



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τρισδιάστατη μοντελοποίηση ιστιοπλοϊκού σκάφους μήκους 14.1 μέτρων

3D modeling of a sailing yacht with a length of 14.1m (46.1ft)

Συγγραφέας:

Καραβάς Θεόδωρος

A.M.: 15037

Επιβλέπουσα: Σωτηρία Δημητρέλλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΑΔΑ

Αιγάλεω, 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Τρισδιάστατη μοντελοποίηση ιστιοπλοϊκού σκάφους μήκους 14.1 μέτρων

3D modeling of a sailing yacht with a length of 14.1m (46.1ft)

Συγγραφέας

Καραβάς Θεόδωρος (na15037)

Επιβλέπουσα

Σωτηρία Δημητρέλλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

11/04/2023

Εξεταστική Επιτροπή

Δημητρέλλου Σωτηρία

Αναπλ. Καθηγήτρια
ΠΑ.Δ.Α.

Πέππα Σοφία

Αναπλ. Καθηγήτρια
ΠΑ.Δ.Α.

Χατζικωνσταντής Γεώργιος

Επίκουρος Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΚΑΡΑΒΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ του ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ με αριθμό μητρώου 15037, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

« Είμαι ο συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και πως 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 η 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 χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του ίδιου του Ιδρύματος.

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

Ο Δηλών:



Καραβάς Θεόδωρος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου και τους φίλους που με βοήθησαν πραγματικά με την υποστήριξη και την εμπύχασή τους, και την επιβλέπουσα καθηγήτρια Σωτηρία Δημητρέλλου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για τη συγγραφή αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Ιστιοφόρο ορίζεται το πλοίο που φέρει πανιά τα οποία εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια και την μετατρέπουν σε κύριο μέσο πρόωσης. Από το 4000 π.Χ. τα πανιά ήταν η κινητήρια δύναμη των πλοίων, μέχρι και τα μέσα του 19^{ου} αιώνα μ.Χ. όπου οι ατμομηχανές πήραν τα ηνία. Αν και τελικά οι μηχανές επικράτησαν σαν μέσο πρόωσης, η ιστιοπλοΐα δεν λησμονήθηκε, αντιθέτως εξελίχθηκε σε έναν ιδιαίτερο τρόπο ψυχαγωγίας και αναψυχής. Επίσης σημαντική είναι η χρήση των ιστιοφόρων σκαφών στο άθλημα της ιστιοπλοΐας, ένα από τα πιο γοητευτικά και απαιτητικά αθλήματα καθώς συνδυάζει την ομορφιά της θάλασσας και τις φυσικές-τεχνικές ικανότητες των αθλητών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά θα γίνει μια εκτενής παρουσίαση της γεωμετρίας της πλεύσης και θα αναλυθεί η υδροδυναμική και αεροδυναμική συμπεριφορά των ιστιοπλοϊκών σκαφών. Στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή των κατηγοριών των ιστιοπλοϊκών σκαφών και των στοιχείων μορφολογίας τους, καθώς θα αναφερθούν χρηστικές πληροφορίες για τη συντήρηση της γάστρας, των πανιών και ξαρτιών, και των επιμέρους συστημάτων. Τέλος θα πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη σχεδίαση και μοντελοποίηση ενός σύγχρονου ιστιοπλοϊκού σκάφους μήκους 14.1 μέτρων με το πρόγραμμα παραμετρικής σχεδίασης Autodesk Fusion 360, και θα προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τις απαιτήσεις της σχεδίασης και τις προτάσεις για μελλοντικές εργασίες.

Λέξεις κλειδιά: **ιστιοφόρο, ιστιοπλοϊκό σκάφος, πανιά, πλεύση, τρισδιάστατος σχεδιασμός, T-splines**

Abstract

A sailboat or sailing yacht is defined as a ship with one or more sails that take advantage of wind energy and convert it into propulsion. From the fourth millennium B.C sails were the driving force of ships, until the middle of the 19th century A.D. when steam engines became the main means of propulsion. Although engines eventually prevailed as a means of propulsion, the art of sailing was not forgotten, on the contrary it evolved into a special form of entertainment and recreation. Also important is the use of sailboats in the sport of sailing, one of the most fascinating and demanding sports, as it combines the beauty of the sea and the physical-technical abilities of the athletes.

In this thesis, initially an extensive presentation of the performance of sailboats will be made and the hydrodynamic and aerodynamic behavior of sailing vessels will be analyzed. Then a description of the categories of sailing boats and their morphological elements will be presented. The next chapter will provide useful information on the maintenance and drydocking of the hull, sails and masts, and individual systems. Finally, the 3D modeling of a 14.1 m long modern sailing yacht will be carried out using the Autodesk Fusion 360 parametric design program and conclusions will be drawn regarding the design requirements and future work suggestions.

Key words: sailboat, sail yacht, sails, 3D design, sailing, T-splines

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	13
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.2 Γενική περιγραφή ιστιοπλοϊκού σκάφους.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Γεωμετρία της πλεύσης του ιστιοπλοϊκού σκάφους	21
2.1 Υδροδυναμική δύναμη	21
2.2 Αεροδυναμική δύναμη.....	22
2.3 Η Γεωμετρία της πλεύσης.....	22
2.3.1 Περιπτώσεις πλεύσης ως προς τον άνεμο	22
2.3.2 Ταχύτητα πλεύσης	24
2.4 Ανάλυση δυνάμεων κατά την πλεύση.....	26
2.5 Ισορροπία δυνάμεων και ροπών.....	27
2.6 Αντίσταση σκάφους κατά την πλεύση	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Κατηγοριοποίηση ιστιοπλοϊκών σκαφών	33
3.1 Κατηγοριοποίηση ιστιοπλοϊκών σκαφών	33
3.1.1. Ιστιοφόρα σκάφη μονής γάστρας.....	33
3.1.2. Ιστιοφόρα σκάφη με δύο ή τρεις γάστρες	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλικά Κατασκευής	48
4.1 Εισαγωγή.....	48
4.2 Πολυμερή και πολυμερισμός ρητίνης	48
4.3 Σύνθετα υλικά	48
4.4 Πολυεστερική ρητίνη και πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα	49
4.5 Υαλοϋφάσματα (Glass Fiber).....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συντήρηση και επισκευή	52
5.1 Εισαγωγή.....	52
5.2 Εξωτερική συντήρηση	53
5.3 Συντήρηση στο καρνάγιο	54
5.4 Συντήρηση επιμέρους συστημάτων	57
5.5 Πανιά, σκοινιά και ξάρτια.....	57
5.6 Έλεγχος μέσων και συστημάτων ασφάλειας.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Τρισδιάστατη σχεδίαση ιστιοπλοϊκού σκάφους	61
6.1 Γενικές προδιαγραφές σκάφους	61
6.2 Διαδικασία σχεδιασμού	65
6.2.1 Σχεδιασμός γάστρας.....	66
6.2.2 Σχεδιασμός καρίνας	70
6.2.3 Σχεδιασμός καταρτιού & πανιών	72
6.2.4 Σχεδιασμός καταστρώματος	74
6.2.5 Ολοκληρωμένο 3D μοντέλο σκάφους	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Επίλογος	80
Βιβλιογραφία	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη αναφορά σε ιστιοφόρα σκάφη εμφανίζεται στην αρχαία ελληνική μυθολογία όπου, σύμφωνα με τον περιηγητή Πausανία, ο Δαίδαλος ήταν αυτός που πρώτος σκέφτηκε τα ιστιοφόρα ως τρόπο διαφυγής από τα εχθρικά σκάφη τα οποία είχαν ως κύριο μέσο πρόωσης τα κουπιά. Ωστόσο ο Πausανίας γνωρίζουμε πως έζησε τον 2^ο αιώνα μ.Χ. και χωρίς αμφιβολία καταγράφει μύθους που δεν ανταποκρίνονται πάντοτε στην ιστορική πραγματικότητα [1].

Οι Κρήτες της μινωικής εποχής ήταν άριστοι στην τέχνη της ιστιοπλοΐας, καθώς οι αποστάσεις που κάλυπταν στη Μεσόγειο ήταν αδύνατο να καλυφθούν μόνο με κωπηλάτες. Βεβαιωμένα ίχνη της πορείας τους έχουν εντοπιστεί από τη Λιβύη και την Αίγυπτο μέχρι την Ιταλία και τα νησιά του Αιγαίου πελάγους. Αυτές οι αποστάσεις δεν ήταν δυνατό να καλυφθούν με την ισχύ των κουπιών και για αυτό είναι βέβαιο πως χρησιμοποιούνταν ιστιοφόρα σκάφη. Ακόμα γνωρίζουμε πως την ίδια περίοδο εξελίχθηκαν και οι φορηγίδες με στρογγυλό πυθμένα, που χρησιμοποιούσαν οι Έλληνες και οι Φοίνικες, με βασικό μέσο προώθησης ένα μεγάλο τετράγωνο πανί.

Είναι πολύ πιθανό ιστιοφόρα σκάφη να είχαν εμπλακεί και στον Τρωικό Πόλεμο, καθώς αυτή η μεγάλη ναυτική εκστρατεία εκμεταλλεύτηκε οποιοδήποτε τύπο σκάφους είτε ήταν πολεμικό είτε εμπορικό. Δυστυχώς όμως δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια πώς ήταν τα σκάφη των Αχαιών, αφού ο Όμηρος διηγήθηκε την ιστορία τετρακόσια χρόνια αργότερα, με πιθανότερο σενάριο να αναφέρεται στα σκάφη της εποχής του. Αυτά τα σκάφη ήταν οι τριακόντοροι και οι πενηντακόντοροι, μικτής χρήσης, εμπορικής, πολεμικής αλλά και πειρατικής, με κύριο μέσο πρόωσης τα 30 και 50 κουπιά αντίστοιχα και βοηθητικό μέσο πρόωσης ένα τετράγωνο πανί. Άλλωστε δεν θα υπήρχε λόγος για τον ποιητή να αναφέρει την άπνοια στην Αυλίδα, ούτε τη θυσία της Ιφιγένειας για να τους προσφέρει ευνοϊκούς-σύριους ανέμους.

Τα σπουδαιότερα ιστιοφόρα της αρχαιότητας εκτός από τις τριήρεις, ήταν και τα εμπορικά πλοία τα οποία χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά πανί, καθώς εξοικονομούσαν χώρο για τα εμπορεύματα και χρηματικά μισθώματα για τους κωπηλάτες. Το μεγάλο τετράγωνο πανί εξυπηρετούσε την προώθηση του σκάφους μόνο όταν ο άνεμος φυσούσε από πίσω (την μεριά της πρύμνης) ή έστρω από πίσω και πλάι. Παρόλα αυτά,

με βάση τις ιστορικές αναφορές για το περίφημο σκάφος της Κυρήνειας, οι Έλληνες της αρχαιότητας γνώριζαν πώς να αξιοποιήσουν τους πλευρικούς ανέμους με την προσωρινή παραμόρφωση των μεγάλων τετράγωνων πανιών σε τραπέζια σχήματα ανάλογα την κατεύθυνση του αέρα. Το σκάφος αυτό εξελίχθηκε την εποχή του μεγάλου Αλεξάνδρου που γενικά χαρακτηρίζεται ως μία εποχή όπου σημειώθηκαν σημαντικά επιτεύγματα της τεχνολογίας και της εξέλιξης σχετικά με την ναυπηγική.

Κατά την περίοδο του μεσαίωνα αρχίζουν και εφαρμόζονται νέες τεχνικές και τεχνολογίες στην ιστιοπλοΐα. Το τετράγωνο πανί αξιοποιεί τον αέρα όσο ο άνεμος έρχεται μόνο από μία κατεύθυνση και συγκεκριμένα από πίσω. Από την άλλη το τριγωνικό πανί που αρχίζει να τοποθετείται έχει την ευελιξία να εκμεταλλεύεται καλύτερα και τους πλευρικούς ανέμους. Οι Ρωμαίοι ήταν αυτοί που στα μεγάλα καράβια τοποθέτησαν και δεύτερο κατάρτι με το πανί που έφερε αυτό να είναι αποκλειστικά βοηθητικού σκοπού. Ανά την Ευρώπη εμφανίζονται πολλά και διαφορετικά σκάφη με συνδυασμούς τριγώνων και τετράγωνων πανιών. Στο Βορρά οι περίφημοι Βίκινγκς χρησιμοποιούν στα πλοία τους ένα μεγάλο τετράγωνο μάλλινο πανί ως βοηθητικό μέσο πρόωσης ενώ διατηρούν τους κωπηλάτες οι οποίοι αποτελούν τους πολεμιστές της φυλής. Από την άλλη, στα ποτάμια της κεντρικής Ευρώπης συνεχίζουν να υπάρχουν μεγάλα βραδυκίνητα σκάφη, με κωπηλάτες κυρίως δούλους, χωρίς να είναι εφοδιασμένα με κάποιο πανί. Την περίοδο εκείνη βρίσκουν την ευκαιρία οι Σαρακηνοί πειρατές από τη Βόρεια Αφρική και εξελίσσουν την τεχνική της φελούκας, το πλοiάριο με το μεγάλο τριγωνικό πανί που ήταν σήμα κατατεθέν της αιγυπτιακής παράδοσης. Τα σκάφη αυτά ήταν κατάλληλα για πειρατεία ωστόσο όταν βρισκόταν αντιμέτωπα με τους βυζαντινούς δρόμωνες της εποχής δεν μπορούσαν να αντισταθούν.

Το ηηδάλιο των σκαφών όπως ήταν γνωστό μέχρι και τον 14^ο αιώνα μ.Χ. αποτελούνταν από ένα ή δύο κουπιά, στερεωμένα στα πλάγια της πρύμνης. Στη σύγχρονη ναυσιπλοΐα χρησιμοποιούνται οι αγγλικοί όροι 'starboard' για δεξιά και 'port' για αριστερά [3].

Αργότερα, εμφανίστηκε το πρυμναίο ηηδάλιο, εφεύρεση ενός Ολλανδού ναυπηγού, το οποίο το χειρίζονταν με τη βοήθεια μιας λαγουδέρας, ενώ αργότερα δέθηκαν δύο σκοινιά όπου κατέληξαν στη γνωστή ρόδα που λειτουργούσε σαν τιμόνι. Όσο για το εσωτερικό τιμόνι, ο άξονας του οποίου διαπερνά τη γάστρα του σκάφους στην περιοχή της πρύμνης, ήταν μία αποτελεσματική εφεύρεση των Κινέζων πειρατών.

Ο 15^{ος} αιώνας σήμανε το ξεκίνημα των μεγάλων ταξιδιών στους ωκεανούς. Ταξίδια όπως η ανακάλυψη της Αμερικής, οι ναυτικοί δρόμοι προς την Ινδία, ακόμα και ο γύρος του κόσμου έφεραν την ανάγκη να καταργηθούν τα κουπιά και να εξελιχθεί ακόμα περισσότερο η ναυσιπλοΐα [2]. Οι Ισπανοί και οι Πορτογάλοι θαλασσοπόροι έψαχναν απεγνωσμένα να βρουν κάτι γρηγορότερο από τις βραδυκίνητες καραβέλες που είχαν δύσκολο χειρισμό, ενώ οι Άραβες και Κινέζοι πειρατές έψαχναν κάτι πιο ουσιαστικό από το λατίνι για να μπορούν να πλέουν όρτσα ενάντια στον άνεμο και να πλησιάζουν τα αντίπαλα σκάφη από τη μεριά που δεν υπήρχαν κανόνια. Αυτοί είναι και οι σημαντικότεροι λόγοι που ναυπηγήθηκαν νέα ιστιοφόρα με μοναδικό μέσο προώθησης τα πανιά.

Μέχρι και τον 19^ο αιώνα δεν έγιναν ουσιαστικές αλλαγές στην τεχνολογία παρά μόνο κάποιες μετατροπές στα πανιά που μίκρυναν σε μέγεθος και πολλαπλασιάστηκαν για μεγαλύτερες και αποτελεσματικότερες δυνατότητες πλεύσης. Στις πλαγιοπορείες οι φλόκοι προσέφεραν νέες ταχύτητες, ενώ στην πορεία κόντρα στον άνεμο οι ίδιοι φλόκοι έδωσαν την ευκαιρία στα σκάφη να συνεχίσουν να ταξιδεύουν με μικρές ταχύτητες αλλά χωρίς μεγάλες εκτροπές. Όμως εκτός από τις αλλαγές στα κατάρτια και στα πανιά, από τον 16^ο αιώνα άρχισαν να εξοπλίζονται με διάφορα άλλα σημαντικά όργανα ναυσιπλοΐας. Κάποια από αυτά είναι οι μαγνητικές πυξίδες, τα δρομόμετρα και οι εξάντες, που προσέφεραν τη μέτρηση του γεωγραφικού πλάτους. Ωστόσο πέρασαν περίπου 150 χρόνια μέχρι να κατασκευαστεί ένα αξιόπιστο χρονόμετρο, με απώτερο σκοπό να προσδιορίζει το γεωγραφικό μήκος.

Κατά τον 19^ο αιώνα, ο εμπορικός ανταγωνισμός επέβαλε την ανάγκη να ναυπηγηθούν μεγαλύτερα και γρηγορότερα ιστιοφόρα. Η ακόρεστη δίψα των ευρωπαϊκών αγορών για προϊόντα από άλλες ηπείρους αύξησε δραστικά τα έσοδα, τα οποία στην πορεία κάλυπταν εύκολα το κόστος ναυπήγησης αυτών των ιστιοφόρων. Μερικά χαρακτηριστικά σκάφη ήταν οι δικάταρτες σκούνες και οι τρικάταρτες φρεγάτες. Η κορύφωση των ιστιοφόρων σκαφών ήταν τα κλίπερ, τα οποία εκθρόνισαν όλα τα προαναφερθέντα πλοία που κυκλοφορούσαν από τον 15^ο αιώνα. Έτσι λοιπόν επεκτείνοντας τα σχέδια της κλασικής δικάταρτης σκούνας, οι Αμερικανοί ναυπηγοί κατασκεύασαν ένα εξαιρετικά ευέλικτο ιστιοφόρο με τρία ή τέσσερα άλμπουρα, με πολλαπλά τετράγωνα και τρίγωνα πανιά και στενή γάστρα με υδροδυναμικό σχήμα, που έδωσε την ικανότητα να αναπτύσσει ταχύτητα μέχρι και 21 κόμβους. Φυσικά ακολούθησαν και οι υπόλοιπες χώρες με παράδοση στη ναυπηγική όπως η Μεγάλη

Βρετανία, η Γαλλία, η Ολλανδία και η Βραζιλία. Τα σκάφη αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε σημαντικές εμπορικές αποστολές, όπως το εμπόριο τσαγιού και όπιοι των Βρετανών, καθώς και μετακινήσεις επιβατών, κυρίως Αμερικανών, από τις ανατολικές στις δυτικές ακτές και άλλα αντίστοιχα εμπορικά και επιβατικά ταξίδια. Τέλος, αυτά τα ιστιοφόρα προσέφεραν τις υπηρεσίες τους μέχρι τις παραμονές του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, όμως από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα είχαν ήδη πάρει την άτυπη κυριαρχία τα ατμόπλοια [3].

1.2 Γενική περιγραφή ιστιοπλοϊκού σκάφους

Η ορολογία «ιστιοπλοΐα» προήλθε από το σύνθετο «ιστίο» και «πλους» δηλαδή πλεύση με το πανί που τα παλαιότερα χρόνια χρησιμοποιούσαν τα σκάφη για να ταξιδεύουν. Είναι η τέχνη του αρμενίσματός τους στο νερό χρησιμοποιώντας ως αποκλειστική ή έστω κύρια πηγή ενέργειας τον άνεμο. Τα πανιά δένονται στα κατάρτια και με τη βοήθεια του αέρα τα σκάφη πλέουν στη θάλασσα.



Εικόνα 1. Ιστιοφόρο σκάφος (Beneteau Sense 50) [4]

Ιστιοφόρο ορίζεται το πλοίο που φέρει πανιά τα οποία εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια και την μετατρέπουν σε κύριο μέσο πρόωσης. Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη χρησιμοποιούν και επωφελούνται τον άνεμο και μπορούν να πλέουν με γωνία μικρότερη των 90° αντίθετα από τη διεύθυνση του ανέμου. Συνήθως έχουν ένα ή δύο

κατάρτια και την μάτσα στο εμπρός μέρος. Είναι εφοδιασμένα με προωστική εγκατάσταση (εξωλέμβια μηχανή) η οποία χρησιμοποιείται μόνο σε καιρούς άπνοιας η έκτακτης ανάγκης.

Στο κυρίως κατάστρωμα είναι τοποθετημένο το σύστημα πηδαλιουχίας και πλοήγησης καθώς και τα κατάρτια με τα πανιά. Στην πρύμνη του σκάφους βρίσκεται το πιλοτήριο με τη μεγάλη ρόδα πλοήγησης, κάποιες φορές υπάρχουν δύο από αυτές, τα κύρια όργανα ελέγχου της μηχανής και τα όργανα της ναυσιπλοΐας. Στο πίσω μέρος του σκάφους βρίσκεται ο χώρος για τους επιβάτες. Ακριβώς μπροστά από το πιλοτήριο (cockpit) συνήθως υπάρχουν δύο καναπέδες που περιβάλλουν ένα πρακτικό αναδιπλούμενο τραπέζι. Το υλικό που χρησιμοποιείται για το κατάστρωμα είναι ξύλο teak το οποίο είναι ανθεκτικό και αντιολισθητικό, και επιπλέον προσφέρει στο αισθητικό κομμάτι. Από πρίμα μέχρι πλώρα πάνω στο κατάστρωμα υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που εξυπηρετούν στο χειρισμό του σκάφους, όπως τα ράουλα οι τροχαλίες, τα βιτζιρέλα τα βαγονάκια, και άλλα πολλά.

Αναφορικά με τα πανιά, το μεγάλο πανί του σκάφους ονομάζεται μαϊστρα, και είναι ανθεκτικό και ευλύγιστο ώστε να καλύπτει μεγάλη γκάμα κατεύθυνσης ανέμων. Η μαϊστρα εκτός από ώθηση στο σκάφος, παρέχει και τον κατευθυντήριο έλεγχο και ιδιαίτερα στο πίσω μέρος της, το οποίο ονομάζεται αετός. Η μαϊστρα είναι άμεσα εξαρτημένη από την τζένοα (genoa), η οποία είναι ένα εξίσου σημαντικό πανί, καθώς παρέχει ένα μεγάλο μέρος της δύναμης που ωθεί το σκάφος και φουσκώνει πολύ παραπάνω σε σημεία που δεν μπορεί να φτάσει η μαϊστρα, σε πλεύσεις όπως η κλειστή πλαγιοδρομία.

Τέλος, υπάρχει και ένα πανί, το λεγόμενο μπαλόνη, που ανοίγει και επεκτείνεται λαμβάνοντας διαφορετικά σχήματα με απώτερο σκοπό να προσδώσει λίγη ακόμα ταχύτητα στο σκάφος.

Στο κατώτερο κατάστρωμα του ιστιοφόρου βρίσκονται οι καμπίνες, τα WC, το σαλονάκι, η κουζίνα και στο πρυμναίο τμήμα το μηχανοστάσιο. Συνήθως ο χώρος ενδιαίτησης αποτελείται από τρεις ή παραπάνω καμπίνες, με τις δύο από αυτές να είναι δεξιά και αριστερά του μηχανοστασίου στο πίσω μέρος του σκάφους, ενώ οι επιπλέον καμπίνες (τρίτη ή τέταρτη) να βρίσκονται στην πλώρη του σκάφους. Κατά το σχεδιασμό ενός σκάφους βασικό ζητούμενο είναι να υπάρχει όσο το δυνατόν

περισσότερο φυσικό φως στους εσωτερικούς χώρους και αυτό επιτυγχάνεται με πολλά μικρά παράθυρα κατά μήκος του σκάφους.



