

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

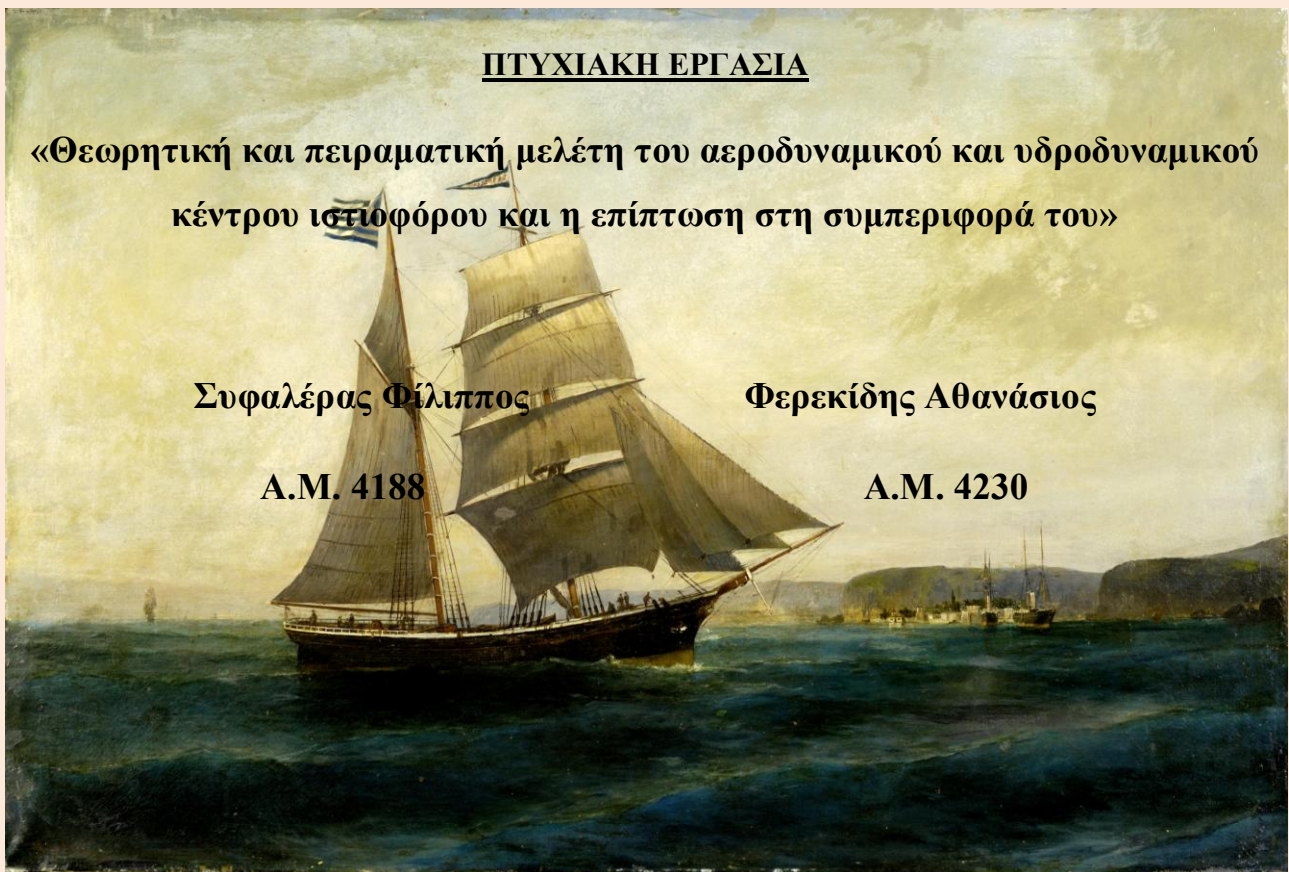
«Θεωρητική και πειραματική μελέτη του αεροδυναμικού και υδροδυναμικού κέντρου ιστιοφόρου και η επίπτωση στη συμπεριφορά του»

Συφαλέρας Φίλιππος

Φερεκίδης Αθανάσιος

A.M. 4188

A.M. 4230



Εισηγητής: Καθηγητής Τσορμπατζίδης Ανέστης

Μηχανιώνα 2015

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 (Γενικές πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία)	
1. Γενικές πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (Γενικά στοιχεία αεροδυναμικής ιστιοφόρου πλοίου)	
2. Γενικά στοιχεία αεροδυναμικής ιστιοφόρου πλοίου).....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (Οι δυνάμεις αέρα και πως αυτές επενεργούν στα πανιά)	
3. Οι δυνάμεις αέρα και πως αυτές επενεργούν στα πανιά.....	18
3.1. Θεωρήματα Bernoulli και Venturi.....	18
3.2. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πανί	19
3.3. Λειτουργία μαϊστρας (κεντρικό τρίγωνο πανί)	23
3.4. Φαινόμενος άνεμος	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 (Η υδροδυναμική του σκάφους)	
4. Η υδροδυναμική του σκάφους.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (Ισορροπία ιστιοφόρου σκάφους)	
5. Ισορροπία ιστιοφόρου σκάφους	36
5.1. Συνθήκη ισορροπίας	36
5.2. Ευστάθεια ιστιοφόρου	36
5.3. Αεροδυναμικό και υδροδυναμικό κέντρο.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 (Πειραματική διαδικασία)	
6. Πειραματική διαδικασία	41
6.1. Εισαγωγή	41
6.2. Πειραματικά δεδομένα και ανάλυση.....	44
6.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 (Ένθεμα για τα «Καταμαράν»)	
7. Ένθεμα για τα «Καταμαράν».....	46

7.1 Το «Καταμαράν»	46
7.2. Καταμαράν και τεχνολογία.....	51
7.3 Το «Τριμαράν»	57

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εστιάζεται στις 2 κύριες κινητήριες δυνάμεις που συντελούν στην κίνηση ιστιοφόρου πλοίου. Την αεροδυναμική και υδροδυναμική. Εξετάζοντας και αναλύοντας αυτές, αρχίζουμε να αντιλαμβανόμαστε γιατί αυτές οι δυο δυνάμεις είναι τόσο σημαντικές για τη κίνηση του πλοίου και χάρη σ' αυτές έχουμε ώθηση και επιτάχυνση αλλά ταυτόχρονα ευστάθεια και ισορροπία. Έτσι γίνεται μια πιο εκτενής προσέγγιση στην αεροδυναμική καθώς γίνεται ανάλυση των θεωρημάτων Bernoulli και Venturi. Στη συνέχεια εξετάζεται η υδροδυναμική της γάστρας του πλοίου και γίνεται αναφορά στην καρίνα. Επίσης, αναλύονται οι ενέργειες που εκτελεί και η επίδραση που έχουν αυτές στη ροή του ρευστού κάτω από τη γάστρα του πλοίου. Επιπλέον γίνεται αναφορά στην αντίσταση λόγω της τυρβώδους ροής. Μελετάται η αιτία δημιουργίας της όπως και το πως μας ζημιώνει ενεργειακά. Στο ιστιοφόρο υπάρχουν δύο βασικά κέντρα, το κέντρο πρόσπτωσης (B) και το κέντρο πλευρικής αντίστασης (h), κέντρα αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων αντίστοιχα. Στο τέλος του θεωρητικού μέρους γίνεται αναφορά στη θέση του κέντρου βάρους (G). Επιπλέον γίνονται αναφορές σε ορολογίες όπως ροπή ευστάθειας, κουπαστάρισμα, Lead, όρτσα κ.α.

Το επόμενο και τελευταίο κομμάτι της παρούσας εργασίας είναι το πειραματικό κομμάτι. Στην έκβαση της διαδικασίας αυτής έχουν γίνει μετρήσεις από τις οποίες θα πάρουμε στοιχεία για ανάλυση. Στη συνέχεια ακολουθεί η συζήτηση αποτελεσμάτων βγάζοντας εν τέλη ένα πόρισμα για το πως όντως αυτές οι δυνάμεις επηρεάζουν με τις αλληλεπιδράσεις τους την κίνηση και ευστάθεια του πλοίου.

ABSTRACT

The present final study is focused in the two main motive forces that contribute to the movement of sailing boat which are the aero dynamical and the hydro dynamical forces. By examining and analyzing them, we begin to understand the importance of these forces which have to do with the movement of the boat. More specifically the impulse, the acceleration as well as stability and balance. Bernoulli's and Venturi's theorems become the foundation upon which a coherent approach in the aero dynamics is based on. The final study also touches upon the impact of the turbulent flow, its cause and creation which results in the reduction of the kinetic energy of the sail boat. There are two main dynamic centers, the incident center (B) and the center of lateral resistance (H), centers of aero dynamics and hydro dynamics respectively as well as a third dynamic center, the center of weight (G). The report includes terms such as moment, stability, "koupastarisma", Lead, "Ortsa" etc.

The last but not least stage of this final study is the practical part. Measurements were taken that serve as elements for analysis. The results are discussed with emphasis on the way in which these forces interact and affect the sailing boat.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Τσορμπαζίδη Ανέστη κυρίως για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του όπως επίσης και για την εμπιστοσύνη και υπομονή που μου έδειξε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στον δάσκαλο της ιστιοπλοΐας μου κ . Απόστολο Αθανασιάδη για τη πολύτιμη γνώση που μου μετέδωσε καθ'όλη τη διάρκεια που ήμουν εκπαιδευόμενος στη σχολή του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε για ακόμα μια φορά σ αυτό που ήθελα να κάνω και ήταν δίπλα μου όποτε τους χρειάστηκα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για τους περισσότερους ανθρώπους το ιστιοφόρο είναι άλλο ένα σκάφος με τη μόνη διαφορά ότι η κινητήρια δύναμη είναι τα ιστία. Στην πράξη δεν είναι ακριβώς έτσι. Υπάρχουν πολλές παράμετροι που παίζουν το δικό τους ρόλο στην κίνηση, στις επιδόσεις, αλλά κυρίως στην ομαλή πλεύση ενός σκάφους που κινείται με τα πανιά του. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τους δυο σημαντικότερους παράγοντες, στους οποίους βασίζεται ένα ιστιοφόρο όταν ταξιδεύει. Την αεροδυναμική των πανιών του και την υδροδυναμική της γάστρας του, παράμετροι που θα εξεταστούν στα παρακάτω κεφάλαια.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, θεωρητική και πειραματική, του αεροδυναμικού και υδροδυναμικού κέντρου ιστιοφόρου πλοίου και ο τρόπος με τον οποίον επιδρά στη συμπεριφορά του.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχους:

- Να καταδείξει τη σημαντικότητα των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν την πλεύση ενός ιστιοφόρου πλοίου.
- Να αναλύσει την επίδραση των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων στο κέντρο βάρους ενός ιστιοφόρου πλοίου.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων ακολουθείται η ανάπτυξη του θέματος της εργασίας στα παρακάτω κεφάλαια.

Στο «Κεφάλαιο 1: Γενικές πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία» παρατίθεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή, στην οποία περιγράφονται τα στάδια ανάπτυξης της κατασκευής των ιστιοφόρων πλοίων από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα, καθώς και η συμβολή τους στην οικονομία και την ιστορική εξέλιξη των κοινωνιών. Γίνεται επίσης αναφορά στα βασικά εκείνα στοιχεία, τα οποία διακρίνουν τα ιστιοφόρα από τις άλλες κατηγορίες σκαφών.

Στο «Κεφάλαιο 2: Γενικά στοιχεία αεροδυναμικής και υδροδυναμικής ιστιοφόρου πλοίου» της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια γενική αναφορά στην αεροδυναμική και την υδροδυναμική ενός ιστιοφόρου πλοίου και συγκεκριμένα η ανάλυση των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων στο επίπεδο πλεύσης τους.

Κατόπιν, στο «Κεφάλαιο 3: Οι δυνάμεις αέρα και πως αυτές επενεργούν στα πανιά» όπου μέσω μελέτης θεμελιώδων νόμων αεροδυναμικής εξηγείται το πως ο αέρας αξιοποιείται ως προωθητική δύναμη. Και Στο «Κεφάλαιο 4: Η υδροδυναμική του σκάφους» γίνεται μια αναλυτικότερη προσέγγιση της υδροδυναμικής του ιστιοφόρου πλοίου, με βάση τους νόμους της Φυσικής που διέπουν την κίνησή του.

Το «Κεφάλαιο 5: Ισορροπία ιστιοφόρου πλοίου» αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο του θεωρητικού μέρους της εργασίας μια προσπάθεια ανάλυσης και επεξήγησης της σημασίας του αεροδυναμικού και υδροδυναμικού κέντρου του ιστιοφόρου πλοίου, με βάση όλα τα προηγούμενα.

Στη συνέχεια «Κεφάλαιο 6: Πειραματικό μέρος» γίνεται περιγραφή της πειραματικής διάταξης και διαδικασίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται, αναλύονται και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γραφημάτων, την εξαγωγή συμπερασμάτων και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Τέλος «Κεφάλαιο 7. Ένθεμα για τα «Καταμαράν»» γίνεται αναφορά σε ένα από τα πιο σύγχρονα σχέδια πλεούμενων μέχρι σήμερα, σχολιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους έναντι των μονοκάρινων καθώς και τις νέες τάσεις που τα αφορούν βάση του σχεδίου τους, της χρήσης τους κ.τ.λ.

1. Γενικές πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία

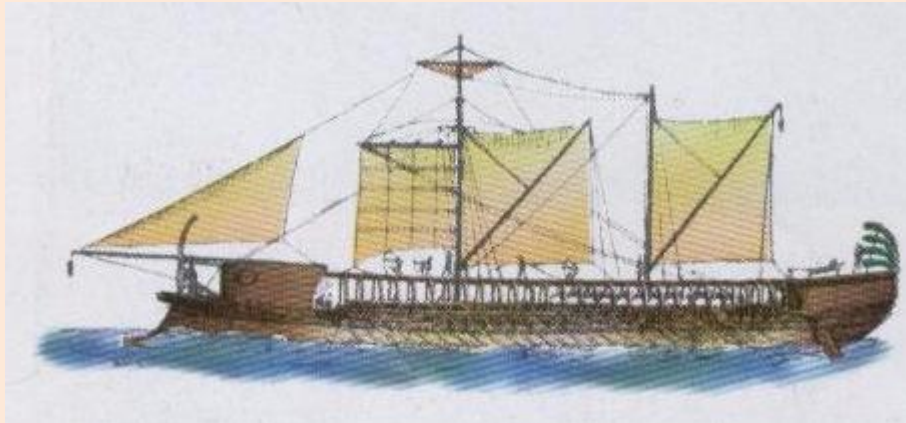
Το ιστιοφόρο είναι ένα πλοίο που ως μοναδικό μέσο πρόωσης έχει τον άνεμο πάνω στα πανιά του (ιστία), χωρίς να αποκλείεται η ύπαρξη μηχανής. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO, ιστιοπλοϊκό μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε σκάφος έχει τα παραπάνω χαρακτηριστικά και ικανοποιεί τη σχέση: $A_s > 0.07 \cdot (m_{LDC})^2/3$, όπου A_s η συνολική επιφάνεια της ιστιοφορίας αποτελούμενη από το πρωραίο και το κυρίως τρίγωνο, ενώ m_{LDC} το εκτόπισμα του σκάφους σε kg στην Full Load Departure κατάσταση.

Ανάλογα με τη τοποθέτηση των πανιών πάνω στο πλοίο προκύπτουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες ιστιοφόρων. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται η «σκούνα», η «μπομπάρδα» κ.α. Είναι τα πλοία που έχουν τοποθετημένα τα πανιά τους κατά τη γραμμή της καρίνας του πλοίου και μ' αυτόν τον τρόπο τους επιτρέπεται η πλεύση σε πορείες μέχρι και σχεδόν αντίθετες με τον άνεμο (εγγυτάτη). Σ αυτή την κατηγορία τα πανιά ονομάζονται λατίνια, αυτιά, μπούμες και ψάθες. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν η «φρεγάτα», ο «δρόμων», το «μπρίκι» κ.α. Σ' αυτά τα πλοία τα πανιά είναι τοποθετημένα σε κεραίες κάθετες στην καρίνα του πλοίου. Τα πανιά είναι τετράγωνα και επιτρέπουν την πλεύση με άνεμο που φυσάει από πίσω (πρύμα) ή με μικρή γωνία από τα πλάγια. Τέλος, η τρίτη κατηγορία συνδυάζει τις δύο προηγούμενες. Τέτοια πλοία είναι το «μπάρκο», ο «δρόμων ημιολκός» κλπ.

Τα ιστιοφόρα είναι γνωστά από την πρώιμη αρχαιότητα. Στα πρώτα αιγυπτιακά πλοία, η κύρια κινητήρια δύναμη ήταν τα κουπιά. Το πανί χρησίμευε ως βοηθητικό μέσο που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ευνοϊκό άνεμο. Αντίστοιχα και το πλοίο των Βίκινγκς που ονομαζόταν «ντράκαρ», ήταν ένα κωπήλατο σκάφος. Τον 7ο αιώνα μ.Χ. επηρεάστηκε η μορφή των πλοίων εξαιτίας της επαφής του βυζαντινού στόλου με τον αραβικό. Έτσι υιοθετήθηκε το τριγωνικό πανί ενόσω οι κατασκευές των πλοίων άρχισαν να γίνονται πιο ελαφριές και γρήγορες. Τον 13^ο αιώνα τα κωπήλατα πλοία γνώρισαν τη μεγαλύτερη εξέλιξη τους κάτι που μας φέρνει στον 16^ο αιώνα, όπου το πανί έγινε πλέον το βασικότερο μέσο κίνησης των πλοίων. Τα ιστιοφόρα είχαν πλέον την πρώτη θέση μιας και η δυνατότητα τους να πλέουν σ ανοιχτές θάλασσες για μεγάλο χρονικό διάστημα, η μεγάλη τους χωρητικότητα σε πυρομαχικά και τρόφιμα, όπως και η μεγαλύτερη ταχύτητα τους συντελούσαν στην αισθητή υπεροχή τους για εκείνη την εποχή.

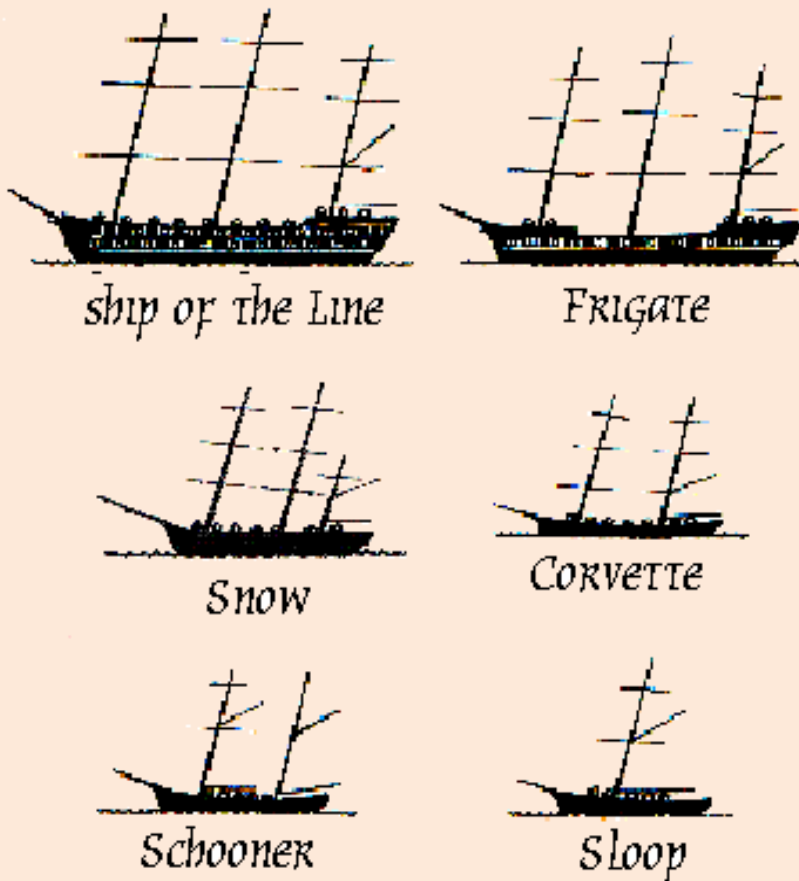
Στην αρχαία Ελλάδα ιστιοφόρα ήταν μόνο τα εμπορικά πλοία που ονομάζονταν «κοίλα» (Εικόνα 1). Τα πλοία αυτά είχαν τα πανιά σαν κύριο μέσο πρόωσης και κουπιά σαν βοηθητικό μέσο. Από το 17ο αιώνα τα κωπήλατα πλοία, εμπορικά και πολεμικά, εγκαταλείπονται και επικρατούν τα ιστιοφόρα. Οι πιο τελειοποιημένοι τύποι ποντοπόρων πλοίων δημιουργήθηκαν στα μέσα του 19ου αιώνα. Τα ιστιοφόρα αυτά είχαν τρία ή τέσσερα κατάρτια, με μακρόστενο σχήμα και ονομάζονταν «κλίπερ». Στον 20^ο αιώνα, τα ιστιοφόρα περιορίζονται σε συγκεκριμένους τύπους

μικρού μεγέθους πλοίων, όπως πλοία αγώνων, εκπαιδευτικά πλοία, επαγγελματικά, αναψυχής κ.α. Τα πλοία αυτά, όταν το μέγεθος τους το επιτάσσει, διαθέτουν μια μηχανή για ασφάλεια ή για πλεύση με μεγαλύτερη ταχύτητα.



