



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Επίδραση μετεωρολογικών μεταβλητών στην
ενεργειακή κατανάλωση ιστιοφόρων***



Καφετζιδάκης Μ. Αναστάσιος

Επιβλέπων καθηγητής: Μαμάσης Νικόλαος

Αθήνα, Ιούλιος 2022

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, η οποία σηματοδοτεί την περάτωση των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Νικόλαο Μαμάση, ο οποίος με καθοδήγησε και με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας. Ο κ. Μαμάσης ήταν πάντα εκεί, πρόθυμος να ανταποκριθεί στους προβληματισμούς και τις απορίες μου, διαθέτοντας τον πολύτιμο χρόνο του και τις υποδείξεις του. Παρά του ότι ο δρόμος προς την ολοκλήρωση των σπουδών μου για μένα δεν ήταν εύκολος, το τέλος αυτής της πορείας θα μείνει στην καρδιά μου ως μια όμορφη ανάμνηση, κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στον κ. Μαμάση.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Α. Ευστρατιάδη και την κα Β. Τσουκαλά για την παρουσία τους και το χρόνο τους στην εξέταση της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμα, ευχαριστώ από καρδιάς την κοπέλα μου Νάντια, για την αμέριστη συμπαράσταση, υποστήριξη και εμπιστοσύνη της, μαθαίνοντάς μου, στο τελευταίο σκαλί των σπουδών μου πως τίποτα δεν είναι ακατόρθωτο.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου, και ιδιαιτέρως την Κέλλυ και τον Πάνο, για την εμπύχωσή τους και φυσικά την οικογένειά μου για τη διαρκή τους υποστήριξη και υπομονή που δείχνουν.

Αυτή η διπλωματική είναι αφιερωμένη στον πατέρα μου Μίλτο που δεν πρόλαβε να μοιραστεί τη χαρά μου, στο κλείσιμο αυτού του κύκλου.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των μετεωρολογικών μεταβλητών στην ενεργειακή κατανάλωση των ιστιοφόρων σκαφών. Στο πρώτο στάδιο της εργασίας παρουσιάζονται θεωρητικά στοιχεία για τα ιστιοφόρα σκάφη, ενώ αναλύεται ο τρόπος πλεύσης των ιστιοπλοϊκών και η αεροδυναμική των ιστίων. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη ναυτική μετεωρολογία και κατασκευάζεται πίνακας για τον υπολογισμό της ισχύος του ανέμου, συναρτήσεως της ταχύτητας αυτού και της επιφάνειας των ιστίων. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις των ιστιοφόρων σκαφών ενώ παρατίθεται και αναλύεται πίνακας με πραγματικά δεδομένα από πλεύσεις ιστιοφόρων σκαφών. Τέλος, εξετάζονται 11 διαφορετικά σενάρια πλεύσης για μία σύνθετη θαλάσσια διαδρομή, με συγκεκριμένο τύπο ιστιοπλοϊκού σκάφους αναψυχής. Για τα διαφορετικά αυτά σενάρια, αποτυπώνονται συγκριτικά διαγράμματα που αφορούν την ταχύτητα του σκάφους, τη συνολική διάρκεια διαδρομής, τη συνολική κατανάλωση καυσίμου, την ιπποδύναμη του σκάφους και την ενέργεια για το σύνολο της διαδρομής. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Abstract

The aim of this dissertation is to investigate the effect of the weather variables on the consumption of energy of the sailing vessels. The first part of the study aims to illustrate the theoretical background which is available on the literature on the sailing vessels structural features, the navigation methods and the aerodynamics. In addition, an overview of the marine meteorology along with a calculation method for wind power based on the wind speed and sailing area are presented. Furthermore, an assessment of the energy consumption of the sailing vessels supported with actual data recorded during real-time navigations. Moreover, the study focuses on 11 different scenarios of navigation along a complex sailing route considering a specific type of vessel suitable for resort purposes. For each different scenario, a series of technical features - such as vessel speed, total duration of navigation route, total fuel and energy consumption - is examined and illustrated in graphic charts. Finally, certain conclusions are listed which derive from combining the findings of the above parametric study.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
Εισαγωγή.....	6
1. Θεωρητικά στοιχεία για τα ιστιοφόρα σκάφη.....	8
1.1 Ορισμός ιστιοφόρου σκάφους.....	8
1.2 Είδη ιστιοφόρων σκαφών.....	9
1.2.1. Τα μέρη του σκάφους.....	9
1.2.2. Τύποι ιστιοφόρων σκαφών.....	12
1.2.3. Είδη ιστίων.....	19
1.3. Αεροδυναμική και υδροδυναμική ιστιοφόρων σκαφών.....	21
1.3.1. Ιστορική αναδρομή.....	21
1.3.2. Αεροδυναμική ιστίων.....	23
1.3.3. Φαινόμενος άνεμος και ταχύτητα του σκάφους.....	26
1.3.4. Αντίσταση ιστιοφόρου σκάφους.....	29
1.3.5. Συνθήκες πλεύσης ιστιοφόρου σκάφους.....	31
1.4. Ιστιοπλοϊκά σκάφη και τουρισμός.....	37
2. Ναυτική μετεωρολογία.....	39
2.1. Μετεωρολογικά μεγέθη.....	39
2.1.1. Άνεμος.....	39
2.1.2. Κύματα.....	41
2.2. Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά ελληνικών θαλασσών.....	43
2.3. Επίδραση μετεωρολογικών μεγεθών στην πορεία των ιστιοφόρων...	46
3. Ενεργειακές καταναλώσεις ιστιοφόρων σκαφών.....	53
3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας κινητήρων σκαφών.....	53

3.2. Μηχανική κατανάλωση σκαφών με πετρελαιοκινητήρα	55
3.3. Παραδείγματα κατανάλωσης σκαφών αναψυχής	58
4. Μελέτη περίπτωσης για τη σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων ιστιοφόρου σκάφους.....	64
4.1. Επιλογή δεδομένων	64
4.1.1. Ιστιοφόρο σκάφος μονής γάστρας.....	64
4.1.2. Προτεινόμενη διαδρομή	71
4.2. Παρουσίαση Σεναρίων πλεύσης για τη μελέτη περίπτωσης	74
4.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων Σεναρίων πλεύσης	87
5. Σύνοψη - Συμπεράσματα.....	95
Βιβλιογραφία	100

Εισαγωγή

Τα ιστιοφόρα σκάφη έχουν ως κύριο μέσο πρόωσης τα πανιά, δηλαδή αξιοποιούν την ανεξάντλητη πηγή ενέργειας του ανέμου, ενώ ο κινητήρας έχει συνήθως βοηθητικό ρόλο. Η γέννηση της ιστιοπλοΐας, η τέχνη δηλαδή του αρμενίσματος στο νερό, ήταν καθοριστική για να εξερευνηθεί πλήρως η υφήλιος. Σήμερα, τα ιστιοφόρα σκάφη, με την πολλά υποσχόμενη χρήση νέων τεχνολογιών, μπορούν να αποτελέσουν το μέλλον των θαλάσσιων μεταφορών, ενώ συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των μετεωρολογικών μεταβλητών που επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση των ιστιοφόρων σκαφών. Οι μετεωρολογικές μεταβλητές που επιδρούν στην πλεύση των ιστιοφόρων και στην ενεργειακή τους κατανάλωση είναι ποικίλες και η επίδραση τους πολυπαραγοντική. Γι' αυτό το λόγο, στην παρούσα εργασία, εξετάζεται κατά κύριο λόγο η επίδραση της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου, ενώ ο κυματισμός λαμβάνεται υπόψη με δευτερεύουσα σημασία, μόνο δηλαδή ως προς την επίδραση του στην ταχύτητα του σκάφους. Προκειμένου να μελετηθούν αυτές οι μεταβλητές, έχουν επιλεγθεί συγκεκριμένοι τύποι ιστιοφόρων σκαφών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα συνήθη σκάφη αναψυχής που κυκλοφορούν τους καλοκαιρινούς μήνες στις θάλασσες του Αιγαίου.

Η εργασία διαρθρώνεται ως ακολούθως.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθενται θεωρητικά στοιχεία για τα ιστιοφόρα σκάφη. Παρουσιάζονται τα είδη των ιστιοπλοϊκών και των ιστίων, ενώ γίνεται εκτενής αναφορά στην αεροδυναμική των ιστιοφόρων σκαφών. Επίσης, παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την ιστιοπλοΐα και τον τουρισμό στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικότερα μετεωρολογικά μεγέθη που εμπίπτουν στο πεδίο της ναυτικής μετεωρολογίας και αναφέρονται τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των ελληνικών θαλασσών. Επίσης, εξετάζεται αναλυτικά η ισχύς που προσδίδεται στο σκάφος μέσω των ιστίων και κατασκευάζεται πίνακας για τον υπολογισμό της ισχύος του ανέμου, συναρτήσει της ταχύτητάς του και της επιφάνειας των ιστίων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά και στα κριτήρια

επιλογής της συνολικής επιφάνειας των ιστίων, κατά τον σχεδιασμό ιστιοφόρων σκαφών.

Στο τρίτο κεφάλαιο, εξετάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις των ιστιοφόρων σκαφών και παρουσιάζονται σχετικοί τύποι που προσδιορίζουν την επιλογή της ιπποδύναμης του κινητήρα ενός σκάφους. Στη συνέχεια δίνονται παραδείγματα κατανάλωσης καυσίμου ιστιοφόρων σκαφών, ενώ παρατίθεται πίνακας με πραγματικά δεδομένα από πλεύσεις ιστιοφόρων. Επίσης, γίνεται σύγκριση των καταναλώσεων ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους, ενός ταχύπλου σκάφους και ενός φορτηγού οχήματος, με παραπλήσια βάρη.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας, σύμφωνα με την οποία έχει επιλεγθεί συγκεκριμένη θαλάσσια διαδρομή και συγκεκριμένος τύπος ιστιοφόρου σκάφους. Για τα δεδομένα αυτά, εξετάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις, για 11 διαφορετικές περιπτώσεις, ανάλογα με τα μετεωρολογικά δεδομένα και συνεπώς με τις συνθήκες πλεύσης του σκάφους. Για τα διαφορετικά αυτά σενάρια, αποτυπώνονται συγκριτικά διαγράμματα που αφορούν την ταχύτητα του σκάφους, τη συνολική διάρκεια διαδρομής, τη συνολική κατανάλωση καυσίμου, την ιπποδύναμη του σκάφους από τα ιστία ή από τη χρήση κινητήρα και την ενέργεια για το σύνολο της διαδρομής.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία σύνοψη των βασικών σημείων της εργασίας και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

1. Θεωρητικά στοιχεία για τα ιστιοφόρα σκάφη

1.1 Ορισμός ιστιοφόρου σκάφους

Ως ιστιοφόρο χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε σκάφος ή πλωτό ναυπήγημα που έχει ως αποκλειστικό μέσο πρόωσής του τον άνεμο επί των ιστίων του (πανιά) τα οποία και φέρει, εξ ου και η ονομασία του (Αποστολίδης, 2013).

Τα ιστιοφόρα σκάφη αποτελούν ειδικό τύπο πλοίων, η πρόωση των οποίων βασίζεται στην ώθηση που αναπτύσσουν με τα πανιά τους υπό την επίδραση του ανέμου, χωρίς παράλληλα να αποκλείουν την ύπαρξη μηχανής. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO, όπως αυτά αναφέρονται στο Διεθνές Ναυτικό Ινστιτούτο Πιστοποίησης (International Marine Certification Institute), ιστιοπλοϊκό μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε σκάφος που έχει σαν κύριο μέσο πρόωσης την ώθηση του ανέμου και ικανοποιεί την σχέση:

$$A_s > 0.07 * (m_{LDC})^{2/3}$$

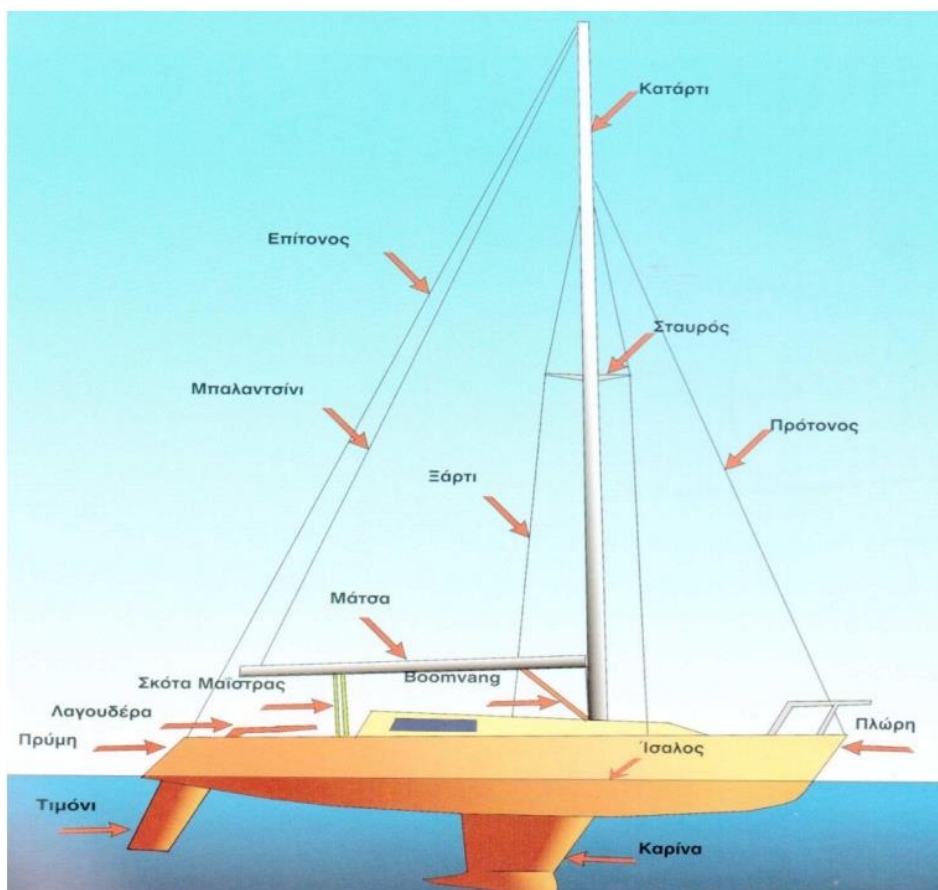
Όπου A_s η συνολική επιφάνεια της ιστιοφορίας σε m^2 , αποτελούμενη από το πρωραίο και το κυρίως τρίγωνο, ενώ m_{LDC} είναι το εκτόπισμα του σκάφους στην κατάσταση πλήρους φορτίου (full load departure), μετρούμενο σε kg (Αγγέλου, 2008; Συφαλέρας & Φερεκίδης, 2015).

Το ιστιοφόρο σκάφος έχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα αυτονομίας από οποιοδήποτε άλλο σκάφος και μπορεί να είναι αυτόνομο για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η δημιουργία των ιστιοφόρων σκαφών γέννησε την ιστιοπλοΐα. Η ιστιοπλοΐα είναι η τέχνη του αρμενίσματος στο νερό (σε θάλασσα ή σε λίμνη) χρησιμοποιώντας ως αποκλειστική ή κύρια πηγή ενέργειας τον άνεμο. Το όνομά της είναι σύνθετο από το ιστίο + πλους, δηλαδή πλεύση με το πανί, το οποίο τα παλιά χρόνια χρησιμοποιούσαν τα σκάφη για να ταξιδεύουν. Τα πανιά δένονταν στα κατάρτια (ιστούς) και με τη βοήθεια του αέρα αρμένιζαν στις θάλασσες όλου του κόσμου. Σήμερα, τα ιστιοφόρα σκάφη διατηρούν και μηχανές, ως βοηθητικές, σε περίπτωση που επικρατεί άπνοια, δηλαδή όταν δεν φυσάει αέρας (Πατρώνης, 2019).

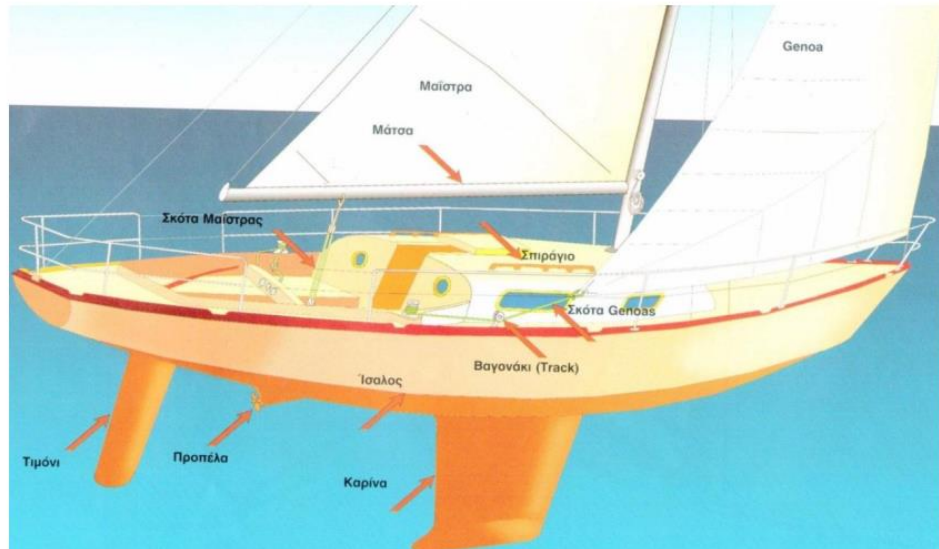
1.2 Είδη ιστιοφόρων σκαφών

1.2.1. Τα μέρη του σκάφους

Ένα ιστιοφόρο σκάφος αποτελείται από διάφορα μέρη, τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του. Η ονοματολογία όλων αυτών αποτελεί μια ξεχωριστή γλώσσα: τη γλώσσα της ναυτικής τέχνης. Στη συνέχεια θα παρατεθούν κάποιοι βασικοί όροι που αφορούν την ονοματολογία των μερών του σκάφους, ενώ στις Εικόνες 1.1 και 1.2 παρουσιάζονται τα βασικότερα μέρη του. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα διάφορα σύρματα που στηρίζουν το κατάρτι, ενώ στην Εικόνα 1.2 απεικονίζονται τα δύο βασικά πανιά ενός ιστιοφόρου σκάφους. Και στις δύο αυτές εικόνες φαίνονται τα βασικά μέρη του κάτω τμήματος του σκάφους, όπως θα αναφερθούν αναλυτικά στη συνέχεια.



Εικόνα 1.1: Ονοματολογία μερών του σκάφους: Κέλυφος και σύρματα
(Πηγή: Στρούζας, 2003)



Εικόνα 1.2: Ονοματολογία μερών του σκάφους: Κέλυφος και πανιά
(Πηγή: Στρούζας, 2003)

Σύμφωνα με τον Στρούζα (2003), ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος αποτελείται από α) το κέλυφος του σκάφους ή γάστρα (hull), β) το κατάρτι (mast) και γ) τα πανιά (sails). Αναλυτικότερα, τα μέρη του ιστιοπλοϊκού, τα οποία θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία, αναφέρονται ακολούθως.

α) Για το κέλυφος του σκάφους:

- Η πλώρη είναι το μπροστινό μέρος του σκάφους.
- Η πρύμη είναι το πίσω μέρος του σκάφους.
- Ο ίσαλος είναι το επίπεδο από την οριζόντια τομή της επιφάνειας της θάλασσας με το πλοίο, στο σημείο που αυτό ισορροπεί και επιπλέει. Έχει καθιερωθεί με τον όρο «ίσαλος γραμμή».
- Το τιμόνι είναι ένα πτερύγιο που βρίσκεται στο πίσω και κάτω μέρος του σκάφους και καθορίζει την πορεία του.
- Η καρίνα (ή καρένα) είναι ένα πτερύγιο, το οποίο είναι τοποθετημένο κατακόρυφα στο κάτω μέρος του σκάφους. Εξασφαλίζει την ευστάθεια και την ορθή πλευση του σκάφους. Με την αντίσταση που δημιουργεί στο νερό, λόγω της επιφάνειάς της, σχεδόν εξισώνει την πλάγια δύναμη που ασκεί ο άνεμος στα πανιά που τείνει να παρασύρει το σκάφος με το πλάι (εκπεσμός). Επίσης, στα μεγάλα ιστιοπλοϊκά σκάφη, χαμηλώνει το κέντρο βάρους του σκάφους. Όταν το

σκάφος, λόγω της δύναμης που ασκεί ο άνεμος στα πανιά, «γέρνει», το βάρος της καρίνας μαζί με την άνωση δημιουργούν ζεύγος δυνάμεων, το οποίο έχει την τάση να επαναφέρει το σκάφος στην αρχική του ισορροπία. Το βάρος της καρίνας μπορεί να ποικίλει μεταξύ 30 - 40% του ολικού βάρους του ιστιοπλοϊκού σκάφους.

- Κινητήρας του σκάφους: Εντός του κελύφους του σκάφους βρίσκεται ο κινητήρας του σκάφους, ο οποίος έχει βοηθητικό χαρακτήρα, καθώς το κύριο μέσο πρόωσης είναι τα ιστία.
- Το πηδάλιο ή λαγουδέρα ή ρόδα βρίσκεται στο πάνω μέρος του σκάφους και είναι το όργανο χειρισμού του τιμονιού. Μέσω του πηδαλίου καθορίζουμε την κατεύθυνση της πορείας του σκάφους.

β) Το κατάρτι ή ιστός είναι ένας μακρύς κυλινδρικός σωλήνας, συνήθως από αλουμίνιο, στον οποίο στηρίζονται τα πανιά του σκάφους. Το κατάρτι στηρίζεται σε συρματόσκοινα. Το οριζόντιο κοντάρι, κάθετο στο κατάρτι, ονομάζεται μάτσα. Ο ρόλος της μάτσας είναι να συγκρατεί το πανί και να βοηθάει στο χειρισμό του.

γ) Τα πανιά, σε ένα σύγχρονο ιστιοφόρο σκάφος, έχουν συνήθως τριγωνικό σχήμα και λειτουργούν όπως ακριβώς λειτουργεί μια σημαία στον ιστό της. Η κατακόρυφη πλευρά είναι τεντωμένη στον ιστό, από την οποία εισέρχεται ο άνεμος στο πανί, η οριζόντια πλευρά συγκρατείται από τη μάτσα και η τρίτη πλευρά είναι ελεύθερη να ανεμίζει. Το βασικό πανί του ιστιοπλοϊκού σκάφους είναι η μαϊστρα, η οποία στηρίζεται στο κατάρτι και εκτείνεται προς το πίσω μέρος του σκάφους. Επιπλέον υπάρχει ο φλόκος (ή τζένοα) ο οποίος βρίσκεται μπροστά από τη μαϊστρα, προς την πλώρη του σκάφους και στηρίζεται στο μπροστινό συρματόσκοινο, τον πρότονο (βλ. Εικόνα 1.2).

Δευτερεύοντα μέρη του σκάφους είναι ο πρότονος και ο επίτονος, δηλαδή το μπροστινό και το πίσω συρματόσκοινο στήριξης του καταρτιού αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα συρματόσκοινα στήριξης του καταρτιού ονομάζονται ξάρτια. Επιπλέον, στο ιστιοπλοϊκό σκάφος υπάρχουν σκοινιά για τον χειρισμό των πανιών, οι σκότες και τα μαντάρια. Οι σκότες χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της θέσης των πανιών ανάλογα με την πλεύση, ενώ τα μαντάρια ανεβάζουν και κρατούν ανεβασμένα τα πανιά.

1.2.2. Τύποι ιστιοφόρων σκαφών

Για το διαχωρισμό των ιστιοπλοϊκών σκαφών σε κατηγορίες, λαμβάνονται υπόψη τα εξής: α) ο αριθμός των κατάρτιων, β) το είδος της γάστρας και γ) το μέγεθος των ιστίων. Οι βασικότεροι τύποι ιστιοπλοϊκών σκαφών παρουσιάζονται στη συνέχεια, στις Εικόνες 1.3 έως 1.11.

1) Clipper



Εικόνα 1.3: Ιστιοφόρο σκάφος Flying Clipper

(Πηγή: Boonzaier, 2020)

Τα πρώτα ιστιοφόρα σκάφη τύπου Clipper ναυπηγήθηκαν στην Αμερική στις αρχές του 19ου αιώνα, ήταν ξύλινα και είχαν τρία κατάρτια. Αργότερα, όταν ναυπηγήθηκαν τα πρώτα σιδερένια πλοία, υπήρξαν Clipper που είχαν τέσσερα ή ακόμη και πέντε κατάρτια. Η ιστιοφορία του αποτελείται από ένα συνδυασμό πανιών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3. Τα κυρίως πανιά είναι τετράγωνα, στην πλήρη και ενδιάμεσα υπάρχουν τριγωνικά πανιά, ενώ στην πρύμη συνήθως υπάρχει ένα τραπεζοειδές πανί.

Τα Clipper ήταν τα ταχύτερα πλοία της εποχής και μονοπωλούσαν το εμπόριο από την Ασία στην Αγγλία. Ένα από τα πιο φημισμένα Clipper είναι το Cutty Shark που ναυπηγήθηκε στη Σκωτία το 1870 (Στρούζας, 2003).

Στην Εικόνα 1.3 φαίνεται ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Clipper, το Flying Clipper, όπως είναι σήμερα. Το ιστιοφόρο σκάφος Flying Clipper είναι ένα από τα μεγαλύτερα ιστιοφόρα στον κόσμο. Είναι πιστό αντίγραφο ιστιοφόρου σκάφους του

1911, έχει μήκος 162 m και πλάτος 18,5 m, με βάρος 2.000 τόνους. Έχει πέντε ιστούς και συνολική επιφάνεια πανιού 6.347 m². Το Flying Clipper διαθέτει πέντε καταστρώματα και μπορεί να φιλοξενήσει 450 άτομα (300 επιβάτες και 150 μέλη πληρώματος). Το πλοίο προορίζεται αποκλειστικά για ιστιοπλοΐα, αν και έχει δύο πλήρως ανεξάρτητους κινητήρες. Το Flying Clipper έχει σχεδιαστεί για να πλέει σε όλους τους ωκεανούς, συμπεριλαμβανομένης της Αρκτικής και της Ανταρκτικής, σε συνθήκες πάγου. Υπό ευνοϊκές καιρικές συνθήκες πλέει με ταχύτητα 20 κόμβων και με λειτουργία κινητήρα πλέει με ταχύτητα περίπου 16 κόμβων (MI News, 2020).

2) Ketch



Εικόνα 1.4: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Ketch
(Πηγή: Yacht Charter Fleet, 2022)

Τα ιστιοφόρα σκάφη τύπου Ketch έχουν δύο κατάρτια, από τα οποία το πρυμίο (που είναι και το μικρότερο) είναι τοποθετημένο μπροστά από τον άξονα του πηδαλίου (δηλαδή προς τα πλώρα). Η κύρια ιστιοφορία του αποτελείται από μία μαΐστρα, μία μετζάνα και μία τζένοα (Στρούζας, 2003).

