση με παράλληλες εναποθέσεις και το μέσο να βρίσκεται σε συνεχή επαφή με την επιφάνεια μέχρι την αποδέσμευση όλου

του χρώματος που συγκρατεί. Με το πέρας του χρόνου σκλήρυνσης (περίπου 14 ημέρες) η εξωτερική επιφάνεια δύναται να τριφτεί με υαλόχαρτα υγρής τριβής (νερού) Νο 400-1500 για εξάλειψη ατελειών και εν συνεχεία να γυαλιστεί με αλοιφές για την πρόσδοση της απαιτούμενης στιλπνότητας στο τελικό φινίρισμα.

Κατά κύριο λόγο οι πολυεστερικές βαφές χρησιμοποιούνται εντός του καλουπιού μετά την εφαρμογή των αποκολλητικών (κερί ή/και PVA) και 4-12 ώρες πριν την τοποθέτηση των ενισχυτικών υφασμάτων και της ρητίνης, καθώς το κενό αέρα που δημιουργείται συμβάλλει στον πλήρη πολυμερισμό τους. Παρόλα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως εξωτερική βαφή προσαρμόζοντας στην παραπάνω διαδικασία τα εξής στάδια:

- Τρίψιμο της εξωτερικής επιφάνειας με υαλόχαρτο ξηράς τριβής Νο 60-120, απομάκρυνση της σκόνης και σχολαστικός καθαρισμός της επιφάνειας χρησιμοποιώντας πανί μικροϊνών εμποτισμένο με ακετόνη.
- Τα πολυεστερικά χρώματα έχουν την ιδιότητα να διατηρούν την εκτεθειμένη στον αέρα επιφάνεια τους ελαφρώς κολλώδη προς προσκόλληση των ενισχυτικών υφασμάτων και της ρητίνης, καθώς είναι σχεδιασμένα για χρήση εντός καλουπιού. Συνεπώς, κατά το τελευταίο χέρι, προστίθεται στο μείγμα πριν τον καταλύτη παραφίνη σε αναλογία 3-4 % κατά βάρος για την επίτευξη του πλήρους πολυμερισμού τους.
- Τέλος πριν τη διαδικασία γυαλίσματος του υλικού και ειδικότερα αν έχει εφαρμοστεί με πινέλο ή ρολό, θα απαιτηθεί μια διαδικασία εξομάλυνσης της εξωτερικής επιφάνειας με υαλόχαρτα υγρής τριβής από P 240-1500 αναλόγως του βαθμού εξομάλυνσης που απαιτείται.

2.7. Υαλοϋφάσματα (*Glass fiber*)

Τα υαλοϋφάσματα δημιουργούνται από ίνες γυαλιού εξαιρετικά μικρής διαμέτρου, πλεγμένες ή διάσπαρτα προσκολλημένες μεταξύ τους, σε διάφορα σχηματικά μοτίβα που σχετίζονται με τις μηχανικές τους ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται ως μέσο ενίσχυσης σε σύνθετα υλικά με μήτρα από σκυροκονίαμα, εποξικές ή πολυεστερικές ρητίνες και άλλα υλικά. Η εμπορική τους ονομασία είναι *Glass fiber* συνήθως και όχι *Fiberglass*

καθώς η ορολογία αδόκιμα έχει επικρατήσει για το σύνολο των *GRP* ή πολυεστερικών κατασκευών ενώ τα πλεονεκτήματα τους συνοψίζονται στα εξής:

- Εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με το βάρος τους: Ενδεικτικά η αντικατάσταση μερών ή κατασκευών από αλουμίνιο ή χάλυβα με *GRP* μπορεί να επιφέρει μείωση του βάρους έως και 300% διατηρώντας την ίδια αντοχή σε εφελκυσμό.
- Μεγάλη ευκαμψία: Ιδιότητα που επιτρέπει τη δημιουργία επιφανειών υψηλής αντοχής με μεγάλη καμπυλότητα, πολλαπλά σημεία καμπής και απότομες μεταβολές της γεωμετρίας έργο ιδιαίτερα δύσκολο με μεταλλικά υλικά ή ξύλο.
- Μεγάλη αντοχή στη θερμότητα: Τα υαλοϋφάσματα είναι επί της ουσίας άκαυστα ενώ διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες σε θερμοκρασίες που μπορεί να ξεπερνούν τους 500°C.
- Χαμηλό κόστος: Το κόστος κτήσης δεν είναι ιδιαίτερα χαμηλό όμως η ταχύτητα κατασκευής σε συνδυασμό με την ευκολία χρήσης μειώνουν σημαντικά το κόστος εργασίας με αποτέλεσμα το σύνολο της κατασκευής να στοιχίζει λιγότερο σε σύγκριση με άλλα υλικά παρόμοιων μηχανικών ιδιοτήτων.
- Καλές διηλεκτρικές ιδιότητες: Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν τα υαλοϋφάσματα ιδανικό υλικό για κατασκευές που έρχονται σε επαφή με ηλεκτρικά φορτία.

2.7.1. Ίνες γυαλιού

Το γυαλί ως άμορφη ανόργανη ύλη, δημιουργείται από ενώσεις οξειδίων μετάλλων με το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) να αποτελεί την κυρίαρχη καθώς απαντάται σε περιεκτικότητα 50-70% κατά βάρος. Χαρακτηριστικά το χρώμα του σε γυμνό οφθαλμό είναι λευκό και συνήθως αντιμετωπίζεται ως ισοτροπικό υλικό. Η παραγωγή του σε ινώδη μορφή γίνεται σε υψικαμίνους διαφόρων τύπων σε θερμοκρασία τήξης περίπου 1400 °C, ενώ οι μεμονωμένες ίνες προστατεύονται με μια μορφή επιχρίσματος που συμβάλει και στη σταθεροποίηση τους όταν τοποθετούνται κατά δέσμες. Επιπρόσθετα, η διάμετρος των ινών ποικίλει σε εύρος από 3-24 μm με τα 17 μm να αποτελούν την συνηθέστερη διάμετρο στις κατασκευές με *GRP*. Τέλος, αναφέρονται τα συνηθέστερα είδη ινών γυαλιού και παρατίθεται πίνακας ενδεικτικών τιμών των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

- E-glass (electrical glass): Γυαλί βορίου-πυριτίου το οποίο εξαιτίας των υψηλών διηλεκτρικών ιδιοτήτων και του χαμηλού κόστους κατασκευής του χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο ποσοστό των εμπορικών υαλοϋφασμάτων και κατ' επέκταση κατασκευών με GRP.
- A-glass (window glass): Χρησιμοποιείται ως υλικό κατασκευής παραθύρων.
- C-glass (corrosion resistant): Ανθεκτικό στη διάβρωση, γνωστό και ως AR-glass (alkaliresistant glass) απαντάται σε ειδικές εφαρμογές.
- S-glass (structural or high-strength glass): Υψηλής αντοχής και επιδόσεων με χρήσεις κυρίως στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

(Lawrence Colin Bank, 2006)

Grade of Glass Fiber	Density [g/cm ³ (lb/in ³)]	Tensile Modulus [GPa (Msi)]	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Max. Elongation (%)
E	2.57 (0.093)	72.5 (10.5)	3400 (493)	2.5
A	2.46 (0.089)	73 (10.6)	2760 (400)	2.5
C	2.46 (0.089)	74 (10.7)	2350 (340)	2.5
S	2.47 (0.089)	88 (12.8)	4600 (667)	3.0

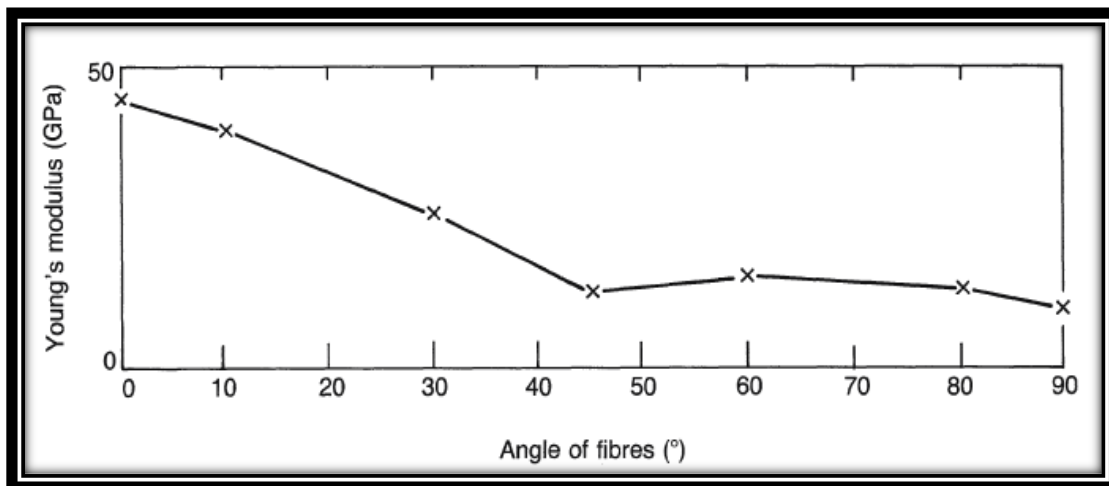
Πίνακας 2.7-1: Ενδεικτικές μηχανικές ιδιότητες γυαλιού.

Πηγή: (Lawrence Colin Bank, *Structural Design with FRP Materials*, table 2.1, 2006)

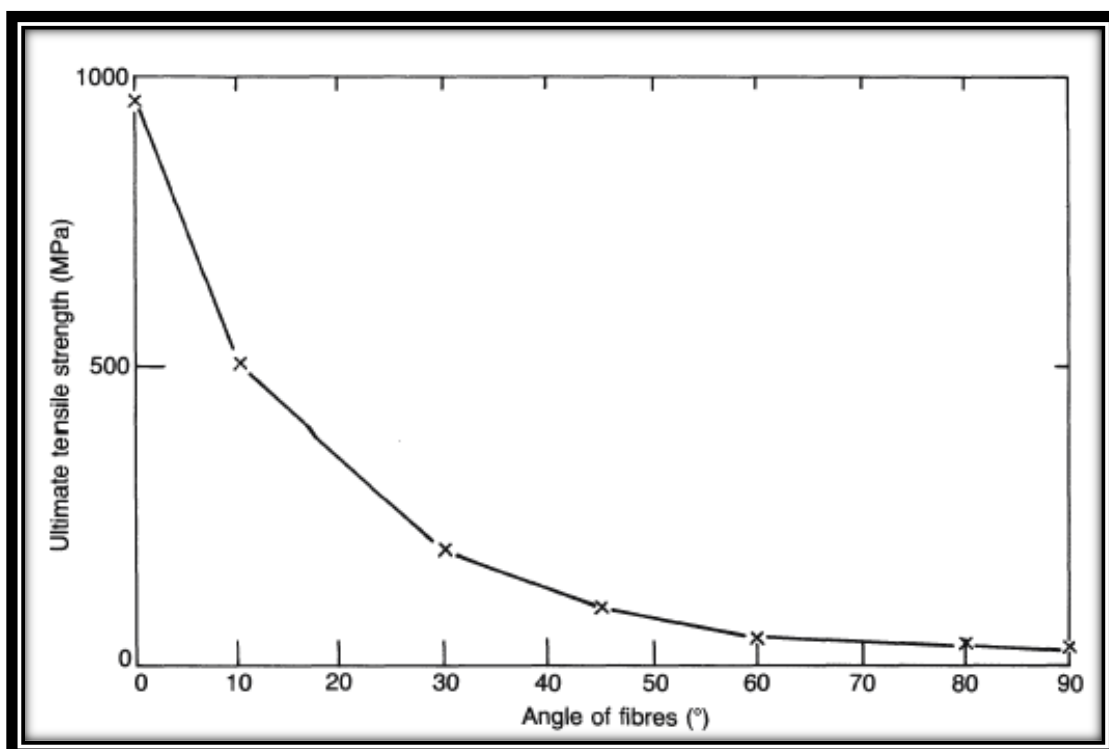
2.7.2. Είδη υαλοϋφασμάτων

Τα υαλοϋφάσματα διακρίνονται σε πολλά είδη βάσει της χρήσης τους, το είδος εμποτισμού τους αλλά κυρίως την κατεύθυνση των ινών όπου σχετίζεται άμεσα με την αντοχή του σύνθετου υλικού. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως στην κατασκευή γαστρών που καταπονούνται στις τρεις διαστάσεις, με έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης, δεν γίνεται η ενίσχυση να βασίζεται μόνο σε *unidirectional* (μονοκατευθυντικά) υφάσματα, αλλά, σε συνδυασμούς αυτών ή άλλων πολυκατευθυντικών υφασμάτων. Γνώμονας όμως σε κάθε κατασκευή είναι όσα υφάσματα τοποθετηθούν σε παρεκκλίνουσα θέση σε σχέση με τον βασικό άξονα, μετρούμενη σε μοίρες (°), αντίστοιχα θα πρέπει να τοποθετηθούν και εκατέρωθεν αυτού με διαφορά από την αρχική παρέκκλιση 180°, προς τήρηση της συμμετρίας τόσο ως προς το βάρος όσο και ως προς τις μηχανικές ιδιότητες. Ενδεικτικά παρατίθενται

για πολυεστέρα ενισχυμένο με ναλοϋφασμα διαγράμματα μέτρου ελαστικότητας, μέγιστης εφελκυστικής τάσης και μέγιστης παραμόρφωσης σε σχέση με τη γωνία απόκλισης από το βασικό άξονα, ο οποίος ορίζεται από τον μελετητή. (Hancox and Mayer, 1994)

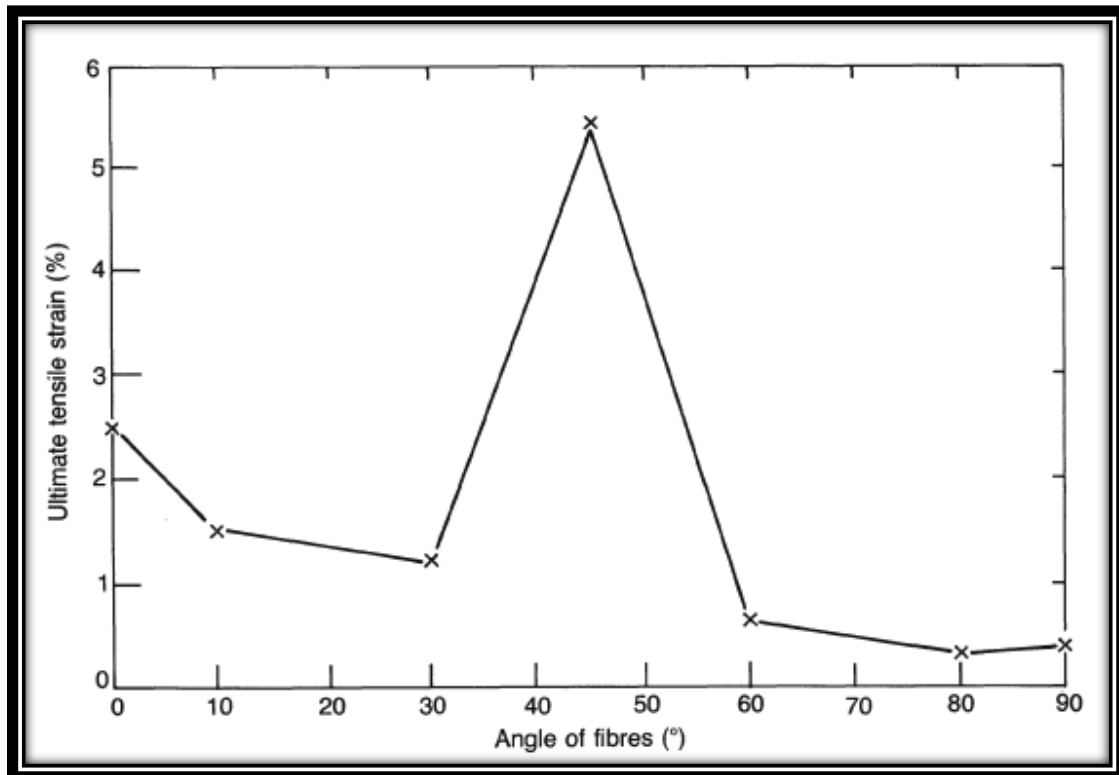


Εικόνα 2.7-1: Διαγραμματική απεικόνιση μέτρου Young- γωνίας απόκλισης σε ενισχυμένο πολυεστέρα.
Πηγή: (Hancox and Mayer, DESIGN DATA FOR REINFORCED PLASTICS, Figure 5.2, 1994)



Εικόνα 2.7-2: Διαγραμματική απεικόνιση μέγιστης εφελκυστικής τάσης- γωνίας απόκλισης σε ενισχυμένο πολυεστέρα.

Πηγή: (Hancox and Mayer, DESIGN DATA FOR REINFORCED PLASTICS, Figure 5.3, 1994)



Εικόνα 2.7-3: Διαγραμματική απεικόνιση μέγιστης παραμόρφωσης- γωνίας απόκλισης σε ενισχυμένο πολυεστέρα.
 Πηγή: (Hancox and Mayer, DESIGN DATA FOR REINFORCED PLASTICS, Figure 5.4, 1994)

Η διαφοροποίηση των υαλοϋφασμάτων όπως αυτά απαντώνται στο εμπόριο μπορεί να γίνει σε δύο βασικές κατηγορίες όπου με τις παραλλαγές αυτών πλαισιώνεται το μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος τους. Πριν την παράθεση όμως αυτών πρέπει να αναφερθεί πως η κοστολόγηση όλων των υφασμάτων γίνεται σε μονάδες βάρους (χιλιόγραμμα - kg) ενώ το χαρακτηριστικό τους μέγεθος το οποίο αναγράφεται συνήθως δίπλα στον τύπο τους, είναι το βάρος τους εκφρασμένο σε γραμμάρια προς την επιφάνεια εκφρασμένη σε τετραγωνικά μέτρα (gr/m^2).

Glass Fiber Mats (Υαλοπίλημα): Αποτελούν πολυκατευθυντικά υαλοϋφάσματα κατά κύριο λόγο από ίνες γυαλιού τύπου E. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα CFM (Continuous Filament Mat) που αποτελούνται από συνεχείς μακριές ίνες πλεγμένες μεταξύ τους σε διάφορες διευθύνσεις και τα CSM (Copped Strand Mats) όπου οι ίνες σε μικρότερου μήκους τεμάχια (25-50 mm) διασπείρονται ομοιόμορφα σε μία επιφάνεια και συγκρατούνται μεταξύ τους με κόλλα στην κατηγορία Emulsion (πιο διαδεδομένη, γενικής χρήσης ιδανική για πολυεστερικές ρητίνες) και με πούδρα/σκόνη στην κατηγορία Powder (ενδείκνυται περισσότερο για χρήση με εποξικές ρητίνες). Τα υφάσματα MAT θεωρούνται το βασικότερο είδος ενίσχυσης εξαιτίας της ευκολίας

μορφοποίησης τους όταν εμποτιστούν με ρητίνη ενώ δεν απαιτείται η τοποθέτησή τους να γίνεται σε ενιαία μορφή παρά μόνο να μην αφήνονται κενά μεταξύ των κομματιών.

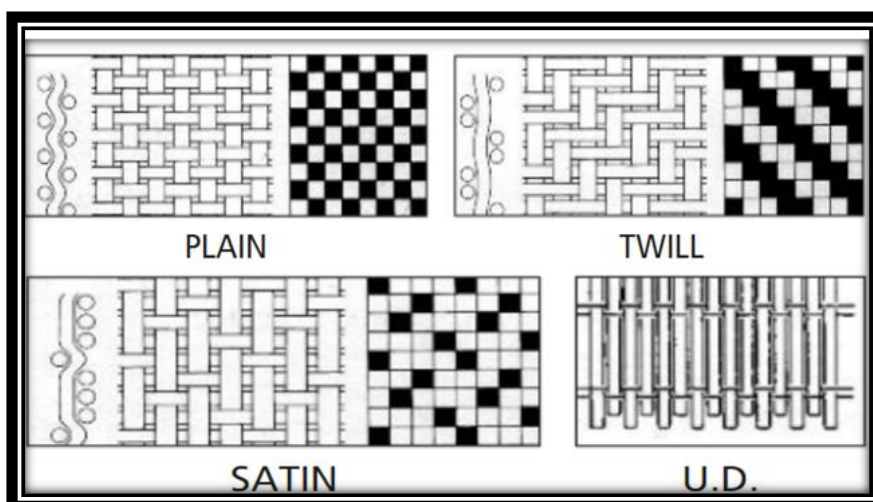
(Lawrence Colin Bank, 2006)

ΤΥΠΟΣ	ΒΑΡΟΣ (gr/m ²)	ΠΑΧΟΣ (mm)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΡΗΤΙΝΗ (kg/m ²)	ΠΑΧΟΣ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟ (mm)
MAT225	225	0.3	0.6	0.5
MAT300	300	0.4	0.7	0.7
MAT450	450	0.6	1	1
MAT600	600	0.8	1.4	1.3

Πίνακας 2.7-2: Εμπορικά χαρακτηριστικά υαλοϋφασμάτων MAT.

Πηγή: (Ανδρέου, www.andreou.gr)

Glass Fiber Fabrics (Πλεχτά υαλοϋφάσματα): Αποτελούνται από συνεχείς ίνες γυαλιού πλεγμένες σε σχηματικά μοτίβα (τετραγωνικό, παράλληλες διαγώνιους, σατέν). Τοποθετούνται σε συνδυασμό με υφάσματα τύπου MAT αφενός για την καλύτερη σταθεροποίηση και αφετέρου με σκοπό την πρόσδοση πολυκατευθυντικής αντοχής υψηλότερη από αυτή των πολλαπλών στρώσεων με CSM. Η εφαρμογή τους είναι ελαφρώς δυσκολότερη από αυτή των MAT όμως σε περίπτωση που η βαφή δεν γίνει εντός καλουπιού προσδίδουν ομαλότερη επιφάνεια.



Εικόνα 2.7-4: Είδη πλέξης υαλοϋφασμάτων.

Πηγή: (Ανδρέου, www.andreou.gr)

ΤΥΠΟΣ	ΒΑΡΟΣ (gr/m ²)	ΠΑΧΟΣ (mm)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΡΗΤΙΝΗ (kg/m ²)	ΠΑΧΟΣ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟ (mm)
WR300	300	0.5	0.6	0.6
WR500	500	0.8	0.8	0.9
WR600	600	0.9	0.9	1
WR800	800	1.1	1.2	1.3

Πίνακας 2.7-3: Εμπορικά χαρακτηριστικά υαλοϋφασμάτων *Woven Roving*.
Πηγή: (Ανδρέου, www.andreou.gr)

Επιπρόσθετα, στο εμπόριο υπάρχουν έτοιμα υφάσματα αποτελούμενα από μία στρώση *MAT* και μία *Woven Roving* με την εμπορική ονομασία *COMBIMAT* καθώς επίσης και συνδυασμός *unidirectional* υφασμάτων πολλαπλών στρώσεων σε διάφορες γωνίες. Τα υφάσματα αυτά ονομάζονται πολυσύνθετα και εμπορικά αναφέρονται στον αριθμό των αξόνων βάσει των γωνιών τους. Δηλαδή ένα πολυσύνθετο δύο στρώσεων ονομάζεται *Biaxial* (για παράδειγμα ένα *biaxial* πολυσύνθετο ύφασμα μπορεί να έχει άξονες +45°, -45°), προσθέτοντας στο προηγούμενο παράδειγμα άλλη μία στρώση με κατεύθυνση προς το διαμήκη άξονα (0°) έχουμε ένα *Triaxial* πολυσύνθετο ύφασμα. Θεωρητικά θα μπορούσαν να προστεθούν άπειροι άξονες όμως για λόγους ευκολίας, μορφοποίησης, αλλά κυρίως εμποτισμού τους, στο εμπόριο κυρίως απαντώνται μέχρι *Quadriaxial* τεσσάρων αξόνων.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως για την ορθή αποθήκευση ενδείκνυται περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας, μακριά από ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία και σκόνη, ενώ η χρήση προστατευτικών μέσων (ολόσωμη φόρμα, γυαλιά, μάσκα και γάντια) θεωρείται απαραίτητη κατά τη διάρκεια των εργασιών εξαιτίας της επικινδυνότητας τους σε περίπτωση εισπνοής, αλλά και της δυνατότητας εισχώρησης λόγω της διατομής τους στο δέρμα, προκαλώντας κνησμό.

3. Πορεία κατασκευής

3.1. Κατασκευή ξύλινου μοντέλου (Πρωτότυπο)

Για τη κατασκευή του μοντέλου, του ιστιοφόρου σκάφους «*Gentle Breeze*» σε σχέδιο του κυρίου Αναστάσιου Μισθού (Μισθός, 2020), αποφασίστηκε να κατασκευαστεί αρχικά ένα ξύλινο μοντέλο σε κλίμακα 1:10, εξωτερικά αυτού να δημιουργηθεί καλούπι με υαλοϋφάσματα και πολυεστερικές ρητίνες (*GRP*) και τέλος, από αυτό, να δημιουργηθεί το τελικό σκάφος των δοκιμών με τα ίδια ακριβώς υλικά. (*Misthos & Mazarakos*, 2019).

Το βασικό σκάφος έχει τα εξής κύρια χαρακτηριστικά:

LOA: 7,20 m

LWL: 7,20 m

BREADTH: 2,52 m

DRAUGHT: 0,20 m

DISPLACEMENT: 1280 kg (approx.)

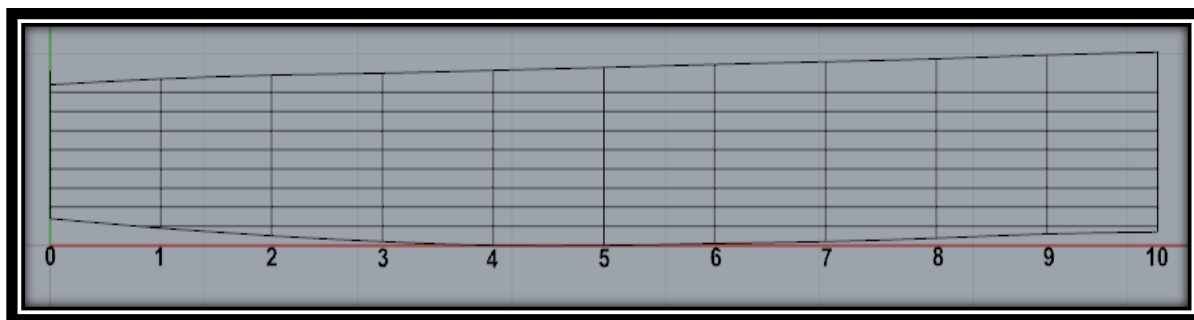
Το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών έχει προκύψει από το λογισμικό *Rhinoceros v.5* όπου έχουν γίνει σε αυτό όλες οι απαραίτητες εξομαλύνσεις και διορθώσεις ενώ ως σημεία αναφοράς ορίστηκαν το $Z=0$ για τη *baseline*, $X=0$ στο νομέα $Fr 0$ όπου συμπίπτει η πρύμνη άβακα και ως προς το ημιπλάτος $Y=0$ για τη *centerline*. (*Rhinoceros v.5*, <https://www.rhino3d.com>)

Για την ολοκλήρωση του ξύλινου μοντέλου του σκάφους σε κλίμακα 1:10 ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία χωρισμένη σε επτά βασικά στάδια κατασκευής.

Στάδιο1. Εξαγωγή και αποτύπωση διαμήκους μορφής.
Στάδιο2. Εξαγωγή και αποτύπωση νομέων.
Στάδιο3. Κοπή και διαμόρφωση δομικών στοιχείων.
Στάδιο4. Συναρμολόγηση.
Στάδιο5. Εξωτερικό περίβλημα.
Στάδιο6. Ομαλοποίηση εξωτερικής επιφάνειας.
Στάδιο7. Βαφή και τελικό φινίρισμα.

3.1.1. Εξαγωγή και αποτύπωση διαμήκου μορφής

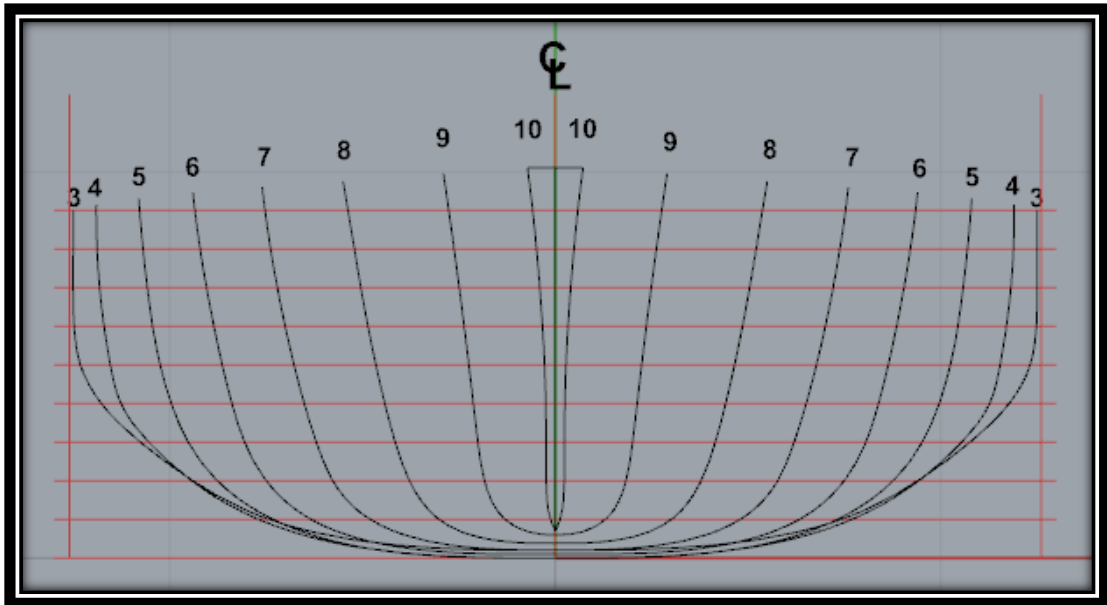
Αρχικά πραγματοποιήθηκε εκτύπωση της διαμήκου μορφής του σκάφους (*Sheer Plan*) κατά το επίπεδο συμμετρίας σε κλίμακα 1:10 και στη συνέχεια η αποτύπωσή της σε κόντρα πλακέ μοντελισμού πάχους 6mm. Σε αυτό το σημείο αναφέρεται για τη μετέπειτα πορεία της εργασίας η εμφάνιση σφάλματος ως προς το πλάτος του προωραίου νομέα FR 10 στο ύψος του καταστρώματος, της τάξεως του 53%. Το σφάλμα αυτό προέκυψε λόγω κατασκευαστικής δυσκολίας κι ενώ θεωρείται μη αποδεκτό, παρακάμφθηκε καθώς ελαχιστοποιείται τόσο στο ύψος της ισάλου πλεύσης που έχει ορίσει ο σχεδιαστής, όσο και σε ενδεχόμενη αύξηση του βυθίσματος χωρίς τη μεταβολή της γεωμετρίας των γραμμών ροής.



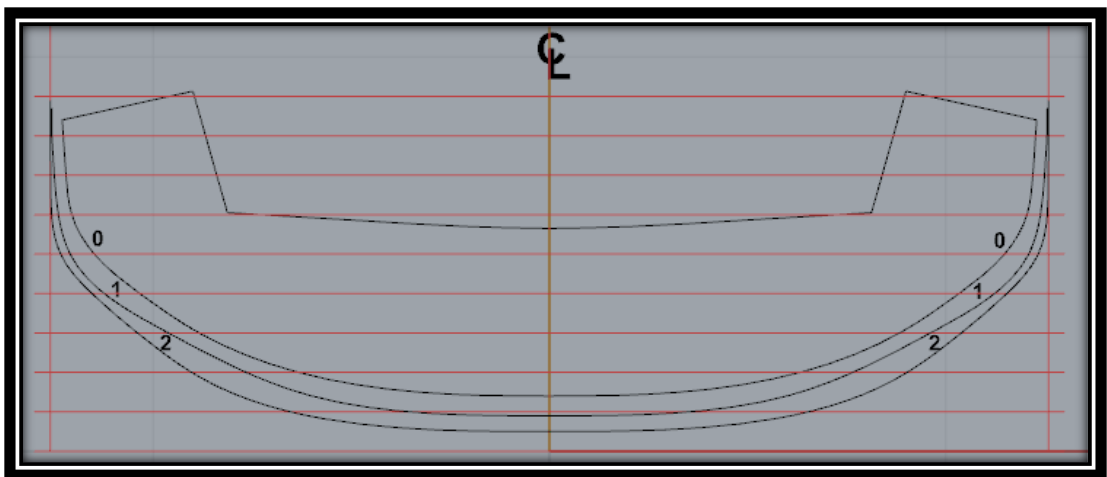
Εικόνα 3.1-1: Sheer plan.

3.1.2. Εξαγωγή και αποτύπωση νομέων

Χρησιμοποιώντας την εντολή *mirror* του λογισμικού δημιουργούμε το πλήρες ανάπτυγμα των νομέων του σκάφους χωρίζοντάς τους από τον μέγιστο σε πλάτος, (νομέας 3), τους προς την πλώρη 4, 5, 6, 7, 8 και 9 εξαιρώντας τον ακροπροωραίο νομέα 10, και τους πρυμναίους νομείς 2, 1 και 0.



Εικόνα 3.1-2: Body plan.

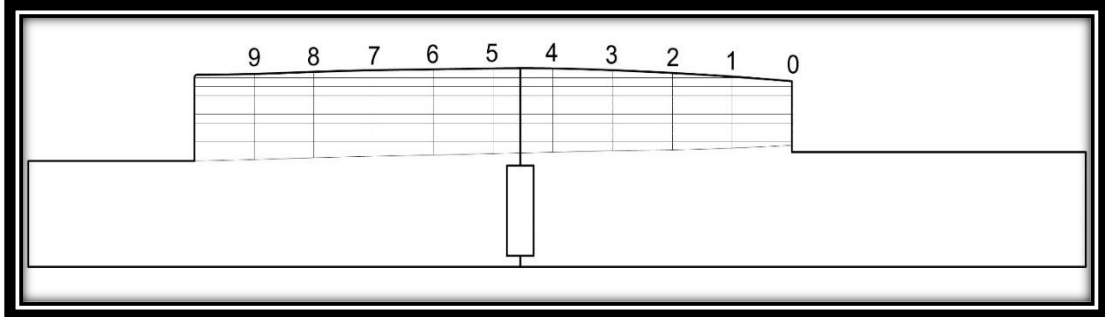


Εικόνα 3.1-3: Body plan, aft frames.

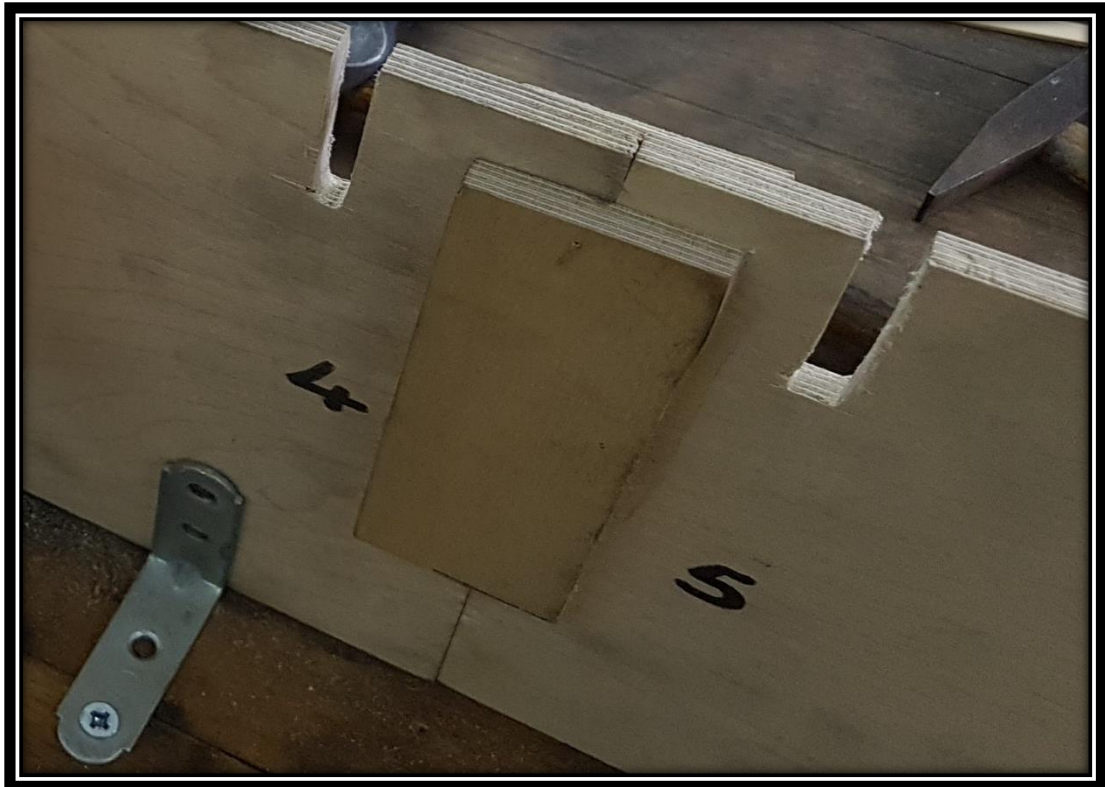
Οι νομείς όπως και το διάμηκες σχέδιο του σκάφους, κατά το επίπεδο συμμετρίας, αποτυπώνονται, ο κάθε ένας ξεχωριστά μέσω ριζόχαρτου, σε κόντρα πλακέ πάχους $6mm$ στην ίδια πάντα κλίμακα. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί πως στους νομείς έχει γίνει περιφερειακή μείωση των διαστάσεών τους περίπου κατά $1,5mm$ για τον λόγο της επικάλυψης με εξωτερικό περίβλημα (πέτσωμα) πάχους $1mm$, της χρήσης στόκου για την κάλυψη επιφανειακών ατελειών και της τελικής βαφής της εξωτερικής επιφάνειας.

Το μήκος της ξύλινης επιφάνειας κόντρα πλακέ κατά την αποτύπωση του *Sheer Plan* ($0,72m$), ήταν της τάξης των 60 εκατοστών με αποτέλεσμα να χρησιμοποιήσουμε δύο

τμήματα εν σειρά. Για την σταθεροποίηση τους χρησιμοποιήθηκε τμήμα από το ίδιο υλικό με τρόπο ώστε να επικαλύπτει τα δυο τεμάχια και με τη χρήση κόλλας μοντελισμού επήλθε το αποτέλεσμα που αποτυπώνεται στο σχέδιο της εικόνας 3.1-4.



Εικόνα 3.1-4: Λεπτομέρεια ένωσης τμημάτων για την κατασκευή της center line.



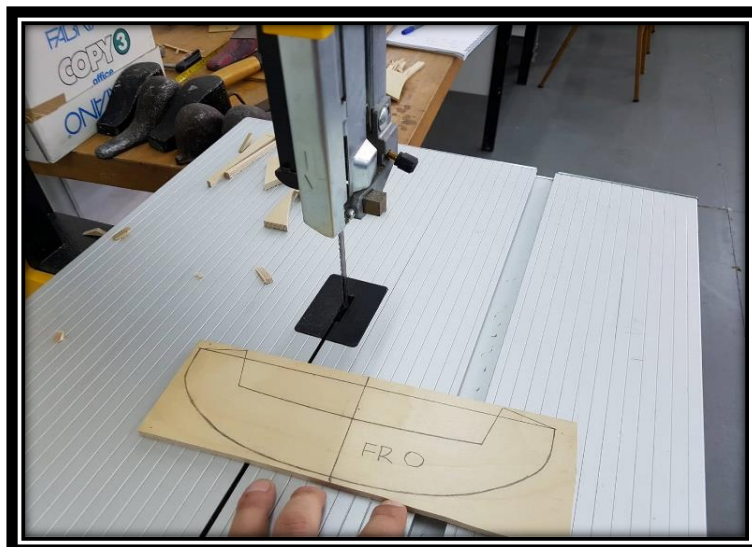
Εικόνα 3.1-5: Απεικόνιση ένωσης τμημάτων για την κατασκευή της center line.

3.1.3. Κοπή και διαμόρφωση δομικών στοιχείων

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την κοπή όλων των νομέων του μοντέλου στη πριονοκορδέλα του εργαστηρίου των ναυπηγικών χαράξεων του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, καθώς επίσης και τη διαμόρφωση όλων των στοιχείων προς συναρμολόγηση που το απαρτίζουν.



Εικόνα 3.1-6: Πριονοκορδέλα του εργαστηρίου των ναυπηγικών χαράξεων.

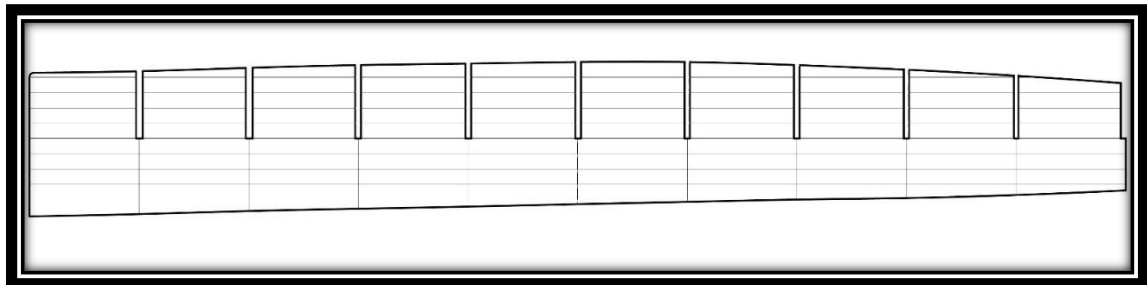


Εικόνα 3.1-7: Διαδικασία κοπής των νομέων.