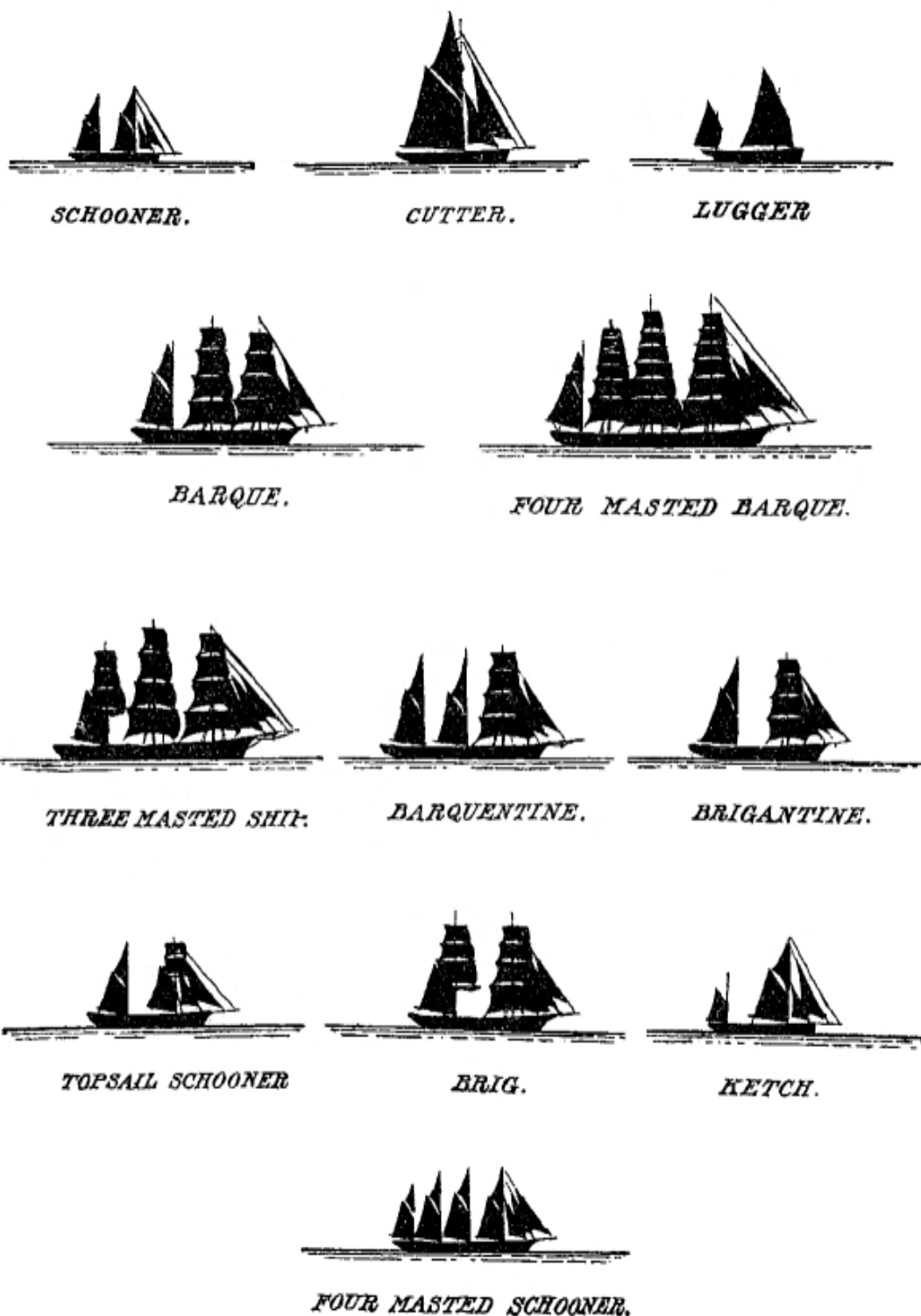
Εικόνα 1.1. Ιστιοφόρο πλοίο στην αρχαία Ελλάδα.

COMPARATIVE SIZES OF SHIPS



Εικόνα 1.2. Διάφορα μεγέθη ιστιοφόρων πλοίων.

TYPES OF SAILING SHIPS



Εικόνα 1.3. Διάφοροι τύποι ιστιοφόρων πλοίων

Φτάνοντας στον 21^ο αιώνα η τεχνολογία πάνω στα ιστιοφόρα πλοία έχει εξελιχθεί πολύ μιας και ο άνθρωπος μέσα στο πέρας όλου αυτού του χρόνου, από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα,

κατάφερε να αναλύσει και να κατανοήσει πλήρως την κίνηση ενός ιστιοφόρου. Έτσι καθώς η τεχνολογία εξελίχθηκε θα δούμε μια ακόμα κατηγορία ιστιοφόρων πλοίων που θα μας απασχολήσει στο τελευταίο κεφάλαιο, τα πολυκάρινα μεσα στα οποία εντάσσονται τα «Καταμαράν» και τα «Τριμαράν» τα οποία ως ιδιαίτερο χαρακτηριστικό έχουν τη διπλή η και τριπλή γάστρα-καρίνα αντί για τη μονή που είχαμε συνηθίσει μέχρι τώρα και το σχήμα του το βλέπουμε στις εικόνες 1.3





Εικόνες 1.3. Ιστιοφόρο πλοίο «Καταμαράν»



Εικόνα 1.4. Ιστιοφόρο πλοίο «Τριμαράν»

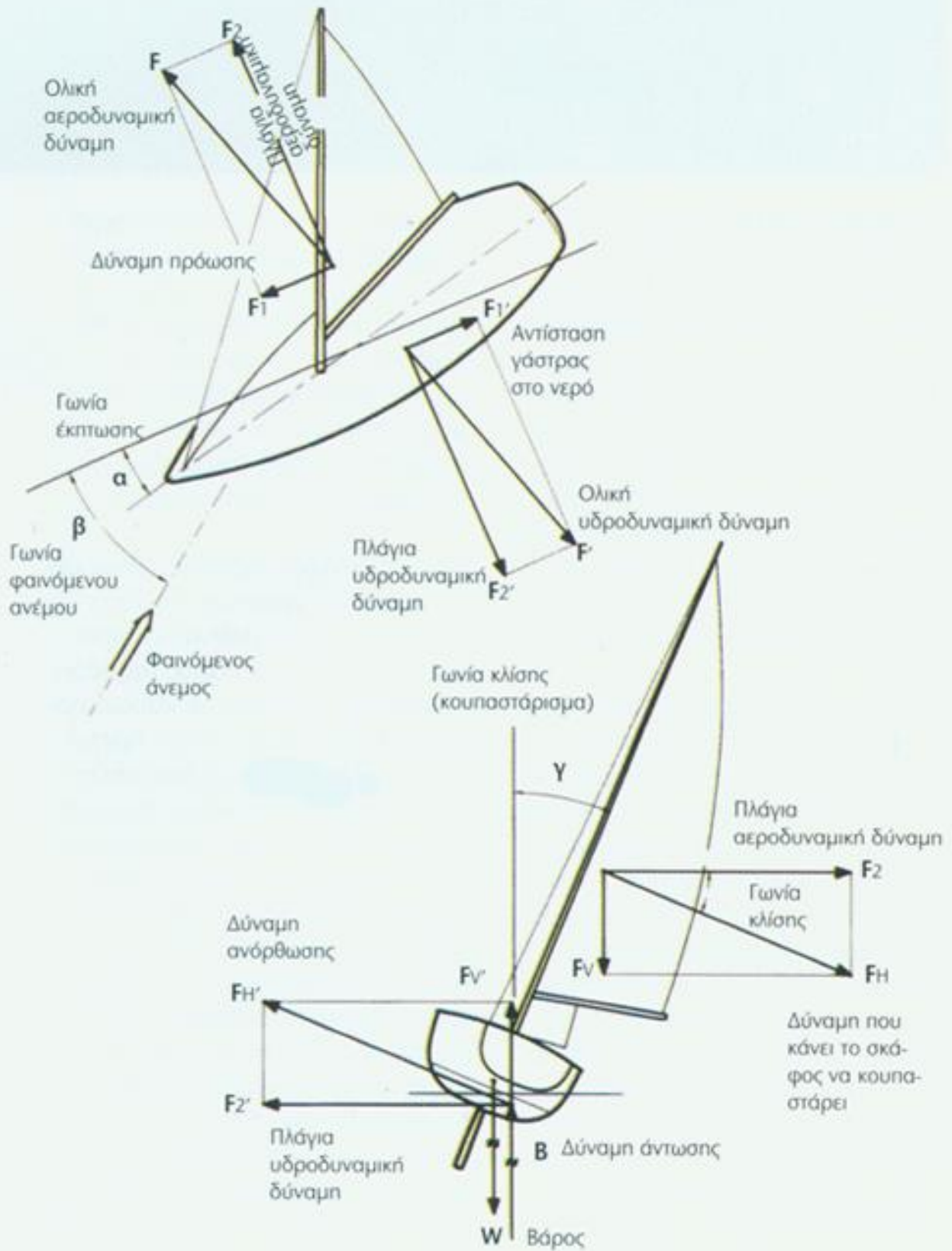
Έτσι μπορούμε εύκολα να δούμε ότι τα ιστιοφόρα πλέον είναι ναυπηγήματα που μπορούν να έχουν πρόσβαση σε στοιχεία όπως ευκινησία ταχύτητα χωρητικότητα ασφάλεια διασκέδαση και όλες τις ανέσεις που μπορεί να δώσει ένα μεταφορικό μέσο θαλάσσης.

2. Γενικά στοιχεία αεροδυναμικής και υδροδυναμικής ιστιοφόρου πλοίου

Όταν το ιστιοφόρο ταξιδεύει κυρίως βασίζεται στην υδροδυναμική της γάστρας του και στην αεροδυναμική των πανιών του, κάτι που το καθιστά ως ένα πολύπλοκο ναυπήγημα μιας και η μελέτη πρόωσης του, εκτός από τη γάστρα του, περιλαμβάνει και τα πανιά του. Με σκοπό να ερευνήσουμε τις δυο αυτές δυνάμεις θα πρέπει να τις ορίσουμε πρώτα ως προς τις επιπτώσεις που έχουν οι κάθε μια απ' αυτές ξεχωριστά πάνω στο ιστιοφόρο και πως αυτές το βοηθούν να κινηθεί.

Η αεροδυναμική της ιστιοφορίας ευθύνεται για την αποτελεσματικότητα της πλεύσης όπως και για την δύναμη πρόωσης που αναπτύσσεται με τη σωστή χρήση των πανιών του, σε συνάρτηση με τον άνεμο. Ενώ η υδροδυναμική της γάστρας ευθύνεται για την ισορροπία των δυνάμεων που επιτρέπουν στο σκάφος την Ευστάθεια και τις επιδώσεις του. Στην Εικόνα 2.1 βλέπουμε τις χαρακτηριστικές αεροδυναμικές δυνάμεις που εξασκούνται στα πανιά του ιστιοφόρου, σε συνδυασμό με τις υδροδυναμικές δυνάμεις της γάστρας του. Η δύναμη F είναι η ολική αεροδυναμική δύναμη, δηλαδή η συνισταμένη των F_1 που είναι η δύναμη πρόωσης και F_2 που είναι η πλάγια αεροδυναμική δύναμη.

Σύμφωνα με την Εικόνα 2.1, η δύναμη F' είναι η ολική υδροδυναμική δύναμη, δηλαδή η συνισταμένη των F_1' που είναι η αντίσταση της γάστρας στο νερό και F_2' που είναι η πλάγια υδροδυναμική δύναμη. Η γωνία α είναι η γωνία έκπτωσης και η γωνία β , η γωνία της πορείας μας με τον φαινόμενο άνεμο. Καθώς το σκάφος κινείται, το νερό δημιουργεί αυτόματα μια αντίσταση προς αυτό. Αυτή η αντίσταση θα πρέπει να εξισορροπηθεί και να υπερνικηθεί, από μια άλλη δύναμη, την προωθητήρια δύναμη που δημιουργείται από τα πανιά (F_1). Αυτή η προωθητήρια δύναμη για να δημιουργηθεί, χρειάζεται μια πλάγια αεροδυναμική δύναμη (F_2) η οποία με τη σειρά της θα πρέπει να εξισορροπηθεί από μια άλλη πλάγια υδροδυναμική, αυτή τη φορά, δύναμη F_2' . Τώρα η F_1' είναι αυτή που δημιουργείται από τη γάστρα του πλοίου καθώς το σκάφος σχίζει το νερό με κάποια μικρή απόκλιση από τη φαινόμενη πορεία. Όπως διαπιστώνουμε οι ροπές των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων που σχηματίζονται εν κινήσει του ιστιοφόρου πρέπει να εξισορροπούνται, ενώ οι αντίστοιχες αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται στο οριζόντιο επίπεδο που αναλύουμε, θα πρέπει να εφαρμόζονται στην ίδια ευθεία.

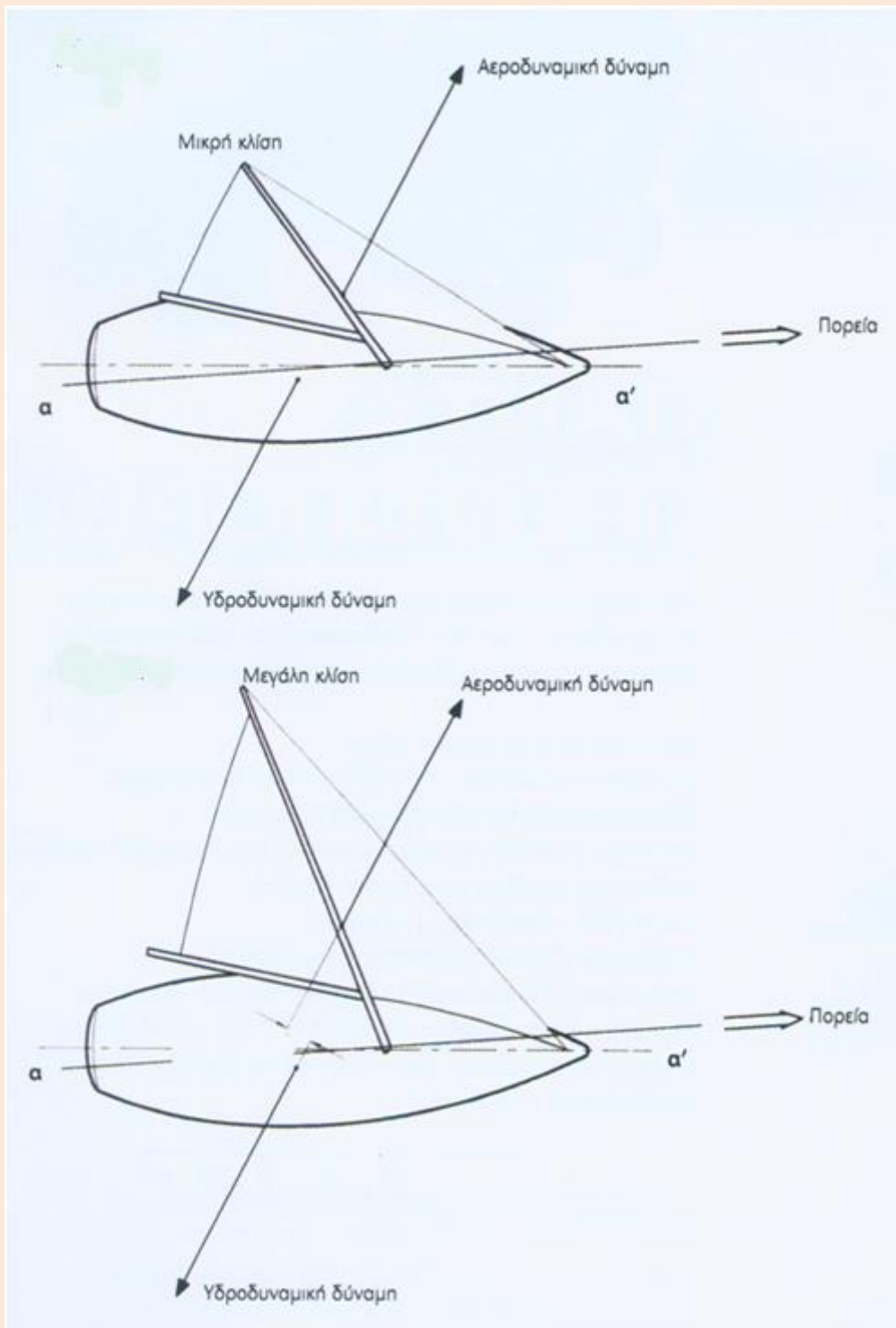


Εικόνα 2.1. Αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις που εξασκούνται στα πανιά και στη γάστρα ιστιοφόρου πλοίου [Πηγή: Ματιάτος (2007)].

Όταν το σκάφος ταξιδεύει, δημιουργείται κάποια αντίσταση από το νερό. Κάτω από συνθήκη ισορροπίας και καθώς το σκάφος ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα, σε κάποια ορισμένη πορεία, η αντίσταση πρέπει να ισορροπηθεί και να ξεπεραστεί από κάποια άλλη δύναμη, την προωθητήρια δύναμη που δημιουργείται από τα πανιά. Δυστυχώς η προωθητήρια αυτή δύναμη (αεροδυναμική δύναμη πρόωσης), δεν μπορεί να δημιουργηθεί χωρίς την ύπαρξη κάποιας πλάγιας δύναμης (πλάγια αεροδυναμική δύναμη), που θα πρέπει στη συνέχεια να εξισορροπηθεί από μια άλλη πλάγια υδροδυναμική δύναμη. Η τελευταία δημιουργείται από τη γάστρα του σκάφους, όταν αυτή σχίζει το νερό με κάποια μικρή απόκλιση από τη φαινόμενη πορεία. Καθώς οι ροπές των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων που σχηματίζονται, πρέπει να εξισορροπούνται για να ταξιδέψουμε, οι αντίστοιχες αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται στο οριζόντιο επίπεδο που εξετάζουμε, θα πρέπει να εφαρμόζονται στην ίδια ευθεία.

Εξετάζοντας τις δυνάμεις κατά τη διεύθυνση της κίνησης του σκάφους. Εύκολα παρατηρήσουμε πως οι συνισταμένες των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων εφαρμόζονται κάθετα στο επίπεδο του καταρτιού. (Αυτό είναι καθαρά μια προσέγγιση της θεωρίας της αεροδυναμικής και υδροδυναμικής του ιστιοφόρου που χρησιμοποιείται πάντα για καλύτερη κατανόηση του θέματος και δεν είναι πάντα σωστή σε πρακτικό επίπεδο).

Αντιλαμβανόμενοι των αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν μεταξύ αυτών των δυνάμεων καταλήγουμε στο πόρισμα μας γιατί αυτές οι δυο δυνάμεις είναι τόσο σημαντικές για το ιστιοφόρο. Αυτές οι δυνάμεις κινούν και επιταχύνουν καθώς επίσης δίνουν ευστάθεια και ισορροπία βοηθώντας έτσι στη περαίωση της πορείας μας (Εικόνα 2.2).



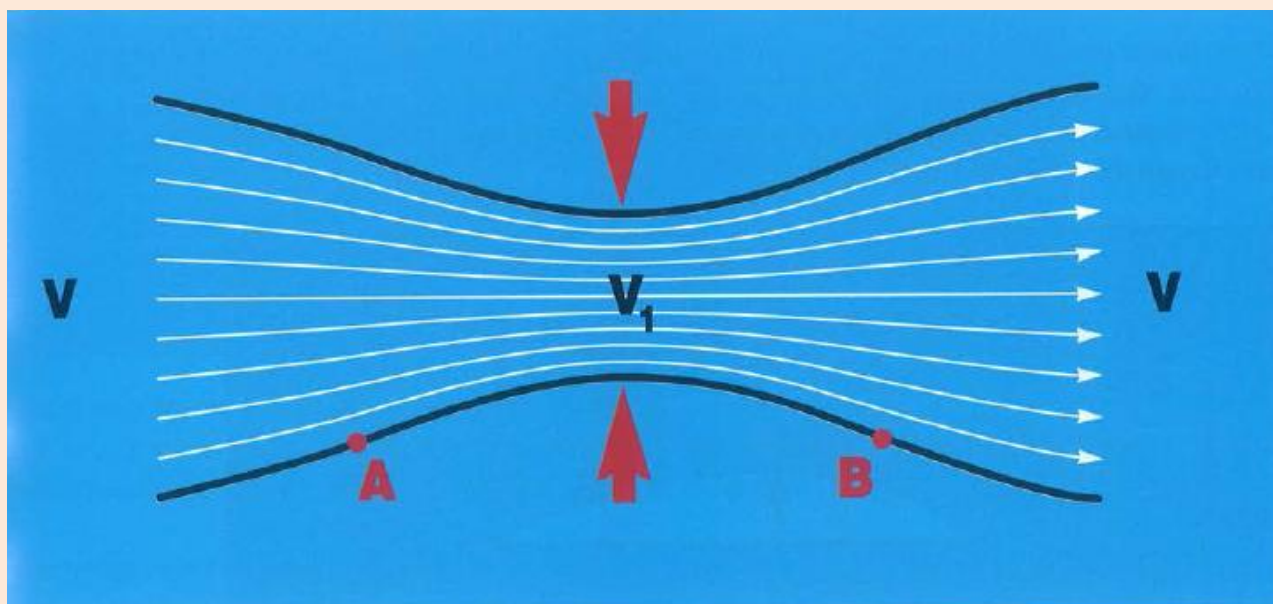
Εικόνα 2.2. Αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις σε σχέση με την πορεία ιστιοφόρου πλοίου [Πηγή: Ματιάτος (2007)].