3) Yawl



Εικόνα 1.5: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Yawl

(Πηγή: Ναυτικός Όμιλος Σκύρου, 2013)

Και αυτός το είδος ιστιοφόρου είναι δικάταρτο, με τη διαφορά ότι το πρυμίο του κατάρτι είναι τοποθετημένο πίσω από τον άξονα του πηδαλίου (προς τα πρίμα δηλαδή). Εκτός αυτού, το πρυμίο κατάρτι ενός Yawl είναι μικρότερο σε ύψος από εκείνο ενός αντίστοιχου Ketch και επομένως έχει αισθητά μικρότερη μετζάνα (Στρούζας, 2003).

4) Schooner



Εικόνα 1.6: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Schooner

(Πηγή: Fraser, 2022)

Το ιστιοφόρο σκάφος τύπου Schooner είναι συνήθως δικάταρτο, αλλά μπορεί να έχει και τρία κατάρτια. Το κατάρτι στην πρύμνη του σκάφους έχει μεγαλύτερο

ύψος από το κατάρτι στην πλώρη του. Η ιστιοφορία του αποτελείται από μία μαϊστρα και μία μεντζάνα που έχουν συνήθως τραπεζοειδές σχήμα καθώς και δύο ή τρεις φλόκους (πλωριά πανιά).

5) Lateen



Εικόνα 1.7: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Lateen

(Πηγή: Torterat, 2021)

Τα ιστιοφόρα τύπου Lateen είναι τα πρώτα ιστιοφόρα που χρησιμοποίησαν τριγωνικό πανί. Το πανί στηρίζεται σε ένα ξύλο που λέγεται «αντένα». Το ιστιοφόρο αυτό πήρε το όνομά του από τη λέξη "Λατινικό" επειδή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Ρωμαίους (Stafford, 2020).

6) Sloop



Εικόνα 1.8: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Sloop

(Πηγή: Torterat, 2021)

Το ιστιοφόρο σκάφος τύπου Sloop έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Ένα κατάρτι μία τζένοα και μια μαΐστρα. Εάν ο πρότονος καταλήγει στην κορυφή του καταρτιού, τότε το Sloop λέγεται Masthead. Εάν ο πρότονος δεν καταλήγει στην κορυφή του καταρτιού, τότε το Sloop λέγεται Fractional (Στρούζας, 2003).

7) Catamaran



Εικόνα 1.9: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Catamaran

(Πηγή: Hodges, 2021)

Το καταμαράν (multi-hull) είναι ένας τύπος ιστιοφόρου με δύο γάστρες που είναι παράλληλες μεταξύ τους και ενώνονται στο κατάστρωμα με μια κατασκευή. Θεωρούνται σταθερά στη πλεύση τους, ευρύχωρα για τους χρήστες και γρηγορότερα σε σχέση με ένα κλασσικό ιστιοπλοϊκό (mono-hull).

8) Trimaran

Το Trimaran είναι μια παραλλαγή του καταμαράν αλλά αντί για δύο γάστρες έχει τρεις. Αυτό το κάνει ακόμα πιο σταθερό στη πλεύση του ειδικότερα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Επίσης διαθέτει περισσότερους χώρους απ' ότι ένα καταμαράν.



Εικόνα 1.10: Ιστιοπλοϊκό σκάφος τύπου Trimaran

(Πηγή: Neels Trimaran, 2022)

9) Αγωνιστικά



Εικόνα 1.11: Αγωνιστικό ιστιοπλοϊκό σκάφος

(Πηγή: Cape Horn Engineering, 2022)

Τα αγωνιστικά ιστιοφόρα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται κατά το μέγιστο τον αέρα. Είναι κατασκευασμένα από υλικά τελευταίας τεχνολογίας όπως για παράδειγμα το ανθρακόνημα (carbon) και το αραμίδιο (kevlar). Τα υλικά

αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να μειώνουν το βάρος του σκάφους ενώ χαρακτηρίζονται από μεγάλη αντοχή. Είναι τέτοια η ικανότητά τους που τα κάνει να πιάνουν ταχύτητες μεγαλύτερες απ' τον πραγματικό άνεμο.

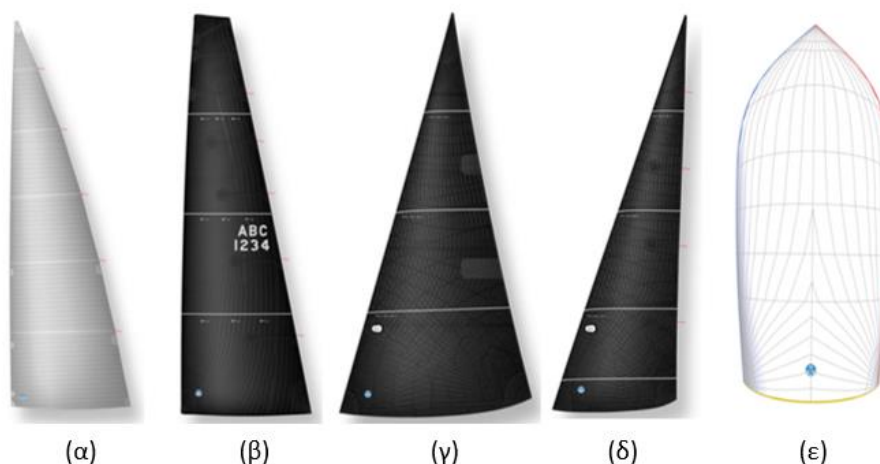
Μια νέα τάση όσον αναφορά τα ιστιοπλοϊκά σκάφη είναι η χρήση υδροπτερυγών (hydrofoils). Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή εδώ και πάρα πολλά χρόνια και είχε αρχικά χρήση στα μηχανοκίνητα σκάφη, όπως για παράδειγμα στα γνωστά ως ιπτάμενα δελφίνια. Τα τελευταία χρόνια όμως, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται και στα αγωνιστικά ιστιοπλοϊκά σκάφη. Η βασική ιδέα βρίσκεται στο κάτω μέρος του κελύφους, δηλαδή στη γάστρα. Στη γάστρα υπάρχουν δυο πτερύγια, κατάλληλα σχεδιασμένα, τα οποία ανυψώνουν όλο το σκάφος, όταν αυτό αποκτά συγκεκριμένη ταχύτητα. Κατά την πλεύση του σκάφους, και λόγω της πλευρικής κλίσης του, το ένα εκ των δύο πτερυγίων είναι βυθισμένο στο νερό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.12. Το ειδικά σχεδιασμένο σχήμα των υδροπτερυγών λειτουργεί αντίστοιχα με τον τρόπο που λειτουργεί το φτερό ενός αεροπλάνου. Η ανύψωση του σκάφους έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της αντίστασής του στο νερό, προσδίδοντας στο σκάφος ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες από τις αναμενόμενες. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο για την εφαρμογή της σε σκάφη αναψυχής (Callahan, 2020).



Εικόνα 1.12: Τεχνολογία Υδροπτερυγών
(Πηγή: Yachtingworld, 2020)

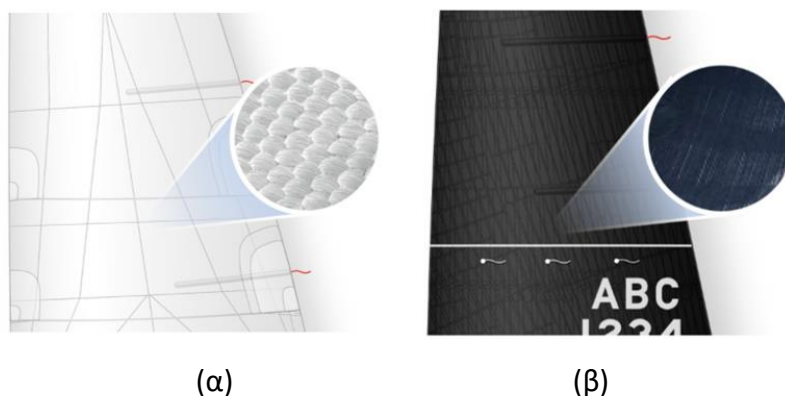
1.2.3. Είδη ιστίων

Η συμπεριφορά ενός ιστίου ως προς τον άνεμο εξαρτάται από το σχήμα του και το υλικό του. Αναφορικά με το σχήμα των ιστίων, το συνηθέστερο σχήμα των βασικών πανιών ενός ιστιοφόρου σκάφους είναι το τριγωνικό, ενώ για λόγους αεροδυναμικής συχνά συναντάμε μικρές παραλλαγές που καθορίζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του ιστίου στον άνεμο. Στην Εικόνα 1.13 παρουσιάζονται διαφορετικά σχήματα ιστίων, που επιτελούν και διαφορετικό σκοπό σε ένα σκάφος. Τα ιστία σε σχήμα ορθογωνίου τριγώνου χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μαϊστρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.13α, ενώ το ίδιο σχήμα ιστίου αλλά με τετραγωνισμένη κορυφή (square top), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.13β, χρησιμοποιείται επίσης για τη μαϊστρα, προσφέροντας μεγαλύτερη επιφάνεια πανιού και βελτιώνοντας την απόδοσή του. Τριγωνικό σχήμα ιστίου χρησιμοποιείται και για την τζένοα, όπως φαίνεται στις Εικόνες 1.13γ και 1.13δ. Αναλόγως της έντασής ανέμου, το τριγωνικό σχήμα ποικίλει, χωρίς παρ' όλα αυτά να πλησιάζει το ορθογωνικό τριγωνικό σχήμα της μαϊστρας. Τέλος, στην Εικόνα 1.13ε απεικονίζεται το λεγόμενο μπαλόνη, το οποίο, λόγω του καμπύλου σχήματός του, χρησιμοποιείται στις ανοιχτές πλεύσεις (>90°) και συντελεί στην ανάπτυξη μεγαλύτερης ταχύτητας του σκάφους, καθώς συνδράμει στην αποκατάσταση των απωλειών λόγω της μείωσης του φαινομένου ανέμου αλλά και της έλλειψης υποπίεσης (North Sails, 2022).



Εικόνα 1.13: Είδη ιστίων ανάλογα με το σχήμα τους
(Πηγή: North Sails, 2022)

Τα ιστία, ανάλογα με το υλικό τους, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Ενδεικτικά θα αναφερθούν οι βασικότερες δύο κατηγορίες, τις οποίες συναντάμε κατά κύριο λόγο στα σκάφη αναψυχής και στα αγωνιστικά σκάφη. Το υλικό της πρώτης κατηγορίας ονομάζεται ντάκρον (dacron), το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 1.14α. Το υλικό ντάκρον αποτελείται από πολυεστερικά υφάσματα, τα οποία χαρακτηρίζονται για την υψηλή αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία, για την ανθεκτικότητά τους στη χρήση και για το χαμηλό τους κόστος. Το δεύτερο υλικό αποδίδεται στα ελληνικά με τον όρο «τρισδιάστατη καινοτομία» (3DI) και απεικονίζεται στην Εικόνα 1.14β. Το υλικό 3DI είναι μία συνθετική κατασκευή, η οποία αποτελείται από λεπτές ίνες άνθρακα (carbon) και αραμιδίου (kevlar). Τα συνθετικά αυτά υλικά κάνουν τα πανιά από 3DI να είναι πολύ ελαφριά και ανθεκτικά, αλλά έχουν λιγότερο χρόνο ζωής και λιγότερη αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία από πανιά τύπου ντάκρον. Χρησιμοποιούνται συχνά σε αγώνες ιστιοπλοΐας (North Sails, 2022).



Εικόνα 1.14: Υλικά ιστίων
(Πηγή: North Sails, 2022)

1.3. Αεροδυναμική και υδροδυναμική ιστιοφόρων σκαφών

1.3.1. Ιστορική αναδρομή

Το πανί είναι μια από τις αρχαιότερες εφευρέσεις του ανθρώπου και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Η πρόωση με πανιά αποτέλεσε το κυριότερο μέσο πρόωσης κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ναυτικής ιστορίας. Η ιστορία του ξεκινά από το μέσο της τέταρτης χιλιετίας π.Χ. αλλά μόνο μετά το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα μ.Χ., εμφανίστηκε άξιος αντικαταστάτης του, ο ατμός. Παρά την τελική επικράτηση των μηχανών, η τέχνη της ιστιοπλοΐας δεν εξαφανίστηκε, αλλά αντίθετα εξελίχτηκε σε μοναδική εμπειρία ψυχαγωγίας. Έτσι σήμερα, το πανί συνεχίζει περήφανα την ιστορία του κατέχοντας ένα σημαντικό κομμάτι στα σκάφη αναψυχής (Γρηγορόπουλος & Περισσάκης, 2015).

Στην αρχαιότητα, περίπου το 2000 π.Χ. εισάγεται το μονό κατάρτι στη μορφή που το ξέρουμε σήμερα και βελτιώνεται το σύστημα πηδαλιουχίας. Η εξέλιξη των ιστιοφόρων είναι συνεχής, καθώς αναπτύσσεται παράλληλα και η τέχνη της ναυτιλίας. Τα ιστιοφόρα συνεχώς βελτιώνονται και αναπτύσσονται τόσο σε μέγεθος, όσο και σε επιχειρησιακές ικανότητες. Αρχίζουν να διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα εμπορικά και τα πολεμικά, τα οποία εξοπλίζονται και με ένα μεγάλο έμβολο στην πλώρη τους. Παρά όλες όμως τις θεαματικές βελτιώσεις, είναι πάντα εξοπλισμένα και με κουπιά για την περίπτωση που δεν υπάρχει άνεμος (Γρηγορόπουλος & Περισσάκης, 2015).

Το 1500 π.Χ. εμφανίζονται κρητικά ιστιοφόρα που διακινούσαν εμπορεύματα από και προς την Αίγυπτο. Τα πλοία είχαν τετράγωνα πανιά, με σχετικά μεγάλο φάρδος και μικρό ύψος. Εκτός αυτού, τα πανιά αυτά όταν φούσκωναν έκαναν μία καμπύλη (κούρβα), της οποίας η χορδή ήταν κάθετη προς τον άνεμο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.15. Η διάταξη αυτή επέτρεπε στον αέρα μόνο να «σπρώχνει» το πανί και έτσι τα πλοία ταξίδευαν μόνο πρύμα (κατάπρυμα και δευτερόπρυμα όπως αναφέρονται λεπτομερώς οι πλεύσεις στη συνέχεια, στην υποενότητα 1.3.5). Οι Αρχαίοι Έλληνες είναι γνωστό ότι έκαναν θυσίες για να φυσήξουν ούριοι άνεμοι. Όμως τότε δε γνώριζαν τι είναι η υποπίεση και πως θα έπρεπε να είναι διατεταγμένο ένα πανί για να τη δημιουργήσει (Στρούζας, 2003).



Εικόνα 1.15: Σύγχρονη κατασκευή αρχαίου σκάφους
(Πηγή: Παναγιώτου, 2020)

Από τον 7ο αιώνα μ.Χ. ξεκινάει μια νέα εποχή σχεδίασης πλοίων στη βόρεια Ευρώπη και συγκεκριμένα από τους Βίκινγκς. Τα σκάφη αυτά είχαν τριγωνικό πανί βελτιώνοντας σημαντικά την πρόωση με πανιά αλλά κινούνταν και με κουπιά. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους, εφευρέθηκε η «πλαγιά» ή «μπουρίνα» (bow-line), ένα σχοινί που κατευθυνόταν προς τα εμπρός και μπορούσε να τραβά την πλευρά του πανιού που ήταν προς τον άνεμο, επιτρέποντας έτσι στο πλοίο να πλέει υπό γωνία ως προς τον άνεμο (Γρηγορόπουλος & Περισσάκης, 2015).

Μέχρι τον 14ο αιώνα, τα πρωτεία στον κόσμο διατηρούσαν οι Μεσογειακοί κατασκευαστές πλοίων, τα μεγαλύτερα σκάφη των οποίων ξεπερνούσαν τα 100 ft, με μόνο σοβαρό ανταγωνιστή τους το κινέζικο τζανκ, ένα ιστιοφόρο με τρία έως πέντε κατάρτια. Στη διάρκεια του 15ου αιώνα, τα τρικάταρτα ιστιοφόρα της περιοχής της Μεσογείου διαδόθηκαν σε όλο τον κόσμο. Η κλασική πλέον μορφή των ιστιοφόρων της εποχής είχε ένα κεντρικό μεγάλο κατάρτι και δύο μικρότερα εκατέρωθεν αυτού. Μέχρι και τον 17ο αιώνα, η εξέλιξη συνεχίστηκε αδιάκοπα. Εκτός από μικρές παραλλαγές στη μορφή των σκαφών, κυρίως δοκιμάστηκαν πάρα πολλές παραλλαγές στην ιστιοφορία. Τα ιστιοφόρα πλέον εκμεταλλεύονται τον πλάγιο άνεμο και σιγά σιγά εγκαταλείπουν τα κουπιά. Κατά τη διάρκεια του 17ου και 18ου

αιώνα, τα πλοία συνεχώς βελτιώνονται, ξεπερνάνε τα 150 ft (46 m) και έχουν τρία καταστρώματα (τρικούβερτα). Τα ύφαλα επικαλύπτονται με φύλλα χαλκού, στερεωμένα με χάλκινα καρφιά για να προστατευτούν από το σάπισμα. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει σημαντικά και στην αύξηση της ταχύτητάς τους, αφού περιορίζεται δραστικά και η ανάπτυξη θαλάσσιας χλωρίδας στα ύφαλα. Όσο αφορά την ιστοριοφιλία, σημαντικό γεγονός είναι η καθιέρωση της χρήσης του φλόκου, ενός τριγωνικού πανιού, τόσο σε μικρά όσο και σε μεγάλα σκάφη. Τέλος καθιερώθηκε και η αυξομείωση της επιφάνειας των πανιών, ανάλογα με την ένταση του ανέμου, με την τεχνική του μουδαρίσματος. Η τεχνική αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη ειδικών μικρών ελαφριών σχοινιών και στις δύο επιφάνειες των πανιών, με τα οποία μαζεύεται μέρος του πανιού και δένεται στη βάση του (Γρηγορόπουλος & Περισσάκης, 2015).

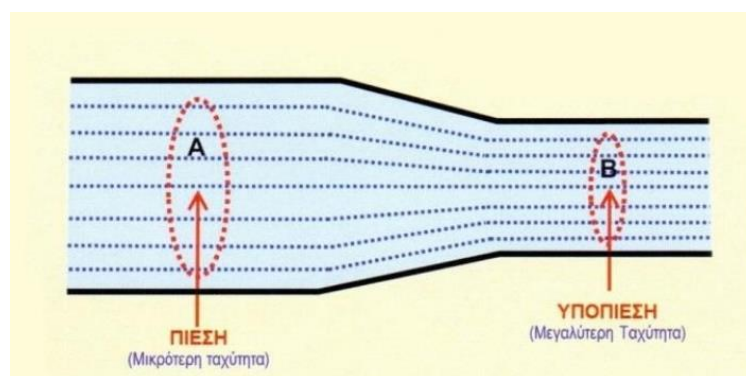
Το 1775, το πρώτο επιτυχημένο ταξίδι ενός σκάφους που κινήθηκε με ατμό σημάδεψε την αρχή του τέλους της εποχής του πανιού. Σήμερα, εν ενεργεία βρίσκονται αρκετά παραδοσιακά ιστοφόρα με τριγωνικά ιστία που χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για αναψυχή, η πλειονότητα των οποίων διαθέτει και μηχανοκίνηση. Τέλος έχει δημιουργηθεί μια εντελώς νέα και γοργά αναπτυσσόμενη κατηγορία σύγχρονων ιστοπλοϊκών σκαφών για αγώνες και αναψυχή (Γρηγορόπουλος & Περισσάκης, 2015).

1.3.2. Αεροδυναμική ιστίων

Η Αεροδυναμική των ιστίων σήμερα βασίζεται στο νόμο Bernoulli. Η δύναμη που αναπτύσσεται λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται στην υπήνεμη μεριά ενός σύγχρονου πανιού είναι η κύρια αιτία που τα ιστοπλοϊκά σκάφη ταξιδεύουν σε μικρές γωνίες ως προς τον άνεμο, όπου σε αυτήν την περίπτωση ο άνεμος έλκει το σκάφος, αντί να το σπρώχνει.

Ο νόμος Bernoulli μπορεί να διατυπωθεί με απλά λόγια ως εξής: Σε κάθε πεδίο ροής (νοητό ή σαφώς οριοθετημένο) μεταβλητής διατομής, η ταχύτητα ενός ιδανικού ρευστού που ρέει, είναι αντιστρόφως ανάλογη της πίεσής του. Με άλλα λόγια, όπου στενεύει το πεδίο ροής, το ρευστό ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα και μειώνεται η πίεσή του, δηλαδή επικρατεί υποπίεση. Αντίστροφα, όπου πλαταίνει το

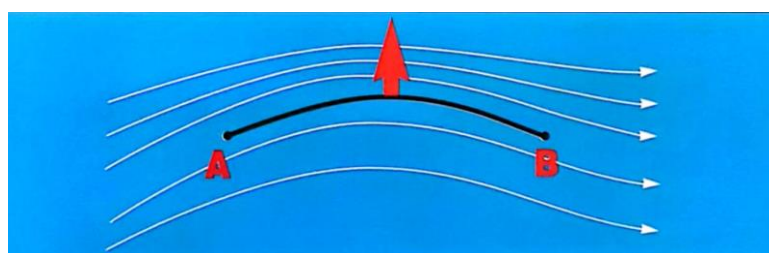
πεδίο ροής, το ρευστό ρέει με μικρότερη ταχύτητα και αυξάνεται η πίεση του, εκεί δηλαδή επικρατεί πίεση (Καλαθάκης, 2013). Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην Εικόνα 1.16, στην περιοχή A η ταχύτητα του ρευστού είναι μικρότερη και επικρατεί πίεση, ενώ στην περιοχή B η ταχύτητα του ρευστού μεγαλύτερη και επικρατεί υποπίεση.



Εικόνα 1.16: Νόμος Bernoulli

(Πηγή: Καλαθάκης, 2013)

Όσον αφορά τα ιστία, αν τοποθετηθεί ένα πανί σχήματος AB, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.17, σε ελεύθερη ροή αέρα, ο άνεμος στο πέρασμά του θα έλκει (ρουφάει) το σχήμα προς τα πάνω, αντί να το σπρώχνει προς τα κάτω. Το σχήμα AB, που έχει τη μορφή μιας «γλυκιάς» καμπύλης, βοηθά στην ομαλή ροή του αέρα και μπορεί να θεωρηθεί ένα αεροδυναμικό σχήμα.

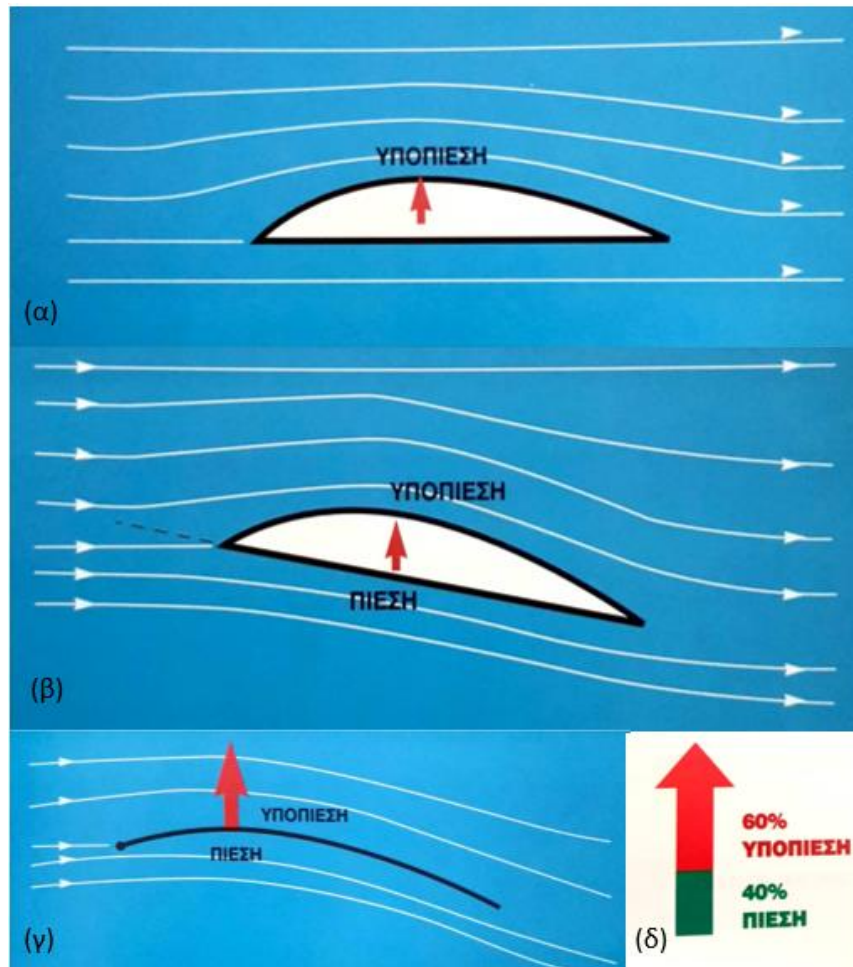


Εικόνα 1.17: Αεροδυναμικό σχήμα πανιού

(Πηγή: Στρούζας, 2003)

Το πανί, το οποίο είναι αεροδυναμικού σχήματος, εάν τοποθετηθεί σε ελεύθερη ροή, τότε η ταχύτητα του αέρα μεγαλώνει στην κυρτή μεριά και σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειωθεί η πίεση στη μεριά αυτή και να δημιουργηθεί υποπίεση (Εικόνα 1.18α). Αν το αεροδυναμικό σχήμα του

πανιού τοποθετηθεί με κάποια μικρή κλίση ως προς τη ροή του αέρα, στην μεριά που προσπίπτει ο άνεμος (κάτω τμήμα στην Εικόνα 1.18β) θα δημιουργηθεί πίεση, ενώ το επάνω τμήμα (Εικόνα 1.18β) θα έλκεται από τον αέρα, θα έχουμε λοιπόν υποπίεση. Ανακεφαλαιωτικά λοιπόν, στην υπήνεμη μεριά του πανιού δημιουργείται υποπίεση, ενώ στην προσήνεμη μεριά του, πίεση όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.18γ (Στρούζας, 2003).