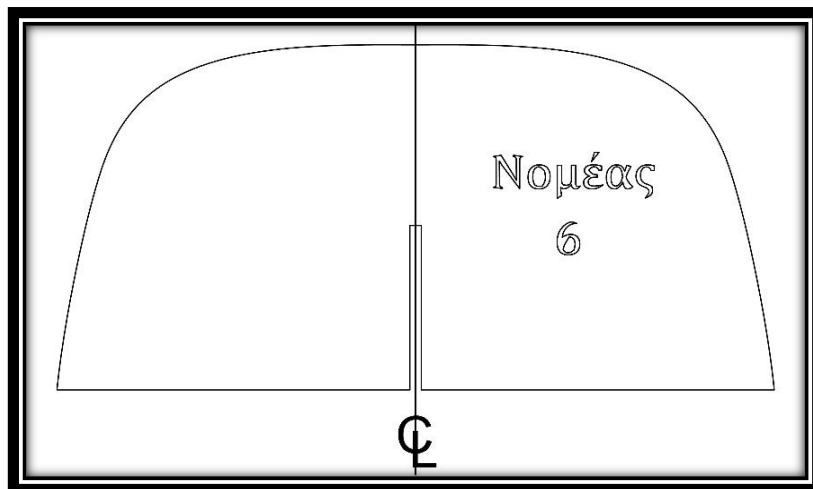


Εικόνα 3.1-8: Νομείς πριν την τελική διαμόρφωση.

Για να καταστεί εφικτή η συναρμολόγηση των επιμέρους στοιχείων του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εγκοπών όπως φαίνεται στα σχέδια των εικόνων που ακολουθούν.



Εικόνα 3.1-9: Σχέδιο απεικόνισης εγκοπών στην centerline.

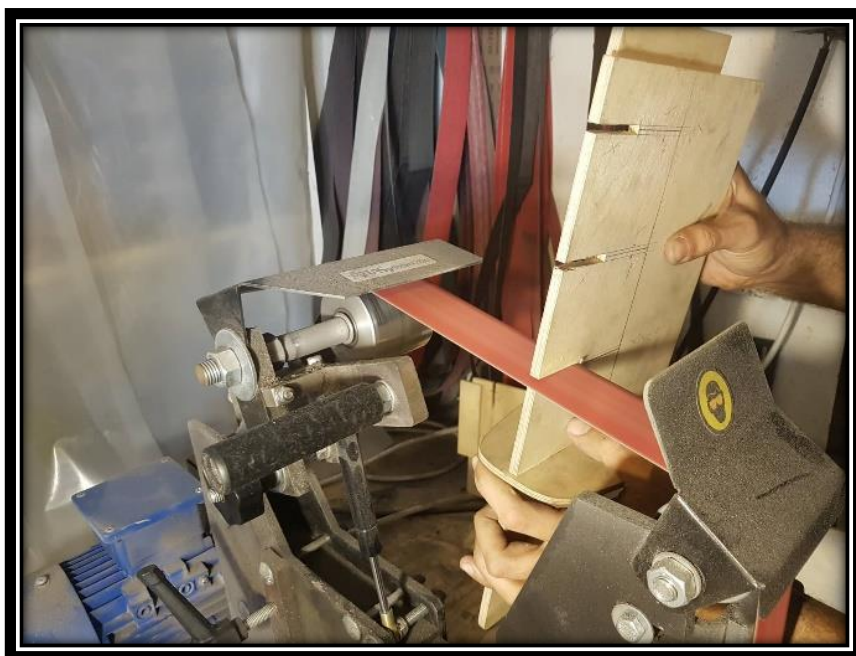


Εικόνα 3.1-10: Σχέδιο απεικόνισης εγκοπής νομέα.

Οι εγκοπές σχεδιάστηκαν με πλάτος 6mm τόσο στους νομείς όσο και στην *center line*, ενώ παράλληλα οι εσωτερικές ακμές λειάνθηκαν με λειαντήρα και υαλόχαρτο τοπικά, με σκοπό την πρόσδοση ανοχής αρχικά και τελικής συναρμογής μέσω κόλλας και σφηνών για να επιτραπούν οι απαραίτητες διορθώσεις όπως περιγράφονται στο επόμενο στάδιο.



Εικόνα 3.1-11: Διαδικασία διαμόρφωσης εγκοπών στους νομείς.



Εικόνα 3.1-12: Διαδικασία λείανσης των εγκοπών στη *centerline* με λειαντήρα.

3.1.4. Συναρμολόγηση

Στο στάδιο αυτό έλαβε χώρα η συναρμολόγηση και συγκόλληση των δομικών στοιχείων. Αρχικά κατασκευάστηκαν μικρές σφήνες από τις σανίδες του κελύφους (πετσώματος), οι ακμές των οποίων διαμορφώθηκαν με υαλόχαρτο σε μεγάλο πλήθος γωνιών, με σκοπό την αρχική σταθεροποίηση αλλά και την επίτευξη της καθετότητας μεταξύ του διαμήκους στοιχείου και των νομέων.

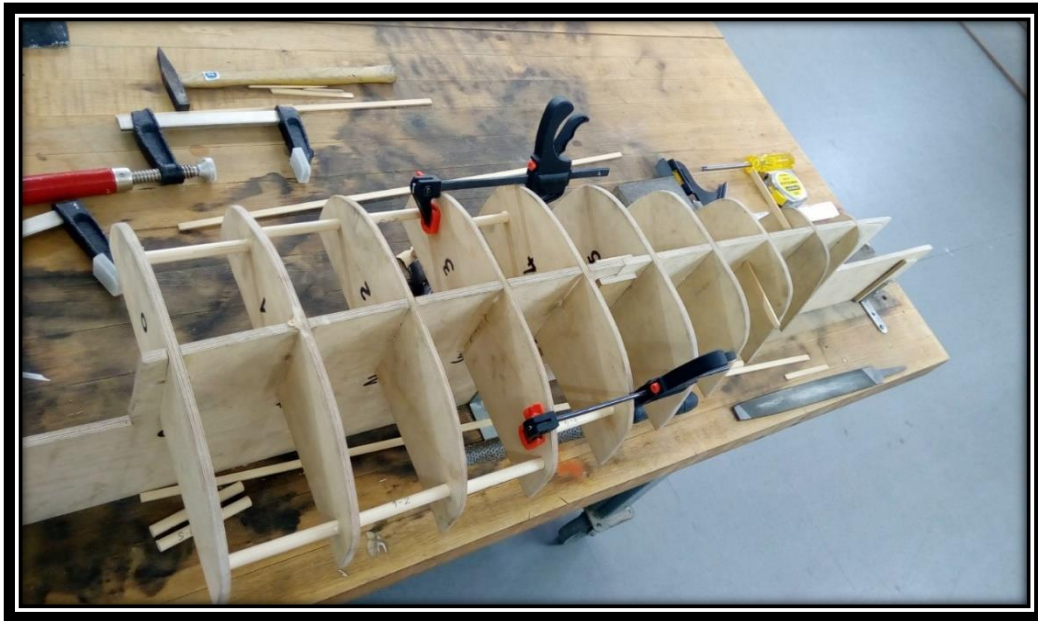
Για τη συγκόλληση χρησιμοποιήθηκε κρυσταλιζέ κόλλα ξυλείας βραδείας πήξεως, ούτως ώστε να υπάρχει το χρονικό περιθώριο διορθώσεων σε όλη τη διαδικασία συναρμολόγησης. Οι σφήνες τοποθετήθηκαν τόσο εγκάρσια όσο και παράλληλα καθ' ύψος του διαμήκους στοιχείου όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο, με το αποτέλεσμα να παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.1-13: Συγκόλληση νομέων και σταθεροποίηση τους μέσω σφηνών.

Η ολοκλήρωση της συναρμολόγησης έγινε με την τοποθέτηση αποστατών μεταξύ των νομέων. Οι ξύλινοι δοκοί κυλινδρικής διατομής $8mm$, κόπηκαν σε 18 τεμάχια (δεν χρησιμοποιήθηκαν μεταξύ των νομέων 9 και 10), μήκους $66mm$ σύμφωνα με την ποιοτική σχέση [$Μήκος\ αποστάτη = Ισαπόσταση\ νομέων - Πάχος\ νομέα$]. Η τοποθέτηση τους έγινε κατά το εγκάρσιο στα $3/4$ του ημιπλάτους και στα $3/5$ του ύψους του εκάστοτε νομέα, εκατέρωθεν του διαμήκους άξονα, με το λόγο ύπαρξης τους να συνοψίζεται σε τρία βασικά σημεία.

- Την εξασφάλιση της ισαπόστασης και της παραλληλίας μεταξύ των νομέων.
- Την ελαχιστοποίηση παραμενουσών τάσεων από τη διαδικασία της κόλλησης.
- Τη δομική ενίσχυση του ξύλινου μοντέλου προς αποφυγή καταστροφής του κατά την ιδιαίτερος απαιτητική και επίπονη, δομικά, διαδικασία ξεκαλουπώματος του πολυεστερικού καλουπιού-μήτρας.



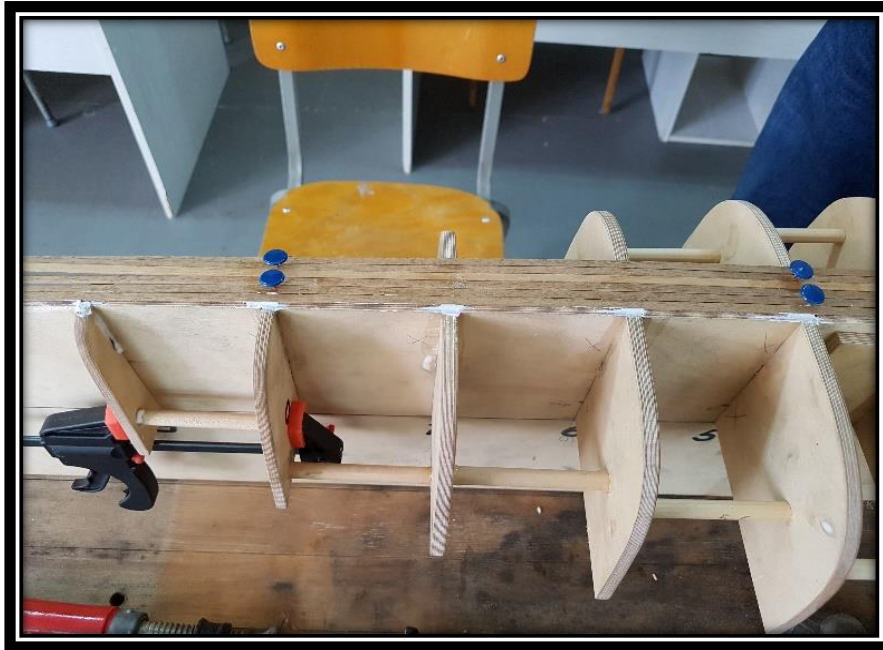
Εικόνα 3.1-14: Τοποθέτηση αποστατών και συγκράτηση τους.

3.1.5. Εξωτερικό περίβλημα

Με τα δομικά μέρη του μοντέλου ορθώς συναρμολογημένα και σταθερά συγκολλημένα, ακολούθησε η τοποθέτηση του εξωτερικού περιβλήματος (πέτσωμα). Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν εύκαμπτες σανίδες μοντελισμού, από ξύλο τύπου *Balsa*, με πλάτος 4mm, πάχος 1mm και μήκος 1m, ενώ για την ένωση χρησιμοποιήθηκε κρυσταλλική κόλλα ξύλου ταχείας πήξεως.

Οι σανίδες του περιβλήματος ξεκίνησαν να τοποθετούνται εφαπτόμενη η μία της άλλης, από το διάμηκες στοιχείο στο υψομετρικό επίπεδο της *baseline*, προς τα επάνω στις πλευρές (παρειές) του σκάφους και ταυτόχρονα από το ανώτατο σημείο των πλευρών (εκεί που καταλήγει το κατάστρωμα) προς τα κάτω.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε πως το σκάφος μας, σε όλα τα στάδια κατασκευής του, κείται ανεστραμμένο, όπως φαίνεται και στο φωτογραφικό υλικό.



Εικόνα 3.1-15: Τοποθέτηση σανίδων κελύφους (1/2).



Εικόνα 3.1-16: Τοποθέτηση σανίδων κελύφους (2/2).

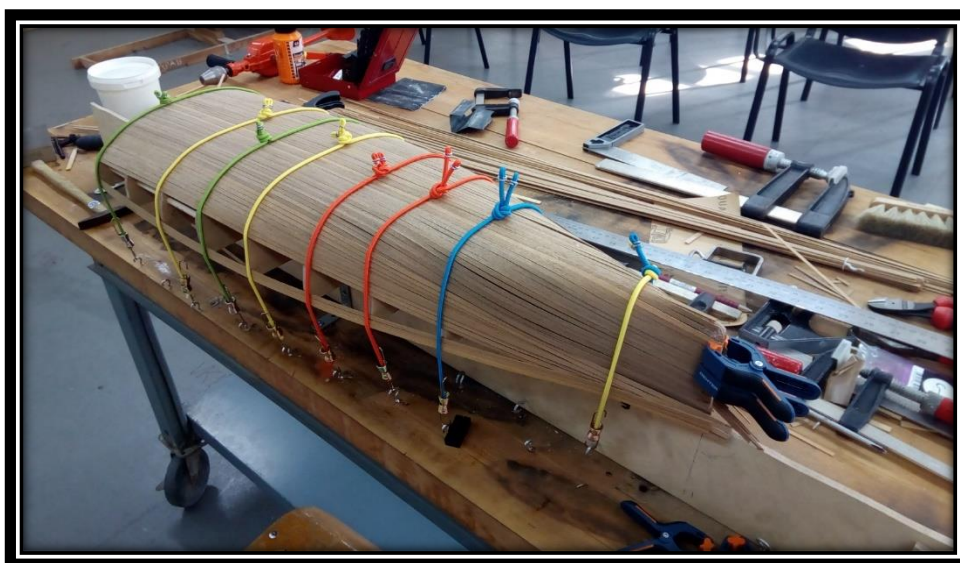
Για την σταθεροποίηση των σανίδων του περιβλήματος στη θέση τους κατά τη συγκόλληση, χρησιμοποιήθηκαν ελαστικοί μάντες συγκρατούμενοι σε μεταλλικά άγκιστρα, βιδωμένα στην επιφάνεια του πάγκου εργασίας. Η θέση τους επιλέχθηκε ούτως ώστε να ασκείται πίεση σε όλη την επιφάνεια του πάχους των νομέων (η οποία

αποτελεί και το σύνολο της επιφάνειας συγκόλλησης) και ορίστηκε εκατέρωθεν των νομέων ως προς τον διαμήκη άξονα με την απόσταση από αυτόν να ορίζεται ως το εκάστοτε ημιπλάτος.



Εικόνα 3.1-17: Ελαστικοί ιμάντες συγκράτησης κελύφους.

Στην πλώρη του σκάφους, όπου οι σανίδες του περιβλήματος συγκλίνουν, συγκρατήθηκαν στο διάμηκες στοιχείο του μοντέλου με πλαστικούς σφιγκτήρες όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.1-18: Σύνολο στοιχείων συγκράτησης σανίδων κελύφους.

Η γάστρα δεδομένου ότι το πλοίο αποτελεί σχήμα ελεύθερης μορφής (*free form shape*), δεν αναμενόταν όπως και έγινε να καλυφθεί πλήρως με σανίδες ορθογωνικής διατομής χωρίς να δημιουργηθούν κενά. Συνεπώς στο σημείο της σύγκλισης των δυο σειρών (πυθμένα-καταστρώματος), στο ύψος των παρειών του σκάφους, δημιουργήθηκαν τμήματα σανίδων με σφηνοειδή μορφή για την κάλυψη τους.



Εικόνα 3.1-19: Σφηνοειδή τμήματα σανίδων κελύφους.



Εικόνα 3.1-20: Ολοκλήρωση κελύφους, starboard πλώρη έως μέση τομή.



Εικόνα 3.1-21: Ολοκλήρωση κελύφους, starboard μέση τομή έως πρύμνη.

3.1.6. Ομαλοποίηση εξωτερικής επιφάνειας

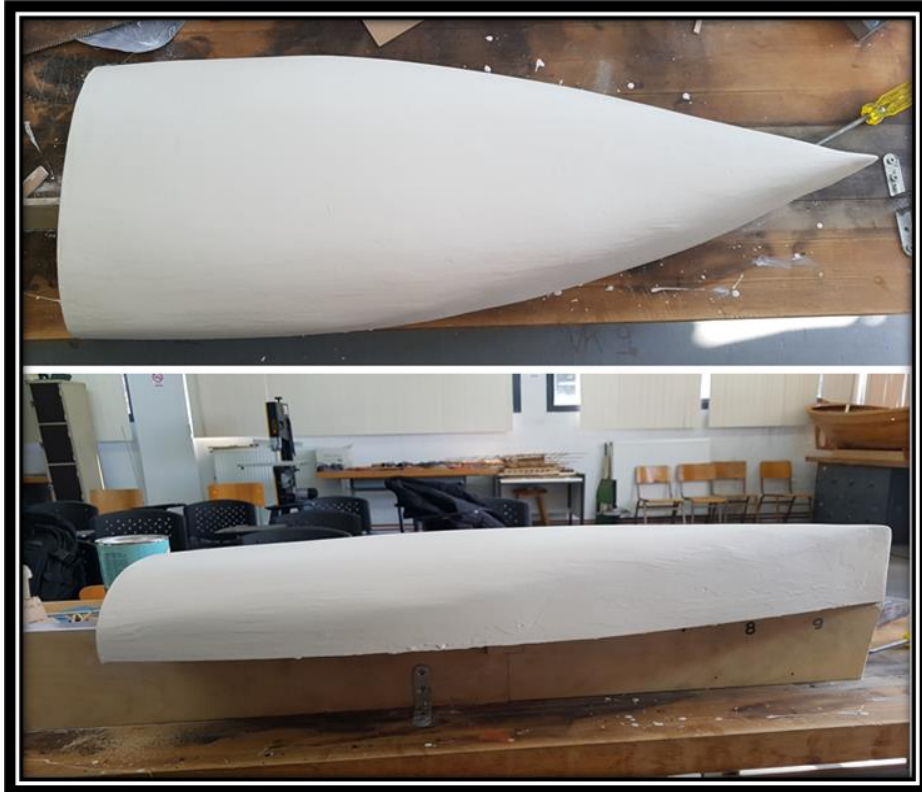
Σε αυτό το στάδιο το μοντέλο, με ολοκληρωμένο το εξωτερικό του περίβλημα, θα υποβληθεί σε ελαφρύ τρίψιμο της επιφάνειάς του, θα καλυφθεί με ακρυλικό στόκο ο οποίος θα τριφτεί με χονδρό P80 και στη συνέχεια λεπτόκοκκο P240 υαλόχαρτο ξηράς τριβής, προς ομαλοποίηση της εξωτερικής επιφάνειας. Η διαδικασία αυτή αποδείχτηκε η πιο χρονοβόρα της κατασκευής, καθώς απαιτήθηκε η επανάληψη της δύο ακόμα φορές πέραν της αρχικής, με το χρόνο μεταξύ αυτών να κυμαίνεται στις 48 ώρες, ούτως ώστε ο στόκος να σταθεροποιηθεί και να αποκτήσει όλες τις μηχανικές του ιδιότητες πριν την επεξεργασία του. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται η εξέλιξη της επιφάνειας διαχωρισμένη σε τρεις κύκλους εργασιών και το τελικό αποτέλεσμα έπειτα από την εφαρμογή λευκού υποστρώματος νιτροκυτταρίνης (*surfacer nitre*).



Εικόνα 3.1-22: Ενδεικτική απεικόνιση μοντέλου, έπειτα από κάθε επικάλυψη με ακρυλικό στόκο.



Εικόνα 3.1-23: Το μοντέλο μετά το πέρας των εργασιών του πρώτου κύκλου.



Εικόνα 3.1-24: Το μοντέλο μετά το πέρας των εργασιών του δεύτερου κύκλου.



Εικόνα 3.1-25: Το μοντέλο μετά το πέρας των εργασιών του τρίτου κύκλου και την εφαρμογή νιτροκυτταρίνης.

3.1.7. Βαφή και τελικό φινίρισμα

Στο τελευταίο στάδιο κατασκευής πραγματοποιείται η διαδικασία της βαφής και το τελικό φινίρισμα της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας. Η αρχική ιδέα ήταν η βαφή της επιφάνειας σε μαύρο γυαλιστερό χρώμα, με ακρυλικό σπρέι, τόσο για λόγους αισθητικής αλλά κυρίως για προστασία μέσω του σφραγίσματος των πόρων που ενδεχομένως να μην είχαν καλυφθεί από την εφαρμογή νιτροκυτταρίνης. Η εφαρμογή της βαφής έγινε κρατώντας το σπρέι σε απόσταση περίπου 15cm από την επιφάνεια, ενώ το χέρι εκτελούσε παλινδρομική, μεταφορική κίνηση κατά το διαμήκη άξονα προς ομοιόμορφη κατανομή του χρώματος.



Εικόνα 3.1-26: Διαδικασία βαφής μαύρου χρώματος.

Μετά την κάλυψη όλης της επιφάνειας αφέθηκε 45 λεπτά για να στεγνώσει και εφαρμόστηκε η διαδικασία ακόμα μια φορά.



Εικόνα 3.1-27: Ολοκλήρωση αρχικής βαφής.

Η ολοκλήρωση της βαφής, μας έφερε αντιμέτωπους με μια νέα πρόκληση. Αντί της ανάδειξης της επιφάνειας, εμφάνισε όλες τις ατέλειες της (εκκολπώματα, ρωγμές, πόρους και μικρές ανωμαλίες της γεωμετρίας).

Προς επίλυση του ζητήματος αυτού κινηθήκαμε σε δυο άξονες, έναν στρατηγικό που περιελάμβανε τον επαναπροσδιορισμό των στόχων του σταδίου της βαφής κι έναν τακτικό που αφορούσε τον άμεσο τρόπο αντιμετώπισης των τεχνικών προβλημάτων. Ως νέος στόχος τέθηκε η ανάδειξη των ατελειών μέσω του σταδίου της βαφής. Πιο συγκεκριμένα, αναζητήσαμε έναν μηχανισμό που θα μας επέτρεπε να δούμε πού χρειάζονται παρεμβάσεις, σε τι βάθος γίνονται κι αν το αποτέλεσμα τους είναι το αναμενόμενο.

Ορμώμενοι από τη φιλοσοφία της εντολής *zebra* του σχεδιαστικού λογισμικού *Rhinoceros* για οπτικό έλεγχο επιφανειών, αποφασίστηκε η βαφή με έντονες αντιθέσεις και ανοιχτά χρώματα, σε στρώσεις (*layers*), για να εμφανίζονται ευκολότερα οι γεωμετρικές ανωμαλίες υπό το φως και σε τακτικό επίπεδο, η παρακάτω πορεία δράσης:

1. Τοπική εφαρμογή ακρυλικού στόκου στα εκκολπώματα και τους πόρους.

2. Διάνοιξη των ρωγμών, εφαρμογή στόκου και εκ νέου λείανση με υαλόχαρτο μικρής τραχύτητας P320.

Αρχικά εφαρμόστηκαν τρία χέρια ακρυλικού μεταλλικού χρώματος σε σπρέι με κόκκινη-μωβ απόχρωση (*magenta*) με το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.1-28: Δεύτερο στρώμα βαφής, Magenta.

Έγιναν οι απαραίτητες επιδιορθώσεις.



Εικόνα 3.1-29: Επιδιορθώσεις δεύτερου χρωματικού στρώματος.

Αφαιρέθηκε η περίσσεια στόκου με ναλόχαρτο, περάστηκε ένα ακόμη χέρι από το ίδιο χρώμα, σηματοδεύτηκαν οι περιοχές που υπήρχε ακόμη πρόβλημα και έγιναν πάλι επιδιορθώσεις.



Εικόνα 3.1-30: Τελικές επιδιορθώσεις δεύτερου χρωματικού στρώματος.

Στη συνέχεια αφαιρέθηκε και πάλι η περίσσεια στόκου και εφαρμόστηκαν εκ νέου τρία χέρια μαύρο χρώμα προς σύγκριση με το αρχικό και αντίθεση με το προηγούμενο στρώμα. όπως μπορούμε να δούμε στην επόμενη εικόνα, είναι εμφανής η βελτίωση της επιφάνειας.



Εικόνα 3.1-31: Τρίτο στρώμα βαφής, Black.

Με σταθερή, ελαφριά πίεση στο υαλόχαρτο η μέθοδος απέδωσε και εμφανίστηκαν οι όποιες μικρομεταβολές στην καμπυλότητα.



Εικόνα 3.1-32: Επιδιορθώσεις τρίτου χρωματικού στρώματος.

Κατά πάγια πλέον διαδικασία, περάστηκε ένα ακόμη χέρι από το ίδιο χρώμα, σηματοδεύτηκαν οι περιοχές που υπήρχε ακόμη πρόβλημα και έγιναν πάλι επιδιορθώσεις.



Εικόνα 3.1-33: Τελικές επιδιορθώσεις τρίτου χρωματικού στρώματος.

Τέλος, έγινε η εφαρμογή ερυθρού χρώματος όπου αποφασίστηκε να είναι και το τελικό καθώς, αφενός στον εκτεταμένο οπτικό έλεγχο που έγινε η επιφάνεια κρίθηκε επαρκής ως προς την γεωμετρία και τη στιλπνότητα και αφετέρου οι περαιτέρω παρεμβάσεις ενδεχομένως να δημιουργούσαν περισσότερα προβλήματα από όσα θα έλυναν.



Εικόνα 3.1-34: Τελική μορφή ζόλινου πρωτοτύπου.

3.2. Κατασκευή πολυεστερικού καλουπιού (Μήτρα)

Έπειτα από την ολοκλήρωση του πρωτοτύπου (αρσενικό) ξεκίνησαν οι ενέργειες για την κατασκευή του πολυεστερικού καλουπιού. Αφού παρασχέθηκαν γενικές πληροφορίες κι έγινε παρουσίαση από το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών (Π.Ε.Τ.ΥΛ.) για τις ιδιότητες του πολυεστέρα και της εποξικής ρητίνης μέσω κατασκευής δοκιμών ορθογωνικής διατομής, αναζητήθηκε η μέθοδος κατασκευής που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Οι διαθέσιμες πληροφορίες (ηλεκτρονικές ή έντυπες) για την κατασκευή ήταν ελάχιστες λόγω της τεχνικής κι εμπειρικής φύσης του αντικειμένου, συνεπώς η άμεση επικοινωνία με πωλητές ρητινών και κατασκευαστές κρίθηκε απαραίτητη. Οι πληροφορίες που λάβαμε ήταν διάσπαρτες και βασισμένες κυρίως στην εμπειρία, που αν και συσσωρεύεται για περισσότερα από 40 χρόνια στον ελλαδικό χώρο, αφορά κυρίως στην κατασκευή μεγάλων γαστρών σε βιοτεχνικό ή βιομηχανικό επίπεδο και όχι στη δημιουργία μοντέλων των οποίων οι απαιτήσεις σε αντοχή είναι σημαντικά μικρότερες. Για το λόγο αυτό και δίνοντας

βαρύτητα στο κόστος, το οποίο θα ήταν τουλάχιστον 30% μεγαλύτερο για εξειδικευμένα υλικά υψηλότερων προδιαγραφών, αποφασίστηκε η αγορά συμβατικών υλικών για την υλοποίηση του εγχειρήματος με σκοπό την απόκτηση τεχνικής εμπειρίας ώστε να τεθούν οι βάσεις για μετέπειτα βελτιστοποίηση, μέσω της αποτύπωσης της διαδικασίας και καταγραφής των παρατηρήσεων.

3.2.1. Προετοιμασία επιφάνειας

Το αρχικό στάδιο της κατασκευής περιλαμβάνει την προετοιμασία της επιφάνειας πάνω στην οποία θα γίνει η τοποθέτηση της ρητίνης και των υαλοϋφασμάτων. Πριν όμως εκκινήσουμε τη διαδικασία στο πρωτότυπο επιχειρήσαμε την αποκόλληση του πολυεστερικού δοκιμίου που είχε δημιουργηθεί προ επτά ημερών στο εργαστήριο του Π.Ε.Τ.Υ.Α. για να δούμε τη συμπεριφορά του. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε πως το δοκίμιο ορθογωνικής διατομής, είχε διαστάσεις 14x7 cm, μήτρα από μη προεπιταχυνόμενη ρητίνη ορθοφθαλικού πολυεστέρα, περιεκτικότητα καταλύτη 1,5% w/w και ενίσχυση με υαλοπίλημα μίας στρώσης CSM MAT450 ενώ τοποθετήθηκε σε επιφάνεια από μελαμίνη για την προετοιμασία της οποίας χρησιμοποιήθηκαν τρεις στρώσεις βαζελίνης.



Εικόνα 3.2-1: Πειραματικό πολυεστερικό δοκίμιο.

Η αποκόλληση του δοκιμίου στο μέσο του έγινε με ευκολία, όμως στις ακμές όπου υπήρχε περίσσεια ρητίνης εμφανίστηκε κάποια μικρή δυσκολία που ενώ δεν τραυμάτισε το δοκίμιο, μας προβλημάτισε ως προς τον διαχωρισμό του καλουπιού με το πρωτότυπο για τους εξής λόγους:

- Η επιφάνεια του δοκιμίου είναι $0,0098m^2$ αισθητά μικρότερη των $0,2405m^2$ του πρωτοτύπου.
- Η επιφάνεια του πρωτοτύπου είναι καμπύλη με απότομες μεταβολές της γεωμετρίας τόσο στις ακμές της πλώρης όσο και στην πρύμνη άβακα (καθρέπτη) σε αντίθεση με την επιφάνεια του δοκιμίου.
- Τα υλικά της εξωτερικής επιφάνειας του πρωτοτύπου (ακρυλικός στόκος, νιτροκυτταρίνη, ακρυλικό σπρέι) ενώ δεν αντενδείκνυνται, δεν αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή εξαιτίας των ισχυρών καταπονήσεων τόσο κατά τον πολυμερισμό (θερμικά) όσο και κατά το διαχωρισμό (μηχανικά).
- Τέλος η εφαρμογή του πολυεστέρα εξωτερικά του πρωτοτύπου, δεδομένου ότι κατά την διαδικασία πολυμερισμού επέρχεται μία μικρή συστολή, ενδεχομένως να προκαλέσει συνθήκες σφιχτής συναρμογής μεταξύ των δύο με κίνδυνο δημιουργίας συσσωματώματος.

Με γνώμονα τους παραπάνω προβληματισμούς, επιλέξαμε να κάνουμε την κατά το δυνατό σχολαστικότερη προετοιμασία της επιφάνειας δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις ακμές και τις απότομες μεταβολές τις γεωμετρίας. Η διαδικασία ξεκίνησε χρησιμοποιώντας 6 στρώσεις αποκολλητικού κεριού τύπου *Honey Wax 250*, η εφαρμογή του οποίου έγινε με καθαρό πανί, με το χέρι να εκτελεί κυκλική κίνηση ενώ μεταξύ των στρώσεων αφέθηκε χρόνος 30 λεπτών προς απορρόφηση του υλικού. Τέλος επιπλέον του κεριού τοποθετήθηκαν και 3 στρώσεις από αποκολλητικό υγρό *PVA* το οποίο δημιουργεί ένα λεπτό φιλμ στην επιφάνεια αποτρέποντας τη δημιουργία συσσωματώματος, με την εφαρμογή του να γίνεται με πινέλο και το χρόνο μεταξύ των στρώσεων να είναι 20 λεπτά.

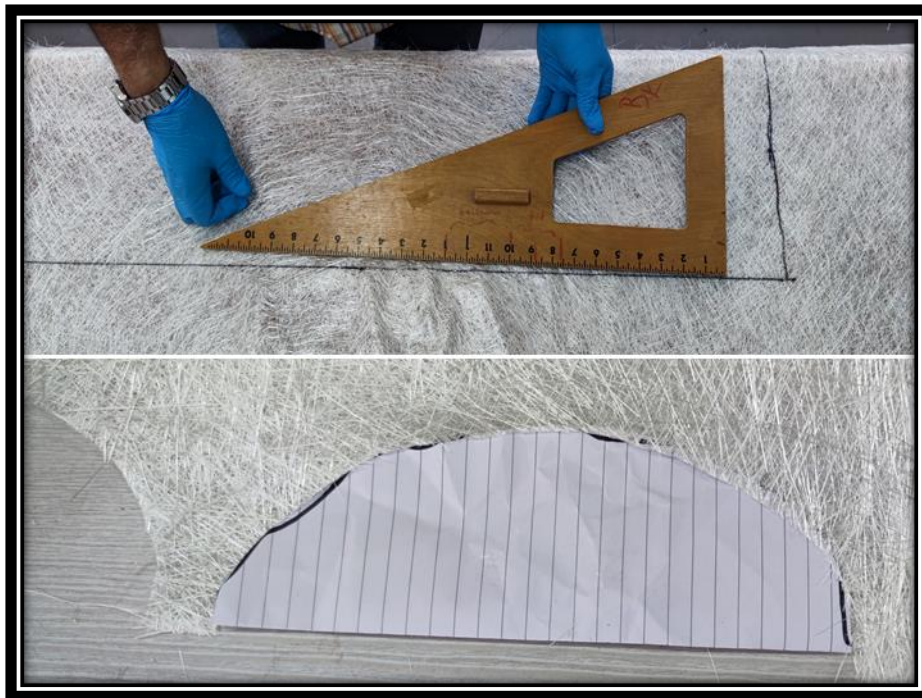


Εικόνα 3.2-2: Το πρωτότυπο με το πέρας της προετοιμασίας της επιφάνειας.

3.2.2. Τοποθέτηση πολυεστερικής ρητίνης και υαλοϋφασμάτων

Με την εξωτερική επιφάνεια έτοιμη κατά το μέγιστο δυνατό, σειρά είχε η τοποθέτηση της πολυεστερικής ρητίνης και των υαλοϋφασμάτων. Ως ρητίνη επιλέχθηκε προεπιταχυνόμενος ορθοφθαλικός πολυεστέρας τύπου *G102* και καταλύτης *M-50* ενώ για την ενίσχυση του επιλέχθηκε, ως πρώτη στρώση ύφασμα τύπου *Woven Roving WR600* κυρίως για την πρόσδοση ομαλής εσωτερικής επιφάνειας, ως δεύτερη ύφασμα τύπου *Copped Strand Mat MAT300* και τέλος τρεις στρώσεις *CSM MAT450* για πρόσδοση της απαραίτητης αντοχής και πάχους που ιδανικά θέλαμε να κυμαίνεται από 5 έως 7mm. Σε αντίθεση με την πάγια τακτική που θέλει την τοποθέτηση του επιχρίσματος *Gel Coat* ως πρώτο στρώμα πριν τη ρητίνη και τις ενισχύσεις, επιλέχθηκε η τοποθέτηση του ως εξωτερική βαφή στο τέλος της διαδικασίας για δύο βασικούς λόγους, αφενός για την δυνατότητα επιδιορθώσεων με πολυεστερικό στόκο σε όποιες ατέλειες παρουσιαστούν στον πολυεστέρα και αφετέρου σε περίπτωση αποτυχίας του εγχειρήματος να μην έχουμε να διαχειριστούμε ένα επιπλέον υλικό δεδομένου ότι σε αυτό το στάδιο κατασκευής διατηρούσαμε ισχυρές επιφυλάξεις ως προς το αποτέλεσμα.

Περνώντας στην κατασκευή, αρχικά μετρήθηκε το σκάφος με τη χρήση ευλύγιστης μετρητικής ταινίας (μεζούρα) με το κοίλο να είναι στο διάμηκες σημείο του μέγιστου πλάτους 35cm , το ύψος της πλώρης 9cm , της πρύμνης 7cm και το μήκος 72cm . Στη συνέχεια οριοθετήθηκαν και κόπηκαν τεμάχια από τα υφάσματα με μήκος 95cm και πλάτος 55cm με σκοπό (αν και δεν απαιτείται) το ύφασμα να τοποθετηθεί ενιαίο με την περίσσεια να κόβεται πριν το ξεκαλούπωμα ενώ με τη χρήση πατρόν κόπηκαν και δυο τμήματα για περαιτέρω ενίσχυση της πρύμνης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε, πως ενώ στα *MAT* υφάσματα η κοπή γίνεται εύκολα με ψαλίδι, κοπίδι ή ακόμα και με το χέρι, στα πλεχτά *Woven Roving* απαιτείται αιχμηρό κοπίδι ή ψαλίδι και ενδείκνυται στο σημείο κοπής πάνω στο ύφασμα να τοποθετείται χαρτοταινία ούτως ώστε να προστατεύει το ύφασμα από τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την κοπή με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη καταστροφή της ακμής του (ξέφτισμα).



Εικόνα 3.2-3: Μέτρηση και οριοθέτηση υφασμάτων.

Μετά την δοκιμαστική τοποθέτηση πάνω στο πρωτότυπο, χωρίς ρητίνη, έγιναν τομές στα υφάσματα *MAT* με ψαλίδι στο σημείο του καθρέπτη (δεξιά και αριστερά της *centerline*), της πλώρης και στα τρία τέταρτα του μήκους του σκάφους, ούτως ώστε να επιτρέπεται η ομοιόμορφη εφαρμογή τους, χωρίς να δημιουργούνται «τσακίσεις», ενώ

το WR600 όντας δυσκολότερο στη μορφοποίηση του, χωρίστηκε σε δύο τμήματα (πρύμνης- υπόλοιπου σκάφους). Σειρά είχε η προετοιμασία της ρητίνης που γινόταν τοποθετώντας ένα άδειο χάρτινο ποτήρι πάνω σε ζυγαριά ακριβείας, ακολουθούσε μηδενισμός της ζυγαριάς, τοποθέτηση περίπου 200gr ρητίνης σε αυτό, υπολογισμός 1,5% της τιμής ένδειξης της ζυγαριάς, πρόσθεση του αριθμού στην ένδειξη και σταδιακή προσθήκη καταλύτη (μια σταγόνα τη φορά) μέχρι η ένδειξη της ζυγαριάς να δείξει το υπολογισμένο άθροισμα. Ενδεικτικά, για 196gr αρχική ένδειξη της ζυγαριάς υπολογίζαμε $196 \times 1,5 \div 100 = 2,94gr$ στη συνέχεια $196 + 2,94 = 198,94gr$ άρα προσθέταμε σταδιακά καταλύτη μέχρι η ζυγαριά να φτάσει την τιμή $\cong 199gr$.

Με τα υφάσματα στοιβαγμένα κατά *L.I.F.O.* (*Last In First Out*) πλησίον του πάγκου εργασίας ξεκίνησε η διαδικασία τοποθετώντας με πινέλο μια στρώση ρητίνης στην εξωτερική επιφάνεια του πρωτοτύπου, τοποθέτηση του υφάσματος WR600, εμποτισμός αυτού πάλι με ρητίνη και πέρασμα με μεταλλικό ρολό προς απομάκρυνση θυλάκων αέρα.



Εικόνα 3.2-4: Διαδικασία τοποθέτησης ρητίνης και υαλοϋφασμάτων.

Στη συνέχεια πάνω στην προηγούμενη στρώση χωρίς προσθήκη ρητίνης, τοποθετήθηκε το ύφασμα MAT300, έγινε ο εμποτισμός του και απομακρύνθηκε ο

αέρας με το μεταλλικό ρολό ενώ με την ίδια τακτική τοποθετήθηκαν και οι τρεις στρώσεις υαλοπλήματος MAT450 δίνοντας το παρακάτω τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.2-5: Κατασκευή καλουπιού, πλάγια όψη.



Εικόνα 3.2-6: Κατασκευή καλουπιού, απεικόνιση πρύμνης.



Εικόνα 3.2-7: Κατασκευή καλουπιού, απεικόνιση πλώρης.

3.2.3. Διαδικασία αποκόλλησης-ξεκαλουπώματος

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, το καλούπι αφέθηκε επτά ημέρες ούτως ώστε να πολυμεριστεί πλήρως και να αναπτύξει τις μηχανικές του ιδιότητες πριν εκκινήσει η διαδικασία αποκόλλησης του, η οποία ξεκίνησε με την αφαίρεση της περίσσειας πολυεστέρα περιμετρικά, στο ύψος του καταστρώματος.



Εικόνα 3.2-8: Απεικόνιση καλουπιού πριν την αφαίρεση περίσσειας πολυεστέρα.

Αρχικά χαράχθηκε η περίμετρος στο ύψος του καταστρώματος με κοπίδι ούτως ώστε να δημιουργηθεί οδηγός κοπής.



Εικόνα 3.2-9: Περιμετρική χάραξη περίσσειας πολυεστέρα στο ύψος του καταστρώματος.

Στη συνέχεια με χρήση πριονόλαμας ξεκίνησε η κοπή από την πρύμνη, όμως η μέθοδος αποδείχθη ακατάλληλη καθώς η διαδικασία της κοπής ήταν εξαιρετικά χρονοβόρα, δύσκολη και ασταθής με αποτέλεσμα τον «τραυματισμό» του καλουπιού στη δεξιά πλευρά πλησίον της πρύμνης.



Εικόνα 3.2-10: Τραυματισμός του καλουπιού.

Η λύση δόθηκε με την αγορά κοπτικής κεφαλής για περιστροφικό πολυεργαλείο, διαμέτρου 22mm, με επίστρωση διαμαντιού και την τοποθέτηση του σε δράπανο. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως κατά τη διάρκεια της κοπής εκτός της χρήσης μάσκας κρίνεται απαραίτητη και η χρήση εργαλείου απορρόφησης πλησίον αυτής καθώς η σκόνη που δημιουργείται είναι ιδιαίτερος επικίνδυνος για την υγεία.