Εικόνα 2. Χρήση πανιών για πλαγιοδρομία σε ιστιοπλοϊκό σκάφος 31.5 ft [5]

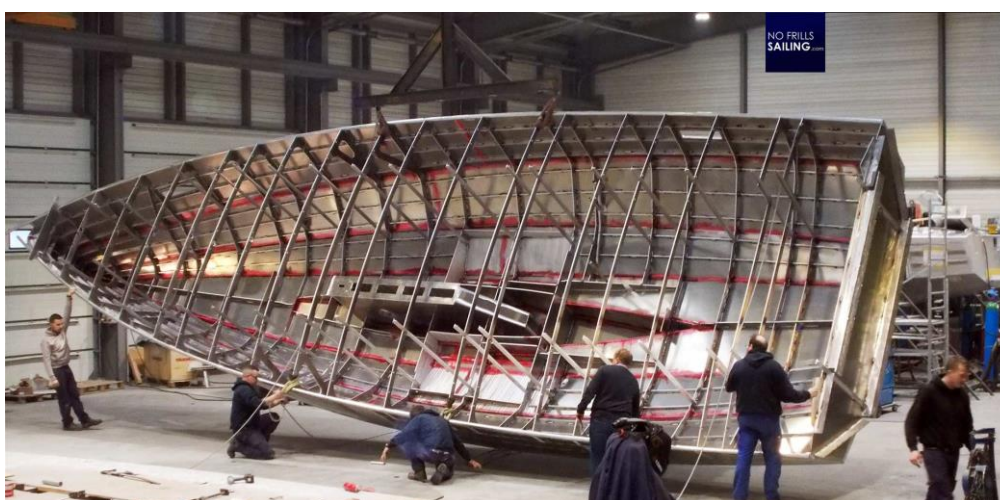
Παραδοσιακά, τα βασικά υλικά κατασκευής ήταν το ξύλο και σε κάποιες σπανιότερες περιπτώσεις ο χάλυβας, όμως πλέον η κατασκευή τους, αποτελείται από στρώματα υαλοϋφασμάτων ή ίνες γυαλιού που περικλείουν καλούπια πολυεστερικής ρητίνης. Είναι αισθητά πιο ελαφριά κατασκευή και το κόστος της κυμαίνεται σε λογικά πλαίσια. Η πρώτη εμφάνισή τέτοιων σκαφών έχει γίνει την δεκαετία του εξήντα οπότε έχουμε καλή γνώση για την μακροζωία του σε επαφή με το νερό με την πάροδο τον χρόνων. Πάραυτα δεν παύει να χρειάζεται φροντίδα, για αυτό και προστατεύεται με ένα *gelcoat* ένα επιπλέον στρώμα φινιρίσματος και προστασίας [6].



Εικόνα 3. Ξύλινος σκελετός σκάφους, στον Άγιο Ισίδωρο της Σάμου [7]

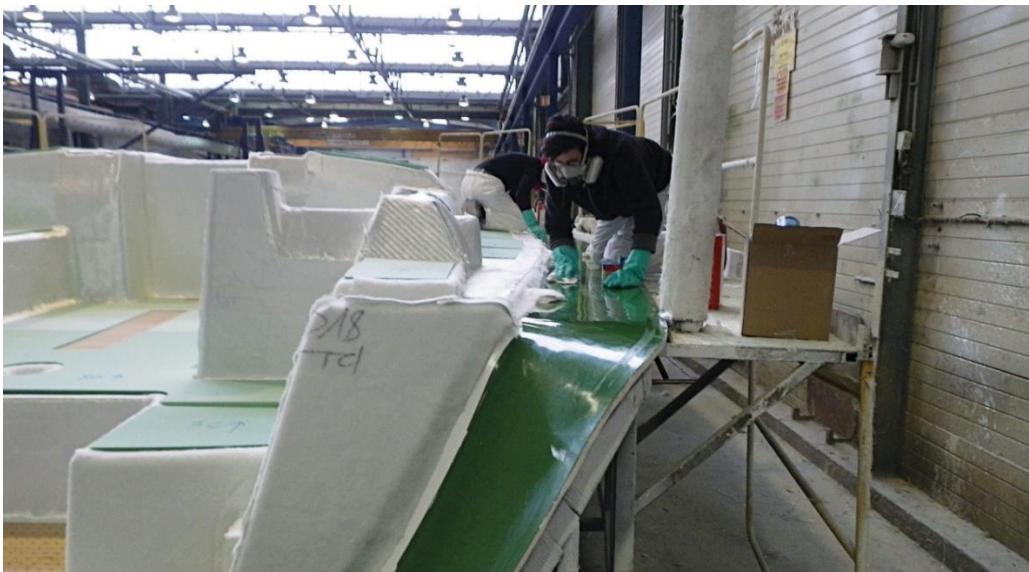
Το ξύλο είναι το πρώτο υλικό που ξεκίνησαν να κατασκευάζονται τα ιστιοφόρα σκάφη καθώς η κατεργασία του ήταν εύκολη και δεν χρειάζονταν μεγάλα έξοδα κατασκευής [8]. Τα περισσότερα ερασιτεχνικά σκάφη για το πέτσωμά χρησιμοποιούσαν κόντρα πλακέ θαλάσσης, ενώ η στερέωση του πετσώματος στο σκελετό γίνεται με κόλα θαλάσσης και ξυλόβιδες.

Ο ναυπηγικός χάλυβας ST 37, είναι ένα από τα πιο φθηνά υλικά αλλά δεν ενδείκνυται για κατασκευή σκαφών. Το θέμα βάρους, αποτελεί σημαντικό παράγοντα, και κυρίως τα παλαιότερα χρόνια όταν τα ιστιοφόρα σκάφη είχαν ανάγκη από μεγάλη ποσότητα έρματος [8]. Παρόλα αυτά είναι μια ακόμα μέθοδος κατασκευής ιστιοφόρων σκαφών. Η συντήρηση του ναυπηγικού χάλυβα δεν απαιτείται να γίνεται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, καθώς πλέον τοποθετούνται σύγχρονα συστήματα προστασίας υλικού με εποξικά αστάρια και χρώματα δύο συστατικών υψηλών προδιαγραφών. Ωστόσο, η κατεργασία του χάλυβα είναι εξειδικευμένη και απαιτεί ειδικά μηχανήματα επεξεργασίας, όπως μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης, και εξειδικευμένο προσωπικό χειρισμού. Το αλουμίνιο και πιο συγκεκριμένα το ειδικό κράμα αλουμινίου κατάλληλο για το θαλάσσιο περιβάλλον, χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή μεγάλων ιστιοπλοϊκών, τα οποία συμπληρώνουν το εκτόπισμα τους με τη βοήθεια έρματος. Σε σχέση με το ναυπηγικό χάλυβα, το κράμα αλουμινίου είναι ευκολότερο στην κατεργασία αλλά απαιτείται και σ' αυτή την περίπτωση εξειδικευμένη κατεργασία. Επιπλέον το κόστος κατασκευής του αλουμινίου είναι αρκετά υψηλότερο [8].



Εικόνα 4. Κατασκευή ιστιοφόρου σκάφους από αλουμίνιο (Boreal Yachts) [9]

Πλέον, το πιο διαδεδομένο υλικό για τα ιστιοφόρα σκάφη είναι το πλαστικό, που αποτελείται από διάφορους τύπους υαλοϋφασμάτων εμποτισμένων με πολυεστερικές ρητίνες για το πέτσωμα και τα υπόλοιπα κομμάτια του σκάφους. Οι πολυεστερικές ή οι εποξικές ρητίνες, μαζί με τα φύλλα των υαλοϋφασμάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για την προστασία μίας ξύλινης κατασκευής δηλαδή τη στεγανοποίηση του σκάφους και την απαλλαγή από την τακτική συντήρηση. Ο τρόπος κατασκευής ενός πλαστικού σκάφους πρέπει να γίνεται εξολοκλήρου σε εργοστάσιο καθώς απαιτούνται συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και άλλων παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα [10].



Εικόνα 5. Ναυπήγηση ιστιοφόρων σκαφών και τελικό φινίρισμα [11]

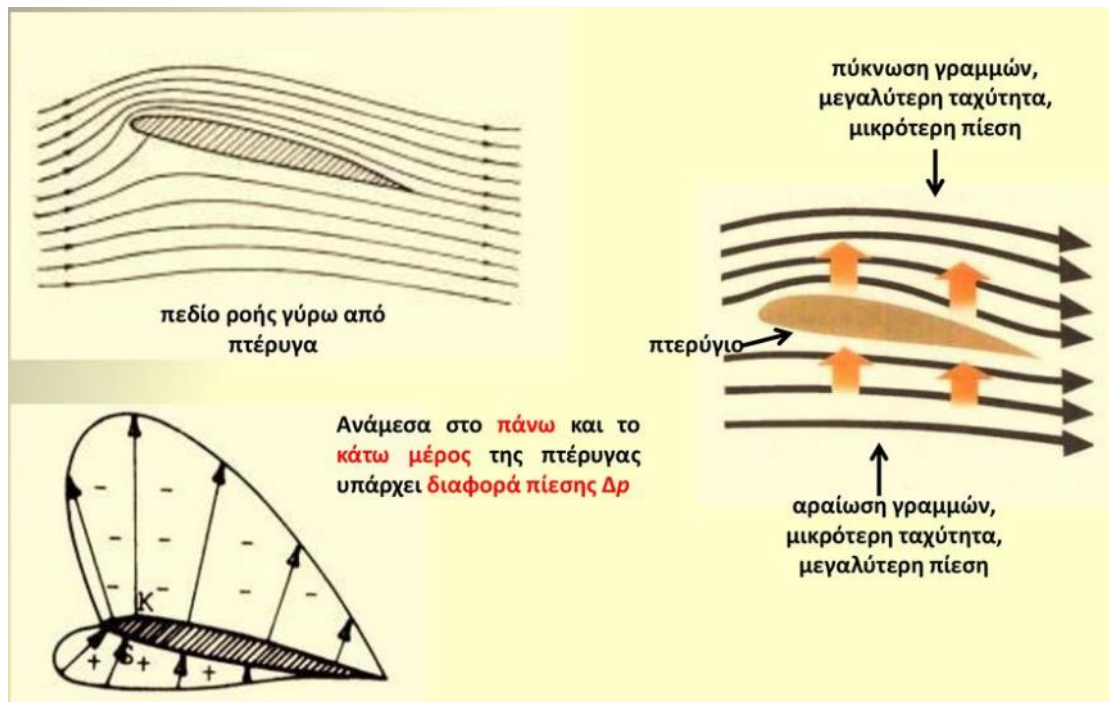
Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή των υλικών κατασκευής για ιστιοφόρα σκάφη. Τα υαλοϋφάσματα και πολυεστερικές ρητίνες και γενικότερα το πλαστικό σκάφος, αποτελούν πλέον τον επικρατέστερη οδό κατασκευής κυρίως λόγω των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις μηχανικές ιδιότητες που προσδίδουν στην κατασκευή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Γεωμετρία της πλεύσης του ιστιοπλοϊκού σκάφους

Στην αρχή της εργασίας μας είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό στον αναγνώστη πως επειδή τα ιστιοπλοϊκά σκάφη χρησιμοποιούν ως κινητήρια δύναμη τη δύναμη του αέρα που εφαρμόζεται στα πανιά, προκύπτει μία ιδιόμορφη πλεύση. Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητός ο όρος ιδιόμορφη πλεύση, βασική προϋπόθεση των ιστιοπλοϊκών είναι η γνώση του τρόπου δημιουργίας των δυνάμεων που ασκούνται στο σκάφος (από τον αέρα και τη θάλασσα) και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων μέσω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σκάφους και του εξοπλισμού. Καθώς ο αέρας δεν συμβαδίζει με τις ανάγκες του κυβερνήτη ή της εκάστοτε πορείας και συχνά αλλάζει διεύθυνση και ένταση, τα πανιά πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα ώστε να παράγεται αεροδυναμική δύναμη. Ταυτόχρονα, η συνολική κατάσταση και γεωμετρίας της γάστρας (καρίνα, κατανομή βάρους, πηδάλιο, κλπ.) αντιδρά, και η κίνηση και θέση αυτής στο νερό παράγει υδροδυναμική δύναμη [12].

2.1 Υδροδυναμική δύναμη

Η δύναμη της άνωσης που ασκείται στη γάστρα όταν κινείται στη θάλασσα είναι πάρα πολύ σημαντική δύναμη και είναι σημαντικός παράγοντας για την κίνηση των ιστιοπλοϊκών αντίθετα στον άνεμο. Αν θεωρήσουμε ότι η γάστρα του ιστιοπλοϊκού σκάφους λειτουργεί ως υδροτομή (τομή πτερυγίου) που κινείται με κάποια γωνία πρόσπτωσης μέσα σε ρευστό, η ροή διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους περιοχές, πάνω και κάτω από την υδροτομή (Εικόνα 6). Η ροή στην επάνω επιφάνεια της υδροτομής έχει τοπικά μεγαλύτερη ταχύτητα από την ροή στην κάτω πλευρά με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο επιφάνειες που οδηγεί στην εμφάνιση της συνιστώσας της δύναμης που είναι κάθετη στην κατεύθυνση του ρευστού (δυναμική άωση). Όταν οι τιμές των αδρανειακών δυνάμεων των μορίων είναι αρκετά μεγάλες με αποτέλεσμα τα μόρια του ρευστού να αποκολλώνται από την επιφάνεια της κινούμενης υδροτομής εμφανίζεται το φαινόμενο της αποκόλλησης και η δυναμική άωση μειώνεται. Για να εμφανιστεί αποκόλληση της ροής πρέπει είτε η γωνία πρόσπτωσης να είναι πολύ μεγάλη είτε η ταχύτητα να αυξηθεί σημαντικά [13].



Εικόνα 6. Η ροή του νερού πάνω και κάτω από το πτερύγιο [14]

2.2 Αεροδυναμική δύναμη

Στις αεροδυναμικές δυνάμεις του σκάφους εντάσσονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα πανιά. Όπως η γάστρα και το πηδάλιο, έτσι και τα πανιά λειτουργούν ως λεπτές αεροτομές οι οποίες είναι αρκετά αποδοτικές στη δημιουργία δυναμικής άωσης, επειδή λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο με τις αεροτομές και κινούνται με γωνία πρόσπτωσης μέσα σε κάποιο ρευστό. Για τη γάστρα ως ρευστό θεωρείται το θαλασσινό νερό και η σχετική ταχύτητα του ρευστού είναι η ταχύτητα του νερού ως προς το σκάφος, δηλαδή η αντίθετη της ταχύτητας του σκάφους. Για τα πανιά ως ρευστό θεωρείται ο άνεμος και η σχετική ταχύτητα του ρευστού είναι η σχετική ταχύτητα του αέρα ως προς το σκάφος [13].

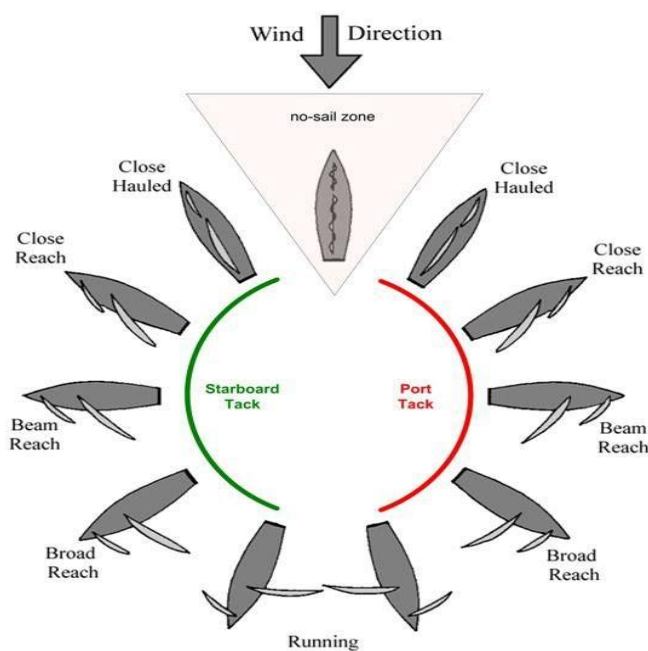
2.3 Η Γεωμετρία της πλεύσης

2.3.1 Περιπτώσεις πλεύσης ως προς τον άνεμο

Το μεγάλο πλεονέκτημα της ιστιοπλοΐας είναι η πλεύση αντίθετα στον άνεμο. Η δυνατότητα αυτή έδωσε στα ιστιοφόρα την ικανότητα να πλέουν και να κατευθύνονται προς οποιονδήποτε προορισμό, χωρίς να επηρεάζονται από την κατεύθυνση του

άνεμου. Αυτή η πλεύση ονομάζεται όρτσα. Είναι επίσης ο λόγος που κατάφερε η ναυσιπλοΐα να αποδεσμευθεί από την κωπήλατη πρόωση. Βέβαια τα πανιά από μόνα τους δεν μπορούν, με τη μικρή δύναμη πρόωσης που αποδίδουν, να κινήσουν το σκάφος σε κατεύθυνση ακριβώς αντίθετη στον άνεμο. Ωστόσο συνυπολογίζοντας τις δυνάμεις πρόωσης από τα πανιά και από τη γάστρα σε διάφορες συνδυαστικές θέσεις μεταξύ τους ένα ιστιοφόρο μπορεί να πλεύσει αποδοτικά. Σε όρτσα πλεύση τα πανιά μπορεί να έχουν γωνίες έως και 40 μοιρών αντίθετα του αέρα ή ακόμα να είναι παράλληλα σε αυτόν.

Η πλεύση ουσιαστικά χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες με παράγοντα τον άνεμο α) τα όρτσα, β) τα πρίμα και γ) την πλαγιοδρομία. Μεταξύ αυτών υπάρχουν δύο ακόμα υποκατηγορίες: η κλειστή πλαγιοδρομία η οποία αναφέρεται σε πλεύση ανάμεσα στην πλαγιοδρομία και τα όρτσα, και η ανοιχτή πλαγιοδρομία, η οποία αναφέρεται σε πλεύση ανάμεσα στην πλαγιοδρομία και τα πρίμα.



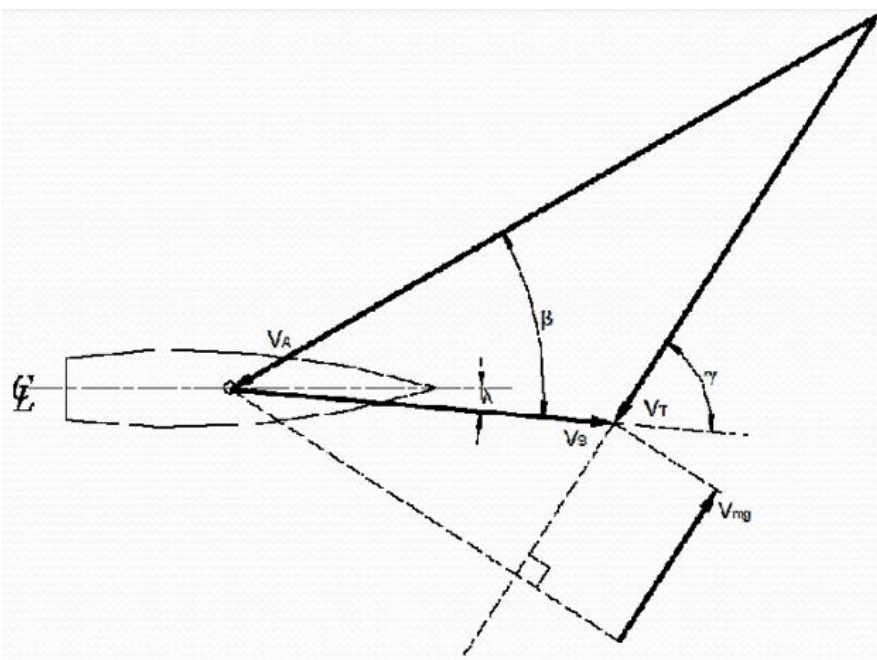
Εικόνα 7. Οι διαφορετικές περιπτώσεις πλεύσης [15]

Πλαγιοδρομία έχουμε όταν η πλεύση είναι κάθετη αναφορικά με την ταχύτητα του ανέμου. Με τον όρο ανοιχτή πλαγιοδρομία εννοούμε την πλεύση με φορά προς την κατεύθυνση του ανέμου, την πλεύση δηλαδή που πλησιάζει περισσότερο στα πρίμα,

ενώ με τον όρο κλειστή πλαγιοδρομία αναφερόμαστε στην πλεύση με αντίθετη φορά από την κατεύθυνση του ανέμου που μοιάζει περισσότερο στα όρτσα. Με πρίμα πλεύση αναφερόμαστε στην κατηγορία που ο άνεμος έρχεται ακριβώς πίσω από το σκάφος ή με μία πολύ μικρή κλίση όπου ονομάζεται δευτερόπριμα. Τέλος έχουμε την όρτσα πλεύση στην οποία αναφερθήκαμε παραπάνω, ενώ στην περίπτωση που ο αέρας χτυπάει ακριβώς την πλώρη του σκάφους ονομάζουμε την πλεύση κατάορτσα.

2.3.2 Ταχύτητα πλεύσης

Η πορεία του σκάφους είναι συνυφασμένη με δύο πολύ βασικούς παράγοντες, την ταχύτητα του σκάφους και την ταχύτητα του ανέμου και τον τρόπο που αλληλοεπιδρούν με τα καιρικά φαινόμενα και καταστάσεις. Όλες οι ταχύτητες που θα αναφερθούμε παρουσιάζονται στην *Εικόνα 8* και αναλύονται στη συνέχεια για να κατανοητές.



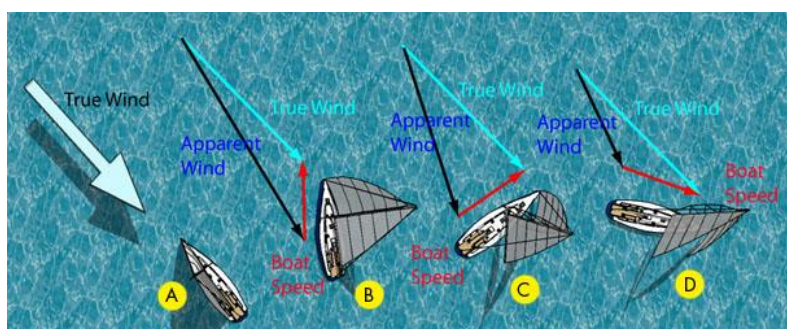
Εικόνα 8. Ταχύτητες πλεύσης [13]

Η ταχύτητα του σκάφους συμβολίζεται με το διάνυσμα V_s και με βάση τις παραδοχές που κάνουμε είναι σταθερή προς τον θετικό ημιάξονα. Η κλίση του σκάφους εγκάρσια υπολογίζεται ως η γωνία κλίσης που δημιουργεί το κατάρτι από την κατακόρυφη θέση του. Η ταχύτητα του ανέμου χωρίζεται σε πραγματικό ή απόλυτο αέρα (true wind) και σε σχετικό ως προς το σκάφος αέρα (apparent wind), όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα*

9. Σαν ιδανική περίπτωση θεωρούμε πως ο πραγματικός αέρας έχει σταθερή διεύθυνση και ταχύτητα σε σχέση με το χρόνο, ωστόσο στην πραγματικότητα λαμβάνεται υπόψιν το οριακό στρώμα. Το οριακό στρώμα είναι υπεύθυνο για το χαρακτηριστικό προφίλ της ταχύτητας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος από τη θάλασσα.

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα καθοριστούν οι μεταβλητές των ταχυτήτων του αέρα, που θα βοηθήσουν να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο μετριέται ο πραγματικός άνεμος και πως παράγεται αεροδυναμική δύναμη από τα πανιά. Ο σχετικός άνεμος άλλωστε ως προς το σκάφος έχει ένα προφίλ στο μέτρο της ταχύτητάς του και παράλληλα μία αντίστοιχη στροφή στη διεύθυνσή του, σε συνάρτηση πάντα με το μέτρο του πραγματικού αέρα για συγκεκριμένο ύψος [13].

Ορίζουμε λοιπόν ως V_T το ονομαστικό διάνυσμα της ταχύτητας του πραγματικού αέρα και ως V_A την σχετική ή αλλιώς φαινομενική ταχύτητα του αέρα ως προς το σκάφος. Ορίζουμε επίσης ως V_{mg} τη συνιστώσα της ταχύτητας του σκάφους ως προς τη διεύθυνση της ταχύτητας του πραγματικού ανέμου V_T .