Εικόνα 1.18: Περιοχές πίεσης και υποπίεσης

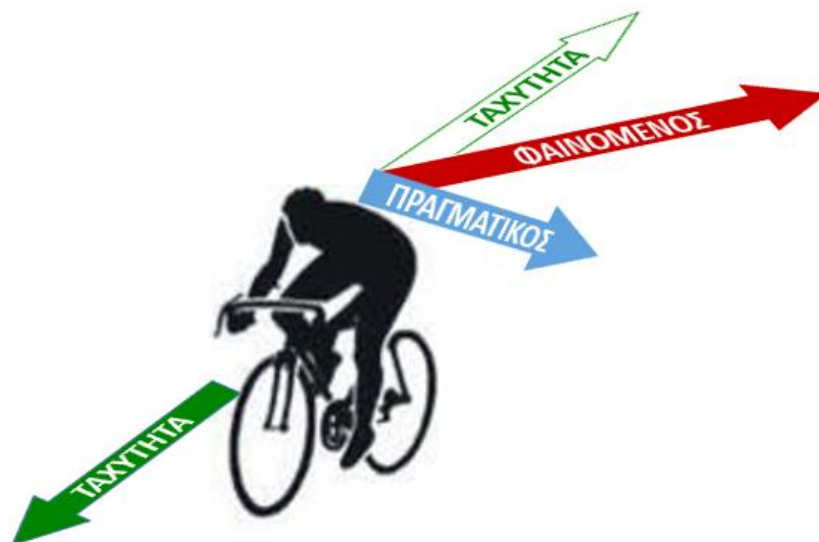
(Πηγή: Στρούζας, 2003)

Είναι αξιοσημείωτο ότι στην ολική παραγόμενη αεροδυναμική δύναμη, κάθετη στη ροή του ανέμου, η υποπίεση (suction) συνεισφέρει 60% και η πίεση (pressure) μόνο 40% (Εικόνα 1.18δ).

1.3.3. Φαινόμενος άνεμος και ταχύτητα του σκάφους

Ο άνεμος τον οποίο αντιλαμβάνεται ένας ακίνητος παρατηρητής ή ένα ακίνητο ανεμόμετρο λέγεται πραγματικός άνεμος. Τα χαρακτηριστικά του δεν διαφέρουν από αυτά του ανέμου ο οποίος φυσά την στιγμή της παρατήρησης. Όταν ο παρατηρητής ή το ανεμόμετρο κινούνται, η κίνησή τους επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του ανέμου που γίνονται αντιληπτά. Τα χαρακτηριστικά του ανέμου που αντιλαμβάνεται ο κινούμενος παρατηρητής είναι συνδυασμός της κίνησής του και των χαρακτηριστικών του πραγματικού ανέμου. Ο άνεμος αυτός, που αντιλαμβάνεται ο κινούμενος παρατηρητής λέγεται φαινόμενος άνεμος και προκύπτει από τη διανυσματική αφαίρεση της ταχύτητας του παρατηρητή από την πραγματική ταχύτητα του ανέμου. Συνεπώς, ο φαινόμενος άνεμος διαφέρει από τον πραγματικό σε ένταση και διεύθυνση (Marchaj, 2000).

Από τα παραπάνω προκύπτει εν γένει, ότι όταν η κίνηση του παρατηρητή είναι αντίθετης κατεύθυνσης από αυτή του πραγματικού ανέμου, η ένταση του φαινόμενου ανέμου είναι μεγαλύτερη, ενώ όταν είναι μαζί με τον άνεμο, η ένταση του φαινόμενου ανέμου είναι μικρότερη. Στην Εικόνα 1.19 απεικονίζεται το διάνυσμα της ταχύτητας του φαινόμενου ανέμου, στην περίπτωση κίνησης ενός ποδηλάτη, ο οποίος δέχεται τον πραγματικό άνεμο κάθετα στην κίνησή του.

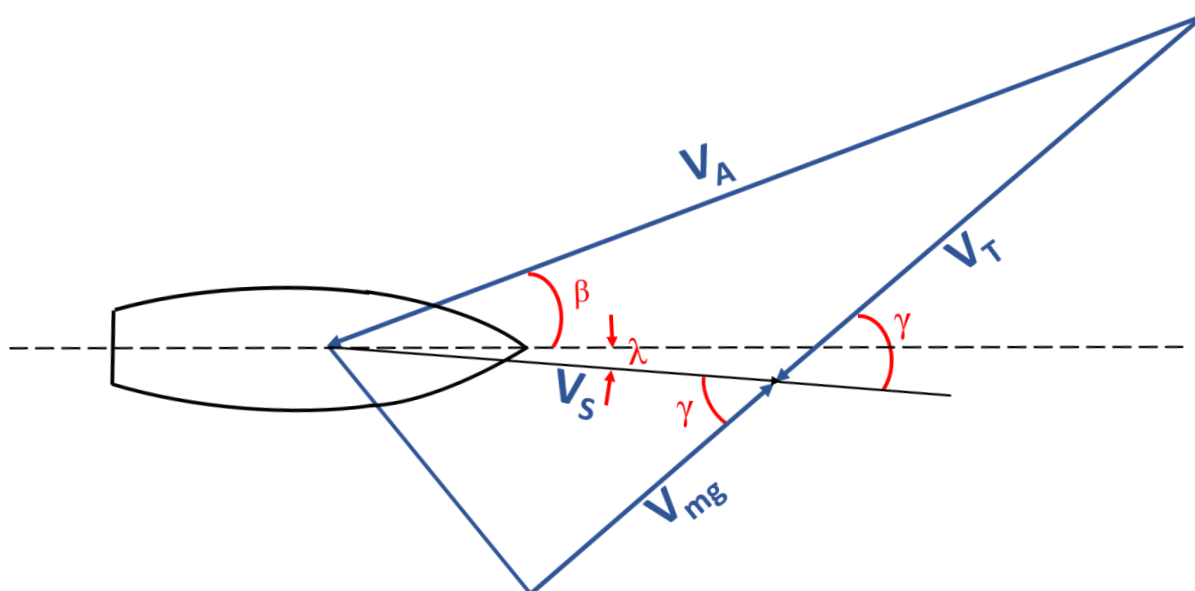


Εικόνα 1.19: Διάνυσμα φαινόμενου ανέμου

(Πηγή: Αλιβιζάτος, 2016)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται γεωμετρικά τα διανύσματα ταχυτήτων ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους, όπως αυτά παρουσιάζονται στο Γρηγορόπουλο (1999). Θεωρούμε ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος που πλέει υπό σταθερές συνθήκες με ταχύτητα V_S υπό γωνία γ ως προς την πραγματική κατεύθυνση του ανέμου V_T . Στην Εικόνα 1.20 αναπαρίσταται η κατάσταση αυτή για την περίπτωση που η γωνία γ είναι οξεία.

Η ταχύτητα του ανέμου, που αισθάνονται τα πανιά, δίνεται από το άνυσμα V_A που αποτελεί τη φαινόμενη ταχύτητα ανέμου. Η γωνία μεταξύ των ταχυτήτων V_A και V_S είναι $\beta + \lambda$, όπου β είναι γωνία μεταξύ της V_A και του άξονα συμμετρίας του ιστιοπλοϊκού και λ είναι η γωνία πλεύσης του σκάφους (leeway angle).



Εικόνα 1.20: Ιστιοπλοϊκό σκάφος που πλέει υπό οξεία γωνία ως προς την κατεύθυνση του ανέμου

(Πηγή: Γρηγορόπουλος, 1999, ίδια επεξεργασία)

Όταν η γωνία γ είναι οξεία, υπάρχει μια συνιστώσα της ταχύτητας του ιστιοπλοϊκού σε κατεύθυνση αντίθετη της V_T . Το ιστιοπλοϊκό, δηλαδή, πλέει κατά τη διεύθυνση του ανέμου (windward) με ταχύτητα που δίνεται από το μήκος της συνιστώσας του άνυσματος V_S κατά τη διεύθυνση της V_T . Η ταχύτητα αυτή, γενικά,

καλείται V_{mg} ή επιτυγχανόμενη ταχύτητα κατά τη διεύθυνση του ανέμου (speed made good to windward).

Ο υπολογισμός της ταχύτητας V_{mg} προκύπτει γεωμετρικά από την Εικόνα 1.20, σύμφωνα με τα παρακάτω:

$$V_A \sin(\beta+\lambda) = [V_A \cos(\beta+\lambda) - V_S] \tan \gamma \text{ ή}$$

$$\tan \gamma = \frac{V_A \sin(\beta+\lambda)}{V_A \cos(\beta+\lambda) - V_S}$$

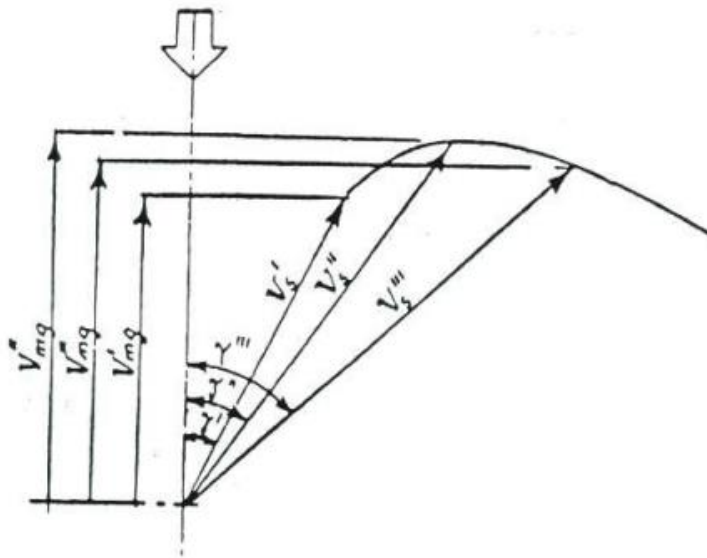
$$V_{mg} = V_S \cos \gamma$$

$$V_T \sin \gamma = V_A \sin(\beta+\lambda)$$

Εφόσον το σκάφος προσπαθεί να φθάσει σε ένα προορισμό σε κατεύθυνση αντίθετη της ταχύτητας V_T , δηλαδή κόντρα στον άνεμο, σημασία έχει η ταχύτητα που επιτυγχάνει κατά την διεύθυνση αυτή. Σ' αυτήν την περίπτωση το σκάφος θεωρείται οριακό (close-hauled) και η απόδοσή του υπό αυτές τις συνθήκες μετρείται από την ταχύτητα V_{mg} . Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι για δεδομένη ταχύτητα ανέμου V_T , η μέγιστη ταχύτητα V_{mg} στην διεύθυνση του ανέμου δεν αντιστοιχεί υποχρεωτικά στη μέγιστη ταχύτητα V_S , όπως προκύπτει και από το πολικό διάγραμμα της ταχύτητας V_S που έχει συνήθως τη μορφή της Εικόνας 1.21. Καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα του ανέμου, προκύπτει μια διαφορετική V_{mgMAX} .

Το διάγραμμα της V_{mgMAX} συναρτήσει μιας ευρείας κλίμακας ταχυτήτων ανέμου V_T θεωρούνται, σήμερα, ως ο καλύτερος τρόπος για την παρουσίαση της συμπεριφοράς ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους στην οριακή κατάσταση. Η κατασκευή ενός τέτοιου διαγράμματος με βάση πειράματα σε δεξαμενή προτύπων μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη βελτίωση της σχεδίασης ιστιοπλοϊκών σκαφών.

Στην Εικόνα 1.21 δίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα για ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος της κατηγορίας των 12 m. Προφανώς το διάγραμμα (V_{mgMAX} , V_T) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση υψηλής ταχύτητας ανέμου, όπου το σκάφος δεν μπορεί να πλεύσει οριακά (Γρηγορόπουλος, 1999).



Εικόνα 1.21: Πολικό διάγραμμα της ταχύτητας του ιστιοπλοϊκού σκάφους V_s
(Πηγή: Γρηγορόπουλος, 1999)

1.3.4. Αντίσταση ιστιοφόρου σκάφους

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ιστιοπλοϊκών σκαφών. Οι πιο αξιόπιστες από αυτές βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα και συνδέονται άμεσα με τις δυνατότητες της πειραματικής δεξαμενής που θα διεξάγει τις σχετικές μετρήσεις. Κοινό γνώρισμα των μεθόδων αυτών είναι η μελέτη των δυνάμεων και ροπών που ασκούνται στο ιστιοπλοϊκό σκάφος με στόχο το σχεδιασμό ενός διαγράμματος πρόβλεψης των χαρακτηριστικών πλεύσης του σκάφους (Γρηγορόπουλος, 1999).

Αντίσταση της γάστρας ορίζεται εκείνη η συνιστώσα της συνολικής υδροδυναμικής δύναμης που ασκείται από το νερό σε οριζόντιο επίπεδο και κατά τη διεύθυνση της κίνησης. Σύμφωνα με τον Μπαρτσώτα (2013), η εκτίμησή της είναι ακόμα αντικείμενο έντονης μελέτης. Η πραγματική θάλασσα δεν αποτελείται από μια σειρά ομοιόμορφων κυμάτων σταθερού μήκους και πλάτους, αλλά είναι μία σύνθεση διαφορετικών χαρακτηριστικών και κατεύθυνσης. Σε αυτές τις συνθήκες, ο υπολογισμός της αντίστασης είναι αρκετά περίπλοκος.

Η ενέργεια που χρειάζεται ένα πλοίο ή ένα σκάφος για να κινηθεί σε κυματισμούς είναι μεγαλύτερη από ότι σε ήρεμο νερό, λόγω της αντίστασης του κυματισμού (Μπαρτσώτας, 2013). Η παρούσα εργασία δεν εμβαθύνει στον ακριβή υπολογισμό της αντίστασης του ιστιοπλοϊκού σκάφους, αλλά λαμβάνεται υπόψη μόνο η επίδραση των κυματισμών στην ταχύτητα του σκάφους. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι επιμέρους συνιστώσες της αντίστασης, έτσι όπως θα λαμβάνονταν υπόψη, σε περίπτωση ακριβούς προσδιορισμού της αντίστασης ιστιοπλοϊκού σκάφους σε κυματισμό.

Σύμφωνα με το Γρηγορόπουλο (1999), το πρώτο επίπεδο ανάλυσης διαχωρίζει την αντίσταση:

- σε αντίσταση όρθιας θέσης (upright resistance)
- σε πρόσθετη αντίσταση λόγω κεκλιμένης θέσης
- σε πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών (added wave resistance)

Ο διαχωρισμός αυτός έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι η εκτίμηση της αντίστασης στην κεκλιμένη κατάσταση προκύπτει από την αντίσταση όρθιας θέσης, κατάσταση η οποία προσομοιώνεται πειραματικά εύκολα και κυρίως με ακρίβεια.

Η αντίσταση όρθιας θέσης προκύπτει από τις δύο γνωστές βασικές συνιστώσες:

- την αντίσταση λόγω συνεκτικότητας (viscous resistance)
- την αντίσταση λόγω κυματισμού (wave resistance)

Η αντίσταση λόγω συνεκτικότητας μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω :

- σε αντίσταση λόγω τριβής (frictional resistance)
- σε αντίσταση λόγω τραχύτητας της επιφάνειας (roughness resistance)
- σε αντίσταση λόγω κατανομής πίεσης (viscous pressure resistance)

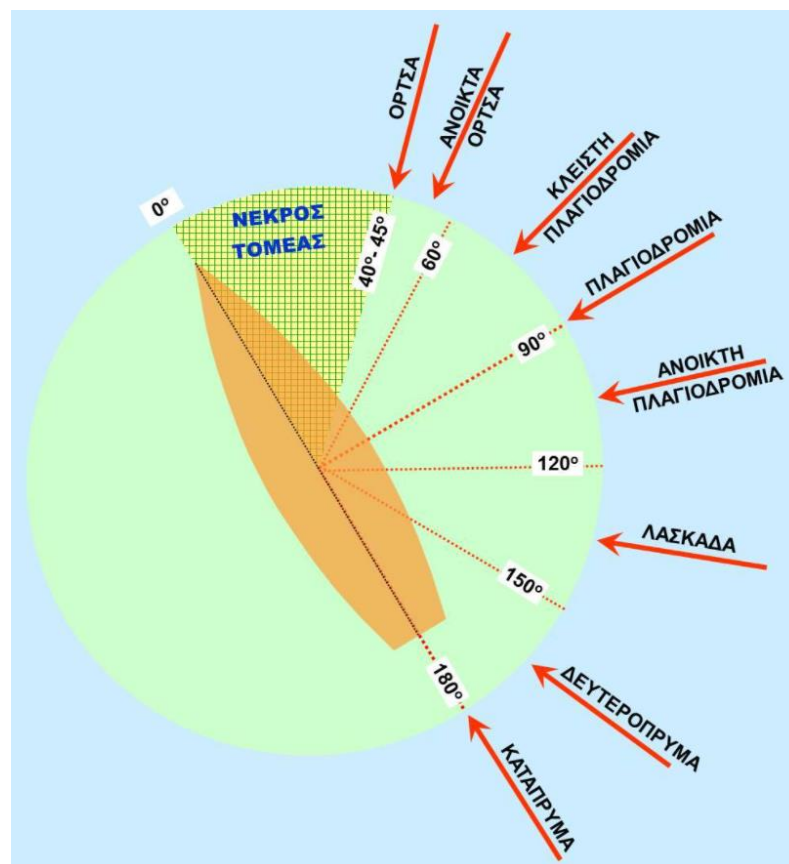
Στην κεκλιμένη κατάσταση έχουμε δύο ακόμα συνιστώσες αντίστασης: αντίσταση λόγω εγκάρσιας κλίσης (heel resistance) και επαγόμενη αντίσταση (induced resistance) (Γρηγορόπουλος, 1999).

1.3.5. Συνθήκες πλεύσης ιστιοφόρου σκάφους

Η κίνηση ενός ιστιοφόρου σκάφους διαφέρει από αυτήν ενός μηχανοκίνητου σκάφους. Το ιστιοφόρο έχει ως κύριο μέσο πρόωσης τα πανιά, δηλαδή αξιοποιεί κατά κύριο λόγο την δύναμη του αέρα, ενώ ο κινητήρας έχει συνήθως βοηθητικό ρόλο. Η κίνηση με τα πανιά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι του κινητήρα και αυτό είναι η ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που είναι ο αέρας (Πιτσικάλης, 2017).

Ο αέρας καθορίζει όχι μόνο την ταχύτητα του ιστιοφόρου, αλλά και τις κατευθύνσεις που μπορεί να πάρει. Συγκεκριμένα, ένα ιστιοφόρο σκάφος δε μπορεί να ταξιδέψει σε αντίθετη πορεία από αυτήν του ανέμου, αλλά σε τουλάχιστον 40° από αυτήν (αναλόγως και των προδιαγραφών του κάθε σκάφους). Επίσης, η ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει είναι ανάλογη και των δυο συνιστωσών, της ταχύτητας αλλά και της κατεύθυνσης του ανέμου (Marchaj, 2000).

Στην Εικόνα 1.22 παρουσιάζονται οι ονομασίες των βασικών πλεύσεων ιστιοφόρων σκαφών, ως προς την κατεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 1.22: Ονομασίες βασικών πλεύσεων ιστιοφόρων σκαφών

(Πηγή: Καλαθάκης, 2013)

Η κοντινότερη προς τον άνεμο πλεύση λέγεται όρτσα και συνήθως είναι στις 40° από τον άνεμο. Όσο ανοίγεται η πορεία, η κίνηση μεταβάλλεται σε ανοιχτά όρτσα και κλειστή πλαγιοδρομία μέχρι πλαγιοδρομία (στις 90°) και από εκεί σε ανοιχτή πλαγιοδρομία μέχρι λασκάδα, μετά δευτερόπρυμα και πρύμα ή κατάπρυμα (Καλαθάκης, Μάνθος, & Καραπέτης, 2016).

Γρηγορότερη πλεύση θεωρείται η πλαγιοδρομία, όταν δηλαδή ο πραγματικός άνεμος είναι κάθετος προς την πορεία του σκάφους, ενώ στα όρτσα είναι μεγαλύτερη η αίσθηση της ταχύτητας λόγω του φαινομένου ανέμου (Garrett, 1996).

Στα πρύμα (κατάπρυμα), ενώ κάποιος θα περίμενε ότι η ταχύτητα θα είναι η μεγαλύτερη, είναι τελικά συνήθως η μικρότερη και αυτό λόγω της φύσης των ιστιοφόρων, επειδή δεν είναι σχεδιασμένα για να τα σπρώχνει ο άνεμος αλλά να χρησιμοποιούν κανόνες αεροδυναμικής με βάση το θεώρημα Bernoulli (Clancy, 1975). Προκειμένου να γίνει κατανοητό γιατί η πλαγιοδρομία είναι η γρηγορότερη πλεύση, ας δούμε ένα παράδειγμα, υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του πραγματικού ανέμου είναι 12 κόμβοι (kn).

Στα όρτσα:

- Ο φαινόμενος άνεμος έχει την μεγαλύτερη τιμή του (17 kn).
- Η συνισταμένη αεροδυναμική δύναμη F_1 έχει μεν την μεγαλύτερη τιμή αλλά λόγω της θέσης του πανιού (τριμαρισμένο κοντά στην κεντρική γραμμή του σκάφους) δεν έχει μεγάλη κλίση προς τα εμπρός. Έτσι η δύναμη πρόωσης είναι μικρότερη από τη δύναμη εκπεσμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.23.



Εικόνα 1.23: Συνισταμένη αεροδυναμική δύναμη στα όρτσα

(Πηγή: Στρούζας, 2003)

- Το σκάφος θα έχει αρκετή ταχύτητα αλλά και εκπεσμό (μικρό η μεγάλο ανάλογα με το σχήμα της γάστρας του).

Στην πλαγιοδρομία:

- Εάν το πανί είναι τριμαρισμένο σωστά, τότε θα αναπτύξει υποπίεση σε όλη την υπήνεμο πλευρά του.
- Η τιμή του φαινόμενου ανέμου μικραίνει (15 kn), επομένως η αεροδυναμική δύναμη F_2 θα έχει μικρότερη τιμή από την F_1 .
- Λόγω της θέσης του πανιού (τριμαρισμένο μακριά από την κεντρική γραμμή του σκάφους), η δύναμη F_2 θα έχει μεγαλύτερη κλίση προς τα εμπρός, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.24. Έτσι θα έχουμε μεγάλη δύναμη πρόωσης και μικρό εκπεσμό. Η πλαγιοδρομία είναι η ταχύτερη πλεύση.



Εικόνα 1.24: Συνισταμένη αεροδυναμική δύναμη στην πλαγιοδρομία
(Πηγή: Στρούζας, 2003)

Στα κατάπρυμα:

- Το πανί χάνει τη δύναμη της υποπίεσης. Ο αέρας δηλαδή τώρα μόνο σπρώχνει το πανί.
- Ο φαινόμενος άνεμος έχει την μικρότερη τιμή του (7 kn).
- Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αεροδυναμική δύναμη F_3 να έχει μικρότερη τιμή από τις F_1 και F_2 , όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.25.
- Το σκάφος δεν θα έχει εκπεσμό λόγω του ότι η δύναμη F_3 είναι παράλληλη

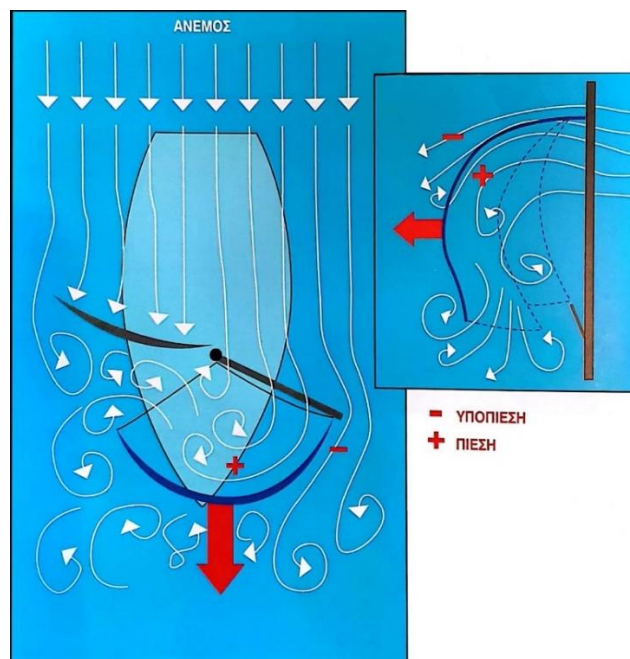
προς την κεντρική γραμμή. Η ταχύτητα του σκάφους στα κατάπρυμα είναι η μικρότερη.



Εικόνα 1.25: Συνισταμένη αεροδυναμική δύναμη στα κατάπρυμα

(Πηγή: Στρούζας, 2003)

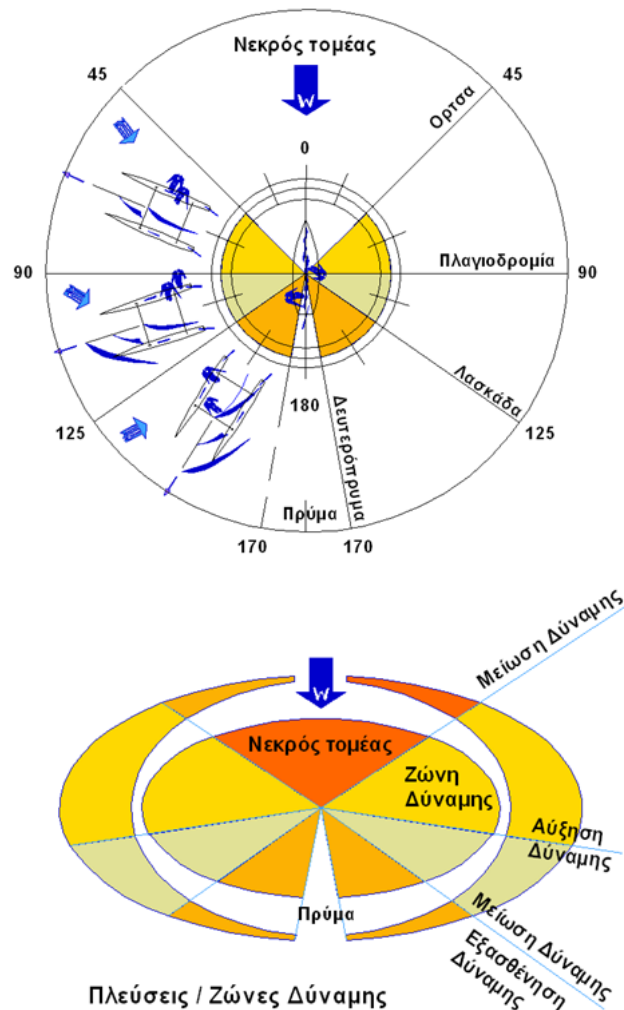
Στις πλεύσεις αυτές (κατάπρυμα και δευτερόπριμα), προκειμένου να δημιουργηθεί υποπίεση, χρησιμοποιείται ένα επιπλέον πανί που ονομάζεται μπαλόνη. Το μπαλόνη είναι ένα ιστίο μεγάλης καμπυλότητας, λόγω της οποίας ο αέρας μπορεί να ακολουθήσει την καμπύλη πριν αποκολληθεί, αναπτύσσοντας δυνάμεις υποπίεσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.26.