Εικόνα 3.2-11: Ενδεικτική εικόνα του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε.

Μετά την αφαίρεση της περίσσειας πολυεστέρα τοποθετήθηκε μεταξύ των δύο επιφανειών λεπτόγραμμη μεταλλική ράβδος πάχους 2mm με σκοπό την εισχώρηση αέρα στο διάκενο.



Εικόνα 3.2-12: Δημιουργία διάκενου με τη χρήση μεταλλικής λάμας.

Θεωρητικά σε μία ιδανικά φτιαγμένη κατασκευή, η παρουσία αέρα σε συνδυασμό με ελαφρύ χτύπημα του καλουπιού οδηγεί σε ομαλή αποκόλληση, κάτι που δε συνέβη στη δική μας περίπτωση, επιβεβαιώνοντας τους ενδοιασμούς που διατηρούσαμε. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, με τη χρήση της λάμας δημιουργήσαμε διάκενο σε όλη την περίμετρο στο ύψος του καταστρώματος και τοποθετήσαμε ξύλινες σφήνες που διαμορφώσαμε από τις περισσευούμενες σανίδες του κελύφους του πρωτοτύπου.



Εικόνα 3.2-13: Τοποθέτηση σφηνών κατά τη διαδικασία της αποκόλλησης.

Η μέθοδος δεν ήταν επαρκής για να επιφέρει την αποκόλληση, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιήσουμε εγχύσεις ακετόνης μέσω σύριγγας, προς ελαφρά αλλοίωση των επιφανειών.



Εικόνα 3.2-14: Εγχύσεις ακετόνης κατά τη διαδικασία της αποκόλλησης.

Η μέθοδος αυτή τη φορά απέδωσε και μετά από συνολικά πέντε ώρες προσπάθειας επετεύχθη το επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.2-15: Αποκόλληση καλουπιού (1/2).



Εικόνα 3.2-16: Αποκόλληση καλουπιού (2/2).

3.2.4. Επιδιορθώσεις εσωτερικής επιφάνειας και εφαρμογή Gel Coat

Το τελευταίο στάδιο κατασκευής του καλουπιού ξεκίνησε με την απομάκρυνση καταλοίπων και τον καθαρισμό της εσωτερικής επιφάνειας με χρήση εμποτισμένου πανιού με ακετόνη και υαλόχαρτου P1000.



Εικόνα 3.2-17: Καθαρισμός εσωτερικής επιφάνειας (1/2).



Εικόνα 3.2-18: Καθαρισμός εσωτερικής επιφάνειας (2/2).

Στη συνέχεια σηματοδεύτηκαν τα σημεία που χρήζουν επισκευής και εφαρμόστηκε τοπικά πολυεστερικός στόκος, ο οποίος ομαλοποιήθηκε με χρήση υαλόχαρτων από P400 έως P800 με τις λεπτομέρειες της διαδικασίας να αποτυπώνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.2-19: Σφάλματα εσωτερικής επιφάνειας.



Εικόνα 3.2-20: Προετοιμασία πολυεστερικού στόκου.



Εικόνα 3.2-21: Εφαρμογή πολυεστερικού στόκου και ομαλοποίηση της επιφάνειας.

Με την ολοκλήρωση των επιδιορθώσεων τοποθετήθηκαν στην εξωτερική επιφάνεια δύο στρώσεις *Gel Coat*, με σκοπό αρχικά την προστασία του πολυεστερικού καλουπιού και στη συνέχεια την παρατήρηση της συμπεριφοράς του υλικού σε μια άλλη περιοχή-χαμηλού ενδιαφέροντος-πριν την εφαρμογή στο εσωτερικό του. Έτσι, ομοίως με την προετοιμασία της πολυεστερικής ρητίνης, σε 140gr ισοφθαλικού *Gel Coat* τύπου 65PA, χωρισμένο σε δύο χάρτινα ποτήρια, τοποθετήθηκε 1,5% w/w

καταλύτης M-50 δίνοντας μας χρόνο εργασιμότητας περίπου δέκα λεπτά. Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε πινέλο με κίνηση κατά το διαμήκη άξονα, από πρύμα προς πλώρα και ο χρόνος μεταξύ των δύο στρώσεων ήταν περίπου οκτώ λεπτά.



Εικόνα 3.2-22: Απεικόνιση της εξωτερικής επιφάνειας μετά την εφαρμογή Gel Coat.

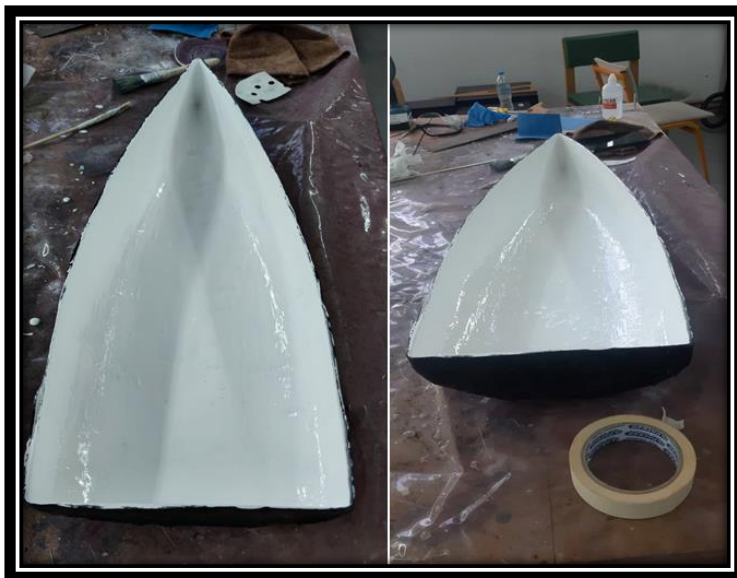
Εικοσιτέσσερις ώρες αργότερα με το *Gel Coat* να έχει σταθεροποιηθεί, το καλούπι τοποθετήθηκε με τον πυθμένα προς τα κάτω και η εσωτερική επιφάνεια καθαρίστηκε σχολαστικά με πανί εμποτισμένο σε ακετόνη. Στη συνέχεια με την ίδια τακτική εφαρμόστηκαν 180gr *Gel Coat* τύπου 65PA, λευκού χρώματος, χωρισμένα σε τρεις στρώσεις όπως απεικονίζονται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 3.2-23: Εφαρμογή πρώτης στρώσης Gel Coat.



Εικόνα 3.2-24: Εφαρμογή δεύτερης στρώσης Gel Coat.



Εικόνα 3.2-25: Εφαρμογή τρίτης στρώσης Gel Coat.

Η τελική κατεργασία του καλουπιού έλαβε χώρα πέντε ημέρες αργότερα ούτως ώστε η πολυεστερική βαφή να έχει πολυμεριστεί πλήρως και αφορούσε στην ομαλοποίηση και το τελικό φινίρισμα της επιφάνειας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν υαλόχαρτα P600 και P800 προς αφαίρεση περίσσειας υλικού και ομαλοποίηση της επιφάνειας.



Εικόνα 3.2-26: Ομαλοποίηση επιφάνειας με υαλόχαρτα P600 και P800.

Στη συνέχεια έγινε η λείανση της επιφάνειας με χρήση υαλόχαρτων P1000 και P1500 νωπής τριβής, με νερό και σαπούνι. Η τριβή έγινε με συνεχείς κυκλικές κινήσεις και τακτική αντικατάσταση του μέσου προς απομάκρυνση των κατακερματισμένων κόκκων.



Εικόνα 3.2-27: Διαδικασία λείανσης με υαλόχαρτα νερού.

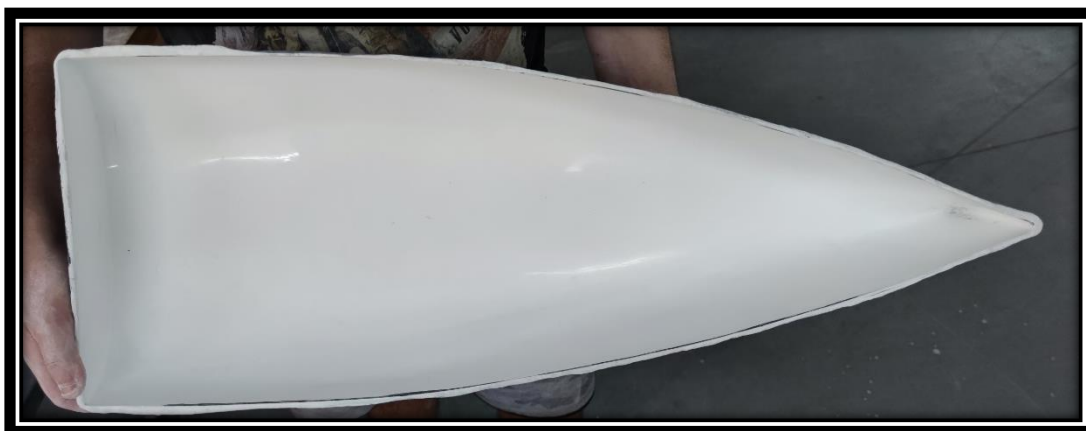


Εικόνα 3.2-28: Ολοκλήρωση διαδικασίας λείανσης.

Η ολοκλήρωση του καλουπιού έγινε με το φινίρισμα της επιφάνειας με αλοιφή γυαλίσματος, η εφαρμογή της οποίας έγινε με καθαρό πανί μικροϊνών και συνεχείς κυκλικές κινήσεις. Το τελικό αποτέλεσμα να φαίνεται στην Εικόνα 3.2-30.



Εικόνα 3.2-29: Εφαρμογή αλοιφής γυαλισματος.



Εικόνα 3.2-30: Τελικό αποτέλεσμα καλουπιού.

3.2.5. Παρατηρήσεις και σχόλια επί της διαδικασίας

Κατά τη διαδικασία της κατασκευής παρατηρήσαμε πως αναλογία καταλύτη 1,5% μας έδινε χρόνο εργασιμότητας περίπου 10 λεπτών (σχετικά μικρό) καθώς αυτή έγινε θερινούς μήνες και η θερμοκρασία κυμαινόταν από 26-29°C εντός του χώρου εργασίας, όμως επιλέξαμε να μη μειώσουμε την ποσότητα του καταλύτη, ούτως ώστε να μην διακινδυνεύουμε διαταραχή της διαδικασίας πολυμερισμού του υλικού. Επιπρόσθετα,

ο υπολογισμός της ακριβούς ποσότητας της εφαρμοσμένης ρητίνης δεν γίνεται να προσδιοριστεί με ακρίβεια στη μέθοδο *hand lay up* που χρησιμοποιήθηκε, καθώς ορισμένες ποσότητες με το πέρας του χρόνου εργασιμότητας αχρηστεύονταν ενώ άλλες δημιουργούνταν εν τάχει για να καλύψουν διάφορα κενά με την καταγραφή τους να καθίσταται πρακτικά αδύνατη. Παρόλα αυτά ζυγίζοντας το καλούπι το βάρος του ήταν $1752gr$ και η επιφάνεια του γνωρίζαμε από το σχέδιο ότι ήταν $0,24m^2$. Συνεπώς με τη χρήση των πινάκων 2.7-2, 2.7-3 (βάρους υαλοϋφασμάτων και ενδεικτικής ποσότητας ρητίνης εμποτισμού) υπολογίσαμε συνολικό βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο $6850gr$ το οποίο πολλαπλασιαζόμενο με την επιφάνεια του καλουπιού μας έδινε $1644gr$, σε αυτά προσθέσαμε τα $300gr$ πολυεστερικής βαφής με αποτέλεσμα $1944gr$. Υπολογίζοντας το σφάλμα, αυτό προέκυψε $9,87\%$. Τέλος το εύρος του πάχους στα τοιχώματα του καλουπιού κυμάνθηκε εντός του επιθυμητού $5-7mm$ με μοναδικό «αδύναμο» σημείο να αποτελεί το φινίρισμα στην ακμή της πλώρης όπου η πρόσβαση ήταν εξαιρετικά δύσκολη.

3.3. Κατασκευή πολυεστερικού μοντέλου

Με την ολοκλήρωση του καλουπιού έπειτα από ένα μήνα απαιτητικής εργασίας, έφτασε η στιγμή της παραγωγής του μοντέλου που είναι και ο κύριος σκοπός της παρούσης εργασίας. Η κατά το δυνατό βέλτιστη κατασκευή του τόσο από πλευράς χαρακτηριστικών πλευσης όσο και από πλευράς φινιρίσματος, μας οδήγησε στην θεωρητική επισκόπηση της διαδικασίας κατασκευής που θα ακολουθηθεί βάσει της γνώσης και της εμπειρίας που λάβαμε από τα προηγούμενα στάδια.

3.3.1. Προεκτίμηση βάρους και επιλογή υλικών

Αρχικά πριν την επιλογή των υλικών επιστρέψαμε στο σχέδιο, όπου γνωρίζοντας ότι το μοντέλο προορίζεται για δοκιμές στην δεξαμενή του τμήματος, υπολογίσαμε με την εντολή *hydrostatics* του σχεδιαστικού προγράμματος «*Rhinoceros 5*», τον όγκο εκτοπίσματος του υπό κλίμακα μοντέλου στα $1,183 \times 10^{-3} m^3$ για την ίσαλο σχεδίασης στα $2cm$. Δεδομένου ότι η πλήρωση της δεξαμενής γίνεται με γλυκό νερό ενδεικτικής πυκνότητας $1000kg/m^3$, καταλήξαμε στο ότι το μέγιστο βάρος του μοντέλου κατά την διαδικασία των πειραμάτων θα πρέπει να είναι $1183gr$. Το βάρος αυτό όμως δεν αφορά

μόνο το βάρος των υλικών κατασκευής αλλά θα πρέπει να περιλαμβάνει το βάρος του προσαρμοζόμενου μηχανισμού της δεξαμενής, ενδεχόμενο ερματισμό για τα διάφορα πειράματα (διαγωγή, ευστάθεια), ένα ποσοστό διαφοράς των ενδεικτικών τιμών των πινάκων 2.7-2, 2.7-3 και τέλος τη διόρθωση σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την κατασκευή του μοντέλου. Με γνώμονα τα παραπάνω καταλήξαμε στην επιλογή υφασμάτων:

Πρώτη στρώση, λεπτό υαλοπίλημα $30gr/m^2$ με την εμπορική ονομασία «αράχνη» για να προσδώσει ομαλή επιφάνεια και δυνατότητα επεξεργασίας ή απόξεσης υλικού αν χρειαστεί.

Δεύτερη στρώση, πλεχτό WR300 για πρόσδοση αντοχής με χαμηλότερο βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο από τα MAT και ομαλότερη επιφάνεια.

Τρίτη στρώση, υαλοπίλημα MAT450 για πρόσδοση πάχους και επίτευξη ορθής συγκόλλησης μεταξύ των πλεχτών υφασμάτων.

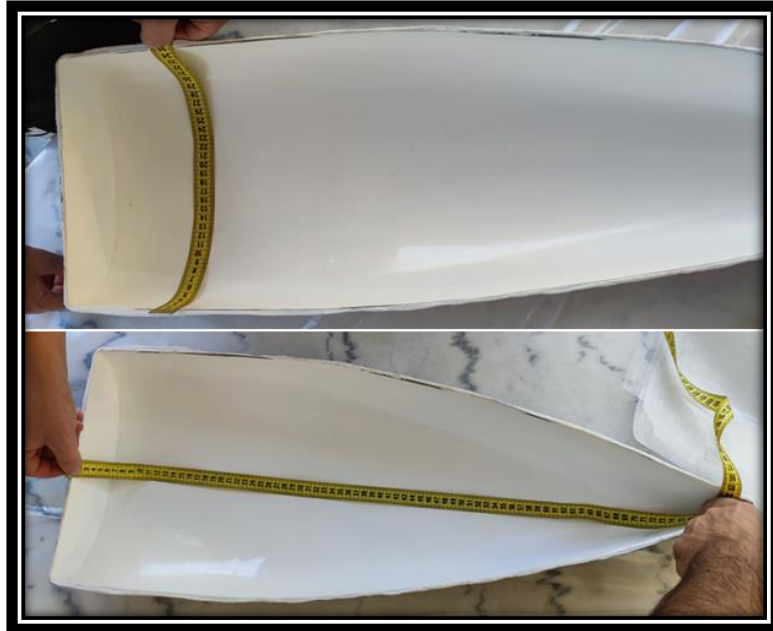
Τέταρτη στρώση, πλεχτό WR300 κυρίως εδώ για λόγους αντοχής.

Οι υπολογισμοί που έγιναν μας έδωσαν την προεκτίμηση του βάρους κατασκευής περίπου $787gr$ τιμή που θεωρήσαμε αποδεκτή καθώς το πάχος της επιθυμούσαμε να κυμαίνεται σε εύρος από $1-3mm$ για να μην διακινδυνεύσουμε στρεβλώσεις ή καταστροφή κατά τον πολυμερισμό και ειδικότερα κατά τη διαδικασία της αποκόλλησης από το καλούπι. Τέλος για μια ακόμη φορά επιλέξαμε να μην τοποθετήσουμε το *Gel Coat* στο καλούπι αλλά να το χρησιμοποιήσουμε ως εξωτερική βαφή, καθώς διατηρούσαμε αμφιβολίες για την στιλπνότητα της περιοχής της πλώρης στο καλούπι και θέλαμε να διατηρήσουμε τη δυνατότητα παρέμβασης χωρίς μεγάλη προσθήκη υλικού.

3.3.2. Κοπή υφασμάτων και προετοιμασία επιφάνειας

Η διαδικασία ξεκίνησε με την εκ νέου μέτρηση του καλουπιού και την οριοθέτηση των υφασμάτων σε τεμάχια πλάτους $45cm$ και μήκους $85cm$ τα οποία όμως σε αντίθεση με την προηγούμενη θα επαναμορφοποιούνταν με την μέθοδο του πατρόν σε μικρότερα, ούτως ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη εφαρμογή τους. Επιπρόσθετα, αποφασίστηκε η διαφοροποιημένη διαμόρφωση των υφασμάτων ανάλογα του είδους τους. Έτσι η «αράχνη» που διακρίνεται από μεγάλη ευκολία μορφοποίησης μετά τον εμποτισμό της, θα τοποθετούταν ως ενιαίο τεμάχιο, ενώ τα πλεχτά WR300 και το υαλοπίλημα MAT450 θα διαχωρίζονταν σε τομείς αναλόγως της περιοχής τοποθέτησης τους. Πιο

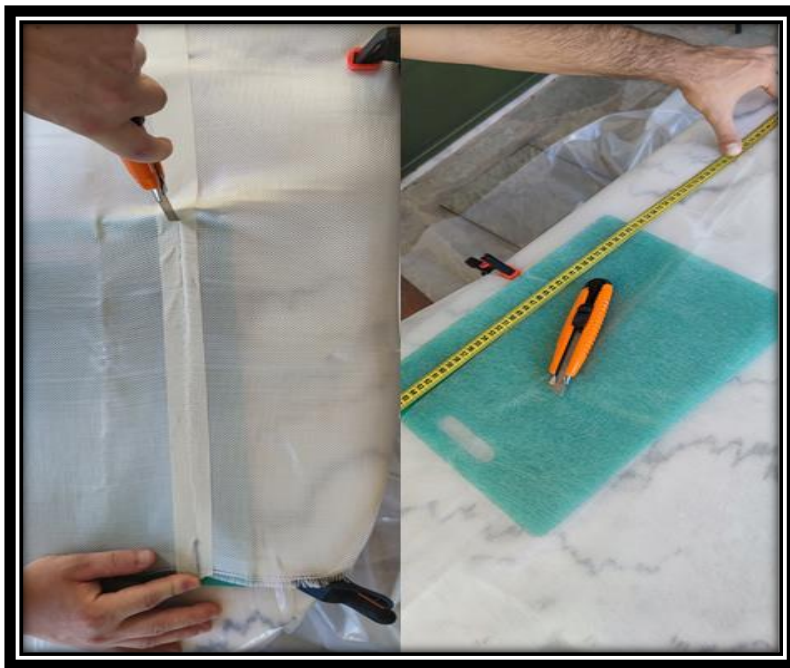
συγκεκριμένα, για το πλεχτό ορίστηκε ο τομέας Α στην περιοχή του καθρέπτη μέχρι το νομέα ένα και ο τομέας Β από το νομέα ένα μέχρι την πλώρη του σκάφους, ενώ για το υαλοπίλημα ορίστηκαν οι τομείς 1 (*port*) και 2 (*starboard*) συμμετρικοί ως προς τον διαμήκη άξονα του σκάφους.



Εικόνα 3.3-1: Μέτρηση της εσωτερικής επιφάνειας του καλουπιού.

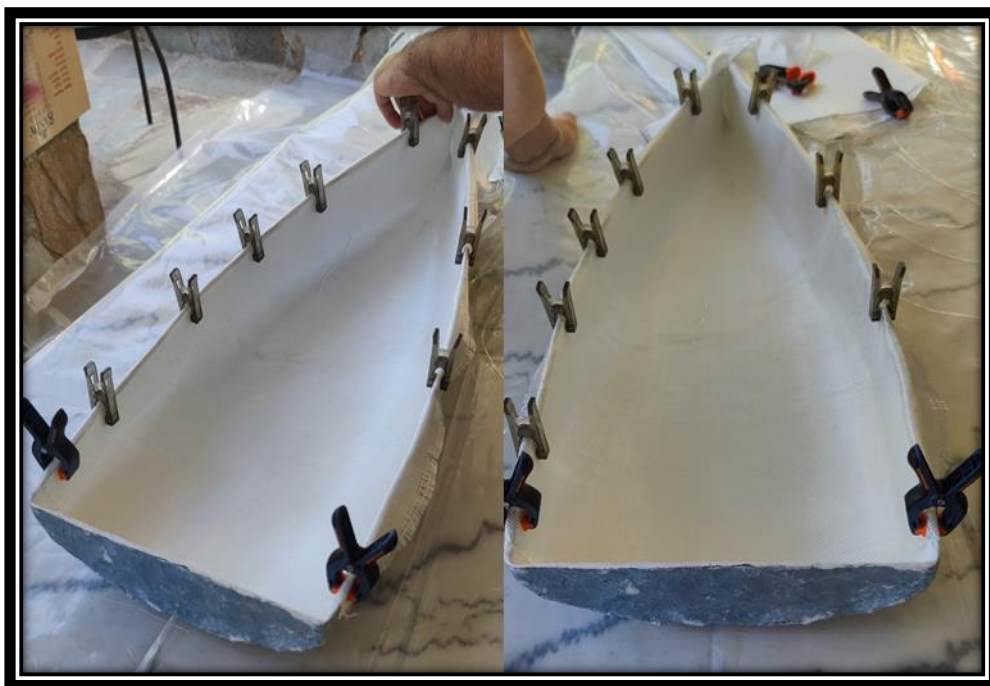


Εικόνα 3.3-2: Διαδικασία οριοθέτησης υφασμάτων.



Εικόνα 3.3-3: Διαδικασία κοπής υφασμάτων.

Έπειτα από την κοπή των αρχικών τεμαχίων, τα υφάσματα τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του καλουπιού όπου συγκρατήθηκαν με πλαστικούς σφιγκτήρες για την περαιτέρω οριοθέτησή τους με τη μέθοδο του πατρών.



Εικόνα 3.3-4: Τοποθέτηση και συγκράτηση τομέα Β.



Εικόνα 3.3-5: Απεικόνιση οριοθετημένου τομέα Β.



Εικόνα 3.3-6: Διαδικασία οριοθέτησης τομέα Α με τη μέθοδο του πατρόν.

Εν συνεχεία ακολούθησε η κοπή αφήνοντας ένα περιθώριο 3cm επιπλέον υλικού στους τομείς Α, 1 και 2 προς ύπαρξη υλικού για εφαρμογή δύναμης κατά την αποκόλληση.



Εικόνα 3.3-7: Διαδικασία κοπής τομέα Α.



Εικόνα 3.3-8: Διαδικασία οριοθέτησης τομέα 2.



Εικόνα 3.3-9: Διαδικασία κοπής τομέα 2.

Με την ολοκλήρωση της κοπής των υφασμάτων ξεκίνησε η προετοιμασία της επιφάνειας του καλουπιού με έξι στρώσεις αποκολλητικού κεριού με το χρόνο μεταξύ τους να κυμαίνεται στα 25-35 λεπτά, ενώ δεν έγινε χρήση αποκολλητικού υγρού PVA καθώς το φινίρισμα του εσωτερικού του καλουπιού θεωρήθηκε επαρκές.



Εικόνα 3.3-10: Προετοιμασία επιφάνειας με αποκολλητικό κεριό.

3.3.3. Τοποθέτηση πολυεστερικής ρητίνης και υαλοϋφασμάτων

Σε αυτό το στάδιο της κατασκευής πρωταρχική ενέργεια αποτέλεσε η περιμετρική τοποθέτηση χαρτοταινίας στο ύψος του καταστρώματος με σκοπό αρχικά, την αποτροπή συγκόλλησης των υαλοϋφασμάτων στο χείλος του πολυεστέρα και κατ' επέκταση την καθ' ύψος κατεύθυνση της περίσσειας υλικού ούτως ώστε να καθίσταται δυνατή η αφαίρεση του με τη χρήση δίσκου κοπής. Στη συνέχεια ανακινήθηκε το δοχείο ορθοφθαλκικής πολυεστερικής ρητίνης τύπου G102 και οργανώθηκε ο πάγκος εργασίας πριν την εκκίνηση της διαδικασίας.



Εικόνα 3.3-11: Απεικόνιση του πάγκου εργασίας.

Πρώτα τοποθετήθηκε το υαλοϋφασμα τύπου «αράχνη», εμποτίστηκε με τη χρήση πινέλου και η αφαίρεση του αέρα έγινε με απαλά επαναλαμβανόμενα χτυπήματα, του ήδη εμποτισμένου πινέλου, κάθετα στην επιφάνεια, λόγω της ευαισθησίας του υφάσματος.



Εικόνα 3.3-12: Τοποθέτηση κι εμποτισμός υφάσματος τύπου αράχνης.

Εν συνεχεία, έγινε η τοποθέτηση και ο εμποτισμός των τομέων Α και Β της πρώτης στρώσης του πλεχτού WR300 με την αφαίρεση του αέρα να γίνεται με τη χρήση μεταλλικού ρολού και πλαστικής σπάτουλας. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι η ρητίνη καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας τοποθετούνταν σε χάρτινα κύπελλα κατά περίπου 150gr τη φορά και η αναλογία καταλύτη διατηρήθηκε στο 1,5% w/w.



Εικόνα 3.3-13: Τοποθέτηση κι εμποτισμός των τομέων A και B της πρώτης στρώσης WR300.

Ακολούθησε η τοποθέτηση κι ο εμποτισμός των τομέων 1 και 2 του υαλοπλήματος MAT450 με την αφαίρεση του αέρα να γίνεται με τη χρήση μεταλλικού ρολού και πλαστικής σπάτουλας.



Εικόνα 3.3-14: Τοποθέτηση και εμποτισμός των τομέων 1 και 2 του υαλοπλήματος MAT450.

Τέλος, έγινε η τοποθέτηση και ο εμποτισμός της δεύτερης στρώσης των τομέων A και B του πλεχτού WR300 ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την πρώτη, δίνοντας το παρακάτω τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-15: Τοποθέτηση της τελευταίας στρώσης WR300 και ολοκλήρωση της διαδικασίας.

3.3.4. Διαδικασία αποκόλλησης-ξεκαλουπώματος

Με το πέρας επτά ημερών από την κατασκευή του μοντέλου εκκινήσαμε τη διαδικασία της αποκόλλησης του από το καλούπι. Η διαδικασία ξεκίνησε με την αφαίρεση της περίσσειας υφασμάτων, αρχικά με τη χρήση ψαλιδιού ενώ μετέπειτα χρησιμοποιήθηκε η ήδη υπάρχουσα κοπτική κεφαλή προσαρμοσμένη σε ηλεκτρικό πολυεργαλείο.



Εικόνα 3.3-16: Αφαίρεση περίσσειας υφασμάτων με χρήση ψαλιδιού.



Εικόνα 3.3-17: Αφαίρεση περίσσειας υφασμάτων με χρήση κοπτικής κεφαλής σε ηλεκτρικό πολυεργαλείο.

Στη συνέχεια διαμορφώθηκαν ξύλινες σφήνες όμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την αποκόλληση του καλουπιού και τοποθετήθηκαν μεταξύ των δυο επιφανειών.



Εικόνα 3.3-18: Διαμόρφωση ξύλινων σφηνών.

Η μέθοδος αρχικά φάνηκε να λειτουργεί, με ομαλή αποκόλληση της πρύμνης και εν συνεχεία του υπόλοιπου σκάφους μέχρι την πλώρη, όπου δυστυχώς για μια ακόμη φορά επιβεβαιώθηκαν οι ενδοιασμοί που διατηρούσαμε. Η δυσκολία πρόσβασης στην πλώρη, στο ύψος του πυθμένα, δεν επέτρεψε τόσο το αποτελεσματικό φινίρισμα της επιφάνειας, όσο και τη σωστή απορρόφηση του αποκολλητικού κεριού με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματώματος σε δύο σημεία του πυθμένα, μεταξύ του νομέα 9 και της πλώρης.

Η λύση δόθηκε με ανασήκωση της πρύμνης ώστε να ασκείται τάση και τοπική έκχυση ακετόνης μέχρι να επιτευχθεί η αποκόλληση, η οποία επιτεύχθη με την τρίτη απόπειρα τραυματίζοντας όμως τόσο το μοντέλο όσο και το καλούπι στα σημεία του συσσωματώματος.



Εικόνα 3.3-19: Απεικόνιση του τραυματισμού του καλουπιού.



Εικόνα 3.3-20: Απεικόνιση του μοντέλου μετά την αποκόλληση (1/2).



Εικόνα 3.3-21: Απεικόνιση του μοντέλου μετά την αποκόλληση (2/2).

Με την ολοκλήρωση της αποκόλλησης έγινε ομαλοποίηση των ακμών στο ύψος του καταστρώματος με δρόπανο και τη χρήση υαλόχαρτου *P320* προσαρμοσμένου σε κεφαλή διαμέτρου *100mm*.



Εικόνα 3.3-22: Ομαλοποίηση ακμών καταστρώματος.

Η ολοκλήρωση του σταδίου αυτού έγινε με έλεγχο στεγανότητας κι έναν υποτυπώδη έλεγχο στο αν το μοντέλο επιπλέει ισοβύθιστο.



Εικόνα 3.3-23: Απεικόνιση του τραυματισμού της πλώρης κατά τον έλεγχο στεγανότητας.



Εικόνα 3.3-24: Απεικόνιση διαδικασίας ελέγχου στεγανότητας.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων έδειξαν πως το σκάφος για βύθιση του-μέσω άσκησης πίεσης-μέχρι σχεδόν τη γραμμή του καταστρώματος παρέμενε πλήρως στεγανό ενώ έδειχνε να πλέει ισοβύθιστο.

3.3.5. Επιδιορθώσεις και ομαλοποίηση της επιφάνειας

Στο στάδιο αυτό έλαβε χώρα η επισκευή της γάστρας και η ομαλοποίηση της επιφάνειας πριν προβούμε στη διαδικασία της βαφής. Για την επισκευή της γάστρας χρησιμοποιήθηκε πολυεστερικός στόκος σπάτουλας, ο οποίος μετά την εφαρμογή του μορφοποιήθηκε με υαλόχαρτα ξηράς τριβής από P180 έως P280 δίνοντας το ακόλουθο αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-25: Επισκευή πλώρης.

Επιπρόσθετα, έγινε εκτεταμένος έλεγχος της επιφάνειας ως προς την ομαλότητα της πρώτα δια της όρασης όπου δεν εμφανίστηκαν σφάλματα και έπειτα δια της αφής όπου εμφανίστηκαν μικρές μεταβολές της καμπυλότητας σε αρκετά σημεία. Οι παρατηρήσεις αυτές μας οδήγησαν στις παρακάτω ενέργειες προς την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Αρχικά προβήκαμε στην απόξεση του συνόλου του μοντέλου με υαλόχαρτο ξηράς τριβής P180. Εν συνεχεία προστέθηκε μια στρώση λευκού *Gel Coat* στην οποία έγινε απόξεση με χοντρόκοκκο υαλόχαρτο P80 σκοπεύοντας στην αφαίρεση του μεγαλύτερου μέρους του, ούτως ώστε τα σημεία που θα παρέμενε να αποτελούσαν μη ορατές-αισθητές κοιλότητες. Τέλος, το μοντέλο επικαλύφθηκε με λεπτόκοκκο (φίνο) σιδηρόστοκο, ο οποίος τρίφτηκε διεξοδικά με υαλόχαρτα P240-P360 ενώ η διαδικασία αποτυπώνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.3-26: Αρχική απόξεση του μοντέλου με υαλόχαρτο P180.



Εικόνα 3.3-27: Διαδικασία εφαρμογής και απόξεσης Gel Coat.



Εικόνα 3.3-28: Επικάλυψη του μοντέλου με φίνο σιδηρόστοκο.



Εικόνα 3.3-29: Απεικόνιση του μοντέλου με το πέρας των διαδικασιών ομαλοποίησης της επιφάνειας.

Με το πέρας των εργασιών αυτού του σταδίου, παρατηρούμε πως στην επιφάνεια εμφανίστηκαν τρεις χρωματικές αποχρώσεις αναλόγως της ομαλότητας της. Συγκεκριμένα, με το σκούρο χρώμα παρατηρούμε τις περιοχές όπου προεξείχαν, με το λευκό (*Gel Coat*) τις περιοχές με ελαφρές εσοχές και με τη μεσαία απόχρωση τις περιοχές με βαθύτερες εσοχές (*Gel Coat* και σιδηρόστοκος). Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως το πλήθος των ανωμαλιών που έγιναν εμφανείς μέσω αυτής της διαδικασίας, δεν ήταν εφικτό να παρατηρηθούν σε προηγούμενα στάδια.

3.3.6. Εξωτερική βαφή και τελικό φινίρισμα

Σο τελικό στάδιο της κατασκευής έλαβε χώρα η εξωτερική βαφή του μοντέλου και το σύνολο των απαραίτητων ενεργειών για την ολοκλήρωση του.

Αρχικά το μοντέλο τοποθετήθηκε ανεστραμμένο σε βάση όπου σταθεροποιήθηκε με τη χρήση ταινίας διπλής όψεως. Στη συνέχεια ετοιμάστηκε το ισοφθαλικό *Gel Coat* τύπου 65PA, μαύρου χρώματος σε δόσεις των 80gr κατά πάγια τακτική (χάρτινα κύπελλα με αναλογία καταλύτη 1,5% w/w και εκτεταμένη ανάδευση) όπου εφαρμόστηκε με πινέλο σε τρεις στρώσεις.



Εικόνα 3.3-30: Το μοντέλο μετά την εφαρμογή τριών στρώσεων εξωτερική βαφής.

Με το πέρας 48 ωρών από την εφαρμογή του, ξεκίνησε η διαδικασία λείανσης όπου δεδομένης της περισσειας εναπόθεσης υλικού σε σχέση με τους ενδεικτικούς πίνακες (240gr έναντι της ενδεικνυόμενης ποσότητας 192gr), η τριβή ξεκίνησε με υαλόχαρτο ξηράς τριβής P240. Άξιο αναφοράς είναι πως, θεωρητικά, για εφαρμογή του *Gel Coat* στο εσωτερικό του καλουπιού η μικρότερη τιμή του υαλόχαρτου πρέπει να είναι P400 και μάλιστα με άσκηση ελαφράς πίεσης.



Εικόνα 3.3-31: Τριβή της εξωτερικής επιφάνειας.

Αποτέλεσμα της επιλογής μας ήταν η ολική αφαίρεση του επιχρίσματος σε κάποια σημεία με τη διαδικασία να πρέπει να επαναληφθεί.



Εικόνα 3.3-32: Αποτυχία πρώτης προσπάθειας βαφής.

Με υαλόχαρτο P120, χαμηλή πίεση και υψίσυχη κυκλική κίνηση του χεριού αφαιρέθηκε ο κύριος όγκος του επιχρίσματος με σκοπό να παραμείνει μόνο ένα λεπτό φιλμ ώστε να αποτελέσει βάση για την επόμενη βαφή. Στην επόμενη απόπειρα δοκιμάστηκε η εναπόθεση του *Gel Coat* με γούνινο ρολό καθώς η δοκιμή που έγινε πριν την εφαρμογή του στο μοντέλο έδειξε ισοκατανομή του υλικού, πράγμα που επιθυμούσαμε για την ομοιόμορφη κατανομή του βάρους στο μοντέλο, με αρνητικό τη μεγαλύτερη τραχύτητα που θα απαιτούσε περισσότερες ώρες εργασίας. Μετά από δύο στρώσεις των 80gr προέκυψε το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-33: Εναπόθεση Gel Coat με γούνινο ρολό.

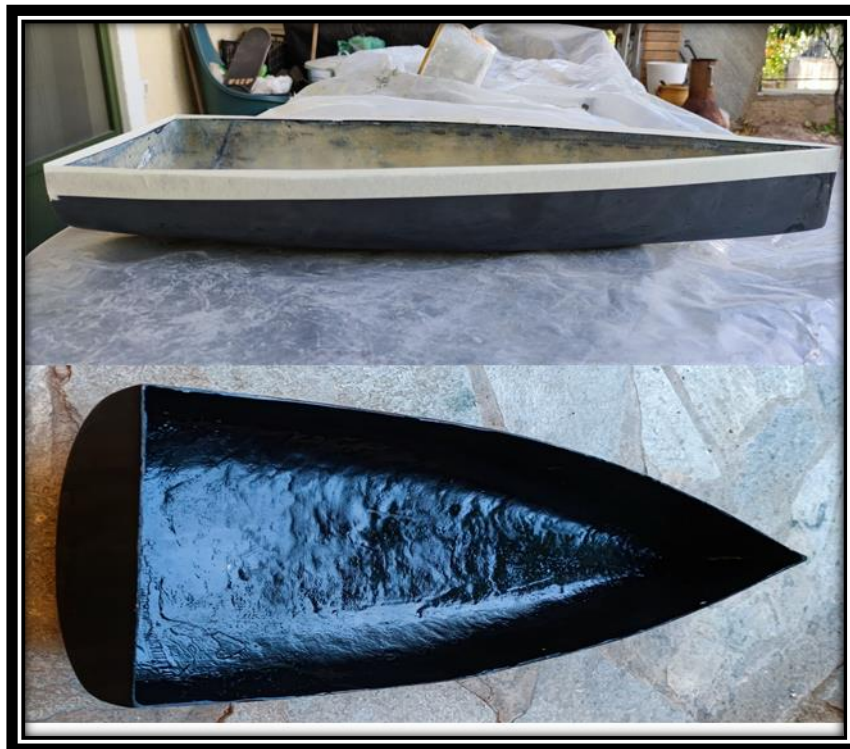
Με το πέρας και πάλι 48 ωρών ξεκίνησε η νέα απόπειρα λείανσης του μοντέλου, όμως διαπιστώθηκε πως δεν είχε επιτευχθεί πολυμερισμός του υλικού με αποτέλεσμα η επαφή με το υαλόχαρτο να δημιουργεί ένα παχύρευστο gel. Το σφάλμα αυτό πιθανότατα προέκυψε λόγω της μη ύπαρξης παραφίνης στην τελευταία στρώση του επιχρίσματος σε συνδυασμό με τον τρόπο εναπόθεσης σε μορφή σταγονιδίων από τη χρήση του γούνινου ρολού (η γνώση αυτή όμως προέκυψε αργότερα, μετά το πέρας της κατασκευής), ενώ τότε το ερμηνεύσαμε σε ενδεχόμενο λάθος στην προσθήκη καταλύτη ή την κακή ανάδευση του.

Η αφαίρεση του υλικού έγινε και πάλι με την ίδια τεχνική απαιτώντας όμως σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό υαλόχαρτων και εργατωρών δίνοντας το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-34: Το μοντέλο πριν την τελευταία εναπόθεση πολυεστερικής βαφής.

Η τελευταία εναπόθεση έγινε με την μορφή μίας στρώσης 80gr εφαρμοζόμενης με πινέλο ενώ διαδικασία λείανσης αποφασίστηκε να ξεκινήσει με υαλόχαρτο P800 νωπής τριβής. Προτού όμως την εκκίνηση της διαδικασίας αποφασίστηκε η βαφή της εσωτερικής επιφάνειας με τρεις στρώσεις ακρυλικό μαύρο σπρέι, για προστασία καθότι αναμενόταν η συνεχής επαφή με το νερό κατά τη λείανση.



Εικόνα 3.3-35: Βαφή της εσωτερικής επιφάνειας του μοντέλου.

Η διαδικασία της πρώτης φάσης της λείανσης με υαλόχαρτο P800 εμβαπτιζόμενο ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε μίγμα νερού με σαπούνι και απαλές κυκλικές κινήσεις με σκοπό την απομάκρυνση των στιγμάτων με πιο έντονο χρώμα, μέχρι η απόχρωση όλης της επιφάνειας να γίνει ματ.



Εικόνα 3.3-36: Αρχική φάση λείανσης (1/3).



Εικόνα 3.3-37: Αρχική φάση λείανσης (2/3).



Εικόνα 3.3-38: Αρχική φάση λείανσης (3/3).

Με την ολοκλήρωση της αρχικής φάσης της λείανσης προβήκαμε στη δεύτερη, η οποία περιελάμβανε την επανάληψη της διαδικασίας με υαλόχαρτο P1000 προς απομάκρυνση των εκδορών που άφησε η αρχική δίνοντας μας το ακόλουθο αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-39: Ολοκλήρωση δεύτερης φάσης της λείανσης.