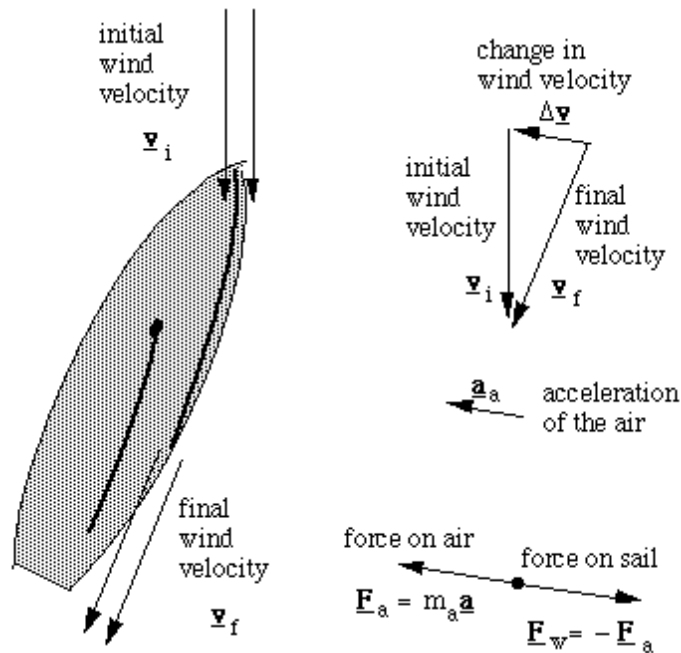


Εικόνα 9. Ο απόλυτος ή πραγματικός αέρας και σχετικός αέρας (true wind and apparent wind) [16]

Η γεωμετρία της πλεύσης και γενικότερα οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ δυνάμεων πρόωσης και ταχυτήτων αποτυπώνονται και με τις γωνίες της πλεύσης. Όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα 9*, η γωνία μεταξύ της ταχύτητας του φαινομένου αέρα και της απόλυτης ταχύτητας του σκάφους είναι η γωνία πλεύσης β . Η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης πλεύσης (ταχύτητα του σκάφους) και της ταχύτητας του πραγματικού αέρα ονομάζεται γωνία απόκλισης γ . Τέλος, η γωνία απόκλισης λ αναφέρεται στην διεύθυνση της V_s με τον άξονα συμμετρίας του σκάφους και η γωνία αυτή είναι πάντα μη μηδενική.

Οι παραπάνω ταχύτητες αποτυπώνονται με τις εξής γεωμετρικές σχέσεις:

- $V_{mg} = V_s \cos \gamma$
- $V_A = \sin \beta = V_T \sin \gamma$
- $(V_T V_A) \text{angle} = \gamma - \beta$
- $V_A \cos(\beta - \gamma) = V_T + V_S \cos \gamma$
- $\tan \gamma = \frac{V_A \sin \beta}{V_A \sin \beta - V_S} = \tan \beta - \left(\frac{V_A}{V_S}\right) * \sin \beta$



Εικόνα 10. Αεροδυναμικές ταχύτητες και επιταχύνσεις [17]

2.4 Ανάλυση δυνάμεων κατά την πλεύση

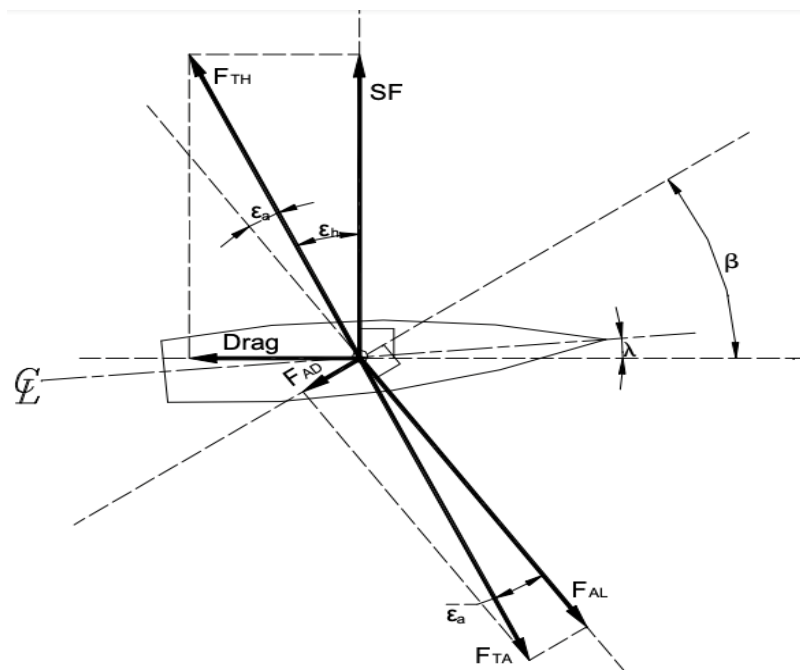
Οι δυνάμεις που υπάρχουν και κινούν το σκάφος χωρίζονται, όπως ήδη αναφέραμε, στις δυνάμεις από το νερό, δηλαδή τις υδροστατικές και υδροδυναμικές δυνάμεις που υπάρχουν στα ύφαλα της γάστρας, και στις δυνάμεις του αέρα, δηλαδή τις αεροδυναμικές δυνάμεις που ενεργούν στα ιστία του πλοίου, *Εικόνα 11*.

Το σημείο της εφαρμογής της συνολικής υδροδυναμικής δύναμης F_{TH} βρίσκεται (θεωρητικά) στο πάνω μέρος της καρίνας ή στο σημείο CLR (Center of Lateral Resistance). Η συνολική υδροδυναμική δύναμη F_{TH} (Force of Total Hydrodynamic) υπολογίζεται από τη δύναμη που ασκείται στην γάστρα και το πηδάλιο. Η κυρτή γωνία της πλάγιας δύναμης SF με την F_{TH} είναι η γωνία απόδοσης ϵ_h . Ωστόσο στην πραγματικότητα η δύναμη που αναφερόμαστε εμπεριέχει και τις δυνάμεις που

δημιουργούνται εξαιτίας των κυματισμών και της αντίθετης πορείας που έχει το σκάφος. Αυτός συνεπάγεται ότι η μικρότερη γωνία απόδοσης που εμπειρικά μπορεί να επιτευχθεί, είναι σχετικά μεγάλη σε σχέση με την αναμενόμενη από μία απλή αεροτομή.

Η συνολική αεροδυναμική δύναμη η οποία συμβολίζεται ως F_{TA} προέρχεται προφανώς από τα πανιά. Αναλύεται δε σε δύο συνιστώσες, την παράλληλη ως προς την ταχύτητα του φαινομενικού αέρα, δηλαδή την αεροδυναμική αντίσταση των πανιών F_{AD} , που από τα προηγούμενα γνωρίζουμε πως βρίσκεται στο υποθετικό επίπεδο x-y και την αεροδυναμική άνοση των πανιών που ορίζεται με το σύμβολο F_{AL} που είναι κάθετη στην κατεύθυνση του φαινομένου αέρα και στον άξονα z.

Το κέντρο της αεροδυναμικής πρόωσης CE (Center of Effort) είναι στη θεωρία ή καθ' ύψος απόσταση από το κατάστρωμα και εκεί είναι το σημείο όπου ασκείται η F_{TA} και ως κοινή παραδοχή υπολογίζεται περίπου στο ένα τρίτο του ύψους του καταρτιού. Η γωνία της δύναμης F_{AL} με την δύναμη F_{TA} ορίζεται ως ϵ_a αεροδυναμική γωνία απόδοσης [13].



Εικόνα 11. Υδροδυναμικές δυνάμεις και αεροδυναμικές δυνάμεις στο σκάφος [13]

2.5 Ισορροπία δυνάμεων και ροπών

Η πλευση των ιστιοπλοϊκών σκαφών εξαρτάται άμεσα από τις μεταβολές του ανέμου. Όταν υπάρχει ισορροπία δυνάμεων και ροπών συνεπάγεται πως έχουμε κίνηση

σταθερής ταχύτητας. Υπάρχουν ωστόσο μεταβατικές καταστάσεις που διαφέρουν από την κατάσταση ισορροπίας, όπως η εκκίνηση και σημαντικές αλλαγές κατά την πλεύση όπως οι στροφές και οι απότομες αλλαγές του ανέμου. Αυτές αποτελούν συγκεκριμένες περιπτώσεις με μεγάλη πολυπλοκότητα που δεν θα αναλυθούν στην εργασία αν και έχουν σημαντικό ρόλο στην πλεύση. Αναλύοντας την κατάσταση ισορροπίας μπορούμε να λάβουμε ορθά συμπεράσματα για τη λειτουργικότητα ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους, ενώ οι μεταβατικές καταστάσεις λαμβάνονται υπόψη κυρίως σε εξεζητημένα σχέδια ιστιοπλοϊκών σκαφών, ώστε να μπορεί να υπάρξει ολοκληρωμένη μελέτη.

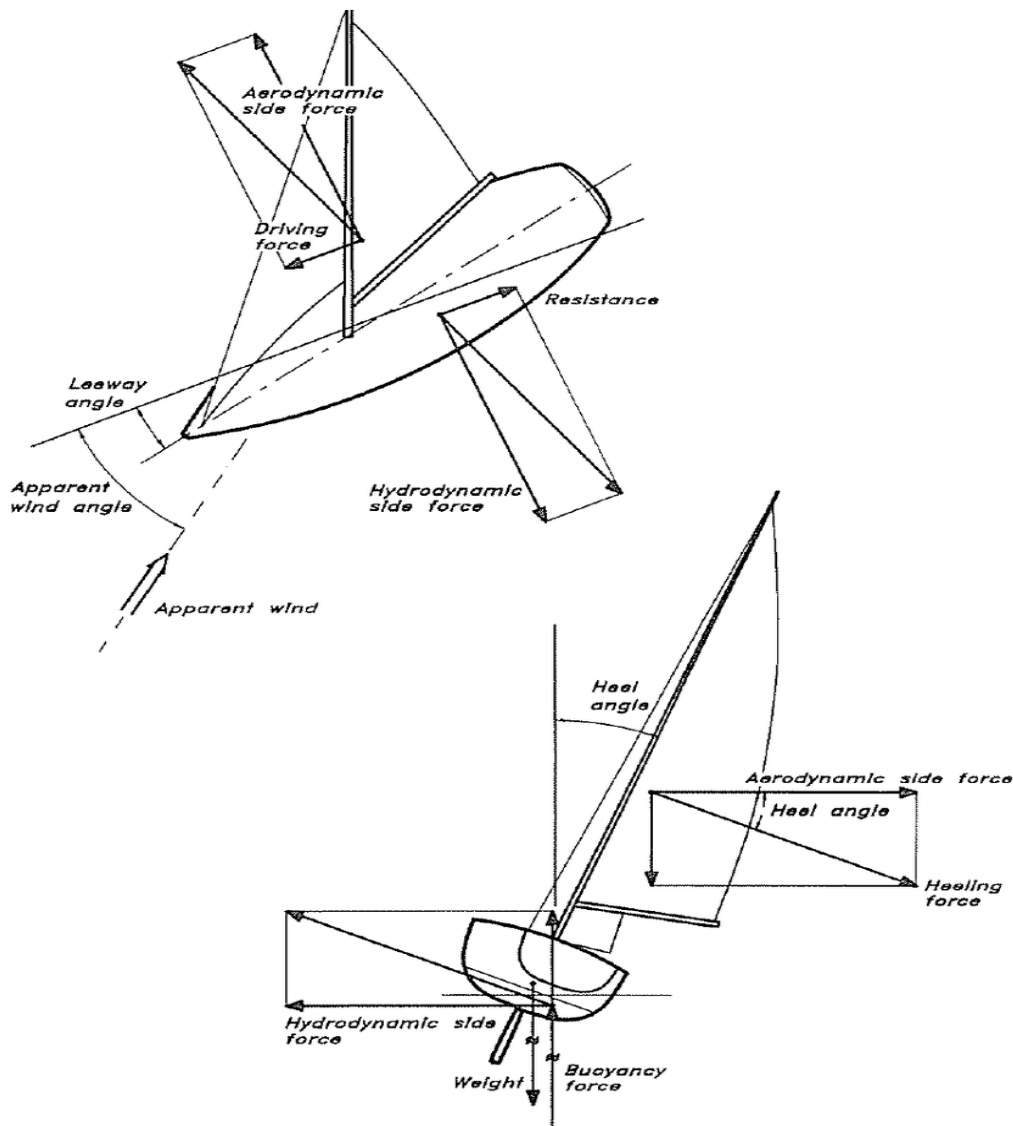
Γενικά η γεωμετρία της πλεύσης έχει άμεση σχέση με την πλεύση σε απλοποιημένη μορφή και η ανάλυση των δυνάμεων γίνεται για τα όρτσα δηλαδή για πλεύση αντίθετα στον άνεμο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι άλλες πλεύσης έχουν μικρές διαφορές από τα συμβατικά προβλήματα πρόωσης και λύνονται με τις παραδοσιακές μεθόδους. Καθώς η όρτσα πλεύση βασίζεται στην αεροδυναμική θεωρία, χρίζει ειδικής προσέγγισης εξαιτίας της πολυπλοκότητάς της.

Οι δυνάμεις στην πλεύση ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους είναι οι παρακάτω:

- Η συνολική αεροδυναμική δύναμη από τα πανιά
- Η συνολική υδροδυναμική δύναμη από την γάστρα
- Η κατανεμημένη δύναμη άνωσης από τη θάλασσα
- Το συνολικό βάρος του ιστιοπλοϊκού και του πληρώματος

Ως το βαθμό που θεωρούμε την ταχύτητα του ιστιοπλοϊκού σταθερή, το άθροισμα όλων αυτών των δυνάμεων και των αντίστοιχων ροπών για οποιοδήποτε τυχαίο σημείο θεωρείται σταθερό [13].

Στην *Εικόνα 12* παρουσιάζονται οι υδροδυναμικές και αεροδυναμικές δυνάμεις στο YZ επίπεδο. Έστω ότι προσπαθούμε να πετύχουμε ισορροπία στο επίπεδο YZ . Σε αυτό το επίπεδο, οι συνιστώσες της αεροδυναμικής και υδροδυναμικής δύναμης είναι ορισμένες και, σύμφωνα με την απλούστευση του γενικού προβλήματος, είναι κάθετες στον άξονα Z . Με δεδομένο επίσης πως το βάρος και η άνωση είναι κατακόρυφες δυνάμεις, για να έχουμε ισορροπία δηλαδή μηδενική συνισταμένη των δυνάμεων, απαιτείται και το άθροισμα των συνιστωσών στον άξονα Y να είναι μηδενικό. Με τις δύο παραπάνω παραδοχές, ισχύει ότι στο επίπεδο YZ η συνιστώσα της υδροδυναμικής δύναμης είναι αντίθετη με την συνιστώσα της αεροδυναμικής δύναμης.



Εικόνα 12. Συνιστώσες υδροδυναμικών και αεροδυναμικών δυνάμεων στο YZ επίπεδο [18]

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί, ότι η παραδοχή της καθετότητας της υδροδυναμικής και αεροδυναμικής δύναμης με τον άξονα Z, έχουν ως αποτέλεσμα το βάρος αυτού και η κατανομημένη δύναμη της άνωσης να είναι διαμέτρου αντίθετες, που καταλήγει στο να μην υπάρχει δυναμική αλλαγή στο βύθισμα του σκάφους.

Όσον αφορά τη συνολική ροπή στον άξονα X, για τη συγκεκριμένη γωνία εγκάρσιας κλίσης, η ροπή επαναφοράς RM (Righting Moment) είναι ίση με τη ροπή από το ζεύγος των παραπάνω δυνάμεων, αγνοώντας την επίδραση της κίνησης του σκάφους στην υδροστατική συμπεριφορά της γάστρας. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο, πως η ροπή επαναφοράς λαμβάνεται υπόψη στην πραγματική κατάσταση του σκάφους, δηλαδή αν υπάρχει κινητό έρμα και συναρτήσει της θέσης του πληρώματος.

Για την ισορροπία ως προς το επίπεδο XY, καθώς το βάρος και η συνισταμένη δύναμη της άνωσης είναι κατακόρυφες, συνεπάγεται πως η συνιστώσα της υδροδυναμικής δύναμης και η αντίστοιχη συνιστώσα της αεροδυναμικής δύναμης είναι οι μόνες δυνάμεις στο επίπεδο αυτό. Για να υπάρχει ισορροπία θα πρέπει οι δυνάμεις αυτές να είναι αντίθετες και επιπλέον για να έχουμε ισορροπία ροπών στον άξονα των Z, να είναι και συγγραμικές. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι δυνάμεις πρέπει να βρίσκονται επάνω στην ευθεία που ενώνει τις προβολές των CLR και CE στο επίπεδο.

Αναλόγως, στο επίπεδο XZ οι συνιστώσες της υδροδυναμικής και αεροδυναμικής δύναμης κατά τον άξονα X πρέπει να είναι αντίθετες. Με βάση τον ισολογισμό στο επίπεδο YZ αυτές συνιστώσες πρέπει να είναι αντίθετες και κατά τον άξονα Z.

Αναφορικά με τις ροπές ως προς τον άξονα Y, η συνολική τιμή (αεροδυναμικές και υδροδυναμικές) αντισταθμίζεται πλήρως από τη δυναμική ροπή διαγωγής βάσει της μετακίνησης του πληρώματος. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στις κλειστές πλευσείς, όπου οι ταχύτητες είναι σχετικά μικρές, δεν έχουμε μεγάλες γωνίες διαγωγής. Από την άλλη όμως στα πρίμα, όταν ο αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος του 0,5 ($Fr > 0,5$) εμφανίζεται το φαινόμενο της υδροολίσθησης ή αλλιώς πλανάρισμα, όπως είναι γνωστό στον κόσμο της ιστιοπλοΐας. Η μεγάλη ωστόσο ροπή της αεροδυναμικής δύναμης πρόωσης, συγκρατεί την πλώρη μέσα στο νερό και τη γωνία διαγωγής σε μεγέθη που παίζουν κοντά στις 2 μοίρες [13].

Για την μελέτη της κίνησης των ιστιοπλοϊκών σκαφών και την περιγραφή των συνθηκών ισορροπίας που αναφέρθηκαν, έχουν διατυπωθεί οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις:

$$\text{Η πλάγια αεροδυναμική συνιστώσα: } SF = F_{AL(Y)} = F_{TH} \cos \theta$$

$$\text{Η κατακόρυφη συνιστώσα: } F_{TH(Z)} = F_{AL(Z)} = F_{TH} \sin \theta$$

$$(CLR_z - CE_z) * F_{TH} = RM$$

$$\text{όπου } (CLR_z - CE_z) = h$$

Σχετικά με την απόδοση της πλευσής, η κατάσταση ισορροπίας περιγράφεται με τη σχέση $\epsilon_a + \epsilon_h = \beta$ όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 11*. Η γωνία ϵ_a αποτελεί το αντικειμενικό μέτρο της απόδοσης των πανιών, αφού αφορά τη σχέση των πλάγιων δυνάμεων με την αντίσταση που δέχονται συνολικά τα πανιά. Η γωνία ϵ_h αποτελεί το

αντικειμενικό μέτρο της απόδοσης της γάστρας και η γωνία β αντιπροσωπεύει τη σχέση της πορείας του σκάφους (ταχύτητα σκάφους) με την κατεύθυνση του φαινομένου αέρα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως η συνολική απόδοση του σκάφους είναι το άθροισμα της υδροδυναμικής απόδοσης της γάστρας και των παρελκόμενων και της αεροδυναμικής απόδοσης της ιστιοφορίας.

Γενικά οι γωνίες αυτές εξαρτώνται άμεσα από την ταχύτητα του ανέμου και αυξάνονται ανάλογα με αυτόν. Ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος που επιτυγχάνει ελάχιστη γωνία β σε μικρές ταχύτητες ανέμου αλλά πολύ μεγάλη ταχύτητα σε κανονικές συνθήκες δεν φέρει το ιδανικό αποτέλεσμα. Για συγκεκριμένες συνθήκες αέρα η βελτιστοποίηση του σκάφους μπορεί να γίνει είτε με κριτήριο την γωνία β , είτε με κριτήριο την ταχύτητα V_{mg} , αφού η ταχύτητα αντίθετα στον άνεμο είναι συνάρτηση μόνο της ταχύτητας του πραγματικού ανέμου και της γωνίας β [13].

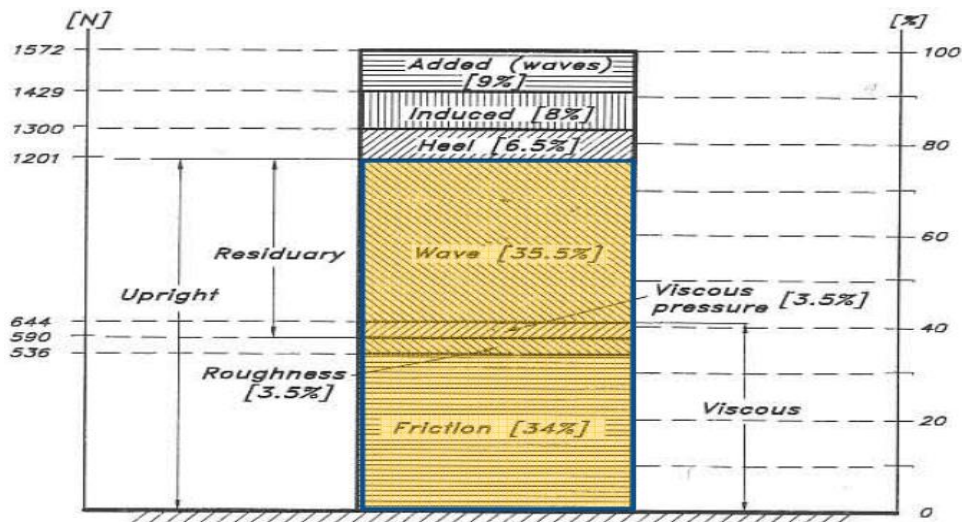
2.6 Αντίσταση σκάφους κατά την πλεύση

Οι δυνάμεις, υδροδυναμικές και αεροδυναμικές, και η ισορροπία που δημιουργείται μεταξύ αυτών δεν είναι οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν την πλεύση ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους.

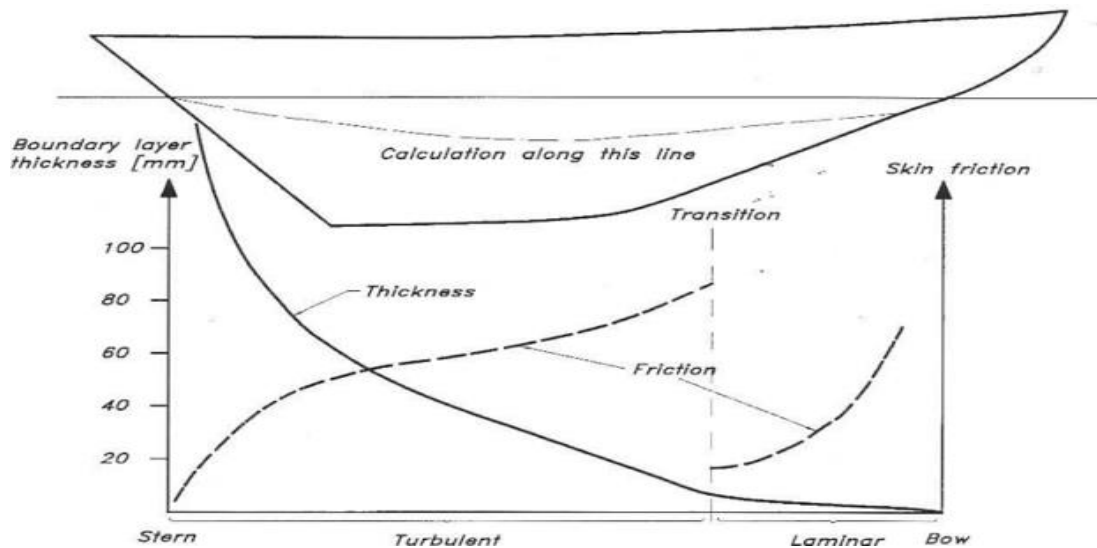
Η αντίσταση κατά την πλεύση ορίζεται ως η συνιστώσα της συνολικής υδροδυναμικής δύναμης η οποία ασκείται από το νερό πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και κατά τη διεύθυνση της κίνησης. Για τη διευκόλυνση του υπολογισμού της διαχωρίζεται σε τρεις συνιστώσες: α) την αντίσταση όρθιας θέσης β) την αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης (heel resistance) και γ) την αντίσταση εξαιτίας των κυματισμών (wave resistance).