Εικόνα 1.26: Αεροδυναμική δύναμη μπαλονιού

(Πηγή: Στρούζας, 2003)

Στη συνέχεια, η Εικόνα 1.27 εξηγεί τις πλεύσεις και τις αντίστοιχες δυνάμεις από τον αέρα σε κάθε μία από αυτές:

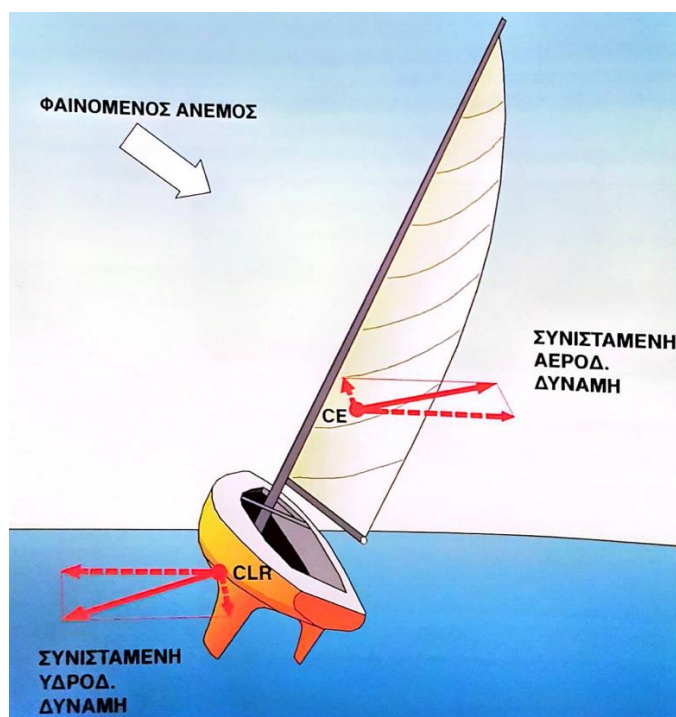


Εικόνα 1.27: Πλεύσεις με ζώνες δύναμης αέρα
(Πηγή: Πιτσικάλης, 2017)

Κατά την πορεία του σκάφους, οι αεροδυναμικές δυνάμεις λαμβάνονται υπόψη συνδυαστικά με τις υδροδυναμικές δυνάμεις που δέχεται η γάστρα. Όταν ένα ιστιοπλοϊκό δέχεται τον άνεμο από πρύμα η δύναμη που αναπτύσσεται από την επίδραση του ανέμου στα πανιά του, έχει την ίδια περίπου κατεύθυνση με την κίνησή του. Σε αυτή τη περίπτωση το ιστιοπλοϊκό συμπεριφέρεται περίπου όπως και τα μηχανοκίνητα σκάφη όσον αφορά τη συμπεριφορά της γάστρας στο νερό και τις υδροδυναμικές δυνάμεις που προκαλεί η ροή του νερού γύρω από την γάστρα και τα παρελκόμενα. Όταν πλέει προσήνεμα ή όρτσα, η απορρέουσα δύναμη στα πανιά έχει

μία συνιστώσα υπό γωνία σε σχέση με την κατεύθυνση του σκάφους. Η συνιστώσα αυτή μπορεί να είναι μέχρι και πέντε φορές μεγαλύτερη από την πρόσω ώθηση που αναπτύσσουν τα πανιά. Καθώς σε κάθε σταθερή κατάσταση πλεύσης πρέπει να επικρατεί ισορροπία ανάμεσα στις αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις, συνεπάγεται πως η κάθετη αυτή συνιστώσα πρέπει να εξισορροπείται από την αντίστοιχη κάθετη υδροδυναμική συνιστώσα της δύναμης που αναπτύσσεται στα ύφαλα. Ο μόνος τρόπος το ιστιοπλοϊκό να αναπτύξει την απαιτούμενη αυτή δύναμη (πλευρική δύναμη) είναι να αποκτήσει μία γωνία πλευρικής απόκλισης σε σχέση με την τροχιά προχώρησής του στο νερό (Αγγέλου, 2008).

Στην Εικόνα 1.28 παρουσιάζονται οι αεροδυναμικές και υδροδυναμικές δυνάμεις που επιδρούν σε ένα ιστιοφόρο σκάφος, όταν ταξιδεύει με τα πανιά. Οι θέσεις των σημείων δράσης (CE και CLR) των συνισταμένων δυνάμεων είναι κρίσιμες για το «ζύγισμα» του σκάφους, αλλά και για τις επιδόσεις του στο ταξίδι με τα πανιά (Στρούζας, 2003).

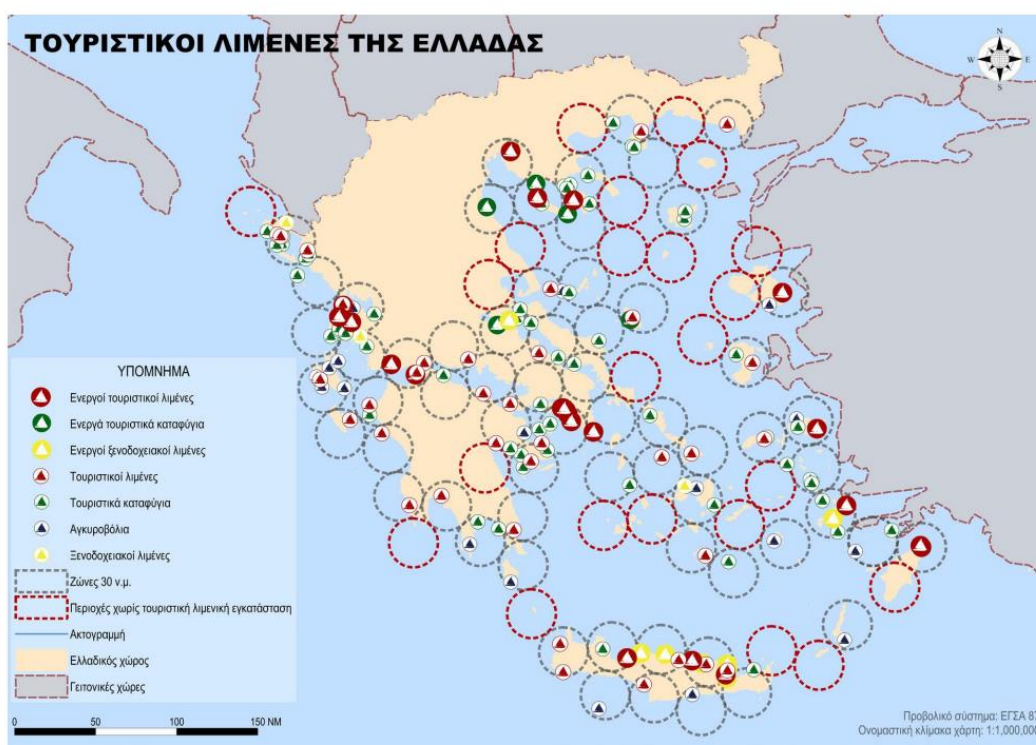


Εικόνα 1.28: Αεροδυναμικές και Υδροδυναμικές δυνάμεις σε ιστιοφόρο σκάφος
(Πηγή: Στρούζας, 2003)

1.4. Ιστιοπλοϊκά σκάφη και τουρισμός

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε χώρες του εξωτερικού, η χρήση ιστιοπλοϊκών σκαφών βρίσκει μεγάλη απήχηση στον θαλάσσιο τουρισμό. Ο θαλάσσιος τουρισμός αποτελεί οικονομική δραστηριότητα με σημαντική συνεισφορά στην απασχόληση και στην εθνική οικονομία. Η Ελλάδα αποτελεί έναν από τους ελκυστικότερους προορισμούς για τα σκάφη αναψυχής στην Ευρώπη. Με μια ακτογραμμή 13.700 km και αξιοσημείωτο τουριστικό δυναμικό, έναν σημαντικό στόλο σκαφών αναψυχής, μικρές αποστάσεις μεταξύ προορισμών, πλούσιο πολιτιστικό και ιστορικό δυναμικό και ένα φυσικό περιβάλλον ιδιαίτερου κάλλους, η χώρα συνδυάζει δυνητικά όσα επιζητεί ο χρήστης επαγγελματικών σκαφών αναψυχής (Βαγγέλας & Πάλλης, 2021).

Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα 168 χωροθετημένοι τουριστικοί λιμένες, εκ των οποίων οι 37 βρίσκονται σε λειτουργία, ήτοι ποσοστό 22%. Από τις 27.512 χωροθετημένες θέσεις ελλιμενισμού σκαφών αναψυχής είναι σήμερα διαθέσιμο το 30,9%, ή συνολικά 8.499 θέσεις (Βαγγέλας & Πάλλης, 2021).



Εικόνα 1.29: Γεωγραφική κατανομή χωροθετημένων

τουριστικών λιμενικών εγκαταστάσεων

(Πηγή: Βαγγέλας & Πάλλης, 2021)

Στην Εικόνα 1.29 παρουσιάζονται οι χωροθετημένες τουριστικές λιμενικές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα. Η αξιοποίηση του δικτύου των ήδη χωροθετημένων τουριστικών λιμενικών εγκαταστάσεων είναι καίριας σημασίας για την ενίσχυση του θαλάσσιου τουρισμού της χώρας μας (Βαγγέλας & Πάλλης, 2021).

Ο στόλος των σκαφών αναψυχής στην Ελλάδα είναι κυρίως ιδιόκτητος, αλλά υπάρχουν και επαγγελματικά σκάφη τα οποία ναυλώνονται σε Έλληνες και αλλοδαπούς τουρίστες. Συνολικά υπάρχουν περίπου 170.600 σκάφη αναψυχής με τη συντριπτική πλειοψηφία (75,7%) να αποτελούν σκάφη με εξωλέμβια μηχανή ανεξαρτήτως του υλικού κατασκευής, 12,9% είναι ο στόλος των φουσκωτών σκαφών, και ακολουθούν τα σκάφη με εσωλέμβια μηχανή (8%), ενώ τα ιστιοφόρα αποτελούν το 3,4% του ελληνικού στόλου σκαφών αναψυχής, δηλαδή 5.800 περίπου σκάφη (Βαγγέλας & Πάλλης, 2021).

2. Ναυτική μετεωρολογία

2.1. Μετεωρολογικά μεγέθη

2.1.1. Άνεμος

Ο άνεμος είναι ένα οριζόντιο ρεύμα αέρα που εκδηλώνεται κοντά στο έδαφος και κινείται από μία περιοχή σε μία άλλη. Η κύρια επίδραση του ανέμου γίνεται αισθητή έμμεσα από τα κύματα που δημιουργεί στην επιφάνεια της θάλασσας. Το μέγεθος των δημιουργούμενων κυμάτων εξαρτάται από την ένταση (δηλαδή την ταχύτητα) του ανέμου, από τον χρόνο που διαρκεί και από την απόσταση πάνω στην οποία επενεργεί. Η ένταση του ανέμου χαρακτηρίζεται διεθνώς με την κλίμακα Μποφόρ (Beaufort). Αυτή εισήχθη με τους αριθμούς 0 έως 12 από τον Άγγλο Ναύαρχο Sir Francis Beaufort το 1806 (Βελέντζα, 2011).

Ο άνεμος δημιουργείται κυρίως από δύο αιτίες:

A) Από τα φαινόμενα της πίεσης. Εκεί δηλαδή που υπάρχει διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο τόπων, η οποία ονομάζεται βαροβαθμίδα και ο άνεμος αυτός ονομάζεται άνεμος βαροβαθμίδας. Πιο συγκεκριμένα, κινείται από περιοχή υψηλών πιέσεων σε περιοχή χαμηλών πιέσεων, προκειμένου να τείνει να εξισορροπήσει τις πιέσεις στις δύο περιοχές. Όσο ισχυρότερη είναι η βαροβαθμίδα, τόσο ισχυρότερος είναι και ο άνεμος. Πρακτικά, όσο πυκνότερες είναι οι ισοβαρείς καμπύλες σ' έναν πραγματικό μετεωρολογικό χάρτη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ένταση του ανέμου (Στρούζας, 2003; Ψυχά & Μηνογιάννης, 2020).

B) Από τα θερμικά φαινόμενα. Όταν π.χ. υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Οι άνεμοι αυτοί ονομάζονται αύρες.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας και της ξηράς, η ένταση του ανέμου μειώνεται λόγω των τριβών. Επίσης, ο άνεμος γίνεται ισχυρότερος πάνω από τη θάλασσα παρά πάνω από την ξηρά, με τις ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες, λόγω της γεωμορφολογίας του εδάφους. Επομένως, όταν ένα σκάφος ταξιδεύει σε παράκτιες περιοχές, συναντά καιρό, συνθήκες ανέμου και θάλασσας, οι οποίες διαφέρουν από εκείνες που επικρατούν στην ανοικτή θάλασσα (Στρούζας, 2003).

Κλίμακα Μποφόρ (Beaufort)

Η κλίμακα Μποφόρ είναι μία κλίμακα μέτρησης της έντασης του ανέμου. Βασίζεται κυρίως στην παρατήρηση, παρά σε ακριβείς μετρήσεις. Είναι ίσως το πιο διαδεδομένο σύστημα μέτρησης έντασης του ανέμου που υπάρχει αυτή τη στιγμή. Αναπτύχθηκε το 1805, από τον ναύαρχο του Βρετανικού Ναυτικού και υδρογράφο Francis Beaufort, προς τιμήν του οποίου δόθηκε στην κλίμακα αυτή το όνομά του.

Η κλίμακα Beaufort κατατάσσει τους ανέμους σε δεκατρείς (13) κατηγορίες βάσει της έντασής τους. Υπάρχουν για την ακρίβεια δώδεκα τιμές και επί πλέον το μηδέν, που αντιστοιχεί στην άπνοια. Η ένταση του ανέμου είναι η ταχύτητα, με την οποία κινείται ο άνεμος και μετριέται συνήθως σε m/s, km/h ή σε kn (Ψυχά & Μηνογιάννης, 2020). Για τη μετατροπή Beaufort σε μονάδες ταχύτητας ανέμου (m/s) ισχύει (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2021):

$$V = 0,836 B^{3/2}$$

όπου V η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και B η ένταση του ανέμου σε Beaufort (Bf). Αντίστοιχα, για τη μετατροπή kn σε μονάδες ταχύτητας (m/s), ισχύει ότι 1 kn = 0,514 m/s. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία της κλίμακας Μποφόρ με την ταχύτητα του ανέμου.

Πίνακας 2.1: Κατάταξη ανέμων με βάση την κλίμακα Beaufort

(Πηγή: Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2021)

B	Χαρακτηρισμός	m/s	km/h	Κόμβοι
0	Άπνοια	0.0-0.2	< 1	< 1
1	Σχεδόν άπνοια	0.3-1.5	1-5	< 1
2	Πολύ ασθενής	1.6-3.3	6-11	4-6
3	Ασθενής	3.4-5.4	12-19	7-10
4	Σχεδόν μέτριος	5.5-7.9	20-28	11-16
5	Μέτριος	8.0-10.7	29-38	17-21
6	Ισχυρός	10.8-13.8	39-49	22-27
7	Πολύ ισχυρός	13.9-17.1	50-61	28-33
8	Θυελλώδης	17.2-20.7	62-74	34-40
9	Πολύ θυελλώδης	20.8-24.4	75-88	41-47
10	Θύελλα	24.5-28.4	89-102	48-55
11	Ισχυρή θύελλα	28.5-32.6	103-117	56-63
12	Τυφώνας	≥ 32.7	≥ 118	≥ 64

2.1.2. Κύματα

Ένα από τα βασικά θέματα της ναυτικής υδροδυναμικής είναι τα θαλάσσια κύματα. Τα κύματα δημιουργούνται από την πνοή του ανέμου πάνω από την θάλασσα και από την κίνηση των πλοίων επιφανείας, ή άλλων σωμάτων που κινούνται σε μικρό βάθος. Ο άνεμος είναι βέβαια η κυριότερη αιτία δημιουργίας κυματισμών στη θάλασσα. Η διαταραχή της θάλασσας είναι ανάλογη με την ένταση που έχει ο άνεμος, και αναφέρεται σαν “κατάσταση της θάλασσας” (sea state). Τα κύματα δεν σταματούν να υπάρχουν αμέσως μόλις σταματήσει ο άνεμος, αλλά συνεχίζουν να μεταδίδονται για αρκετό χρονικό διάστημα, μέχρι που να αποσβεσθούν. Τα κύματα αυτά αναφέρονται διεθνώς ως βουβά (swell) (Τριανταφύλλου, 2018).

Τα θαλάσσια κύματα υπάγονται στα λεγόμενα επιφανειακά κύματα (interfacial waves), τα οποία δημιουργούνται στην διαχωριστική επιφάνεια δύο ρευστών, εν προκειμένω του νερού και του αέρα. Αποτελεί ένα συζευγμένο πρόβλημα κίνησης νερού και αέρα, το οποίο απαιτεί την παράλληλη επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes στο νερό και στον αέρα και η σύζευξη γίνεται με την επιβολή των οριακών συνθηκών (κινηματική και δυναμική) στην διαχωριστική επιφάνεια κάτι το οποίο δεν θα μας απασχολήσει στη παρούσα εργασία (Τριανταφύλλου, 2018). Τα θαλάσσια κύματα είναι περιοδικές μηχανικές ταλαντώσεις των μορίων του θαλάσσιου νερού με τις οποίες μεταφέρεται ενέργεια η οποία σε μεγάλο ποσοστό καταναλώνεται με τη θραύση τους κατά μήκος της ακτής. Τα κύματα που προσπίπτουν στην ακτή μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση, μεταφορά ή και απόθεση ιζήματος κατά μήκος της ακτογραμμής διαμορφώνοντας τα γεωμορφολογικά της χαρακτηριστικά (Καρύμπαλης, 2020).

Οι κυματισμοί της θάλασσας, που είναι υπεύθυνοι για τη διέγερση της δυναμικής συμπεριφοράς των πλοίων, δημιουργούνται από τον άνεμο. Το μέγεθος των κυματισμών, η διεύθυνση μετάδοσής τους καθώς και η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος (spectral density function or power spectrum) εξαρτώνται από τους εξής παράγοντες:

- Την ταχύτητα του διεγείροντος ανέμου (wind speed).
- Τη διάρκεια πνοής του διεγείροντος ανέμου (wind duration).

- Την ελεύθερη έκταση της επιφάνειας της θάλασσας πάνω στην οποία μπορούν να αναπτυχθούν κυματισμοί (wave fetch).

Ο μηχανισμός παραγωγής κυμάτων ανέμου καθώς και η αποτύπωση του πλήρους φάσματος ενός τέτοιου κυματισμού είναι κάτι το εξαιρετικά δύσκολο και περίπλοκο, καθώς η μορφολογία της επιφάνειας της θάλασσας στην οποία κινούνται διάφορα σκάφη χαρακτηρίζεται από μεγάλη αταξία και αστάθεια ως προς το είδος των κυμάτων. Αν δοκιμάσει κανείς να καταγράψει τα θαλάσσια κύματα θα παρατηρήσει ακανόνιστη και κυρίως τυχαία αλληλουχία κορυφών και κοιλάδων (Γερογιαννάκη, 2009).

Για την περιγραφή της κατάστασης της θάλασσας ως προς τον κυματισμό χρησιμοποιείται η κλίμακα Ντάγκλας (Douglas), όπως αυτή φαίνεται στον Πίνακα 2.2. Η εν λόγω κλίμακα δημιουργήθηκε από τον Άγγλο ναύαρχο H.P. Douglas το 1917 και χρησιμοποιείται στη ναυσιπλοΐα, λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των κυμάτων. Η κατάσταση θάλασσας αναφέρεται σε ανεμογενή κύματα, σε ανοικτή θάλασσα, ενώ σε περιορισμένης έκτασης θαλάσσιες περιοχές τα ύψη κύματος είναι μικρότερα και οξύτερα (EMY, 2022).

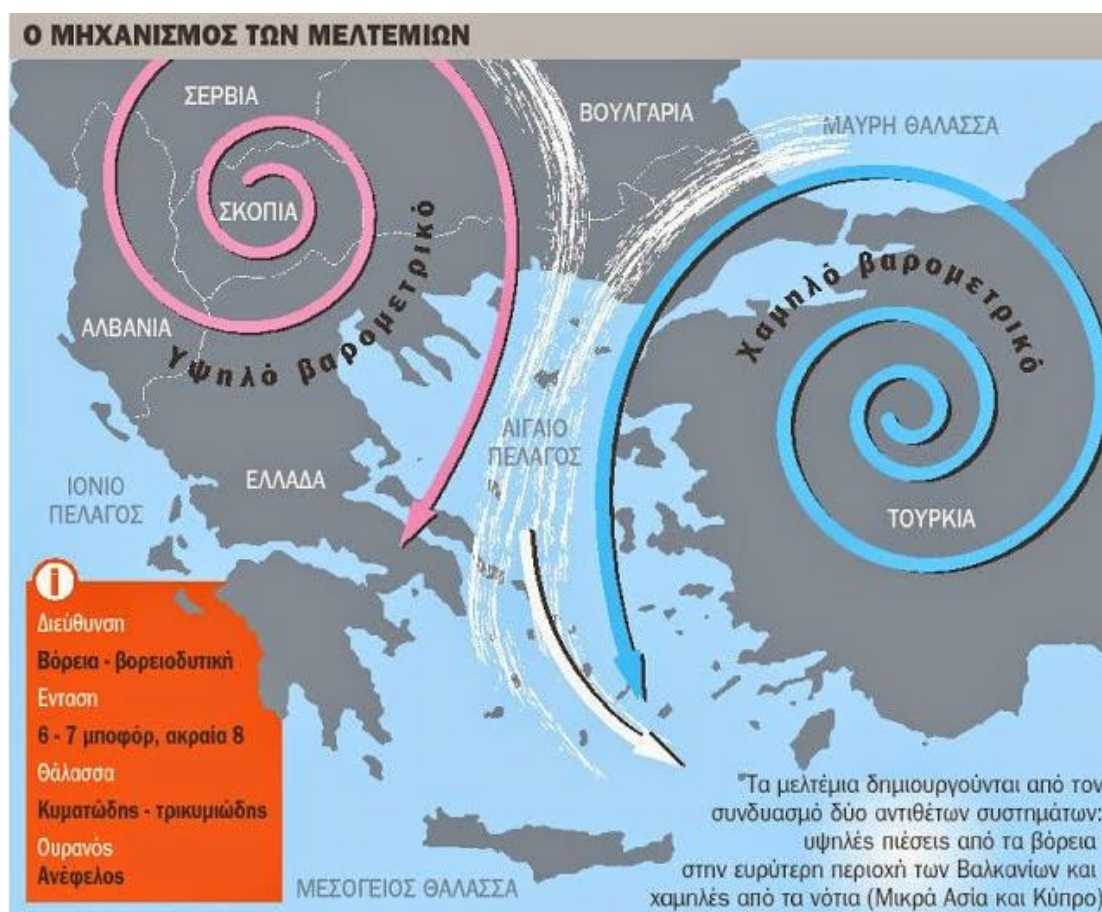
Πίνακας 2.2: Κλίμακα Douglas – ύψος κυμάτων

(Πηγή: EMY, 2022)

Βαθμίδα	Χαρακτηρισμός Θάλασσας	Πιθανό Ύψος Κύματος (m)	Μέγιστο Ύψος Κύματος (m)
0	Γαλήνια	0	0
1	Ρυτιδωμένη	0.1	0 - 0.1
2	Ήρεμη	0.2	0.1 - 0.5
3	Λίγο ταραγμένη	0.6	0.5 - 1.25
4	Ταραγμένη	1.0 - 2.0	1.25 - 2.5
5	Κυματώδης	3.0	2.5 - 4
6	Πολύ κυματώδης	4.0	4 - 6
7	Τρικυμιώδης	5.5 - 7.0	6 - 9
8	Πολύ τρικυμιώδης	9 - 11.5	9 - 14
9	Πολύ άγρια	14+	14+

2.2. Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά ελληνικών θαλασσών

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ανέμου αλλά δύο είναι χαρακτηριστικές για τις ελληνικές θάλασσες. Αυτές είναι οι ετησίες ή μελτέμια και οι θαλάσσιες αύρες. Οι ετησίες του Αιγαίου εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, που οι Βόρειες ακτές της Αφρικής και της Αραβίας θερμαίνονται υπερβολικά, με αποτέλεσμα να παρατηρείται πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης που οφείλεται στο βαρομετρικό χαμηλό των Ινδιών και το οποίο συνδυάζεται με τις σχετικά υψηλές πιέσεις που επικρατούν στην κεντρική Ευρώπη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανέμων στην Ανατολική λεκάνη της Μεσογείου, τα γνωστά μελτέμια (etesian wind), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Ο μηχανισμός των μελτεμιών

(Πηγή: Περιβάλλον με Οικολογία, 2022)

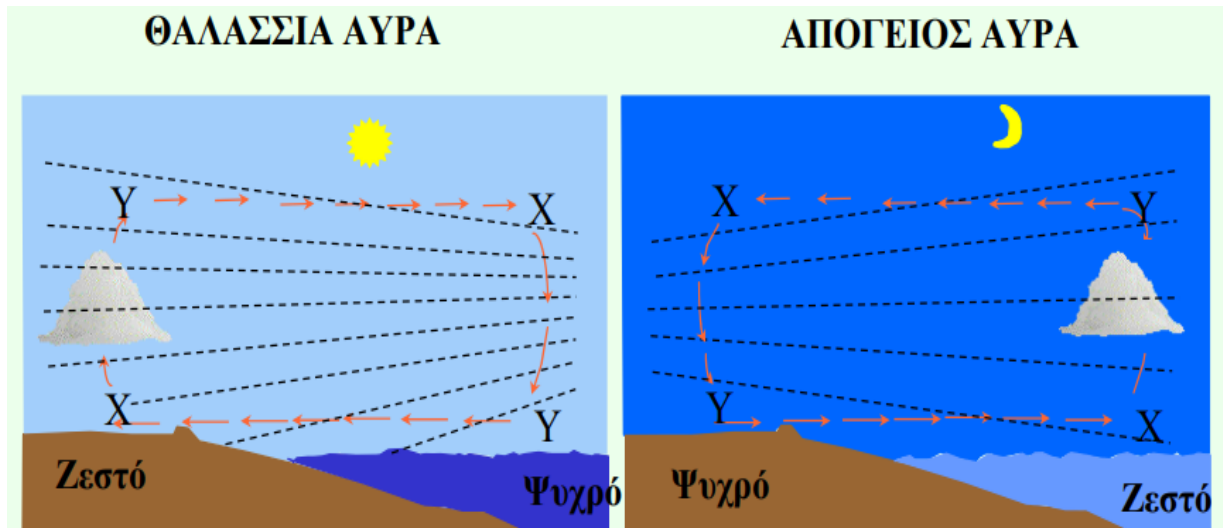
Η διεύθυνση των ανέμων αυτών είναι περίπου Βόρεια και μεταβάλλεται ανάλογα με τη διαμόρφωση των ακτών. Στο Βόρειο Αιγαίο πνέουν Βορειοανατολικοί

άνεμοι, στο κεντρικό Αιγαίο γίνονται Βόρειοι και στο Νότιο τείνουν να γίνουν Βορειοδυτικοί. Στην περιοχή της Ρόδου τείνουν να γίνουν Δυτικοί. Στον Σαρωνικό και στον Νότιο Ευβοϊκό παραμένουν Βορειοανατολικοί. Στην Αδριατική πνέουν με διεύθυνση Βορειοδυτική. Η ένταση αυτών των ανέμων στο Αιγαίο είναι μεταξύ 4 ως 6 Bf, μερικές φορές όμως, ξεπερνά τα 8 Bf προκαλώντας προβλήματα στη ναυσιπλοΐα. Εμφανίζονται συνήθως γύρω στα τέλη Μαΐου και σταματούν γύρω στα μέσα Οκτωβρίου με διακοπή τριών εβδομάδων περίπου, τον Ιούλιο. Έχουν μέση χρονική διάρκεια από 2 έως 4 ημέρες. Η μεγαλύτερη έντασή τους παρατηρείται στο Ν. Αιγαίο και ιδιαίτερα στις Κυκλάδες. Ο καιρός που χαρακτηρίζει αυτούς του ανέμους είναι ξηρός και αίθριος (Ψυχά & Μηνογιάννης, 2020).