Η τρίτη φάση της λείανσης έγινε με υαλόχαρτο νωπής τριβής P1500 στο τέλος της οποίας εφαρμόστηκε μια στρώση μαύρο ακρυλικό σπρέι προς πλήρωση μικρών ατελειών δίνοντας το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 3.3-40: Ολοκλήρωση τρίτης φάσης λείανσης.

Τέλος, με χρήση υαλόχαρτων νωπής τριβής P2000 αφαιρέθηκε το στρώμα βαφής και με χρήση αλοιφής τύπου G3 για κοπή και κέρωμα, επετεύχθη το τελικό φινίρισμα της και η ολοκλήρωση του μοντέλου. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως ο βαθμός στίλβωσης απέδωσε στην επιφάνεια υδροφοβικές ιδιότητες.



Εικόνα 3.3-41: Απεικόνιση μοντέλου με το πέρας του συνόλου των εργασιών.

3.3.6.1. Κατασκευή δεύτερου μοντέλου

Για τον έλεγχο ως προς την ομοιοτυπία των παραγόμενων από το καλούπι μοντέλων, αλλά και με σκοπό τη δημιουργία ενός μοντέλου για περαιτέρω κατασκευές (προσαρμογή πηδαλίων και καρίνας), αποφασίστηκε η παραγωγή ενός ακόμη μοντέλου ακολουθώντας την ίδια πορεία κατασκευής με το προηγούμενο. Μοναδική διαφοροποίηση στην διαδικασία αποτέλεσε η χρήση δύο στρώσεων αποκολλητικού

υγρού PVA εφαρμοσμένου με πινέλο, πλέον του κερώματος κατά την προετοιμασία της επιφάνειας, ενώ πριν από αυτή έγιναν μικρές επιδιορθώσεις με λεπτόκοκκο σιδηρόστοκο στο καλούπι. Η διαδικασία αποκόλλησης αυτή την φορά δε δημιούργησε κανένα πρόβλημα δίνοντας μας το ίδιο ακριβώς μοντέλο που απεικονίζεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 3.3-42: Εσωτερική επιφάνεια δεύτερου μοντέλου.



Εικόνα 3.3-43: Πυθμένας δεύτερου μοντέλου.



Εικόνα 3.3-44: Πλάγια όψη δεύτερου μοντέλου.

3.3.7. Παρατηρήσεις και σχόλια επί της διαδικασίας

Η διαδικασία στο σύνολο της, παρά τα προβλήματα που προέκυψαν μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής. Η ακριβής καταγραφή των ποσοτήτων ρητίνης και *Gel Coat* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία δεν κατέστη και πάλι δυνατή, όμως η ζύγιση του πρώτου μοντέλου πριν την επεξεργασία της επιφάνειας του, μας έδωσε 782gr ενώ του δεύτερου μοντέλου 786gr με την απόκλιση από την προεκτίμηση του βάρους στην πρώτη περίπτωση να είναι 0,6% και στη δεύτερη 0,1%. Συνεπώς η χρήση των πινάκων 2.7-2 και 2.7-3 αποτέλεσαν μια αξιόπιστη πηγή και συμπερασματικά θεωρούμε ότι πέτυχαμε επαρκή εμποτισμό χωρίς έλλειψη ή περίσσεια ρητίνης. Επιπρόσθετα η ζύγιση του πρώτου μοντέλου μετά την ολοκλήρωση του, μας έδειξε 998gr που ενώ σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή μας καθιστά εντός εύρους, (προτεινόμενη ποσότητα *Gel Coat* 800gr/m² στην επιφάνεια των 0,24m² του μοντέλου μας δίνει 192gr άρα σύνολο 974gr) δεν γνωρίζουμε κατά πόσο τα 185gr που απομένουν μέχρι το εκτόπισμα στην ίσαλο σχεδίασης, θα επιτρέψουν την τοποθέτηση του δυναμόμετρου της δεξαμενής. Παρόλα αυτά, το μικρότερο βάρος του μοντέλου με συμβατικά υλικά κατασκευής, ενείχε κίνδυνο στρεβλώσεων ή και ενδεχόμενης καταστροφής κατά την διαδικασία αποκόλλησης.

4. Προεκτίμηση αντίστασης

Το πείραμα στη δεξαμενή του τμήματος δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί, καθώς η πανδημία *covid-19* και τα συνεχή *lockdown* αποτέλεσαν τροχοπέδη στη συντήρηση της, με αποτέλεσμα η χρήση της να καθίσταται αδύνατη μέχρι την περάτωση των απαιτούμενων εργασιών. Αντί αυτού, επιλέχθηκε το λογισμικό *Maxsurf Ultimate v.23* όπου μέσω της πλατφόρμας *Bentley* και με χρήση ακαδημαϊκού λογαριασμού, παρείχε τις πλήρεις δυνατότητες του για ακαδημαϊκούς σκοπούς. Η προεκτίμηση της αντίστασης έγινε τόσο για το σκάφος πλήρους κλίμακας όσο και για το μοντέλο με αριθμητικές μεθόδους (*Regression analysis* των συστηματικών σειρών *Delft I,II,III*) αλλά και με αναλυτική μέθοδο (*Slender body method*) με χρήση πλέγματος (*mesh*). (<https://www.bentley.com/en/products/product-line/offshore-structural-analysis-software/maxsurf>)

4.1. Προεκτίμηση αντίστασης σκάφους πλήρους κλίμακας

4.1.1. Εισαγωγή γεωμετρίας στο λογισμικό

Το λογισμικό *Maxsurf* αναγνωρίζει και εισάγει αρχεία από το σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros* σε διάφορες κωδικοποιήσεις *CAD* (*Computer-Aided Design*) όπως *3DM* (*3 dimensional*) ή *IGES* (*Initial Graphics Exchange Specification*).

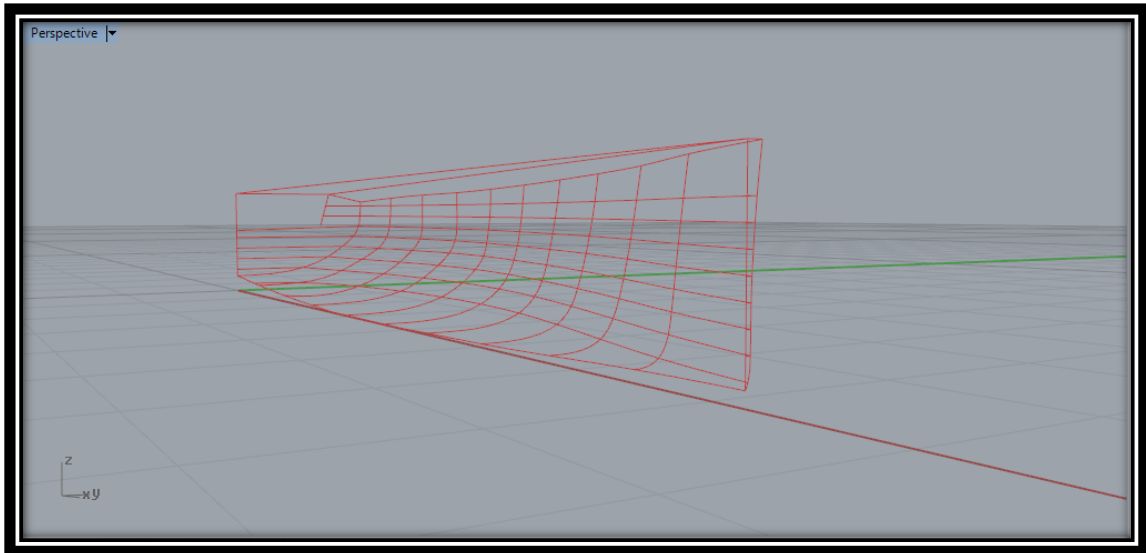
Σε γενικές γραμμές, για την εισαγωγή αρχείου *Rhino.3dm*, που αποθηκεύει και αναγνωρίζει μόνο καμπύλες και επιφάνειες *NURBS* (*Non Uniform Rational-B Splines*), επιφάνειες τριγωνικού πλέγματος (*trimesh surfaces*) και δείκτες (*markers*), χρησιμοποιείται η εντολή *File → Import*, που σε περίπτωση επιφανειών που έχουν αποκοπεί (*trimmed surfaces*) εμφανίζει παράθυρο διαλόγου προς απόπειρα αντιγραφής των ενεργειών αποκοπής.



Εικόνα 4.1-1: Παράθυρο διαλόγου για *trimmed surfaces*.

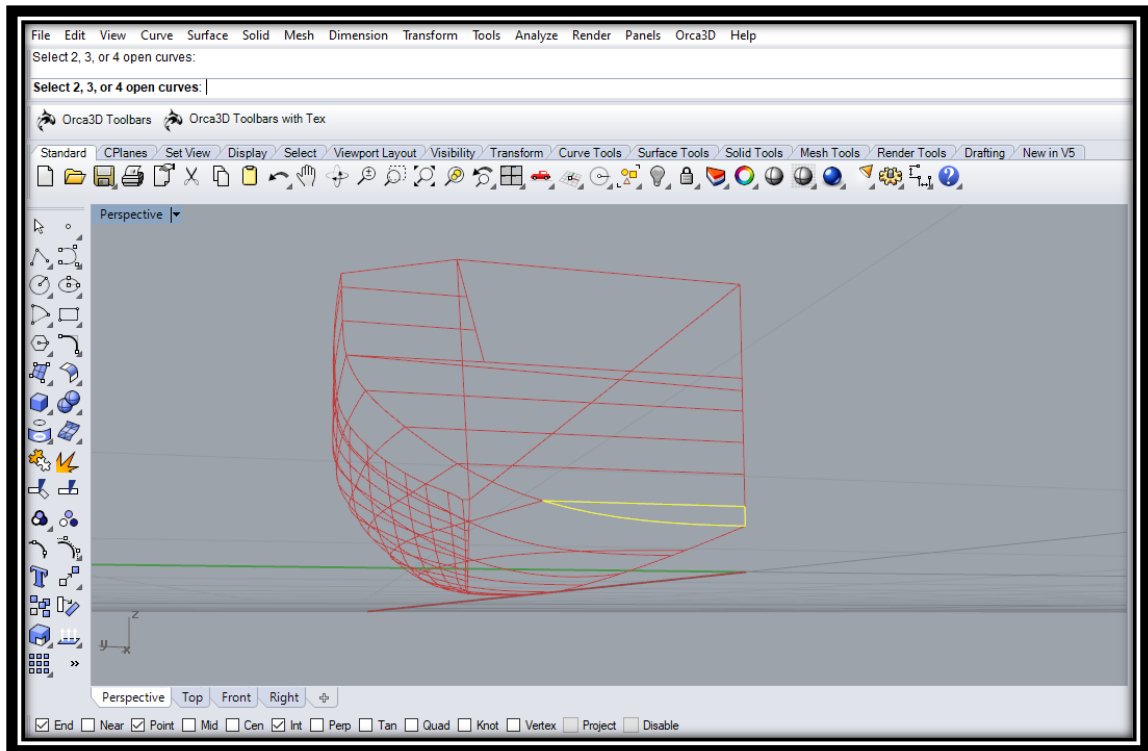
Όμως για την ορθή περάτωση της διαδικασίας καλό είναι να δοθεί έμφαση στις παρακάτω επισημάνσεις. Δεδομένου ότι το *modeler* έχει κατασκευαστεί και αναγνωρίζει πραγματικά πλοία, θα πρέπει να εξασφαλιστεί πως το σχέδιο έχει λογικές διαστάσεις σκάφους πλήρους κλίμακας (σε περίπτωση μοντέλου, καλό θα ήταν πριν την εισαγωγή του να γίνει *scaling* στο *Rhino* ώστε το μήκος του να είναι μεγαλύτερο των δύο μέτρων). Επιπρόσθετα, όλες οι επιφάνειες που δε συμβάλλουν σημαντικά στο υδατοστεγές περίβλημα της γάστρας όπως φινιστρίνια, υπερκατασκευές, ορθοστάτες καταστρώματος, ξάρτια, έλικες, πρέπει να αφαιρεθούν. Επίσης, το *Maxsurf* δεν αναγνωρίζει σύνθετες επιφάνειες (*polysurfaces*), για το λόγο αυτό αν υπάρχουν, θα πρέπει να γίνεται διαχωρισμός τους με την εντολή *Explode*, ενώ ο μέγιστος αριθμός εισαγωγής απλών *NURBS* επιφανειών στην έκδοση v.23 είναι 1200. Τέλος, για να ταυτίζονται οι ακμές των επιφανειών (στα σημεία ένωσης τους) απαιτείται να ταυτίζεται τόσο ο αριθμός και η θέση των σημείων ελέγχου (*control points*) στις προς ένωση ακμές τους, όσο και η ακαμψία των επιφανειών προς αυτή την κατεύθυνση.

Για το σκάφος και το μοντέλο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η αποθήκευση και εισαγωγή του σε μορφότυπο *IGES* εξαιτίας της συμβατότητας του με την πλειοψηφία λογισμικών *CAD* που επιτρέπει την περαιτέρω μελέτη και διαμόρφωση του σχεδίου σε διαφορετικά προγράμματα, προς μελλοντική εξέλιξη. Το *modeler* του *Maxsurf* όμως, δεν δύναται να αναγνωρίσει αποκομμένες επιφάνειες (*trimmed surfaces*) στο συγκεκριμένο μορφότυπο, με αποτέλεσμα να απαιτηθεί η εκ νέου δημιουργία επιφανειών του σκάφους από το σχέδιο γραμμών.

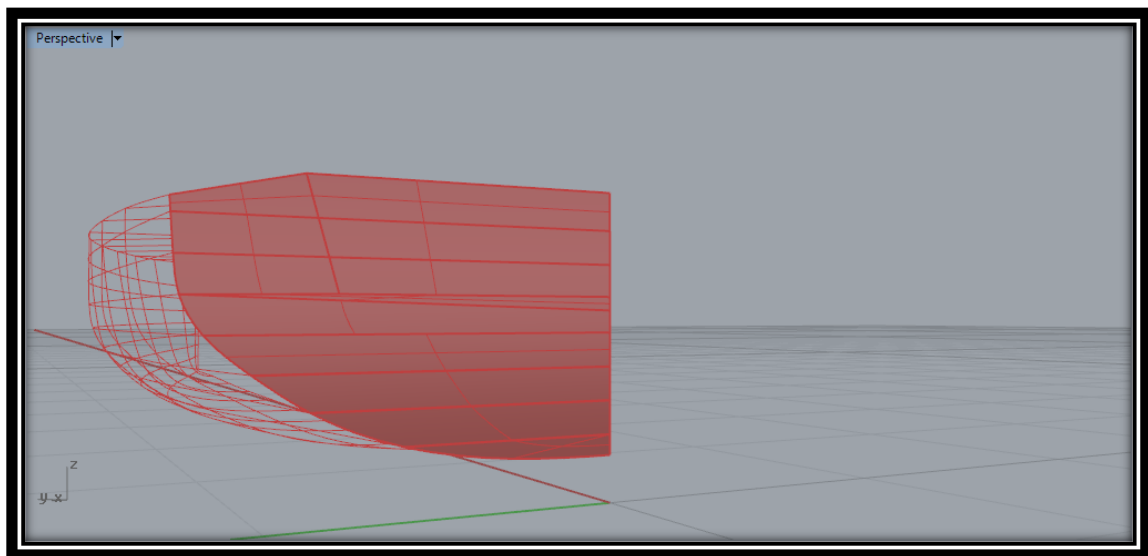


Εικόνα 4.1-2: Σχέδιο γραμμών σκάφους σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Για την αποφυγή αποκοπής ή αυτοματοποιημένης (από το *Rhinoceros*) διαμόρφωσης επιφανειών (*trimmed or hacked surfaces*), επιλέχθηκε η δημιουργία μεμονωμένων επιφανειών με την εντολή *Surface*→*Edge curves*. Προς επίτευξη αυτού, χρειάστηκε να γίνει διαχωρισμός όλων των καμπυλών του σκάφους σε τμήματα των τριών ή τεσσάρων καμπυλών, με κόμβους τα σημεία τομής τους. Αρχικά, με την εντολή *Split* επιλέχθηκαν (*select objects to split*) οι ίσαλοι και ως *cutting objects* οι νομείς, ενώ στη συνέχεια έγινε η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Έχοντας χωρίσει όλο το σχέδιο γραμμών σε τμήματα τριών ή τεσσάρων καμπυλών εκκίνησε η δημιουργία επιφανειών από την πρύμνη, από τον πυθμένα προς το κατάστρωμα, όπου ως άκρα χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες και όταν αυτές ταυτίζονταν με τις ακμές των ήδη δημιουργημένων επιφανειών επιλέγονταν οι άκρες των επιφανειών (*surface edge*).

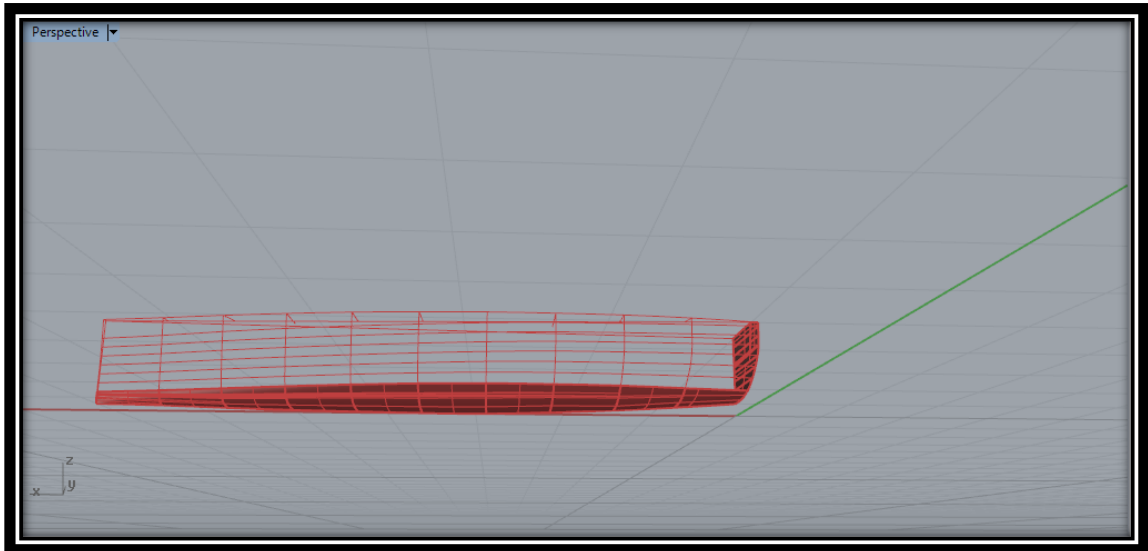


Εικόνα 4.1-3: Δημιουργία επιφανειών πρόμνης.

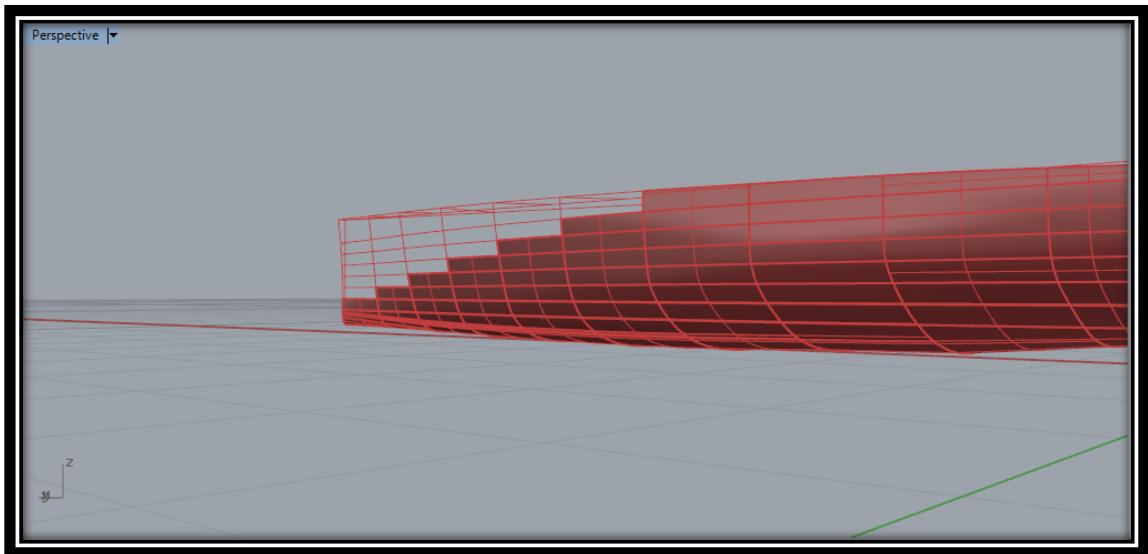


Εικόνα 4.1-4: Ολοκλήρωση επιφανειών πρόμνης.

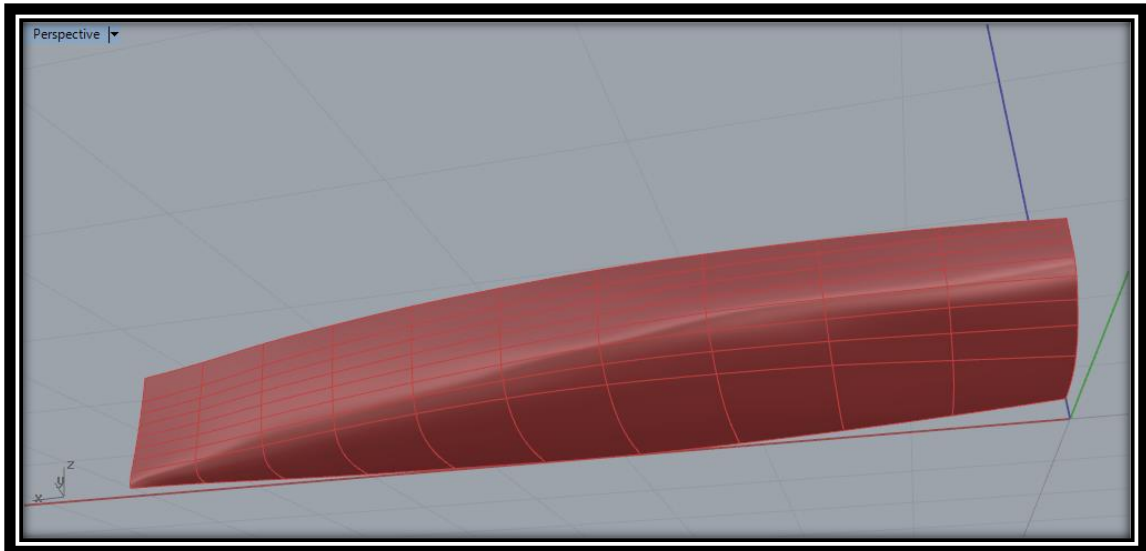
Στη συνέχεια από πρύμα προς πλώρα και από τον πυθμένα προς το κατάστρωμα, δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες των παρειών του σκάφους.



Εικόνα 4.1-5: Δημιουργία επιφανειών στις παρείες του σκάφους (1/2).

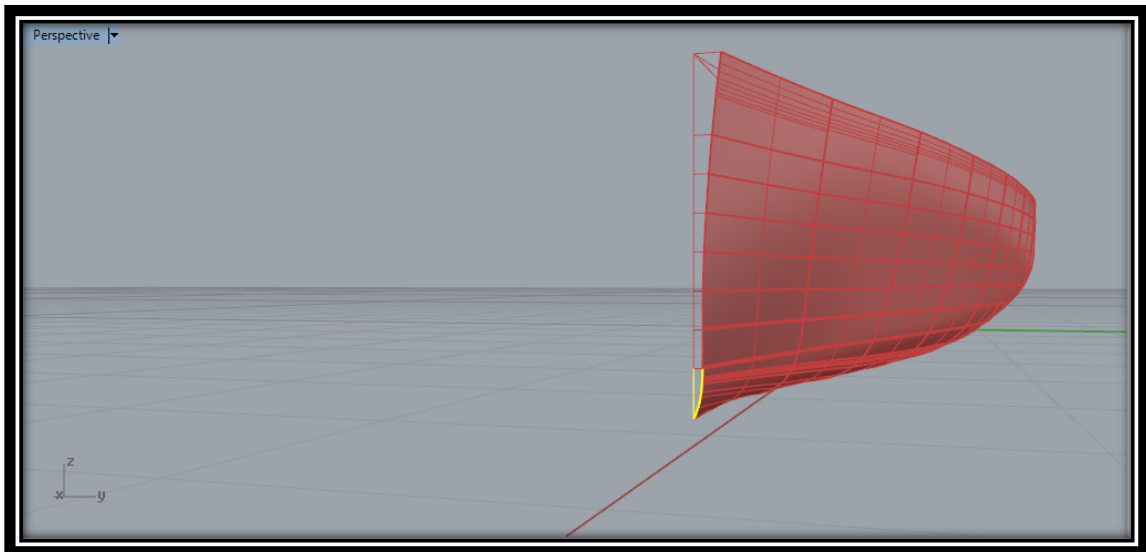


Εικόνα 4.1-6: Δημιουργία επιφανειών στις παρείες του σκάφους (2/2).

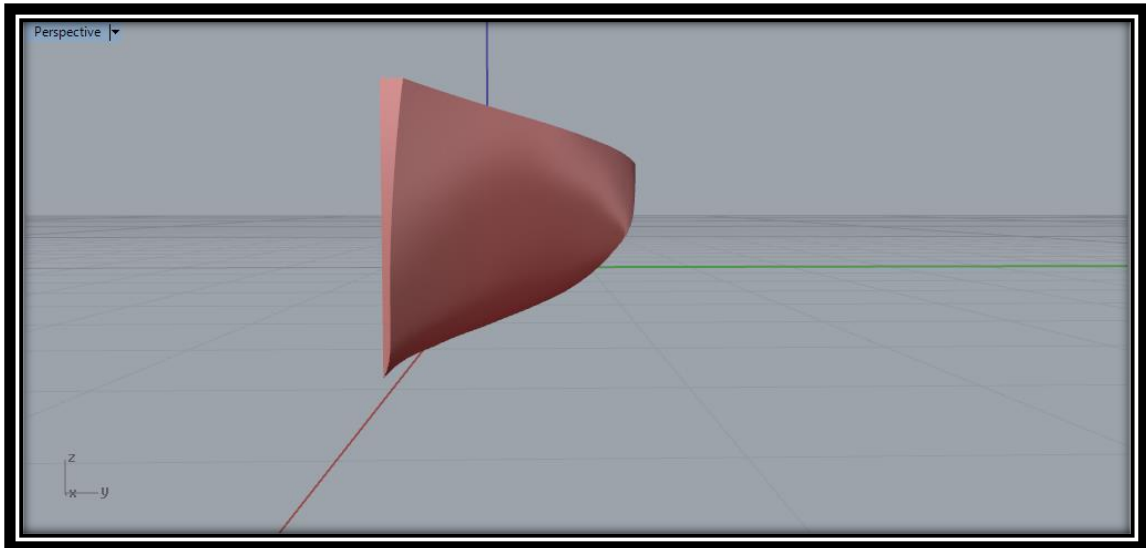


Εικόνα 4.1-7: Ολοκλήρωση επιφανειών στις παρειές του σκάφους.

Τέλος, από τον πυθμένα προς το κατάστρωμα δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες της πλώρης.

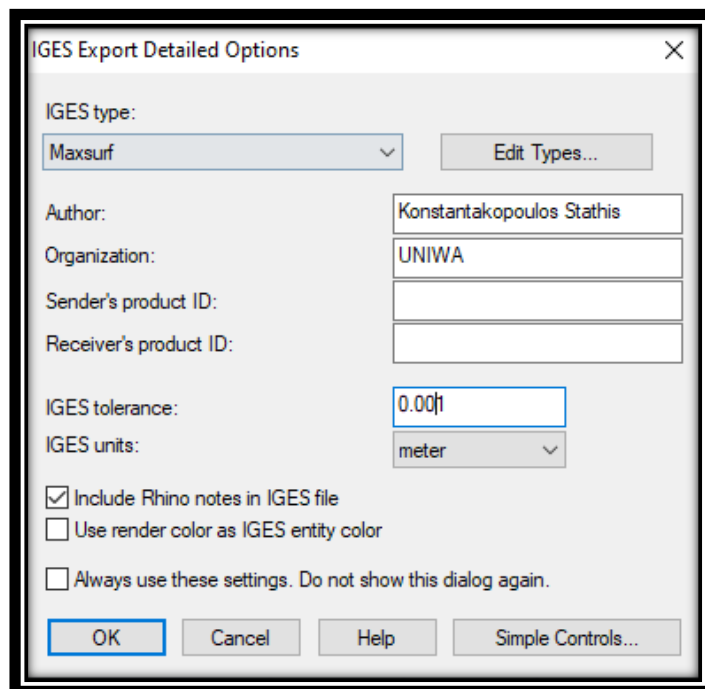


Εικόνα 4.1-8: Δημιουργία επιφανειών πλώρης.



Εικόνα 4.1-9: Ολοκλήρωση επιφανειών πλώρης.

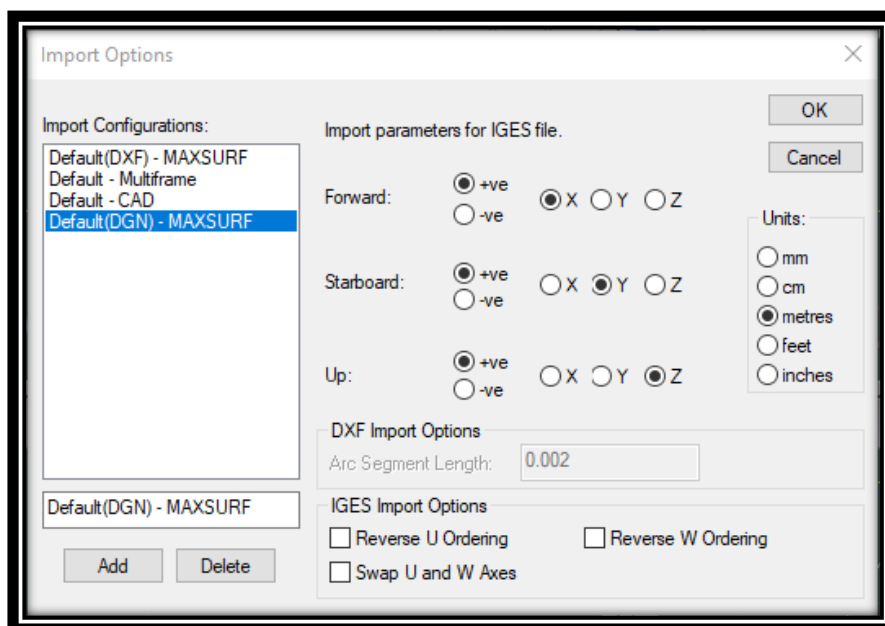
Επιπρόσθετα, με την εντολή *Edit* → *Select Object* → *Surfaces* επιλέχθηκε μόνο το σύνολο των επιφανειών, με *Ctrl+C* αντιγράφηκε και από *File* → *New* δημιουργήθηκε νέο σχέδιο όπου και επικολλήθηκε με *Ctrl+V*. Τέλος έχοντας το σκάφος σε ένα Layer ως σύνολο μεμονωμένων επιφανειών, αποθηκεύτηκε από το *File* → *Save as* → *IGES file*, στην επιφάνεια εργασίας, με ακρίβεια χιλιοστού (*tolerance 0.001*).



Εικόνα 4.1-10: Αποθήκευση σχεδίου από Rhinoceros.

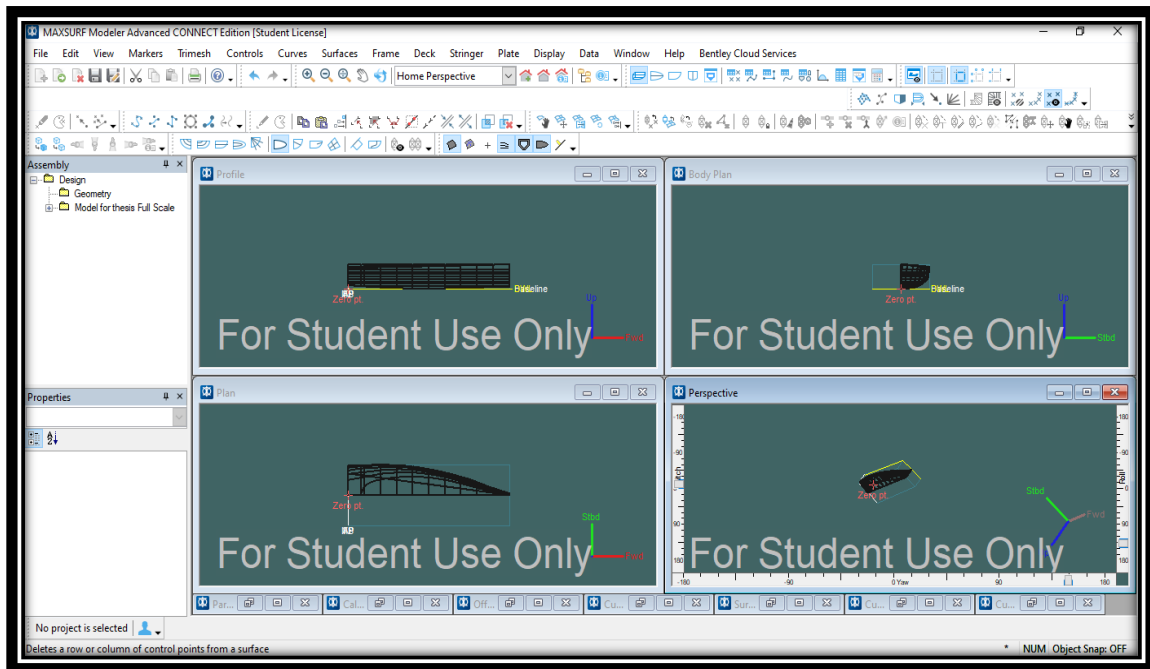
Η διαδικασία εισαγωγής εκκινεί ανοίγοντας το *modeler* του *Maxsurf* στη συνέχεια *File*→*Import* και επιλογή του αρχείου προς εισαγωγή (σημαντικό είναι το αποθηκευμένο αρχείο να μην βρίσκεται σε *directory* με ελληνικούς χαρακτήρες καθώς δεν αναγνωρίζεται). Έπειτα, ακολουθεί η διαμόρφωση του σχεδίου μέσω διαφοροποιημένων παραμέτρων αναλόγως της μορφής του αρχείου που θα εισαχθεί και τέλος γίνεται η αποθήκευση του ως *Design* μέσω *File*→*Save as Design* που επιτρέπει τη μελλοντική εισαγωγή και χρήση των *Stability*, *Vpp*, *Motion* και *Resistance*.

Για το μοντέλο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε εισαγωγή με αρχείο *IGES* που εμφάνισε το παρακάτω παράθυρο παραμετροποίησης.



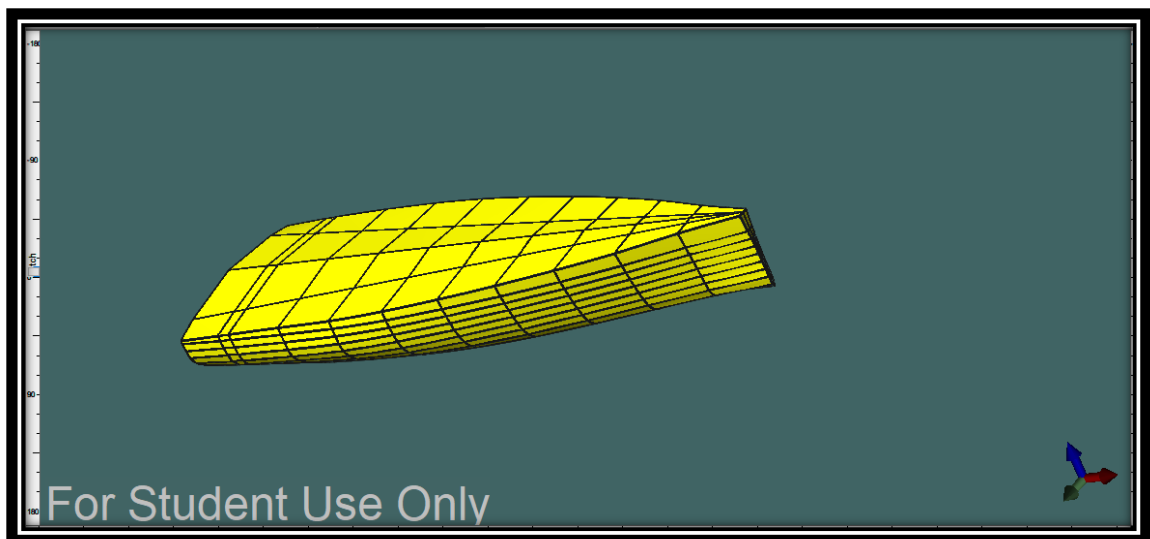
Εικόνα 4.1-11:IGES import parameters.

Ορίστηκαν οι μονάδες σε μέτρα και οι προσανατολισμοί των αξόνων (καρτεσιανό επίπεδο) ενώ τα υπόλοιπα αφέθηκαν στις προτεινόμενες ρυθμίσεις του *Maxsurf* (*default*).

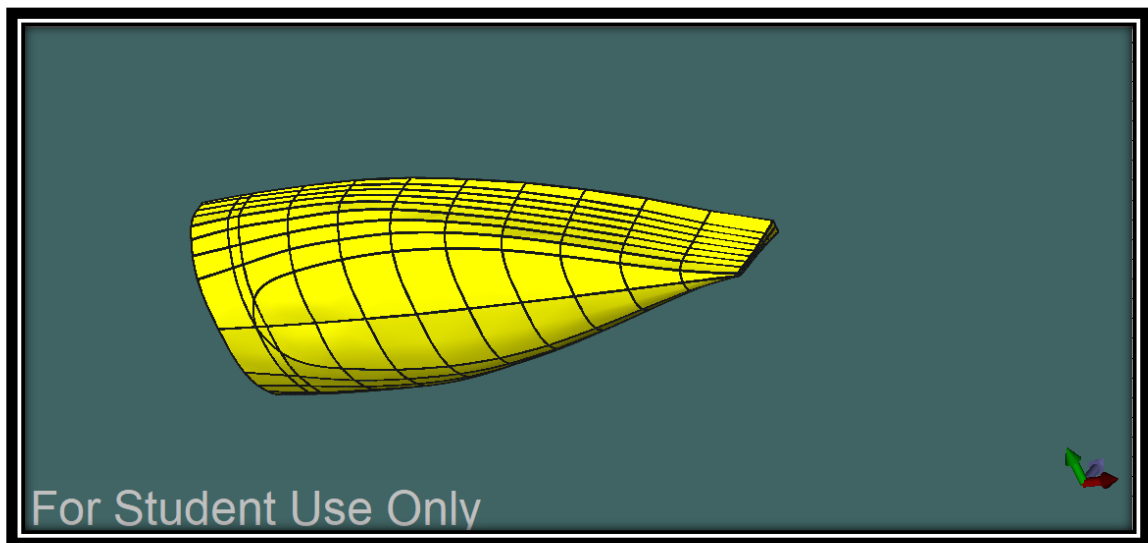


Εικόνα 4.1-12: Περιβάλλον Maxsurf modeler με την ολοκλήρωση της εισαγωγής.

Στη συνέχεια από το παράθυρο *Assembly* επιλέχθηκε το σύνολο των επιφανειών που απαρτίζουν το σχέδιο και στο παράθυρο *Properties* επιλέχθηκε η εντολή *Symmetry* για να αποδώσει το πλήρες ανάπτυγμα του (*Port-Starboard*) ενώ δουλεύοντας στο *Perspective* και με την εντολή *Display*→*Render* εμφανίζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση όπως φαίνεται παρακάτω.

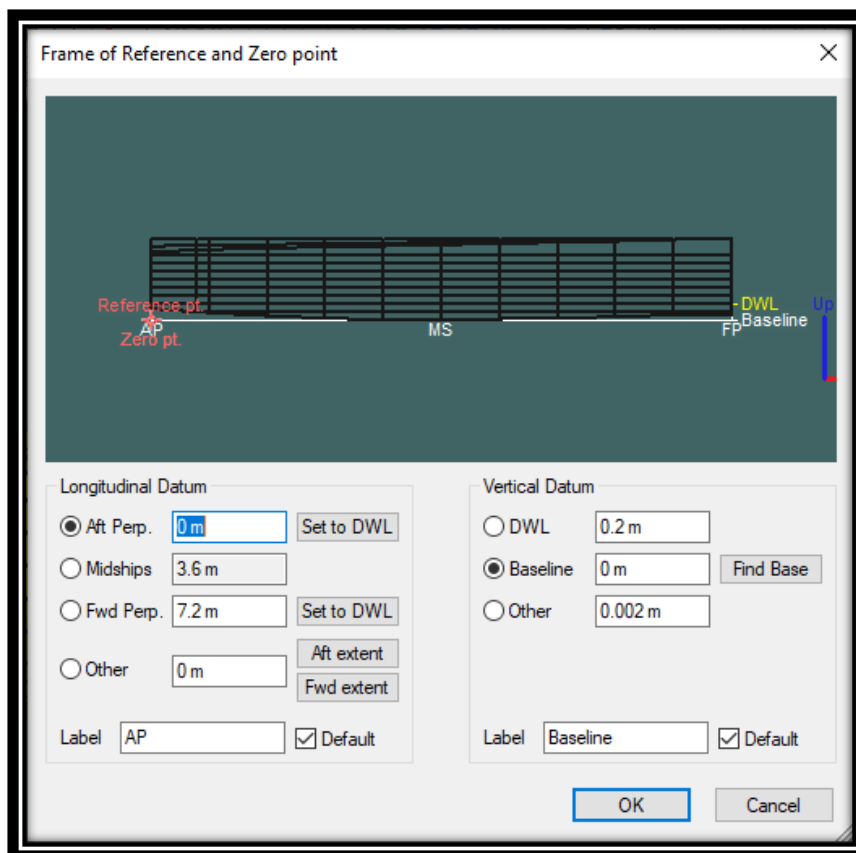


Εικόνα 4.1-13: Full scale model rendered (1/2).