3. Οι δυνάμεις αέρα και πως αυτές επενεργούν στα πανιά

3.1. Θεωρήματα Bernoulli και Venturi

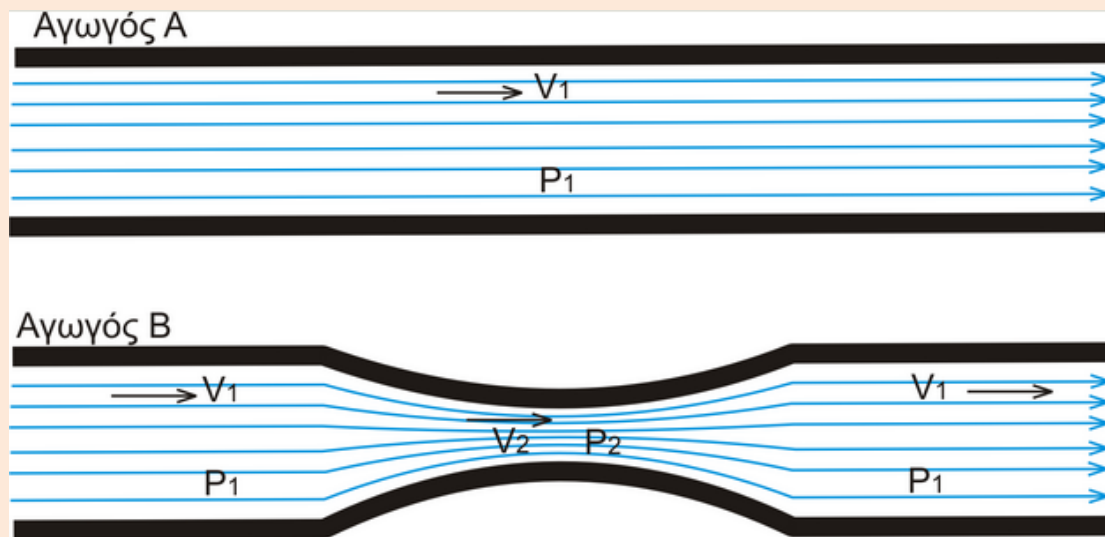
Για τη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του πανιού θα αναφερθούμε στους παρακάτω θεμελιώδεις νόμους της αεροδυναμικής.

Όταν ένα ρευστό, όπως ο αέρας, κινείται σε έναν αγωγό με ταχύτητα v και συναντήσει μικρότερη διατομή κατά τη διάρκεια της κίνησής του, αναγκάζεται να κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα ($v_1 > v$). Το φαινόμενο αυτό, το οποίο περιγράφεται και στην Εικόνα 3.1, ονομάζεται φαινόμενο Venturi, από το όνομα του επιστήμονα που το εξέτασε για πρώτη φορά.



Εικόνα 3.1. Το φαινόμενο Venturi [Πηγή: Στρούζας (2010)].

Μέσα σ' ένα αγωγό που ρέει κάποιο ρευστό, η ταχύτητα του (v) είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του αγωγού. Επομένως όταν η διάμετρος του αγωγού ελαττώνεται σε συγκεκριμένο σημείο (δηλαδή πυκνότερη ροή) η ταχύτητα του ρευστού θα αυξάνει. Σύμφωνα με το θεώρημα του Bernoulli, το οποίο ταυτίζεται με την αρχή διατήρησης της ενέργειας των ρευστών, η ταχύτητα ροής τους είναι αντιστρόφως ανάλογη της πίεσης (Εικόνα 3.2).

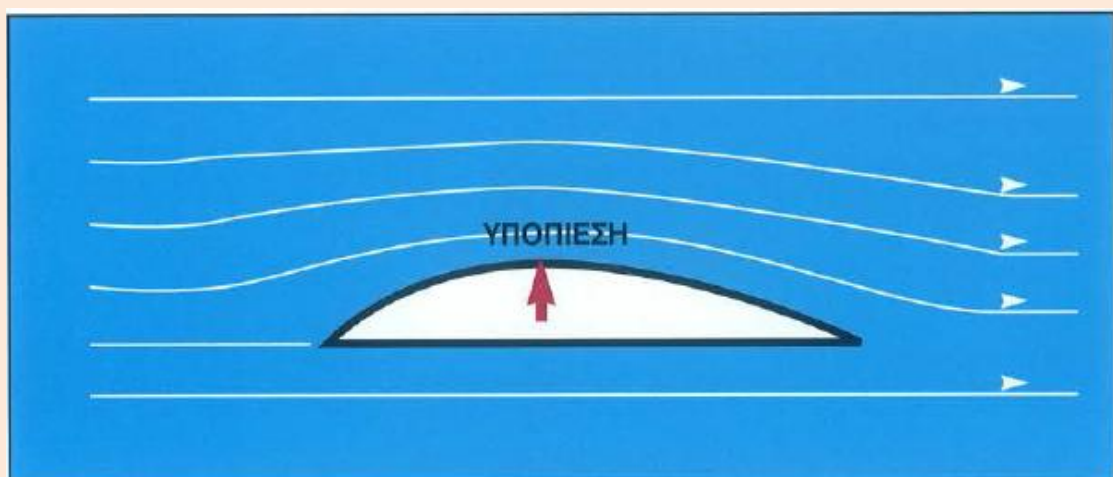


Εικόνα 3.2. Το θεώρημα Bernoulli [Πηγή: Στρούζας (2010)].

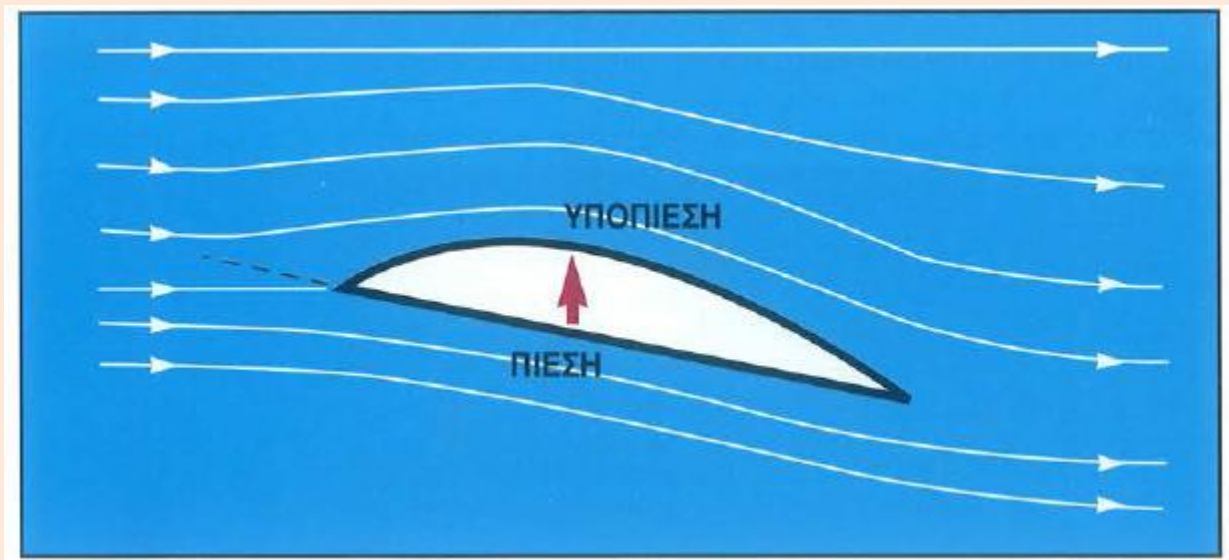
Συνεπώς, όταν σε ένα ρευστό πυκνώνει η ροή του, η πίεση του ελαττώνεται και αντιστρόφως. Έτσι με την εφαρμογή των νόμων αυτών στο πανί, επιτυγχάνεται η κίνηση του ιστιοφόρου.

3.2. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πανί

Όπως είδαμε και στην παράγραφο 3.1, εάν ένα αεροδυναμικό σχήμα τοποθετηθεί σε ελεύθερη ροή, τότε η ταχύτητα του ρευστού μεγαλώνει στην κυρτή του μεριά, δηλαδή στην πάνω μεριά όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3. Σύμφωνα με το Bernoulli, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η πίεση στη μεριά αυτή, να δημιουργηθεί δηλαδή υποπίεση. Εάν το αεροδυναμικό σχήμα τοποθετηθεί με κάποια μικρή κλίση ως προς τη ροή του αέρα, παρατηρείται ότι στο κάτω τμήμα (σοφράνο) ο αέρας εξασκεί πίεση, ενώ στο πάνω μέρος (σταβέντο), ο αέρας λόγω της υποπίεσης θα έλκει (Εικόνα 3.4).

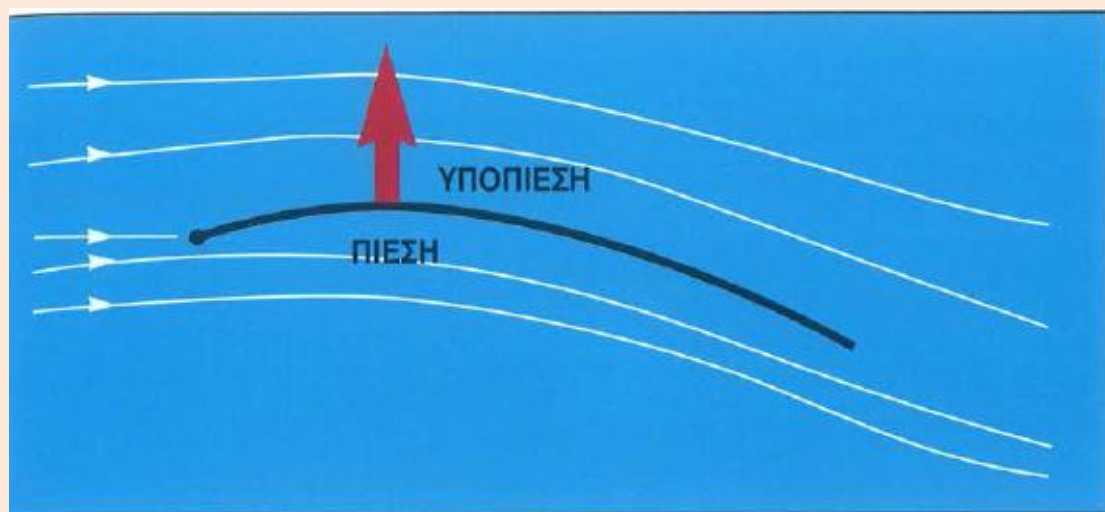


Εικόνα 3.3. Δημιουργία υποπίεσης σε ευθύγραμμη ροή [Πηγή: Στρούζας (2010)].



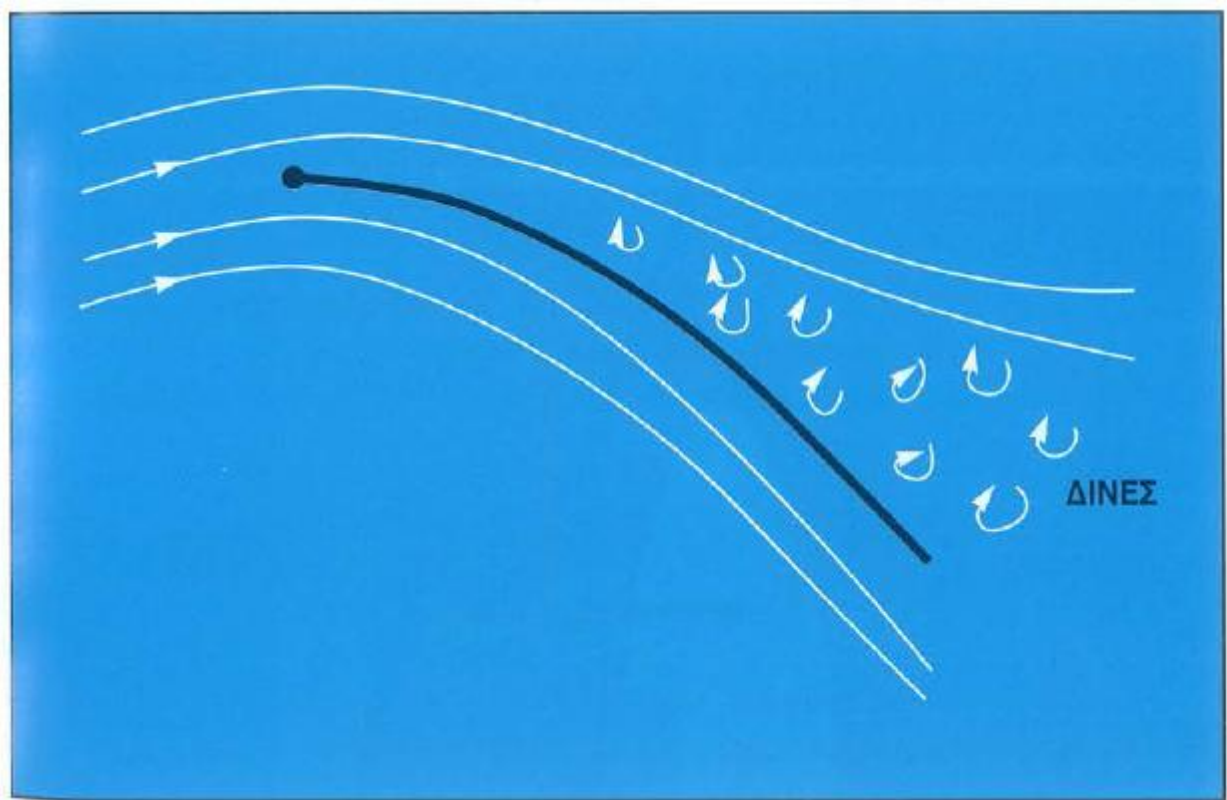
Εικόνα 3.4. Δημιουργία υποπίεσης σε ροή υπό κλίση.

Το πανί αποτελεί και αυτό αεροδυναμικό σχήμα. Όταν, λοιπόν, τοποθετηθεί σε κάποια γωνία ως προς τη ροή του ανέμου, στην υπήνεμη μεριά του (σταβέντο) δημιουργείται υποπίεση, ενώ στην προσήνεμη μεριά του (σοφράνο) δημιουργείται πίεση (Εικόνα 3.5). Σημειώνεται, ότι υποπίεση δημιουργείται όταν ο αέρας ακολουθεί τη σταβέντο μεριά του πανιού, χωρίς να αποκολλάται.



Εικόνα 3.5. Δημιουργία υποπίεσης στο πανί [Πηγή: Στρούζας (2010)].

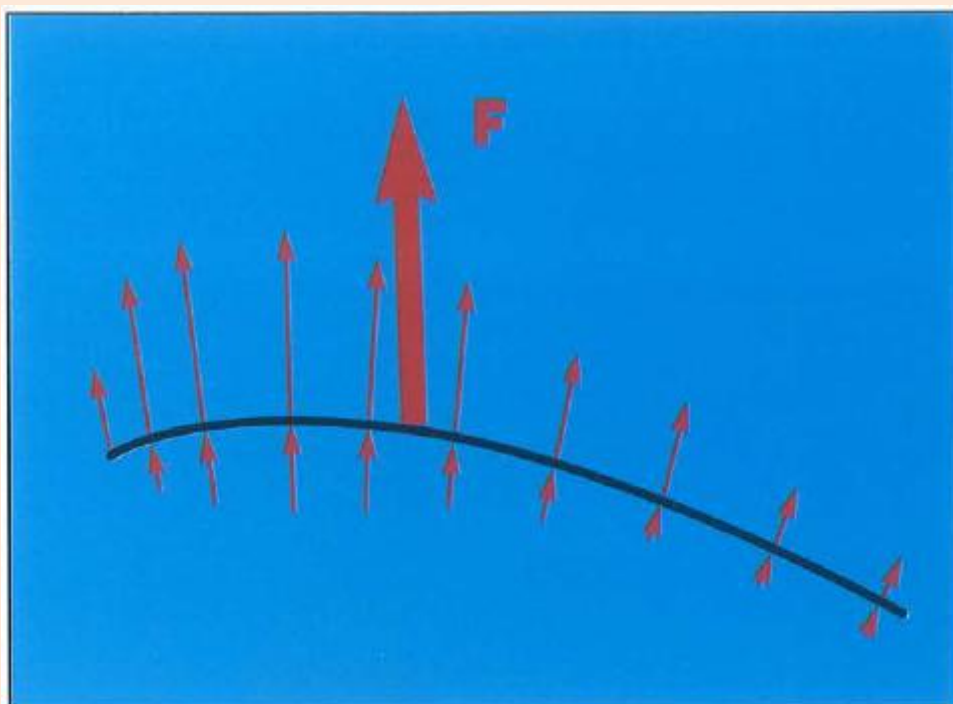
Στην περίπτωση που η κλίση του πανιού ως προς τη ροή του αέρα μεγαλώσει, με οριακό σημείο τις 25°, ο αέρας δεν μπορεί πλέον να ακολουθήσει την καμπύλη. Έτσι αρχίζει σιγά – σιγά να αποκολλάται στη σταβέντο μεριά, δημιουργώντας δίνες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7. Δημιουργία δινών κατά τη ροή αέρα σε πανί [Πηγή: Στρούζας (2010)].

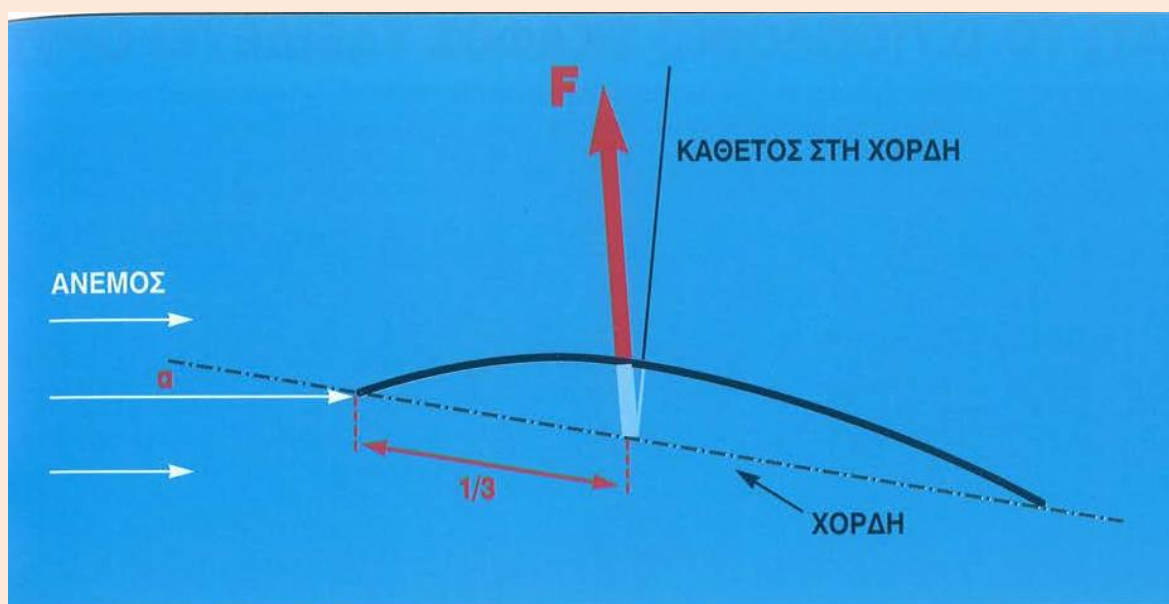
Εξετάζοντας με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις δυνάμεις που οφείλονται στην πίεση και στην υποπίεση παρατηρούμε, με βάση την Εικόνα 3.8, ότι σε κάθε σημείο του πανιού επενεργούν μικρές δυνάμεις πίεσης και υποπίεσης, τοπικά κάθετες προς την επιφάνεια του πανιού. Οι δυνάμεις που επενεργούν στο 1/3 εμπρόσθιο τμήμα του πανιού έχουν τις μεγαλύτερες τιμές, γεγονός στο οποίο οφείλεται κυρίως στο ότι ο αέρας προσκολλάται στην αρχή με μεγάλη επιτάχυνση στο πανί, πριν αρχίσει να αποκολλάται αργότερα. Παρατηρούμε επίσης ότι οι τιμές των δυνάμεων μετά από το 1/3 εμπροστίο τμήμα του πανιού μικραίνουν προοδευτικά, έως ότου μηδενίζονται στην έξοδο του πανιού. Αυτό συμβαίνει λόγω της αποκόλλησης και της δημιουργίας δινών.