Η δεύτερη κατηγορία ανέμου αναφέρεται στη θαλάσσια και στην απόγειο αύρα. Στη διάρκεια της ημέρας, όταν ο ουρανός είναι αίθριος και ο καιρός χωρίς ανέμους, η ξηρά θερμαίνεται γρηγορότερα και ισχυρότερα από τη θάλασσα, γιατί η θάλασσα έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα και είναι διαπερατή σε μεγάλο βάθος από τις ηλιακές ακτίνες. Γι' αυτό, πάνω από την ξηρά, 2-3 ώρες μετά από την ανατολή του ήλιου, η ατμοσφαιρική πίεση γίνεται μικρότερη απ' ό,τι πάνω από τη θάλασσα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανέμου που πνέει από τη θάλασσα προς την ξηρά (Εικόνα 2.2). Ο άνεμος αυτός ονομάζεται θαλάσσια αύρα ή, κοινά, «μπάτης» ή «μπουκαδούρα». Η ένταση της θαλάσσιας αύρας αυξάνεται μέχρι τις πρώτες απογευματινές ώρες, και στη συνέχεια, ελαττώνεται. Στις πρώτες νυχτερινές ώρες η θαλάσσια αύρα παύει να πνέει. Το μέγιστο της έντασης του ανέμου αυτού σημειώνεται κατά την ώρα της μέγιστης θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στην ξηρά και στη θάλασσα. Η διεύθυνση της θαλάσσιας αύρας είναι κάθετη στην ακτή, και μπορεί να φθάσει σε απόσταση 20-40 km απ' αυτή, όταν το ανάγλυφο είναι ομαλό και η διαφορά θερμοκρασίας ξηράς - θάλασσας μεγάλη. Το ύψος που μπορεί να φθάσει το ρεύμα αυτό είναι 500 m περίπου (Πέννας, 2005).

Στη διάρκεια της νύχτας ψύχεται τόσο η ξηρά όσο και η θάλασσα. Όμως, η ξηρά ψύχεται γρηγορότερα απ' ό,τι η θάλασσα, με αποτέλεσμα η πίεση πάνω από την ξηρά τη νύχτα να γίνεται μεγαλύτερη απ' ό,τι πάνω από τη θάλασσα. Έτσι, δημιουργείται άνεμος με διεύθυνση από την ξηρά προς τη θάλασσα (Εικόνα 2.2). Ο άνεμος αυτός λέγεται «απόγειος αύρα» και πνέει μέχρι, περίπου, την ανατολή του ήλιου. Η ένταση και το ύψος της απόγειας αύρας είναι πολύ μικρότερη από την

ένταση και το ύψος της θαλάσσιας αύρας. Το ύψος της, μάλιστα, είναι μικρότερο από 100 m. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι θερμομετρικές διαφορές ξηράς -θάλασσας είναι μεγαλύτερες την ημέρα παρά τη νύχτα (Πέννας, 2005).



Εικόνα 2.2: Θαλάσσια και απόγειος αύρα
(Πηγή: Μαμάσης & Κουτσογιάννης, 2009)

Η θαλάσσια αύρα επιδρά στα μελέτνια, αυξάνοντας την έντασή τους, όπως συμβαίνει στην παράκτια ζώνη της Βόρειας Κρήτης.

2.3. Επίδραση μετεωρολογικών μεγεθών στην πορεία των ιστιοφόρων

Τα βασικότερα μετεωρολογικά μεγέθη που επιδρούν στην πορεία ενός ιστιοφόρου σκάφους είναι ο άνεμος, ο κυματισμός της θάλασσας και τα θαλάσσια ρεύματα. Η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου κατέχουν πρωτεύοντα ρόλο για την πλεύση του σκάφους, ενώ ο κυματισμός και τα θαλάσσια ρεύματα μπορούν να επιδράσουν θετικά ή αρνητικά, τόσο στην ταχύτητα όσο και στην πορεία του σκάφους. Πιο συγκεκριμένα, όταν η κατεύθυνση των κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων είναι ομόρροπη με την πορεία του σκάφους, τότε η συμβολή αυτών είναι θετική. Διαφορετικά, η ύπαρξη κυματισμού και θαλάσσιων ρευμάτων, ενισχύει την αντίσταση του σκάφους στο νερό, μειώνοντας την ταχύτητά του.

Ο άνεμος, ο οποίος αποτελεί και το βασικότερο προς μελέτη, μετεωρολογικό μέγεθος, στην παρούσα εργασία, είναι η κινητήριος δύναμη των ιστιοφόρων σκαφών.

Σύμφωνα με τους Ευστρατιάδη και Μαμάση (2021), η ισχύς (σε W) μιας μάζας αέρα m (σε kg), κινούμενης με ταχύτητα V (σε m/s), για χρόνο t (σε s) είναι:

$$P_0 = \frac{E}{t} = \frac{mV^2}{2t}$$

Αν στον χρόνο t ο αέρας διανύει απόσταση L (σε m) και προσπίπτει σε επιφάνεια A (σε m^2), τότε:

$$P_0 = \frac{\rho L A V^2}{2t} = \frac{\rho A V^3}{2}$$

Ακολούθως, παρατίθεται ο Πίνακας 2.3, όπου έχει υπολογιστεί η ισχύς του ανέμου, συναρτήσει την ταχύτητάς του και της επιφάνειας των ιστίων, εφαρμόζοντας τον παραπάνω τύπο. Η ισχύς του ανέμου έχει μετατραπεί σε hp, όπου 1 hp αντιστοιχεί σε 735,5 W, η ταχύτητα του ανέμου είναι σε m/s και η επιφάνεια των ιστίων είναι σε m^2 .

Πίνακας 2.3: Ισχύς ανέμου, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και της επιφάνειας των ιστίων

Ισχύς (HP)		Ταχύτητα Ανέμου (m/s)																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Επιφάνεια Ιστίων (m ²)	5	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,9	1,4	2,1	3,0	4,2	5,5	7,2	9,1	11,4	14,1	17,1	20,5	24,3	28,6	33,3	38,6	44,3	50,7	57,6	65,1	73,2	82,0	91,4	101,6	112,4
	10	0,0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,8	2,9	4,3	6,1	8,3	11,1	14,4	18,3	22,9	28,1	34,1	40,9	48,6	57,1	66,6	77,1	88,7	101,3	115,1	130,1	146,4	163,9	182,8	203,1	224,8
	15	0,0	0,1	0,3	0,8	1,6	2,7	4,3	6,4	9,1	12,5	16,6	21,6	27,4	34,3	42,2	51,2	61,4	72,9	85,7	99,9	115,7	133,0	152,0	172,7	195,2	219,6	245,9	274,2	304,7	337,3
	20	0,0	0,1	0,4	1,1	2,1	3,6	5,7	8,5	12,1	16,7	22,2	28,8	36,6	45,7	56,2	68,2	81,8	97,1	114,2	133,2	154,2	177,3	202,6	230,2	260,2	292,7	327,8	365,6	406,2	449,7
	25	0,0	0,2	0,6	1,3	2,6	4,5	7,1	10,7	15,2	20,8	27,7	36,0	45,7	57,1	70,3	85,3	102,3	121,4	142,8	166,6	192,8	221,7	253,3	287,8	325,3	365,9	409,8	457,0	507,8	562,1
	30	0,0	0,2	0,7	1,6	3,1	5,4	8,6	12,8	18,2	25,0	33,3	43,2	54,9	68,6	84,3	102,3	122,7	145,7	171,4	199,9	231,4	266,0	304,0	345,4	390,4	439,1	491,7	548,4	609,3	674,5
	35	0,0	0,2	0,8	1,9	3,6	6,3	10,0	14,9	21,2	29,1	38,8	50,4	64,0	80,0	98,4	119,4	143,2	170,0	199,9	233,2	269,9	310,4	354,6	402,9	455,4	512,3	573,7	639,8	710,9	787,0
	40	0,0	0,3	0,9	2,1	4,2	7,2	11,4	17,1	24,3	33,3	44,3	57,6	73,2	91,4	112,4	136,4	163,7	194,3	228,5	266,5	308,5	354,7	405,3	460,5	520,5	585,5	655,7	731,2	812,4	899,4
	45	0,0	0,3	1,0	2,4	4,7	8,1	12,9	19,2	27,3	37,5	49,9	64,8	82,3	102,8	126,5	153,5	184,1	218,6	257,0	299,8	347,1	399,0	456,0	518,0	585,5	658,7	737,6	822,6	914,0	1011,8
	50	0,0	0,3	1,1	2,7	5,2	9,0	14,3	21,3	30,4	41,6	55,4	72,0	91,5	114,3	140,5	170,6	204,6	242,8	285,6	333,1	385,6	443,4	506,6	575,6	650,6	731,8	819,6	914,0	1015,5	1124,2
	55	0,0	0,4	1,2	2,9	5,7	9,9	15,7	23,5	33,4	45,8	61,0	79,1	100,6	125,7	154,6	187,6	225,0	267,1	314,2	366,4	424,2	487,7	557,3	633,2	715,7	805,0	901,5	1005,5	1117,1	1236,7
	60	0,0	0,4	1,3	3,2	6,2	10,8	17,1	25,6	36,4	50,0	66,5	86,3	109,8	137,1	168,6	204,7	245,5	291,4	342,7	399,7	462,7	532,0	607,9	690,7	780,7	878,2	983,5	1096,9	1218,6	1349,1
	65	0,1	0,4	1,5	3,5	6,8	11,7	18,6	27,7	39,5	54,1	72,0	93,5	118,9	148,5	182,7	221,7	265,9	315,7	371,3	433,0	501,3	576,4	658,6	748,3	845,8	951,4	1065,4	1188,3	1320,2	1461,5
	70	0,1	0,5	1,6	3,7	7,3	12,6	20,0	29,8	42,5	58,3	77,6	100,7	128,1	160,0	196,7	238,8	286,4	340,0	399,8	466,4	539,9	620,7	709,3	805,9	910,8	1024,6	1147,4	1279,7	1421,7	1573,9
	75	0,1	0,5	1,7	4,0	7,8	13,5	21,4	32,0	45,5	62,5	83,1	107,9	137,2	171,4	210,8	255,8	306,9	364,3	428,4	499,7	578,4	665,0	759,9	863,4	975,9	1097,8	1229,4	1371,1	1523,3	1686,4
	80	0,1	0,5	1,8	4,3	8,3	14,4	22,9	34,1	48,6	66,6	88,7	115,1	146,4	182,8	224,8	272,9	327,3	388,5	457,0	533,0	617,0	709,4	810,6	921,0	1041,0	1170,9	1311,3	1462,5	1624,8	1798,8
	85	0,1	0,6	1,9	4,5	8,8	15,3	24,3	36,2	51,6	70,8	94,2	122,3	155,5	194,2	238,9	289,9	347,8	412,8	485,5	566,3	655,5	753,7	861,2	978,5	1106,0	1244,1	1393,3	1553,9	1726,4	1911,2
	90	0,1	0,6	2,0	4,8	9,4	16,2	25,7	38,4	54,6	74,9	99,8	129,5	164,7	205,7	253,0	307,0	368,2	437,1	514,1	599,6	694,1	798,1	911,9	1036,1	1171,1	1317,3	1475,2	1645,3	1827,9	2023,6
	95	0,1	0,6	2,1	5,1	9,9	17,1	27,1	40,5	57,7	79,1	105,3	136,7	173,8	217,1	267,0	324,0	388,7	461,4	542,6	632,9	732,7	842,4	962,6	1093,7	1236,1	1390,5	1557,2	1736,7	1929,5	2136,1
	100	0,1	0,7	2,2	5,3	10,4	18,0	28,6	42,6	60,7	83,3	110,8	143,9	183,0	228,5	281,1	341,1	409,1	485,7	571,2	666,2	771,2	886,7	1013,2	1151,2	1301,2	1463,7	1639,1	1828,1	2031,0	2248,5
105	0,1	0,7	2,4	5,6	10,9	18,9	30,0	44,8	63,7	87,4	116,4	151,1	192,1	239,9	295,1	358,2	429,6	510,0	599,8	699,5	809,8	931,1	1063,9	1208,8	1366,3	1536,9	1721,1	1919,5	2132,6	2360,9	
110	0,1	0,7	2,5	5,9	11,5	19,8	31,4	46,9	66,8	91,6	121,9	158,3	201,3	251,4	309,2	375,2	450,1	534,2	628,3	732,8	848,3	975,4	1114,6	1266,3	1431,3	1610,0	1803,1	2010,9	2234,1	2473,3	
115	0,1	0,8	2,6	6,1	12,0	20,7	32,8	49,0	69,8	95,8	127,5	165,5	210,4	262,8	323,2	392,3	470,5	558,5	656,9	766,1	886,9	1019,7	1165,2	1323,9	1496,4	1683,2	1885,0	2102,3	2335,7	2585,7	
120	0,1	0,8	2,7	6,4	12,5	21,6	34,3	51,2	72,9	99,9	133,0	172,7	219,6	274,2	337,3	409,3	491,0	582,8	685,4	799,5	925,5	1064,1	1215,9	1381,5	1561,4	1756,4	1967,0	2193,7	2437,2	2698,2	
125	0,1	0,8	2,8	6,7	13,0	22,5	35,7	53,3	75,9	104,1	138,6	179,9	228,7	285,6	351,3	426,4	511,4	607,1	714,0	832,8	964,0	1108,4	1266,5	1439,0	1626,5	1829,6	2048,9	2285,1	2538,8	2810,6	
130	0,1	0,9	2,9	6,9	13,5	23,4	37,1	55,4	78,9	108,3	144,1	187,1	237,8	297,1	365,4	443,4	531,9	631,4	742,6	866,1	1002,6	1152,8	1317,2	1496,6	1691,6	1902,8	2130,9	2376,5	2640,4	2923,0	
135	0,1	0,9	3,0	7,2	14,1	24,3	38,6	57,6	82,0	112,4	149,6	194,3	247,0	308,5	379,4	460,5	552,3	655,7	771,1	899,4	1041,2	1197,1	1367,9	1554,1	1756,6	1976,0	2212,8	2467,9	2741,9	3035,4	
140	0,1	0,9	3,1	7,5	14,6	25,2	40,0	59,7	85,0	116,6	155,2	201,5	256,1	319,9	393,5	477,5	572,8	679,9	799,7	932,7	1079,7	1241,4	1418,5	1611,7	1821,7	2049,1	2294,8	2559,3	2843,5	3147,9	
145	0,1	1,0	3,3	7,7	15,1	26,1	41,4	61,8	88,0	120,8	160,7	208,7	265,3	331,3	407,5	494,6	593,3	704,2	828,2	966,0	1118,3	1285,8	1469,2	1669,3	1886,7	2122,3	2376,7	2650,7	2945,0	3260,3	
150	0,1	1,0	3,4	8,0	15,6	27,0	42,8	64,0	91,1	124,9	166,3	215,9	274,4	342,8	421,6	511,7	613,7	728,5	856,8	999,3	1156,8	1330,1	1519,8	1726,8	1951,8	2195,5	2458,7	2742,1	3046,6	3372,7	
155	0,1	1,0	3,5	8,3	16,1	27,9	44,3	66,1	94,1	129,1	171,8	223,0	283,6	354,2	435,6	528,7	634,2	752,8	885,4	1032,6	1195,4	1374,4	1570,5	1784,4	2016,9	2268,7	2540,7	2833,5	3148,1	3485,1	
160	0,1	1,1	3,6	8,5	16,7	28,8	45,7	68,2	97,1	133,2	177,3	230,2	292,7	365,6	449,7	545,8	654,6	777,1	913,9	1065,9	1234,0	1418,8	1621,2	1842,0	2081,9	2341,9	2622,6	2924,9	3249,7	3597,6	

Στον Πίνακα 2.3, η ταχύτητα του ανέμου έχει λάβει τιμές από 1 - 30 m/s. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν από άπνοια έως συνθήκες ισχυρής θύελλας. Για λόγους διευκόλυνσης ως προς την ερμηνεία του πίνακα, ενδεικτικά αναφέρεται ότι:

- 1 m/s = 0,5 kn = 1 Bf (σχεδόν άπνοια)
- 3 m/s = 6 kn = 2 Bf (πολύ ασθενής άνεμος)
- 10 m/s = 20 kn = 5 Bf (μέτριος άνεμος)
- 25 m/s = 48 kn = 10 Bf (θύελλα)
- 30 m/s = 60 kn = 11 Bf (ισχυρή θύελλα)

Η επιφάνεια των ιστίων κυμαίνεται από 5 m² έως 160 m². Η ιστιοφορία ενός μικρού ιστιοπλοϊκού σκάφους, μήκους περίπου 4 m, αντιστοιχεί σε 5-10 m², ενώ για ένα σύνηθες ιστιοπλοϊκό σκάφος αναψυχής, μήκους 10-15 m, η συνολική επιφάνεια των κύριων ιστίων του κυμαίνεται από 80-130 m². Ιστιοπλοϊκά σκάφη μεγαλύτερα των 16 m μήκους, χρησιμοποιούν κύρια πανιά επιφάνειας 140-170 m² περίπου. Με τη χρήση του ιστίου του μπαλονιού η ιστιοφορία των σκαφών δύναται να αυξηθεί. Από συγκεκριμένες εντάσεις του ανέμου και πάνω, τα σκάφη μειώνουν αναλογικά την ιστιοφορία τους, ενώ σε συνθήκες θύελλας χρησιμοποιούν μόνο το πανί θυέλλης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα ιστιοφόρο σκάφος μήκους 14 m, χρησιμοποιεί ιστίο, σε συνθήκες θύελλας, επιφάνειας 17 m².

Όσον αφορά την ισχύ που προσδίδει ο άνεμος στο ιστιοφόρο σκάφος, παρατηρούμε ότι αυτή αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και η επιφάνεια των ιστίων. Συγκεκριμένα, λόγω του ότι η ταχύτητα του ανέμου λαμβάνεται υψωμένη στον κύβο, σύμφωνα με τον τύπο της ισχύος που προαναφέρθηκε, η ισχύς αυξάνεται εκθετικά, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, σε επιφάνεια ιστίων μόλις 5 m², η ισχύς μπορεί να φτάσει τους 112 hp, για ταχύτητα ανέμου 30 m/s. Παρατηρούμε ότι οι τιμές ισχύος του Πίνακα 2.3 φτάνουν τους 3.500 hp περίπου, για ιστιοφορία 160 m² και για ταχύτητα ανέμου 30 m/s. Στην πραγματικότητα, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, καθώς δεν χρησιμοποιείται τόσο μεγάλη επιφάνεια ιστίων σε τόσο μεγάλες εντάσεις ανέμου. Μιλώντας με πραγματικά δεδομένα, η ισχύς του ανέμου θα μπορούσε να αγγίξει τους 787 hp περίπου, για επιφάνεια ιστίων 35 m², σε ταχύτητα ανέμου 30 m/s.

Τέλος, παρατηρούμε ότι σε ενδιάμεσες ταχύτητες ανέμου (10-15 m/s) και για ιστιοφορία που συναντάμε για αυτές τις συνθήκες ανέμου σε συνήθη σκάφη αναψυχής (60-120 m²), η ισχύς που προσδίδει ο άνεμος στο σκάφος κυμαίνεται από 50 hp έως 337 hp περίπου. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ισχύς αυτή είναι, σε κάθε περίπτωση, πολύ μεγαλύτερη από την ισχύ που προσδίδεται από τον κινητήρα του σκάφους. Ένα ιστιοφόρο σκάφος αναψυχής, μήκους περίπου 9 m με ιστιοφορία 60 m² διαθέτει, κατά μέσο όρο, κινητήρα ισχύος 18 hp, ενώ μεγαλύτερα σκάφη αναψυχής, κύριας ιστιοφορίας 100-120 m², διαθέτουν κινητήρες ισχύος 50-55 hp. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι, για τα συνήθη σκάφη αναψυχής της ιστιοφορίας που προαναφέραμε, η ιπποδύναμη που προσδίδει ο άνεμος στο σκάφος, θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την ιπποδύναμη που προσδίδεται στο σκάφος με τη χρήση του κινητήρα, για εντάσεις ανέμου από 7-8 m/s και άνω.

Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να γίνει μία σύντομη αναφορά σχετικά με την παράμετρο που χρησιμοποιούν οι σχεδιαστές ιστιοφόρων σκαφών, προκειμένου να προσδιορίσουν την απαιτούμενη επιφάνεια ιστίων σε ένα σκάφος, σε σχέση με το βάρος του. Ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος, για να μπορέσει να ταξιδέψει με ταχύτητα, χρειάζεται αρκετή διαθέσιμη ισχύ που θα το οδηγήσει στην προσδοκώμενη, από τον σχεδιαστή, απόδοση. Η πηγή αυτής της ισχύος, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο άνεμος που προσπίπτει στα πανιά του σκάφους. Η παράμετρος που συνήθως χρησιμοποιούν οι σχεδιαστές για να αξιολογήσουν την απόδοση ενός σκάφους, προκύπτει από το λόγο της επιφάνειας των ιστίων προς το εκτόπισμα του σκάφους υψωμένο στη δύναμη 2/3. Συμβολίζεται με $SA/DCF^{2/3}$, όπου SA (Sail Area) η επιφάνεια των ιστίων σε ft² και DCF (Displacement in Cubic Feet), το εκτόπισμα του σκάφους σε ft³ (Doane, 2011; Hannon, 2021).

Για να υπολογιστεί ο λόγος $SA/DCF^{2/3}$, έχοντας ορίσει αρχικά την επιφάνεια των πανιών του σκάφους, απαιτείται να προσδιοριστεί το εκτόπισμά του (DCF). Το νερό της θάλασσας ζυγίζει 64 lb ανά ft³. Καθώς το βάρος ενός σκάφους και ο όγκος του νερού που αυτό εκτοπίζει είναι ανάλογα μεγέθη, για να προσδιοριστεί το εκτόπισμα σε ft³, αρκεί να διαιρέσουμε το βάρος του σκάφους (σε lb) με τον αριθμό 64. Ο λόγος αυτός είναι διαδεδομένος και ως SA/D όπου $D=DCF^{2/3}$ (Doane, 2011; Hannon, 2021).

Συνοπτικά:

$$\frac{SA}{D} = \frac{SailArea(ft^2)}{[Displacement(lb)/64 \left(\frac{lb}{ft^3}\right)]^{\frac{2}{3}}}$$

Αναλόγως του λόγου SA/D, διακρίνουμε τέσσερα (4) επίπεδα αποδοτικότητας των ιστίων του σκάφους:

- A) SA/D < 16, Χαμηλή αποδοτικότητα (slow underpowered boat)
- B) SA/D = 16 έως 19, Καλή αποδοτικότητα (good performance)
- Γ) SA/D = 20 έως 22, Υψηλή αποδοτικότητα (high performance)
- Δ) SA/D > 22, Πολύ υψηλή αποδοτικότητα (super high performance)

Προκειμένου λοιπόν, να υπολογιστεί σε ένα καινούριο σκάφος η συνολική απαιτούμενη επιφάνεια ιστίων, αναλόγως την κατηγορία και τη χρήση του σκάφους (αναψυχής ή αγωνιστικό), επιλέγεται η κατάλληλη τιμή για τον δείκτη αποδοτικότητας SA/D. Πιο συγκεκριμένα, για τα σκάφη αναψυχής, με λόγο SA/D μεταξύ των τιμών 16 έως 19, προκύπτει η απαιτούμενη επιφάνεια των κύριων πανιών του σκάφους (Doane, 2011).

Στη συνέχεια παρατίθενται παραδείγματα της επιλεγμένης επιφάνειας ιστίων σκαφών αναψυχής, με τον αντίστοιχο συντελεστή αποδοτικότητας SA/D.

Πίνακας 2.4: Δείκτης απόδοσης ιστιοφόρου Beneteau Oceanis 38.1

(Πηγή: Beneteau, 2020)

Beneteau Oceanis 38.1	
Επιφάνεια ιστίων (SA)	707,19 ft ² (65,7 m ²)
Εκτόπισμα (DCF)	15102 lb (6850,2 kg)
SA/D	18,52
Απόδοση ιστιοφόρου	καλή



Εικόνα 2.3: Ιστιοπλοϊκό σκάφος Beneteau Oceanis 38.1
(Πηγή: Beneteau, 2020)

Πίνακας 2.5: Δείκτης απόδοσης ιστιοφόρου Jeanneau sun odyssey 440
(Πηγή: Jeanneau, 2020)

Jeanneau sun odyssey 440	
Επιφάνεια ιστίων (SA)	842 ft ² (78,2 m ²)
Εκτόπισμα (DCF)	18874 lb (8561,1 kg)
SA/D	19
Απόδοση ιστιοφόρου	καλή



Εικόνα 2.4: Ιστιοπλοϊκό σκάφος Jeanneau sun odyssey 440
(Πηγή: Jeanneau, 2020)

Πίνακας 2.6: Δείκτης απόδοσης ιστιοφόρου Bavaria c38

(Πηγή: Bavariayachts, 2021)

Bavaria c38	
Επιφάνεια ιστίων (SA)	852,58 ft ² (79,2 m ²)
Εκτόπισμα (DCF)	19996 lb (9070 kg)
SA/D	18,53
Απόδοση ιστιοφόρου	καλή



Εικόνα 2.5: Ιστιοπλοϊκό σκάφος Bavaria c38

(Πηγή: Bavariayachts, 2021)

Παρατηρούμε ότι, στους Πίνακες 2.4 έως 2.6, ο λόγος SA/D βρίσκεται, και για τα τρία σκάφη, πολύ κοντά στο 19, δηλαδή η επιφάνεια των ιστίων έχει επιλεχθεί ώστε τα σκάφη να έχουν καλή αποδοτικότητα.