Εικόνα 4.1-14: Full scale model rendered (2/2).

Τέλος, με την εντολή *Data* → *Frame of Reference* εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο όπου ορίσαμε ως σημείο αναφοράς την πρυμναία κάθετο (0 μέτρα), την προωαία στα 7,2 μέτρα και την ίσαλο στα 0,2 μέτρα όπου είναι και η ίσαλος σχεδίασης.



Εικόνα 4.1-15: Εισαγωγή σημείων αναφοράς.

4.1.2. Προεκτίμηση αντίστασης

Αφού το σχέδιο αποθηκεύτηκε ως *Design* στο *Modeler* ανοίξαμε το *Maxsurf Resistance* και από *File* → *Open Design* εισήγαμε το μοντέλο ενώ έχοντας ανοιχτό το *Perspective* και επιλέγοντας *Display* → *Render* εμφανίσαμε τις επιφάνειες του. Για τον υπολογισμό της αντίστασης είναι απαραίτητη η συμπλήρωση των γεωμετρικών και υδροστατικών μεγεθών του πίνακα στο παράθυρο *Data* όπου συμπληρώνονται είτε από το χρήστη εφόσον δεν υπάρχει τρισδιάστατο μοντέλο, είτε αυτόματα αν έχει εισαχθεί σωστά το μοντέλο ως *Design*, σε κάθε περίπτωση όμως καλό είναι να γίνεται έλεγχος ως προς την εγκυρότητα τους, πράγμα που έγινε μέσω των υδροστατικών μεγεθών του σχεδίου στο *Rhinoceros*.

Maxsurf		
LWL	7.2	m
Beam	1.89	m
Draft	0.2	m
Displaced volume	1.235	m ³
Wetted area	10.218	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0.598	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.699	
1/2 angle of entrance	12.9	deg.
LCG from midships(+ve for'd)	-0.431	m
Transom area	0.018	m ²
Transom w/ beam	1.249	m
Transom draft	0.058	m
Max sectional area	0.286	m ²
Bulb transverse area	0.004	m ²
Bulb height from keel	0	m
Draft at FP	0.2	m
Deadrise at 50% LWL	0	deg.
Hard chine or Round bilge	Round bilge	
Frontal Area	0	m ²
Headwind	0	kn
Drag Coefficient	0	
Air density	0.001	tonne/m ³
Appendage Area	0	m ²
Nominal App. length	0	m
Appendage Factor	1	
Correlation allowance	0.0004	
Kinematic viscosity	1.1883E-06	m ² /s
Water Density	1.0259	tonne/m ³

Πίνακας 4.1-1: Γεωμετρικά και υδροστατικά μεγέθη του υπό μελέτη σκάφους από το λογισμικό *Maxsurf*.

Rhinceros	
Wetted Surface Area	10.2947
Waterline Length	7.2000
Maximum Waterline Beam	1.89394
Water Plane Area	9.58040
Center of Floatation	2.92398, -8.34371e-16,0.2

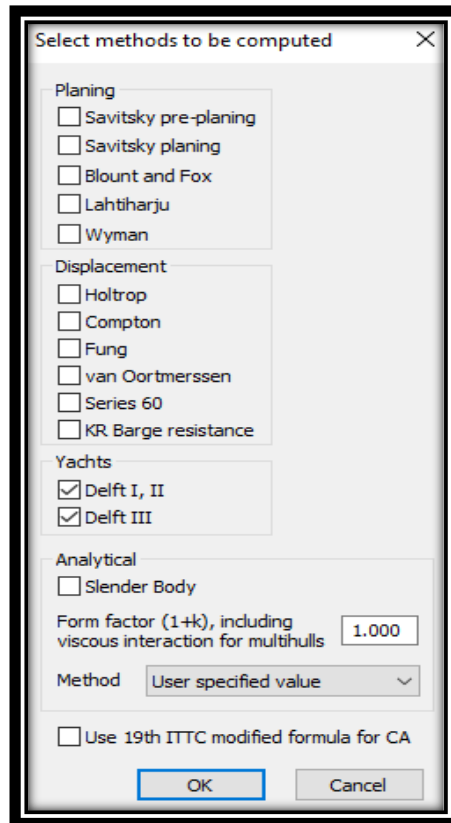
Πίνακας 4.1-2: Υδροστατικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη σκάφους από το λογισμικό Rhinceros.

Στη συνέχεια από *Analysis*→*Methods* επιλέγεται η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για τον προσδιορισμό της αντίστασης και δεδομένου ότι το υπό μελέτη σκάφος είναι ιστιοφόρο οι επιλογές μας περιορίζονταν στις συστηματικές σειρές του *Delft* I,II και III. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί πως στο *Help* του προγράμματος υπάρχει πλήρες, αναλυτικό *Resistance manual* με παραπομπές σε επιστημονικά κείμενα ενώ το λογισμικό είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένο και όταν τα δεδομένα ή οι μέθοδοι που εισάγονται είναι εκτός εύρους, στον πίνακα *Data* εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα οι χαμηλότερες και με πορτοκαλί οι υψηλότερες, των ορίων, τιμές. Λαμβάνοντας πληροφορίες από το *Appendix B* του *Resistance manual* και τις τιμές από το παράθυρο *Data* προέκυψε ο παρακάτω πίνακας.

Delft		
Parameters	Results	Check
$2.76 < L/B < 5$	3.809	ok
$2.46 < B/T < 19.32$	9.45	ok
$4.34 < L/V^{1/3} < 8.5$	6.711	ok
$-6.0\% < LCB/L < 0.0\%$	-5.986%	ok
$0.52 < C_p < 0.6$	0.598	ok

Πίνακας 4.1-3: *Delft* parameter check.

Πληρώνοντας τα κριτήρια της αριθμητικής μεθόδου *Delft* και με περιορισμό για αριθμό *Froude* (Fn_L) 0.75 προβήκαμε στο *Analysis*→*Methods* και επιλέξαμε τις μεθόδους *Delft* I,II και III.



Εικόνα 4.1-16: Επιλογή μεθόδων υπολογισμού αντίστασης.

Εν συνεχεία, από *Analysis* → *Speed* επιλέξαμε εύρος ταχυτήτων από 0 έως 10 *kn* (*knots*) και αυτομάτως εμφανίστηκαν στο παράθυρο *Results* τα αποτελέσματα της αντίστασης εκφρασμένης σε *N* (*Newton*) και της απαιτούμενης ισχύος ρυμούλκησης εκφρασμένης σε *kW* (*kiloWatt*), όπως αποτυπώνονται στις παρακάτω εικόνες.

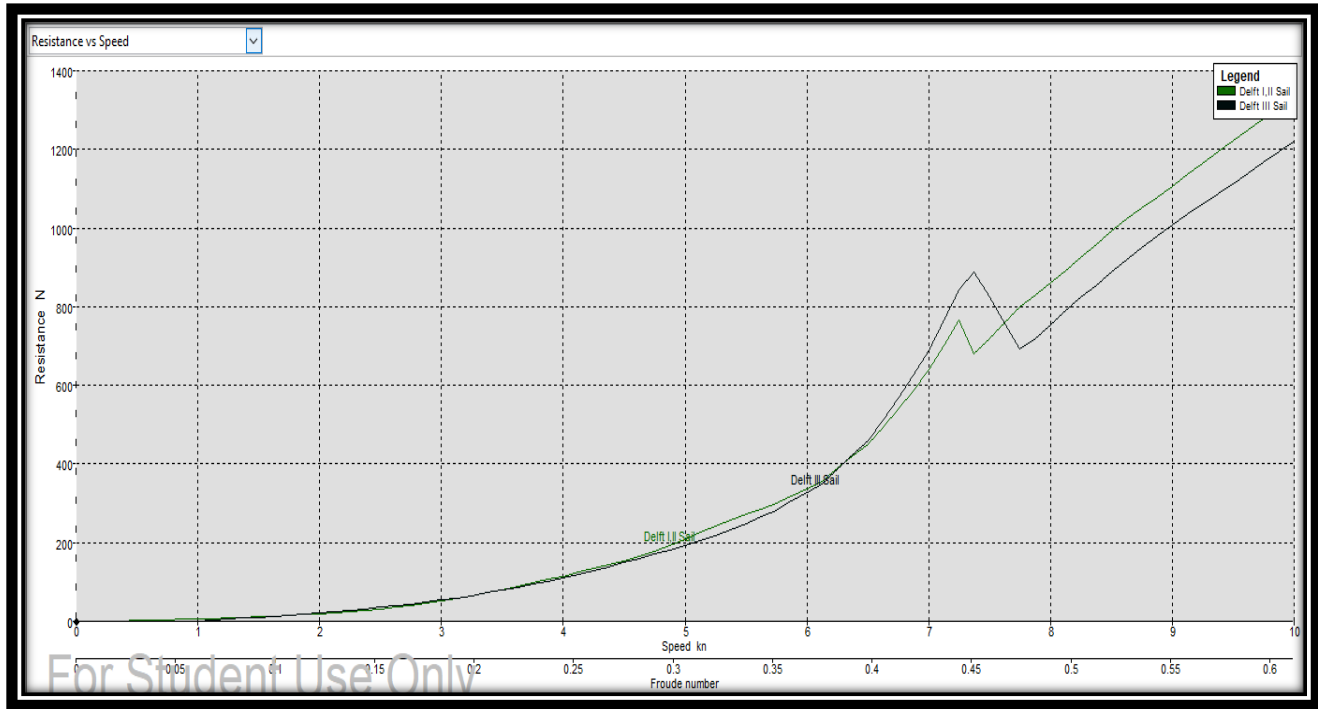
	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--
2	0.250	0.015	0.040	0.56	0.000	--	--
3	0.500	0.031	0.079	1.77	0.000	--	--
4	0.750	0.046	0.119	3.53	0.001	--	--
5	1.000	0.061	0.159	5.82	0.003	0.94	0.000
6	1.250	0.077	0.198	8.59	0.006	5.36	0.003
7	1.500	0.092	0.238	11.84	0.009	10.26	0.008
8	1.750	0.107	0.278	15.54	0.014	15.61	0.014
9	2.000	0.122	0.317	19.70	0.020	21.42	0.022
10	2.250	0.138	0.357	24.29	0.028	28.10	0.033
11	2.500	0.153	0.397	30.32	0.039	35.39	0.046
12	2.750	0.168	0.436	40.83	0.058	43.43	0.061
13	3.000	0.184	0.476	52.64	0.081	53.63	0.083
14	3.250	0.199	0.515	65.54	0.110	65.58	0.110
15	3.500	0.214	0.555	80.61	0.145	79.55	0.143
16	3.750	0.230	0.595	96.82	0.187	94.34	0.182
17	4.000	0.245	0.634	114.83	0.236	110.24	0.227
18	4.250	0.260	0.674	133.94	0.293	128.89	0.282
19	4.500	0.276	0.714	153.97	0.356	149.14	0.345
20	4.750	0.291	0.753	179.12	0.438	170.80	0.417
21	5.000	0.306	0.793	208.21	0.536	193.69	0.498

Εικόνα 4.1-17: Αποτελέσματα αριθμητικής μεθόδου Delft (1/2).

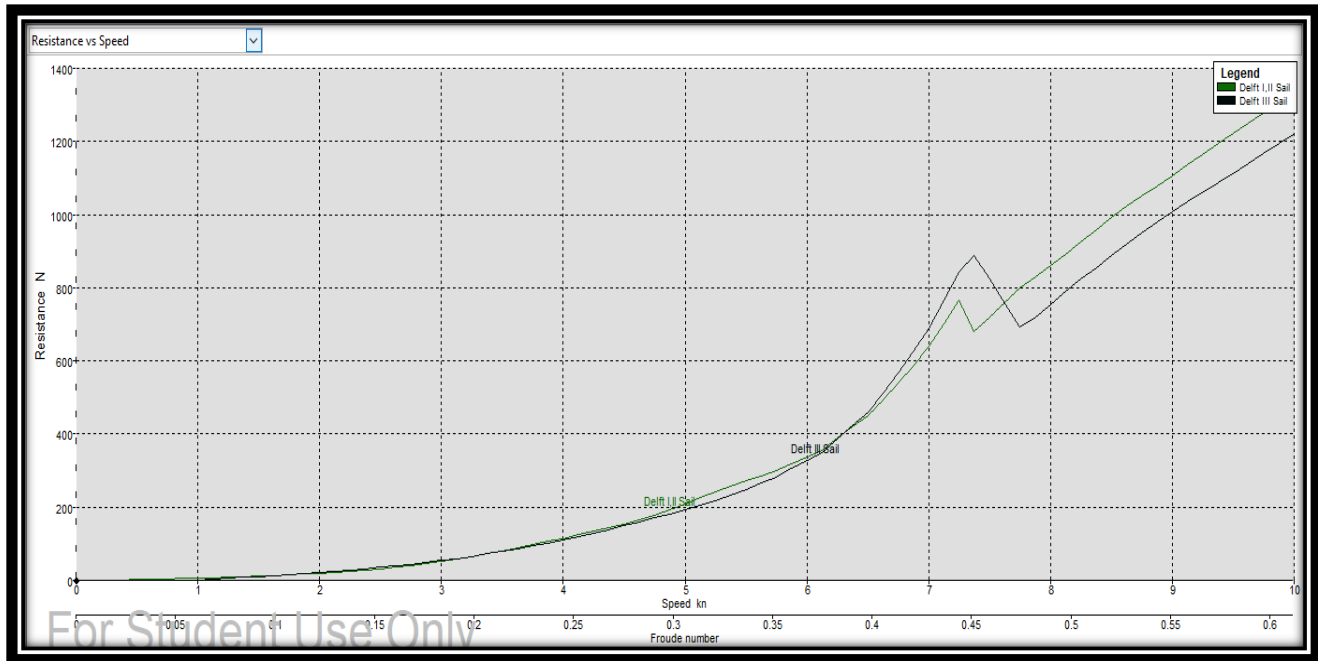
	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)
22	5.250	0.321	0.833	243.01	0.656	218.22	0.589
23	5.500	0.337	0.872	271.83	0.769	248.87	0.704
24	5.750	0.352	0.912	300.36	0.888	283.05	0.837
25	6.000	0.367	0.952	337.63	1.042	326.80	1.009
26	6.250	0.383	0.991	387.77	1.247	385.44	1.239
27	6.500	0.398	1.031	450.79	1.507	459.03	1.535
28	6.750	0.413	1.071	538.68	1.871	567.35	1.970
29	7.000	0.429	1.110	638.86	2.301	690.00	2.485
30	7.250	0.444	1.150	766.26	2.858	841.49	3.139
31	7.500	0.459	1.190	920.11	3.543	1023.36	3.977
32	7.750	0.474	1.229	1099.85	4.389	1241.84	4.978
33	8.000	0.490	1.269	1308.83	5.443	1505.59	6.271
34	8.250	0.505	1.309	1552.66	6.762	1832.60	7.911
35	8.500	0.520	1.348	1838.19	8.413	2248.97	9.989
36	8.750	0.536	1.388	2172.68	10.473	2774.79	12.671
37	9.000	0.551	1.427	2564.01	13.015	3440.05	16.172
38	9.250	0.566	1.467	3024.98	16.214	4286.31	20.746
39	9.500	0.582	1.507	3569.38	20.244	5361.12	26.940
40	9.750	0.597	1.546	4214.95	25.215	6728.85	35.485
41	10.000	0.612	1.586	4980.21	32.366	8452.19	46.777

Εικόνα 4.1-18: Αποτελέσματα αριθμητικής μεθόδου Delft (2/2).

Επιπρόσθετα, στο παράθυρο *Graph* εμφανίζεται η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.1-19: Γραφική απεικόνιση αντίστασης-ταχύτητας.



Εικόνα 4.1-20: Γραφική απεικόνιση ισχύος-ταχύτητας.

Το λογισμικό εκτός των αριθμητικών μεθόδων δύναται να υπολογίσει και αναλυτικά την αντίσταση μέσω της μεθόδου *Slender body* η οποία υπολογίζει την αντίσταση κυματισμού μέσω της αναλυσκόμενης ενέργειας στο κυματικό μοτίβο της ελεύθερης επιφάνειας που δημιουργεί το σκάφος, ενώ για την εύρεση της ολικής αντίστασης υπολογίζεται και προστίθεται η αντίσταση λόγω ιξώδους χρησιμοποιώντας το

συντελεστή μορφής και την μέθοδο *ITTC'57*. Η αναλυτική μέθοδος αποδίδει για λόγο μήκους/πλάτους μεγαλύτερο του 5 ενώ στο *Appendix B* του *Resistance manual* αναφέρεται πως ο λόγος μήκους προς την τρίτη ρίζα του όγκου εκτοπίσματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 4. Επιπρόσθετα ως προς την ταχύτητα, ο *David Gerr* (2008) αναφέρει πως η μέθοδος *Wyman* αποδίδει εξαιρετικά αποτελέσματα για *SL* (*Slender ratio*) μεγαλύτερο του 2 ενώ για μικρότερο αποδίδει αποδεκτά, σύμφωνα με τη σχέση υπολογισμού $SL = \frac{\text{speed[kn]}}{\sqrt{\text{length on waterline[ft]}}$.

Ο λόγος *L/B* του εν λόγω σκάφους είναι 3.809 σημαντικά μικρότερος του ενδεικνυόμενου 5 και ο λόγος $L/V^{1/3}$ ισούται με 6.711 (εντός ορίων), ενώ για τη μέθοδο *Wyman* οι ταχύτητες που αποδίδουν $SL > 2$ εκκινούν από τους 9.5 kn, υποδηλώνοντας μας πως τα αποτελέσματα ενδεχομένως να υστερούν σε ακρίβεια. Παρόλα αυτά, για λόγους πληρότητας και σύγκρισης αποτελεσμάτων επιλέξαμε να κάνουμε την προσομοίωση με την αναλυτική μέθοδο υπολογισμού για το ίδιο εύρος ταχυτήτων μέσω του *Analysis* → *Method* → *Slender body* και για το συντελεστή μορφής *Holtrop* που αφορά τα *monohull*. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε πως για τον υπολογισμό της αναλυτικής μεθόδου πρέπει να επιλεγθεί από *Analysis* → *Solve Resistance Analysis* και να περιμένουμε (αναλόγως της υπολογιστικής ισχύος του εκάστοτε H/Y) σε αντίθεση με τις αριθμητικές μεθόδους όπου ο υπολογισμός εμφανίζεται άμεσα σε κάθε επιλογή. Τα χαρακτηριστικά του H/Y που έγιναν οι προσομοιώσεις αφορούσαν σε επεξεργαστή *Intel Core i7-4510* με συχνότητα 2.00GHz σε σύστημα 64-bit, μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM) 8Gb και ανεξάρτητη κάρτα γραφικών *Ge Force 840M* με *Dedicated video memory 2048Mb DDR3*, ενώ ο χρόνος προσομοίωσης είχε διάρκεια περίπου 50 δευτερολέπτων.

Select methods to be computed ✕

Planing

Savitsky pre-planing

Savitsky planing

Blount and Fox

Lahtiharju

Wyman

Displacement

Holtrop

Compton

Fung

van Oortmerssen

Series 60

KR Barge resistance

Yachts

Delft I, II

Delft III

Analytical

Slender Body

Form factor (1+k), including viscous interaction for multihulls

Method ▼

Use 19th ITTC modified formula for CA

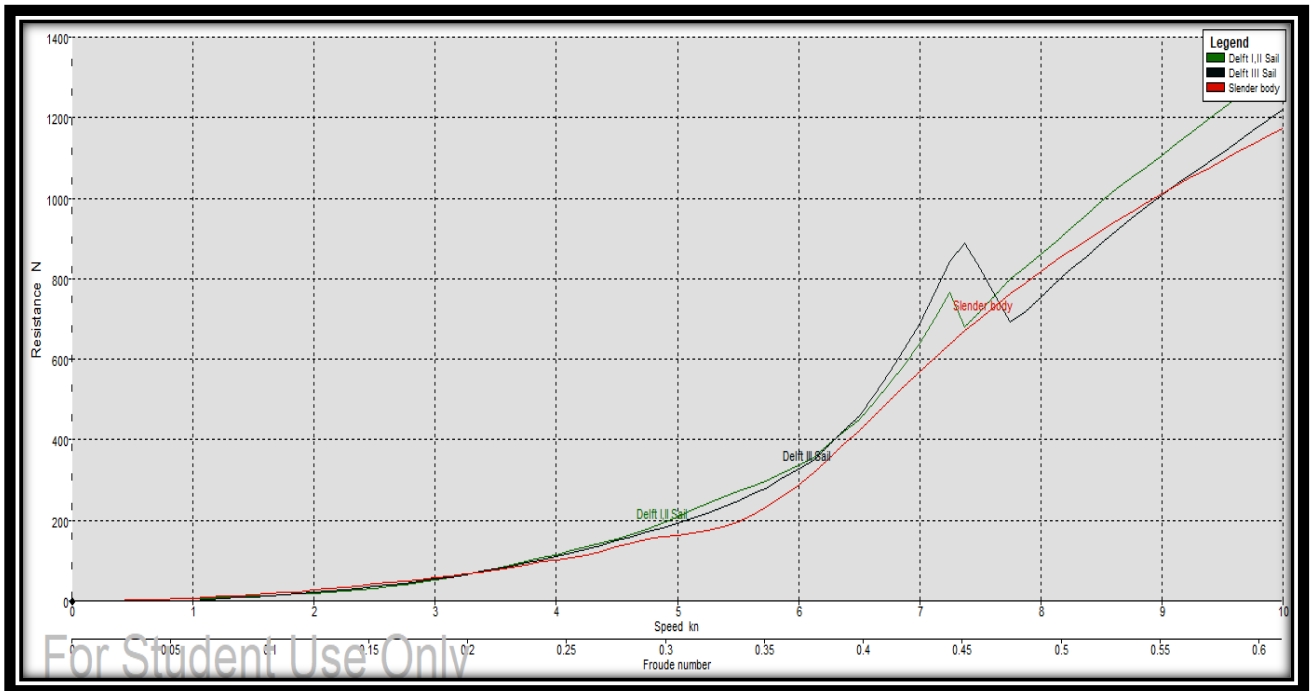
Εικόνα 4.1-21: Slender body method.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--	--	--
2	0.250	0.015	0.040	0.56	0.000	--	--	0.58	0.000
3	0.500	0.031	0.079	1.77	0.000	--	--	2.01	0.001
4	0.750	0.046	0.119	3.53	0.001	--	--	4.19	0.002
5	1.000	0.061	0.159	5.82	0.003	0.94	0.000	7.10	0.004
6	1.250	0.077	0.198	8.59	0.006	5.36	0.003	10.93	0.007
7	1.500	0.092	0.238	11.84	0.009	10.26	0.008	15.42	0.012
8	1.750	0.107	0.278	15.54	0.014	15.61	0.014	20.25	0.018
9	2.000	0.122	0.317	19.70	0.020	21.42	0.022	26.87	0.028
10	2.250	0.138	0.357	24.29	0.028	28.10	0.033	34.19	0.040
11	2.500	0.153	0.397	30.32	0.039	35.39	0.046	42.90	0.055
12	2.750	0.168	0.436	40.83	0.058	43.43	0.061	49.87	0.071
13	3.000	0.184	0.476	52.64	0.081	53.63	0.083	56.76	0.088
14	3.250	0.199	0.515	65.54	0.110	65.58	0.110	67.55	0.113
15	3.500	0.214	0.555	80.61	0.145	79.55	0.143	75.94	0.137
16	3.750	0.230	0.595	96.82	0.187	94.34	0.182	90.19	0.174
17	4.000	0.245	0.634	114.83	0.236	110.24	0.227	101.93	0.210
18	4.250	0.260	0.674	133.94	0.293	128.89	0.282	114.29	0.250
19	4.500	0.276	0.714	153.97	0.356	149.14	0.345	134.50	0.311
20	4.750	0.291	0.753	179.12	0.438	170.80	0.417	152.73	0.373
21	5.000	0.306	0.793	208.21	0.536	193.69	0.498	163.79	0.421

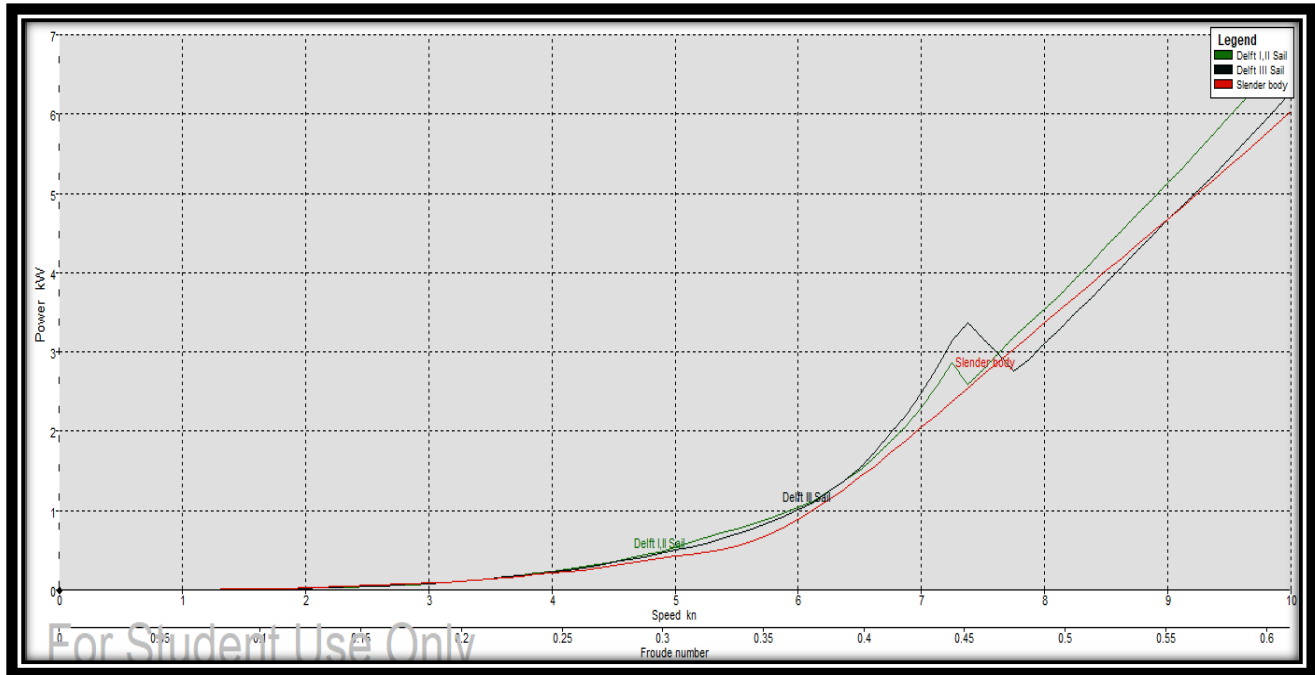
Εικόνα 4.1-22: Slender body results (1/2).

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (kW)
22	5.250	0.321	0.833	243.01	0.656	218.22	0.589	175.19	0.473
23	5.500	0.337	0.872	271.83	0.769	248.87	0.704	197.34	0.558
24	5.750	0.352	0.912	300.36	0.888	283.05	0.837	235.42	0.696
25	6.000	0.367	0.952	337.63	1.042	326.80	1.009	288.66	0.891
26	6.250	0.383	0.991	387.77	1.247	385.44	1.239	353.05	1.135
27	6.500	0.398	1.031	450.79	1.507	459.03	1.535	423.75	1.417
28	6.750	0.413	1.071	538.68	1.871	567.35	1.970	496.56	1.724
29	7.000	0.429	1.110	638.86	2.301	690.00	2.485	568.35	2.047
30	7.250	0.444	1.150	766.26	2.858	841.49	3.139	637.17	2.376
31	7.500	0.459	1.190	920.11	3.544	1009.05	3.879	701.94	2.708
32	7.750	0.474	1.229	1107.85	4.381	1209.05	4.672	762.34	3.039
33	8.000	0.490	1.269	1323.63	5.381	1444.59	5.621	818.50	3.369
34	8.250	0.505	1.309	1570.66	6.581	1719.60	6.739	870.80	3.696
35	8.500	0.520	1.348	1852.19	8.031	2039.97	8.079	919.77	4.022
36	8.750	0.536	1.388	2172.68	9.681	2410.44	9.671	965.99	4.348
37	9.000	0.551	1.427	2537.01	11.581	2837.05	11.535	1010.01	4.676
38	9.250	0.566	1.467	2950.98	13.781	3327.31	13.646	1052.35	5.008
39	9.500	0.582	1.507	3420.38	16.341	3887.12	16.040	1093.43	5.344
40	9.750	0.597	1.546	3952.95	19.321	4514.85	19.258	1133.65	5.686
41	10.000	0.612	1.586	--	--	5216.19	22.277	1173.30	6.036

Εικόνα 4.1-23: Slender body results (2/2).



Εικόνα 4.1-24: Γραφική απεικόνιση αντίστασης-ταχύτητας όλων των μεθόδων.



Εικόνα 4.1-25: Γραφική απεικόνιση ισχύος-ταχύτητας όλων των μεθόδων.

4.1.3. Υπολογισμός κυματικού μοτίβου ελεύθερης επιφάνειας

Η επίλυση της αναλυτικής μεθόδου μπορεί να απεικονίσει στις τρεις διαστάσεις το κυματικό μοτίβο της ελεύθερης επιφάνειας που δημιουργεί το υπό μελέτη σκάφος για συγκεκριμένη ταχύτητα, παρακάμπτοντας φαινόμενα που δημιουργούνται λόγω πυκνότητας και προσπιπτουσών κυματισμών. Μέσω του *Analysis* → *Calculate free surfaces* ανοίγει παράθυρο παραμετροποίησης το οποίο συμπληρώσαμε σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα.

Free surface calculation parameters

Speed 9 kn Froude No. 0.551

Free surface grid

Mirror

Port 2

Aft 5 num. vessel lengths 1 Fwd 15

2

Stbd

Long. grid points 150

Integration precision 35001

Vertical exaggeration 1.5

OK Cancel

Εικόνα 4.1-26: Ενδεικτική απεικόνιση παραμετροποίησης υπολογισμού ελεύθερης επιφάνειας.

Όπου:

Free surface speed: Η ταχύτητα για την οποία θέλουμε να γίνει ο υπολογισμός, εκφρασμένη είτε σε κόμβους είτε με τον αδιάστατο αριθμό *Froude*.

Free surface grid area: Η περιοχή του πλέγματος υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας εκφρασμένη σε πολλαπλάσια μήκη σκάφους ενώ δύναται να παραμετροποιηθεί και ο αριθμός των σημείων. Σε συμμετρικά ως προς το διαμήκη άξονα σκάφη το *mirror* υπολογίζει μόνο τη μία πλευρά (*starboard*) και την προβάλλει στην άλλη.

Free surface integration precision: Αφορά στην ακρίβεια της μεθόδου μέσω του αριθμού επαναλήψεων σε κάθε κόμβο του πλέγματος. Όσο υψηλότερος τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια όμως αυξάνονται αντίστοιχα (σε συνδυασμό με το σύνολο των στοιχείων του πλέγματος και τον αριθμό *Froude*) οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και ο χρόνος επίλυσης.

Free surface wave height vertical exaggeration: Το ύψος κύματος στην απεικόνιση (μόνο για οπτικούς λόγους). Δύναται να αλλάξει χωρίς να απαιτείται επανυπολογισμός του μοτίβου πατώντας τη νέα τιμή και *cancel*.

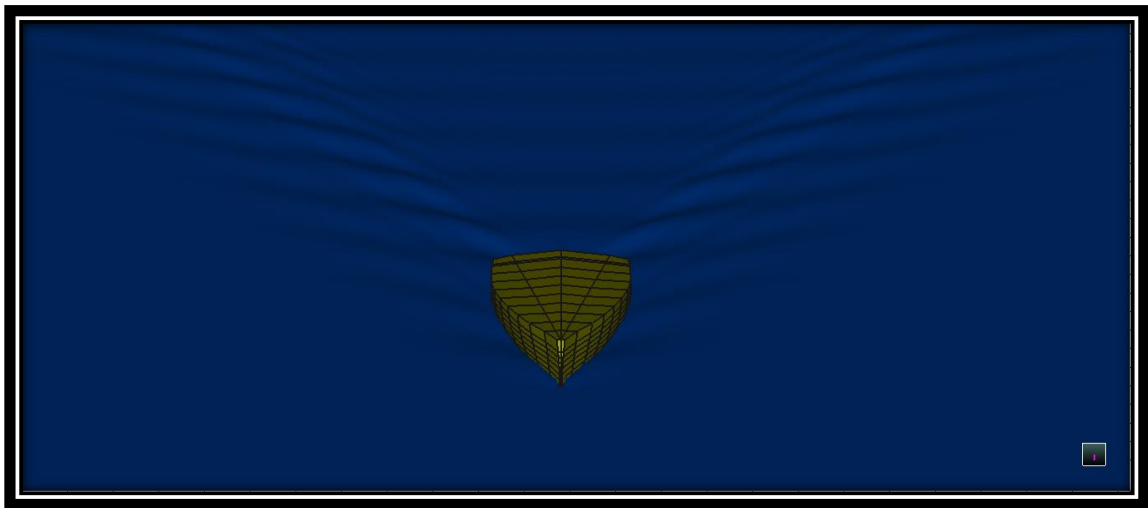
Αποφασίσαμε να γίνουν υπολογισμοί τόσο για το σκάφος όσο και για το μοντέλο για ταχύτητες σκάφους από 5 έως 10 κόμβους σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα.

Ταχύτητα σκάφους [kn]	Αριθμός Froude [Fn]
5	0.306
6	0.367
7	0.429
8	0.49
9	0.551
10	0.612

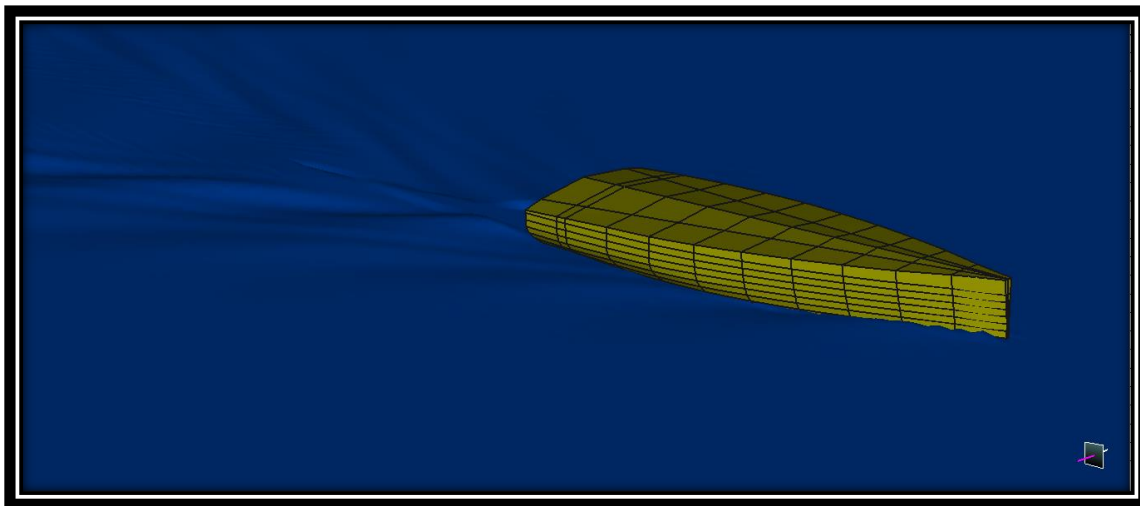
Πίνακας 4.1-4: Ταχύτητες υπολογισμού κυματικού μοτίβου ελεύθερης επιφάνειας.

Επιπρόσθετα, για την ερμηνεία του ύψους των παραγόμενων κυματισμών, μέσω του *File*→*Save Free Surface As* δύναται η αποθήκευση, σε αρχείο *Text (.txt)*, των συντεταγμένων των σημείων του πλέγματος στις τρεις διαστάσεις, εκφρασμένων σε μέτρα. Αναλυτικότερα, μετά την αποθήκευση των σημείων έγινε η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα *excel* μέσω *File*→*Open* και επιλογή του αρχείου *.txt* για την εκάστοτε ταχύτητα, με συνέπεια την εμφάνιση δισδιάστατου πίνακα (150x150) όπου οι γραμμές απεικόνιζαν τη διαμήκη θέση του κάθε σημείου, οι στήλες την εγκάρσια και το εσωτερικό του, το εκάστοτε σημαντικό ύψος κύματος σε σχέση με την αρχή των αξόνων που είχαμε ορίσει (0,0,0 στο μέσο του καθρέπτη στο ύψος της *baseline*). Στη συνέχεια, μέσω των εξισώσεων *MIN()* και *MAX()* βρέθηκε το ελάχιστο και το μέγιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για την εκάστοτε ταχύτητα, ενώ επιλέγοντας το σύνολο των στοιχείων *Insert*→*Chart*→*3D Area* δημιουργήθηκε τρισδιάστατο γράφημα με σκοπό την βαθύτερη ερμηνεία της «*contoured*» απεικόνισης της, μέσω της ποσοτικοποίησης της.

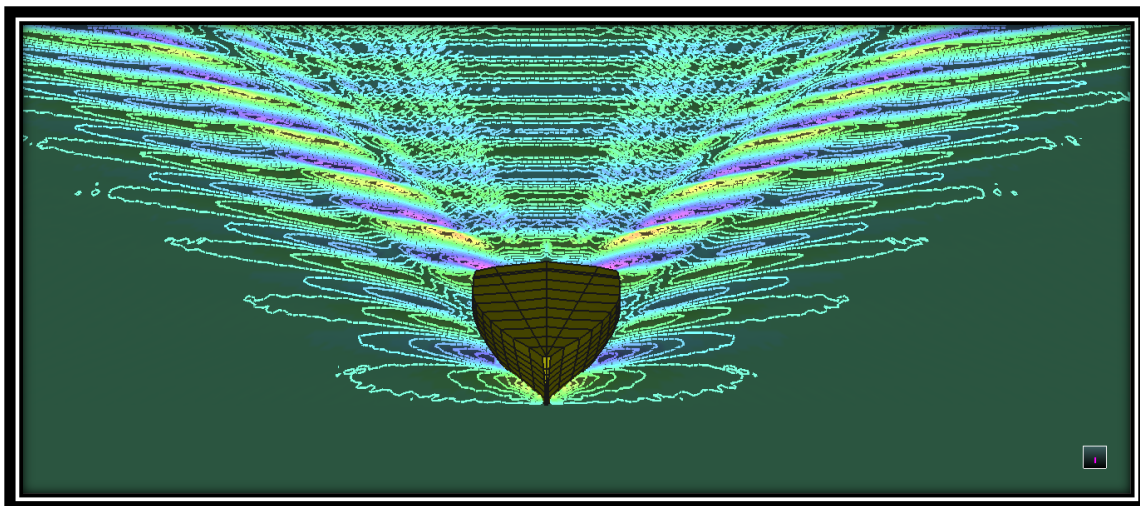
Ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμού για κάθε ταχύτητα διήρκησε περίπου 80 δευτερόλεπτα και το σύνολο των αποτελεσμάτων, απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες.



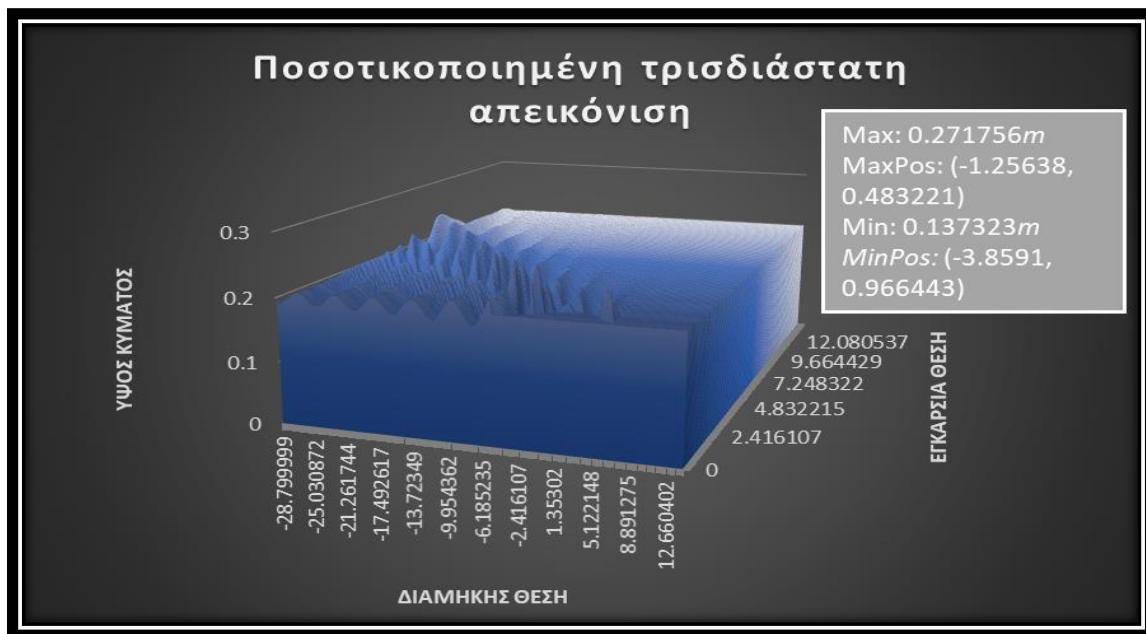
Εικόνα 4.1-27: *Free surface* για ταχύτητα $V=5kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-28: Free surface για ταχύτητα $V=5kn$ (2/2).