Επιπλέον, η συνισταμένη όλων των δυνάμεων (F) θα έχει κάποια κλίση, ανάλογα με την καμπυλότητα του πανιού και τη γωνία προσβολής, προς τα εμπρός. Η κλίση αυτή οφείλεται στο ότι οι δυνάμεις στο 1/3 μπροστινό τμήμα του πανιού έχουν μεγαλύτερες τιμές.



Εικόνα 3.8. Ανάλυση δυνάμεων λόγω ροής αέρα στο πανί [Πηγή: Στρούζας (2010)].

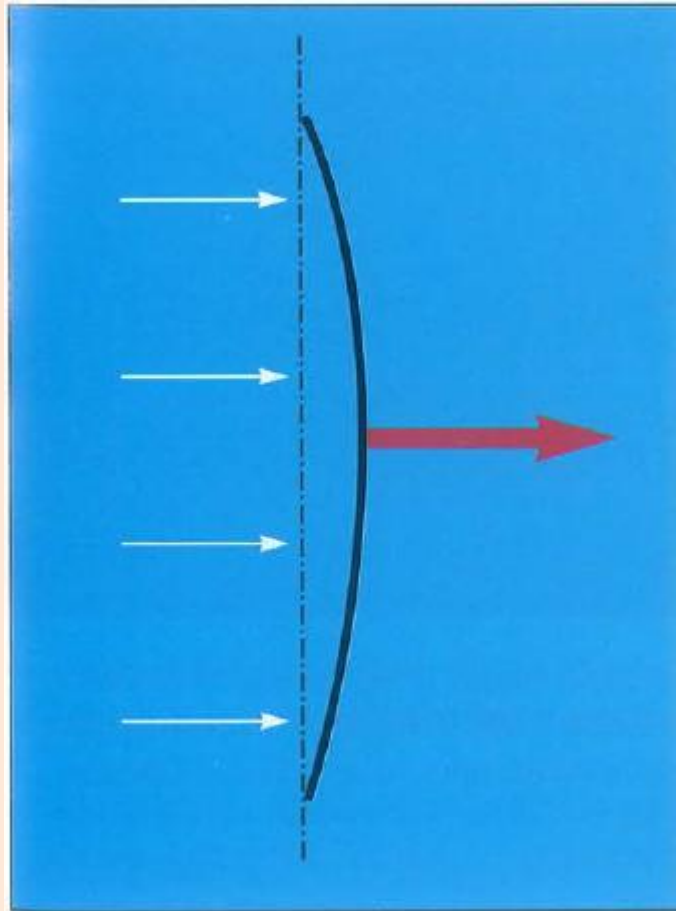
Πρακτικά, λοιπόν, σε μικρές γωνίες προβολής ($\alpha = 12^\circ - 25^\circ$), η δύναμη F θα είναι κάθετη ως προς τη χορδή της αεροτομής, αλλά θα έχει κάποια κλίση προς τα εμπρός (Εικόνα 3.9). Στην περίπτωση αυτή, το σημείο δράσης της θα είναι περίπου στο $1/3$ του μήκους της χορδής από το μπροστινό μέρος της αεροτομής, στο σημείο δηλαδή όπου γίνεται η είσοδος του ανέμου.



Εικόνα 3.9. Παράδειγμα με τυχαία γωνία προβολής $\alpha < 90^\circ$ [Πηγή: Στρούζας (2010)].

Όταν όμως η γωνία προσβολής α αυξηθεί, η δύναμη τείνει να γίνει κάθετη προς τη χορδή, ενώ το σημείο δράσης της μετατοπίζεται προς το μέσον της χορδής. Στην ειδική περίπτωση όπου

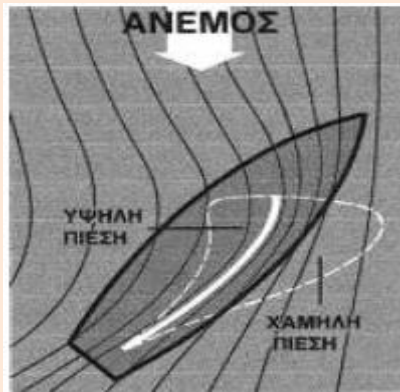
$\alpha = 90^\circ$, όταν δηλαδή ταξιδεύουμε κατάπρυμα, η παραγόμενη αεροδυναμική δύναμη γίνεται κάθετη προς τη χορδή, ενώ το σημείο δράσης της μετατοπίζεται ακριβώς στο μέσον της χορδής. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.10. Παράδειγμα με γωνία προβολής $\alpha = 90^\circ$ [Πηγή: Στρούζας (2010)].

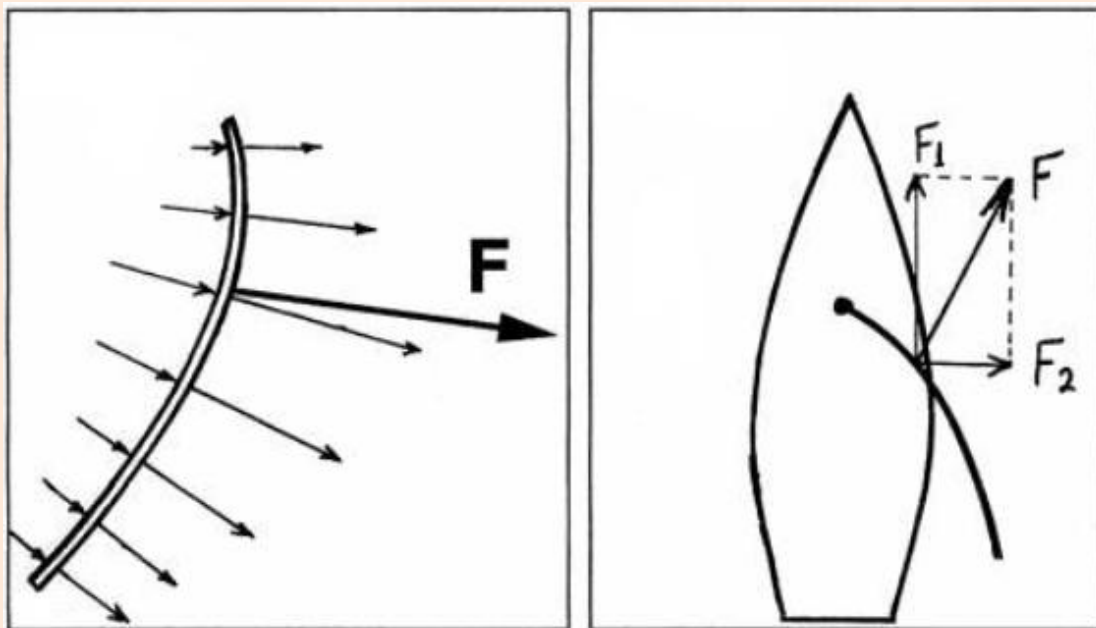
3.3. Λειτουργία μαϊστρας (κεντρικό τρίγωνο πανί)

Δεδομένου ότι η μαϊστρα έχει τοποθετηθεί στη σωστή γωνία ως προς τον άνεμο, προκαλείται πύκνωση της ροής του ανέμου, οπότε και χαμηλή πίεση στη σταβέντο πλευρά (υπήνεμη πλευρά). Όπως φαίνεται και την Εικόνα 3.11, στη σοφράνο πλευρά (προσήνεμη) αντίθετα, προκαλείται αραιώση της ροής του αέρα και συνεπώς αύξηση της πίεσης.

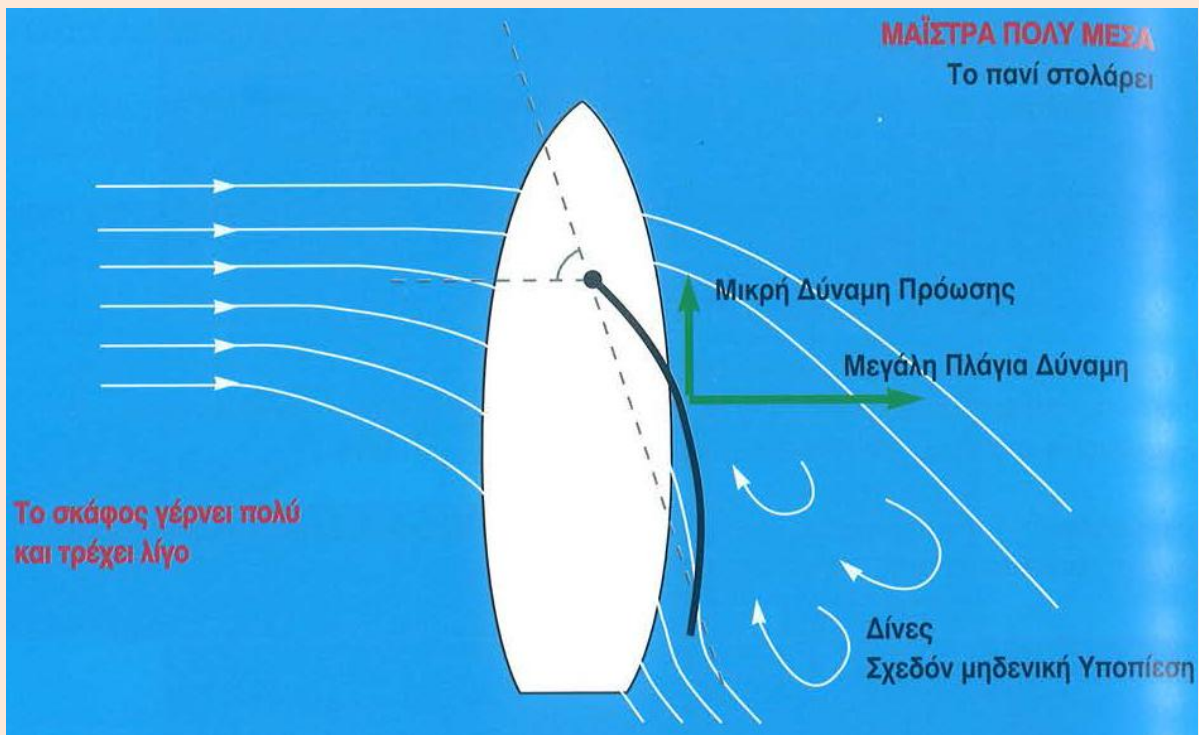


Εικόνα 3.11. Διαφορά πίεσης στη μπίστρα.

Έτσι το πανί, σύμφωνα με την Εικόνα 3.12, δέχεται σε όλη του την επιφάνεια ταυτόχρονα δύο δυνάμεις. Τη δύναμη της πίεσης και της υποπίεσης, δύο δυνάμεις που προστίθενται μεταξύ τους διανυσματικά λόγω της ίδιας φοράς τους με άθροισμα τη συνισταμένη δύναμη F . Αναλύοντας πάλι την F σε δύο συνιστώσες, έχουμε την F_1 (δύναμη πρόωσης) που είναι παράλληλη με τον διαμήκη άξονα του σκάφους κάνοντας την κινητήρια δύναμη του και την F_2 (πλάγια δύναμη) που είναι κάθετη σ' αυτόν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.12. Η F_2 ουσιαστικά εξουδετερώνεται από την καρίνα.

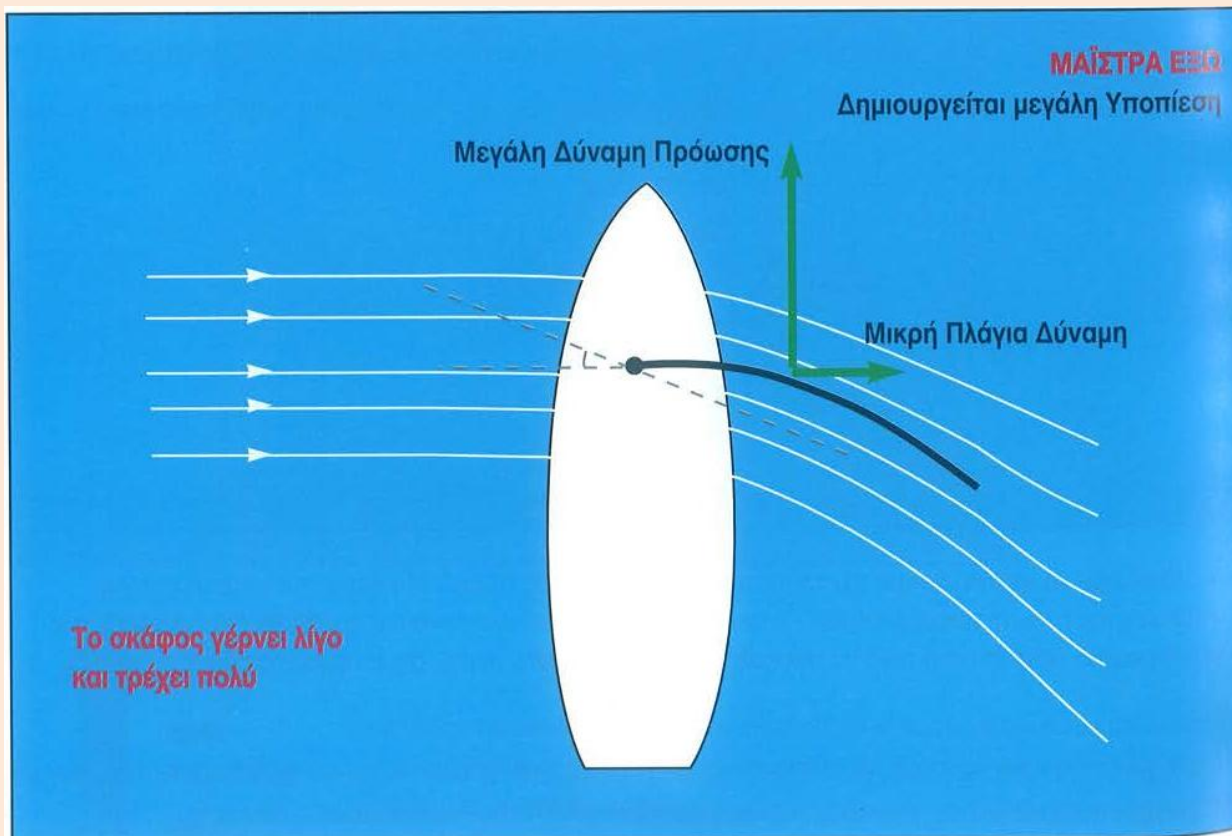


Εικόνα 3.12. Ανάλυση δυνάμεων καρίνας σε αντιστοιχία με την ανάλυση των δυνάμεων του πανιού.



Εικόνα 3.13. Στολάρισμα του πανιού [Πηγή: Στρούζας (2010)].

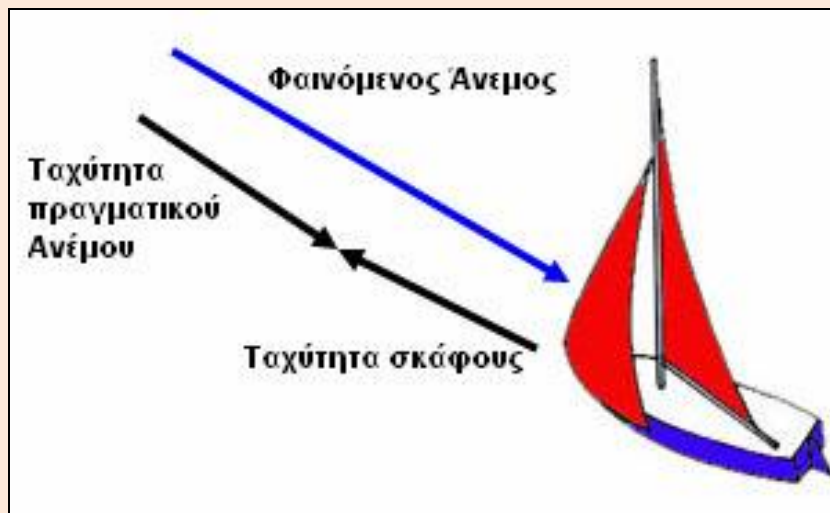
Για να γίνει κατανοητό το στολάρισμα, εξετάζουμε μια απλή περίπτωση πλαγιοδρομίας με τη μαΐστρα μόνο, όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.13 και 3.14. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μικρή δύναμη πρόωσης και μεγάλη πλάγια δύναμη στη μαΐστρα. Οι δίνες που δημιουργούνται είναι σχεδόν μηδενικής υποπίεσης, με αποτέλεσμα το σκάφος να γέρνει πολύ και να πλέει με χαμηλή σχετικά ταχύτητα. Στην Εικόνα 3.14 έχουμε το αντίθετο αποτέλεσμα: το σκάφος γέρνει λίγο και πλέει με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει καθώς στην περίπτωση που η μαΐστρα είναι πολύ έξω δημιουργείται μεγάλη υποπίεση κι έτσι εμφανίζεται μεγάλη δύναμη πρόωσης και μικρή πλάγια δύναμη.



Εικόνα 3.14. Δημιουργία μεγάλης υποπίεσης [Πηγή: Στρούζας (2010)].

3.4. Φαινόμενος άνεμος

Ο φαινόμενος άνεμος είναι αυτός, που αισθανόμαστε πάνω στο σκάφος όταν ταξιδεύουμε. Είναι αυτός, που δίνει στα πανιά μας τον «αέρα» τους για να κινηθεί το ιστιοφόρο. Είναι ο αέρας, που νιώθουμε πάνω στο σκάφος, στο πρόσωπό μας και που διαβάζουμε στο ανεμόμετρο. Ο πραγματικός άνεμος είναι εκείνος που αισθανόμαστε, όταν είμαστε σταματημένοι. Ο φαινόμενος άνεμος είναι μια συνάρτηση του πραγματικού ανέμου και της ταχύτητας, με την οποία ταξιδεύει το σκάφος μας. Οποιαδήποτε αλλαγή κατεύθυνσης του σκάφους ή της διεύθυνσης και δύναμης του πραγματικού ανέμου, επηρεάζει τον φαινόμενο (Εικόνα 3.15).



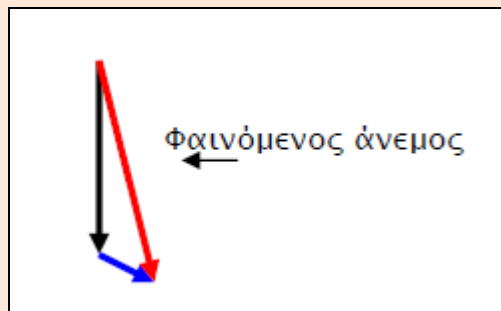
Εικόνα 3.15. Ο φαινόμενος άνεμος ως συνάρτηση του πραγματικού ανέμου και της ταχύτητας σκάφους [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

Αυτά ισχύουν στην περίπτωση που η κατεύθυνση ανέμου και σκάφους είναι στην ίδια γραμμή. Στην περίπτωση που ο άνεμος σχηματίζει γωνία με την πορεία του σκάφους (Εικόνα 3.16), ο φαινόμενος άνεμος υπολογίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα των δύο ανέμων, του πραγματικού και αυτού που δημιουργείται από την κίνηση του σκάφους (Εικόνα 3.17).



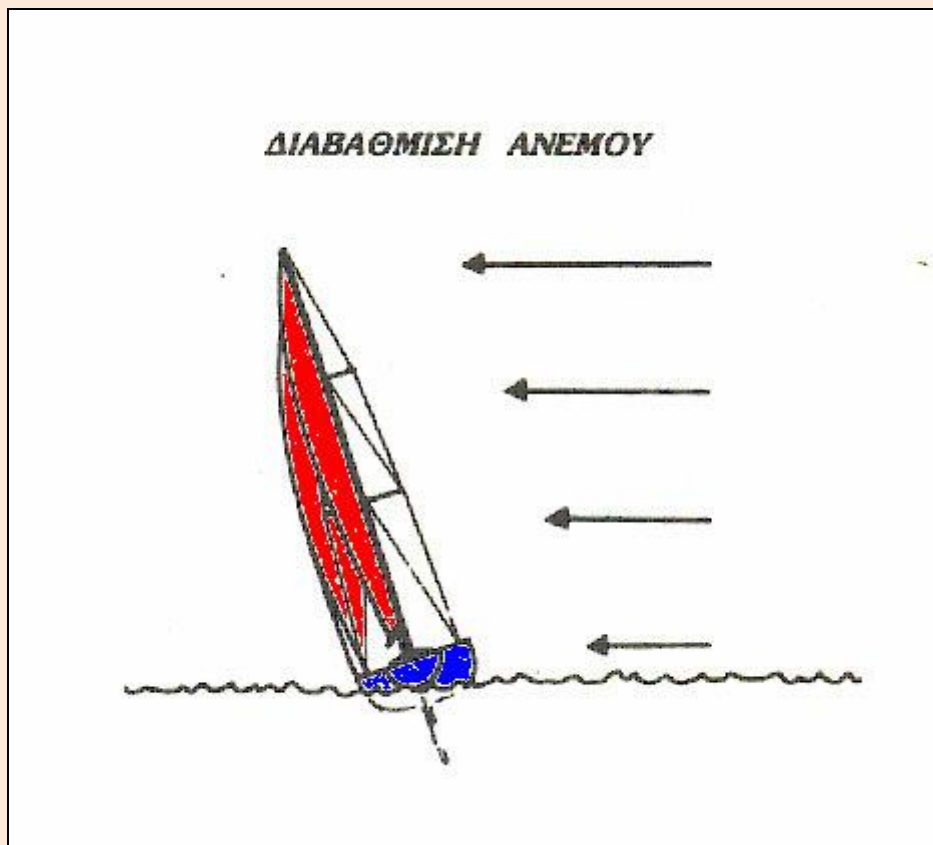
Εικόνα 3.16. Πραγματικός άνεμος υπό γωνία [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

Όπως παρατηρείται από την Εικόνα 3.17, ο φαινόμενος άνεμος είναι μεγαλύτερος σε ένταση από τον πραγματικό, αλλά και με μικρότερη γωνία προς την πορεία του σκάφους. Έρχεται δηλαδή από πιο μπροστά και φαίνεται ότι το σκάφος ταξιδεύει με μικρότερη γωνία ως προς τον πραγματικό άνεμο.