3. Ενεργειακές καταναλώσεις ιστιοφόρων σκαφών

3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας κινητήρων σκαφών

Επιλογή ισχύος κινητήρα στα ιστιοφόρα σκάφη

Ο υπολογισμός της ισχύος ενός κινητήρα που απαιτείται για την κάλυψη των μηχανικών αναγκών ενός ιστιοφόρου σκάφους, είναι θέμα ειδικής μελέτης. Για τον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης υποδύναμης χρειάζονται αρκετοί και δύσκολοι ναυπηγικοί υπολογισμοί. Οι παράμετροι που υπεισέρχονται για την εύρεση της κατάλληλης υποδύναμης αφορούν το μέγεθος του σκάφους και κυρίως το βάρος του, τον τύπο του, τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία θέλουμε να ταξιδεύει το ιστιοπλοϊκό, την αντίσταση του σκάφους λόγω των κυματισμών και της τριβής του νερού, αλλά και πολλά άλλα τεχνικά στοιχεία. (Ματιάτος, 2021; Ψαθήρης, 2021)

Στην παρούσα εργασία, για την προσέγγιση της επιλογής ισχύος κινητήρα, θα παρουσιαστούν κάποιοι απλοποιημένοι τύποι που χρησιμοποιούν κατασκευαστές ιστιοφόρων σκαφών ή έχουν προκύψει από την εμπειρία. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποδίδουν μία καλή προσέγγιση για την κάλυψη των αναγκών του σκάφους σε μηχανική ισχύ κινητήρα.

Αναλυτικότερα, οι τύποι που επιλέχθηκαν για την επιλογή υποδύναμης κινητήρα ιστιοπλοϊκού σκάφους είναι οι ακόλουθοι:

1) $P = V^2 \times B / 13500$ όπου:

P: η απαιτούμενη υποδύναμη του κινητήρα σε hp

V: η μέγιστη ταχύτητα που θέλουμε να επιτύχουμε σε kn, υψωμένη στο τετράγωνο

B: το συνολικό βάρος του σκάφους σε kg, με όλο τον εξοπλισμό του

Συνεπώς, για τον παραπάνω τύπο, οι μονάδες μέτρησης έχουν ως εξής:

$hp = (kn)^2 \times (kg) / 13500$ (Corfufishing, 2021)

2) Υπολογίζεται Ισχύς 3 - 5 hp για κάθε 1000 kg του ιστιοφόρου σκάφους.

Αυτός ο τύπος λαμβάνει υπόψη κατά κύριο λόγο μόνο το βάρος του σκάφους, όμως χρησιμοποιείται εμπειρικά ευρέως από κατασκευαστές ιστιοφόρων σκαφών,

καθώς δεν εφαρμόζεται πάντα συγκεκριμένος κανόνας για την αρχική επιλογή κινητήρα (Schlichting, 2022).

Οι προαναφερθέντες τύποι θα επαληθευτούν στη συνέχεια, για την περίπτωση ενός μικρού και ενός μεγαλύτερου ιστιοπλοϊκού σκάφους. Το πρώτο σκάφος που επιλέχθηκε είναι το ιστιοφόρο σκάφος Bavaria cruiser 30, με μήκος 9,47 m και βάρος 5198 kg, για το οποίο έχει τοποθετηθεί από τον κατασκευαστή, κινητήρας ισχύος 18 hp.

Με βάση τον πρώτο τύπο $P = V^2 \times B / 13500$, για μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα 6,8 kn προκύπτει απαιτούμενη ιπποδύναμη κινητήρα 17,8 hp, που σημαίνει ότι στην πράξη θα τοποθετηθεί κινητήρας ισχύος 18 hp. Εφαρμόζοντας τον δεύτερο εμπειρικό τύπο όπου απαιτούνται 3 - 5 hp για κάθε 1000 kg, στο εν λόγω σκάφος παρατηρούμε ότι αντιστοιχούν 3,46 hp ανά 1000 kg βάρους.

Το δεύτερο σκάφος που επιλέχθηκε είναι το ιστιοφόρο Beneteau First 50, με μήκος 15 m και βάρος 18550 kg, για το οποίο έχει τοποθετηθεί κινητήρας ισχύος 75 hp, από τον κατασκευαστή.

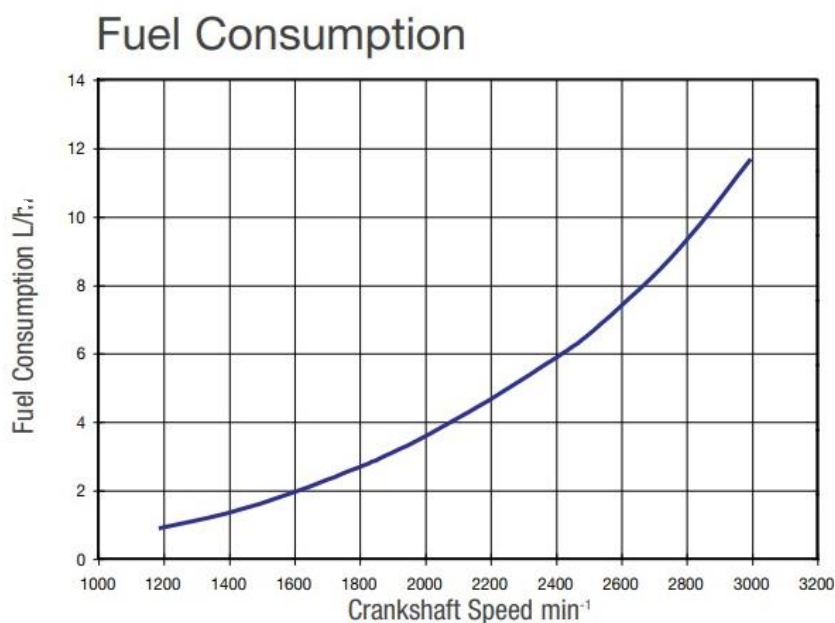
Με βάση τον πρώτο τύπο $P = V^2 \times B / 13500$, για μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα 7,3 kn προκύπτει απαιτούμενη ιπποδύναμη κινητήρα 73,2 hp. Στο σκάφος δηλαδή θα τοποθετηθεί κινητήρας ισχύος 75 hp. Εφαρμόζοντας τον δεύτερο εμπειρικό τύπο, στο εν λόγω σκάφος παρατηρούμε ότι αντιστοιχούν 4,04 hp ανά 1000 kg βάρους.

Παρατηρούμε ότι, και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η απαιτούμενη ιπποδύναμη που προκύπτει από τους τύπους συμπίπτει με την ιπποδύναμη κινητήρα που έχει τοποθετηθεί από τον κατασκευαστή. Επίσης, όσον αφορά τον δεύτερο εμπειρικό τύπο, παρατηρείται ότι για το εύρος 3-5 hp ανά 1000 kg βάρους του σκάφους, όσο μεγαλύτερο είναι το σκάφος, η τιμή αυτή πλησιάζει τους 5 hp ανά 1000 kg, ενώ για μικρότερα σκάφη, η τιμή αυτή βρίσκεται πιο κοντά στους 3 hp ανά 1000 kg βάρους. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο μεγαλύτερο είναι ένα σκάφος τόσο αυξάνονται και οι απώλειές του, λόγω της αντίστασης του νερού.

3.2. Μηχανική κατανάλωση σκαφών με πετρελαιοκινητήρα

Η πλεύση ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους σε περιπτώσεις άπνοιας αλλά και σε άλλες περιπτώσεις που απαιτούνται απότομοι ελιγμοί σε σύντομο χρονικό διάστημα, όπως είναι το δέσιμο σε ένα λιμένα, εξασφαλίζεται με την λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα που είναι εγκατεστημένος στο σκάφος. Ο πετρελαιοκινητήρας είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια του πετρελαίου σε κινητική ενέργεια. Συγκριτικά με τον βενζινοκινητήρα διαφέρει κυρίως στον τρόπο ανάμειξης του αέρα με το καύσιμο και στον τρόπο ανάφλεξης του μίγματος. Το μέγεθος και η ισχύς των εγκατεστημένων πετρελαιοκινητήρων εξαρτάται, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, από τα χαρακτηριστικά του σκάφους (βάρος, μέγεθος, εκτόπισμα) και την ταχύτητα που θέλουμε να επιτύχει το σκάφος. Η κατανάλωση καυσίμου ντίζελ (diesel) εξαρτάται από το μέγεθος του κινητήρα, τη χρήση και τη ροπή που επιλέγεται για να κινήσει το σκάφος (Αποστολίδης, 2013).

Στη συνέχεια παρατίθεται στην Εικόνα 3.1, διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου (fuel consumption) συναρτήσει της ταχύτητας του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα (crankshaft speed), δηλαδή των στροφών του κινητήρα, για κινητήρα της εταιρείας Yanmar, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως σε ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής μήκους 12 - 15 m.



Εικόνα 3.1: Κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ροπής του κινητήρα

(Πηγή: Yanmar, 2007)

Ο κατακόρυφος άξονας αφορά την κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα/ώρα (fuel consumption L/h) με τιμές από 0 έως 14 L/h, ενώ ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ταχύτητα του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα (crankshaft speed) σε min^{-1} , ουσιαστικά δηλαδή ισοδυναμεί με τις στροφές του κινητήρα σε rpm (revolution per minutes). Λαμβάνει τιμές από 1000 έως 3200 min^{-1} ενώ κατά τη λειτουργία του κινητήρα αυτές κυμαίνονται από 1200 έως 3000 min^{-1} .

Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση καυσίμου κατά τη λειτουργία του κινητήρα ξεκινά από 1 L/h στις 1200 στροφές, όπου πρακτικά ο κινητήρας δουλεύει στο ρελαντί, ενώ για 3000 στροφές, η κατανάλωση καυσίμου φτάνει σχεδόν τα 12 L/h. Η αποδοτικότερη ταχύτητα πλεύσης ενός σκάφους, η οποία ονομάζεται ταχύτητα κρουαζιέρας (cruising speed), αφορά τον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας του σκάφους και κατανάλωσης καυσίμου, όπου χρησιμοποιείται το 80% της ισχύος της μηχανής. Για ένα ιστιοφόρο σκάφος μήκους 45 ft (≈ 14 m) η ταχύτητα κρουαζιέρας είναι 6 με 7 kn, αναλόγως των καιρικών συνθηκών και κυρίως του κυματισμού. Κατά την ταχύτητα κρουαζιέρας μπορούμε να πούμε ότι ο κινητήρας λειτουργεί στον πιο αποδοτικό βαθμό. Για τον εν λόγω κινητήρα, η ταχύτητα κρουαζιέρας σύμφωνα με τον κατασκευαστή, επιτυγχάνεται στις 2500-2600 στροφές, όπου αντιστοιχεί σε κατανάλωση καυσίμου 7 L/h. Σήμερα, το χρηματικό κόστος του πετρελαίου κίνησης κυμαίνεται στα 1,8 ευρώ ανά λίτρο καυσίμου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ταχύτητα του ιστιοφόρου σκάφους είναι 7 kn και η κατανάλωση καυσίμου είναι 7 L/h, προκύπτει ότι η κατανάλωση καυσίμου είναι 1 L/nmi, όπου nmi θα χρησιμοποιείται από εδώ και στο εξής για το ναυτικό μίλι, από την αγγλική λέξη nautical miles. Υπενθυμίζεται ότι 1 nmi ισοδυναμεί με 1852 m.

Στη θάλασσα, η κίνηση και ειδικά η ταχύτητα, απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου σε σχέση με την ξηρά, για το ίδιο μεταφερόμενο φορτίο. Μικρές μεταβολές της ταχύτητας, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, μεταφράζονται σε μεγάλες μεταβολές της κατανάλωσης. Κάθε αιτία λοιπόν που επιδρά αρνητικά στην ταχύτητα, έχει και ως συνέπεια μία πρόσθετη κατανάλωση αρκετά μεγάλη. Οι αιτίες είναι πολλές και σχετίζονται με την εγκατάσταση της μηχανής, την επιλογή της έλικας, την κατάσταση της γάστρας του σκάφους, τον τρόπο πλεύσης κ.α. (Αρτέμης, 2012).

Στη συνέχεια, στον Πίνακα 3.1 παρατίθεται μία σύγκριση καταναλώσεων καυσίμων στην ξηρά και στη θάλασσα, για μεταφορικά μέσα που διαθέτουν περίπου ίδιο βάρος, για μια απόσταση 50 nmi, βασιζόμενοι σε τεχνικά στοιχεία που δίνουν οι κατασκευαστές των οχημάτων. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται σύγκριση ανάμεσα σε ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος μήκους 45 ft (14 m) και βάρους 11.545 kg , ένα μηχανοκίνητο ταχύπλοο σκάφος μήκους 45 ft και βάρους 12.432 kg και ένα φορτηγό όχημα, βάρους 15.000 kg. Το φορτηγό όχημα καταναλώνει 19,5 L/h που αντιστοιχεί σε 22,9 L/100 km, με μέση ταχύτητα 85 km/h (που ισοδυναμούν με 46 kn) (Φαφουτέλλης, 2015).

Το ιστιοπλοϊκό σκάφος διαθέτει κινητήρα μάρκας Yanmar 54 hp, το ταχύπλοο σκάφος διαθέτει δύο κινητήρες μάρκας Volvo Penta IPS600 των 435 hp, δηλαδή συνολικής ιπποδύναμης 870 hp, ενώ η ταχύτητα κρουαζιέρας είναι 21,2 kn για 2750 rpm, με αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου 98,4 L/h (Boat test, 2016).

Πίνακας 3.1: Συγκριτικός πίνακας καταναλώσεων θαλάσσιων και χερσαίων μέσων

Τύποι μέσων	Βάρος (kg)	Ιπποδύναμη κινητήρα (hp)	Ταχύτητα (kn)	Κατανάλωση (L/h)	Κατανάλωση (L/nmi)	Κατανάλωση (L/50 nmi)
Ιστιοπλοϊκό σκάφος	11.545	54	7	7	1	50
Ταχύπλοο σκάφος	12.432	870 (2x435)	21,2	98,4	4,64	232
Φορτηγό όχημα	15.000	394	46	19,5	0,424	21,2

Παρατηρούμε ότι οι καταναλώσεις των παραπάνω μέσων διαφέρουν σημαντικά, για παραπλήσια βάρη αυτών. Πιο συγκεκριμένα:

Το φορτηγό όχημα, για μία απόσταση 93 km στη ξηρά, που αντιστοιχούν, για λόγους σύγκρισης, σε 50 nmi στη θάλασσα, καταναλώνει 21,2 L πετρελαίου.

Το ταχύπλοο σκάφος, για να πραγματοποιήσει την απόσταση των 50 nmi, χρησιμοποιώντας την cruising speed των 21,1 kn, χρειάζεται 232 L πετρελαίου.

Τέλος, για το ιστιοπλοϊκό σκάφος, με cruising speed 7 kn, για την ίδια απόσταση, απαιτούνται 50 L πετρελαίου.

Οι διαφορές στις καταναλώσεις σε σχέση με την ξηρά είναι τεράστιες και μικρές μεταβολές στη χρήση του κινητήρα, μπορεί να σημαίνουν μεγάλες μεταβολές

στην κατανάλωση. Η μεγάλη αυτή διαφορά μεταξύ ξηράς και θάλασσας οφείλεται στο ότι η μηχανή ενός σκάφους βρίσκεται συνεχώς υπό φορτίο και χρησιμοποιεί όλη την ιπποδύναμη που αντιστοιχεί στις εκάστοτε στροφές της, πράγμα που δεν συμβαίνει με τα χερσαία οχήματα. Ένα χερσαίο όχημα, στην περίπτωση μας το φορτηγό, χρησιμοποιεί μέρος μόνο της ιπποδύναμής του στις εκάστοτε στροφές της μηχανής, ανάλογα με το φορτίο που επιβάλλει ο δρόμος. Το σύνολο της ιπποδύναμής του το χρησιμοποιεί, μόνον όταν θα αναπτύξει την ανώτατη δυνατή ταχύτητα που του επιτρέπει ο δρόμος (Αρτέμης, 2012).

Μιλώντας με οικονομικά μεγέθη, δεδομένου ότι η τιμή του πετρελαίου σήμερα κυμαίνεται στο 1,8 € ανά λίτρο, για την παραπάνω απόσταση των 50 ημι, θα χρειαζόμασταν για το φορτηγό 38,2 €, για το ταχύπλοο σκάφος 417 € και για το ιστιοπλοϊκό σκάφος 90 €. Φυσικά, δε μπορούμε να παραβλέψουμε τον παράγοντα της διάρκειας της διαδρομής, κάτι το οποίο θα αναφερθεί στη συνέχεια από πραγματικά δεδομένα διαδρομών.

Η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου κίνησης, το οποίο ανήκει στα ελαφριά πετρέλαια κυμαίνεται από 41.870 έως 44.380 kJ/kg ή αλλιώς 11,6 έως 12,3 kWh/kg (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2021).

3.3. Παραδείγματα κατανάλωσης σκαφών αναψυχής

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η ιπποδύναμη του ανέμου που μεταφέρεται στο σκάφος μέσω των ιστίων, είναι εν γένει πολύ μεγαλύτερη από την ιπποδύναμη που προσδίδει ο κινητήρας στο σκάφος. Η χρήση του κινητήρα είναι βοηθητική αλλά και απαραίτητη για τους ελιγμούς στον λιμένα και για χαμηλές εντάσεις ανέμου, όπου η χρήση ιστίων δε θα αποφέρει την επιθυμητή ταχύτητα στο σκάφος. Αναφερόμενοι σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης ιστιοπλοϊκών σκαφών, η χρήση ιστίων μπορεί να επιφέρει σημαντικές διαφορές στις ενεργειακές καταναλώσεις, ειδικά για μεγάλες θαλάσσιες διαδρομές. Στους Πίνακες 3.2A και 3.2B, παρατίθενται δεδομένα από πραγματικές πλεύσεις ιστιοφόρων σκαφών, για 10 θαλάσσιες διαδρομές, ενώ αναφέρονται οι πραγματικές και οι θεωρητικές (με αποκλειστική χρήση μηχανής) καταναλώσεις καυσίμου για τις διαδρομές αυτές. Τα δεδομένα που αποτυπώνονται

στους Πίνακες 3.2A και 3.2B λήφθηκαν από εγκατεστημένα όργανα εντός των σκαφών, που ονομάζονται GPS - Plotter.

Πίνακας 3.2A: Καταναλώσεις σκαφών αναψυχής από πραγματοποιηθείσες διαδρομές

Στοιχεία διαδρομής			Τεχνικά στοιχεία σκάφους			Μετεωρολογικές Μεταβλητές		
Διαδρομή	Απόσταση διαδρομής (nmi)	Διάρκεια διαδρομής	Τύπος σκάφους	Βάρος σκάφους (kg)	Ιπποδύναμη κινητήρα (hp)	Μέση ένταση ανέμου (m/s)	Διεύθυνση Ανέμου	Χαρακτηρισμός θάλασσας ως προς τον κυματισμό
1. Άλιμος - Μύκονος	89	9h 16min	Beneteau First 45	11545	54	11	B (90° - 150°)	Ταραγμένη
2. Άλιμος - Πόρος	28,6	3h 47min	Bavaria Cruiser 40	8700	27	7	Δ (60°)	Λίγο ταραγμένη
3. Άλιμος - Αίγινα	17,8	2h 44min	Bavaria Cruiser 40	8700	27	2	NA (130°)	Ήρεμη
4. Λαύριο - Κέα	14	1h 20min	Beneteau First 45	11545	54	14	B (135° - 150°)	Κυματώδης
5. Κέα - Πάρος	53,5	5h 15min	Beneteau First 45	11545	54	11	B (135° - 150°)	Ταραγμένη
6. Πάρος - Λαύριο	68,3	9h 36min	Beneteau First 45	11545	54	7	B (45° - 90°)	Ταραγμένη
7. Λαύριο - Άνδρος	34,4	5h 24min	Beneteau First 45	11545	54	3	B (45° - 80°)	Ήρεμη
8. Λαύριο - Κύθνος	24,8	2h 3min	Catamaran Lagoon 450F	15100	110 (2x55)	18	B (125°)	Κυματώδης
9. Λευκάδα - Κεφαλονιά	10	1h 29min	Bavaria Cruiser 40	8700	27	5	Δ (90°)	Ήρεμη
10. Λε Σαμπλ ντ'Ολόν - Άλιμος	2468	288h	Catamaran Lagoon 450F	15100	110 (2x55)	10	70°- 150°	Ήρεμη έως Κυματώδης

Πίνακας 3.2B: Καταναλώσεις σκαφών αναψυχής από πραγματοποιηθείσες διαδρομές

Διαδρομή	Χρήση μηχανής - ιστίων					Καταναλώσεις	
	Χρήση μηχανής	Μέση Ταχύτητα σκάφους με χρήση μηχανής (kn)	Ιστιοφορία (m ²)	Χρήση Ιστίων	Μέση Ταχύτητα σκάφους με χρήση ιστίων (kn)	Πραγματική συνολική κατανάλωση (L)	Θεωρητική συνολική κατανάλωση (L) με χρήση μόνο μηχανής
1. Άλιμος - Μύκονος	5%	2	108,6 - 212,16	95%	9,6	0,5	89
2. Άλιμος - Πόρος	5%	2	78,3	95%	7,55	0,4	20,8
3. Άλιμος - Αίγινα	100%	6,5	0	0%	–	15	15
4. Λαύριο - Κέα	5%	2	212,16	95%	10,5	0,5	14
5. Κέα - Πάρος	5%	2	212,16	95%	10,2	0,5	53,5
6. Πάρος - Λαύριο	5%	2	108,6	95%	7,1	0,5	68,3
7. Λαύριο - Άνδρος	70%	7	108,6	30%	4,9	26,5	34,4
8. Λαύριο - Κύθνος	5%	2	130	95%	12	1	43,4
9. Λευκάδα - Κεφαλονιά	5%	2	78,3	95%	6,75	0,4	8,25
10. Λε Σαμπλ ντ'Ολόν - Άλιμος	37%	8	130	63%	9	1500	4319

Στον Πίνακα 3.2A παρουσιάζονται τα στοιχεία της κάθε διαδρομής (απόσταση και διάρκεια), τα τεχνικά στοιχεία του σκάφους, η γωνία πλεύσης του σκάφους ως προς τον άνεμο και τα μετεωρολογικά δεδομένα (διεύθυνση και ένταση του ανέμου, κυματισμός) κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Ο Πίνακας 3.2B αποτυπώνει τις

συνθήκες με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η κάθε διαδρομή. Συγκεκριμένα, αναφέρεται το ποσοστό χρήσης μηχανής - ιστίων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, η μέση ταχύτητα του σκάφους κατά τη χρήση της μηχανής ή των ιστίων, η ιστιοφορία του σκάφους και η πραγματική κατανάλωση καυσίμου για το σύνολο της διαδρομής. Τέλος, παρατίθεται η κατανάλωση καυσίμου του σκάφους, στην περίπτωση που το κάθε ταξίδι πραγματοποιούνταν αποκλειστικά με τη χρήση του κινητήρα. Οι πρώτες εννέα διαδρομές αφορούν ταξίδια που έχουν πραγματοποιηθεί στο Αιγαίο και στο Ιόνιο πέλαγος, ενώ η δέκατη διαδρομή αφορά ταξίδι με αφετηρία τη Δυτική Γαλλία και συγκεκριμένα το Λε Σαμπλ ντ'Ολόν και προορισμό τον Άλιμο. Τα σκάφη με τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι διαδρομές είναι τα εξής: το Beneteau First 45, το Bavaria Cruiser 40 και το Catamaran Lagoon 450F. Τα δύο πρώτα σκάφη είναι σκάφη μονής γάστρας και εκπροσωπούν τα συνήθη σκάφη αναψυχής με έναν κινητήρα, ενώ το τρίτο σκάφος ανήκει στην κατηγορία του καταμαράν και διαθέτει δύο κινητήρες. Οι τιμές υποδύναμης κινητήρα για τα παραπάνω σκάφη και το βάρος αυτών φαίνονται στον Πίνακα 3.2Α.

Αναλύοντας τα δεδομένα της κάθε διαδρομής, παρατηρούμε τα εξής:

Με το σκάφος Beneteau First 45 πραγματοποιήθηκαν οι διαδρομές 1, 4, 5, 6 και 7. Από αυτές, οι 1, 4, 5 και 6, πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ιστίων, πέραν των ελιγμών που απαιτήθηκαν εντός του λιμένα. Η πρώτη διαδρομή Άλιμος – Μύκονος, πραγματοποιήθηκε με μέση ένταση ανέμου 11 m/s, συνεπώς ήταν δυνατή η χρήση ιστίων, στην πλήρη ιστιοφορία τους, σχεδόν καθ' όλη της διάρκεια της διαδρομής. Ομοίως και για τις διαδρομές 4, 5 και 6, με μέσες εντάσεις ανέμου όπως αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 3.2Α. Η μέση ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση των ιστίων για αυτές τις διαδρομές κυμαινόταν από 7,1 kn έως 10,5 kn. Στις περιπτώσεις που η πορεία του σκάφους ως προς τη διεύθυνση του ανέμου ήταν από 40° έως 120°, χρησιμοποιήθηκαν τα κύρια ιστία του, επιφάνειας 108,6 m², ενώ στις περιπτώσεις που η γωνία πλεύσης ήταν από 120° έως 150°, χρησιμοποιήθηκε το μπαλόκι αντί της τζένοας, με αποτέλεσμα η συνολική ιστιοφορία να φτάνει τα 212,16 m² και να αυξάνεται η ταχύτητα του σκάφους. Η συνολική κατανάλωση καυσίμου για τις εν λόγω διαδρομές ήταν μόλις 0,5 L, η οποία αφορά μόνο τους ελιγμούς που απαιτήθηκαν εντός των λιμένων, σε λειτουργία 1200 στροφών κινητήρα και για ταχύτητα σκάφους 2 kn. Στην περίπτωση που η διαδρομή αυτή πραγματοποιούνταν

με την αποκλειστική χρήση του κινητήρα, η κατανάλωση καυσίμου θα ήταν 89 L, 14 L, 53,5 L και 68,3 L αντίστοιχα, δεδομένου ότι το εν λόγω σκάφος καταναλώνει, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, 1 L/ημί, όταν πλέει με ταχύτητα κρουαζιέρας, δηλαδή με ταχύτητα 7 kn. Παρατηρούμε ότι, στις διαδρομές 1, 4, 5 και 6, η ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση ιστίων είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που θα είχε το σκάφος με χρήση μηχανής, ακόμα και για την διαδρομή 6 που η ένταση του ανέμου είναι 7 m/s και η γωνία πλεύσης του σκάφους είναι 45° έως 90° ως προς τον άνεμο. Για τη διαδρομή Λαύριο – Άνδρος (διαδρομή 7), όπου η μέση ένταση του ανέμου είναι μόλις 3 m/s, έγινε χρήση μηχανής στο 70% και χρήση ιστίων στο 30%. Παρατηρούμε ότι, στην περίπτωση αυτή που ο άνεμος είναι αρκετά ασθενής, η ταχύτητα του σκάφους κατά τη χρήση των ιστίων είναι σχεδόν 5 kn, τιμή ικανοποιητική σε σχέση με την ταχύτητα που έχει το σκάφος χρησιμοποιώντας τον κινητήρα, ήτοι 7 kn. Επίσης, όσον αφορά τα καύσιμα, η πραγματική κατανάλωση είναι 26,5 L, ενώ αν χρησιμοποιούσαμε αποκλειστικά μηχανή, η κατανάλωση θα ήταν 34,4 L. Ακόμα δηλαδή και σε αυτή την περίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν ιστία, για μία τόσο μικρή διαδρομή, με ασθενή άνεμο και για μικρό μέρος αυτής, η διαφορά στις καταναλώσεις είναι αισθητή.