Η όρθια θέση αναλύεται περαιτέρω σε δύο συνιστώσες, την αντίσταση λόγω συνεκτικότητας (viscous resistance) και την αντίσταση από τους κυματισμούς. Η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας εξαρτάται από τρία μεγέθη: την τραχύτητα της επιφάνειας, την αντίσταση της τριβής και την αντίσταση εξαιτίας της κατανομής πίεσης.

Στην κεκλιμένη θέση, δύο ακόμα συνιστώσες συμβάλουν στην εύρεση της συνολικής αντίστασης πλεύσης: α) η αντίσταση λόγω της εγκάρσιας κλίσης (heel resistance) και β) η επαγόμενη αντίσταση (induced resistance). Με αυτόν το διαχωρισμό μπορούμε να εκτιμήσουμε και την αντίσταση σε κεκλιμένη θέση.



Εικόνα 13. Τυπική κατανομή των συνιστωσών στην ολική αντίσταση [13]



Εικόνα 14. Αντίσταση λόγω τριβής [13]

Γενικά οι γάστρες κυρίως οι σύγχρονες έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό. Ακόμα και ο υπολογισμός της αντίστασης λόγω τριβής, δεν είναι πάντα κοινότυπος. Για παράδειγμα στα σκάφη με μικρές καρίνες οι γραμμές που ξεκινούν από την πλώρη τους είναι περίπου ευθείες και ένα σημαντικό μέρος της πλώρης μπορεί να βρίσκεται σε στρωτή ροή. Από αυτό συμπεραίνουμε πως για να μειωθεί όσο περισσότερο η αντίσταση εξαιτίας της τριβής, ο σχεδιαστής ενός ιστιοπλοϊκού αναζητά τρόπους σχεδίασης να επεκτείνει αυτές τις γραμμές. Με τη βοήθεια της καμπύλης ITTC 57 μπορεί να γίνει μια αρχική προσέγγιση της αντίστασης τριβής. Εμπειρικά οι Larsson και Eliasson, στο βιβλίο τους “Principles of Yacht Design” (1996), υπολογίζουν τον αριθμό Reynolds με το 70% του μήκους της ισάλου [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Κατηγοριοποίηση ιστιοπλοϊκών σκαφών

3.1 Κατηγοριοποίηση ιστιοπλοϊκών σκαφών

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι σκαφών που φέρουν ιστίο οι οποίοι διακρίνονται κυρίως με βάση: α) τον τύπο της γάστρας, β) τον τύπο της γάστρας, γ) τον αριθμό των καταρτιών και δ) τον τύπο των πανιών και των ξαρτιών [19]. Με βάση τον τύπο της γάστρας, του σώματος δηλαδή του σκάφους, υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες: τα μονόγαστρα, τα καταμαράν και αυτά με παραπάνω από δύο γάστρες όπως π.χ. τα τριμαράν. Επόμενη κατηγοριοποίηση είναι με βάση το κοίλο του σκάφους ή αλλιώς της γάστρας και οι διαφορετικές μορφές αυτής. Τέλος διακρίνονται κατηγορίες βάσει του αριθμού των καταρτιών, όπως επίσης και βάσει του τύπου των πανιών και του τρόπου που γίνεται η αρμάτωση ή αλλιώς 'rigging' [19].

3.1.1. Ιστιοφόρα σκάφη μονής γάστρας

Με ένα ιστίο

DINGHY: Είναι το πιο απλό και πιο μικρό ιστιοφόρο σκάφος που υπάρχει με ένα κατάρτι και ένα μόνο τριγωνικό πανί. Αποτελεί τον καλύτερο τρόπο για να μάθει κάποιος τον άνεμο και την αντίδραση που έχει σε αυτόν το πανί. Ονομάζονται και laser-boats, στα οποία γίνονται και οι αγώνες ιστιοπλοΐας ενός ατόμου, που αποτελούν Ολυμπιακό Άθλημα [19].



Εικόνα 15. Dinghy Sailing Race [20]

BERMUDA SLOOP: Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται τα περισσότερα ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής και έχουν την πιο συνηθισμένη μορφή στα ιστιοπλοϊκά.

Είναι εύκολο να τα διακρίνεις καθώς έχουν ένα πανί περίπου στη μέση και μπροστά έχουν την μάτσα. Συνήθως το μέγεθός τους ξεκινάει από τα 7 m και φτάνει έως τα 20 m. Το κυριότερο πλεονέκτημα που έχει αυτή η κατηγορία είναι πως είναι εύκολα διαχειρίσιμα σε ελιγμούς και γρήγορες μανούβρες σχεδόν σε όλες τις καιρικές συνθήκες [19].



Εικόνα 16. Bermuda Sloop Marae 33m [21]



Εικόνα 17. Antigua Bermuda Sloop [22]

CATS: Τα cats ιστιοφόρα αναφέρονται στην γάστρα του σκάφους, η οποία είναι μικρή και έχουν μόνο ένα πανί. Μπορούν να φέρουν μεγάλο ή και μικρό πανί ανάλογα το μέγεθος της γάστρας αλλά δεν ξεπερνάνε τα 10 μέτρα. Το πιο χαρακτηριστικό είναι πως έχουν μόνο ένα πανί, το κυρίως, χωρίς άλλη όρθια αρματωσιά [19].



Εικόνα 18. Cat sailboat Inland [23]



Εικόνα 19. The Marsh Cat [23]

CUTTER: Μοιάζουν αρκετά με την προηγούμενη κατηγορία αφού κι αυτά έχουν μόνο ένα κατάρτι, όμως στη συγκεκριμένη περίπτωση φέρουν τρία και κάποιες φορές παραπάνω πανιά. Επειδή έχουν παραπάνω πανιά, έχουν μεγαλύτερη περιοχή επαφής με τον αέρα, κάτι που τα καθιστά πιο γρήγορα, αλλά δυσκολεύει την πλεύση τους από ένα μόνο άτομο. Υπάρχουν φορές που μπορεί να έχουν και δεύτερο κατάρτι αλλά αυτό συνήθως εμφανίζεται κυρίως σε παλιά ιστιοπλοϊκά [19].



Εικόνα 20. Cutter Alakazam Under Sail [24]



Εικόνα 21. Cutter Zephyr [25]

Με δύο ή παραπάνω ιστία

GAFFERS: Έχουν πάρει το όνομά τους από τον τρόπο που είναι αρματωμένα τα πανιά στο κατάρτι. Ένα ορθογώνιο πανί στηρίζεται πάνω στο κεντρικό κατάρτι με ένα κατακόρυφο κοντάρι. Για να σηκωθεί το πανί πρέπει να σηκωθεί το πάνω μέρος μέσα από ξεχωριστό σχοινί για το ιστίο. Εξαιτίας του πανιού η πλεύση τους αντίθετα στον άνεμο είναι δυσκολότερα διαχειρίσιμη [19].



Εικόνα 22. Gaffer Sailboat [26]

SCHOONERS: Ήταν η πιο γνωστή κατηγορία πριν εδραιωθούν τα sloops σκάφη και αυτό επειδή ήταν πολύ εύκολα στην πλεύση και ιδανικά για cruising. Σε όλες τις κατηγορίες είναι πιο αποδοτικά εκτός από την πλεύση σε αντίθετο άνεμο. Είναι εύκολο να τα ξεχωρίσεις καθώς έχουν δύο κατάρτια με ένα μικρότερο μπροστά και ένα μεγαλύτερο πανί πίσω, παραλληλόγραμμου σχήματος, και τη μάτσα μπροστά [19].



Εικόνα 23. Columbia Schooner sailboat [27]



Εικόνα 24. Schooner sailboat 32 μέτρων [28]

KETCH: Τα ketch rigged boats είναι αντίστοιχα των schooners. Η διαφορά τους είναι πως αν και φέρουν δύο κατάρτια, το μικρό κατάρτι είναι πίσω ενώ το μεγάλο μπροστά. Επειδή το πίσω πανί δίνει τη μεγαλύτερη ώθηση στη γάστρα και είναι μικρότερο, ο έλεγχος του σκάφους είναι πιο εύκολος ενώ αποφέρει λιγότερη βύθιση στην πρύμνη του [19].



Εικόνα 25. Ketch Sailboat [29]



Εικόνα 26. Ketch Sailboat at Palm Beach [30]

YAWL: Αποτελεί άλλο ένα είδος ιστιοφόρου σκάφους με δύο κατάρτια. Εδώ το μεσαίο κατάρτι λειτουργεί ως κύριο και το μικρότερο πίσω ως βοηθητικό το οποίο ονομάζεται mizzenmast και είναι αρκετά ιδιαίτερη η τοποθέτηση του στο πίσω μέρος του σκάφους. Πλέον θεωρούνται σκάφη αντίκες και είναι πιθανότερο να τα πετύχει κάποιος σε λίμνες και κόλπους [19].



Εικόνα 27. Yawl [31]

DUTCH BARGE: Είναι από τα πιο παραδοσιακά γοθικά σκάφη που πλέον εμφανίζονται σε ταινίες εποχής και αποτελούν αξιοθέατα. Ήταν εμπορικά πλοία με σκοπό κυρίως το εγχώριο εμπόριο. Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων σκαφών είναι το γεγονός πως δεξιά και αριστερά της ξύλινης γάστρας έχουν από μια leeboard, μια

σανίδα σε σχήμα φτερού η οποία έπεφτε στο νερό για να ευσταθεί το σκάφος και να μειωθεί το drift στην υπήνεμη πλευρά του [19].



Εικόνα 28. Dutch Barge at Westfriesland (Netherlands) [32]

CLIPPER: Είναι ένα από τα τελευταία ιστιοπλοϊκά πριν πάρουν την κυριαρχία τα πλοία με ατμομηχανές. Είχαν τρία κατάρτια και μεγάλο χώρο αποθήκευσης και για αυτό χρησιμοποιούνταν για μεταφορές εμπορευμάτων. Παρά το μέγεθος τους, η ιδιομορφία τους επέτρεπε να έχουν μεγάλες ταχύτητες ώστε να μπορούν να συναγωνιστούν τα ατμόπλοια. Είχαν εδραιωθεί ως το κατάλληλο μέσο για εμπόριο αγαθών της εποχής, όπως τα μπαχαρικά και το τσάι [19].



Εικόνα 29. Clipper Sailboat at Manhattan, New York [33]



Εικόνα 30. Tyler Bowman Clipper [34]

CHINESE JUNK: Τα Chinese Junk θεωρούνται από τα παλαιότερα σκάφη που πλέουν και έχουν διατηρηθεί μέχρι και σήμερα. Ήταν σκάφη που έπλεαν το 500 μ.Χ. κυρίως στις θάλασσες της Ινδίας και της Ινδονησίας. Χαρακτηριστικό τους είναι τα ίσια πανιά που με τη βοήθεια κάποιων battens (ίσια σίδερα κατά πλάτος) τα διατηρούσαν σταθερά και πάντα τεντωμένα πάνω στα δύο κατάρτια. Είναι από τις περιπτώσεις που τα πανιά είναι πάρα πολύ ίσια και τα κάνει αποδοτικότερα σε πρίμα πλεύση. Αυτού του τύπου όμως τα ιστιοπλοϊκά, εξαιτίας της ιδιαιτερότητάς τους, δεν μπορούν να πλεύσουν το ίδιο καλά με όρτσα καιρό [19].



Εικόνα 31. 80s Chinese Junk [35]



Εικόνα 32. Chinese Junk newer design [36]

BRIG: Ήταν μικρά πολεμικά ιστιοφόρα πολεμικά πλοία που έπλεαν την εποχή του 19^{ου} αιώνα. Σε πολέμους όπως η αμερικανική επανάσταση και διαμάχες με το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελούσαν τον κύριο στόλο, αφού ήταν εύκολα στο μανουβράρισμα και γρήγορα. Επιπλέον, ήταν εξοπλισμένα με έναν αριθμό από 10 μέχρι 18 κανόνια δεξιά και αριστερά του σκάφους [19].



Εικόνα 33. Brig Danish [37]



Εικόνα 34. US "Niagara" Brig in Bay Ohio [38]

SQUARE-RIGGED TALL SHIP: Είναι ένα από τα πιο μεγάλα ιστιοφόρα πλοία τα οποία φέρουν από 3 κατάρτια και πάνω με πολλά τετραγωνισμένα πανιά στο καθένα. Συνήθως ήταν κατασκευασμένα από ξύλο αλλά τα πιο σύγχρονα κατασκευάζονταν από ατσάλι. Είναι εύκολο να τα ξεχωρίσει κάποιος, αφού μοιάζουν με τα πειρατικά καράβια που εμφανίζονται σε ταινίες, ωστόσο είναι γνωστό πως τα πειρατικά καράβια δεν ήταν ποτέ ψηλά με πολλά κατάρτια αλλά μικρότερα για να μανουβράρονται εύκολα. Επειδή όμως εμφανίστηκαν την ίδια χρονική περίοδο έμειναν στην υπόληψη τα ψηλά σκάφη ως πειρατικά [19].



Εικόνα 35. Square-rigged Tall ship [37]

TRABACCOLO: Ήταν εμπορικό πλοίο που έπλεε στην Αδριατική θάλασσα και ακόμα πιο διαδεδομένο στα κανάλια της Βενετίας. Για αυτό και το όνομά του προκύπτει από την ιταλική λέξη “trabacca”, η οποία σημαίνει τέντα και αναφέρεται στα πανιά. Από όσο είναι γνωστό μόνο ένα έχει απομείνει αυτού του είδους [19].



Εικόνα 36. Trabaccolo [39]

3.1.2. Ιστιοφόρα σκάφη με δύο ή τρεις γάστρες

SAILING HYDROFOIL: Το ιστιοπλοϊκό υδροπτέρυγο είναι ένα αρκετά σύγχρονο ιστιοφόρο σκάφος. Χρησιμοποιείται ως αγωνιστικό ιστιοπλοϊκό με λεπτά υδροδυναμικά πτερύγια κάτω από την γάστρα του, και κάποιες φορές δεξιά και αριστερά από αυτήν. Τα πτερύγια του επιτρέπουν να πλανάει, δηλαδή να βρίσκεται εκτός του νερού, και το εκτόπισμα του σκάφους αγγίζει το μηδέν. Τα υδροπτέρυγα δημιουργούν downforce, δηλαδή τη συνισταμένη δύναμη αντίστασης και βαρύτητας και με αυτό τον τρόπο δεν βγαίνουν εκτός νερού και το σκάφος δεν ‘απογειώνεται’. Το ιστιοπλοϊκό υδροπτέρυγο μπορεί να αποτελείται από μία, δύο ή και τρεις καρίνες με πιο συχνή μορφή να είναι αυτή των δύο [19].



Εικόνα 37. Μονής γάστρας Hydrofoil [40]



Εικόνα 38. Δύο αγωνιστικά Hydrofoils δύο καρινών [41]

CATAMARAN: Κάθε πλοίο που έχει δύο γάστρες μπορεί να χαρακτηριστεί ως καταμαράν. Έχουν μικρότερο κοίλο και εξαιτίας των δύο καρινών είναι πιο σταθερά με δυνατότητα να επιπλέουν καλύτερα. Μπορούν να πλεύσουν με μεγαλύτερη ταχύτητα εξαιτίας του μικρού εκτοπίσματος [42]. Το βύθισμα τους είναι αρκετά μικρό, γι' αυτό είναι συχνό να τα πετύχεις στην περιοχή της Καραϊβικής όπου τα νερά είναι πολύ ρηγά. Συγκριτικά με τα Bermuda's έχουν φαινομενικά μεγαλύτερη αντίσταση σε κλίση και ανατροπή, για παράδειγμα ένα καταμαράν αναψυχής 15 m απαιτεί τέσσερις φορές τη δύναμη για να ανατραπεί, συγκριτικά με ένα αντίστοιχο μονοκάρινο [19].



Εικόνα 39. Catamaran 17 μέτρων [43]



Εικόνα 40. Catamaran ενοικίασης στα νερά του Αιγαίου [44]

TRIMARAN: Τα τριμαράν είναι πλοία που έχουν τρεις γάστρες. Σ' αυτή την περίπτωση όμως ένα τριμαράν μοιάζει περισσότερο σε ένα ιστιοπλοϊκό μίας γάστρας, όπου δεξιά και αριστερά έχει δύο μικρότερα πλωτά. Εκτός από το πλεονέκτημα της πλεύσης, τα τριμαράν μπορούν να ρυμουλκηθούν με τη βοήθεια βαρούλκου στις επιπλέον γάστρες. Χρησιμεύει ειδικά σε μεγάλα ταξίδια και για το δέσιμο σε γεμάτα και στενά λιμάνια, ενώ χαρακτηρίζεται από τον επιπλέον χώρο για αποθήκευση, χάνοντας όμως ταυτόχρονα χώρο ενδιαίτησης [19].



Εικόνα 41. Trimaran Sailboat [45]



Εικόνα 42. Trimaran 18 μέτρων ανοιχτά της Μεσογείου [46]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλικά Κατασκευής

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τα υλικά κατασκευής ενός πλαστικού σκάφους που όπως αναφέρθηκε στο *1^ο Κεφάλαιο* είναι το πιο διαδεδομένο είδος ιστιοφόρου σκάφους. Θα γίνει μια θεωρητική αναφορά στα πολυμερή και τα σύνθετα υλικά και στην συνέχεια μια ανάλυση της πολυεστερικής ρητίνης ως μήτρα των σύνθετων υλικών *FRP (Fiber Reinforced Plastic)* και *GRP (Glass Reinforced Plastic)*.

4.2 Πολυμερή και πολυμερισμός ρητίνης

Η σειριακή σύνδεση, πολλαπλών απλών μορίων, συντελεί στη σύνθεση μακρομορίων μεγάλης σχετικής μοριακής μάζας (*Mr*). 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 [47].

Πολυμερισμός ονομάζεται η διαδικασία δημιουργίας του πολυμερούς. Η δημιουργία του πολυμερούς και πιο συγκεκριμένα της ρητίνης περιγράφει την αλλαγή φάσης αυτού από υγρό σε στερεό, όπου από εκεί και πέρα δεν μπορεί να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση [48].

4.3 Σύνθετα υλικά

Ονομάζονται τα υλικά τεχνητής παρασκευής που αποτελούνται από παραπάνω της μίας φάσης, 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 [49].

4.4 Πολυεστερική ρητίνη και πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Η πολυεστερική ρητίνη ανήκει στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και αποτελεί ένα ημιδιαυγές, κολλώδες ρευστό υψηλού ιξώδους, με ειδικό βάρος 1,1 – 1,2 (tn/m³) και χαρακτηριστική οσμή στυρενίου. Ανήκει στη μήτρα ή αλλιώς, συνεχή φάση των σύνθετων υλικών και υλοποιεί τη σύνδεση μεταξύ των ινών των διαφόρων ενισχυτικών. Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, το συναντάμε σε διάφορες κατασκευές ειδικά σε μέσα μεταφοράς, με το εύρος του να κυμαίνεται από μικρή κλίμακα (φωριαμοί, χώροι ενδιαίτησης κλπ.) έως και ολόκληρους κατασκευαστικούς τομείς (γάστρες, υδροπτέρυγες κλπ.) [49].

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα στην γενική τους μορφή, χωρίς δηλαδή να λάβουμε υπόψη παράγοντες όπως η χρήση, η εφαρμογή, η επεξεργασία, το είδος του σύνθετου υλικού, την πολυεστερική ρητίνη, είναι τα παρακάτω:

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

Από την άλλη μερικά από τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής
- Ιδιαίτερα εύφλεκτο υλικό
- Ιδιαίτερα τοξικό υλικό κατά διαδικασία πολυμερισμού του
- Συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης

4.5 Υαλοϋφάσματα (Glass Fiber)

Τα επονομαζόμενα *Glass fiber* (όπως είναι η εμπορική του ονομασία) και όχι fiberglass όπως έχουμε συνηθίσει να το αναφέρουμε, δημιουργούνται από ίνες γυαλιού. Αυτές οι ίνες μπλέκονται μεταξύ τους σε διάφορα σημαντικά μοτίβα, από που προκύπτουν και οι μηχανικές τους ιδιότητες. Η κύρια χρήση τους είναι να λειτουργούν ως ενισχυτικό

μέσω σε σύνθετα υλικά με μήτρα, όπως στην περίπτωση μας είναι οι πολυεστερικές ρητίνες [47].



Εικόνα 43. Διαφορετικά είδη υαλοϋφασμάτων [50]

Ο συνδυασμός των υαλοϋφασμάτων Με τις πολυεστερικές ρητίνες αναφέρεται συχνά ως *GRP (Glass Reinforced Plastic)* και προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με το βάρος τους
- Μεγάλη ευκαμψία
- Χαμηλό κόστος
- Μεγάλη αντοχή στην θερμότητα και στην επαφή με ηλεκτρικά φορτία

Μερικά από τα συνηθέστερα ήδη ινών γυαλιού είναι [47,51]:

- *E-glass* (electrical glass): το μεγαλύτερο μέρος εμπορικών υαλοϋφασμάτων και κατασκευών *GPR* χρησιμοποιεί αυτόν τον τύπο *glass fiber* όπου αποτελείται από γυαλί βορίου – πυριτίου και δίνει υψηλές διηλεκτρικές ιδιότητες και χαμηλό κόστος κατασκευής.
- *A-glass* (window glass): χρησιμοποιείται ως υλικό κατασκευής παραθύρων
- *C-glass* (corrosion resistant): ανθεκτικό στη διάβρωση
- *S-glass* {*R-glass* in EU} (structural or high-strength glass): υψηλής αντοχής και επιδόσεων. Έχει 20% έως 40% μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό, κρούση και κάμψη. Υπάρχουν δύο τύποι: ο *S-1* όπου είναι υπερβολικά ακριβώς και καλύπτει κριτήρια για αεροδιαστημικές κατασκευές και ο *S-2* ο οποίος χρησιμοποιείται στην ναυπηγική βιομηχανία.

- *Mat*: αποτελούνται από *E-glass*, τυχαίες ίνες γυαλιού δύο έως τριών ιντσών, που συγκρατούνται στη θέση τους από ένα συνδετικό διαλυτό στη ρητίνη. Θεωρούνται από τα βασικότερα είδη ενίσχυσης εξαιτίας της ευκολίας μορφοποίησής τους όταν δεν ποτιστούν με ρητίνη.

\

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συντήρηση και επισκευή

5.1 Εισαγωγή

Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη έχουν ένα σημαντικό κόστος συντήρησης και επισκευής. Για τα ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής, τα οποία συνήθως έχουν ζήτηση από τον Μάρτιο έως και τον Οκτώβρη, το drydocking (συντήρηση-δεξαμενισμός) επιβάλλεται να γίνει τους υπόλοιπους μήνες, δηλαδή κατά τη χαμηλή περίοδο ναύλωσης. Για τα ιστιοπλοϊκά επαγγελματικής χρήσης, το απαραίτητο drydocking πρέπει να γίνεται κάθε δύο χρόνια, καθώς σε αυτό το διάστημα ανανεώνεται και η άδεια πλεύσης από τις αρμόδιες αρχές, που απαιτεί να πληρούνται όλα τα απαραίτητα μέτρα και να υπάρχουν οι κατάλληλοι εξοπλισμοί κυρίως για θέματα ασφαλείας και έκτακτης ανάγκης. Για τα σκάφη ιδιωτική χρήση, ο πλοιοκτήτης μπορεί να συντηρεί το σκάφος κάθε τέσσερα χρόνια. Εννοείται πως αν χρειάζονται επιπλέον εργασίες συντήρησης, το σκάφος μπορεί να βγει από το νερό και σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

Το κόστος συντήρησης ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες [52] με πιο σημαντικούς τους παρακάτω:

- Το μήκος του
- Τα υλικά κατασκευής
- Την πρότερη συντήρησή του
- Την ηλικία του σκάφους
- Την ποιότητα του εξοπλισμού και του εξαρτισμού
- Τη χρήση που γίνεται στο σκάφος (αναψυχής ολιγοήμερης ή πολυήμερης, αγώνες, ναύλωση, κρουαζιέρα)
- Το ποιος κάνει τις εργασίες συντήρησης
- Το επιθυμητό επίπεδο ετοιμότητας για την αντίστοιχη χρήση

Επιπλέον του κόστους συντήρησης υπάρχουν και τέλη ή πάγια έξοδα που έχουν όλα τα σκάφη ανεξαρτήτως άδειας και σκοπού, όπως τα ασφάλιστρα, το κόστος των επιθεωρήσεων και τα τέλη ελλιμενισμού.