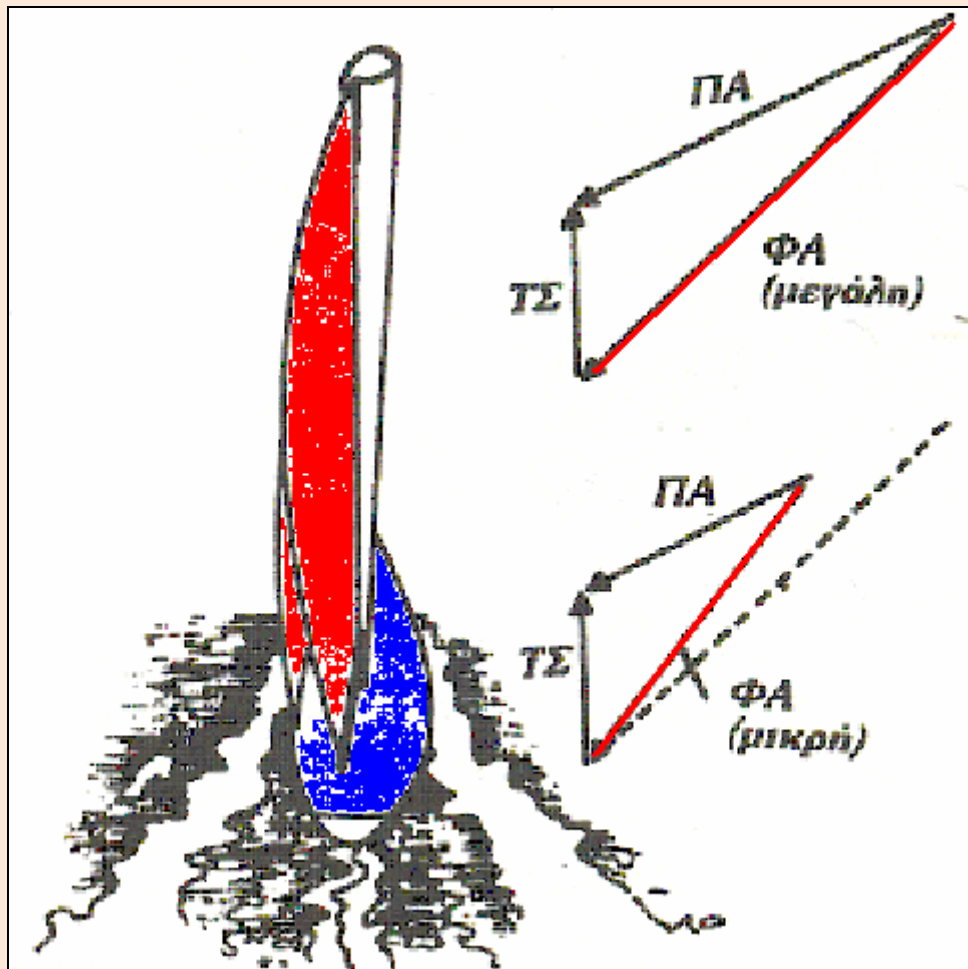
Εικόνα 3.17. Διαφορά έντασης φαινόμενου και πραγματικού ανέμου [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο της αεροδυναμικής του ιστιοφόρου είναι ότι τα χαμηλά στρώματα του ανέμου, λόγω της τριβής με το νερό ή τη στεριά, έχουν χαμηλότερη ταχύτητα, η οποία μεγαλώνει με το ύψος. Για το λόγο αυτό, το πάνω μέρος των πανιών δέχεται ισχυρότερο άνεμο απ' ό τι το κάτω μέρος (Εικόνα 3.18)



Εικόνα 3.18. Διαβάθμιση ανέμου στο πανί [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

Στην Εικόνα 3.19 παρατηρούμε ότι έχοντας την ίδια ταχύτητα σκάφους και μεγαλύτερο πραγματικό άνεμο πιο ψηλά, ο φαινόμενος άνεμος στο υψηλότερο σημείο είναι όχι μόνο μεγαλύτερος, αλλά σχηματίζει και μεγαλύτερη γωνία ως προς την πορεία του σκάφους.



Εικόνα 3.19. Ένταση φαινομένου ανέμου καθ' ύψος του πανιού [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

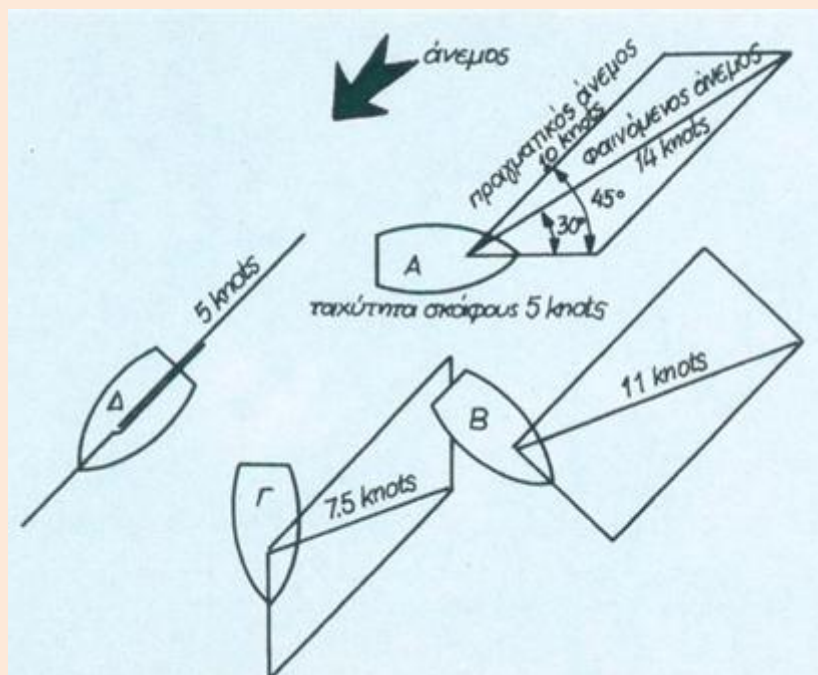
Λόγω του φαινομένου αυτού, το πανί του ιστιοφόρου θα πρέπει να αλλάζει σχήμα καθ' ύψος (Εικόνα 3.20). Ο αετός του πανιού ψηλά θα πρέπει να είναι πιο ανοιχτός σε σχέση με το υπόλοιπο πανί, καθώς ο άνεμος που δέχεται είναι πιο «σιγόντο». Στην περίπτωση που το πανί δεν ανοίξουμε ψηλά τον αετό του πανιού, εκεί το πανί θα στολάρει και ως εκ τούτου θα μειωθεί η παραγόμενη δύναμη.

Για να παραχθεί άντωση στο πανί, η ροή του ανέμου πάνω σε αυτό πρέπει να είναι ομαλή και προσκολλημένη. Το σημαντικό είναι να αποφεύγεται η δημιουργία στροβιλισμών, καθώς εξ αιτίας αυτών δεν παράγεται άντωση, αφενός, και αφετέρου αυξάνεται η οπισθέλκουσα.



Εικόνα 3.20. Παρέκκληση ανέμου καθ' ύψος πανιού [Πηγή: Γεωργίου (2015)].

Ας υποθέσουμε ότι ο πραγματικός άνεμος είναι σταθερός στους δέκα κόμβους και εμείς ταξιδεύουμε σε διάφορες πλευσείς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.21. Η διαγώνιος, που σχηματίζεται σε κάθε παραλληλόγραμμο ταχύτητας και πραγματικού ανέμου (εδώ είναι σταθερός στους 10 κόμβους) δείχνει την ένταση και τη γωνία πρόσπτωσης του φαινόμενου. Αξίζει να παρατηρήσουμε στα παραδείγματα της Εικόνας 3.21 τον τρόπο με τον οποίον μεταβάλλεται ο φαινόμενος άνεμος με κάθε αλλαγή στην πλευσίδα μας.



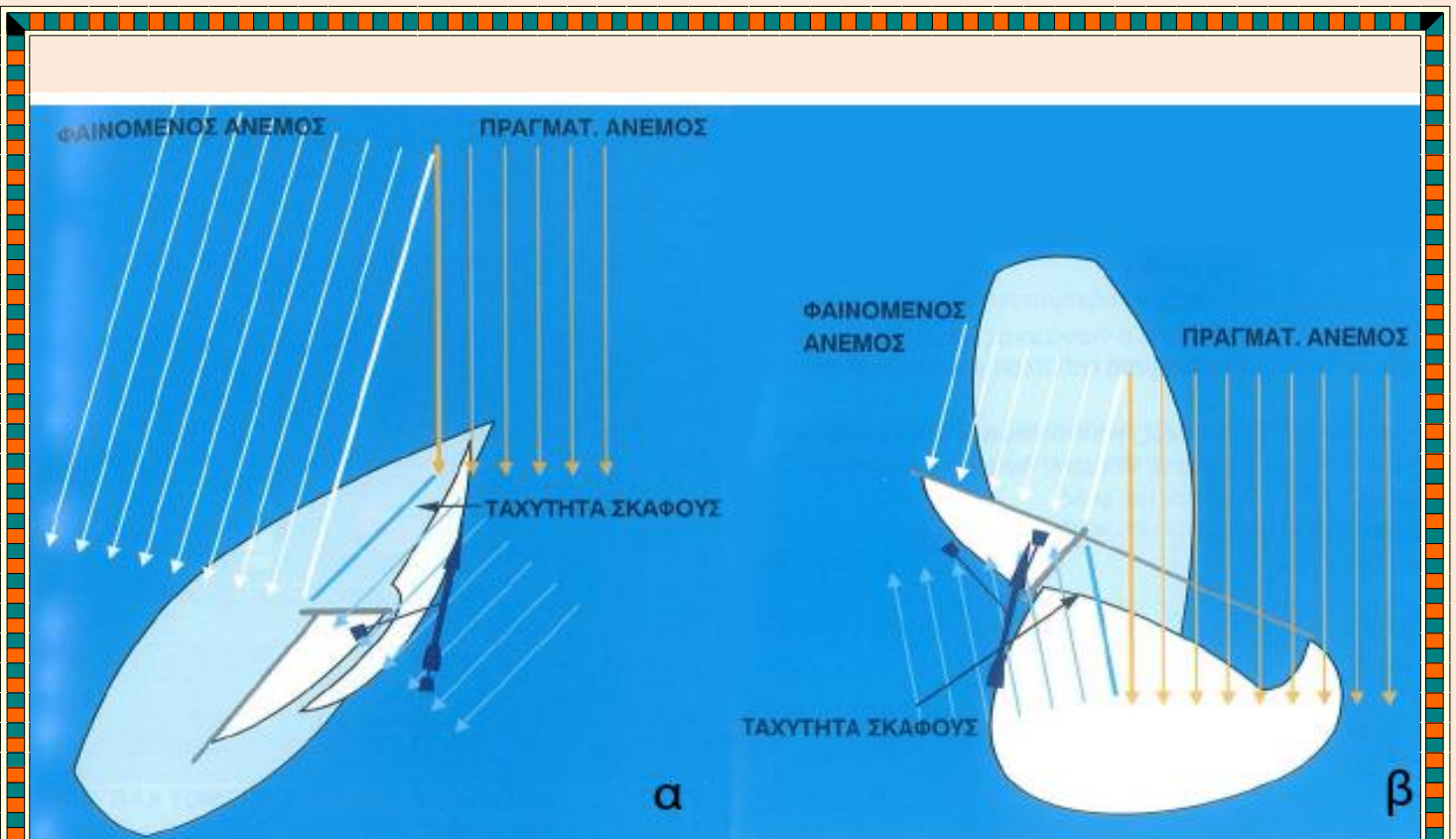
Εικόνα 3.21. Μεταβολές φαινόμενου ανέμου κατά την πλευσίδα [Πηγή: Θαλασσινός (2008_α)].

Η ταχύτητα του σκάφους επίσης αλλάζει με τις αλλαγές του φαινομένου αέρα. Με σταθερό τον πραγματικό άνεμο, μια αύξηση της ταχύτητας του σκάφους κάνει τον φαινόμενο άνεμο να μετατοπίζεται πιο πλώρα, ενώ αντίθετα μια μείωση της ταχύτητας τον μετατοπίζει πιο πρίμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.22. Αν αυξηθεί η ταχύτητα του σκάφους, ενώ ο πραγματικός παραμένει σταθερός ως προς τη δύναμη και διεύθυνση, ο φαινόμενος άνεμος μετατοπίζεται πιο πλώρα και αυξάνει σε δύναμη. Αντίθετα, όταν η ταχύτητα του σκάφους ελαττώνεται, ο φαινόμενος άνεμος μετατοπίζεται πιο πρίμα και μειώνεται σε δύναμη.



Εικόνα 3.22. Μεταβολή φαινομένου ανέμου σε σχέση με την ταχύτητα [Πηγή: Θαλασσινός (α) 2008)].

Όταν το ιστιοφόρο πλέει όρτσα, ο φαινόμενος άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση από τον πραγματικό άνεμο και το σκάφος τον δέχεται σε πιο κλειστή γωνία απ' αυτήν του πραγματικού Εικόνα 3.23(α). Στις ανοικτές πλεύσεις, αντίθετα, ο φαινόμενος άνεμος έχει μικρότερη ένταση από τον πραγματικό άνεμο, ενώ το σκάφος τον δέχεται σε μικρότερη γωνία, ως προς την πλώρη, απ' αυτήν του πραγματικού Εικόνα 3.23(β).

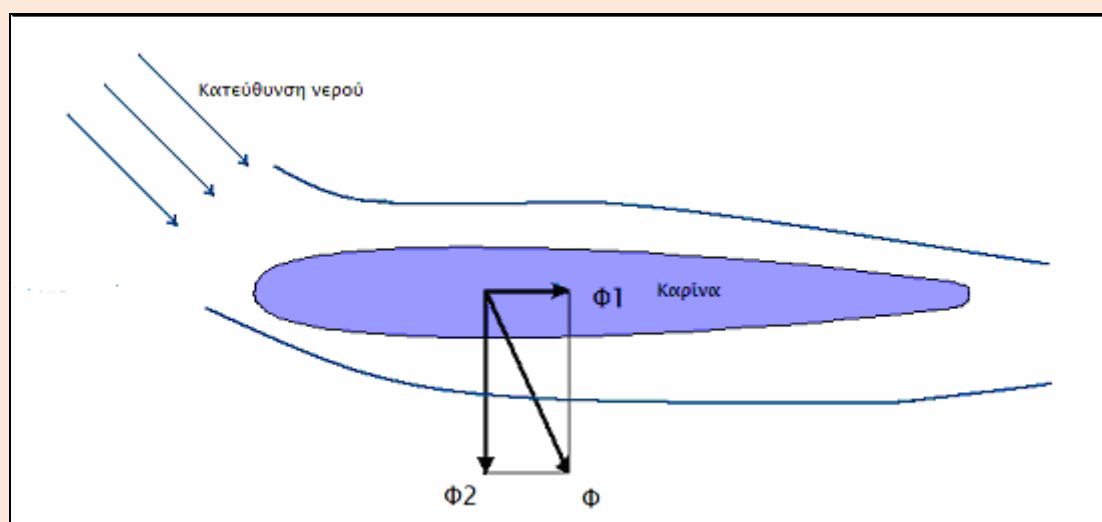


Εικόνα 3.23. Φαινόμενος και πραγματικός άνεμος σε σχέση με το είδος πλεύσης [Πηγή: Στρούζας (2010)].

4. Η υδροδυναμική του σκάφους

Σημαντικότερος σταθμός στην εξέλιξη του ιστιοφόρου είναι η δυνατότητά του να ταξιδεύει όχι μόνο προς τη διεύθυνση στην οποία φυσάει ο άνεμος, αλλά και προς τις διευθύνσεις που είναι ακόμα και σχεδόν αντίθετα από αυτό (εγγυτάτη). Στο κομμάτι αυτό σπουδαία είναι η συνεισφορά της καρίνας. Η καρίνα είναι ένα περύγιο, το οποίο βρίσκεται στο βαθύτερο σημείο του σκάφους. Η επιφάνειά της αντιστέκεται σε κάθε πλάγια κίνηση του σκάφους, επιτρέποντάς την να κινηθεί μόνο προς τα εμπρός.

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται το σχήμα της καρίνας, το οποίο αποτελεί μια συμμετρική αεροτομή. Το σκάφος πλέει προς τα μπροστά και έχοντας εκπεσμό, το νερό πέφτει πάνω στην καρίνα υπό γωνία.



Εικόνα 4.1. Κίνηση καρίνας ως προς την κατεύθυνση νερού [Πηγή: Γεωργίου (n.d.)].

Το τμήμα του νερού που περνά από την αριστερή (κάτω) επιφάνεια της καρίνας, έχει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση από ότι αυτό της δεξιάς (πάνω) πλευράς. Κατά συνέπεια αυξάνεται η ταχύτητα του επάνω στην καμπύλη επιφάνεια της καρίνας και δημιουργείται υποπίεση (άνωση) Φ . Για να παραχθεί λοιπόν η άνωση της καρίνας, η οποία εξουδετερώνει τον εκπεσμό, το σκάφος πρέπει οπωσδήποτε να είναι σε κίνηση, ώστε να υπάρχει ροή. Όταν το σκάφος είναι σε ακινησία, παρασύρεται από τον άνεμο.

Στη δύναμη Φ_1 που παράγεται από την καρίνα προστίθενται δύο ακόμα δυνάμεις που τείνουν να φρενάρουν το σκάφος. Πρόκειται για τις τριβές της γάστρας με το νερό και τη δύναμη που προέρχεται από τις τριβές που δημιουργούνται από τον άνεμο στα πανιά.

Ενώ λοιπόν η οπισθέλκουσα και η κινητήρια δύναμη είναι ίσες και αντίθετες μεταξύ τους, το σκάφος μπορεί και κινείται. Αυτό ερμηνεύεται ως εξής: κατά την έναρξη της πλεύσης, με το που σηκώνονται τα πανιά, η κινητήρια δύναμη των πανιών είναι μεγάλη, ενώ η οπισθέλκουσα

μηδενική. Έτσι το σκάφος αρχίζει να επιταχύνει τόσο όσο η οπισθέλκουσα να φτάσει να ισορροπήσει με την κινητήρια δύναμη. Από το σημείο αυτό και μετά, το σκάφος παύει να επιταχύνει και διατηρεί σταθερή την ταχύτητά του. Αν τώρα αυξηθεί κι άλλο η κινητήρια δύναμη, το σκάφος θα επιταχύνει εκ νέου και θα αποκτήσει μια νέα σταθερή ταχύτητα, όπου η κινητήρια δύναμη εξισορροπείται από τη νέα μεγαλύτερη οπισθέλκουσα.

Το τιμόνι έχει και αυτό διατομή όπως και η καρίνα και λειτουργεί ανάλογα. Όταν το στρίβουμε, αυξάνεται η γωνία με την οποία το νερό ρέει πάνω του κι έτσι αυξάνεται σημαντικά η συνιστώσα δύναμη F_2 (Εικόνα 4.1), η οποία ευρισκόμενη στο πίσω μέρος του σκάφους δημιουργεί τη ροπή στρέψης, η οποία και στρίβει το σκάφος. Όπως συμβαίνει στο πανί του ιστιοφόρου, αντίστοιχα και για τη ροή του νερού πάνω στο τιμόνι. Συγκεκριμένα, όταν η γωνία του τιμονιού σε σχέση με το διαμήκη άξονα του σκάφους είναι μεγάλη, δημιουργούνται δίνες στη σταβέντο πλευρά, οι οποίες δημιουργούν σημαντική οπισθέλκουσα, μειώνοντας την ταχύτητα του σκάφους.