Το σκάφος Bavaria Cruiser 40 πραγματοποίησε τις διαδρομές 2, 3 και 9. Για τις διαδρομές 2 και 9 έγινε αποκλειστική χρήση των ιστίων, πέραν των ελιγμών εντός των λιμένων, όπου η κατανάλωση καυσίμου ήταν 0,4 L. Σημειώνεται εδώ ότι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το Bavaria Cruiser 40 καταναλώνει στις 1200 στροφές κινητήρα 0,8 L/h, ενώ η κατανάλωση σε ταχύτητα πλεύσης είναι 5,5 L/h. Η κατανάλωση καυσίμου στην περίπτωση της αποκλειστικής χρήσης της μηχανής θα ήταν 20,8 L και 8,25 L αντίστοιχα. Και στις δύο αυτές διαδρομές έχει χρησιμοποιηθεί πλήρης ιστιοφορία των κύριων ιστίων του σκάφους, επιφάνειας 78,3 m². Στη διαδρομή Άλιμος – Αίγινα (διαδρομή 3), λόγω του ότι υπήρχε σχεδόν άπνοια, έγινε αποκλειστική χρήση μηχανής, με ταχύτητα σκάφους 6,5 kn και συνολική κατανάλωση καυσίμου 15 L. Συγκρίνοντας τις διαδρομές 2, 3 και 9, παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση, το σκάφος πλέει ταχύτερα με τη χρήση των ιστίων, από ότι με τη χρήση της μηχανής, παρά του ότι ο άνεμος κατά τη χρήση ιστίων έχει μέτρια και όχι ιδιαίτερα μεγάλη ένταση (5 έως 7 kn).

Τέλος, οι διαδρομές 8 και 10 πραγματοποιήθηκαν με το σκάφος Catamaran Lagoon 450F. Η διαδρομή 8 αφορά ένα σύντομο ταξίδι, στο οποίο έγινε αποκλειστική χρήση ιστίων, πέραν των ελιγμών. Η ένταση ανέμου ήταν 18 m/s και το σκάφος χρησιμοποίησε την πλήρη ιστιοφορία των κύριων ιστίων του, ήτοι 130 m². Για τη διαδρομή 8, αν το σκάφος έκανε χρήση της μηχανής καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, θα κατανάλωνε 43,4 L, ενώ στην πραγματικότητα, με τη χρήση των ιστίων, κατανάλωσε 1 L. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, στις 1600 στροφές, η κάθε μηχανή του σκάφους καταναλώνει 2 L/h, ενώ σε ταχύτητα πλεύσης, η αντίστοιχη τιμή κατανάλωσης είναι 7 L/h. Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο μηχανές του σκάφους, η κατανάλωση για το σκάφος σε ταχύτητα πλεύσης, είναι 14 L/h.

Το μέγεθος της διαφοράς στην κατανάλωση καυσίμου με τη χρήση ιστίων ή μηχανής, αποτυπώνεται στη διαδρομή Λε Σαμπλ ντ'Ολόν – Άλιμος (διαδρομή 10), η οποία αφορά απόσταση 2468 nmι. Η διαδρομή αυτή πραγματοποιήθηκε σε διάστημα 13 ημερών, με καθαρή διάρκεια πλεύσης 288 h. Η μέση ένταση του ανέμου ήταν 10 m/s και η γωνία πλεύσης του σκάφους ως προς τον άνεμο κυμαινόταν από 70° έως 150°. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ταξιδιού, η διεύθυνση του ανέμου δεν ήταν σταθερή, συνεπώς στον Πίνακα 3.2Α δεν αναγράφονται δεδομένα για τη διεύθυνση του ανέμου αλλά μόνο για τη γωνία πλεύσης τους σκάφους. Για τα διαστήματα που το σκάφος έπλεε με τη χρήση των ιστίων (63% του ταξιδιού), η μέση ταχύτητα του σκάφους ήταν 9 kn, ενώ κατά τη χρήση κινητήρα (37% του ταξιδιού) η ταχύτητα ήταν 8 kn. Το καύσιμο που καταναλώθηκε για το σύνολο της διαδρομής ήταν 1500 L, ενώ αν γινόταν αποκλειστική χρήση της μηχανής, η κατανάλωση καυσίμου θα ήταν 4319 L, κατανάλωση δηλαδή σχεδόν τριπλάσια. Είναι φανερό ότι, μία τέτοια διαφορά στις καταναλώσεις θα είχε και σημαντική διαφορά στο κόστος τους ταξιδιού.

4. Μελέτη περίπτωσης για τη σύγκριση ενεργειακών καταναλώσεων ιστιοφόρου σκάφους

4.1. Επιλογή δεδομένων

Για τη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε συγκεκριμένος τύπος ιστιοφόρου σκάφους και συγκεκριμένη θαλάσσια διαδρομή για την οποία εξετάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις του σκάφους. Για τα παραπάνω δεδομένα, εξετάστηκαν 11 διαφορετικά σενάρια, επιλέγοντας διαφορετικές, κάθε φορά, συνθήκες πλεύσης του σκάφους. Οι συνθήκες αυτές αφορούν κυρίως την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου. Αναλόγως των συνθηκών, η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται με τη χρήση ιστίων ή με τη χρήση κινητήρα. Ο κυματισμός λαμβάνεται υπόψη, με δευτερεύοντα ρόλο.

4.1.1. Ιστιοφόρο σκάφος μονής γάστρας

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ένα σκάφος, του οποίου το είδος αποτελεί τη συνηθέστερη περίπτωση ιστιοπλοϊκού σκάφους αναψυχής στις ελληνικές θάλασσες. Αυτό είναι το ιστιοπλοϊκό σκάφος με μονή γάστρα (Monohull) και ένα κατάρτι (Sloop). Συγκεκριμένα επιλέχθηκε το μοντέλο Beneteau First 45 (Εικόνες 4.1 έως 4.6).

Το εν λόγω σκάφος επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία, λόγω του ότι αντιπροσωπεύει έναν μεγάλο αριθμό ιστιοφόρων σκαφών στον κλάδο του τουρισμού και παράλληλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, όσον αφορά τη συμπεριφορά του κατά την πλεύση, τόσο με τη χρήση ιστίων όσο και με τη χρήση μηχανής, μπορεί να αποδώσει μία αντιπροσωπευτική εικόνα ιπποδύναμης, κατανάλωσης και ενέργειας, για την πλειοψηφία των ιστιοφόρων σκαφών αναψυχής. Ακολούθως, παρατίθεται η περιγραφή αυτού, όσον αφορά τις προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Το ιστιοπλοϊκό σκάφος Beneteau First 45 αποτελείται από μία μονή γάστρα και ένα κατάρτι, στο οποίο στηρίζονται τα δύο βασικά πανιά, η μαϊστρα και η τζένοα. Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη μονής γάστρας, δηλαδή τα Monohull αποτελούν την

συνηθέστερη κατηγορία ιστιοπλοϊκών σκαφών αναψυχής, που συναντάμε κατά πλειοψηφία τους καλοκαιρινούς μήνες τόσο στην Ελλάδα, όσο και σε άλλες χώρες.

Το ιστιοπλοϊκό σκάφος Beneteau First 45 σχεδιάστηκε από τον Άγγλο ναυπηγό Philippe Briand και κατασκευάστηκε από την εταιρεία Beneteau το 2008. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.1 που παρατίθεται στη συνέχεια, το ολικό του μήκος είναι 14,07 m (45 ft, εξ ου και η ονομασία του) και το πλάτος του είναι 4,2 m. Διαθέτει μία μηχανή ισχύος 54 hp, έχει ολικό βάρος 11.545 kg και μέγιστη επιφάνεια ιστίων 108,6 m² εκ των οποίων τα 56,62 m² καλύπτονται από τη μάρστρα και τα 51,98 m² από τη τζένοα. Επιπλέον, στις ανοικτές πλεύσεις (>90°), μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της τζένοας, το μπαλόνη, ένα ιστίο που καλύπτει επιφάνεια 160 m², προσδίδοντας, συμπεριλαμβανομένης της μάρστρας, συνολική επιφάνεια ιστίων 216,62 m². Στις Εικόνες 4.1 και 4.2 φαίνεται το εξωτερικό του εν λόγω σκάφους, κατά την πλεύση του με τη χρήση των ιστίων της μάρστρας και του μπαλονιού. Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται αγκυροβολημένο, το κέλυφος του σκάφους, ενώ στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται ένα σκίτσο του σκάφους, όπου απεικονίζονται τα βασικά του ιστία, το φτερό του τιμονιού και η καρίνα. Όσον αφορά το εσωτερικό του σκάφους, αυτό διαθέτει τρεις (3) καμπίνες των δύο ατόμων, δηλαδή μπορεί να φιλοξενήσει έξι (6) άτομα. Το εσωτερικό του σκάφους αποτυπώνεται στην κάτοψη της Εικόνας 4.5 και ένα ενδεικτικό μέρος του εσωτερικού του απεικονίζεται στην Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.1: Πλαϊνή εξωτερική όψη του σκάφους Beneteau First 45

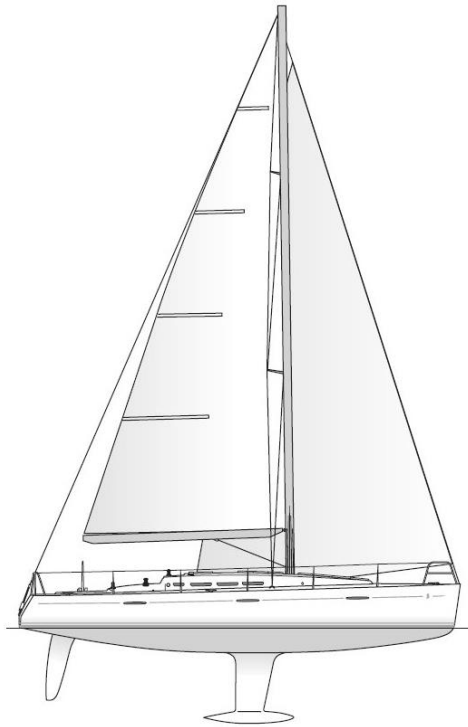
(Πηγή: Beneteau, 2013)



Εικόνα 4.2: Εξωτερική όψη του σκάφους Beneteau First 45 κατά την πλεύση
(Πηγή: Beneteau, 2013)



Εικόνα 4.3: Εξωτερική όψη του σκάφους Beneteau First 45 κατά την αγκυροβολία
(Πηγή: Beneteau, 2013)



Εικόνα 4.4: Σκαρίφημα του σκάφους Beneteau First 45
(Πηγή: Beneteau, 2013)



Εικόνα 4.5: Κάτοψη του σκάφους Beneteau First 45
(Πηγή: Beneteau, 2013)



Εικόνα 4.6: Οπτική του εσωτερικού μέρους του σκάφους Beneteau First 45
(Πηγή: Beneteau, 2013)

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα βασικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκάφους Beneteau First 45, που αφορούν το πεδίο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά σκάφους Beneteau First 45

Σκάφος Beneteau First 45	
Έτος κατασκευής	2008
Μήκος	14,07 m
Πλάτος	4,20 m
Βύθισμα	2,39 m
Βάρος	11545 kg
Στοιχεία κινητήρα	
Μοντέλο	Yanmar 4JH4AE
Ιπποδύναμη	54 hp
Δεξαμενή καυσίμου	200 L
Επιφάνεια ιστίων	
Μαΐστρα	56,62 m ²
Τζένοα	51,98 m ²
Μπαλόκι	159,5 m ²
Πανί θυέλλης	16,71 m ²

Το ιστιοπλοϊκό σκάφος Beneteau First 45 διαθέτει έναν πετρελαιοκινητήρα Yanmar Ιπποδύναμης 54 hp. Με βάση τον τρόπο επιλογής κινητήρα ιστιοπλοϊκών σκαφών που προαναφέρθηκε στην Ενότητα 3.1, ο πρώτος τύπος $P = V^2 \times B / 13500$ έχει εφαρμοστεί για να αποδίδει το σκάφος μέγιστη ταχύτητα πλεύσης 8 kn, ενώ

όσον αφορά το δεύτερο τύπο, σύμφωνα με τον οποίο η επιλογή Ιπποδύναμης ορίζεται ως 3-5 hr για κάθε 1.000 kg του σκάφους, παρατηρούμε ότι για το εν λόγω σκάφος αντιστοιχούν 4,67 hr για κάθε 1.000 kg αυτού.

Η ιστιοφορία του συγκεκριμένου ιστιοπλοϊκού σκάφους, όπως προαναφέρθηκε, αγγίζει τα 108,6 m² με τη χρήση των δύο κύριων πανιών ενώ για ανοικτές πλεύσεις μπορεί να φτάσει τα 216,12 m² με τη χρήση του μπαλονιού. Σε ακραίες καιρικές συνθήκες το σκάφος διαθέτει ένα επιπλέον πανί, το πανί θυέλλης, επιφάνειας 16,71 m², το οποίο και διαθέτει έντονο πορτοκαλί χρώμα, προκειμένου το σκάφος να είναι ορατό από μεγάλη απόσταση.

Με βάση τον Πίνακα 2.2 που παρατίθεται στην Ενότητα 2.3, παρατηρούμε ότι η ισχύς του ανέμου που μεταφέρεται στο σκάφος μέσω των ιστίων, μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ την ιπποδύναμη που προσφέρει ο κινητήρας στο σκάφος.

Αναλυτικότερα, για ταχύτητα ανέμου έως 12 m/s (23 kn ή περίπου 5 Bf) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πλήρης ιστιοφορία του σκάφους, σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Για μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου, η ιστιοφορία του σκάφους μειώνεται κατά 10% για κάθε αύξηση ενός με δύο μποφόρ. Η ιπποδύναμη για ιστιοφορία 108 m² με ταχύτητα ανέμου 12 m/s ανέρχεται σε 155,4 hr. Για ανοικτές πλεύσεις, χρησιμοποιώντας τη μαϊστρα και το μπαλόκι αντί της τζένοας, με συνολική επιφάνεια ιστιοφορίας 216 m² επιτυγχάνεται ιπποδύναμη 310,8 hr. Και οι δύο αυτές τιμές ισχύος που προσδίδονται στο σκάφος από τον άνεμο είναι πολύ μεγαλύτερες από την ισχύ που προσδίδει η μηχανή στο σκάφος, ήτοι 54 hr. Είναι όμως σημαντικό να αναφερθεί ότι με τη χρήση της μηχανής, δεν χρησιμοποιείται η καρίνα του σκάφους, συνεπώς δεν σημειώνονται υδροδυναμικές απώλειες λόγω πλευρικής αντίστασης της καρίνας. Ταυτόχρονα, δεν παρατηρείται εκπεσμός του σκάφους, καθώς η κατεύθυνση της δύναμης πρόωσης δημιουργείται αποκλειστικά από τη μηχανή.

Στην περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών, δηλαδή για ταχύτητες ανέμου από 20 m/s έως 30 m/s (περίπου 8 έως 11 Bf), όπου και χρησιμοποιείται αποκλειστικά το πανί θυέλλης, επιφάνειας 16,71 m², η ισχύς που μεταφέρεται από τον άνεμο στο σκάφος κυμαίνεται από 111,3 έως 375,7 hr. Σε αυτές τις ακραίες συνθήκες, αποφεύγεται η πλεύση ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους. Στην περίπτωση όμως που ένα

ιστιοπλοϊκό σκάφος συναντήσει κατά την πορεία του τόσο δυνατές συνθήκες ανέμου, ο κύριος τρόπος για να ταξιδέψει είναι με τη χρήση του πανιού θυέλλης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ταχύτητα του σκάφους εξαρτάται από την ένταση του ανέμου και την κατεύθυνσή του σε σχέση με την πορεία του σκάφους, ενώ δευτερεύοντα ρόλο παίζει ο κυματισμός, η διεύθυνση αυτού και τα θαλάσσια ρεύματα. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται, για τα συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκάφους (βάρος, διαστάσεις, ιστιοφορία κ.τ.λ.), η ονομαστική ταχύτητά του σε ναυτικούς κόμβους (Rated boat velocities in kn).

Πίνακας 4.2: Ονομαστική ταχύτητα σκάφους Beneteau First 45

(Πηγή: Offshore Racing Congress, 2022, Ιδία επεξεργασία)

Rated boat velocities in knots							
Wind Velocity	6 kn	8 kn	10 kn	12 kn	14 kn	16 kn	20kn
Beat Angles	43°	41.2°	40.6°	39.9°	39.4°	39°	38.8°
Beat Vmg	3,64	4,44	5,04	5,37	5,51	5,58	5,74
52°	5,54	6,65	7,44	7,82	7,95	8,02	8,14
60°	5,84	6,97	7,72	8,06	8,2	8,27	8,35
75°	6,09	7,21	7,91	8,26	8,47	8,61	8,73
90°	6,07	7,36	7,99	8,3	8,58	8,83	9,21
110°	6,13	7,48	8,23	8,61	8,84	9,05	9,42
120°	5,98	7,32	8,14	8,6	9,03	9,38	9,89
135°	5,38	6,68	7,72	8,32	8,75	9,23	10,29
150°	4,55	5,74	6,8	7,66	8,16	8,48	9,14

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους εξαρτάται από δύο μεταβλητές. Η πρώτη μεταβλητή είναι η ταχύτητα του ανέμου (Wind velocity), η οποία κυμαίνεται από 6 έως 20 kn. Η δεύτερη μεταβλητή είναι η γωνία πλεύσης του σκάφους ως προς τον άνεμο (Beat angle). Η γωνία πλεύσης παρουσιάζεται αρχικά στη δεύτερη σειρά του Πίνακα 4.2 για τις μικρότερες γωνίες που μπορεί να ταξιδέψει το σκάφος ως προς τον άνεμο (από 43° έως 38,8°), αναφέροντας την αντίστοιχη επιτυγχανόμενη ταχύτητα του σκάφους V_{mg} . Ακολούθως, στην πρώτη κατακόρυφη στήλη δίνονται λουπές γωνίες της πλεύσης του σκάφους ως προς τον άνεμο, με τιμές από 52° έως 150°, για τις οποίες παρουσιάζεται η αντίστοιχη ταχύτητα του σκάφους. Παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του σκάφους στην πλαγιοδρομία και στις ανοιχτές πλεύσεις είναι σε αρκετές περιπτώσεις μεγαλύτερη από τη μέγιστη ταχύτητα του σκάφους όπως αυτή έχει σχεδιαστεί με τη χρήση του

κινητήρα, ήτοι 8 kn. Συγκεκριμένα, για τις πλεύσεις από 90° έως 135° (πλαγιοδρομία έως ανοιχτή πλαγιοδρομία) και για ταχύτητα ανέμου από 10 kn έως 20 kn, η ταχύτητα του σκάφους φτάνει τα 10.29 kn, με τη χρήση πλήρους ιστιοφορίας των κύριων ιστίων του σκάφους. Για πλεύσεις άνω των 135° όπου και χρησιμοποιείται το μπαλόκι για να διατηρηθεί η υποπίεση του ιστίου, η ταχύτητα του σκάφους αρχίζει και μειώνεται σε σχέση με την πλαγιοδρομία. Παρ' όλα αυτά παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση της πλεύσης των 150° (δευτερόπριμα), η ταχύτητα του σκάφους μπορεί να φτάσει μέχρι τα 9,14 kn, δηλαδή και πάλι υψηλότερη σε σχέση με τη χρήση κινητήρα. Σημειώνεται επίσης ότι, για μικρές εντάσεις ανέμου 6 έως 8 kn, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μπαλόκι αντί για τη τζένοα και για γωνία πλεύσης 90°.

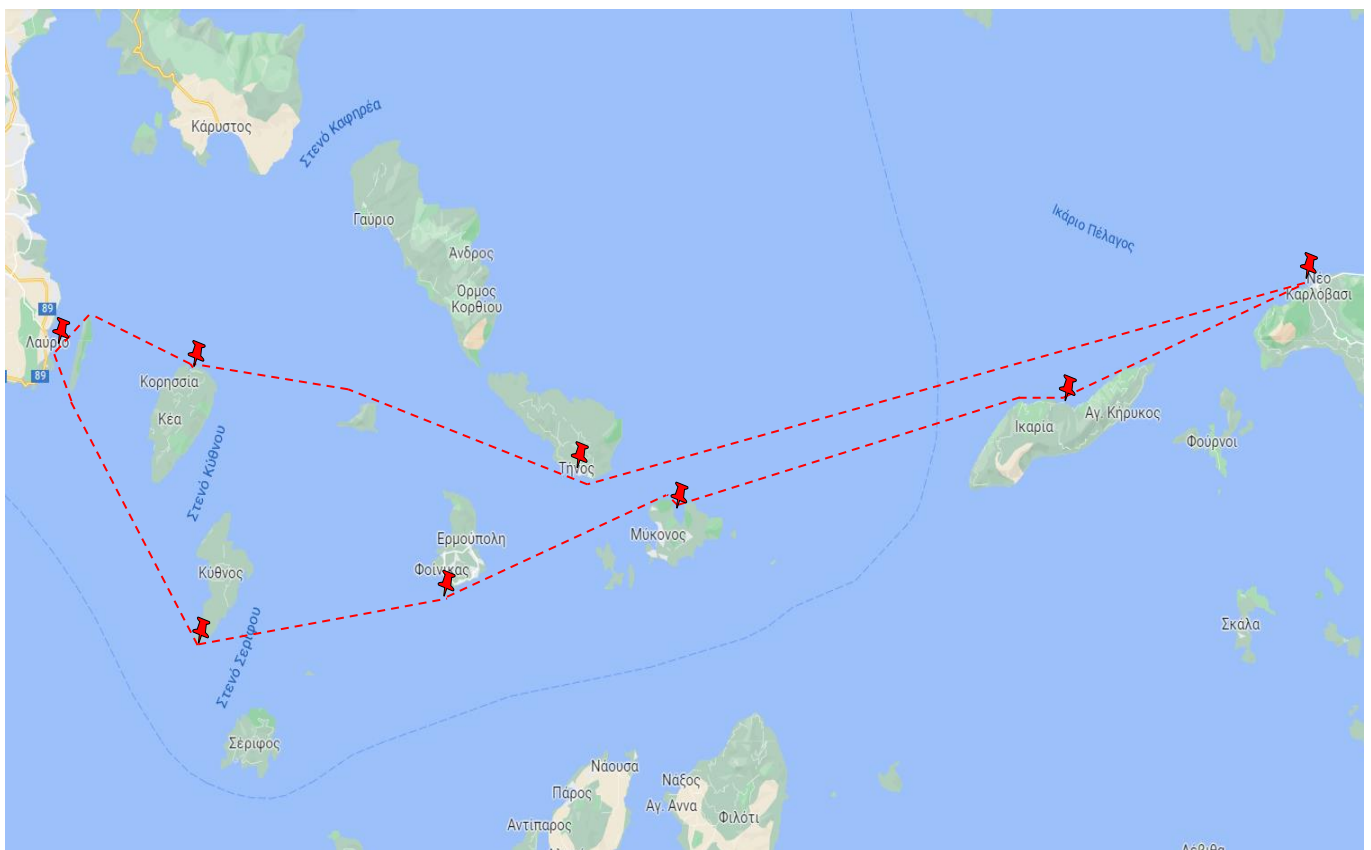
4.1.2. Προτεινόμενη διαδρομή

Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί μία προτεινόμενη διαδρομή του ιστιοφόρου σκάφους Beneteau First 45, η οποία θα περιλαμβάνει διάφορους τουριστικούς προορισμούς, στα νησιά του Αιγαίου. Οι συγκεκριμένοι προορισμοί επιλέχθηκαν με βάση τον προσανατολισμό τους ως προς τον άνεμο, την απόσταση μεταξύ τους, τη δυνατότητα τροφοδοσίας και ανεφοδιασμού του σκάφους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και την ευκαιρία που παρέχει η εκάστοτε τοποθεσία στους χρήστες, όσον αφορά την ψυχαγωγία τους. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή της κάθε τοποθεσίας για παραμονή (πρυμνοδέτηση ή αγκυροβολία) του σκάφους έγινε, λαμβάνοντας υπόψη, είτε την πρόσβαση των χρηστών σε δημοφιλή μέρη του εκάστοτε νησιού, είτε την παραμονή σε κάποιον όρμο φυσικής ομορφιάς, ο οποίος είναι προσβάσιμος μόνο διά θαλάσσης. Επίσης, τα σημεία αγκυροβόλησης επιλέχθηκαν ώστε να είναι προστατευμένα από τους βόρειους ανέμους. Η προτεινόμενη διαδρομή σχεδιάστηκε ως ταξίδι αναψυχής για χρονικό διάστημα δύο εβδομάδων, διάστημα το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί από τους χρήστες, ανάλογα με το χρόνο που θα επιλέξουν να παραμείνουν σε κάθε νησί. Οι προορισμοί που επιλέχθηκαν και οι αποστάσεις μεταξύ τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Προτεινόμενες διαδρομές του ιστιοφόρου σκάφους

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nmi)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30
2. ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ) - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	39,8
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	275,3

Ακολουθως, στην Εικόνα 4.8 απεικονίζεται η συνολική πορεία του σκάφους για το σύνολο των οκτώ παραπάνω διαδρομών.