Εικόνα 4.1-29: Free surface contoured για ταχύτητα $V=5kn$.

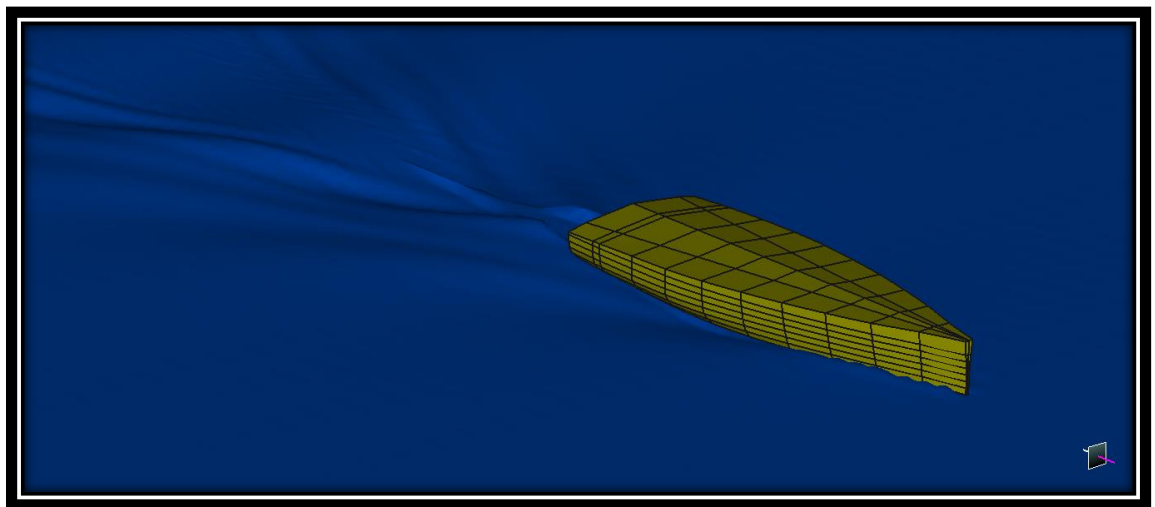


Εικόνα 4.1-30: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=5kn$.

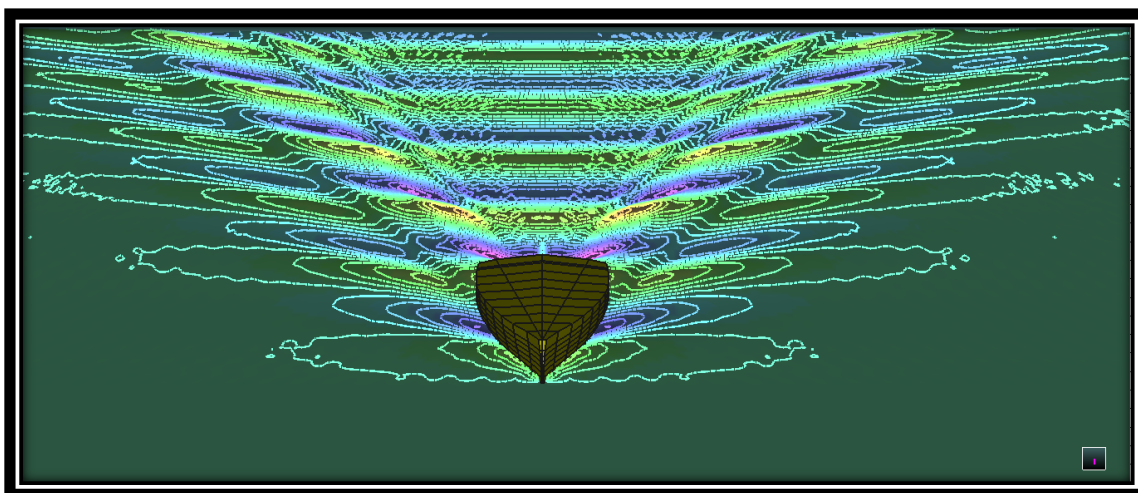
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=5kn$ είναι $0.137323m$ στη θέση $(-3.8591, 0.966443)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.271756m$ στη θέση $(-1.25638, 0.483221)$.



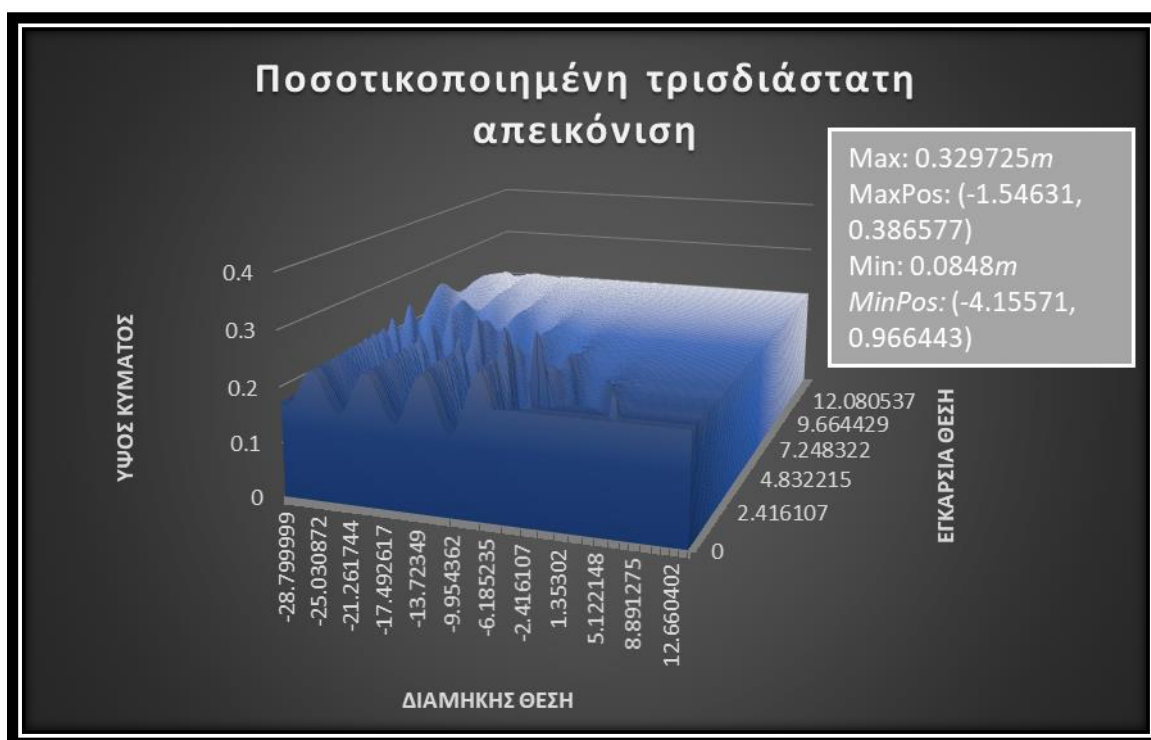
Εικόνα 4.1-31: Free surface για ταχύτητα $V=6kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-32: Free surface για ταχύτητα $V=6kn$ (2/2).

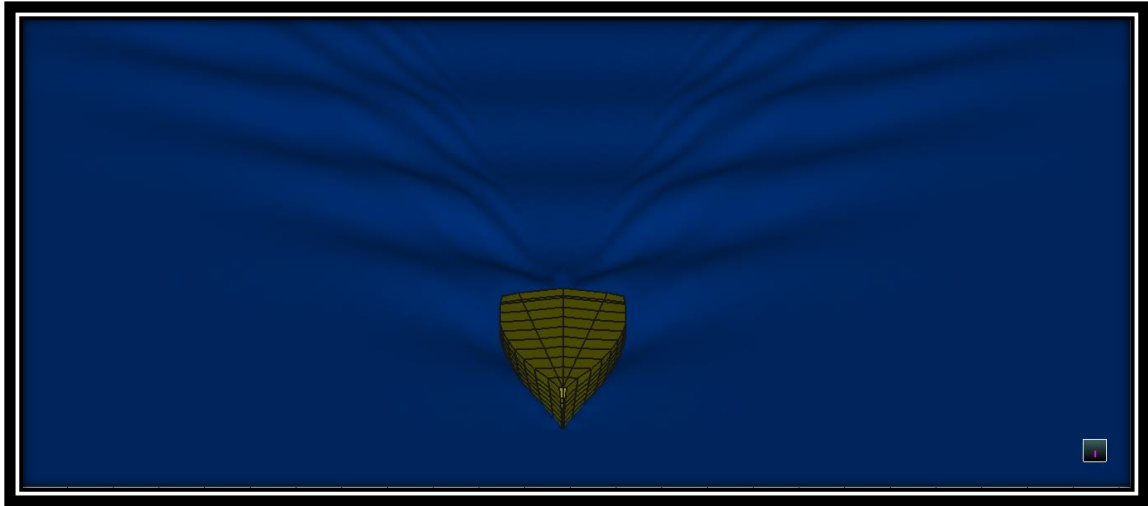


Εικόνα 4.1-33: Free surface contoured για ταχύτητα $V=6kn$.

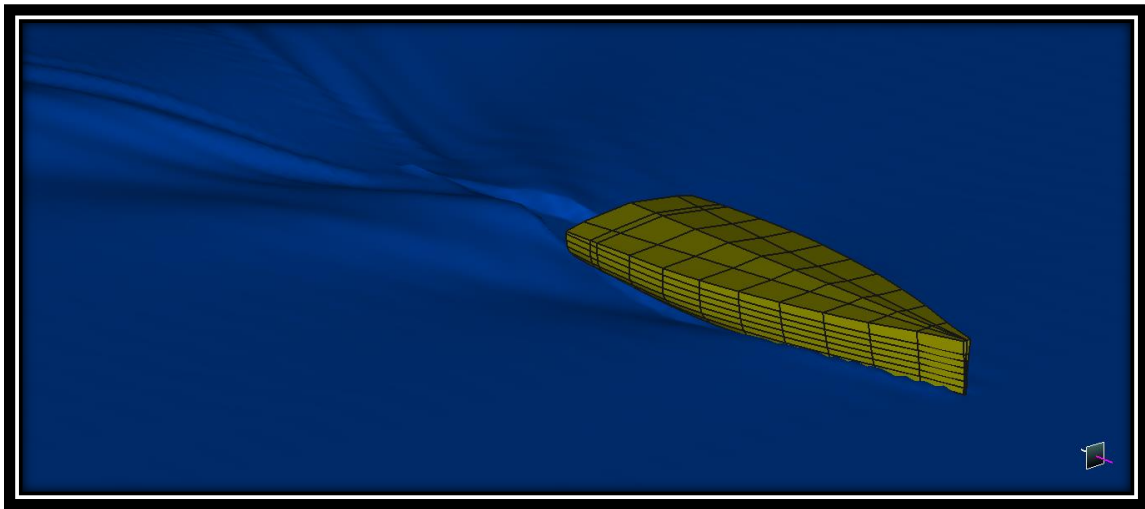


Εικόνα 4.1-34: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=6kn$.

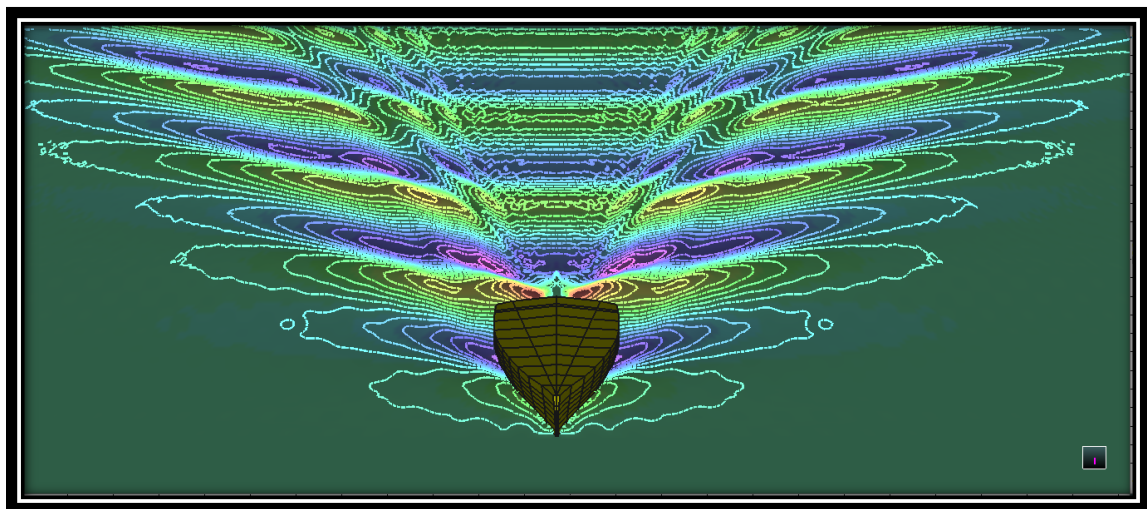
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=6kn$ είναι $0.0848m$ στη θέση $(-4.15571, 0.966443)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.329725m$ στη θέση $(-1.54631, 0.386577)$.



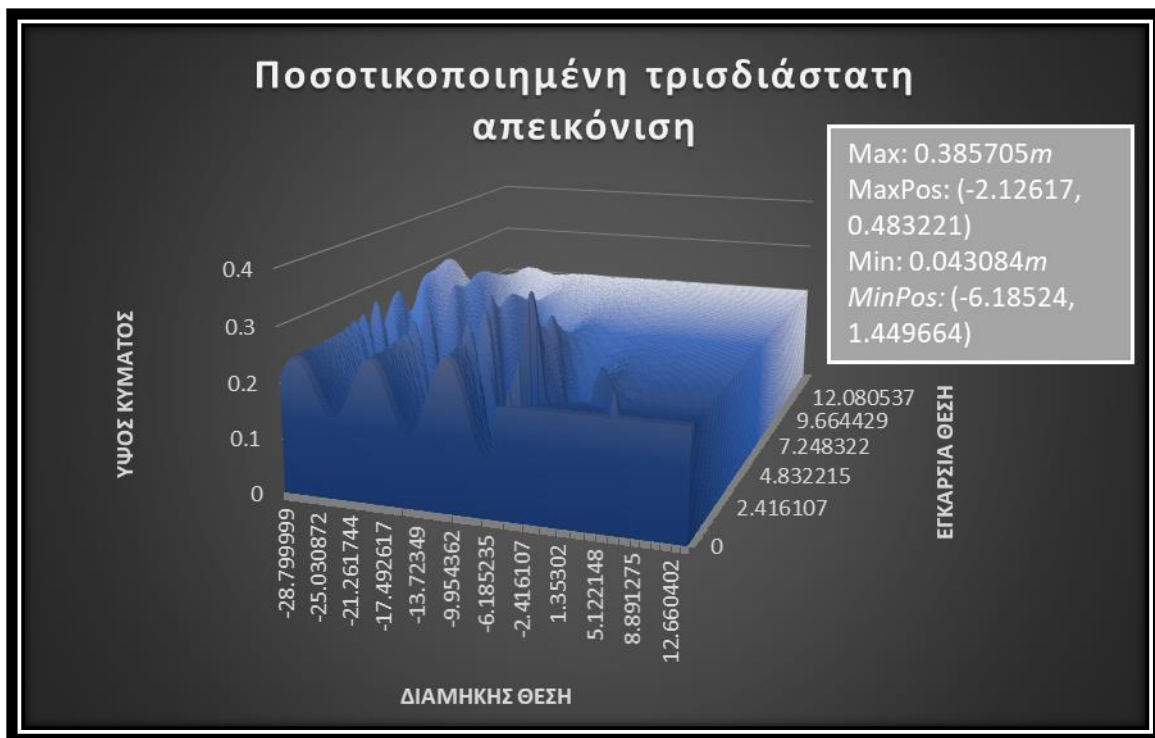
Εικόνα 4.1-35: Free surface για ταχύτητα $V=7kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-36: Free surface για ταχύτητα $V=7kn$ (2/2).

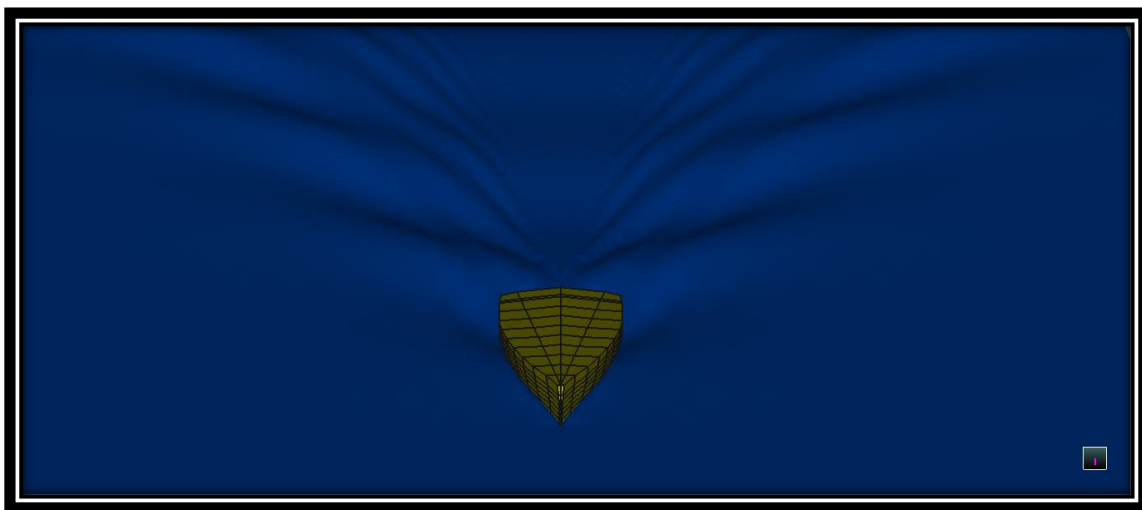


Εικόνα 4.1-37: Free surface contoured για ταχύτητα $V=7kn$.

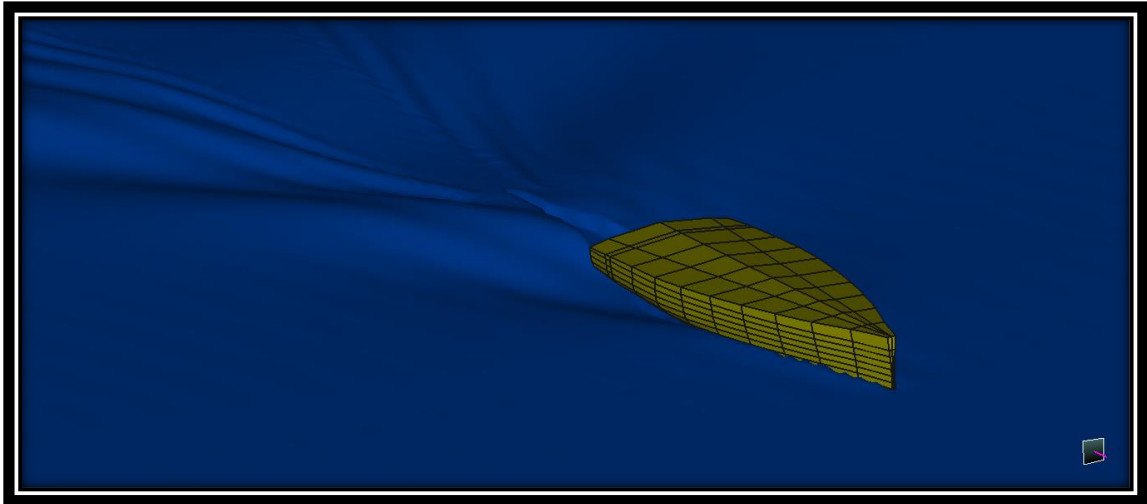


Εικόνα 4.1-38: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=7kn$.

Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=7kn$ είναι $0.043084m$ στη θέση $(-6.18524, 1.449664)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.385705m$ στη θέση $(-2.12617, 0.483221)$.



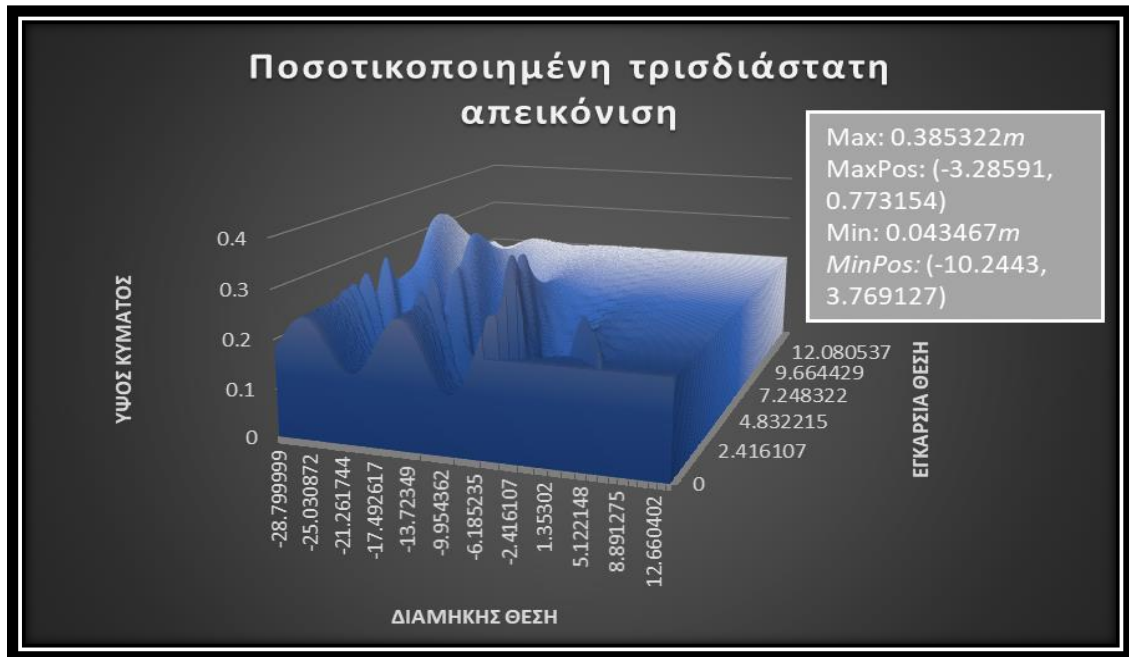
Εικόνα 4.1-39: Free surface για ταχύτητα $V=8kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-40: Free surface για ταχύτητα $V=8kn$ (2/2).

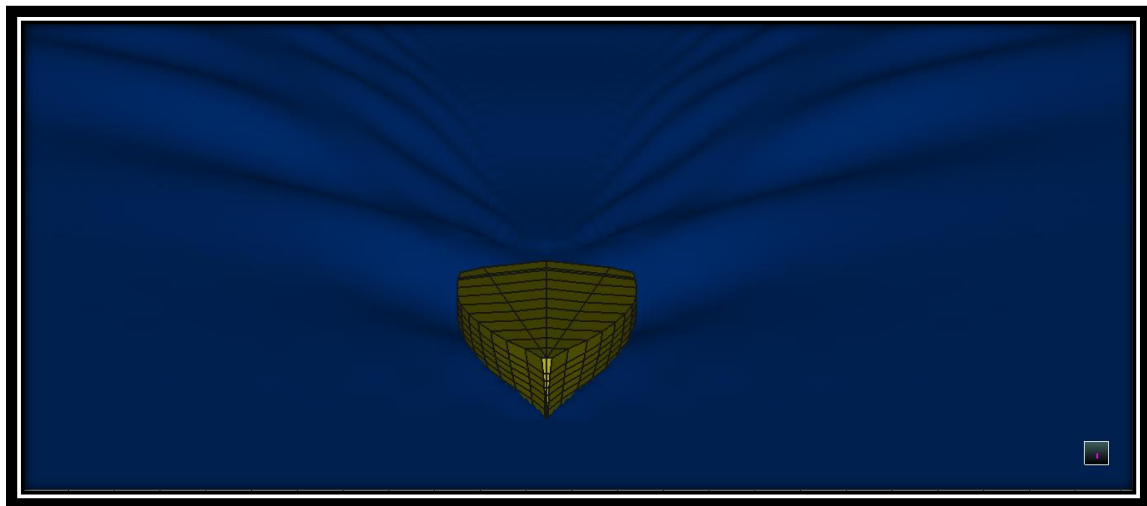


Εικόνα 4.1-41: Free surface contoured για ταχύτητα $V=8kn$.

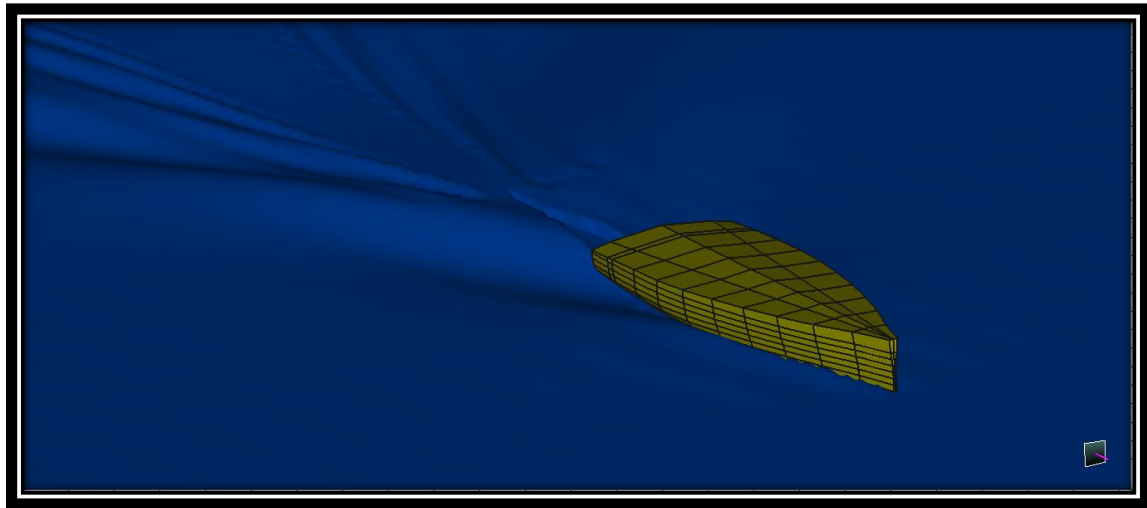


Εικόνα 4.1-42: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=8kn$.

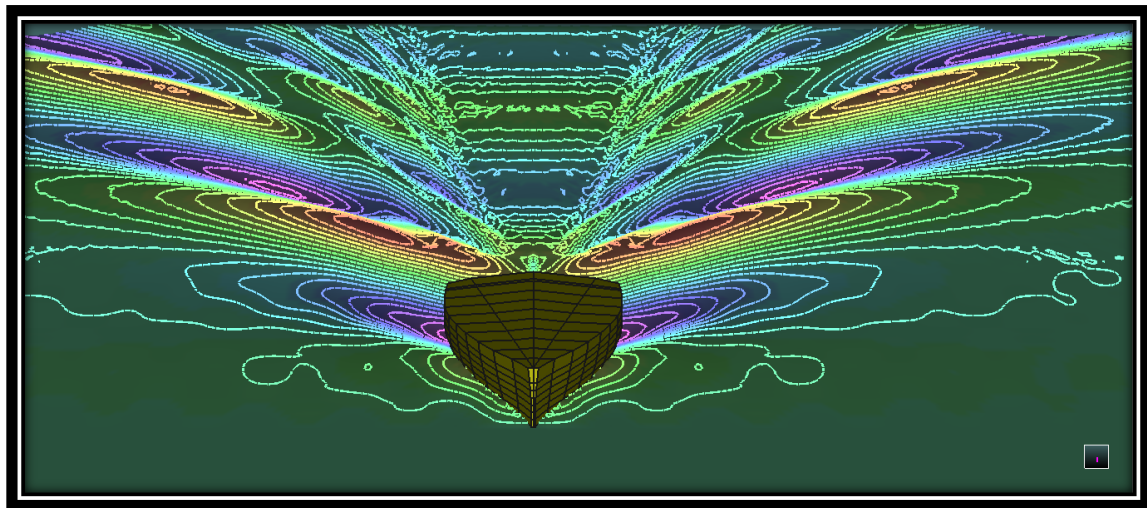
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=8kn$ είναι $0.043467m$ στη θέση $(-10.2443, 3.769127)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.385322m$ στη θέση $(-3.28591, 0.773154)$.



Εικόνα 4.1-43: Free surface για ταχύτητα $V=9kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-44: Free surface για ταχύτητα $V=9kn$ (2/2).

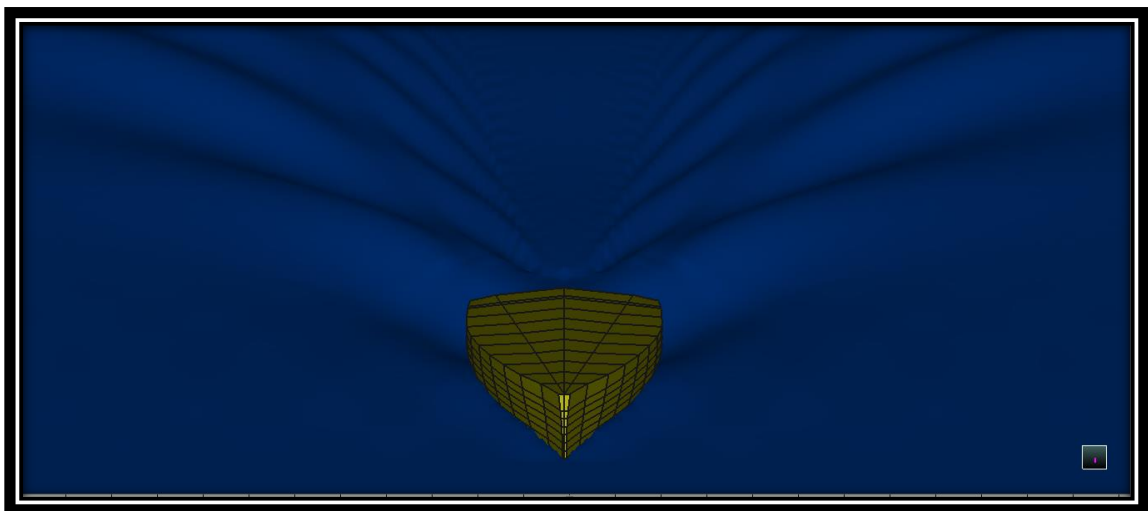


Εικόνα 4.1-45: Free surface contoured για ταχύτητα $V=9kn$.

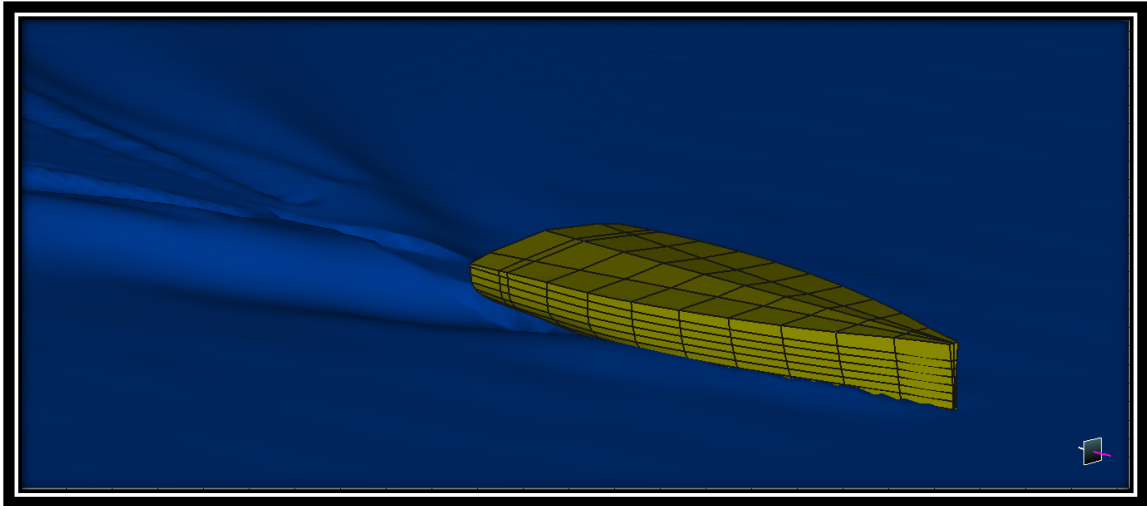


Εικόνα 4.1-46: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=9kn$.

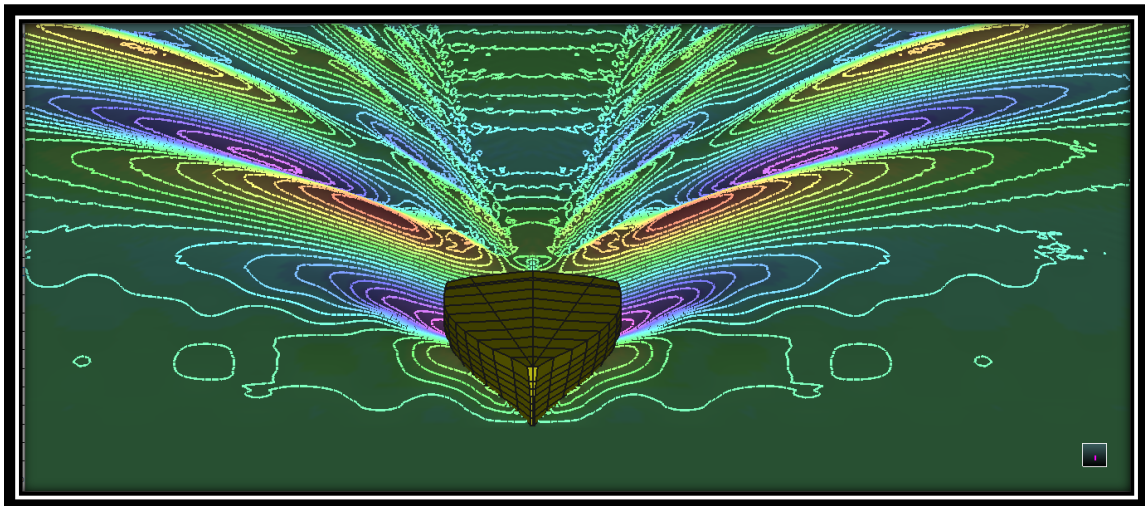
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=9kn$ είναι $0.011042m$ στη θέση $(0.193289, 0.67651)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.393458m$ στη θέση $(-6.47517, 2.416107)$.



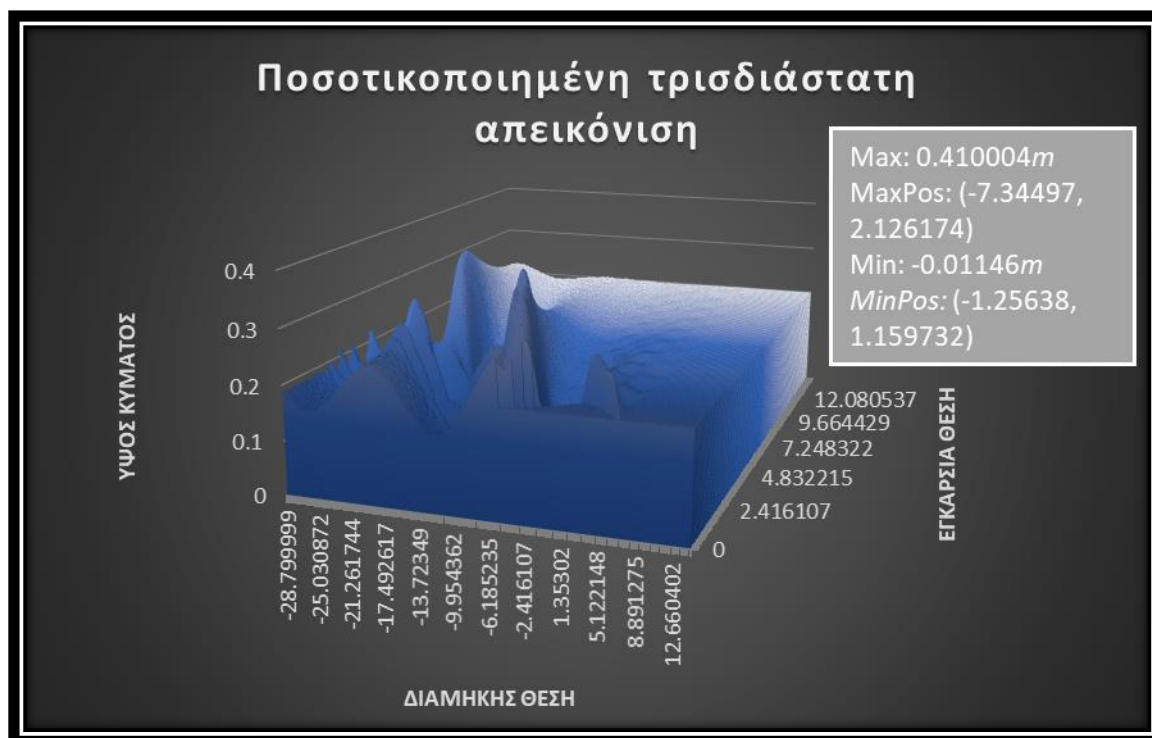
Εικόνα 4.1-47: Free surface για ταχύτητα $V=10kn$ (1/2).



Εικόνα 4.1-48: Free surface για ταχύτητα $V=10kn$ (2/2).



Εικόνα 4.1-49: Free surface contoured για ταχύτητα $V=10kn$.



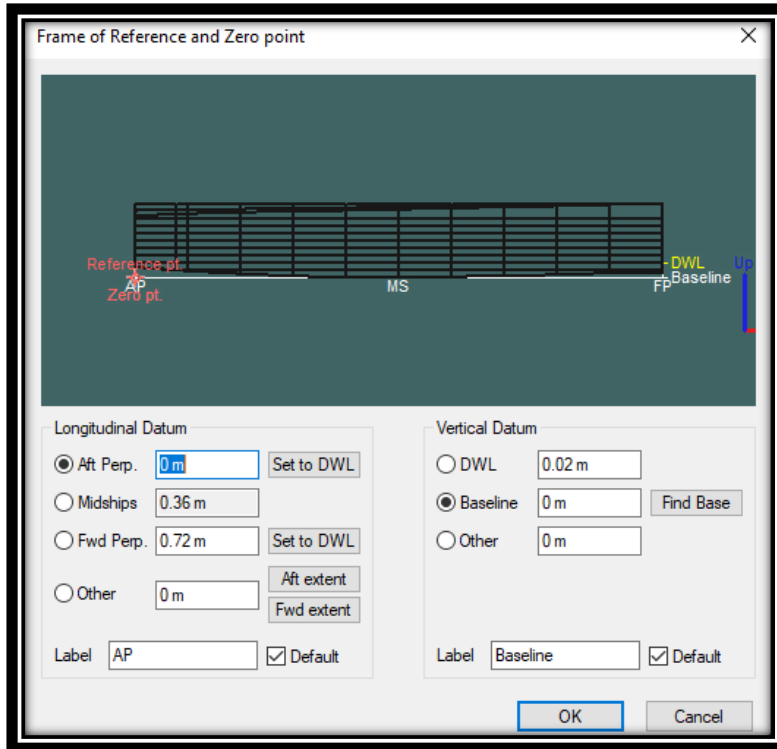
Εικόνα 4.1-50: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος για $V=10kn$.

Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για ταχύτητα $V=10kn$ είναι $-0.01146m$ στη θέση $(-1.25638, 1.159732)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.410004m$ στη θέση $(-7.34497, 2.126174)$.

4.2. Προεκτίμηση αντίστασης μοντέλου

Για την εύρεση της αντίστασης του μοντέλου ακολουθήθηκε επακριβώς η ίδια διαδικασία πλην όμως του εύρους ταχυτήτων που εισήχθησαν στο λογισμικό και της αλλαγής του νερού από θαλασσινό σε γλυκό (πυκνότητα και κινηματικό ιξώδες για γλυκό νερό $15^{\circ}C$).

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός *Froude* (διαστατική ομοιότητα) δεδομένου ότι $\lambda=1/10$ και διατηρώντας σταθερό τον αριθμό *Froude* η ταχύτητα των $10 kn$ του σκάφους μεταφράζεται σε $3,162 kn$ στο μοντέλο μέσω της σχέσης $V_m = \frac{Vs}{\sqrt{\lambda}}$ με τη διαδικασία και τα αποτελέσματα να αποτυπώνονται στις παρακάτω εικόνες.