Η δημιουργία δινών είναι ένα γενικό φαινόμενο στη ροή των ρευστών. Σε ιδιαίτερα χαμηλές ταχύτητες, η ροή του ρευστού είναι στρωτή. Σε υψηλότερες ταχύτητες, η ροή ξεκινά να γίνεται τυρβώδης και να εμφανίζονται δίνες. Η εμφάνισή τους οφείλεται κυρίως στη διάτμηση των μορίων του ρευστού. Όταν η διάτμηση φτάσει σε ένα κρίσιμο σημείο, το ρευστό δεν μπορεί πια να ακολουθήσει μια συνεχή ροή και το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση τυρβώδους ροής, η οποία ποσοτικοποιείται με τον αριθμό Reynolds:

$$R = (L \cdot v) / (\mu / \rho)$$

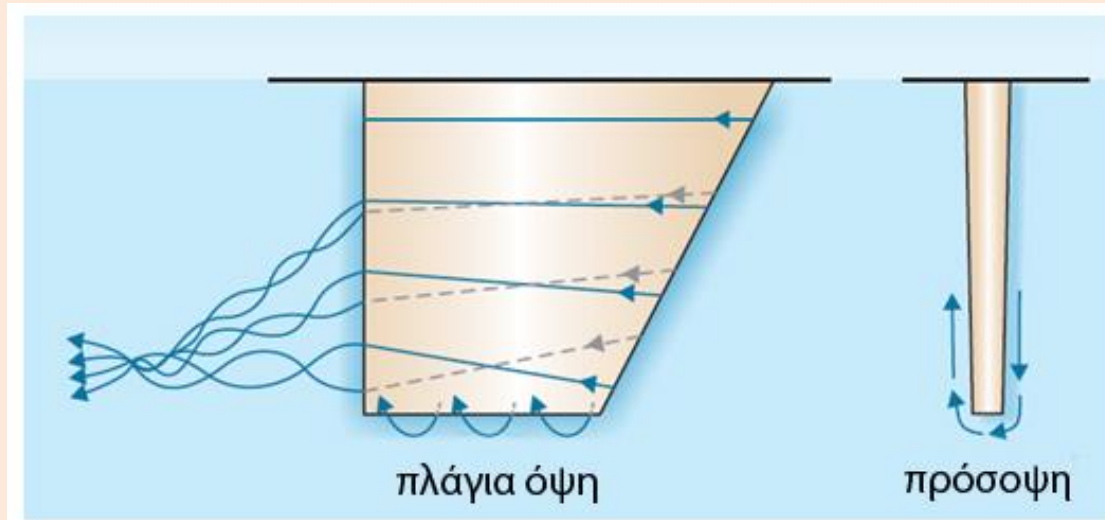
όπου v η ταχύτητα της ροής του ρευστού, μ το ιξώδες του, ρ η πυκνότητά του και L η σχετική κλίμακα μήκους του συστήματος.

Καθώς οι δίνες επιφέρουν κατανάλωση ενέργειας, η αντίσταση που προκαλεί το νερό στην κίνηση του σκάφους αυξάνεται τέσσερις ή πέντε φορές σε σχέση με το αν η ροή ήταν στρωτή. Μια τραχιά επιφάνεια γάστρας ιστιοφόρου προκαλεί τη δημιουργία περισσότερων δινών σε σχέση με μια λεία.

Η τυρβώδης ροή εμφανίζεται και στον αέρα που ρέει κατά μήκος της επιφάνειας του πανιού. Το νερό είναι χιλιάδες φορές πυκνότερο του αέρα και 50 φορές πιο ιξώδες. Για μια τυπική ταχύτητα αέρα 5 m/s, δημιουργούνται δίνες αν το πανί έχει πλάτος μεγαλύτερο από 3 m. Όταν, λοιπόν, οι δίνες σχηματίζονται στον αέρα που ρέει κατά μήκος του πανιού η επιθυμητή διαφορά πίεσης (δημιουργία υποπίεσης) ανάμεσα στις δύο πλευρές του πανιού εξαλείφεται.

Μια ακόμα σημαντική δύναμη που προκαλεί αντίσταση στην πλεύση του ιστιοφόρου προέρχεται από τη δημιουργία στροβίλου στον πάτο της καρίνας. Όταν το νερό κινείται γύρω από την πλευρά της καρίνας με το μεγαλύτερο μήκος, η ταχύτητά του αυξάνεται κι έτσι προκαλείται πτώση πίεσης. Καθώς το νερό κινείται κατά μήκος της καρίνας, ανταποκρίνεται στη διαφορά πίεσης, προσπαθώντας να μεταβεί από την πλευρά με την υψηλότερη, στην πλευρά με τη χαμηλότερη πίεση (Εικόνα 4.2). αυτό που πραγματικά συμβαίνει είναι ότι η ροή πραγματοποιείται υπό μεγαλύτερη γωνία ως προς την μια πλευρά και υπό μικρότερη ως προς την άλλη πλευρά, αναφορικά με την κατεύθυνση πλεύσης. Όταν αυτές οι δύο ροές συναντιούνται στο πίσω μέρος της

καρίνας, η διαφορά στη γωνία προέλευσής τους προκαλεί φαινόμενο περιστροφής στη ροή του νερού. Η περιστροφή αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία στροβίλου στο κάτω μέρος της καρίνας.



Εικόνα 4.2. Δημιουργία στροβίλου από την καρίνα: στην περίπτωση που το ιστιοφόρο δεν πλέει στην ευθεία, υπάρχει μια διαφορά πίεσης ανάμεσα τις δύο πλευρές της. Ως αποτέλεσμα, το νερό ρέει με κλίση προς τα κάτω στην πλευρά υψηλότερης πίεσης (μικρότερη ταχύτητα νερού) προς τα πάνω στην πλευρά χαμηλότερης πίεσης, δημιουργώντας περιστροφή στη ροή, προκαλώντας έτσι στρόβιλο πίσω από το κατώτερο μέρος της καρίνας [Πηγή: Anderson (2008)].

Το ιστιοφόρο έχει επίσης να αντιμετωπίσει την αντίσταση που οφείλεται στην εκτροπή του νερού από τα πλαϊνά του, καθώς αναπτύσσεται. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη γεωμετρία της γάστρας του. Η στενή γάστρα προκαλεί μικρότερη αντίσταση απ' ότι η πιο πλατιά.

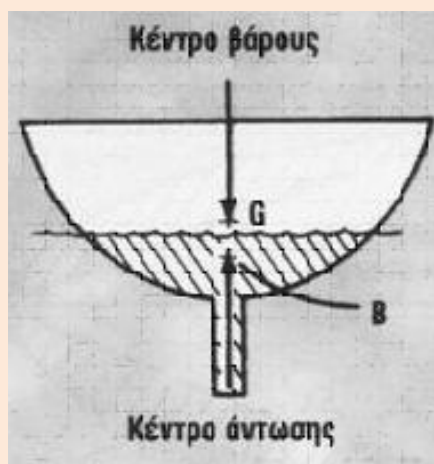
5. Ισορροπία ιστιοφόρου σκάφους

5.1. Συνθήκη ισορροπίας

Ένα σκάφος θεωρείται ότι ισορροπεί, όταν πλέει σε οριζόντια θέση. Στην κατάσταση αυτή μας ενδιαφέρουν τα δύο βασικά κέντρα, άντωσης ή πλευστότητας (Center of Buoyancy, B) και βάρους (Center of Gravity, G). Εφόσον ένα σκάφος πλέει στο νερό, οι δυνάμεις βάρους και άνωσης είναι ίσες, καθώς ισχύει η εξίσωση:

$$\text{βάρους} = \text{εκτόπισμα} = \text{άνωση}$$

Το κέντρο βάρους G (Εικόνα 5.1) είναι το σημείο, που θεωρητικά βρίσκεται συγκεντρωμένα όλο το βάρος του σκάφους. Αντίστοιχα, το κέντρο άντωσης B είναι το σημείο, όπου συγκεντρώνονται όλες οι δυνάμεις άντωσης. Το κέντρο άντωσης συμπίπτει και με το γεωμετρικό κέντρο του όγκου των υφάλων του σκάφους (γάστρα). Οι διευθύνσεις των δυνάμεων βάρους και άντωσης εξασκούνται στα ομόνυμα κέντρα G και B και είναι αντίθετες. Το μεν βάρος έχει διεύθυνση από πάνω προς τα κάτω, ενώ αντίθετα η άνωση, από κάτω προς τα πάνω. Επομένως, οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ίσες και αντίρροπες. Λέμε, λοιπόν, ότι για να πλέει ένα σκάφος σε οριζόντια θέση, οι δύο δυνάμεις ενεργούν στο ίδιο επίπεδο (κατά τη διαμήκη έννοια), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.

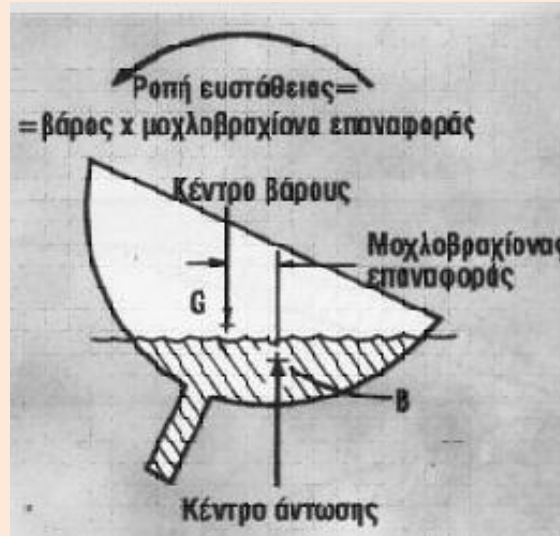


Εικόνα 5.1. Συνθήκη ισορροπίας ιστιοφόρου [Πηγή: Θαλασσινός (2008_β)].

5.2. Ευστάθεια ιστιοφόρου

Στην περίπτωση που το ιστιοφόρο πλέει με τα πανιά και παίρνει κάποια κλίση, δεν ισχύει το ίδιο. Στην Εικόνα 5.2 βλέπουμε το ίδιο σκάφος να ταξιδεύει κουπασιαρισμένο. Το βάρος δεν μεταβάλλεται, ούτε ως προς το μέγεθος, ούτε ως προς τη διεύθυνση, ούτε ως προς το σημείο εφαρμογής του. Η άνωση δεν μεταβάλλεται ως προς το μέγεθος, ούτε ως προς τη διεύθυνση, το

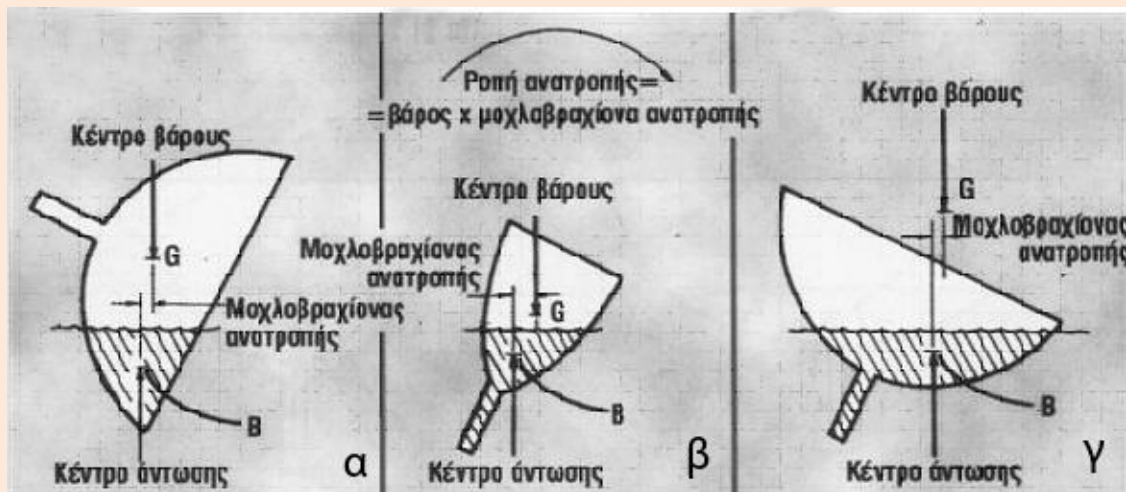
κέντρο όμως της εφαρμογής της μετατοπίστηκε σε μία άλλη θέση προς την πλευρά της κλίσης. Η μετατόπιση αυτή είναι βέβαια φυσικό επακόλουθο αφού, όπως ξέρουμε, συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο της γάστρας, η οποία με την κλίση έχει αλλάξει σχήμα. Στην κλίση αυτή οι δύο δυνάμεις εξακολουθούν να είναι ίσες και αντίρροπες, αλλά δεν ενεργούν στο ίδιο επίπεδο κατά τη διαμήκη έννοια, άρα σχηματίζουν ένα ζεύγος δυνάμεων, τη λεγόμενη ροπή ευστάθειας, που τείνει να επαναφέρει το σκάφος σε οριζόντια θέση. Η ροπή ευστάθειας είναι το γινόμενο του βάρους (ή εκτοπίσματος) του σκάφους επί τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των καθέτων που διέρχονται από το κέντρο βάρους G και το κέντρο άντωσης B.



Εικόνα 5.2. Ροπή ευστάθειας ιστιοφόρου [Πηγή: Θαλασσινός (2008_β)].

Σε μερικές περιπτώσεις όμως, οι ίδιες αυτές δυνάμεις μπορεί να προκαλέσουν την ανατροπή του σκάφους. Ας δούμε τις τρεις βασικές αυτές περιπτώσεις με τα αντίστοιχα σχηματικά παραδείγματα, στις Εικόνες 5.3 (α), 5.3 (β) και 5.3 (γ).

Στην Εικόνα 5.3 (α) έχουμε την κλασική περίπτωση ενός σκάφους, που αναποδογυρίζει, έχοντας πάρει κάποια ακραία γωνία κλίσης. Το κέντρο άντωσης B, το οποίο συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο των υφάλων, έχει μεταφερθεί, λόγω της μεγάλης κλίσης, από την αντίθετη πλευρά της κλίσης, μεταβάλλοντας το μοχλοβραχίονα επαναφοράς σε μοχλοβραχίονα ανατροπής άρα και τη ροπή ευστάθειας σε ροπή ανατροπής. Στην Εικόνα 5.3 (β) έχουμε ένα πολύ στενό σκαρί, που επίσης αναποδογυρίζει για τους ίδιους λόγους με το προηγούμενο. Στην Εικόνα 5.3 (γ), το σκάφος έχει πολύ υψηλό κέντρο βάρους, που έστω και με μικρή σχετικά κλίση μπορεί να αναποδογυρίσει.



Εικόνα 5.3. Περιπτώσεις ανατροπής ιστιοφόρου σκάφους ιστιοφόρου [Πηγή: Θαλασσινός (2008_β)].

Εκείνο που μπορούμε να παρατηρήσουμε από τα παραπάνω τρία παραδείγματα είναι ότι η ευστάθεια ενός σκάφους εξαρτάται από το σχήμα και το έρμα του. Όσο πιο φαρδύ είναι ένα σκάφος, τόσο πιο δύσκολα αναποδογυρίζει και εφόσον υπάρχει καλός ερματισμός, το σκάφος επανέρχεται στην οριζόντια θέση. Η ολική εγκάρσια, λοιπόν, ευστάθεια του σκάφους εξαρτάται από δύο παράγοντες, το σχήμα και το έρμα, δηλαδή έχουμε την ευστάθεια λόγω σχήματος και την ευστάθεια λόγω βάρους, ο συνδυασμός των οποίων δίνει τα ιδιαίτερα γνωρίσματα ευστάθειας στο σκάφος.

5.3. Αεροδυναμικό και υδροδυναμικό κέντρο

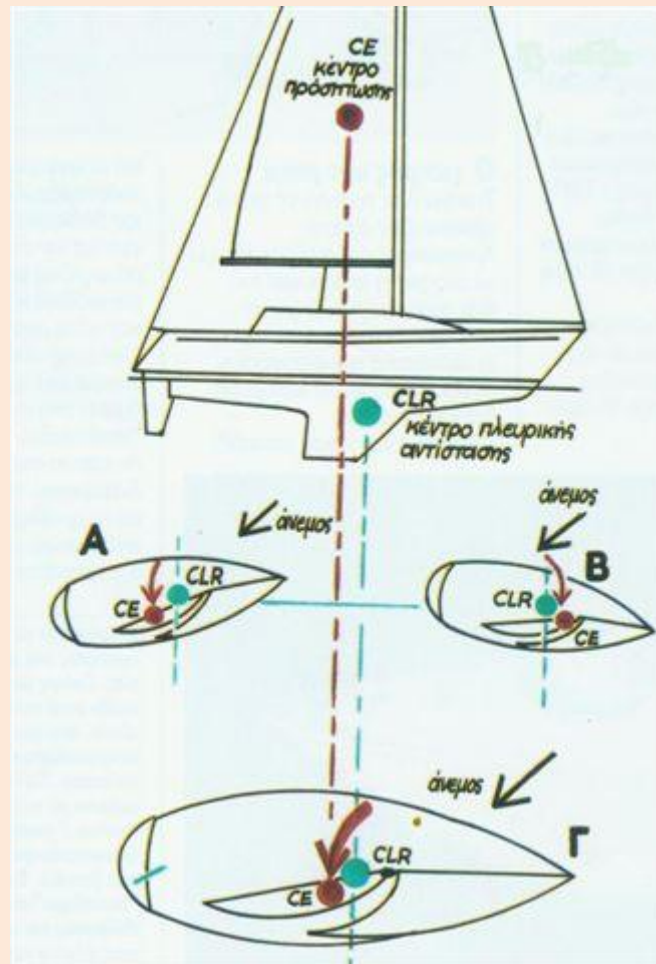
Στο ιστιοφόρο έχουμε δύο βασικά κέντρα, το κέντρο πρόσπτωσης και το κέντρο πλευρικής αντίστασης. Το κέντρο πρόσπτωσης είναι αυτό στο οποίο εξασκείται θεωρητικά η ολική αεροδυναμική δύναμη (**Center of Effort CE**) και το κέντρο πλευρικής αντίστασης, εκείνο στο οποίο εξασκείται η ολική υδροδυναμική δύναμη (**Center of Lateral Resistance CLR**). Όσο μεγαλύτερη (κατακόρυφα) είναι η απόσταση μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερο είναι το κουπαστάρισμα. Στο οριζόντιο επίπεδο τώρα, η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων λέγεται Lead. Επειδή στην ελληνική γλώσσα δεν υπάρχει κάποια αντίστοιχη λέξη, θα μπορούσαμε να την αποδώσουμε σαν «προώθηση». Το κέντρο πρόσπτωσης είναι και πρέπει πάντα να είναι πιο πλώρα από το κέντρο πλευρικής αντίστασης. Αυτό κάνει το σκάφος πάντα να ορτσάρει λίγο ακόμα και σε λεπτό καιρό. Αν το ιστιοφόρο δεν ορτσάρει λίγο, η σχεδίαση της γάστρας ή της ιστιοφορίας δεν είναι σωστή, ή καλύτερα, το σκάφος δεν είναι ιστιοφόρο. Η «προώθηση» αυτή είναι και υπεύθυνη για τη μικρή παρέκκλιση από την ευθεία του τιμονιού ή της λαγουδέρας που παρατηρείται στο ιστιοφόρο. Το βαρύ τιμόνι είναι συνάρτηση του lead, δηλαδή της ροπής των αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων στο σκάφος.

Το κέντρο πρόσπτωσης (Εικόνα 5.4) είναι το θεωρητικό κέντρο πάνω στο οποίο εξασκείται η συνισταμένη όλων των δυνάμεων του αέρα, στην ιστιοφορία. Αντίστοιχα, το κέντρο πλευρικής αντίστασης είναι το θεωρητικό εκείνο σημείο, πάνω στο οποίο εξασκείται η συνισταμένη όλων των δυνάμεων του νερού, στα ύφαλα.

Όταν αφήνουμε το τιμόνι, «αναστατώνουμε» κατά κάποιο τρόπο την ισορροπία των δύο δυνάμεων, των οποίων ο συνδυασμός κάνει το σκάφος να κινείται πάνω στο νερό. Για να ταξιδέψει ένα ιστιοφόρο σε μια ευθεία πορεία, πρέπει να έρθουν σε ισορροπία δύο αντίθετες δυνάμεις, εκ των οποίων η μια ενεργεί πάνω στο πανί και η άλλη στη γάστρα του σκάφους. Η πρώτη είναι η ολική αεροδυναμική δύναμη, δηλαδή η συνισταμένη όλων των δυνάμεων, που επενεργούν στο πανί. Το σημείο, όπου εξασκείται αυτή η δύναμη, λέγεται κέντρο πρόσπτωσης (center of effort ή CE).

Η πίεση του νερού στα ύφαλα του σκάφους εξασκείται από μια αντίστοιχη δύναμη, δηλαδή μια συνισταμένη όλων των δυνάμεων αντίστασης στη γάστρα, την καρίνα και το πηδάλιο. Η δύναμη αυτή εξασκείται πάνω σ' ένα σημείο, που λέγεται κέντρο πλευρικής αντίστασης (Center of Lateral Resistance ή CLR).