Οι περισσότερες από τις εργασίες συντήρησης που περιγράφονται στη συνέχεια μπορούν να γίνουν είτε από ειδικό συνεργείο είτε και από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη – πλοιοκτήτη [53].

5.2 Εξωτερική συντήρηση

Η εξωτερική συντήρηση του σκάφους ξεκινάει από τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθεί ο γερανός να βγει από το νερό. Μία συχνή επιλογή καθαρισμού είναι η νεροβολή, η οποία διώχνει αρκετά τις ακαθαρσίες, τη στρειδόνα και την αλμύρα από το θαλασσινό νερό. Ωστόσο, υπάρχει ένα ποσοστό ιδιοκτητών το οποίο δεν προβαίνει σε αυτές τις ενέργειες, είτε εξαιτίας κόστους είτε εξαιτίας χρόνου, και σε αυτή την περίπτωση αφαιρεί τις ακαθαρσίες με σπάτουλα. Αν όμως κάποιος αποφασίσει να ακολουθήσει τη διαδικασία της νεροβολής, ο καθαρισμός γίνεται πιο εύκολος, καθώς με τη νεροβολή φεύγουν οι πολλές ακαθαρσίες του σκάφους και έπειτα με μία σπάτουλα μπορούν να αφαιρεθούν τα μικρότερα και πιο δύσκολα κομμάτια [53].



Εικόνα 44. Διαδικασία νεροβολής σε καρνάγιο [54]



Εικόνα 45. Διαδικασία συντήρησης στο 'Ναυπηγείο Μπασιμακόπουλου' [55]

Όποια από τις δύο περιπτώσεις επιλεγθεί, το σκάφος μετά από τον καθαρισμό πρέπει να μείνει τουλάχιστον 10 με 12 μέρες έξω από τη θάλασσα για να στεγνώσει και να αποφευχθεί η ώσμωση. Εάν δε στεγνώσει καλά το σκάφος, η ώσμωση μπορεί να εγκλωβιστεί κάτω από την καινούρια βαφή και να δημιουργήσει ρωγμές στην γάστρα.

5.3 Συντήρηση στο καρνάγιο

Στο καρνάγιο γίνεται ο λεπτομερής έλεγχος του σκάφους (γάστρα, καρίνα, κατάστρωμα, εξοπλισμός και συστήματα). Αρχικά αφού έχει τριφτεί το σκάφος εξετάζεται αν έχει κάποια ζημιά ή ρωγμή. Εάν υπάρχει κάπου ρήγμα στην γάστρα του σκάφους χρησιμοποιείται, για τα πολυεστερικά σκάφη, ένα υλικό που ονομάζεται gelcode, το οποίο εισχωρεί στις αυλακώσεις και καλύπτει τα κενά όσο είναι εφικτό και το ρήγμα είναι μικρό.



Εικόνα 46. Το καρνάγιο της μαρίνας 'Αλίμου' με ιστιοπλοϊκά και καταμαράν [56]



Εικόνα 47. Παραδοσιακό καρνάγιο με παλιά καϊκια στην Ερμούπολη Σύρου (ναυπηγεία Ταρσανάς) [57]

Μετά τον καθαρισμό, το τρίψιμο, τον έλεγχο ρωγμών και όταν έχουν περάσει οι δέκα μέρες που χρειάζονται για να στεγνώσει το σκάφος, πραγματοποιείται η σημαντικότερη εργασία συντήρησης, το βάνιμο του σκάφους. Πρώτα στρώνεται αστάρι δύο φορές, στεγνώνει, και στη συνέχεια πάνω από το αστάρι στρώνεται η μουράβια. Η μουράβια είναι η βαφή η οποία αναμειγνύεται με ένα ειδικό υλικό και αποτρέπει τη στρειδόνα.

Το αστάρωμα και το πέραςμα με μουράβια πραγματοποιείται μέχρι την Waterline του σκάφους. Το τμήμα που βρίσκεται πάνω από την Waterline, δηλαδή εκτός νερού, που είναι ουσιαστικά και το χρώμα του σκάφους, επεξεργάζεται προφανώς στο καρνάγιο αλλά μπορεί να γίνει και μέσα στη θάλασσα με μία βάρκα γύρω γύρω. Αυτό το τμήμα περνιέται με αλοιφαδώρο, δηλαδή με ένα μηχάνημα το οποίο με το υλικό που έχει γυαλίζει την επιφάνεια του σκάφους, έπειτα στρώνεται με εποξιακό οξύ και τέλος πραγματοποιείται τρίψιμο και καθάρισμα.

Στην *Εικόνα 48* απεικονίζονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις συντήρησης σε σκάφος του Ιστιοπλοϊκού Ομίλου Πατρών (ΙΟΠ). Στην περίπτωση 3,4,5 η μουράβια έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και μετά από ένα χρόνο που το σκάφος βγήκε ξανά στο καρνάγιο η γάστρα του μοιάζει να μην έχει αλλοιωθεί και να μην έχει ακαθαρσίες στην επιφάνεια της. Στην περίπτωση 1,2 μετά από διάστημα πάλι ενός χρόνου, η μουράβια δεν απέδωσε το αναμενόμενο αποτέλεσμα και οι ακαθαρσίες είναι φανερά περισσότερες. Αυτό μπορεί να συνέβη είτε εξαιτίας κακής τοποθέτησης των υλικών

συντήρησης και των βαφών (αστάρι, μουράβια) είτε γιατί το υλικό δεν ήταν της ίδιας ποιότητας με της πρώτης περίπτωσης.



Εικόνα 48. Διαδικασία περάσματος με αστάρι και μουράβια [58]

Εποξιακό οξύ μπορεί να περαστεί και πάνω στο κατάστρωμα όχι όμως στα τμήματα που είναι ξύλινα αλλά μόνο στο πολυεστέρα. Τα ξύλινα κομμάτια του καταστρώματος χρειάζονται τριψίματα και αφού το ξύλο γίνει λείο χρησιμοποιείται tick oil που είναι αντίστοιχο με το λούστρο και επιπλέον είναι ανθεκτικό στο θαλασσινό νερό και ειδικό για τέτοιες περιπτώσεις. Στη συνέχεια γίνεται ο καθαρισμός των βιτζιρέλων με το προϊόν WD40 το οποίο είναι ένα σπρέι πολλαπλών χρήσεων για καθαρισμό, λίπανση, κ.α. Κατά τη συντήρηση του καταστρώματος ενδείκνυται πάντα προληπτικά να γίνεται έλεγχος στα ράουλα του σκάφους μήπως χρειάζονται αλλαγή.



Εικόνα 49. Εφοδιασμός βιτζιρέλων, φρένων, ράουλα, σχοινιά [59]

5.4 Συντήρηση επιμέρους συστημάτων

Από τη στιγμή που το σκάφος συντηρείται στο καρνάγιο σημαντική εργασία είναι να ελεγχθούν οι βάνες. Με τον όρο βάνες εννοούμε όλες τις απολήξεις των υδραυλικών είτε είναι του νιπτήρα της τουαλέτας, είτε των νερών της κουζίνας, είτε άλλων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Για κάθε απόληξη υπάρχει ανεπίστροφη βαλβίδα και ένα εξάρτημα το οποίο λειτουργεί σαν επιστόμιο για να εμποδίζει το νερό να εισέρχεται στο σύστημα και το οποίο θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά. Αν δε απαιτείται αντικατάσταση, καλύπτονται τα κενά με σιλικόνη και μονώνονται οι σωληνώσεις πάντα με τη βοήθεια δύο ατόμων, ο ένας να είναι από μέσα και ο άλλος από την έξω μεριά.

Επίσης σημαντικές εργασίες συντήρησης είναι αυτές που αφορούν τα υδραυλικά συστήματα. Για παράδειγμα, στις τουαλέτες θα πρέπει να ελεγχθούν και να επισκευαστούν οι σωλήνες της αποχέτευσης, όπως αντίστοιχα και ο νεροχύτης που έχει το κάθε κουζινακι. Επιπλέον πρέπει να ελεγχθεί η τρόμπα που έχει το καζανάκι (υδραυλική ή όχι) όπως και η αντλία που τραβάει τα νερά στο μπάνιο. Ωστόσο οι αντλίες από τα μπάνια έχουν διαφορετική απόληξη από τις αντλίες της σεντίνας, η οποία ουσιαστικά λειτουργεί σαν αποχέτευση και μαζεύει όλα τα λήμματα του σκάφους.

Επόμενες εργασίες είναι η συντήρηση της προπέλας του bowthruster, ο έλεγχος του μοτέρ της μηχανής, του πηδαλίου και της μπούσας. Το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι ένα λάστιχο το οποίο αποτρέπει τη ροή του νερού στον άξονα της προπέλας και επειδή είναι πλαστικό συχνά υπερθερμαίνεται και καίγεται με τη χρήση.

Έλεγχος απαιτείται και για τις μπαταρίες του σκάφους μέσω των κατάλληλων μετρήσεων απόδοσης. Είναι πιθανό να υπάρχουν πολλές μπαταρίες στο σκάφος, όπως μία για τη μηχανή, μία ή δύο για σέρβις (φώτα, νερά, αντλίες), μία ανεξάρτητη για τα μοτέρ του bowthruster, μια για το VHF και κάποιες ακόμα που λειτουργούν ως εφεδρικές ή ως γεννήτριες.

5.5 Πανιά, σκοινιά και ξάρτια

Αναφορικά με τη συντήρηση των πανιών δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία τρόπου φύλαξης. Ο ιδανικότερος τρόπος είναι κάθε φορά που το σκάφος βγαίνει εκτός

θάλασσας στο καρνάγιο, να μαζεύονται τα κατάρτια, να πλένονται με νερό για να φύγει η αλμύρα, και να αποθηκεύονται σε στεγνό χώρο. Πολλοί ιδιοκτήτες προτιμούν να τα πλένουν πάνω στο κατάρτι και να τα αφήνουν εκεί καθ' όλη τη ζωή του σκάφους, έτσι όμως τα πανιά ταλαιπωρούνται από τις καιρικές συνθήκες και επιβαρύνεται ο χρόνος ζωής τους. Γενικά η προσοχή που δίνεται από τον καθένα ιδιοκτήτη είναι σχετική, δηλαδή κάποιοι τα αλλάζουν στα τέσσερα με πέντε χρόνια, ενώ άλλοι τα χρησιμοποιούν οκτώ χρόνια ίσως και περισσότερο. Αυτό εξαρτάται κυρίως από τη χρήση τους αφού υπάρχουν περιπτώσεις που κάθε δύο χρόνια μπορεί να απαιτείται αλλαγή ή ακόμα πιο άμεσα σε περίπτωση που σκίζονται.

Τα σκοινιά συντηρούνται με μια παρόμοια διαδικασία όπως τα πανιά. Εκτιμάται ότι ο χρόνος ζωής των σκοινιών είναι περίπου πέντε χρόνια, αλλά όπως και στην περίπτωση των πανιών, εξαρτάται κυρίως από τη χρήση και τη συντήρησή τους. Κάποιοι ιδιοκτήτες, κάθε χειμώνα που το σκάφος είναι έξω στο καρνάγιο, τα βγάζουν και τα πλένουν για να φύγει το θαλασσινό νερό από πάνω, τα αποθηκεύουν και έτσι μπορεί να έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής.



Εικόνα 50. Αρματωσιές στο κυρίως κατάρτι [60]

Όσον αφορά τα ξάρτια, *Εικόνα 50-51*, ανά δύο με τρία χρόνια που το σκάφος βγαίνει για συντήρηση πρέπει εξειδικευμένος συντηρητής να ανέβει στο κατάρτι. Ο αλμπουράς επιβλέπει τα ξάρτια και ότι άλλο καταλήγει στην κορυφή του καταρτιού, ελέγχει σε τί κατάσταση είναι τα δεσίματα, και καθώς ανεβαίνει ελέγχει εάν τα τυλιγμένα και μαζεμένα σύρματα έχουν κοπεί κάπου ή είναι έτοιμα να κοπούν. Πολύ σημαντικές εργασίες είναι επίσης η αντικατάσταση ή επισκευή των ηλεκτρολογικών συσκευών καθώς στην κορυφή του άλμπουρου καταλήγει η κεραία του VHF, ο φανός επιστίου

και κεραίες όπως αυτή του ραδιοφώνου, σήματος τηλεόρασης, και ό,τι άλλο μπορεί να έχει ένα ιστιοφόρο.



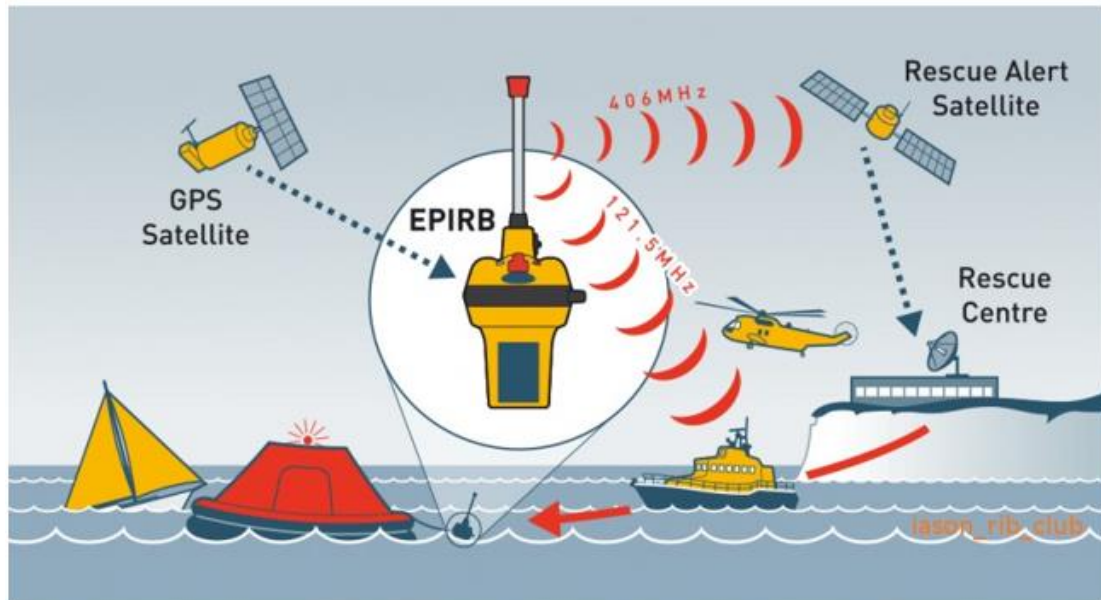
Εικόνα 51. Συντήρηση στα ξάρτια [61]

5.6 Έλεγχος μέσων και συστημάτων ασφάλειας

Στα πλαίσια της συντήρησης ελέγχονται και τα μέτρα ασφάλειας του σκάφους. Πρώτο και κυριότερο είναι να επιβεβαιωθεί πως τα σωσίβια που υπάρχουν στο σκάφος αντιστοιχούν στην άδεια των ατόμων που επιτρέπεται να επιβιβαστούν σε αυτό. Πρέπει να υπάρχουν επιπλέον δύο καπνογόνα και ένα βεγγαλικό για ώρα έκτακτης ανάγκης, και μπάλες ακυβερνησίας, όπου είναι άλλες για την ημέρα κι άλλες για τη νύχτα, οι οποίες έχουν προσαρμοσμένα φώτα πάνω τους. Τα φώτα και οι μπάλες ελέγχονται και από την επιθεώρηση για να εκδοθεί η άδεια πλεύσης του σκάφους όταν αυτό είναι στο καρνάγιο. Επιβάλλεται πάντα να υπάρχουν και οι αντίστοιχες σωστικές λέμβοι (life rafts), που περνάνε επιθεώρηση, ενώ σε περιπτώσεις ναυαγίου, και μόνο αν έχει γίνει χρήση τους, γίνεται αλλαγή στις τρόμπες που τις φουσκώνουν αυτόματα.

Τέλος υπάρχει μια συσκευή για ειδικές περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης που ονομάζεται “EPIRB”, *Εικόνα 52*. Είναι ένας Θεσιδεικτικός Ραδιοφάρος Έκτακτης Ανάγκης, ο οποίος μέσω ενός διακόπτη στέλνει αυτόματα σήμα μεγάλης εμβέλειας στις πιο κοντινές λιμενικές αρχές για να δοθεί άμεσα βοήθεια. Η χρήση της συσκευής είναι αυστηρά για έκτακτη ανάγκη καθώς αν χρησιμοποιηθεί για πιο απλή βοήθεια (που δεν λογίζεται έκτακτη ανάγκη) επιβάλλεται πρόστιμο μεγάλης αξίας στον ιδιοκτήτη. Τα σκάφη που υπακούουν στις προδιαγραφές της σύμβασης SOLAS, πρέπει να μεταφέρουν μια συσκευή EPIRB που να εκπέμπει στις συχνότητες των 406 MHz και των 121,5 MHz. Τα ραδιοσήματα των 406 MHz χρησιμοποιούνται για την εύρεση

θυμάτων που έχουν πέσει στη θάλασσα και έχουν απομακρυνθεί από τη συσκευή EPIRB. Τα ραδιοσήματα των 121,5 MHz χρησιμοποιούνται για την καθοδήγηση των διαφόρων σκαφών, ελικοπτέρων και άλλων μέσων διάσωσης, ενώ προσπαθούν να εντοπίσουν τη συσκευή EPIRB με μηχανήματα εντοπισμού κατεύθυνσης.



Εικόνα 52. Τρόπος λειτουργίας συσκευής “EPIRB” [62]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Τρισδιάστατη σχεδίαση ιστιοπλοϊκού σκάφους

6.1 Γενικές προδιαγραφές σκάφους

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η διαδικασία σχεδιασμού ενός σκάφους σε τρισδιάστατο μοντέλο (3D model). Το πρόγραμμα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση και η μοντελοποίηση είναι το Fusion 360 της εταιρείας Autodesk, το οποίο παρέχεται δωρεάν για εκπαιδευτική χρήση από την εταιρεία.

Το ιστιοπλοϊκό σκάφος που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι της εταιρείας Beneteau και πιο συγκεκριμένα το Oceanis 46.1 ft χρονολογίας 2017, *Εικόνες 53-55*. Αυτή είναι η εμπορική ονομασία του σκάφους, αλλά καθώς το πραγματικό μήκος διαφέρει από έτος σε έτος, το συγκεκριμένο σκάφος που σχεδιάστηκε είναι ελαφρώς μακρύτερο, με πραγματικό μήκος 47.1 ft.

Επιπλέον, η εξέλιξη και η σχεδίαση κυρίως των ναυπηγικών γραμμών που δίνουν την τελική μορφή στο σκάφος είναι αρκετά διαφορετική στα επόμενα μοντέλα, όπως και το στοιχείο των δύο τιμονιών στο κατάστρωμα, με αποτέλεσμα να αναφερόμαστε στο ίδιο μοντέλο της ίδιας εταιρείας, αλλά στην πραγματικότητα να πρόκειται για πολύ διαφορετικά σκάφη [63,64].



Εικόνα 53. Το σκάφος “Beneteau Oceanis 46.1 ft” [65]



Εικόνα 54. Το σκάφος “Beneteau Oceanis 46.1 ft” [66]



Εικόνα 55. Το σκάφος “Beneteau Oceanis 46.1 ft” [67]

Οι όψεις του σκάφους και οι γενικές προδιαγραφές του παρουσιάζονται στην *Εικόνα 56* και βάσει αυτών πραγματοποιήθηκε η τρισδιάστατη μοντελοποίηση με το πρόγραμμα Fusion 360. Για τους σκοπούς της σχεδίασης ο συγγραφέας της διπλωματικής εργασίας προέβη σε μετρήσεις (καταστρώματος και άλλες) σε αντίστοιχο μοντέλο ιστιοπλοϊκού σκάφους, είκοσι ετών παλαιότερο, ένα Beneteau Oceanis 46.1 ft του 1997, στην Μαρίνα Αλίμου στο Καλαμάκι [63].



GENERAL SPECIFICATIONS

• L.O.A	14,60m	47'11"
• Hull length	13,65m	44'9"
• L.W.L.	13,24m	43'5"
• Beam	4,50m	14'9"
• Deep draft (Cast iron)	2,35m	7'9"
• Deep ballast weight	2.735kg	6,028 lbs
• Shallow draft (Cast iron)	1,75m	5'9"
• Shallow ballast weight	3.061kg	6,746 lbs
• Performance draft (Cast iron/Lead)	2,65m	8'8"
• Ballast weight performance	2.576kg	5,678 lbs
• Air draft	20,31m	66'8"
• Air draft (Mast Performance)	21,31m	69'11"
• Light displacement	10.597kg	23,356 lbs
• Fuel capacity (standard)	200L	53 US Gal
• Fuel capacity (Option)	200L	53 US Gal
• Fresh water capacity (standard)	370L	98 US Gal
• Fresh water capacity (Option)	200L	53 US Gal
• Engine power (standard)	57 HP	57 HP
• Engine power (Option)	80 HP	80 HP

ARCHITECTS / DESIGNERS

- Naval Architect: Pascal Gony
- Outside & interior design: Nauta Design

Εικόνα 56. Γενικές προδιαγραφές του υπό σχεδίαση σκάφους [64]

Κύριες διαστάσεις και γενικά στοιχεία [62]:

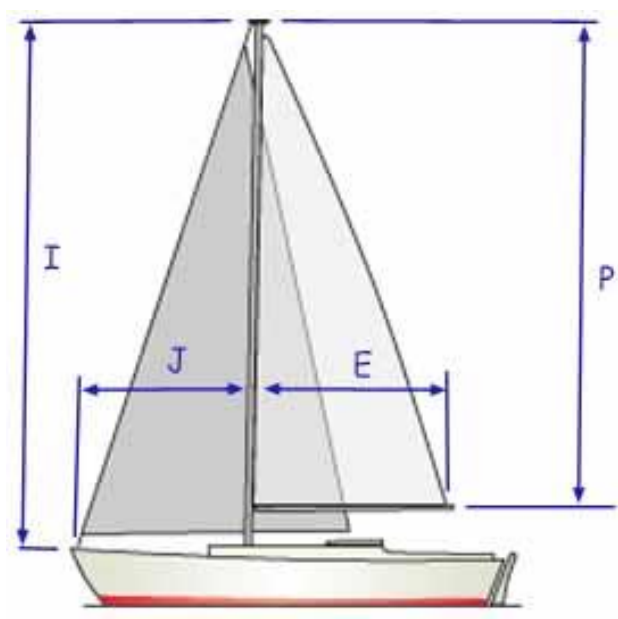
L.O.A:	14,60 m / 47'11''
Hull Length:	13,65 m / 44'90''
L.W.L:	13,24 m / 43'50''
Beam:	4,50 m / 14'90''
Deep draft (Cast Iron):	2,35 m / 7'90''
Deep ballast weight	2.735 kg / 6,028 lbs
Shallow draft (Cast Iron):	1,75 m / 5'90''
Shallow ballast weight:	3.061 kg / 6,746 lbs
Performance draft (Cast Iron/Lead):	2,65 m / 8'88''
Air draft:	20,31 m / 66'8''
Light displacement:	10.597 kg / 23,356 lbs
Fuel capacity:	200 L / 53 US Gal
Fresh water capacity:	370 L / 98 US Gal
Engine power:	57 HP

Για το πακέτο των πανιών η εταιρεία δίνει τρεις επιλογές: α) με φουσκωμένα πανιά, β) με ένα κύριο φουσκωτό πανί και τζένοα, και γ) χωρίς καθόλου πανιά.