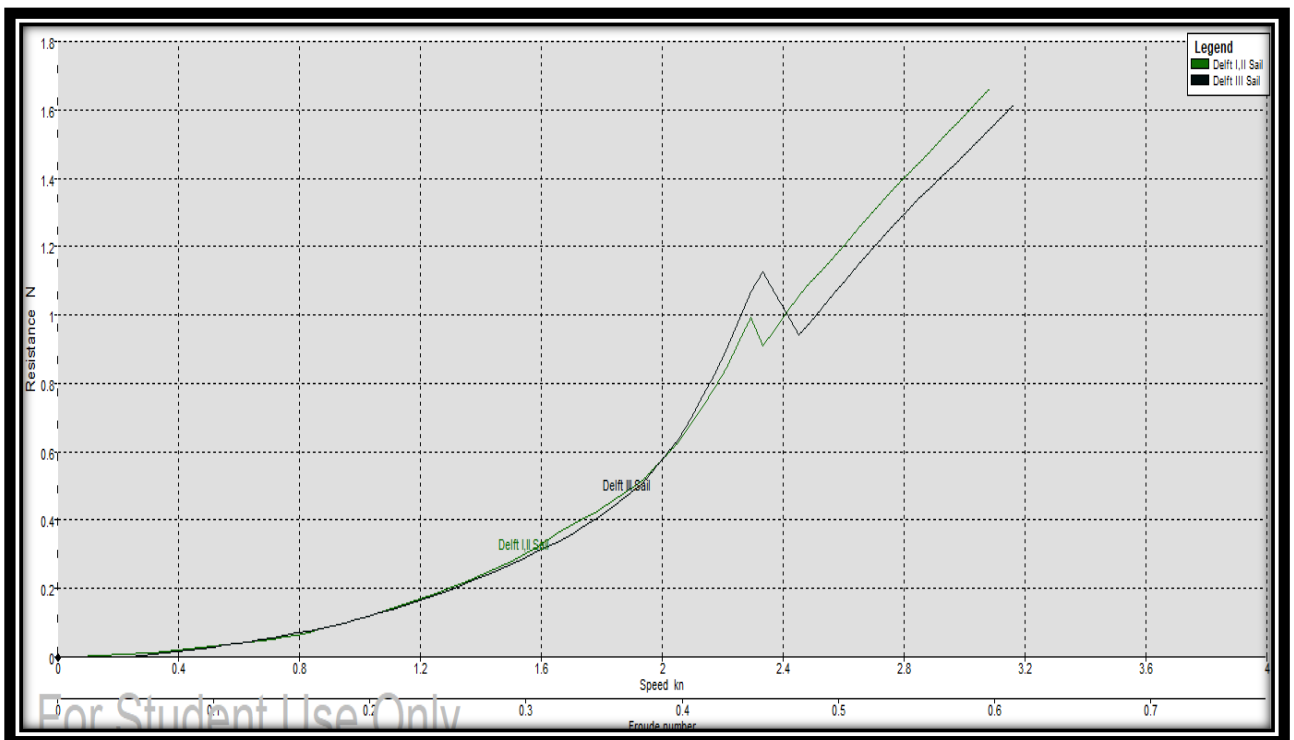
Εικόνα 4.2-1: Εισαγωγή σημείων αναφοράς μοντέλου.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--
2	0.079	0.015	0.040	0.00	0.000	--	--
3	0.158	0.031	0.079	0.00	0.000	--	--
4	0.237	0.046	0.119	0.01	0.000	0.00	0.000
5	0.316	0.061	0.158	0.01	0.000	0.01	0.000
6	0.395	0.077	0.198	0.02	0.000	0.02	0.000
7	0.474	0.092	0.237	0.03	0.000	0.02	0.000
8	0.553	0.107	0.277	0.03	0.000	0.03	0.000
9	0.632	0.122	0.316	0.04	0.000	0.04	0.000
10	0.711	0.138	0.356	0.05	0.000	0.06	0.000
11	0.790	0.153	0.395	0.06	0.000	0.07	0.000
12	0.870	0.168	0.435	0.08	0.000	0.08	0.000
13	0.949	0.184	0.474	0.10	0.000	0.10	0.000
14	1.028	0.199	0.514	0.12	0.000	0.12	0.000
15	1.107	0.214	0.553	0.14	0.000	0.14	0.000
16	1.186	0.230	0.593	0.16	0.000	0.16	0.000
17	1.265	0.245	0.633	0.19	0.000	0.19	0.000
18	1.344	0.260	0.672	0.22	0.000	0.21	0.000
19	1.423	0.275	0.712	0.25	0.000	0.24	0.000
20	1.502	0.291	0.751	0.28	0.000	0.27	0.000
21	1.581	0.306	0.791	0.32	0.000	0.31	0.000

Εικόνα 4.2-2: Αποτελέσματα αριθμητικής μεθόδου Delft για το μοντέλο (1/2).

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)
22	1.660	0.321	0.830	0.37	0.000	0.34	0.000
23	1.739	0.337	0.870	0.40	0.000	0.38	0.000
24	1.818	0.352	0.909	0.44	0.000	0.43	0.000
25	1.897	0.367	0.949	0.49	0.000	0.48	0.000
26	1.976	0.383	0.988	0.55	0.001	0.55	0.001
27	2.055	0.398	1.028	0.63	0.001	0.64	0.001
28	2.134	0.413	1.067	0.73	0.001	0.76	0.001
29	2.213	0.429	1.107	0.85	0.001	0.90	0.001
30	2.292	0.444	1.147	0.99	0.001	1.07	0.001
31	2.371	0.459	1.186	0.96	0.001	1.06	0.001
32	2.451	0.474	1.226	1.05	0.001	0.94	0.001
33	2.530	0.490	1.265	1.13	0.001	1.02	0.001
34	2.609	0.505	1.305	1.21	0.002	1.10	0.001
35	2.688	0.520	1.344	1.29	0.002	1.18	0.002
36	2.767	0.536	1.384	1.37	0.002	1.26	0.002
37	2.846	0.551	1.423	1.44	0.002	1.34	0.002
38	2.925	0.566	1.463	1.52	0.002	1.41	0.002
39	3.004	0.582	1.502	1.59	0.002	1.47	0.002
40	3.083	0.597	1.542	1.66	0.003	1.55	0.002
41	3.162	0.612	1.581	--	--	1.61	0.003

Εικόνα 4.2-3: Αποτελέσματα αριθμητικής μεθόδου Delft για το μοντέλο (2/2).



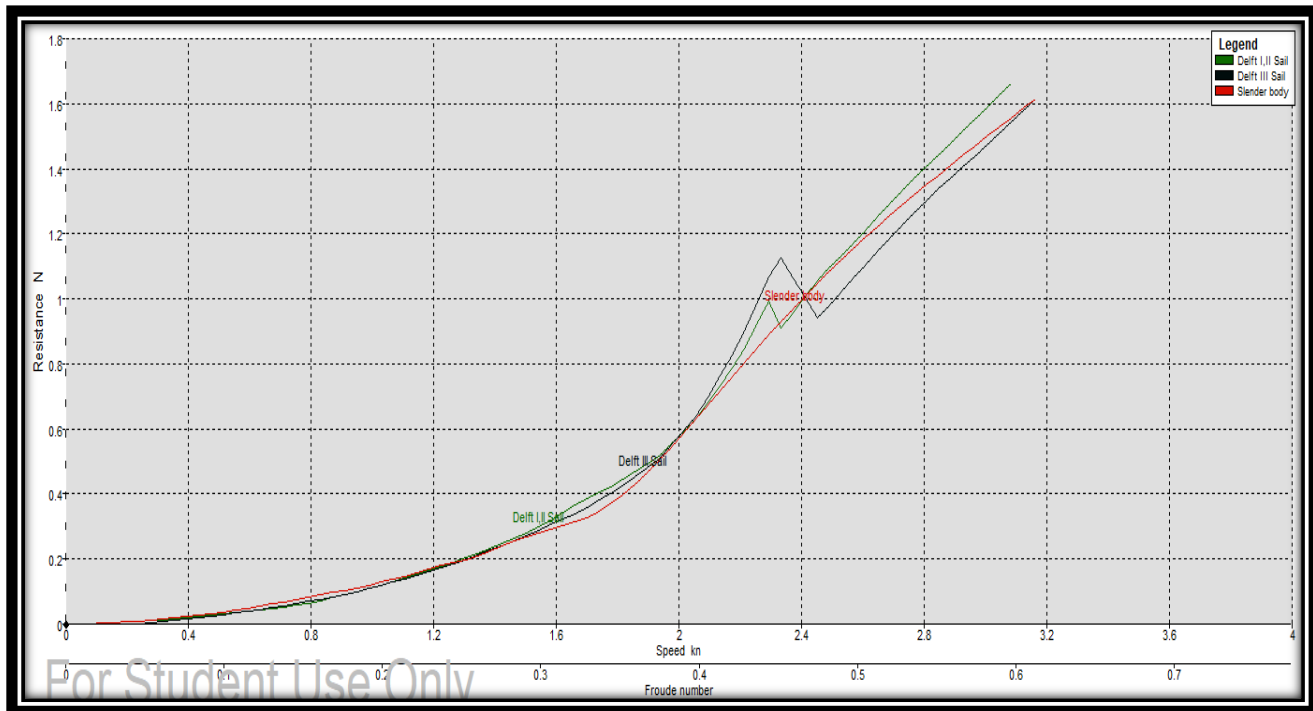
Εικόνα 4.2-4: Γραφική απεικόνιση αντίστασης-ταχύτητας για το μοντέλο.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--	--	--
2	0.079	0.015	0.040	0.00	0.000	--	--	0.00	0.000
3	0.158	0.031	0.079	0.00	0.000	--	--	0.00	0.000
4	0.237	0.046	0.119	0.01	0.000	0.00	0.000	0.01	0.000
5	0.316	0.061	0.158	0.01	0.000	0.01	0.000	0.02	0.000
6	0.395	0.077	0.198	0.02	0.000	0.02	0.000	0.02	0.000
7	0.474	0.092	0.237	0.03	0.000	0.02	0.000	0.03	0.000
8	0.553	0.107	0.277	0.03	0.000	0.03	0.000	0.04	0.000
9	0.632	0.122	0.316	0.04	0.000	0.04	0.000	0.05	0.000
10	0.711	0.138	0.356	0.05	0.000	0.06	0.000	0.07	0.000
11	0.790	0.153	0.395	0.06	0.000	0.07	0.000	0.08	0.000
12	0.870	0.168	0.435	0.08	0.000	0.08	0.000	0.10	0.000
13	0.949	0.184	0.474	0.10	0.000	0.10	0.000	0.11	0.000
14	1.028	0.199	0.514	0.12	0.000	0.12	0.000	0.13	0.000
15	1.107	0.214	0.553	0.14	0.000	0.14	0.000	0.15	0.000
16	1.186	0.230	0.593	0.16	0.000	0.16	0.000	0.17	0.000
17	1.265	0.245	0.633	0.19	0.000	0.19	0.000	0.19	0.000
18	1.344	0.260	0.672	0.22	0.000	0.21	0.000	0.21	0.000
19	1.423	0.275	0.712	0.25	0.000	0.24	0.000	0.24	0.000
20	1.502	0.291	0.751	0.28	0.000	0.27	0.000	0.27	0.000

Εικόνα 4.2-5: Αποτελέσματα Slender body για μοντέλο(1/2).

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Delft I,II Sail Resist. (N)	Delft I,II Sail Power (kW)	Delft III Sail Resist. (N)	Delft III Sail Power (kW)	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (kW)
21	1.581	0.306	0.791	0.32	0.000	0.31	0.000	0.29	0.000
22	1.660	0.321	0.830	0.37	0.000	0.34	0.000	0.31	0.000
23	1.739	0.337	0.870	0.40	0.000	0.38	0.000	0.35	0.000
24	1.818	0.352	0.909	0.44	0.000	0.43	0.000	0.40	0.000
25	1.897	0.367	0.949	0.49	0.000	0.48	0.000	0.46	0.000
26	1.976	0.383	0.988	0.55	0.001	0.55	0.001	0.54	0.001
27	2.055	0.398	1.028	0.63	0.001	0.64	0.001	0.63	0.001
28	2.134	0.413	1.067	0.73	0.001	0.76	0.001	0.72	0.001
29	2.213	0.429	1.107	0.85	0.001	0.90	0.001	0.80	0.001
30	2.292	0.444	1.147	0.99	0.001	1.07	0.001	0.89	0.001
31	2.371	0.459	1.186	0.96	0.001	1.06	0.001	0.97	0.001
32	2.451	0.474	1.226	1.05	0.001	0.94	0.001	1.05	0.001
33	2.530	0.490	1.265	1.13	0.001	1.02	0.001	1.12	0.001
34	2.609	0.505	1.305	1.21	0.002	1.10	0.001	1.19	0.002
35	2.688	0.520	1.344	1.29	0.002	1.18	0.002	1.26	0.002
36	2.767	0.536	1.384	1.37	0.002	1.26	0.002	1.32	0.002
37	2.846	0.551	1.423	1.44	0.002	1.34	0.002	1.38	0.002
38	2.925	0.566	1.463	1.52	0.002	1.41	0.002	1.44	0.002
39	3.004	0.582	1.502	1.59	0.002	1.47	0.002	1.50	0.002
40	3.083	0.597	1.542	1.66	0.003	1.55	0.002	1.56	0.002
41	3.162	0.612	1.581	--	--	1.61	0.003	1.62	0.003

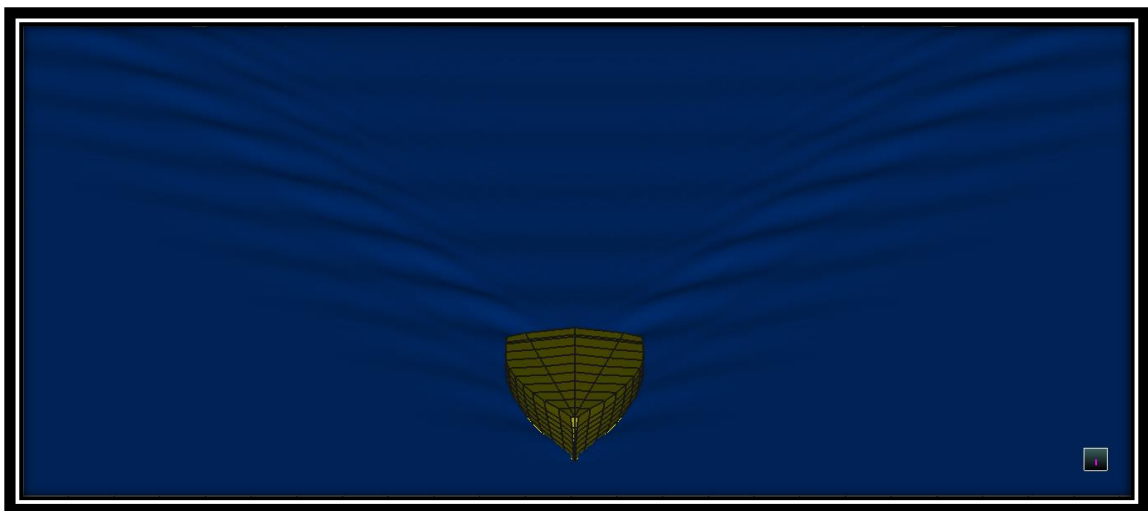
Εικόνα 4.2-6: Αποτελέσματα Slender body για μοντέλο(2/2).



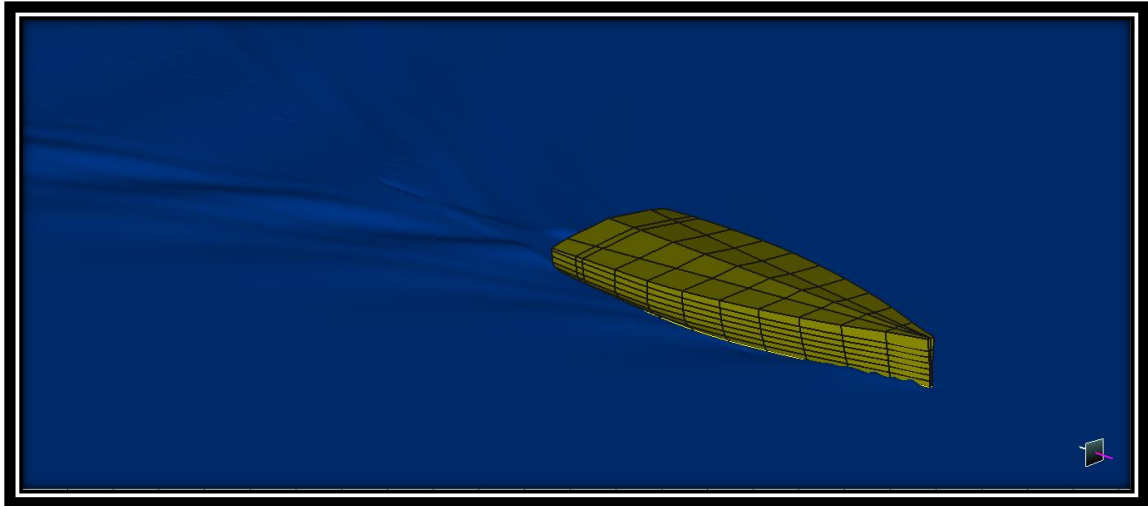
Εικόνα 4.2-7: Γραφική απεικόνιση αντίστασης-ταχύτητας όλων των μεθόδων για το μοντέλο.

4.2.1. Υπολογισμός κυματικού μοτίβου ελεύθερης επιφάνειας μοντέλου

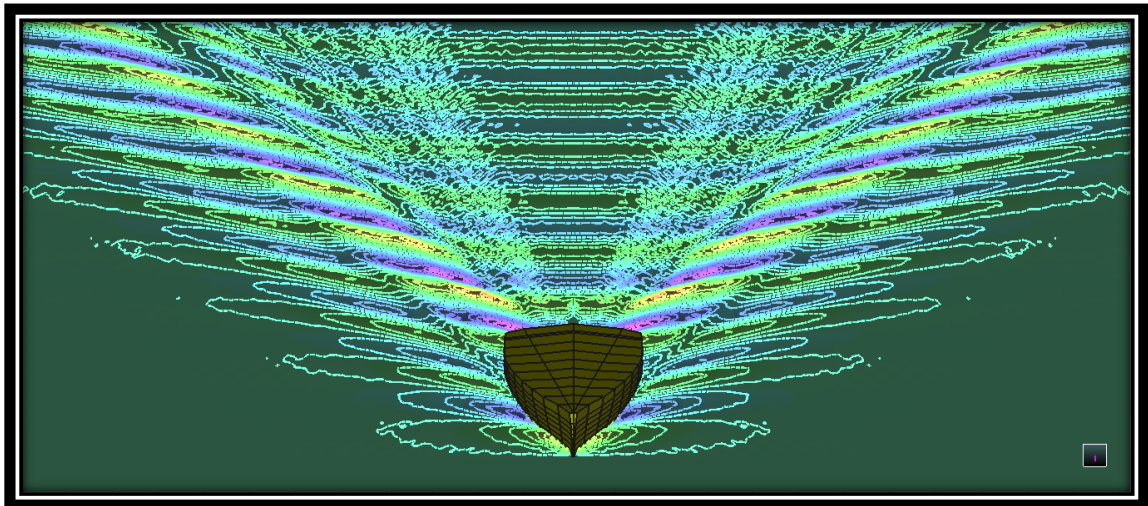
Για την παραμετροποίηση της απεικόνισης της ελεύθερης επιφάνειας συμπληρώσαμε τον αριθμό *Froude* του σκάφους πλήρους κλίμακας αντί της ταχύτητας.



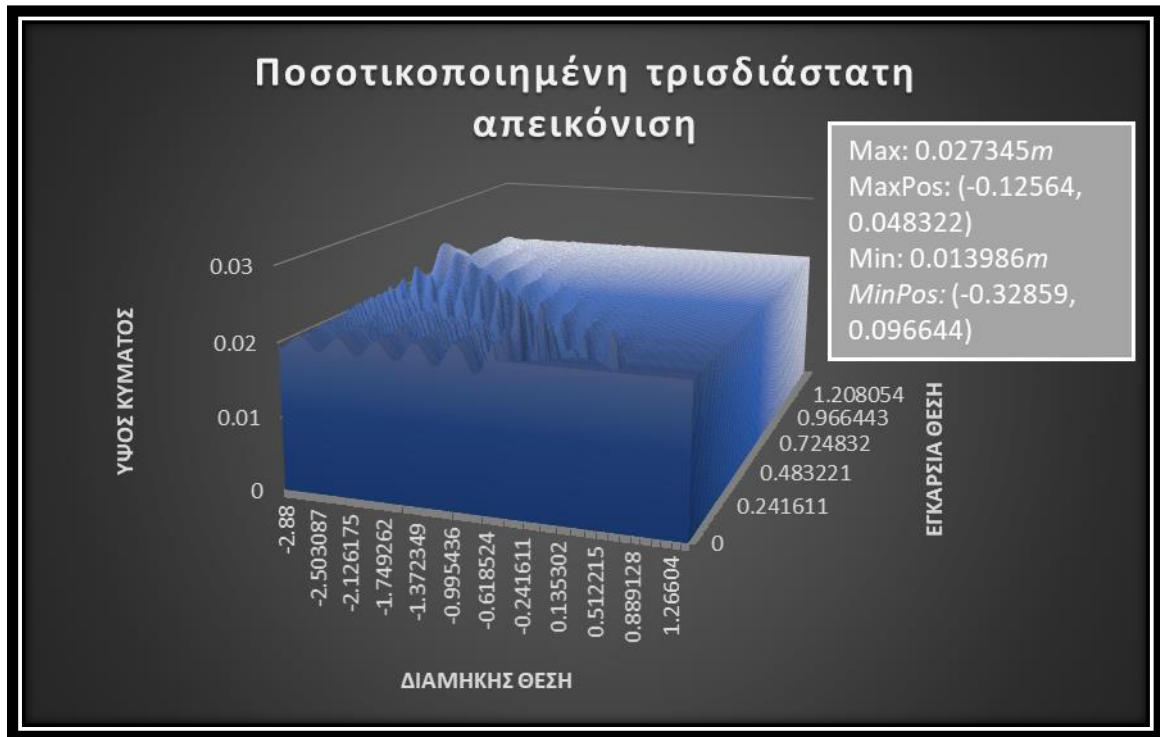
Εικόνα 4.2-8: Model freesurface για $F_n=0.306$ (1/2).



Εικόνα 4.2-9: Model freesurface για $Fn=0.306$ (2/2).

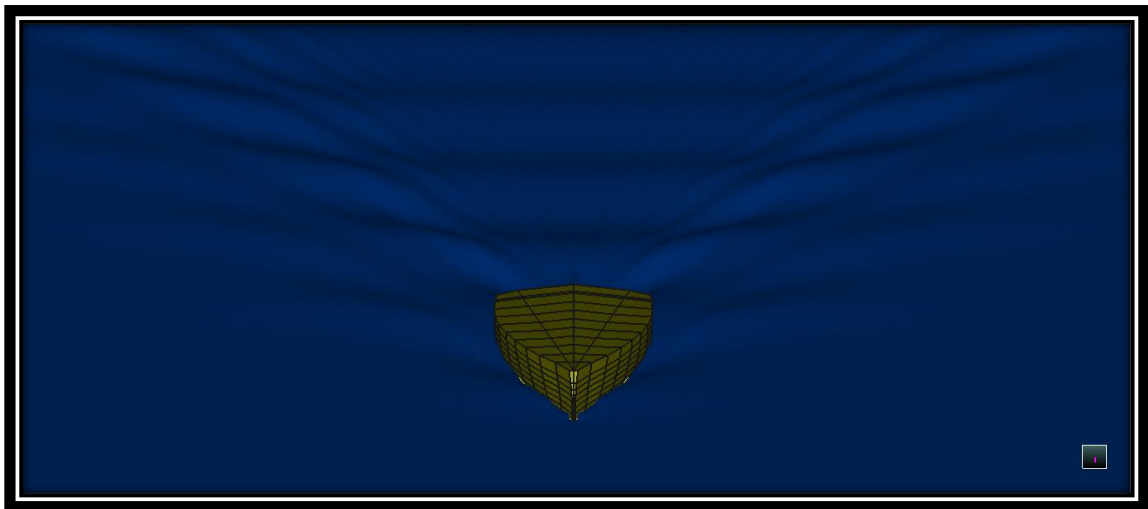


Εικόνα 4.2-10: Model freesurface για $Fn=0.306$ Contoured..

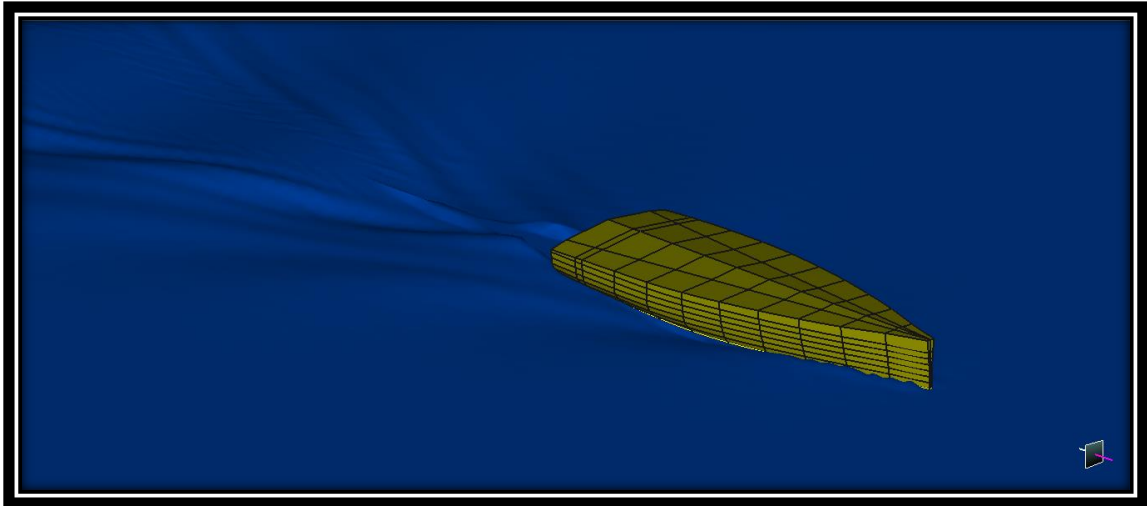


Εικόνα 4.2-11: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $F_n=0.306$.

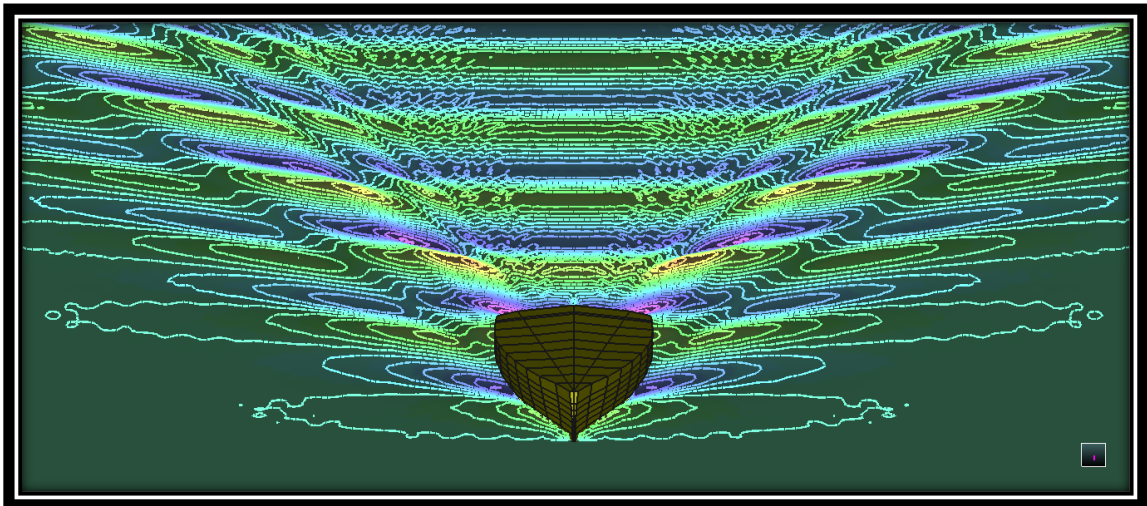
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $F_n=0.306$ είναι 0.013986m στη θέση (-0.32859, 0.096644) ενώ το μέγιστο είναι 0.027345m στη θέση (-0.12564, 0.048322).



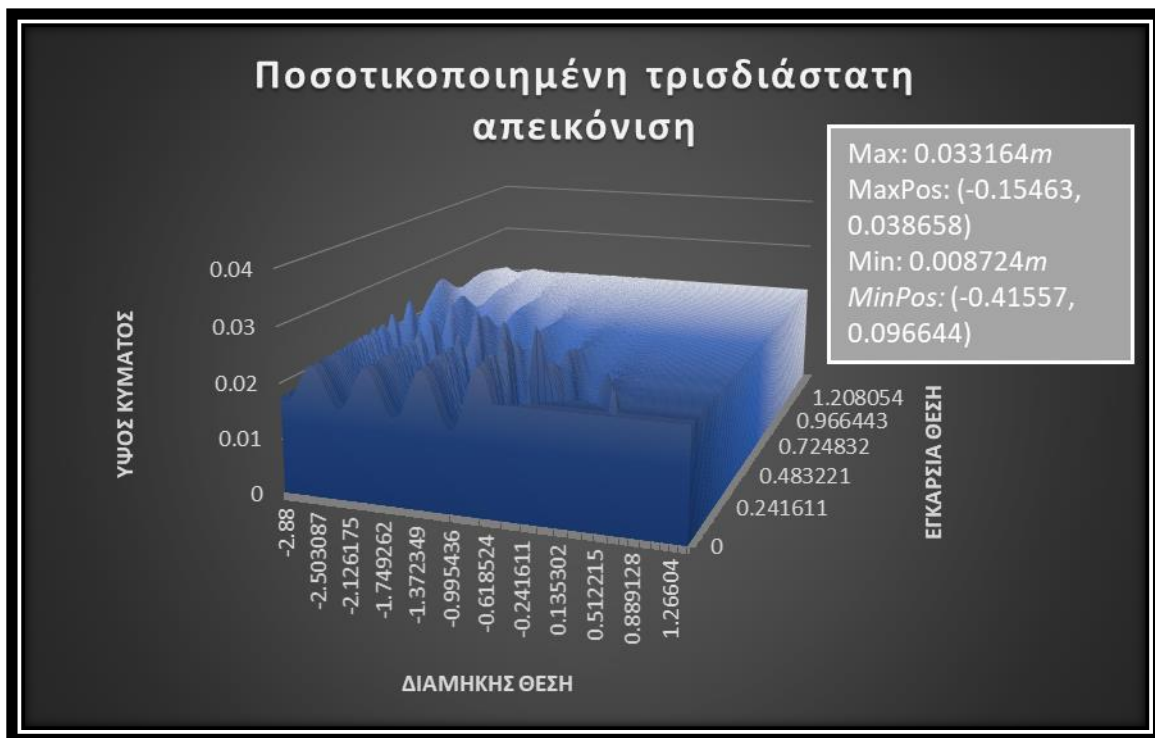
Εικόνα 4.2-12: Model freesurface για $F_n=0.367$ (1/2).



Εικόνα 4.2-13: Model freesurface για $F_n=0.367$ (2/2).

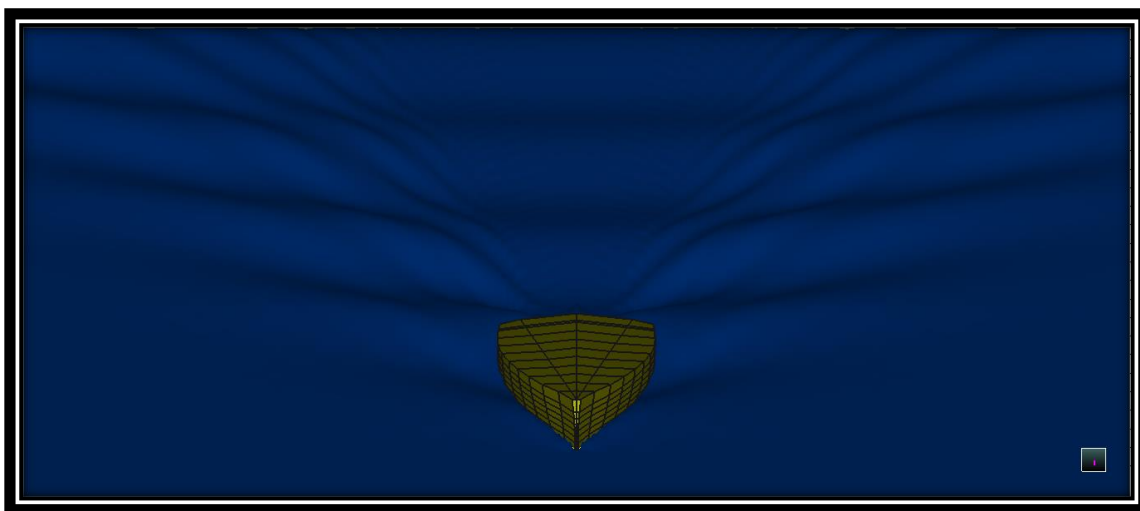


Εικόνα 4.2-14: Model freesurface για $F_n=0.367$ Contoured..

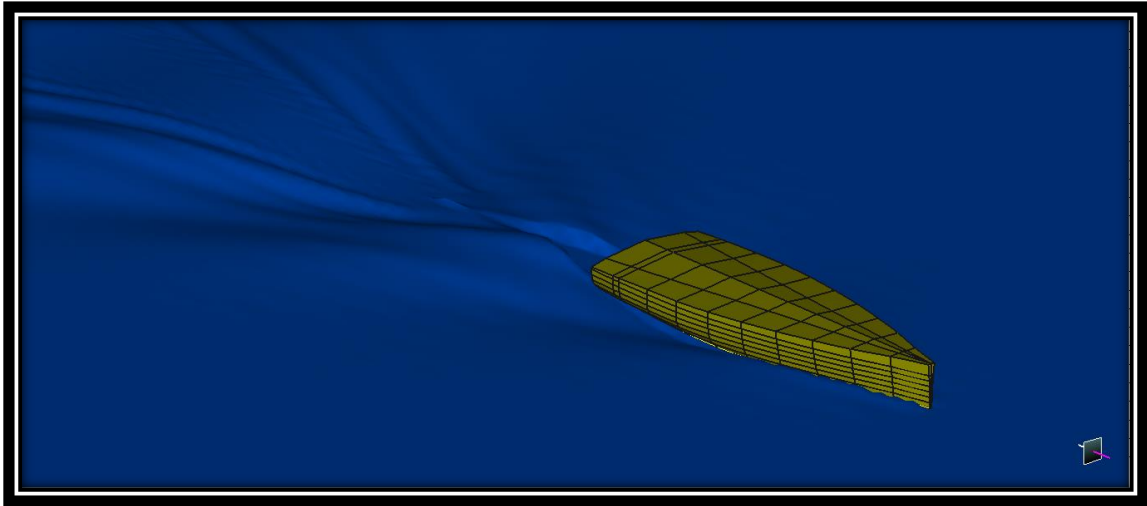


Εικόνα 4.2-15: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $F_n=0.367$.

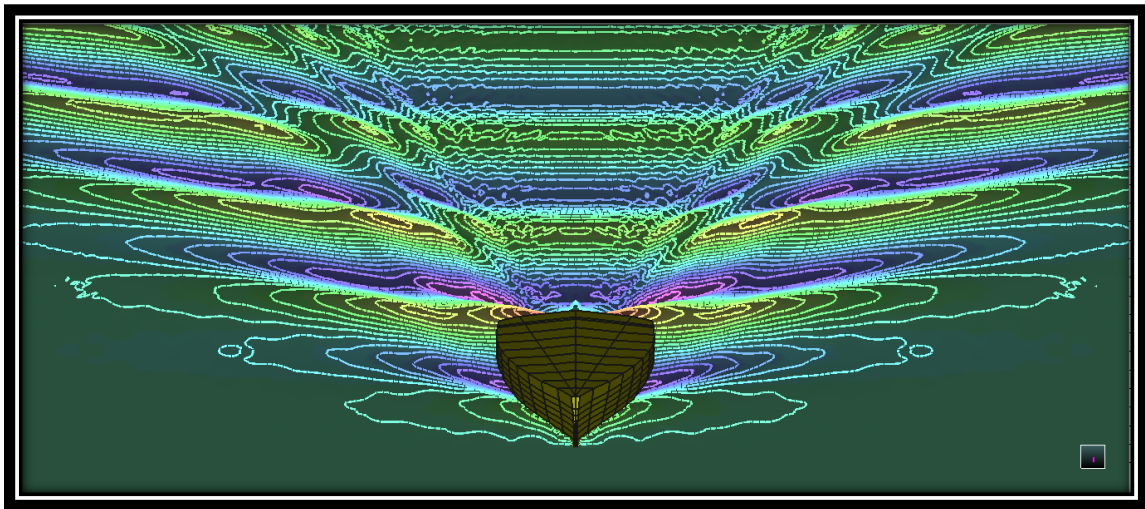
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $F_n=0.367$ είναι $0.008724m$ στη θέση $(-0.41557, 0.096644)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.033164m$ στη θέση $(-0.15463, 0.038658)$.



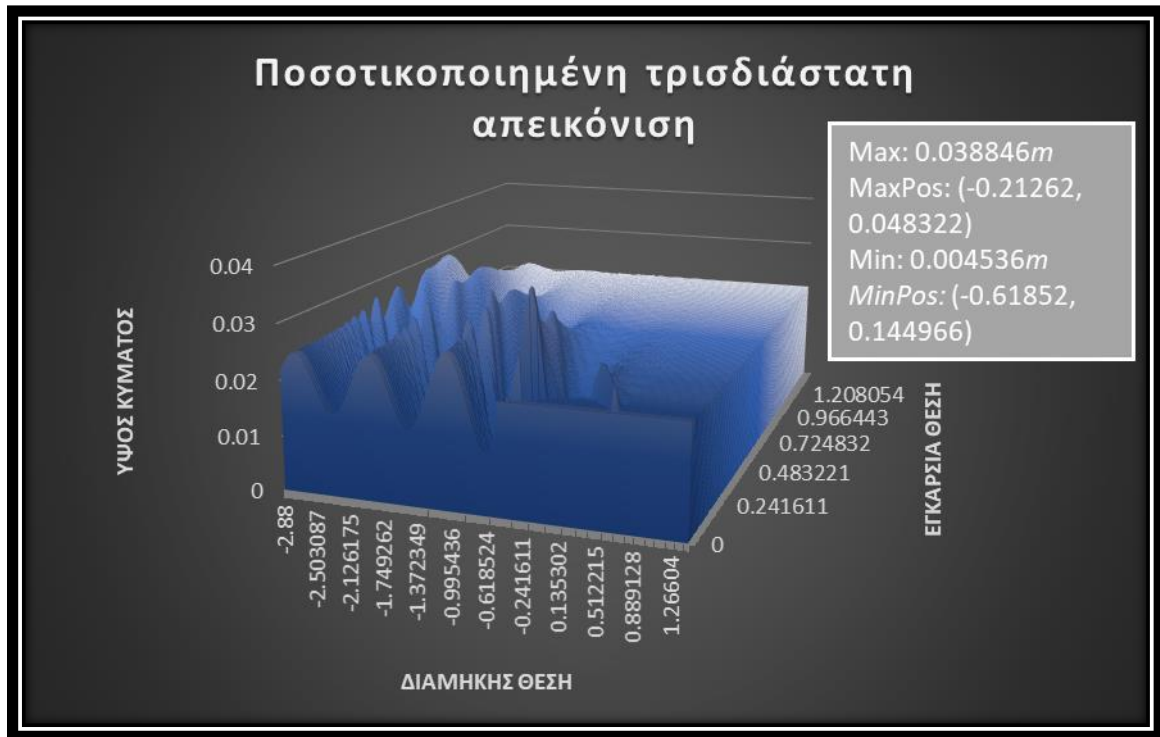
Εικόνα 4.2-16: Model freesurface για $F_n=0.429$ (1/2).



Εικόνα 4.2-17: Model freesurface για $F_n=0.429$ (2/2).



Εικόνα 4.2-18: Model freesurface για $F_n=0.429$ Contoured..

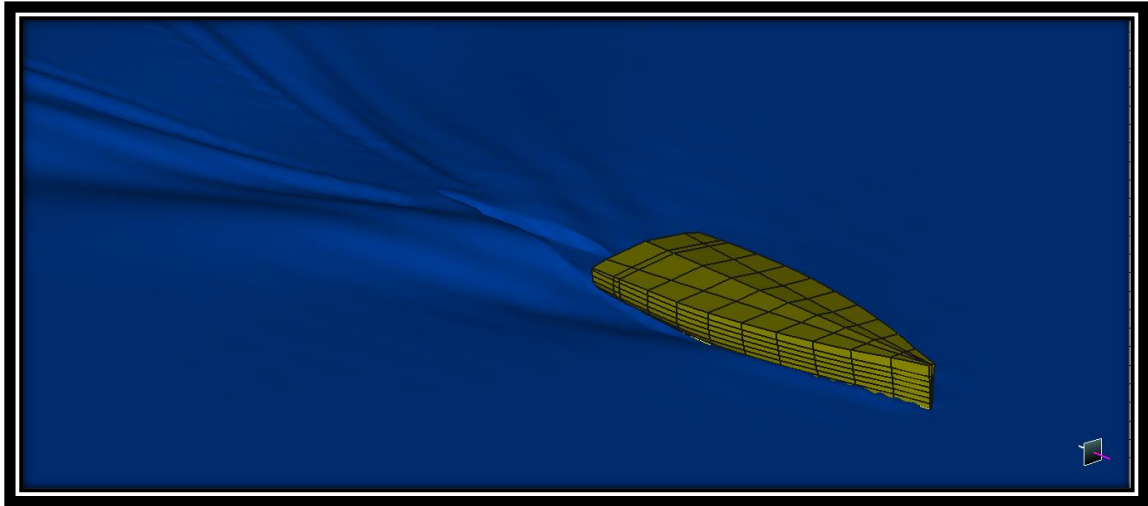


Εικόνα 4.2-19: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $Fn=0.429$.