Για να καταλάβουμε καλύτερα πώς αυτές οι δυο δυνάμεις εξισορροπούν η μια την άλλη, ας φανταστούμε ότι, το κέντρο πλευρικής αντίστασης CLR «κάθεται» πάνω στο κέντρο μιας ζυγαριάς. Αν τώρα το κέντρο πρόσπτωσης CE βρίσκεται στην ίδια ευθεία, τότε το σκάφος ισορροπεί και ταξιδεύει σε μια ευθεία, ακόμα και αν αφήσουμε το τιμόνι. Αν, όμως, το κέντρο πρόσπτωσης CE μετατοπισθεί λίγο και φύγει από την ευθεία του κέντρου πλευρικής αντίστασης CLR, όπως φαίνεται στο σχήμα μας, τότε δημιουργείται μια ροπή. Το ζεύγος των δυνάμεων αναγκάζει το σκάφος να ορτσάρει, να γυρίσει δηλαδή πάνω στον καιρό (περίπτωση Α) ή να ποδίσει (περίπτωση Β). Η ιδανική περίπτωση είναι η Γ όπου το κέντρο πρόσπτωσης CE είναι πολύ κοντά και λίγο πιο πρίμα από το κέντρο πλευρικής αντίστασης CLR, κάνοντας το σκάφος να ορτσάρει πολύ απαλά, κάτι που διορθώνουμε με το τιμόνι.

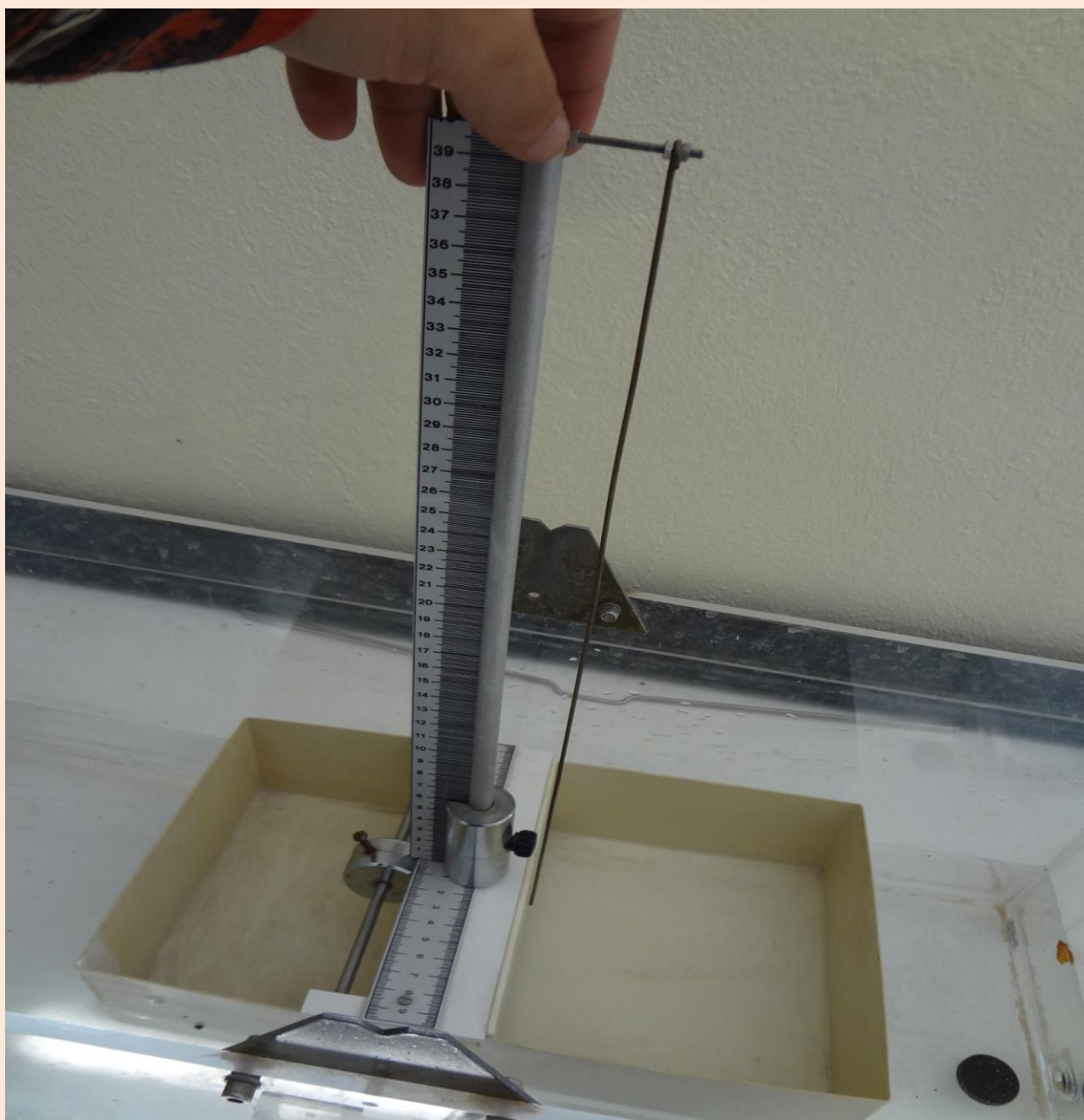


Εικόνα 5.4. Κέντρα πρόσπτωσης και πλευρικής αντίστασης ιστιοφόρου [Πηγή: Θαλασσινός (2008_γ)].

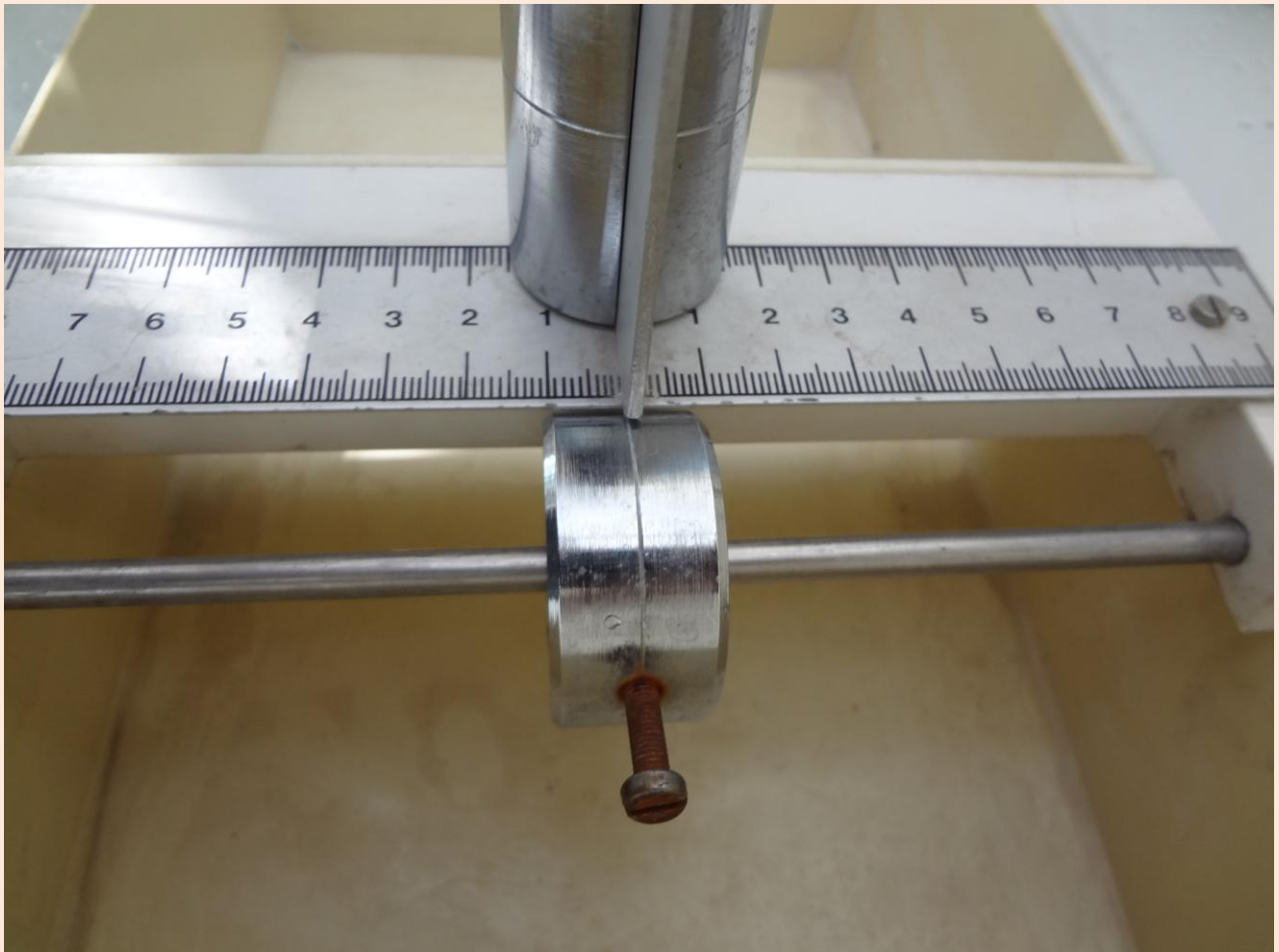
6. Πειραματική διαδικασία

6.1. Εισαγωγή

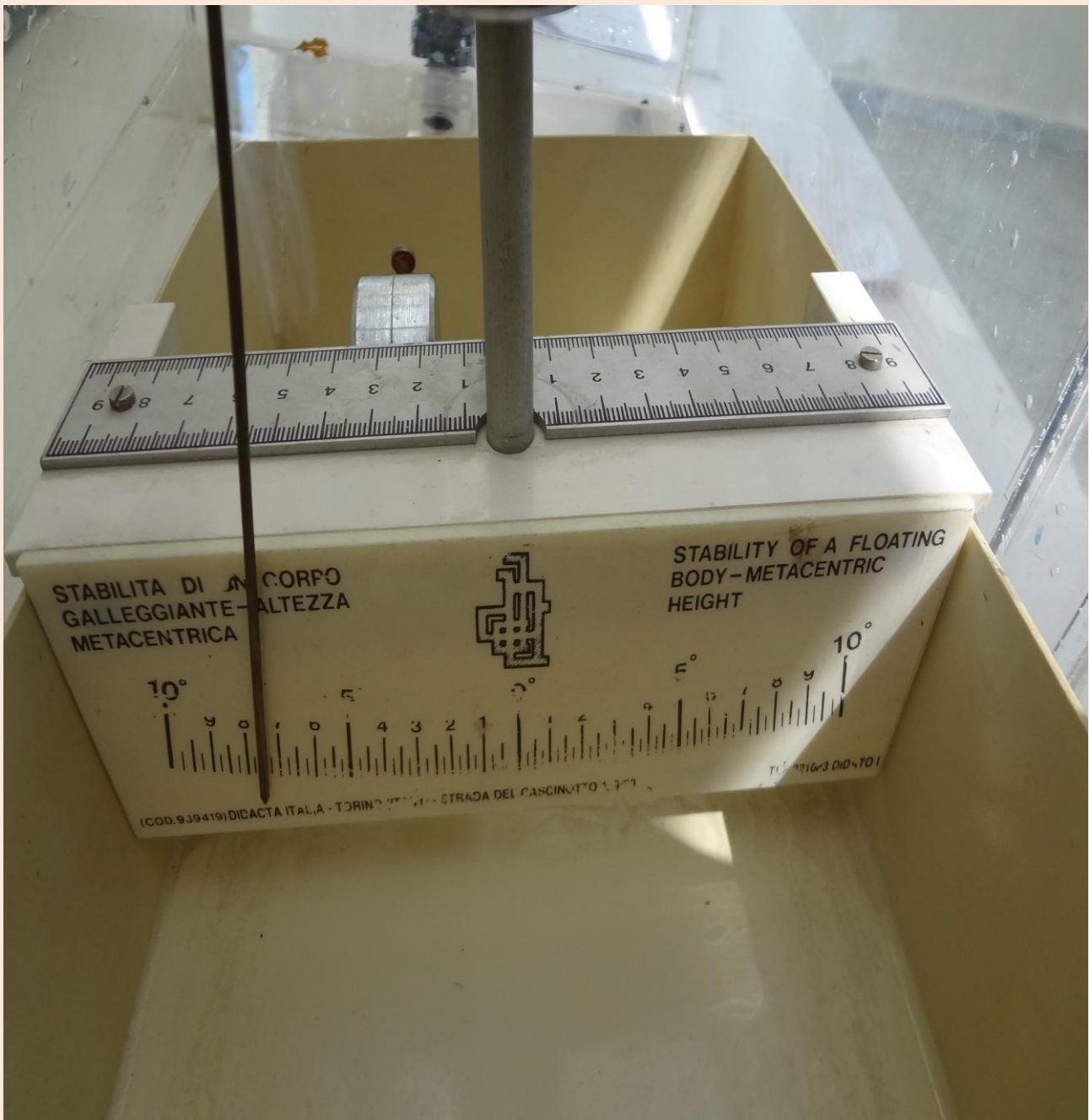
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια ανάλυση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν μια δεξαμενή γεμάτη με νερό, ένα πλεούμενο τύπου «παντόφλα» πάνω στο οποίο έχουν τοποθετηθεί 2 άξονες, ένας κάθετος και ένας οριζόντιος. Ο κατακόρυφος άξονας χρησιμοποιείται για την μετακίνηση ενός βαριδίου που αυξομειώνει το κέντρο βάρους (Κ.Β) (Εικόνα 6.1), ενώ ο οριζόντιος άξονας χρησιμοποιείται για την μετακίνηση ενός άλλου βαριδίου που αυξομειώνει το κέντρο πίεσης (Κ.Π) (Εικόνες 6.2).



Εικόνα 6.1. Άξονας κέντρου βάρους.



Εικόνες 6.2. Άξονας κέντρου πίεσης.



Εικόνα 6.3. Μετρητής του $\Delta\theta$.

Η διαδικασία με την οποία έγιναν οι μετρήσεις είναι η εξής: Το κατακόρυφο μετακινούμενο βάρος βρίσκεται αρχικά στη χαμηλότερη θέση, $y=40\text{mm}$. Μετακινώντας το οριζόντιο βάρος κατά $\Delta x=10\text{mm}$, από τον κατακόρυφο άξονα προκαλείται γωνία εκτροπής $\Delta\theta$, η οποία καταγράφεται ($\Delta\theta < 10^\circ$), μόλις κοπάσουν οι ταλαντώσεις. Επαναλαμβάνουμε άλλες (5) φορές την ίδια διαδικασία. Μετακινώντας τώρα το κατακόρυφο φορτίο κατά $y=20\text{mm}$ και επαναλαμβάνοντας την προηγούμενη πειραματική διαδικασία κάθε φορά για τουλάχιστον έξι (6) μετακινήσεις του κατακόρυφου φορτίου καταγράφονται οι τιμές των Δx και y (σε mm) και $\Delta\theta$ (σε $^\circ$).

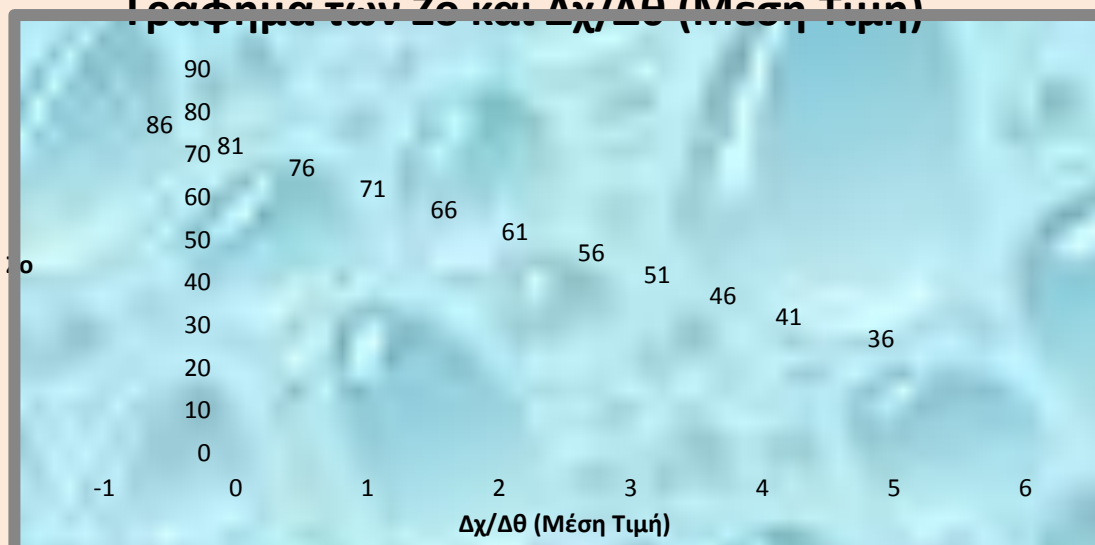
Η θέση Z του βαρύκεντρου του άξονα του οριζοντίως μετακινούμενου φορτίου υπολογίζεται από τη σχέση $Z=0,25*y - 16$ (σε mm). Για την τελική τιμή των ($\Delta\chi/\Delta\theta$) λαμβάνεται η μέση τιμή. Η απόσταση ($y_0=42 \mu\text{m}$).

6.2. Πειραματικά δεδομένα και ανάλυση

Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων.

Y	Z	Z ₀	Δχ					Δθ					Δχ/Δθ					Δχ/Δθ (Μέση Τιμή)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
40	-6	36						2	4	6,5	8	10	5	5	4,6	5	5	4,9				
60	-1	41						3	5	7	9	11	3,3	4	4,2	4,4	4,5	4,2				
80	4	46						3,5	6	8	10	12	2,8	3,3	3,7	4	4,1	3,7				
100	9	51						4	7	9	11		2,5	2,8	3,3	3,6		3,2				
120	14	56						5	8	10			2	2,5	3			2,7				

Γράφημα των Z₀ και Δχ/Δθ (Μέση Τιμή)



Εικόνα 6.4. Γράφημα του μετάκεντρου. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΕΠΙΛΟΓΟΣ

6.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα πειραματικά δεδομένα αξιοποιούνται μέσω του γραφήματος της Εικόνας 6.4, στο οποίο επιλέγονται οι τιμές $Z_0 = Z + y_0$ για τον κατακόρυφο άξονα, προς αποφυγή αρνητικών τιμών στο γράφημα και οι μέσες τιμές των $(\Delta\chi/\Delta\theta)$ για μεγαλύτερη ακρίβεια. Μέσω της γραμμικής παρεμβολής των πειραματικών δεδομένων του γραφήματος η ευθεία τέμνει τον κατακόρυφο άξονα, Z_0 , καθορίζοντας έτσι την θέση του μετάκεντρου.

Το γράφημα των Z_0 και $\Delta\chi/\Delta\theta$ (Μέση Τιμή) δείχνει ότι η μεταβολή είναι γραμμική. Συνεπώς, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε περί μικρών υπολογισμών της γωνίας εκτροπής $\Delta\theta$ ($\Delta\theta < 10^\circ$) είναι αληθής. Η προέκταση της ευθείας επιτρέπεται. Η τομή μεταξύ των αξόνων Z_0 και ευθείας είναι στο σημείο 81. Έτσι παρατηρώντας το διάγραμμα καταλαβαίνουμε πως το σημείο τομής της ευθείας (81) είναι το μετάκεντρο μας.

Μετάκεντρο: Λέγεται το θεωρητικό σημείο τομής της γραμμής επί της οποίας ενεργεί η δύναμη της άντωσης (η διεύθυνση της άντωσης), με τον κατακόρυφο άξονα ενός πλοίου.

7. Ένθεμα για τα «Καταμαράν»

7.1 Το «Καταμαράν»

Το Καταμαράν είναι το κατ'έξοχόν σκάφος κρουαζιέρας. Είναι ξακουστό για την όρθια, γρήγορη και ασφαλή πλεύση του σε όλες τις θάλασσες, έχει μικρό βύθισμα και εύκολο χειρισμό. Το Καταμαράν (Catamaran) αποτελεί σήμερα ένα σύγχρονο τύπο επιβατηγού ιστιοφόρου πλοίου ή επιβατηγού - οχηματαγωγού του οποίου ο ναυπηγικός σχεδιασμός στηρίζεται στις ομώνυμες σχεδίες των Δυτικών Ινδιών «kattumaram» εκ των οποίων προέρχεται και η ονομασία του. Στη πραγματικότητα πρόκειται για πλοίο που φέρεται ως υπερκατασκευή πάνω σε δύο όμοια σκάφη τα οποία φαίνονται να ενώνονται με αυτή, για αυτό και ονομάζονται και "διπλοκάρινα" (με δύο καρίνες). Τα πλοία καταμαράν έχουν μεγάλο πλάτος σε σχέση με το μήκος των κλασσικών πλοίων και λόγω αυτού, μεγαλύτερη ευστάθεια καθώς επίσης και μεγαλύτερη ταχύτητα (συγκριτικά με το πλάτος) παρουσιάζοντας έτσι μικρότερες αντιστάσεις. Σχεδόν όλα τα μεγάλα ταχύπλοα πλοία (εκτός των υδροπτερύγων και των αεροστρώμων) ακολουθούν αυτό το ναυπηγικό τύπο. Είναι κατά πολύ πιο σταθερά από ένα κανονικό μονοκάρινο πλοίο.