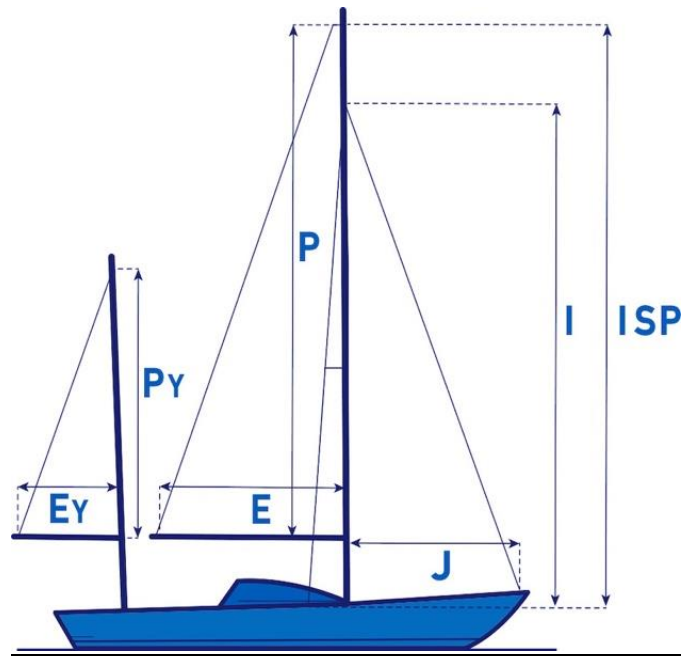
Για το πρώτο πακέτο χρησιμοποιείται το Furling sail και το Self-tacking jib. Για το δεύτερο, το κλασσικό πανί και μια φουσκωτή τζένοα (genoa). Κατ' εξαίρεση, τη θέση της genoa μπορεί να πάρει και το spinnaker, δηλαδή το ασύμμετρο τριγωνικό πανί (έως και τρεις φορές μεγαλύτερο από το κύριο πανί) που αποκαλείται και μπαλόνη.

Επίσης υπάρχουν τρία διαφορετικά πακέτα αξιοποίησης του αέρα. Το upwind pack για χρήση της genoa, το downwind pack για χρήση του μπαλονιού, και τέλος ο συνδυασμός των δύο.

Αναφορικά με τα πανιά, στις *Εικόνες 57-58* παρουσιάζονται οι διαστάσεις για τα πανιά του σκάφους *Beneteau Oceanis* μέσω των ενδείξεων I, J, P, E. Τα I και J αντικατοπτρίζουν τις διαστάσεις της genoa και τα E και P τις διαστάσεις του κυρίως πανιού. Σε περίπτωση που υπάρχει και δεύτερο κατάρτι (όχι στην περίπτωση του ιστιοπλοϊκού που αναλύουμε) οι διαστάσεις του πανιού αυτού δίνονται από το E_y και P_y .



Εικόνα 57. Βασικές διαστάσεις για τα πανιά του “Beneteau Oceanis 46.1 ft” [68]



Εικόνα 58. Διαστάσεις για τα πανιά του “Beneteau Oceanis 46.1 ft” [68]

Διαστάσεις για τα πανιά:

Furling mainsail - Φουσκωτό πανί:	44,50 m ² / 479 sq/ft
Self-tacking Jib:	44,10 m ² / 441 sq/ft
Classic mainsail - Πανί:	54 m ² / 581 sq/ft
Furling genoa - Φουσκωτή genoa (105%):	58 m / 624 sq/ft
Asymmetrical spinnaker - Ασύμμετρη τρίγωνη εστία (μπαλόνη):	152 m ² / 1636 sq/ft
I:	17,72 m / 58’2’’
J:	5,7 m / 18’8’’
P:	16,57 m / 54’4’’
E:	5,63 m / 18’6’’

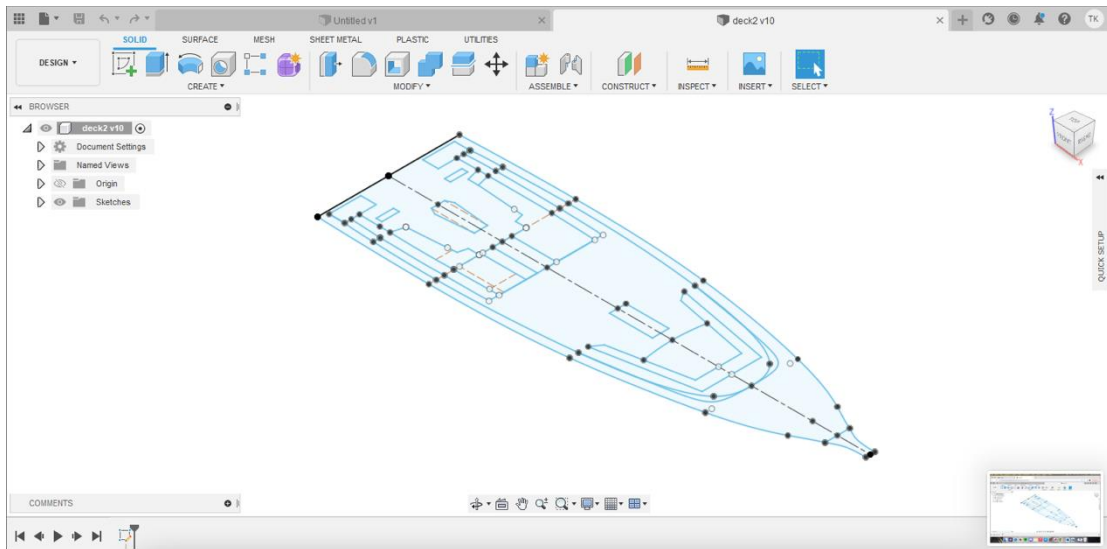
6.2 Διαδικασία σχεδιασμού

Πρώτο βήμα είναι η δημιουργία αρχείων ξεχωριστά για κάθε τμήμα του σκάφους. Τα τρία βασικά αρχεία περιλαμβάνουν το σχέδιο της γάστρας, το σχέδιο του πτερυγίου και το σχέδιο του καταρτιού και των πανιών.

6.2.1 Σχεδιασμός γάστρας

Με προεπιλεγμένο το μενού DESIGN και επιλέγοντας στην καρτέλα *Solid* το εικονίδιο *New Sketch* αρχίζει η σχεδίαση σε 2D σχέδιο. Η γάστρα επιλέχθηκε να σχεδιαστεί στην όψη *top view* καθώς το κατάστρωμα έχει μεγαλύτερη ιδιομορφία (σε σχέση με την καρίνα του πλοίου) και χρειάζεται περισσότερη ανάλυση για να γίνει ευκολότερη η σχεδίαση. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα ακριανά σημεία με *points* στην πρύμνη και στην πλώρη και με βάση αυτά σχεδιάστηκαν οι γραμμές με την εντολή *fit point spline*. Με μικρές διορθώσεις των σημείων της καμπύλης δόθηκε το επιθυμητό σχήμα ομοιόμορφα χωρίς να μεταβληθούν τα *key points* του σχεδίου. Για τη δημιουργία των σημείων όπου έχει ακμές το κατάστρωμα παράλληλες με το περίγραμμα του πλοίου χρησιμοποιήθηκε η εντολή *offset* και σχεδιάστηκε κομμάτι-κομμάτι όπου υπάρχει παράλληλο τμήμα.

Στην *Εικόνα 59* παρουσιάζεται η δισδιάστατη σχεδίαση των βασικών σημείων γάστρας και καταστρώματος, όπως έχουν αποτυπωθεί στην *Εικόνα 60* και σύμφωνα με τις γενικές προδιαγραφές του σκάφους.

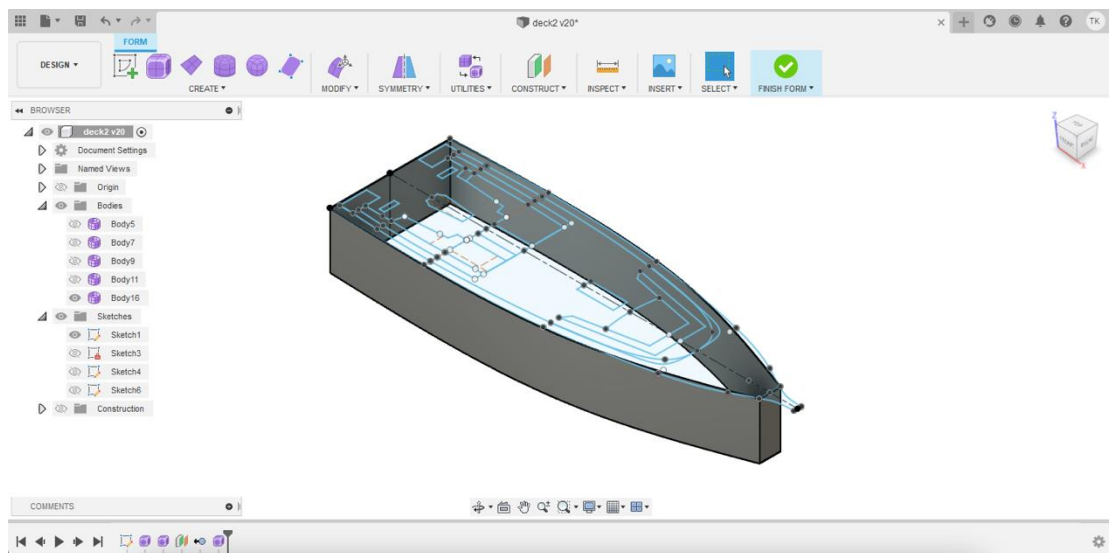


Εικόνα 59. 2D σχεδίαση *points & lines* γάστρας και καταστρώματος σε *top view*



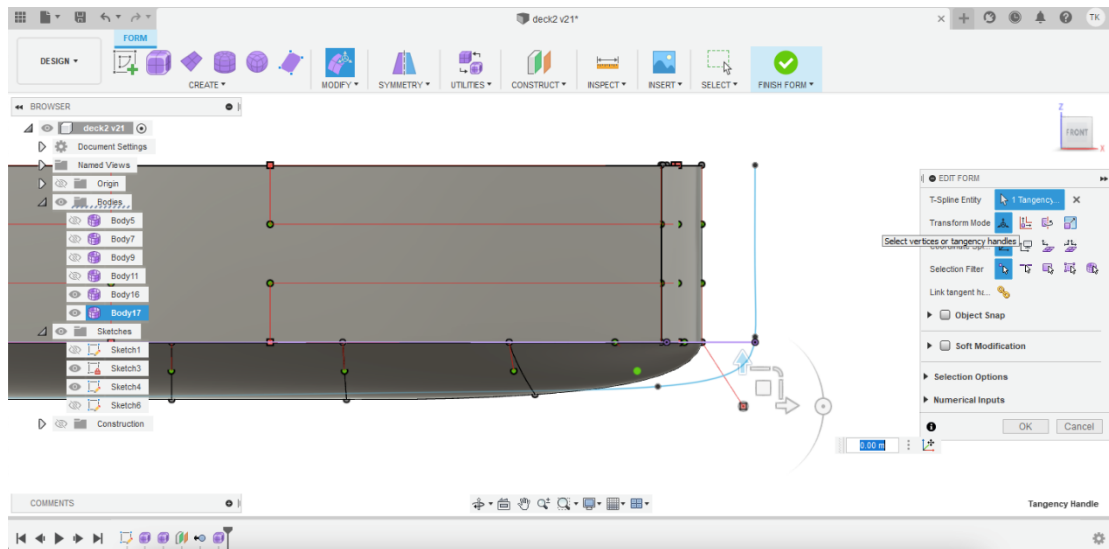
Εικόνα 60. Αποτύπωση διαστάσεων γάστρας και καταστρώματος [63]

Για τα επόμενα βήματα σχεδίασης χρησιμοποιήθηκε η καρτέλα Solid → Form η οποία επιτρέπει τη σχεδίαση του μοντέλου με επιφάνειες T-splines. Συγκεκριμένα μετακινώντας κορυφές, ακμές, και έδρες είναι δυνατή η δημιουργία αντικειμένων ελεύθερης μορφής. Με βάση το διδιάστατο σχέδιο, στην καρτέλα Form δόθηκε η τρισδιάστατη μορφή του σκάφους με την εντολή Create → Extrude κατά 2,00m. Για να διαχωριστεί η γάστρα σε επιμέρους επιφάνειες επιλέχθηκαν 5 έδρες κατά το πλάτος και 2 κατά το μήκος. Αρχικά δοκιμάστηκαν 7 και 8 έδρες κατά πλάτος αλλά αυξανόταν κατά πολύ η πολυπλοκότητα του σχεδίου.



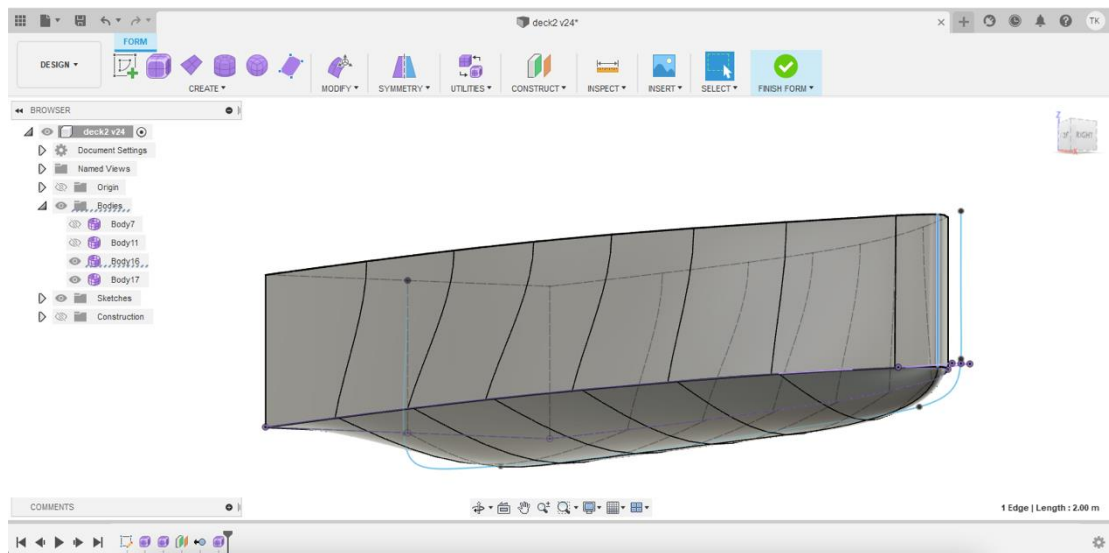
Εικόνα 61. Μορφοποίηση του σκάφους

Στη συνέχεια για το τμήμα της πλώρης: → Modify → Smooth (weight 1.000) και έπειτα Modify → Subdivide aft face (διαγράφοντας τις 2 οριζόντιες ακμές που δεν χρειάζονται) και τέλος Modify → Pull (0.75).



Εικόνα 62. Διορθώσεις με την βοήθεια των key points στο κομμάτι της πλώρης

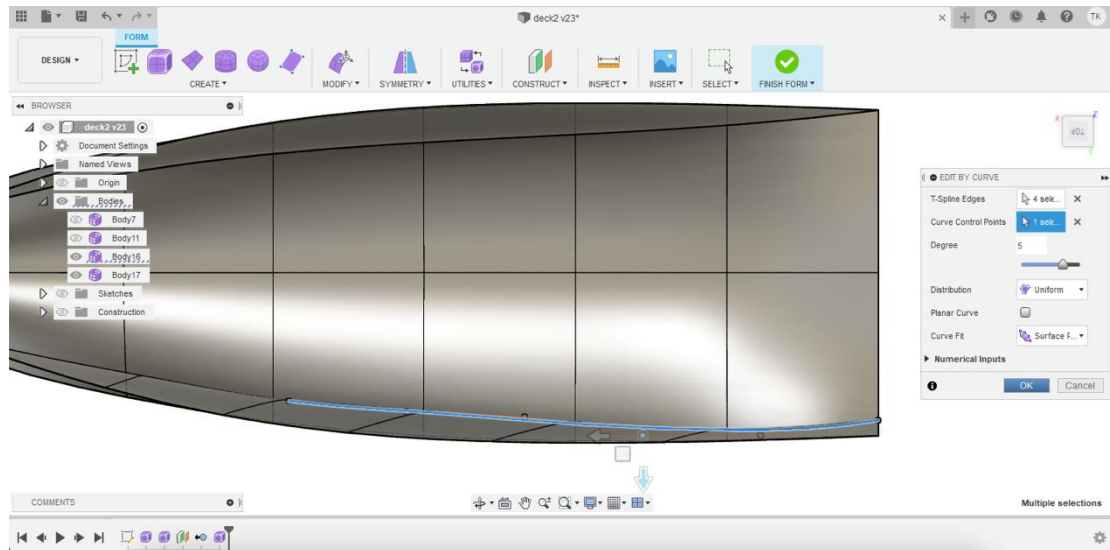
Για το κάτω τμήμα του σκάφους: → Create → Cylinder → Move – Up → Divide σε 8 κατά το πλάτος και 6 κατά το μήκος. Στη συνέχεια → Delete 6 έδρες από τις παράλληλα σε όλο το μήκος ώστε να παραμείνει λίγο λιγότερο από τον κύλινδρο. Έπειτα → Modify → Pull και select spline → select targets → surface points (spline) → surface.



Εικόνα 63. Σχεδιασμός κάτω τμήματος της γάστρας του σκάφους

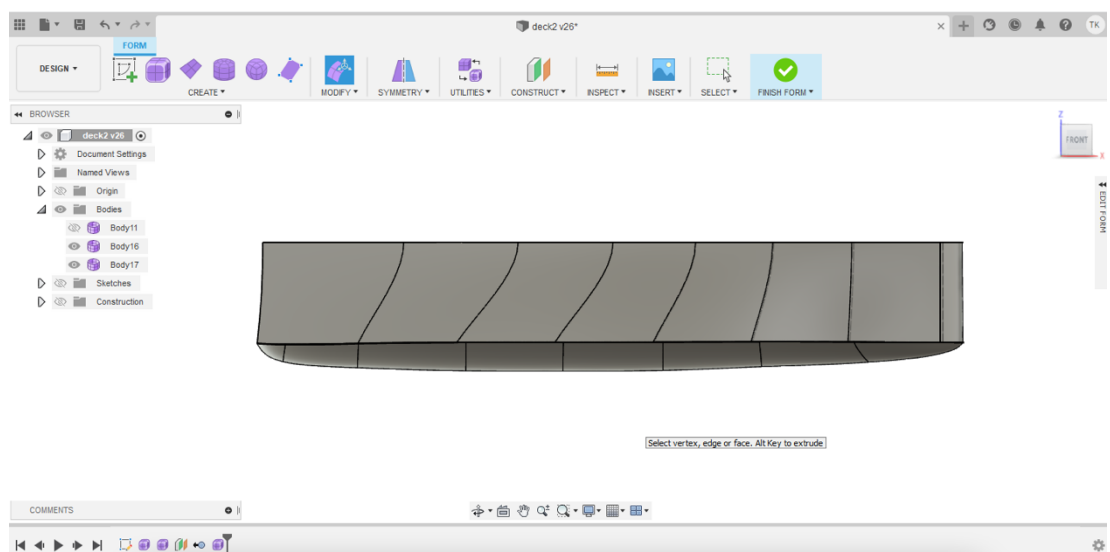
Για το τμήμα της πρύμνης: → Modify → Insert edge και έπειτα Modify → Edit form → και μετά τροποποίηση (angle, move, scale). Για τις 3 μεσαίες έδρες της γάστρας: στο front view → soft modification 1,414 scale up / 0,92 scale down → 2 aft faces και

0,85 scale down / 0,03 move up to the Z. However, the final design of the cabin on the ship was modified in addition because it had to be adjusted so that the part of the cabin which is visible is perpendicular to the part that is joined. There were some modifications - corrections to straighten all the distances, with the Modify → Edit by curves, on the part of the cabin.



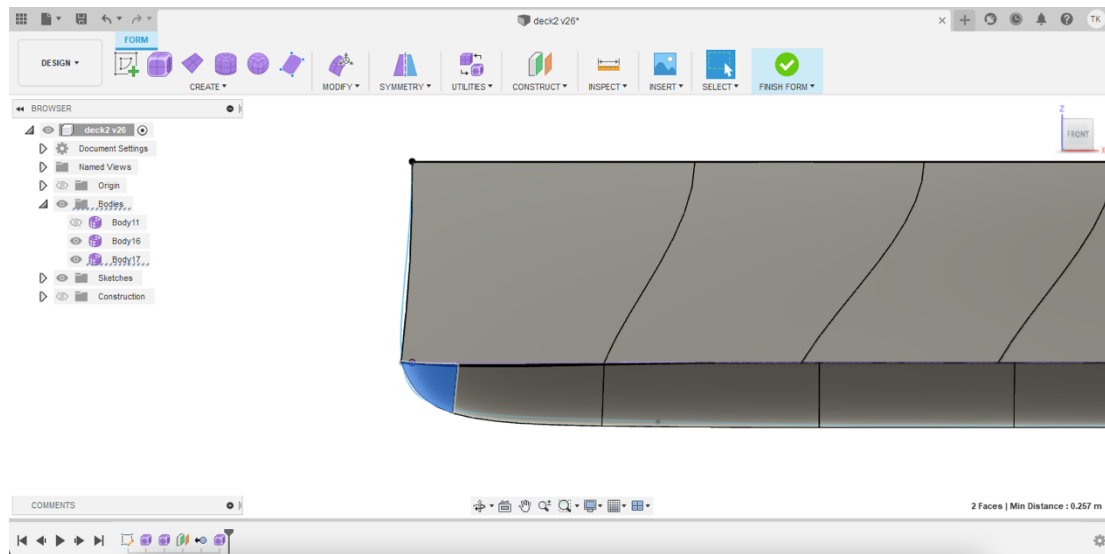
Εικόνα 64. Τροποποιήσεις & εξομαλύνσεις μοντέλου γάστρας με T-splines

Specifically, by selecting four Spline edges with degree 5 and the remaining control points in the default (Uniform, Empty, Surface points), and moving each control point separately, the final smooth result of the cabin's curvature was achieved.



Εικόνα 65. Πλάγια όψη γάστρας

Στην *Εικόνα 66*, σε μία πιο κοντινή απεικόνιση, φαίνεται πως έχει εξομαλυνθεί το καμπύλο τμήμα του κάτω μέρους του σκάφους, χρησιμοποιώντας την εντολή Soft Modification στις ενώσεις στα κοίλα τμήματα. Επιπλέον, για την εξομάλυνση της κλίσης του κάτω μέρους στο επίπεδο τμήμα της πρύμνης το οποίο ήταν κάθετο, με τη σειρά χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές → Modify → Subdivide (2 wide / 2 length) → Angle 5° στο κάτω μισό → Move 0,05m → Scale Down.