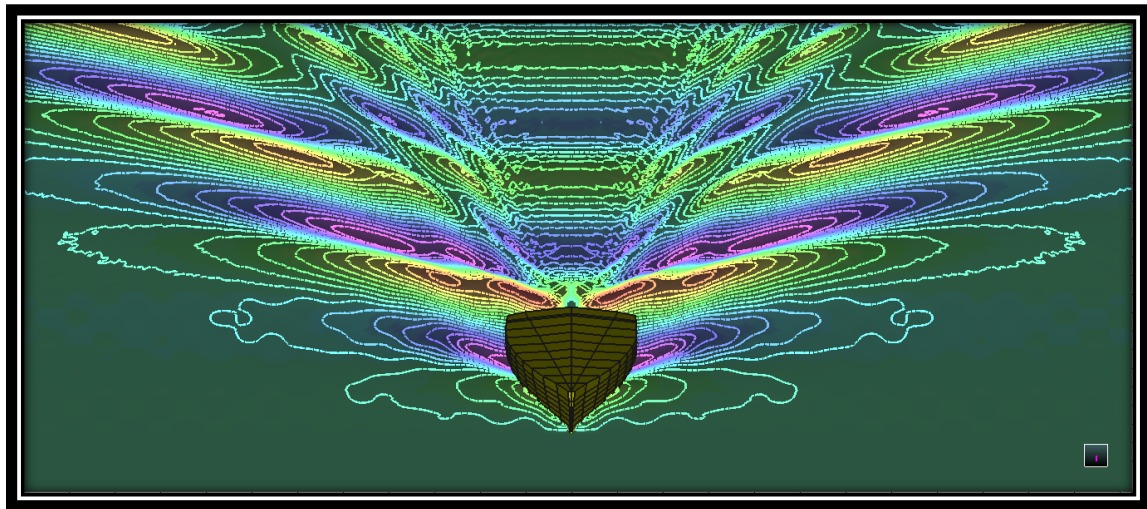
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $Fn=0.429$ είναι 0.004536m στη θέση (-0.61852, 0.144966) ενώ το μέγιστο είναι 0.038846m στη θέση (-0.21262, 0.048322).



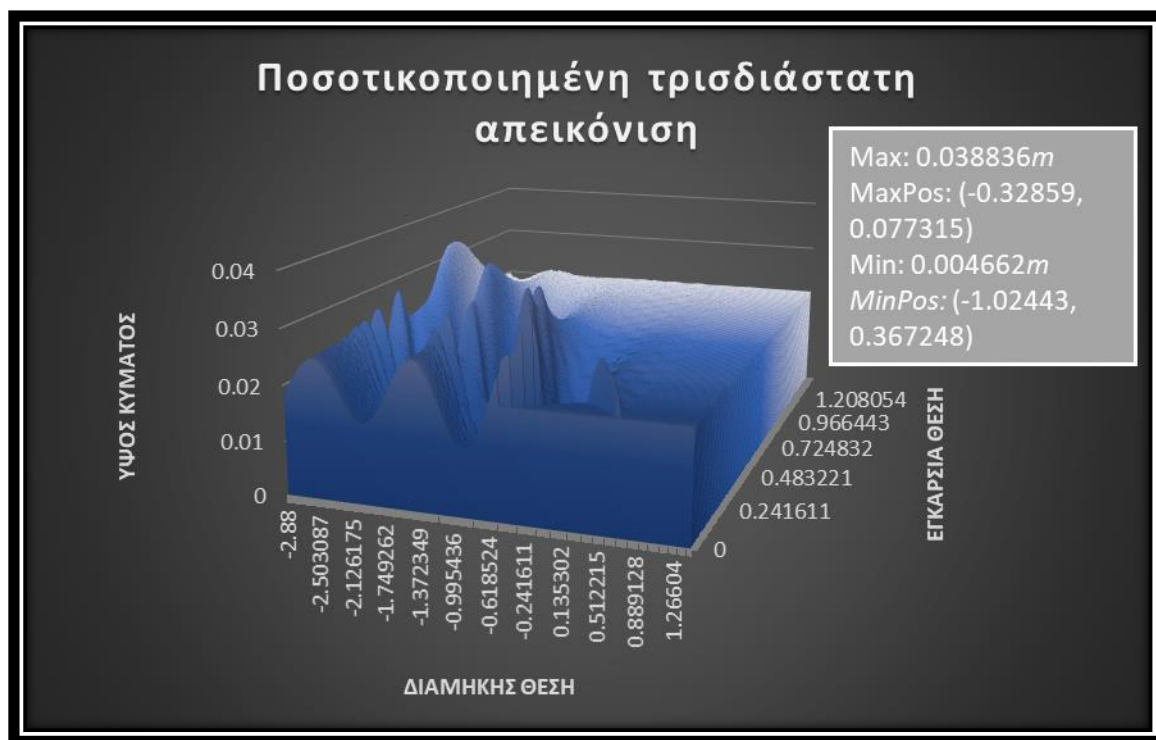
Εικόνα 4.2-20: Model freesurface για $Fn=0.49$ (1/2).



Εικόνα 4.2-21: Model freesurface για $Fn=0.49$ (2/2).

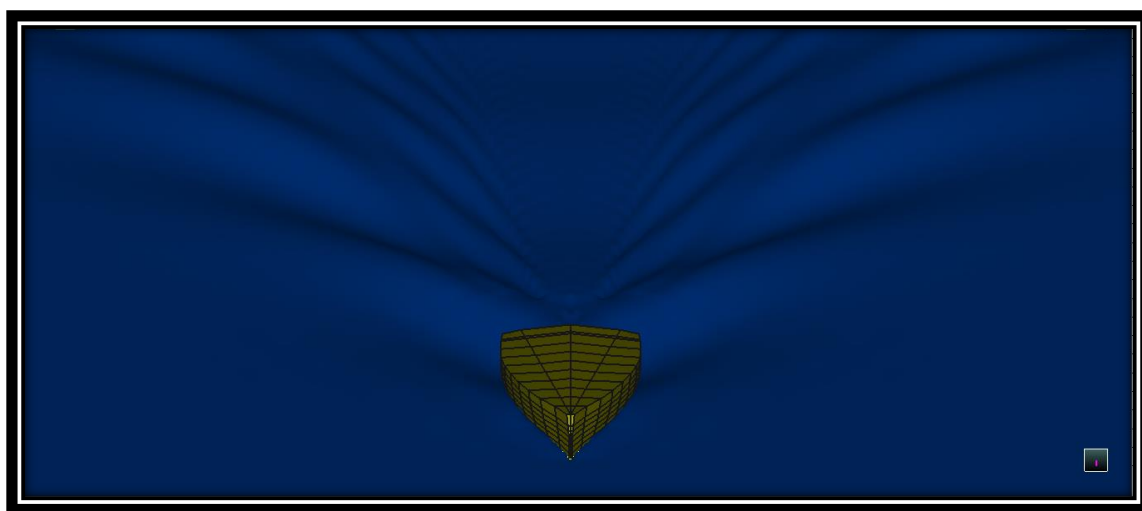


Εικόνα 4.2-22: Model freesurface για $Fn=0.49$ Contoured..

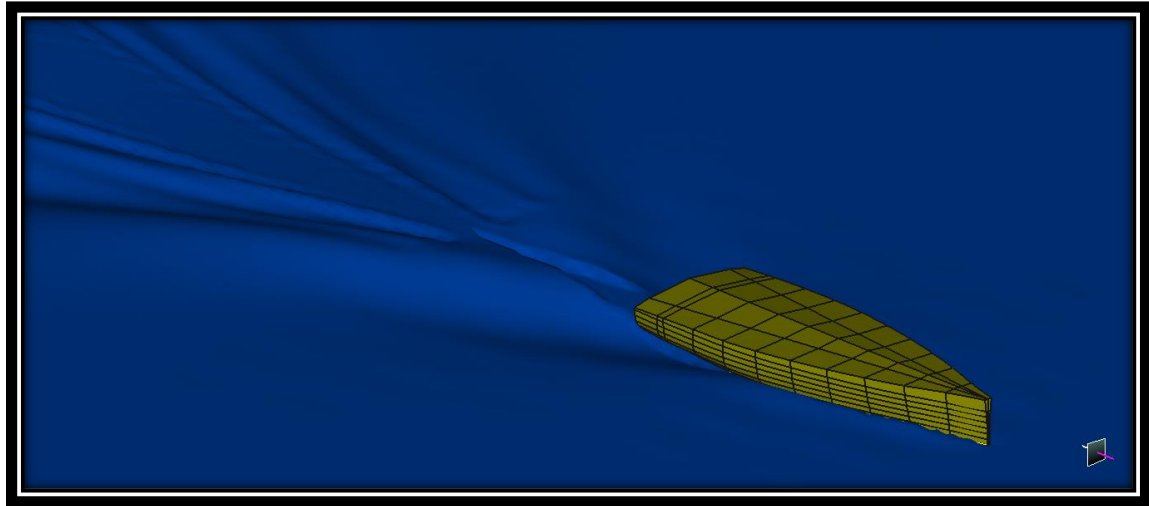


Εικόνα 4.2-23: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $F_n=0.49$.

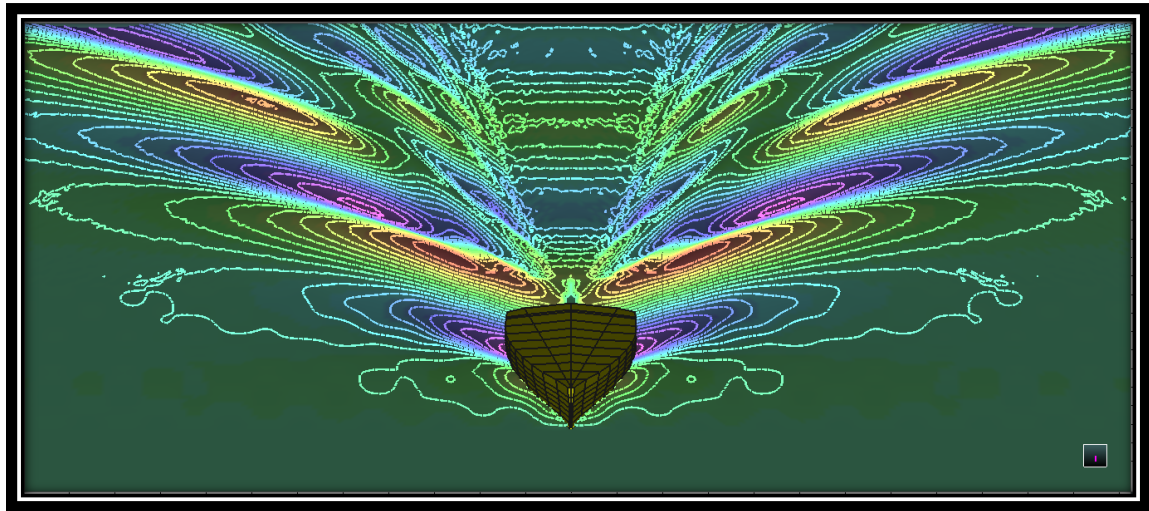
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $F_n=0.49$ είναι $0.004662m$ στη θέση $(-1.02443, 0.367248)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.038836m$ στη θέση $(-0.32859, 0.077315)$.



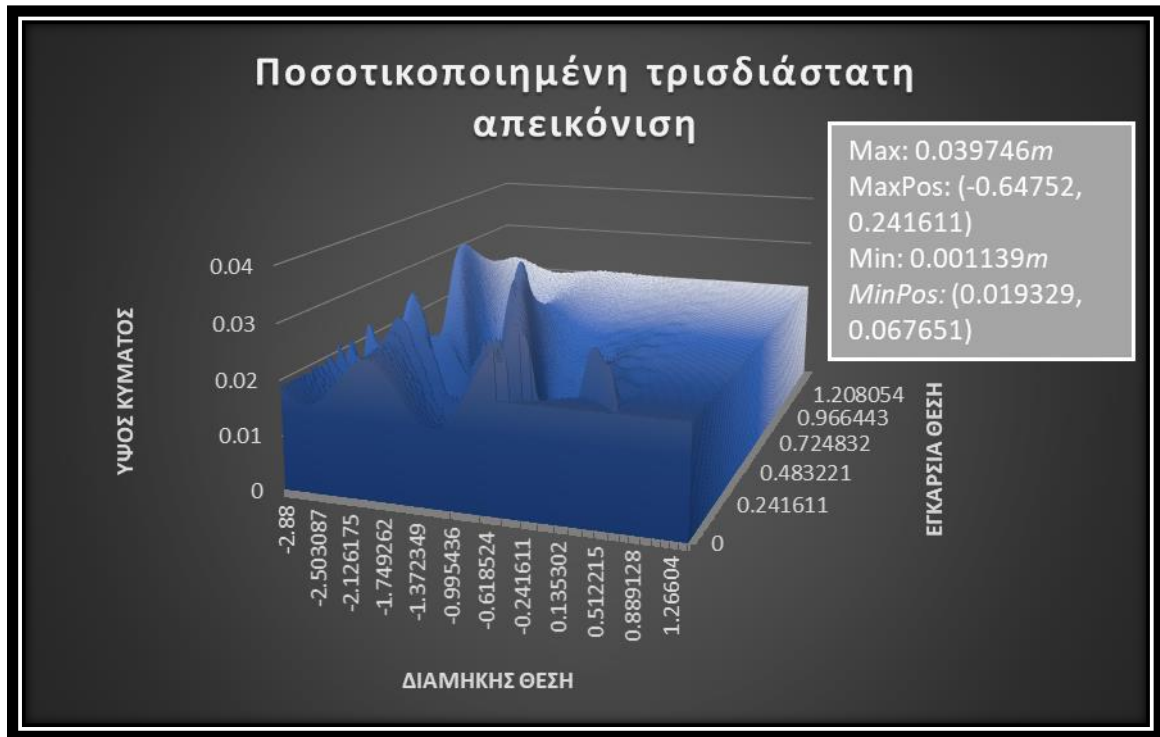
Εικόνα 4.2-24: Model freesurface για $F_n=0.551$ (1/2).



Εικόνα 4.2-25: Model freesurface για $F_n=0.551$ (2/2).

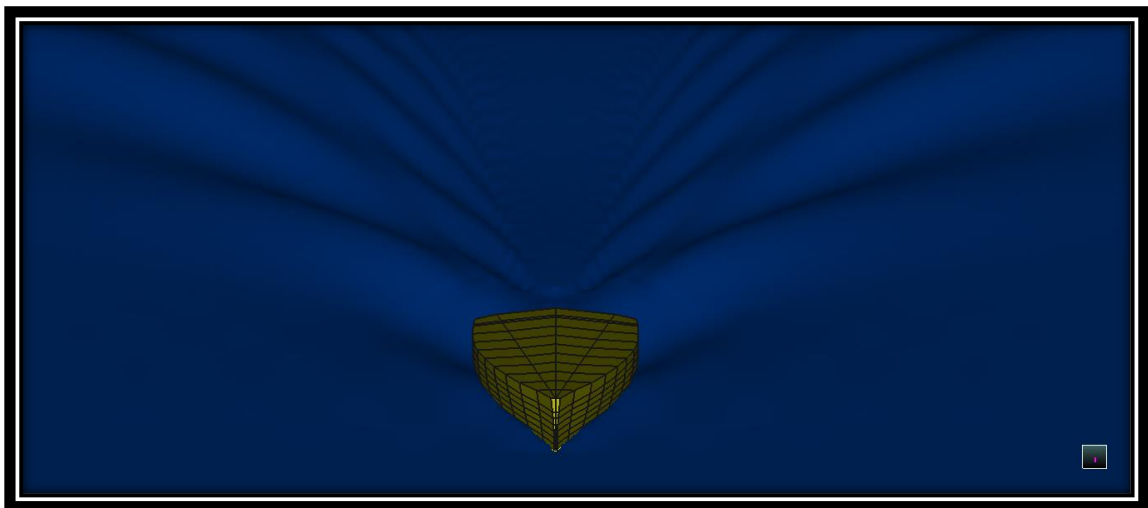


Εικόνα 4.2-26: Model freesurface για $F_n=0.551$ Contoured..

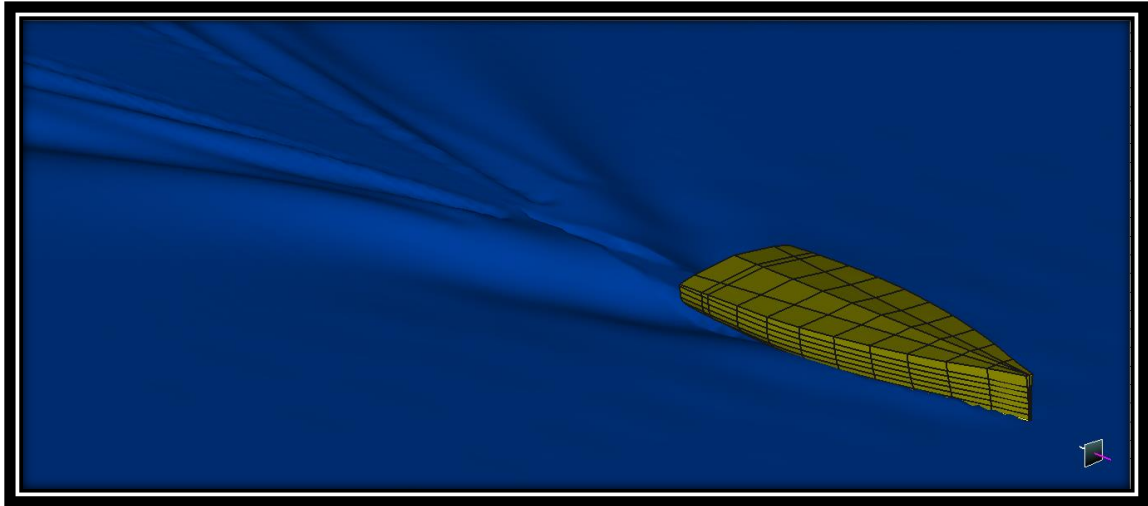


Εικόνα 4.2-27: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $F_n=0.551$.

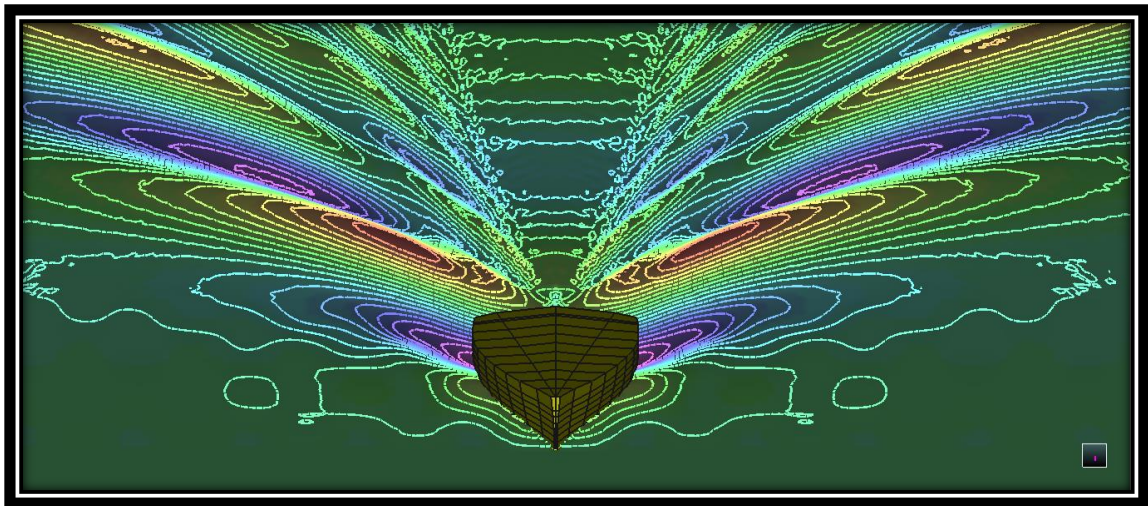
Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $F_n=0.551$ είναι $0.001139m$ στη θέση $(0.019329, 0.067651)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.039746m$ στη θέση $(-0.64752, 0.241611)$.



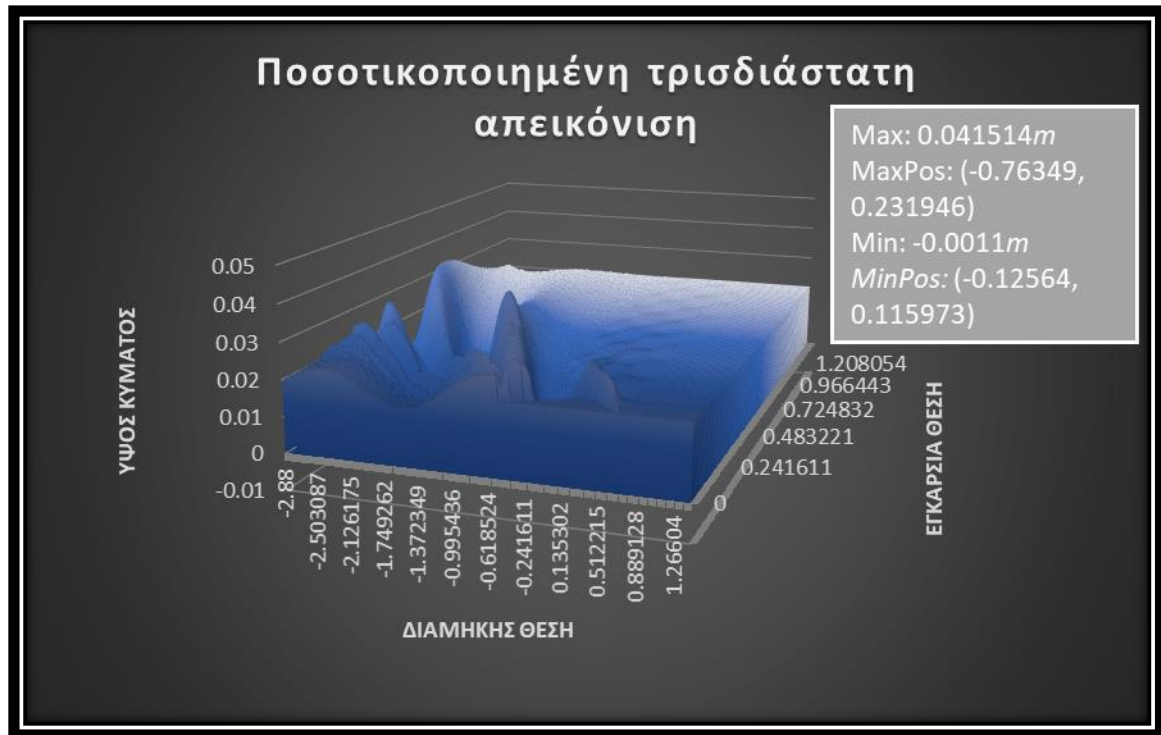
Εικόνα 4.2-28: Model freesurface για $F_n=0.612 (1/2)$.



Εικόνα 4.2-29: Model freesurface για $Fn=0.612$ (2/2).



Εικόνα 4.2-30: Model freesurface για $Fn=0.612$ Contoured..



Εικόνα 4.2-31: Ποσοτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση ύψους κύματος μοντέλου για $F_n=0.612$.

Το ελάχιστο ύψος κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για $F_n=0.612$ είναι $-0.0011m$ στη θέση $(-0.12564, 0.115973)$ ενώ το μέγιστο είναι $0.041514m$ στη θέση $(-0.76349, 0.231946)$.

4.3. Παρατηρήσεις- σχόλια επί της διαδικασίας

Αρχικά θα πρέπει να αποσαφηνιστεί πως αναμένεται σφάλμα επί των αποτελεσμάτων των αριθμητικών μεθόδων καθώς οι μετρήσεις των μοντέλων για τις συστηματικές σειρές της *Delft* έγιναν με πηδάλιο (προφίλ *NACA 0012*) και καρίνα (προφίλ *NACA 63₂A15*) (*Gerritsma, Onnink and Versluis, 1981*). Επίσης, για τις συστηματικές σειρές I και II και ταχύτητα 10 κόμβους δεν επιστράφηκε τιμή για την αντίσταση από το λογισμικό, αυτό αφορούσε αριθμό *Froude* 0.612, όμως σύμφωνα με τους *Gerritsma, Onnink and Versluis, (1981)* τα μοντέλα δοκιμών αφορούσαν *Froude* έως 0.45 κάτι που μας καθιστά εκτός ορίων ενώ για την τρίτη συστηματική σειρά ο αριθμός *Froude* ανέβηκε στο 0.75 (*Keuning, Katgert and Keuning, 2008*). Επιπρόσθετα, στην αναλυτική μέθοδο για ταχύτητα 10 κόμβων όπου κατά *Wyman* έχουμε $SL= 2.05$ (θεωρητικά μας επιστρέφει πιο αξιόπιστες τιμές) παρατηρούμε ότι η αντίσταση σε σχέση με τις αριθμητικές μεθόδους μειώνεται κάτι που θεωρείται λογικό καθώς δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό πηδάλιο και καρίνα ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς των 6.277 kW (*Delft III*) αποτελεί μια θεμιτή τιμή. Εν συνεχεία, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του σημαντικού ύψους κύματος της ελεύθερης επιφάνειας δημιουργήθηκαν οι παρακάτω πίνακες:

Σκάφος πλήρους κλίμακας			
Αριθμός <i>Froude</i> [Fn]	Ελάχιστο ύψος κύματος ελεύθερης επιφάνειας [m]	Μέγιστο ύψος κύματος ελεύθερης επιφάνειας [m]	Ποσοστιαία διαφορά ύψους κύματος
0.306	0.137323	0.271756	49%
0.367	0.084800	0.329725	74%
0.429	0.043084	0.385705	89%
0.49	0.043467	0.385322	89%
0.551	0.011042	0.393458	97%
0.612	-0.011460	0.410004	103%

Πίνακας 4.3-1: Πίνακας ποσοστιαίας μεταβολής ελάχιστου-μέγιστου ύψους κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για το σκάφος.

Μοντέλο κλίμακας 1:10			
Αριθμός Froude [Fn]	Ελάχιστο ύψος κύματος ελεύθερης επιφάνειας [m]	Μέγιστο ύψος κύματος ελεύθερης επιφάνειας [m]	Ποσοστιαία διαφορά ύψους κύματος
0.306	0.013986	0.027345	49%
0.367	0.008724	0.033164	74%
0.429	0.004536	0.038846	88%
0.49	0.004662	0.038836	88%
0.551	0.001139	0.039746	97%
0.612	-0.001100	0.041514	103%

Πίνακας 4.3-2: Πίνακας ποσοστιαίας μεταβολής ελάχιστου-μέγιστου ύψους κύματος της ελεύθερης επιφάνειας για το μοντέλο.

Παρατηρούμε, πως η αύξηση της ταχύτητας, επιφέρει μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ του ελάχιστου και του μέγιστου ύψους κύματος ενώ οι τιμές των ποσοστιαίων διαφορών είναι σχεδόν ίδιες για το σκάφος και το μοντέλο. Εξαίρεση στις παραπάνω παρατηρήσεις αποτελούν οι αριθμοί Froude 0.429 και 0.490 όπου η σύγκριση με τα διαγράμματα αντίστασης-ταχύτητας για τις αριθμητικές μεθόδους (4.1-11, 4.2-4) μας οδηγεί σε συσχέτιση αυτής της παρατήρησης με την αλλαγή μονοτονίας της συνάρτησης που παρατηρείται για ταχύτητες σκάφους μεταξύ 7 και 8kn.

Τέλος, η γενική εικόνα των αποτελεσμάτων δείχνει καλή τόσο ως προς το σκάφος όσο και ως προς το μοντέλο με το σύνολο των τιμών της ολικής αντίστασης και της απαιτούμενης ισχύος να βρίσκονται εντός λογικών ορίων.

5. Συμπεράσματα

Η κατασκευή ενός πολυεστερικού μοντέλου, με αφετηρία ένα δεδομένο σχέδιο, αποτελεί μια σπειροειδή διαδικασία που θα μπορούσε απλουστευτικά να παρομοιαστεί με την προμελέτη πλοίου, καθώς η θεωρητική πορεία υλοποίησης απαιτεί την τακτική αναφορά στο αρχικό στάδιο και την αναπροσαρμογή των στόχων κάθε κατασκευαστικού βήματος, όσο συγκλίνει προς την ολοκλήρωσή της. Διαφέρει όμως σημαντικά στο βαθμό που δύνανται να πραγματοποιηθούν παρεμβάσεις μετά την ολοκλήρωσή της κατασκευής του εκάστοτε σταδίου. Η εμπειρική γνώση που προέρχεται από την παρατήρηση και εδραιώνεται ως απόρροια των σφαλμάτων, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο μιας επιτυχημένης διαδικασίας τόσο ως προς την ολοκλήρωση όσο και ως προς τη βελτιστοποίηση της σε κάθε επίπεδο. Επιπρόσθετα, η αδυναμία εκτέλεσης πειραμάτων, οδήγησε στη γνωριμία και εκμάθηση ενός νέου λογισμικού εξαιρετικής δυναμικής, η χρήση του οποίου έδωσε νέες δυνατότητες και δημιούργησε καινούριους προς μελλοντική επίλυση προβληματισμούς όσον αφορά την εξέλιξη και περεταίρω ανάπτυξη του εγχειρήματος.

Εν κατακλείδι, η εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε μια αλληλουχία συνεχών προκλήσεων και υπερκέρασης προβλημάτων, η αντιμετώπιση των οποίων συνέβαλε στην προσκόμιση γνώσης, τεχνικής εμπειρίας αλλά κυρίως στην διαμόρφωση και βελτίωση ατομικών χαρακτηριστικών, συνεπικουρώντας στην εποικοδόμηση της προσωπικότητας προς την εργασιακή ένταξη και την επαγγελματική προσφορά στο κοινωνικό σύνολο.

6. Προτάσεις

Η δομή αυτού του κεφαλαίου χωρίζεται σε δύο κύριες υποενότητες, με την πρώτη να αναφέρεται στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας και τη δεύτερη στην αξιοποίηση και την περαιτέρω εξέλιξη του υπάρχοντος μοντέλου.

6.1.1. Προτάσεις βελτιστοποίησης της διαδικασίας

Η γενική αρχή προς την επίτευξη του βέλτιστου ως προς την ομοιότητα και ποιότητα κατασκευής τελικού μοντέλου, αφορά στην κατά το δυνατό βέλτιστη εκπόνηση κάθε σταδίου κατασκευής πριν προχωρήσουμε στο επόμενο. Με γνώμονα το παραπάνω και δεδομένου ότι η χειροποίητη κατασκευή ενέχει μεγαλύτερο ποσοστό σφάλματος της αυτοματοποιημένης, προτείνεται η τρισδιάστατη εκτύπωση του σχεδίου στους 3D εκτυπωτές του τμήματος, ιδανικά ως *monoblock* αλλά ακόμα και με τη μέθοδο κατασκευαστικών τομέων σε περίπτωση που η ενιαία εκτύπωση δεν είναι εφικτή. Στη συνέχεια η εσωτερική επιφάνεια μπορεί να ενισχυθεί με πολυεστερικό στόκο και η εξωτερική να προστατευθεί με αδιάλυτη εποξική ρητίνη ή ειδικές βαφές τύπου *Prime Coat* και *Gloss Coat* που επιτρέπουν πολύ καλύτερο επίπεδο φινιρίσματος εν συγκρίσει με τον ακρυλικό στόκο και τη νιτροκυτταρίνη (*Surfacer nitre*). Το κόστος κατασκευής αυτής της μορφής πρωτοτύπου προβλέπεται να είναι συνολικά μικρότερο συγκριτικά με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε, κυρίως λόγω ελαχιστοποίησης των εργατωρών για τη δημιουργία του. Στην κατασκευή του καλουπιού προτείνεται η χρήση του *Gel Coat* εσωτερικά, μετά το αποκολλητικό κερί, ενώ η χρήση *PVA* δεν προτείνεται με προϋπόθεση το άρτιο φινίρισμα του πρωτοτύπου. Στη διαδικασία παραγωγής του μοντέλου προτείνεται και εδώ η εσωτερική εφαρμογή του *Gel Coat* καθώς η χρήση του ως εξωτερική βαφή ενέχει τον κίνδυνο αποτυχίας πολυμερισμού (αν απαιτηθεί να εφαρμοστεί ως εξωτερική βαφή προτείνεται στην τελευταία στρώση η χρήση παραφίνης σε αναλογία 3,5% w/w) αλλά και την απαιτητικότερη διαδικασία ομαλοποίησης και λείανσης του.

6.1.2. Αξιοποίηση και περαιτέρω εξέλιξη του υπάρχοντος μοντέλου

Το υπάρχον μοντέλο προτείνεται με την ολοκλήρωση της συντήρησης της δεξαμενής να μετρηθεί ως προς την ολική του αντίσταση και εν συνεχεία να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά του κεφαλαίου 4 της εργασίας. Σε περίπτωση που η εφαρμογή του δυναμόμετρου της δεξαμενής υπερβαίνει τα 185gr θα μπορούσε να γίνει αφαίρεση υλικού από το κατάστρωμα μέχρι μια ίσαλο πλησίον αυτού, σύμφωνα με την σχέση $4158 \times S$, όπου το 4158gr αφορά το βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο του *GRP* που κατασκευάσαμε σύμφωνα με τους πίνακες 2.7-2, 2.7-3 και *S* η επιφάνεια προς αφαίρεση μετρούμενη σε τετραγωνικά μέτρα. Επίσης προτείνεται σε μελλοντικές εργασίες η τοποθέτηση καρίνας και πηδαλίων με τη μέτρηση να γίνεται εκ νέου, ενώ η χρήση υπολογιστικού περιβάλλοντος *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) θα μπορούσε να αποτελέσει μια εξαιρετική πηγή αποτελεσμάτων προς σύγκριση. Θα μπορούσαν επίσης να γίνουν υπολογισμοί με *BEM* (*Boundary Element Methods*) μεθόδους για τον υπολογισμό των δυνάμεων διέγερσης, των κινήσεων, της πρόσθετης μάζας, της υδροδυναμικής απόσβεσης, των μέσων δυνάμεων έκπτωσης δεύτερης τάξης και της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης, όταν στο σώμα επάγονται απλοί αρμονικοί κυματισμοί ή/ και θαλάσσιο ρεύμα υπό διάφορες γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών/ ρεύματος, αλλά και υπό τη δράση τυχαίων κυματισμών. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη των ιδιοτήτων του σύνθετου υλικού που δημιουργήθηκε βάσει της παρούσης επιλογής υαλοϋφασμάτων από το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

7. Βιβλιογραφία

7.1. Έντυπη

1. Callister, William D., and David G. Rethwisch. 2019. *Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών*, 9th edn (Τζιόλα).
2. Chhabra, R P, and J F Richardson. 2008. *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications* (Amsterdam, Boston: Butterworth-Heinemann/Elsevier).
3. Fabio Fossati. 2009. *Aero-Hydrodynamics and the Performance of Sailing Yachts : The Science behind Sailing Yachts and Their Design*, UK ed. edition (London: Adlard Coles Nautical)
4. Haleh Ardebili. 2019. *Encapsulation Technologies for Electronic Applications* (Oxford, United Kingdom; Cambridge, Ma, United States: William Andrew Is An Imprint Of Elsevier).
5. Hancox, N L, and Rayner M Mayer. 1994. *Design Data for Reinforced Plastics: A Guide for Engineers and Designers* (London; New York: Chapman & Hall).
6. Harley, Basil. 1994. The Society of Arts' Model Ship Trials 1758-1763: A Study in the Pre-History of Ship Model Hydrodynamics, *RSA Journal*, 142.5446: 50-52.
7. Hugo Du Plessis. 2010. *Fibreglass Boats* (London: Adlard Coles Nautical).
8. Lawrence Colin Bank. 2006. *Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials* (Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons).

9. Misthos, A.S.A. and Mazarakos, T.P. (2019). Design of an Eco- Racing Yacht - A Naval Approach, International Conference Energy in Transportation 2019, September 28, 2019, Athens Hellas.
10. Penn, W. S. 1966. GRP Technology (UCLA: Maclaren).
11. Polley, Jane, Peter Chaitin, and Reader's Digest Association. 1980. Stories behind Everyday Things (Pleasantville, N.Y.: Reader's Digest Association).
12. Wang, Jun, William Scott, L C Zhang, Queensland University Of Technology, and Japan Society Of Grinding Engineers. 1999. Abrasive Technology: Current Development and Applications I: The Third International Conference on Abrasive Technology: (ABTEC'99), Brisbane, Australia, 22-24 November 1999 (Singapore; River Edge, Nj: World Scientific)
13. Βατάλης, Αργύρης Σ. 2009. Επιστήμη & τεχνολογία υλικών, 2nd edn (ZHTH).
14. Μηναδάκης, Χρήστος Μ. 2009. Χημική Τεχνολογία (Μακεδονικές εκδόσεις).
15. Μισθός, Αναστάσιος-Σπυρίδων. 2020. Μελέτη αντοχής ιστού ιστιοπλοΐας με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

7.2. Διαδικτυακή

1. Appendix 3 Tasks and structure of the 28 th ITTC technical committees and groups. (n.d.). [online] Available at: <https://ittc.info/media/6079/12-appendix-3-28th-tor-new.pdf> [Accessed 17 Jan. 2022].
2. Empire Abrasives. (n.d.). *Sandpaper Grit Explained*. [online] Available at: <https://www.empireabrasives.com/blog/sandpaper-grit/> [Accessed 5 Dec. 2021].
3. Gerritsma, J., Onnink, R. and Versluis, A. (1981). Geometry, resistance and stability of the Delft systematic yacht hull series1. *International Shipbuilding Progress*, 28(328), pp.276–297.
4. ITTC (n.d.). *ITTC History*. [online] Available at: <https://www.ittc.info/media/1002/itc-history-2.pdf> [Accessed 21 Dec. 2021].
5. Keuning, J., Katgert, M. and Keuning, L. (2008). *A bare hull resistance prediction method derived from the results of the Delft Systematic Yacht Hull Serles extended to higher speeds*. *The Royal Institution of Naval Architects*.
6. MAXSURF. (n.d.). *MAXSURF Naval Architecture Software* -. [online] Available at: <https://maxsurf.net> [Accessed 17 Jan. 2022].
7. Mazarakos, T.P. (2020). Design of Offshore Structures, Lectures, School of Engineering, Department of Naval Architecture, University of West Attica [online] eclass.uniwa.gr: Available at: <https://eclass.uniwa.gr/courses/NA191/>
8. National Museum of the U.S. Navy (n.d.). *Experimental Model Basin*. [online] public1.nhhcaws.local. Available at: <https://www.history.navy.mil/content/history/museums/nmusn/explore/photography/washington-navy-yard/experimental-model-basin.html> [Accessed 30 Nov. 2021].
9. Permabond. (2011). *Glossary of Cure Time Terms*. [online] Available at: <https://www.permabond.com/resource-center/glossary-cure-time-terms/>.
10. Rhino3d.com. (2019). *Rhino 5 for Windows and Mac*. [online] Available at: <https://www.rhino3d.com/>.

11. Tasks and structure of the 30 th ITTC technical committees and groups. (n.d.). [online] Available at: <https://ittc.info/media/10159/tor-revised-after-conference.pdf> [Accessed 17 Jan. 2022].
12. The Executive Committee Final Report of the 28 th ITTC. (n.d.). [online] Available at: <https://www.ittc.info/media/8390/final-report.pdf> [Accessed 17 Jan. 2022].
13. wblog.wiki. (n.d.). *Θιξοτροπία*. [online] Available at: <https://wblog.wiki/el/Thixotropy> [Accessed 30 Nov. 2021].
14. Wikipedia Contributors (2021). *Ship model*. [online] Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_model [Accessed 30 Nov. 2021].
15. Wikipedia. (2020). *Sandpaper*. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sandpaper>.
16. www.andreou.gr. (n.d.). *Κατάλογος*. [online] Available at: <https://www.andreou.gr/katalogos>.
17. www.bentley.com. (n.d.). *Bentley | Infrastructure & Engineering Software & Solutions*. [online] Available at: <https://www.bentley.com/en>.
18. www.britannica.com. (n.d.). *abrasive - Fabrication into useful forms | Britannica*. [online] Available at: <https://www.britannica.com/technology/abrasive/Fabrication-into-useful-forms> [Accessed 5 Dec. 2021].
19. www.gracesguide.co.uk. (n.d.). *William Froude - Graces Guide*. [online] Available at: https://www.gracesguide.co.uk/William_Froude [Accessed 30 Nov. 2021].
20. www.worldofchemicals.com. (n.d.). *Isophthalic Resin Properties, Molecular Formula, Applications – World Of Chemicals*. [online] Available at: <https://www.worldofchemicals.com/chemicals/chemical-properties/isophthalic-resin.html> [Accessed 1 Dec. 2021].
21. Διονυσόπουλος, Δ. (2008). *Η επίδραση του χρώματος στο βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών*. [online] Available at: <http://ikee.lib.auth.gr/record/113582/files/%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%85%CF%83%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82.pdf> [Accessed 30 Nov. 2021].

22. Ιακωβίδης, Ι. (2018a). *Ειδικά Κεφάλαια Ναυπηγικών Υλικών, P12 Polymers I Structure and Properties*. [online] eclass.uniwa.gr. Available at: https://eclass.uniwa.gr/modules/contact/index.php?course_id=3783 [Accessed 10 Feb. 2020].
23. Ιακωβίδης, Ι. (2018b). *Ειδικά Κεφάλαια Ναυπηγικών Υλικών, P14 Composites*. [online] eclass.uniwa.gr. Available at: https://eclass.uniwa.gr/modules/contact/index.php?course_id=3783 [Accessed 9 Feb. 2020].
24. Μαζαράκος, Θ.Π. (2014). *Ειδικές Ναυπηγικές Κατασκευές και Ιστιοφόρα Σκάφη*. [online] ocp.teiath.gr. Available at: https://ocp.teiath.gr/courses/NAFP_UNDER111/
25. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ (COMPOSITES) 1. ΓΕΝΙΚΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ. (n.d.). [online] Available at: http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf [Accessed 18 Nov. 2021].