(Το πρώτο καταμαράν κατασκευάστηκε από τον Nathanael Herreshoff εμπνευσμένος από τον πειρατή William Dampier που το 1690 βρήκε αυτό το πρωτόγνωρο για την εποχή εκείνη σχέδιο από μια φιλή τους Ταμίλ στην Ινδία. Το καταμαράν κατασκευάστηκε το 1877 και το ονόμασε «Amaryllis»)



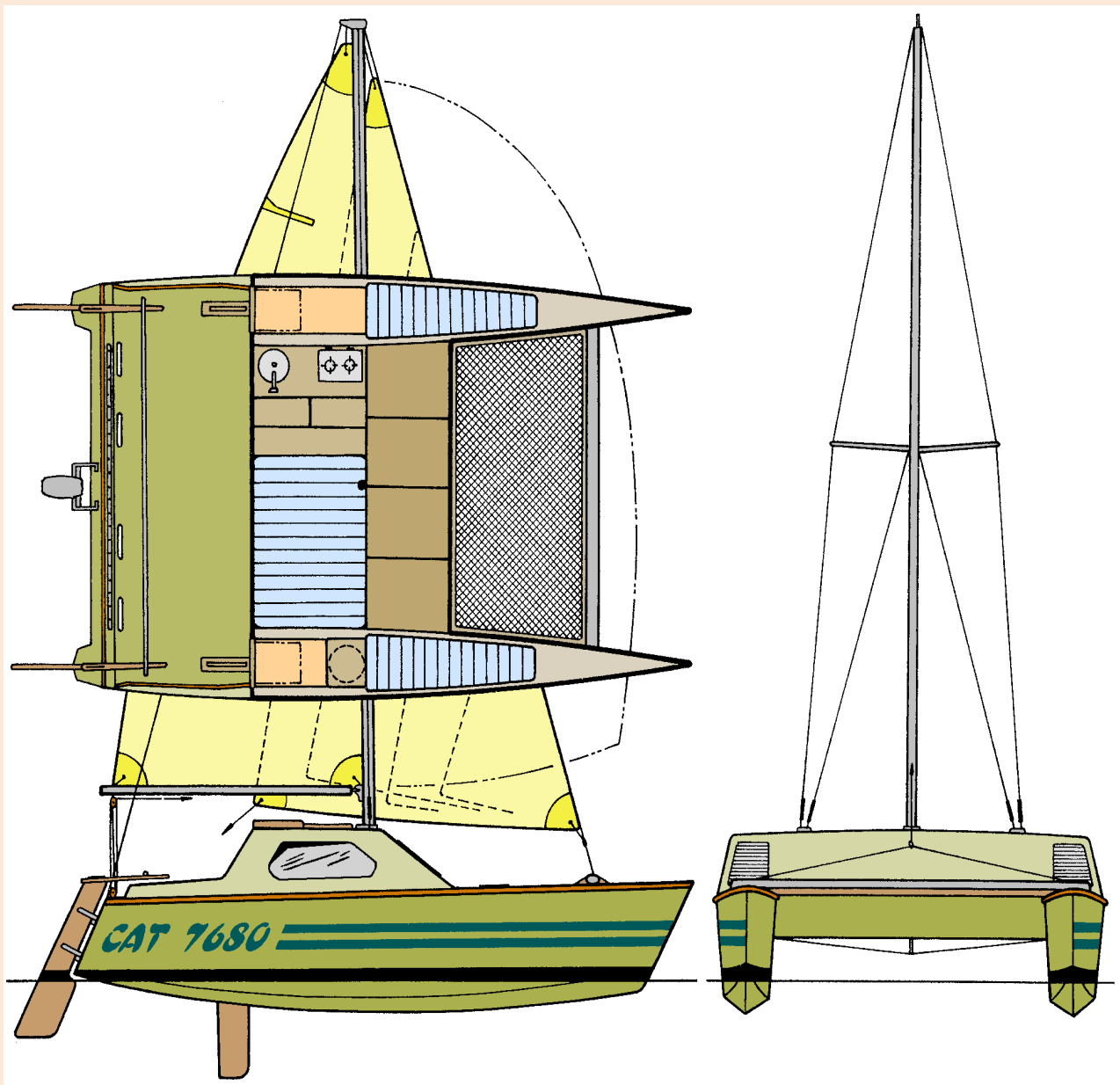
Εικόνα 7.1. «Amaryllis»

Μπορεί οι αρχές τις ιστιοπλοΐας να είναι ίδιες για όλα τα σκάφη, υπάρχουν παρόλα αυτά κάποιες διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον τύπο του κάθε σκάφους. Τα καταμαράν έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα από άλλα ιστιοπλοϊκά του ίδιου μεγέθους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν να έχουν μια πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια πανιών την κατάλληλη στιγμή. Θα μπορεί να φτάσει πάνω από 1,5 φορές την ταχύτητα του ανέμου εξαιτίας της μικρής τριβής στις γάστρες του και του μεγάλου μεγέθους πανιών που φέρουν. Τα καταμαράν έχουν μικρή πιθανότητα να ανατραπούν στο πλάι από δυνατούς πλαινούς ανέμους και μεγαλύτερη πιθανότητα να ανατραπούν μπροστά από δυνατό ούριο άνεμο. Μια άλλη διαφορά είναι ότι συνήθως μπορούν να φτάσουν μέχρι την αμμουδιά σε πολύ ρηγά νερά με ασφάλεια, δεδομένου ότι δεν έχουν βαθιές καρίνες για να ισορροπούν όπως τα μονοκάρινα. Επιπλέον, τα πηδάλια τους έχουν σύστημα να ανεβαίνουν και να κατεβαίνουν έτσι ώστε να προστατεύονται από ζημιές όταν το πλοίο είναι σε ρηγά νερά. Τα Καταμαράν σε γενικές γραμμές, είναι συνήθως ταχύτερα από τα πλοία μονού κύτους, για τρεις λόγους:

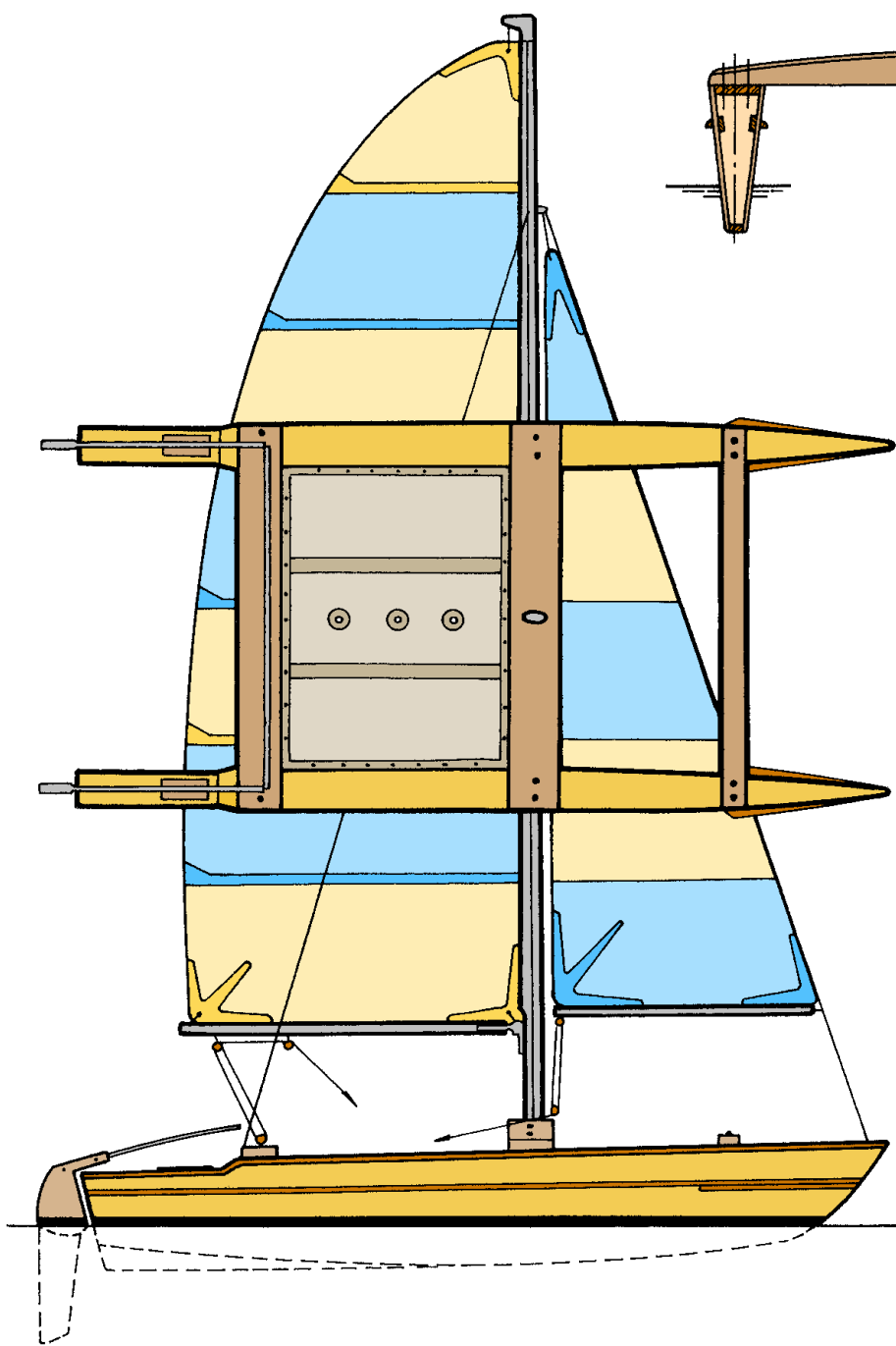
- Τα καταμαράν είναι ελαφρύτερα, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει αντίβαρο στις καρίνες τους.
- Τα καταμαράν έχουν μεγαλύτερο πλάτος το οποίο τα καθιστά πιο σταθερά και συνεπώς μπορούν να φέρουν μεγαλύτερα πανιά ανά μονάδα μήκους από ένα ισοδύναμο μονού κύτους.
- Και τέλος έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα που σημαίνει ότι το κατάρτι τους είναι πιο πιθανό να μείνει όρθιο σε ένα φύσημα του ανέμου, αντλώντας μεγαλύτερη δύναμη από αυτή ενός μονού κύτους γιατί η αύξηση της απόστασης μεταξύ του κέντρου βάρους και το κέντρο της άνωσης παρέχουν υψηλότερη σταθερότητα σε σύγκριση με τα πλοία με μονό κύτος

Ένα καταμαράν είναι πιθανόν να επιτύχει την μέγιστη ταχύτητα κατά την κίνηση προς τα εμπρός χωρίς να διαταραχτεί από την δράση του κύματος. Αυτό επιτυγχάνεται σε ύδατα όπου το μήκος κύματος των κυμάτων είναι κάπως μεγαλύτερο από την ίσαλο γραμμή του κύτους, για το λόγο του ότι τα καταμαράν σε όρτσα κύμα προπορεύετε η μια καρίνα από την άλλη οπότε υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια στο κύμα, οπότε και η αντίσταση του είναι μειωμένη. Βέβαια δεν έχουν μόνο προτερήματα έναντι των μονοκάρινων μιας και:

- το πλάτος ενός καταμαράν, ιδίως όταν αυτό αγκυροβολεί σε λιμάνια και μαρίνες, είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσει πρόβλημα επειδή καταλαμβάνει χώρο σχεδόν όσο δύο μονοκάρινα μαζί.
- Επίσης, είναι πιο ακριβά για την παραγωγή τους από ότι ενός μονού κύτους στο ίδιο μήκος.
- Αν μια καταγίδα ή ένα μεγάλο κύμα αναποδογυρίσει ένα μικρό μονοκάρινο, αυτό μπορεί να ανακάμψει από το βάρος του έρματος που εξισορροπεί το σκάφος, αλλά αν δεν το κάνει γρήγορα αυτό θα βυθιστεί πριν ανακάμψει. Τα σύγχρονα καταμαράν δεν έχουν βάρος σε έρμα και για αυτό μπορεί όταν αυτά ανατραπούν να μην μπορούν να ανακάμψουν, αλλά τις περισσότερες φορές δε βυθίζονται, απλά επιπλέουν ανάποδα παρέχοντας ένα μεγάλο σωστικό μέσο για τους επιζώντες, κάτι που είναι πολύ πιο εύκολο να βρεθεί σε μια αναζήτηση από μια σωστική λέμβο ή ένα ατομικό σωσίβιο. Αυτό που είναι δύσκολο είναι να επανέλθει ένα μεγάλο καταμαράν κάτι που θα απαιτούσε ακόμα και τη χρήση ενός γερανού. Σε μικρότερα καταμαράν τελευταία έχει βρεθεί μια απλή λύση τοποθετώντας στην κορυφή του καταρτιού ένα αεροδυναμικό και ελαφρύ μπαλονάκι που αποτρέπει την βύθιση του καταρτιού. Οπότε η επαναφορά του σκάφους γίνεται πιο εύκολα.
- Επίσης ένα μονοκάρινο μπορεί και περνά μέσα από τα κύματα λόγω της δυναμικής του μεγάλου του βάρους ενώ το καταμαράν είναι αναγκασμένο να περνά από πάνω επειδή είναι πιο ελαφρύ. Αυτό σημαίνει ότι τα καταμαράν είναι πιο επιρρεπή στον κυματισμό μόνο όταν είναι υπερφορτωμένα. Οπότε οι μικρότερες διαφορές στο ωφέλιμο φορτίο κάνουν μεγαλύτερη διάφορα στην απόδοση.



Εικόνα 7.2. Ιστιοφόρο καταμαράν μικρού μεγέθους



Εικόνα 7.3. Ιστιφόρο καταμαράν μικρού μεγέθους τύπου σπαστό

7.2. Καταμαράν και τεχνολογία

Η κατηγορία των καταμαράν δε πιάνει μόνο τα ιστιοφόρα μιας και η ιδιοτροπία τους έχει να κάνει με τη γάστρα του πλοίου και όχι με το πανί. Τα περισσότερα πολυτελή ναυπηγήματα ιδιωτών, και όχι μόνο, έχουν τη σχεδίαση καταμαράν γιατί πέραν του όγκου που αποκτάει το πλεούμενο, αποκτάει και πολλά σημαντικά θετικά όπως ευκολότερη επιτάχυνση μεγαλύτερες ταχύτητες στο εν πλω, οικονομικότερα συγκριτικά με τα μονοκάρινα, προσφέρουν σταθερότητα πού είναι σημαντικό για ένα ταξίδι με μια σχετική άνεση κ.τ.λ. Επίσης το σχέδιο του καταμαράν έχει δώσει τροφή για σκέψη στους σχεδιαστές σκαφών και όχι μόνο, για ιδιαίτερα πρωτοποριακά σχέδια στα πλεούμενα τα οποία είναι ιδιαίτερα αξια σαν κατασκευαστικά επιτεύγματα είτε απο την άποψη της εμφάνισης είτε από άποψη εργονομίας και καλύτερης εκμετάλλευσης αεροδυναμικών και υδροδυναμικών δυνάμεων κατά τη πλεύση.







Εικόνες 7.4 Καταμαράν επιβατηγά-εμπορικά-στρατού







Εικόνες 7.5. Καταμαράν φουτουριστικά, αγωνιστικά, μοντελισμός

7.3 Το «Τριμαράν»

Κυρίως όταν λέμε multihulls εννοούμε τα πολυκάρινα σκάφη. Μετά την αναφορά μας για τα catamaran τα οποία αποτελούνται από δυο καρίνες, σειρά έχουν τα trimaran. Το τριμαράν είναι ένα σκάφος το οποίο έχει ένα κεντρικό κύτος και δυο συμμετρικές καρίνες, μια σε κάθε πλευρά που ενώνονται μεταξύ τους.

Αυτά τα σκάφη έχουν μερικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα σκάφη μονού κύτους. Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι η υψηλή σταθερότητα ενάντια στην δύναμη των πλαϊνών ανέμων στα πανιά από την αυξημένη απόσταση από το κέντρο βάρους του σκάφους. Αυτή η σταθερότητα παρέχεται στα trimaran και από το βάρος του συνολικού σκάφους σε αντίθεση από τα σκάφη μονού κύτους τα οποία συνήθως χρησιμοποιούν ένα αντίβαρο (καρίνα) κάτω από το κύτος για αυτό τον σκοπό.

Γι αυτό και επιτρέπεται στα trimaran να έχουν στενότερα κύτη με αποτέλεσμα να έχουν λιγότερη αντίσταση στο κυματισμό προσφέροντας μεγαλύτερη ταχύτητα με λιγότερη προσπάθεια.

Επειδή λοιπόν αυτά τα σκάφη μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλη ταχύτητα για την αποφυγή αναποδογυρίσματος, επιβάλετε η χρήση πολλές φορές της πλωτής άγκυρας αλλά και η μείωση της ιστοφορίας σε πολλή δυνατούς ανέμους (μούδες).

Τα τριμαράν είναι κυρίως αθλητικού ενδιαφέροντος μιας και είναι πολύ ελαφριές κατασκευές και έχουν σχεδόν μηδαμινές τριβές με το νερό, έτσι καταφέρνουν να έχουν τρομερή αεροδυναμική ώθηση μιας και οι υδροδυναμικές αντίρροπες δυνάμεις είναι σχεδόν αμελητέες. Οι υδροδυναμικές δυνάμεις είναι μελετημένες σ αυτά τα σκάφη έτσι ώστε να υπάρχουν μόνο για τη διατήρηση μιας σχετικής ισορροπίας μεταξύ αυτών με τις αεροδυναμικές δυνάμεις έτσι ώστε να μην είναι τελείως έρμαιο του ανέμου.



Εικόνα 7.6. Αγωνιστικό Τριμαράν εν πλώ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, D.B., 2008. *The Physics of Sailing*. Physics Today, pp. 38-42. American Institute of Physics.
- Sailingschool, n.d. *Αεροδυναμική των πανιών*. Εκπαιδευτικές σημειώσεις. Διαθέσιμο στο <<http://www.sailingschool.gr/shmeiwseis>> [Ημερομηνία προσπέλασης: 31/03/2015].
- Γεωργίου, Δ.Η., n.d. *Στοιχεία υδροδυναμικής και αεροδυναμικής*. Διαθέσιμο στο <www.iason-sy.gr/LinkClick.aspx?fileticket=a1vuvJQst8Y%3D&tabid=236> [Ημερομηνία προσπέλασης: 05/04/2015].
- Θαλασσινός, Ι., 2008_α. *Φαινόμενος άνεμος – Ο αέρας πάνω στα πανιά του σκάφους*. ortsa.gr: Το πρώτο ηλεκτρονικό περιοδικό για τη θάλασσα. Διαθέσιμο στο <<http://www.ortsa.gr/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B1-%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%B7/%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%82-%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CF%82-%CE%BF-%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B1%CF%82-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CF%89-%CF%83%CF%84%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BD/#sthash.WKLFYJqx.dpuf>>.
- Θαλασσινός, Ι., 2008_γ. *Εγκάρσια ευστάθεια σχήματος & βάρους: Οι δύο παράγοντες που καθορίζουν την ευστάθεια του ιστιοφόρου*. Διαθέσιμο στο <<http://www.ortsa.gr/%CF%84%CE%B1-%CF%83%CE%BA%CE%AC%CF%86%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B1-%CE%BC%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82/%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%AC%CF%81%CF%83%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CF%83%CF%87%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-%CE%B2%CE%AC%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%82/>> [Ημερομηνία προσπέλασης, 02/04/2015].
- Ματιάτος, Μ., 2007. *Όρτσα τα πανιά: Τα βασικά της υδροδυναμικής και αεροδυναμικής του ιστιοφόρου σκάφους*. ortsa.gr: Το πρώτο ηλεκτρονικό περιοδικό για τη θάλασσα. Διαθέσιμο στο: <<http://www.ortsa.gr/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B1-%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%B7/%CF%8C%CF%81%CF%84%CF%83%CE%B1-%CF%84%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%AC-%CF%84%CE%B1-%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AC>>

%CF%84%CE%B7%CF%82-

%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC/
#sthash.KsFjxyPV.dpuf> [Ημερομηνία προσπέλασης: 04/04/2015].

- Στρούζας, Γ.Π., 2010. *Η αεροδυναμική των πανιών*. Πανελλήνιος Όμιλος Ιστιοπλοΐας Ανοικτής Θαλάσσης Ν.Ο.Καλμακίου.
- <http://sailing-info.gr/articles/sailing/2572-2012-07-21-15-00-39>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BC%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%BD>
- http://www.researchgate.net/profile/Xue-Nong_Chen/publication/266852263_Hydrodynamics_of_Wave-Making_in_Shallow_Water/links/54cf57fe0cf298d65663349a.pdf
- <https://sites.google.com/site/greekboatplans/designs/multihulls>
- http://www.multihullcompany.com/Article/Catamaran_Vs_Monohull
- https://www.google.gr/search?q=katamaran&es_sm=122&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0CCEQsARqFQoTCLu5-I7Ji8YCFcM-FAodYXwANQ&biw=1280&bih=631
- <https://www.youtube.com/watch?v=2boayPZ3GbE>
- <https://www.youtube.com/watch?v=iLMOdhce-Pk>