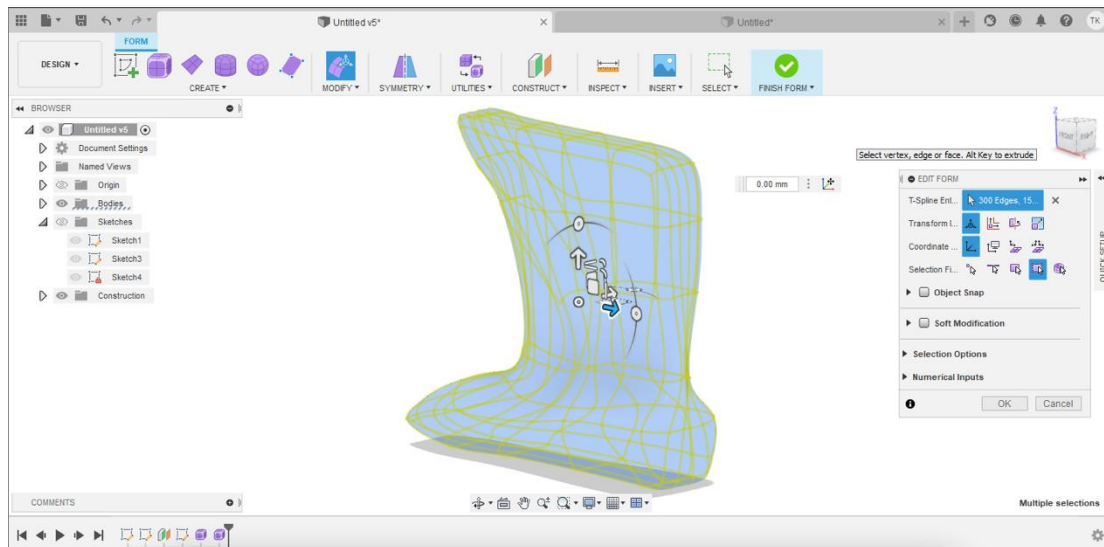


Εικόνα 66. Εξομάλυνση πρύμνης και δημιουργία κυρτότητας

6.2.2 Σχεδιασμός καρίνας

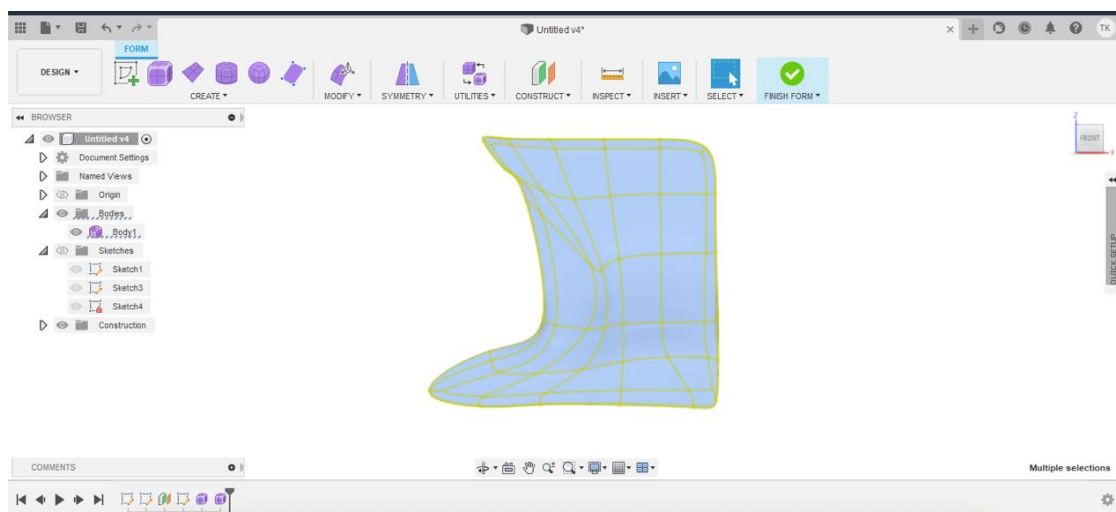
Αναφορικά με την καρίνα (fin keel) το συγκεκριμένο σκάφος έχει μορφή τύπου bulb με την οποία κατασκευάζονται τα περισσότερα ιστιοπλοϊκά από 12 μέτρα και πάνω, καθώς η μορφή long fin επιλέγεται πιο αραιά και σε συγκεκριμένες καρίνες πλοίου. Τα συγκεκριμένα fin keel έχουν ύψος συνήθως 1,70 m – 2,10 m και η διάμετρος του bulb κυμαίνεται μεταξύ 60 cm – 80 cm.

Η αρχική σχεδίαση του fin έγινε σε ένα 2D sketch επιλέγοντας ως όψη σχεδιασμού την right view. Στην καρτέλα Solid → Form, στο μενού Create επιλέχθηκε η εντολή Box και ορίστηκαν δύο σημεία από την κάτω αριστερή άκρη του σχεδίου μέχρι την πάνω δεξιά. Στη συνέχεια ορίστηκε πλάτος ίσο με 60 εκ. (μεγαλύτερο από το τελικό) για τη διευκόλυνση της μετέπειτα σχεδίασης.



Εικόνα 67. Μοντελοποίηση πηδαλίου με T-splines

Για το σχεδιασμό της μορφής του fin χρησιμοποιήθηκε η εντολή Modify → Edit form επιλέγοντας αρχικά το κάτω μέρος του fin, και επιλέγοντας τα επιθυμητά σημεία, ακμές και επιφάνειες μέσω Selection filter. Στην αρχική τροποποίηση χρησιμοποιήθηκε η επιλογή Soft Modification που κάνει την επεξεργασία πιο ομαλή, ωστόσο στις επόμενες τροποποιήσεις δεν χρειάστηκε. Δίνοντας τις κατάλληλες κλίσεις, τα πάχη των επιμέρους τμημάτων και την κατάλληλη μορφή στις επιφάνειες προέκυψε το 3D μοντέλο body, το οποίο θα προστεθεί στο 3D μοντέλο του σκάφους. Τέλος, για βελτιστοποίηση του σχεδίου, αλλάξαμε λίγο τη μορφή ως προς το πάχος και τις ακμές του πηδαλίου, επιλέγοντας την ακριανή επιφάνεια του fin και επεκτείνοντάς την προς τα πίσω, και τροποποιώντας συγκεκριμένες επιφάνειες μέσω της επιλογής Scale (transform mode) που έχει η εντολή Edit form.



Εικόνα 68. Πλάγια όψη πηδαλίου

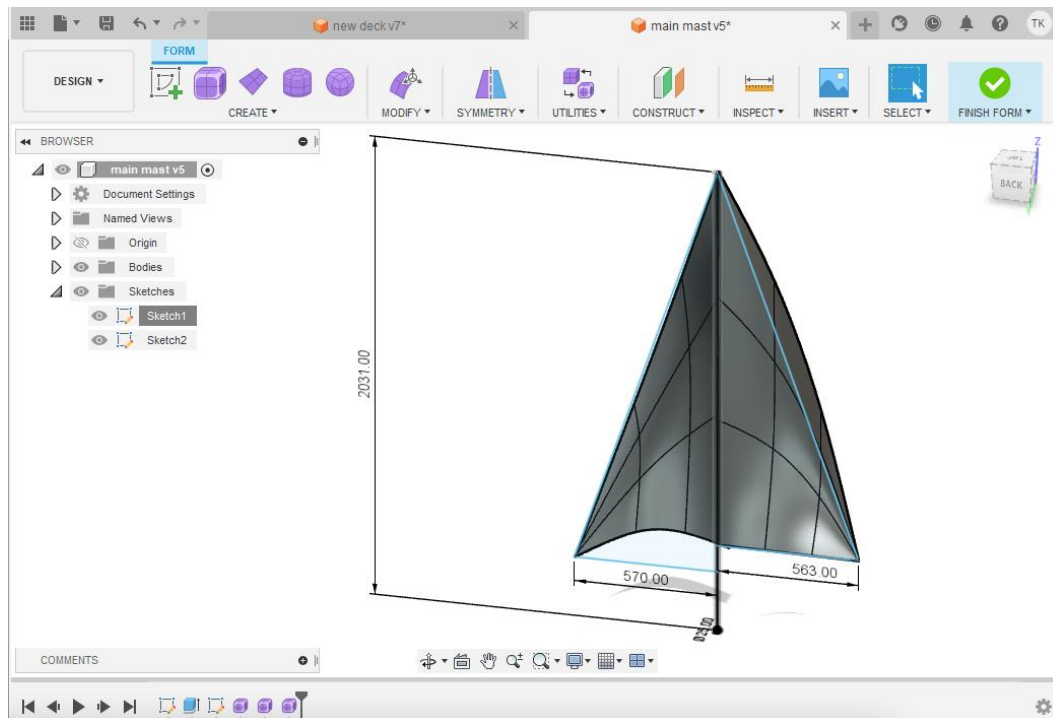
6.2.3 Σχεδιασμός καταρτιού & πανιών

Αρχικά για το σχεδιασμό των πανιών και του καταρτιού, σε ένα νέο 2D sketch σχεδιάζεται μία oval διατομή στην όψη top view. Στη συνέχεια δίνονται οι διαστάσεις σύμφωνα με τις γενικές προδιαγραφές του σκάφους και με την εντολή Solid → Extrude κατά ύψος I, προκύπτει το κατάρτι του σκάφους. Κατόπιν σχεδιάζονται, όπως φαίνονται στις *Εικόνες 57-58* με βάση τις διαστάσεις των I, J, P, E τα τριγωνικά πανιά. Το 3D μοντέλο παρουσιάζεται στην *Εικόνα 69* με διαστάσεις I = 2031cm, J = 570cm, E = 563cm, και O = 25cm.

Η μοντελοποίηση των επιφανειών των πανιών ξεκινάει από τις άκρες τους με την εντολή Solid → Form στα σημεία που δεν είναι δεμένα πάνω στο κατάρτι. Το κάθε πανί χωρίζεται σε 3 επιφάνειες ως προς το μήκος (length) και 3 επιφάνειες ως προς το πλάτος (width) με την εντολή Modify → Subdivide.

Για να αποδοθεί η μορφή στα πανιά χρησιμοποιείται η επιλογή Solid → Form και δημιουργείται το επιθυμητό σχήμα με την εντολή New face, η οποία δημιουργεί ανεξάρτητες επιφάνειες T-splines. Αντιθέτως χρησιμοποιώντας την επιλογή solid, τα πανιά δεν θα είχαν αληθοφανή όψη. Με το συγκεκριμένο τρόπο σχεδίασης τα πανιά παρουσιάζονται σαν να είναι φουσκωμένα από τον αέρα. Σε αυτό το στάδιο οι τροποποιήσεις της μορφής των πανιών δεν είναι απαραίτητο να αναφερθούν στην εργασία, καθώς δεν βασίζονται σε συγκεκριμένες διαστάσεις αλλά έχουν προκύψει με σχεδίαση ελεύθερης επιφάνειας.

Για τη μοντελοποίηση των επιφανειών του πίσω πανιού (mainsail) ώστε να παρουσιάζεται δεμένο πάνω στο κατάρτι, οριζόντια και κάθετα, επιλέγεται η εντολή Modify → Edit form και ως T-spline entities επιλέγονται τα points. Στην περίπτωση της επιλογής lines, δεν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα καθώς η υποτείνουσα του πανιού μετακινείται και από τις δύο άκρες που ουσιαστικά είναι δεμένο το πανί. Η επιλογή faces ομοίως δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Συνεπώς επιλέγονται τα points (εκτός των δυο ακριανών σημείων και των σημείων που εφάπτονται πάνω στο κατάρτι) για να απεικονιστεί ο όγκος του πανιού.

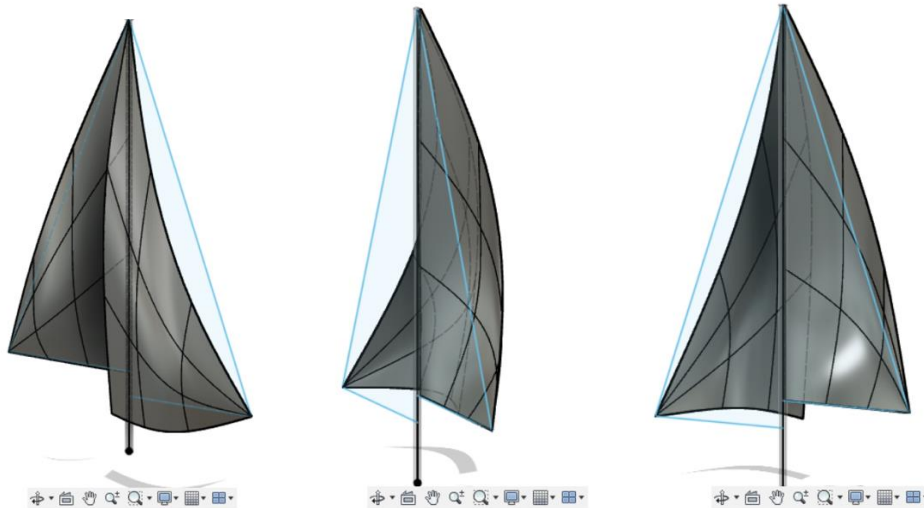


Εικόνα 69. Το 3D μοντέλο πανιού-καταρτιού με τις διαστάσεις

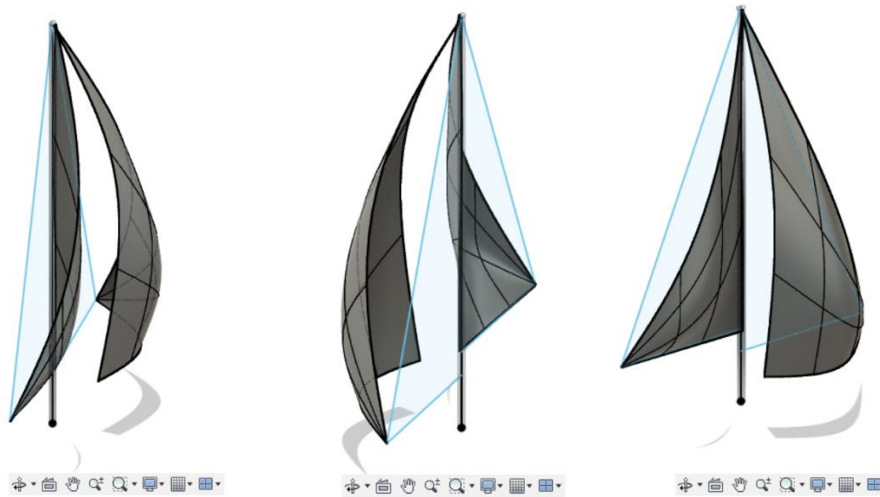
Αντίστοιχη περίπτωση είναι το πανί στην πλώρη, η τζένοα (genoa). Στην πραγματικότητα, το πανί αυτό δεν είναι attached πάνω στο κατάρτι καθώς φουσκώνει πολύ περισσότερο και είναι αυτό που δέχεται και αξιοποιεί τον περισσότερο αέρα. Ουσιαστικά η κατάληξη της τζένοα είναι δεμένη με σχοινιά πάνω στα βιτζιρέλα και από το μέρος του cockpit γίνονται οι αλλαγές και το μάζεμα αυτής. Το κάτω άκρο είναι ελεύθερο και δεμένο μόνο στην άκρη του με ένα σχοινί.

Για τη μοντελοποίηση των επιφανειών της τζένοα επιλέγεται και σε αυτή την περίπτωση Modify → Edit form και ως T-spline entities επιλέγονται τα points, μόνο που πλέον τα μόνα σταθερά σημεία είναι το σημείο στην πλώρη και το σημείο στην κορυφή του καταρτιού. Τα επιλεγμένα σημεία μετακινούνται ελεύθερα προς την ίδια κατεύθυνση με το mainsail σαν να 'φουσκώνει'. Στη συνέχεια επιλέγονται οι άκρες του πανιού για να φαίνεται πιο αληθοφανής η απεικόνιση των πανιών.

Στο πρόγραμμα επίσης, παρέχεται η δυνατότητα του animation, με την οποία προσομοιώνεται η κίνηση των επιφανειών των πανιών όπως θα συνέβαινε με την επίδραση του αέρα πάνω σε αυτά.



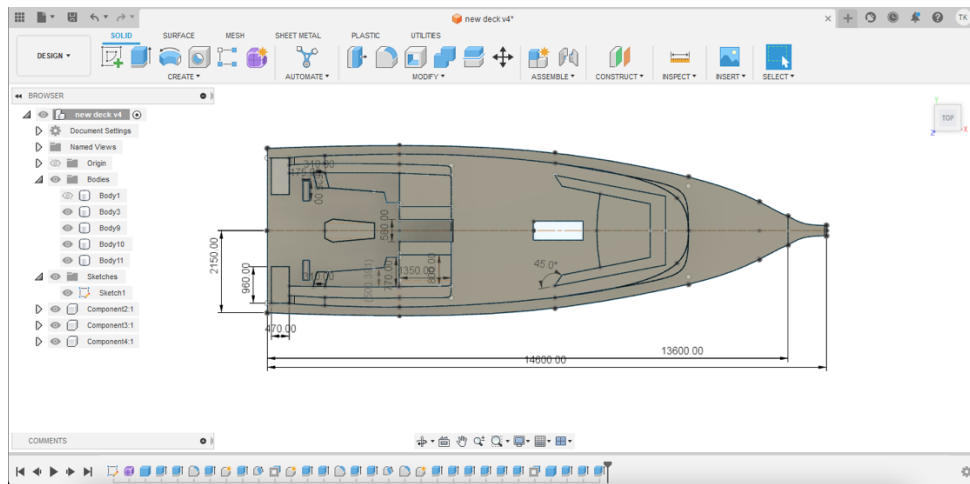
Εικόνα 70. Οπτική απεικόνιση φουσκωμένου πανιού πλάγια όψη



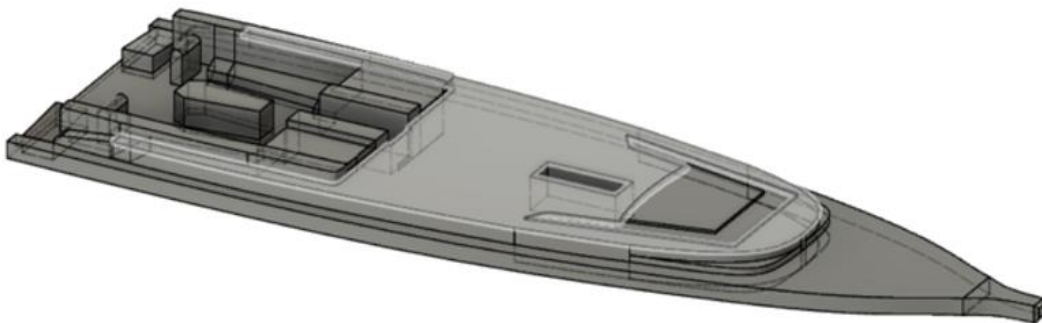
Εικόνα 71. Διαφορετική απεικόνιση των φουσκωμένων πανιών

6.2.4 Σχεδιασμός καταστρώματος

Το κατάστρωμα σχεδιάστηκε σε ένα καινούριο αρχείο. Με βάση τις διαστάσεις του καταστρώματος, *Εικόνα 60*, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο του εξοπλισμού του καταστρώματος, *Εικόνα 72*. Πάνω στο κατάστρωμα υπάρχουν διάφορα στοιχεία όπως οι καναπέδες, το τραπέζι, τα δύο τιμόνια και τα καθίσματα πίσω από αυτά, η θέση όπου έχει τοποθετηθεί το κατάρτι και οι θέσεις με τα μαξιλάρια μπροστά από αυτό.



Εικόνα 72. Διαστάσεις για την σχεδίαση του καταστρώματος

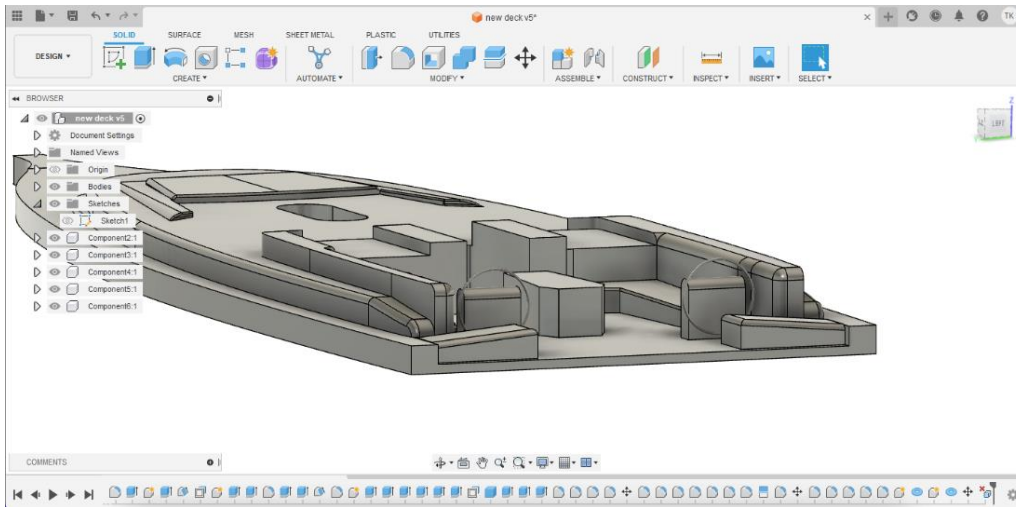


Εικόνα 73. Πρώτο στάδιο μορφοποίησης με την εντολή extrude

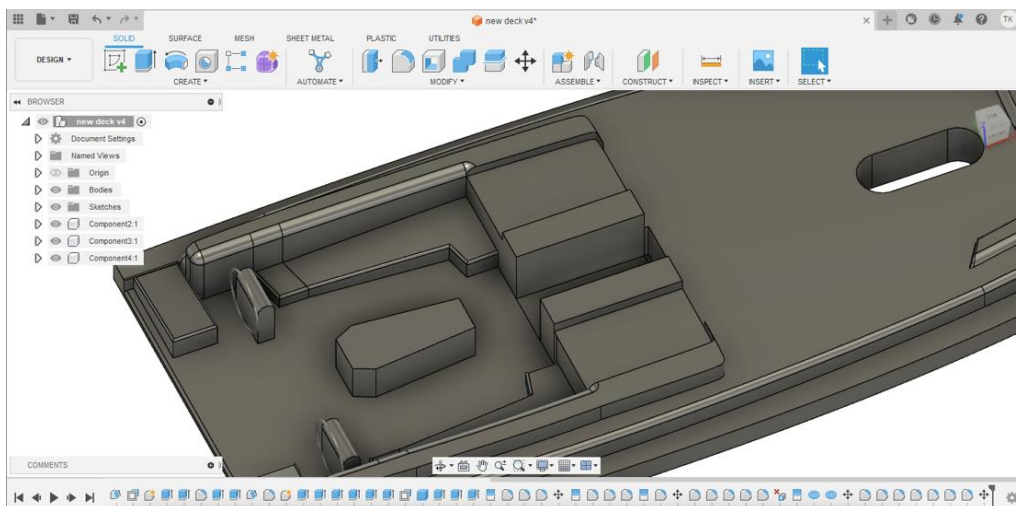
Η σχεδίαση γίνεται στην καρτέλα Solid με την εντολή Extrude για κάθε στοιχείο του καταστρώματος ξεχωριστά ανάλογα με το διαφορετικό ύψος που έχουν. Κάθε στοιχείο απαιτεί διαφορετικό τρόπο μοντελοποίησης. Με την εντολή Extrude προσαρμόζεται το ύψος ωστόσο δεν μπορεί εύκολα να δοθεί η τελική μορφή λόγω της πολυπλοκότητας του σχήματος. Καθόσον η εντολή Extrude σχηματίζει ορθές γωνίες, γίνεται παράλληλη χρήση της εντολής fillet και με αντίστοιχες διαβαθμίσεις ανάλογα με το στοιχείο που επεξεργάζεται, οι γωνιακές ακμές στρογγυλεύουν.

Επιπλέον, για τα καθίσματα πίσω από τα τιμόνια χρησιμοποιείται η εντολή angle για την πάνω επιφάνεια αυτών ενώ τα σημεία του καταστρώματος στην πλώρη μπροστά από το κατάρτι, που ονομάζεται και σπιράγιο, εξομαλύνονται ώστε να έχουν τη μορφή ενός ενιαίου τμήματος. Στη συνέχεια εξομαλύνονται οι ακμές του καταστρώματος στον χώρο του cockpit ώστε να έχουν μια ομαλότητα όπως είναι στην πραγματικότητα

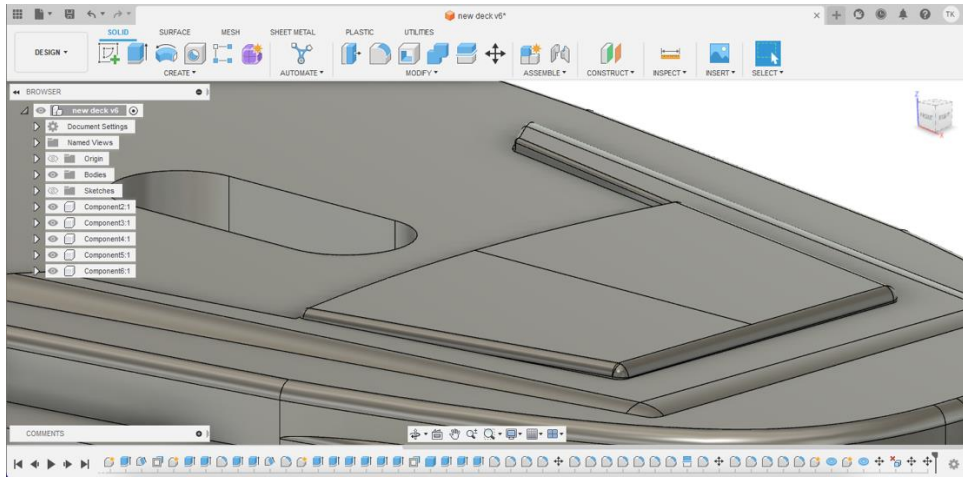
(Εικόνα 74-75) και οι επιφάνειες στο σπирάγιο ώστε τα καθίσματα να μοιάζουν με μαξιλάρες (Εικόνα 76).



Εικόνα 74. Διαδικασία εξομάλυνσης του χώρου του cockpριt

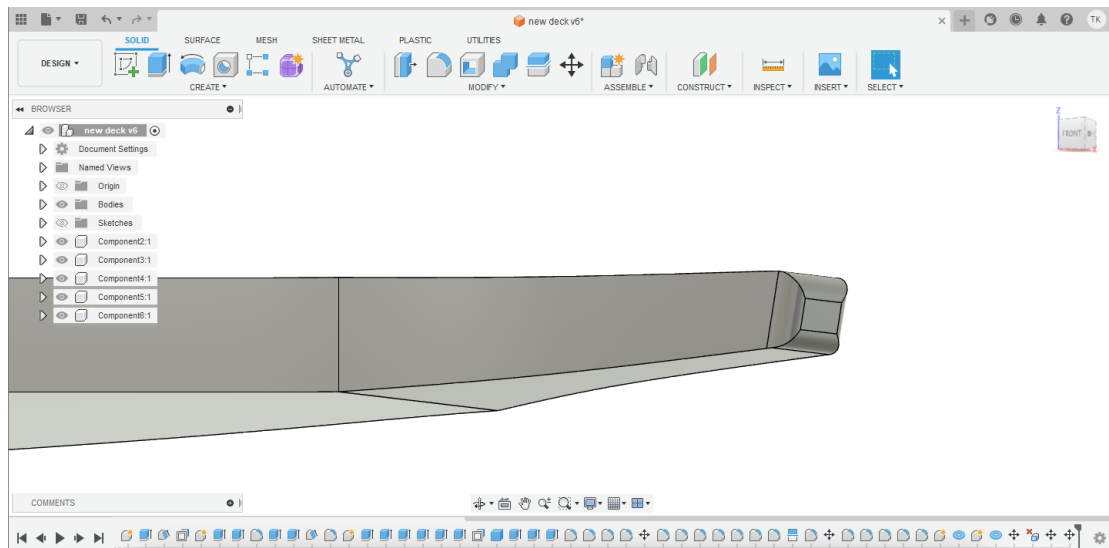


Εικόνα 75. Διαδικασία εξομάλυνσης του χώρου του cockpριt



Εικόνα 76. Πρωραίο τμήμα (σπινάγιο) και μαξιλάρια μπροστά από το κατάρτι

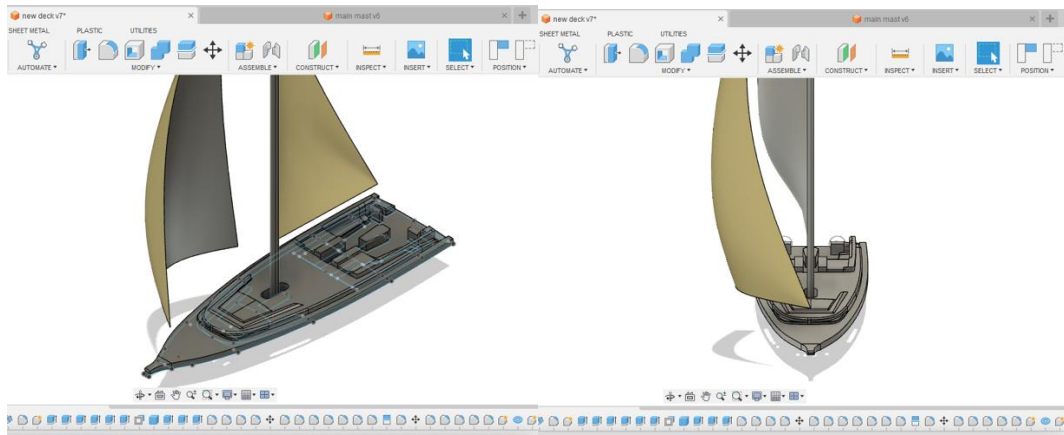
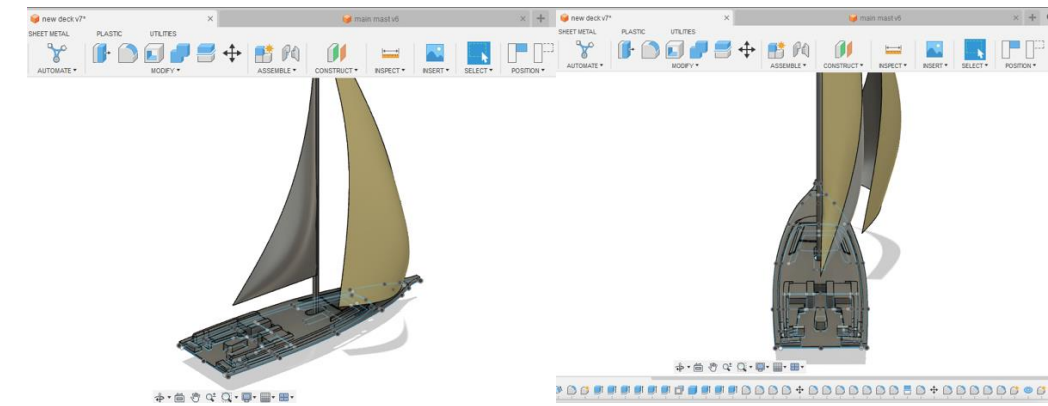
Τέλος γίνεται σχεδιαστική τροποποίηση στο πρωραίο τμήμα του σκάφους με μια μικρή κλίση και τετραγωνισμένη την άκρη του.



Εικόνα 77. Μοντελοποίηση πρωραίου τμήματος του σκάφους

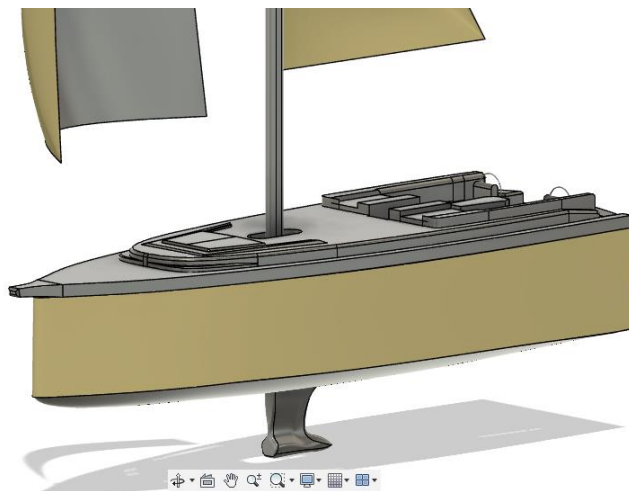
6.2.5 Ολοκληρωμένο 3D μοντέλο σκάφους

Η συναρμολόγηση των επιμέρους parts πραγματοποιείται σε ένα νέο αρχείο assembly. Αρχικά τοποθετούνται πάνω στο κατάστρωμα, τα πανιά και το κατάρτι με την εντολή insert model to current design. Στην Εικόνα 78 απεικονίζεται το συναρμολογημένο σύνολο deck-sails-mast από διαφορετικές όψεις.

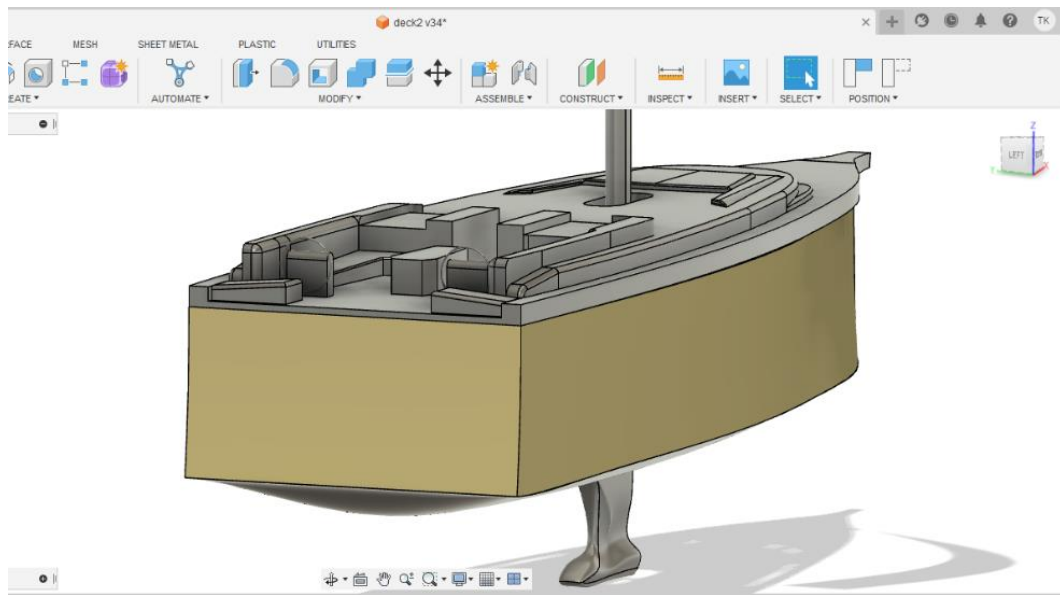


Εικόνα 78. Συναρμολόγηση πανιών και καταρτιού με κατάστρωμα

Στο τελευταίο βήμα τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις η γάστρα και η καρίνα, ομοίως με την εντολή insert model to current design, και ολοκληρώνεται το τρισδιάστατο μοντέλο του σκάφους.



Εικόνα 79. Συναρμολόγηση γάστρας και καρίνας



Εικόνα 80. Ρεαλιστική απεικόνιση 3D μοντέλου ιστιοφόρου σκάφους



Εικόνα 81. Ρεαλιστική απεικόνιση 3D μοντέλου ιστιοφόρου σκάφους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Επίλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια εργασία σχετική με την ιστιοπλοΐα, αφού περιλαμβάνει τόσο θεωρητικές γνώσεις και χρηστικές πληροφορίες για πρακτικά ζητήματα, αλλά αφορά κυρίως την τρισδιάστατη μοντελοποίηση ενός σύγχρονου ιστιοπλοϊκού σκάφους 14.1 μέτρων.

Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ιστορική αναδρομή, και πληροφορίες σχετικές με, την εξέλιξη της πρόωσης με πανιά, την τέχνη της ναυπήγησης διάφορων ιστιοφόρων σκαφών αλλά και τη χρήση τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υδροδυναμικές και οι αεροδυναμικές δυνάμεις του σκάφους κατά την πλεύση, αναφέρονται λεπτομερώς οι δυνατότητες της πλεύσης και οι ονομασίες πορείας, ενώ επίσης αναλύονται οι ισορροπίες των δυνάμεων μέσω γνωστών μαθηματικών εξισώσεων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια επισκόπηση των περισσότερων ειδών ιστιοπλοϊκών σκαφών και η κατηγοριοποίησή τους βάσει τον αριθμό των καταρτιών και των γαστρών που φέρουν. Πρακτικά ζητήματα, όπως η συντήρηση που απαιτεί ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος ώστε να είναι σε καλή κατάσταση, παρουσιάζονται στο τέταρτο κεφάλαιο. Η εξωτερική συντήρηση και η προσοχή που πρέπει να δίνεται στις εργασίες που λαμβάνουν χώρα στο καρνάγιο είναι οι πιο σημαντικές για την μακροβιότητα του σκάφους και έπονται οι έλεγχοι στα εσωτερικά και ηλεκτρονικά συστήματά του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η τρισδιάστατη σχεδίαση ενός σκάφους της εταιρείας Beneteau και πιο συγκεκριμένα του Oceanis 46.1 ft με τη χρήση του λογισμικού AutoDesk Fusion 360. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα επιμέρους τμήματα του σκάφους όπως καρίνα, πανιά και κατάρτι, κατάστρωμα, γάστρα, και στη συνέχεια έγινε η συναρμολόγησή τους σε ένα ενιαίο 3D μοντέλο. Αναφορικά με τη σχεδίαση, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διαδικασία της σχεδίασης ήταν αρκετά απαιτητική και χρονοβόρα, καθώς το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε δεν παρέχει εξειδικευμένες εντολές για τη μοντελοποίηση επιφανειών με μη γεωμετρικό σχήμα και συνεπώς έπρεπε να πραγματοποιηθεί κατάλληλος συνδυασμός διαφόρων εντολών για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

Ορισμένες προτάσεις για μελλοντική εργασία είναι η 3D κατασκευή του προτύπου του σκάφους υπό κλίμακα με τεχνολογία προσθετικής κατασκευής (3D printing), η πειραματική δοκιμή του μοντέλου υπό κλίμακα σε δεξαμενή, και η σύγκριση των

πειραματικών αποτελεσμάτων με αποτελέσματα προσομοίωσης υδροδυναμικής και αεροδυναμικής ανάλυσης από αντίστοιχα σχετικά λογισμικά.

Βιβλιογραφία

[1] Κώστας Α. Δαμιανίδης, Ελληνική Παραδοσιακή Ναυπηγική, Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ, Αθήνα 1998

[2] Μάριος Βερέττας, Η Ιστιοπλοΐα και η Τέχνη της, Εκδοτικός Οίκος Βερέττα. Σεπτέμβριος 2015

[3] Ιστορία των Ιστιοφόρων, 2021, Μάριος Βερέττας, ανακτήθηκε από:
<https://www.verettasbooks.gr/post/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%89%CE%BD>

[4] Noticias Náuticas, Beneteau, ανακτήθηκε από:
<https://www.beneteau.com/es-mx/newsroom/noticias-nauticas>

[5] How Much Does An Average Sailboat Cost?, 2022, Bill Parlatore, ανακτήθηκε από :
<https://www.seattleyachts.com/news/how-much-does-an-average-sailboat-cost>

[6] Choosing the Right Sailboat, Nautic EXPO by Virtualexpo Group, ανακτήθηκε από :
<https://guide.nauticexpo.com/choosing-the-right-sailboat/>

[7] Boat Building, ανακτήθηκε από Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Boat_building#/media/File:Samos_Agios_Isidoros_002.jpg

[8] Η Ερασιτεχνική Κατασκευή Μικρών Σκαφών, Σταύρος Ψαθήρης, ανακτήθηκε από :
<https://www.boatplans.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1-%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/%CE%B7-%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE-%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD>

[9] https://no-frills-sailing.com/wp-content/uploads/2021/03/09_Yard-Boreal-yachts.jpg

[10] What are Sailboats Made of? Last Updated, 2022, Daniel Wade, ανακτήθηκε από:
<https://www.lifeofsailing.com/post/what-are-sailboats-made-of>

[11] The Inner Layer: Core Materials of Sailboat Construction, 2014, Tim Murphy, ανακτήθηκε από:
<https://www.cruisingworld.com/how/inner-layer-core-materials-sailboat-construction/>

[12] Ιστιοπλοΐα, ανακτήθηκε από Wikipedia:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%90%CE%B1>

[13] Σημειώσεις μαθήματος «Τεχνολογία Μικρών Σκαφών 2», Γ. Γρηγορόπουλος, Σ. Περισσάκης, (“Παιδεία Μπροστά”, 2^ο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης)

[14] Ο Νόμος του Bernoulli, Παρουσίαση, ανακτήθηκε από:
<https://slideplayer.gr/slide/17987882/>

[15]
<https://i.pinimg.com/originals/12/ab/10/12ab10cb4585981638f336ab48992150.jpg>

[16] <https://sailing-blog.nauticed.org/wp-content/uploads/2009/02/true-wind.jpg>

[17] <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/graphics/velocites.GIF>

[18] <https://www.researchgate.net/profile/Seyfettin-Bayraktar/publication/292139089/figure/fig1/AS:322791959220224@1453971008484/Forces-on-a-sailing-yacht-4.png>

[19] 17 Sailboat Types Explained: How To Recognize Them, Shawn Buckles, ανακτήθηκε από:
<https://improvesailing.com/questions/sailboat-types-explained>

[20] <https://www.neilson.co.uk/beach/activities/dinghy-sailing-holidays>

[21] Sold: 33m Bermudan sloop MARAE, 2018, ανακτήθηκε από:
<https://www.burgessyachts.com/en/editorial/sold-33m-bermudan-sloop-marae>

[22] ANTIGUA BERMUDA RACE GATHERS PACE, ανακτήθηκε από:
<https://sailingweek.com/antigua-bermuda-race-gathers-pace/>

[23] Inland Cat, ανακτήθηκε από Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Inland_Cat

[24] Why the Cutter Rig Sailboat Is My First Choice for Cruising, ανακτήθηκε από:
<https://www.sailboat-cruising.com/cutter-rig-sailboat.html>

[25] <https://www.classicdriver.com/en/yacht/jm-soper-sons/cutter/1929/240821>

[26] <https://forums.sailinganarchy.com/index.php?/profile/121685-gaffer/>

[27] Columbia: How the classic Fisherman’s Cup schooner was reborn, 2017, Cecile Gauert, ανακτήθηκε από:
<https://www.boatinternational.com/yachts/editorial-features/columbia-how-the-classic-fishermans-cup-schooner-was-reborn--33765>

[28] Columbia: How the classic Fisherman’s Cup schooner was reborn, 2017, Cecile Gauert, ανακτήθηκε από:

<https://www.boatinternational.com/yacht-market-intelligence/brokerage-sales-news/replica-classic-sailing-yacht-columbia-for-sale--36255>

[29] <https://www.denisonyachtsales.com/yacht-listings/63-Cruising-Ketch-Stuart-63-1983-Palm-Beach-Florida/5028536>

[30] CRUISING SAILBOAT RIGS: Ketches, Yawls, and Schooners, Charles Doane, ανακτήθηκε από:
<https://wavetrain.net/2015/03/06/cruising-sailboat-rigs-ketches-yawls-and-schooners/>

[31] <https://wavetrain.net/2015/03/06/cruising-sailboat-rigs-ketches-yawls-and-schooners/>

[32] <https://www.shutterstock.com/el/search/traditional+dutch+sailing+barge>

[33] <https://snug-harbor.org/event/sail2018/>

[34] <https://www.boat24.com/en/sailboats/tyler-clipper-bowman-43/detail/458081/>

[35] FORGOTTEN AT HOME, HONG KONG'S JUNKS SAIL ON FOREIGN WATERS, 2018, RYAN KILPATRICK, ανακτήθηκε από:
<https://zolimacitymag.com/forgotten-at-home-hong-kongs-junks-sail-on-foreign-waters/>

[36] <https://nl.pinterest.com/pin/54676582963303194/>

[37] “brig”, ανακτήθηκε από Encyclopedia Britannica:
<https://www.britannica.com/technology/brig-ship>

[38] <https://cdn.britannica.com/95/145795-050-E1FC09A6/US-Brig-Niagara-brig-Put-in-Bay-Ohio-War-1812.jpg?w=400&h=300&c=crop>

[39] <https://www.dreamstime.com/cesenatico-emilia-romagna-italy-historic-sailing-boats-cesenatico-emilia-romagna-italy-february-port-canal-designed-image109625677>

[40] Hydrofoil sailing boats in the moth class sailing world championships changed the America's Cup forever, 2019, Tom Wildie, ανακτήθηκε από:
<https://www.abc.net.au/news/2019-11-30/how-moth-class-hydrofoil-sailing-boats-rocked-americas-cup/11748064>

[41] Foiling is Becoming a Sailing Style For All, 2018, CHRIS MUSELER, ανακτήθηκε από:
<https://www.sailmagazine.com/multihulls/foiling-is-becoming-a-sailing-style-for-all>

[42] Catamaran, ανακτήθηκε από Wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Catamaran>

[43] <https://www.ncp-charter.com/documents/Catamaran-big.jpg>

- [44] <https://hellas-yachting.com/hemisphere/>
- [45] Boat Review: Neel 47, 2020, CHARLES J. DOANE, ανακτήθηκε από:
<https://www.sailmagazine.com/boats/boat-review-neel-47>
- [46] <https://rapidotrimarans.com/wp-content/uploads/2021/09/Rapido-60.jpg>
- [47] Lawrence C. Bank, Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials (Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons) ανακτήθηκε από:
<https://toaz.info/doc-view-2>
- [48] Ειδικά Κεφάλαια Ναυπηγικών Υλικών, P14 Composites, Ιακωβίδης, Ι. (2018b)
- [49] Ειδικά Κεφάλαια Ναυπηγικών Υλικών, P12 Polymers I Structure and Properties, Ιακωβίδης, Ι. (2018a)
- [50] The Fundamentals of Fiberglass
<https://www.fibreglast.com/product/the-fundamentals-of-fiberglass>
- [51] Boat Building Basics: Fiberglass, Resin, Composites And Cores, by Lenny Rudow (8 Feb 2022) ανακτήθηκε από:
<https://www.boats.com/how-to/boat-building-construction-resin-fiberglass-cores/>
- [52] Η συντήρηση του σκάφους, Νίκος Νικολόπουλος, Εκπαιδευτής Ιστιοπλοΐας, ανακτήθηκε από:
<https://www.sailingschool.gr/arthra/14-h-sunthrhsh-tou-skafous>
- [53] <https://www.dafnisyachts.com/>
- [54] <https://takis-boatyard.com/images/services/6.jpg>
- [55] <https://www.bsg.com.gr/shipyard/dry-docking>
- [56] <https://www.facebook.com/ILoveAlimos/photos/a.1286190238191871/1815979205212969/?type=3>
- [57] https://www.mononews.gr/wp-content/uploads/2020/11/201114195558_kaikia-tarsanas.jpg
- [58] <https://www.paints-mihopoulos.gr/cache/files/1767df6d6a526e0f1e3ccde9706125585cf2778e.png>
- [59] <https://www.meltemi-yachting.gr/wp-content/uploads/2017/11/sxediasmos.jpg>
- [60] <https://www.meltemi-yachting.gr/wp-content/uploads/2017/11/armatosies.jpg>
- [61] <https://www.meltemi-yachting.gr/service/maintenance/>
- [62] EPIRB. Τι είναι και πως λειτουργεί, ανακτήθηκε από:
<http://www.iason-club.gr/ell/product/EPIRB.-Ti-einai-kai-pos-leitoyrgei.>

[63] <https://nova-yachting.nl/sites/default/files/Beneteau%20Oceanis%2046.1%20-%20E-Book.pdf>

[64] <https://sailboatdata.com/sailboat/oceanis-461-beneteau-1>

[65] <https://www.theyachtcollective.co.nz/beneteau-oceanis-46-1/>

[66] <https://www.charter-greece.com/en/sailing-yachts/oceanis-46-1-3-cab-gwennili-owners-version-2859312900000101135/>

[67] https://www.google.com/search?q=oceanis+beneteau+46.1+sketch&sxsrf=ALiCzsawc0umxvHEl24RPPcNNafHSJ3XHg:1662369967864&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiNxq3bqv35AhWWPewKHYUtDfMQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1309&bih=648&dpr=1.1

[68] What Sail Dimensions are Required to Calculate Sail Areas?, ανακτήθηκε από: https://www.google.com/search?q=sail+dimensions+i+j+p+e&tbm=isch&hl=el&chips=q:sail+dimensions+ijpe.online_chips:sail+area:bGPdMHB-GMY%3D&sa=X&ved=2ahUKEwihh5ve0_v6AhXRyqQKHbUcDZ4Q4lYoBXoECAEQAg&biw=1309&bih=647#imgc=rWsSSbtxnCizEM