Εικόνα 4.8: Προτεινόμενη διαδρομή ιστιοφόρου σκάφους

(Πηγή: Google maps, Ιδία επεξεργασία)

Ως εκκίνηση της πορείας του ιστιοφόρου σκάφους προτείνεται το λιμάνι του Λαυρίου, διότι παρέχει πλειάδα σκαφών αναψυχής προς ενοικίαση. Επίσης βρίσκεται

στο ΝΑ άκρο του νομού Αττικής, με αποτέλεσμα να είναι πλησιέστερο στα νησιά του Αιγαίου. Αρχικά κατευθυνόμαστε προς το νησί της Κύθνου και συγκεκριμένα στην παραλία Πετρούσα, έναν φυσικό όρμο προστατευμένο από τους βόρειους ανέμους, ο οποίος μπορεί να αποτελέσει τον πρώτο σταθμό του ταξιδιού. Στη συνέχεια το ιστιοφόρο σκάφος οδεύει προς τη Σύρο. Στη Σύρο επιλέχθηκε η αγκυροβόληση στο Βιγλοστάσι, έναν όρμο πλούσιο σε φυσική ομορφιά, ο οποίος είναι προσβάσιμος μόνο διά θαλάσσης και ξεχωρίζει για τα κρυστάλλινα νερά του. Ο επόμενος προορισμός είναι η Μύκονος όπου θα γίνει αγκυροβόληση στην παραλία του Άγιου Σώστη, στη βόρεια πλευρά του νησιού. Ο Άγιος Σώστης είναι μία μικρή και ήρεμη παραλία, προστατευμένη από τον καιρό, η οποία προτείνεται για αγκυροβόληση ιστιοφόρων σκαφών. Σε περίπτωση που οι χρήστες του σκάφους επιθυμούν την περιήγησή του στο υπόλοιπο νησί της Μυκόνου, αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί οδικώς. Στη συνέχεια, κατευθυνόμαστε προς τον Εύδηλο της Ικαρίας. Ο Εύδηλος αποτελεί το ένα από τα δύο κύρια λιμάνια του νησιού, όπου μπορεί να γίνει τροφοδοσία καυσίμου και εφοδιασμός του σκάφους. Επίσης, αποτελεί κεντρικό σημείο, ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση σε υπόλοιπα δημοφιλή μέρη του νησιού. Η Σάμος είναι ο επόμενος προορισμός του ταξιδιού και συγκεκριμένα το Καρλόβασι. Το Καρλόβασι είναι ένα λιμάνι με πολλές παροχές για τα ιστιοφόρα σκάφη και με δυνατότητα επιλογών είτε για αναψυχή στο νησί της Σάμου, είτε για επίσκεψη σε μέρη φυσικής ομορφιάς, όπως η παραλία Ποτάμι και οι καταρράκτες του νησιού. Από τη Σάμο κατευθυνόμαστε δυτικά, στο νησί της Τήνου. Λόγω της μακρινής απόστασης από τη Σάμο, επιλέχθηκε ως σημείο αγκυροβόλησης το κεντρικό λιμάνι της Τήνου, ώστε να υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερο διάστημα παραμονής στο νησί, αν το επιθυμούν οι χρήστες. Τελευταία στάση του ταξιδιού είναι η Κέα. Η παραλία του Οτζιά αποτελεί τη μεγαλύτερη παραλία του νησιού, με καταγάλανα νερά, μπροστά στον ομώνυμο γραφικό οικισμό. Στη συνέχεια, το ιστιοφόρο σκάφος επιστρέφεται στο λιμάνι του Λαυρίου, όπου και ολοκληρώνεται το ταξίδι.

4.2. Παρουσίαση Σεναρίων πλεύσης για τη μελέτη περίπτωσης

Για τις ενεργειακές καταναλώσεις του ιστιοφόρου σκάφους, για την προτεινόμενη διαδρομή της παρούσας εργασίας, θα ληφθούν υπόψη διαφορετικές περιπτώσεις μετεωρολογικών δεδομένων που επηρεάζουν την ταχύτητα του σκάφους και την ενεργειακή κατανάλωση. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που θα ληφθούν υπόψη στο παρόν κεφάλαιο είναι:

- A) Η ένταση του ανέμου
- B) Η διεύθυνση του ανέμου
- Γ) Ο κυματισμός

Οι κατηγορίες που λαμβάνονται για την ένταση του ανέμου είναι: 6 kn, 20 kn και η ακραία περίπτωση θύελλας με ένταση ανέμου 48 kn. Η μετεωρολογική μεταβλητή «διεύθυνση του ανέμου» θα ενταχθεί, από εδώ και στο εξής, στον όρο «γωνία πλεύσης», στη γωνία πλεύσης δηλαδή του σκάφους ως προς τον άνεμο. Για τη γωνία πλεύσης λαμβάνονται οι εξής περιπτώσεις: λασκάδα (135°), πλαγιοδρομία (90°) και ανοιχτά όρτσα (52°). Τέλος, όσον αφορά τον κυματισμό, οι κατηγορίες που λαμβάνονται είναι: ελαφρύς κυματισμός και έντονος κυματισμός. Για τις περιπτώσεις που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, οι οποίες θα αναφέρονται ως «Σενάρια», έχουν επιλεγεί συνδυαστικά οι παραπάνω κατηγορίες, με βάση τις συνηθέστερες, στις ελληνικές θάλασσες, συνθήκες.

Για τα Σενάρια 1, 2 και 3, η ένταση του ανέμου έχει ληφθεί ίση με 20 kn ενώ η γωνία πλεύσης έχει ληφθεί 135° , 90° και 52° αντίστοιχα. Για τα Σενάρια 4, 5 και 6, η ένταση του ανέμου έχει ληφθεί ίση με 6 kn ενώ η γωνία πλεύσης έχει ληφθεί, ομοίως με ανωτέρω, 135° , 90° και 52° αντίστοιχα. Για τα Σενάρια 1 έως 6 ο κυματισμός έχει θεωρηθεί ελαφρύς και δεν επηρεάζει την πλεύση του σκάφους.

Για το Σενάριο 7, που αντιστοιχεί σε συνθήκες θύελλας, έχει ληφθεί ένταση ανέμου 48 kn, γωνία πλεύσης 135° και έντονος κυματισμός. Για όλα τα παραπάνω Σενάρια η πλεύση πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση ιστίων, ενώ για το Σενάριο 7, το μόνο ιστίο που χρησιμοποιείται είναι το πανί θυέλλης.

Για τα Σενάρια 8, 9 και 10 η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση του κινητήρα, χωρίς τη χρήση ιστίων. Για το Σενάριο 8 η

ένταση του ανέμου δε λαμβάνεται υπόψη, καθώς η πλεύση πραγματοποιείται με τη μηχανή του σκάφους. Ο κυματισμός θεωρείται ελαφρύς, δηλαδή αμελητέος ως προς την επιρροή του στην ταχύτητα του σκάφους. Για το Σενάριο 9, ομοίως με το 8^ο Σενάριο, η ένταση του ανέμου δε λαμβάνεται υπόψη, αλλά ο κυματισμός λαμβάνεται ως έντονος, οπότε και θεωρείται ότι επηρεάζει την ταχύτητα του σκάφους. Για τα Σενάρια 8 και 9, η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται με την ταχύτητα κρουαζιέρας, δηλαδή ο κινητήρας λειτουργεί στις 2600 στροφές. Το Σενάριο 10 εξετάζει την περίπτωση που το σκάφος ταξιδεύει με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητά του, κάνοντας χρήση της μηχανής στη μέγιστη ιπποδύναμή της, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται στις 3000 στροφές του κινητήρα.

Για όλα τα Σενάρια, δεν έχει ληφθεί υπόψη η χρήση μηχανής και η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου που είναι απαραίτητη για τυχόν ελιγμούς, μέσα στους λιμένες και στους όρμους αγκυροβόλησης. Με βάση το διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου του εν λόγω σκάφους, που παρατίθεται στην Εικόνα 4.1, η κατανάλωση καυσίμου για πραγματοποίηση ελιγμών αντιστοιχεί στο 1 L/h και θεωρείται αμελητέα, για την παρούσα εργασία.

➤ Σενάριο 1^ο

Στον Πίνακα 4.4. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 1.

Πίνακας 4.4: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 1

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
20 kn	λασκάδα - 135°	ελαφρύς

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα του 1^{ου} Σεναρίου, το σκάφος χρησιμοποιεί αποκλειστικά την πλήρη ιστιοφορία του (μαϊστρα και μπαλόνη), επιφάνειας 216,12 m². Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2. που έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους για γωνία πλεύσης 135° είναι 10.29 kn. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, ενώ η

συνολική διάρκεια διαδρομής προκύπτει 26 h και 42 min. Λόγω της αποκλειστικής χρήσης ιστίων, η κατανάλωση καυσίμου είναι μηδενική.

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα - Σενάριο 1

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	10,29	2 h 52 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	10,29	2 h 20 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	10,29	2 h 28 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	39,8	10,29	3 h 52 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	10,29	2 h 32min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	10,29	7 h 16 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	10,29	3 h 49 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	10,29	1 h 33 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	10,29	26 h 42 min	0

➤ **Σενάριο 2^ο**

Στον Πίνακα 4.6. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 2.

Πίνακας 4.6: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 2

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
20 kn	πλαγιοδρομία - 90°	ελαφρύς

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα του 2^{ου} Σεναρίου, το σκάφος χρησιμοποιεί την πλήρη ιστιοφορία των κύριων ιστίων του, δηλαδή ιστιοφορία συνολικής επιφάνειας 108,6 m². Στην πλαγιοδρομία, αντί του μπαλονιού, γίνεται χρήση της μαϊστρας και της τζένοας, καθώς σε μεγάλες εντάσεις ανέμου, η δύναμη που δέχεται το μπαλόني από τον άνεμο, τείνει να πλαγιάσει το σκάφος. Η ονομαστική ταχύτητα

του σκάφους για γωνία πλεύσης 90° είναι 9,21 kn. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, ενώ η συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι μηδενική. Η συνολική διάρκεια διαδρομής προκύπτει 29 h και 12 min.

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα - Σενάριο 2

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nmi)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	9,21	3 h 15 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	9,21	2 h 36 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	9,21	2 h 4 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	9,21	4 h 20 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	9,21	2 h 49 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	9,21	8 h 9 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	9,21	4 h 15 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	9,21	1 h 44 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	9,21	29 h 12 min	0

➤ Σενάριο 3°

Στον Πίνακα 4.8. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 3.

Πίνακας 4.8: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 3

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
20 kn	ανοιχτά όρτσα - 52°	ελαφρύς

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα του 3^{ου} Σεναρίου, το σκάφος χρησιμοποιεί την πλήρη ιστιοφορία του με χρήση των ιστίων της μαϊστρας και της τζένοας, με ιστιοφορία συνολικής επιφάνειας 108,6 m². Η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους για γωνία πλεύσης 52° είναι 8,14 kn. Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η διάρκεια του

ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, με συνολική διάρκεια διαδρομής 35 h και 16 min, ενώ η συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι και πάλι μηδενική.

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα - Σενάριο 3

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	8,14	3 h 41 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	8,14	2 h 57 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	8,14	3 h 6 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	8,14	4 h 55 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	8,14	3 h 11 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	8,14	10 h 41 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	8,14	4 h 48 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	8,14	1 h 57 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	8,14	35 h 16 min	0

➤ **Σενάριο 4^ο**

Στον Πίνακα 4.10. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 4.

Πίνακας 4.10: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 4

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
6 kn	λασκάδα - 135°	ελαφρύς

Για τα μετεωρολογικά δεδομένα του 4^{ου} Σεναρίου, λόγω της ανοιχτής πλεύσης του σκάφους, έχουμε χρήση μαϊστρας και μπαλονιού, δηλαδή συνολική επιφάνεια ιστίων 216,12 m² (ομοίως με το Σενάριο 1). Η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους για την περίπτωση αυτή είναι 5,38 kn. Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, η συνολική διάρκεια ταξιδιού (η οποία λόγω

μείωσης της ταχύτητας του σκάφους έχει αυξηθεί σε 51 h και 42 min) και η μηδενική κατανάλωση καυσίμου, λόγω χρήσης ιστίων.

Πίνακας 4.11: Αποτελέσματα - Σενάριο 4

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	5,38	5 h 34 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	5,38	4 h 28 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	5,38	4 h 42 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	5,38	7 h 26 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	5,38	4 h 50 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	5,38	13 h 56 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	5,38	7 h 17 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	5,38	2 h 58 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	5,38	51 h 42 min	0

➤ **Σενάριο 5°**

Στον Πίνακα 4.12. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 5.

Πίνακας 4.12: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 5

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
6 kn	πλαγιοδρομία - 90°	ελαφρύς

Για το 5° Σενάριο, το σκάφος χρησιμοποιεί την πλήρη ιστιοφορία του με χρήση των ιστίων της μαϊστρας και του μπαλονιού, δηλαδή ιστιοφορία συνολικής επιφάνειας 216,12 m². Παρατηρούμε ότι, σε χαμηλές εντάσεις ανέμου, μπορεί να γίνει χρήση μπαλονιού αντί της τζένοας, στην πλαγιοδρομία. Η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους για τη γωνία πλεύσης των 90° είναι 6,07 kn. Στον Πίνακα 4.13 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, ενώ η συνολική

κατανάλωση καυσίμου είναι και πάλι μηδενική. Η συνολική διάρκεια διαδρομής προκύπτει σε αυτή την περίπτωση 45 h και 20 min.

Πίνακας 4.13: Αποτελέσματα - Σενάριο 5

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	6,07	4 h 56 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	6,07	3 h 57 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	6,07	4 h 10 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	6,07	6 h 34 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	6,07	4 h 17 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	6,07	12 h 21 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	6,07	6 h 27 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	6,07	2 h 38 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	6,07	45 h 20 min	0

➤ Σενάριο 6°

Στον Πίνακα 4.14. παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 6.

Πίνακας 4.14: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 6

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
6 kn	ανοιχτά όρτσα - 52°	ελαφρύς

Για το 6° Σενάριο, το σκάφος χρησιμοποιεί ιστιοφορία συνολικής επιφάνειας 108,6 m², δηλαδή πλήρη ιστιοφορία των κύριων ιστίων του. Η ονομαστική ταχύτητα του σκάφους για τη γωνία πλεύσης των 52° είναι 5,54 kn. Στον Πίνακα 4.15 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, η συνολική διάρκεια ταξιδιού είναι 49 h και 40 min, ενώ η συνολική κατανάλωση καυσίμου, λόγω αποκλειστικής χρήσης των ιστίων, είναι και πάλι μηδενική.

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα - Σενάριο 6

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nmi)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	5,54	5 h 25 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	5,54	4 h 19 min	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	5,54	4 h 33 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	5,54	7 h 13 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	5,54	4 h 41 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	5,54	13 h 32 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	5,54	7 h 4 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	5,54	2 h 53 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	5,54	49 h 40 min	0

➤ **Σενάριο 7^ο**

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 7, όπου έχουμε ακραίες καιρικές συνθήκες θύελλας. Το σκάφος χρησιμοποιεί αποκλειστικά το πανί θυέλλης, επιφάνειας 16,71 m², η ένταση του ανέμου λαμβάνεται 48 kn και ο κυματισμός θεωρείται έντονος. Για τις δεδομένες συνθήκες και για γωνία πλεύσης 135°, η ταχύτητα του σκάφους, σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 12 kn.

Πίνακας 4.16: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 7

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
48 kn	Λασκάδα - 135°	έντονος

Στον Πίνακα 4.17 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό με τη χρήση του πανιού θυέλλης, για την ταχύτητα των 12 kn του σκάφους, έχοντας μηδενική κατανάλωση καυσίμου. Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού μειώνεται σε 22 h και 57 min.

Πίνακας 4.17: Αποτελέσματα - Σενάριο 7

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	12	2 h 30 min	0
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	12	2 h	0
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	12	2 h 6 min	0
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	12	3 h 20 min	0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	12	2 h 10 min	0
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	12	6 h 15 min	0
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	12	3 h 16 min	0
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	12	1 h 20 min	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	12	22 h 57 min	0

➤ **Σενάριο 8^ο**

Στον Πίνακα 4.18 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 8. Στο Σενάριο 8 η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση της μηχανής, χωρίς τη χρήση των ιστίων. Θεωρούμε ότι το σκάφος πλέει με ταχύτητα κρουαζιέρας, συνεπώς η υποδύναμη της μηχανής είναι 50 hp, σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Η ένταση του ανέμου δε μας αφορά στο παρόν Σενάριο, ενώ ο κυματισμός είναι ελαφρύς και δεν επηρεάζει την ταχύτητα του σκάφους.

Πίνακας 4.18: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 8

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
--	--	ελαφρύς

Η ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση του κινητήρα, χωρίς έντονο κυματισμό, είναι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, 7 kn. Στον Πίνακα 4.19 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό, ενώ η κατανάλωση καυσίμου είναι 1 L/nmi ή αλλιώς 7 L/h. Η συνολική κατανάλωση καυσίμου, για το σύνολο της διαδρομής είναι 275,3 L και η διάρκεια αυτής 39 h και 19 min.

Πίνακας 4.19: Αποτελέσματα - Σενάριο 8

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	7	4 h 17 min	30
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	7	3 h 25 min	24
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	7	3 h 36 min	25,3
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	7	5 h 42 min	40
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	7	3 h 43 min	26
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	7	10 h 43 min	75
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	7	5 h 36 min	39,2
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	7	2 h 17 min	16
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	7	39 h 19 min	275,3

➤ **Σενάριο 9^ο**

Στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές μεταβλητές για το Σενάριο 9. Στο Σενάριο 9, ομοίως με προηγουμένως, η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση της μηχανής, σε λειτουργία ταχύτητας κρουαζιέρας, δηλαδή με ιπποδύναμη κινητήρα 50 hp σε λειτουργία 2600 στροφών. Η ένταση του ανέμου δε παίζει κάποιο ρόλο στο εν λόγω Σενάριο, καθώς η πλεύση του σκάφους γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση της μηχανής, αλλά έχει ληφθεί έντονος κυματισμός της θάλασσας, ο οποίος επιδρά στην ταχύτητα του σκάφους.

Πίνακας 4.20: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 9

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
--	--	έντονος

Λαμβάνοντας υπόψη τον έντονο κυματισμό της θάλασσας, η ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση του κινητήρα μειώνεται στα 6 kn, λόγω της αντίστασης που δημιουργείται από τον κυματισμό. Στον Πίνακα 4.19 παρουσιάζεται η διάρκεια του ταξιδιού για τον κάθε προορισμό και η συνολική διάρκεια διαδρομής, η οποία είναι

45 h και 55 min. Η συνολική κατανάλωση καυσίμου, λαμβάνοντας ότι η κατανάλωση καυσίμου του σκάφους είναι ίση με 7L/h, είναι 321,4 L.

Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα - Σενάριο 9

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	6	5 h	35
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	6	4 h	28
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	6	4 h 13 min	29,5
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	6	6 h 40 min	46,7
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	6	4 h 20 min	30,3
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	6	12 h 30 min	87,5
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	6	6 h 32 min	45,7
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	6	2 h 40 min	18,7
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	6	45 h 55 min	321,4

➤ Σενάριο 10°

Στον Πίνακα 4.22 παρουσιάζεται το 10° Σενάριο, στο οποίο η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται με τη χρήση μηχανής, στη μέγιστη ιπποδύναμή της, ήτοι 54 hp. Η ένταση του ανέμου δε λαμβάνεται υπόψη ούτε στο σενάριο αυτό. Ο κυματισμός της θάλασσας έχει ληφθεί ελαφρύς.

Πίνακας 4.22: Μετεωρολογικές μεταβλητές - Σενάριο 10

Μετεωρολογικές μεταβλητές		
Ένταση Ανέμου	Γωνία πλεύσης	Κυματισμός
--	--	ελαφρύς

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.23, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του σκάφους είναι 8 kn. Για να επιτύχει το σκάφος αυτή τη ταχύτητα, λειτουργεί στις 3000 στροφές

κινητήρα, αυξάνοντας την κατανάλωση καυσίμου σε 11,8 L/h. Η συνολική διάρκεια διαδρομής προκύπτει 34 h και 26 min και η συνολική κατανάλωση καυσίμου 406,4 L.

Πίνακας 4.23: Αποτελέσματα - Σενάριο 10

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nmi)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (L)
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	8	3 h 45 min	44,3
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	8	3 h	35,4
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	8	3 h 10 min	37,3
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	8	5 h	59,0
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	8	3h 15 min	38,4
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	8	9 h 22 min	110,6
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	8	4 h 54 min	57,8
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	8	2 h	23,6
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	8	34 h 26 min	406,4

➤ Σενάριο 11° – Ρεαλιστικό Σενάριο

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, μιλώντας με ρεαλιστικά δεδομένα, ο άνεμος στο Αιγαίο τους καλοκαιρινούς μήνες είναι κυρίως βόρειος. Κατά την διάρκεια μιας σύνθετης θαλάσσιας διαδρομής, η κατεύθυνση της πορείας του σκάφους ποικίλει, ανάλογα με τον προορισμό. Συνεπώς, η γωνία πλεύσης του σκάφους ως προς τον άνεμο δεν είναι σταθερή και, για την εν λόγω προτεινόμενη διαδρομή, η γωνία πλεύσης του σκάφους αναμένεται να είναι μεταξύ 60° και 150°. Στην περίπτωση λοιπόν που επιλέγεται η χρήση των ιστίων του ιστιοφόρου σκάφους, παρουσιάζεται το ρεαλιστικό αυτό Σενάριο στον Πίνακα 4.24, όπου αποτυπώνονται οι γωνίες πλεύσεις και η αντίστοιχη ταχύτητα του σκάφους, όταν η ένταση του ανέμου είναι 20 kn (συνηθέστερη τιμή για την ένταση του ανέμου, στο Αιγαίο, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες).

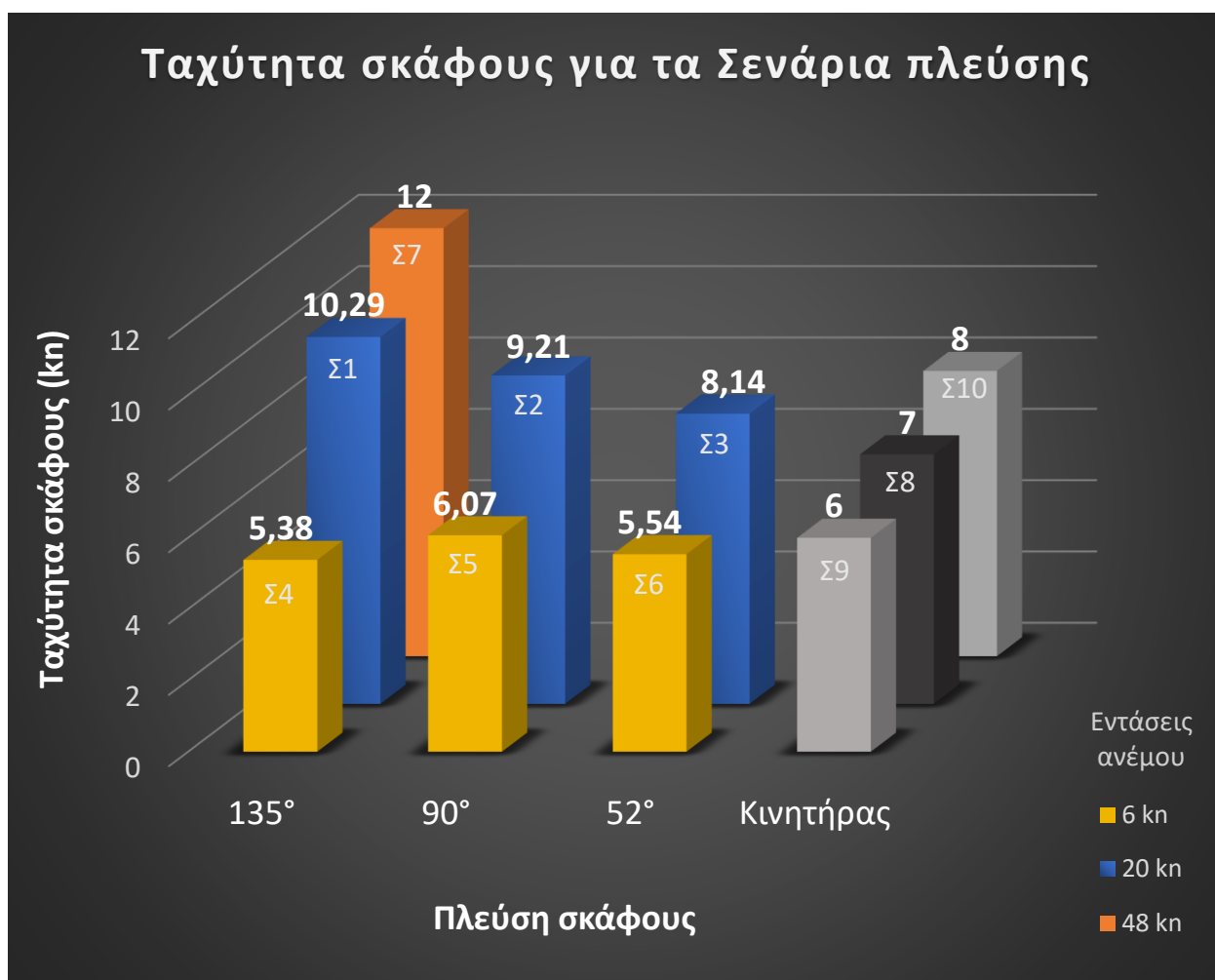
Πίνακας 4.24: Ταχύτητα σκάφους ανάλογα με τη γωνία πλεύσης ως προς τον άνεμο

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (nmi)	ΓΩΝΙΕΣ ΠΛΕΥΣΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΚΑΦΟΥΣ (kn)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
1. ΛΑΥΡΙΟ - ΚΥΘΝΟΣ (ΠΕΤΡΟΥΣΑ)	30	150°	9,14	3 h 17 min
2. ΚΥΘΝΟΣ - ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ)	24	75°	8,73	2 h 44 min
3. ΣΥΡΟΣ (ΒΙΓΛΟΣΤΑΣΙ) - ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ)	25,3	60°	8,35	3 h 2 min
4. ΜΥΚΟΝΟΣ (ΑΓΙΟΣ ΣΩΣΤΗΣ) - ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ)	40	75°	8,73	4 h 35 min
5. ΙΚΑΡΙΑ (ΕΥΔΗΛΟΣ) - ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ)	26	75°	8,73	2 h 58 min
6. ΣΑΜΟΣ (ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ) - ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ)	75	110°	9,42	7 h 57 min
7. ΤΗΝΟΣ (ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΝΟΥ) - ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ)	39,2	75°	8,73	4 h 29 min
8. ΚΕΑ (ΟΤΖΙΑΣ) - ΛΑΥΡΙΟ	16	90°	9,21	1 h 44 min
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	275,3	60° - 150°	8,96	30 h 46 min

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.24, ο συνολικός χρόνος διαδρομής προκύπτει 30 h και 46 min και η σταθμισμένη μέση ταχύτητα πλεύσης 8,96 kn, πολύ κοντά δηλαδή στο Σενάριο 2, όπου έχει ληφθεί διεύθυνση του ανέμου 90° και ταχύτητα σκάφους 9,21 kn.

4.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων Σεναρίων πλεύσης

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των παραπάνω Σεναρίων, όσον αφορά την επίδραση των μετεωρολογικών μεταβλητών στην πορεία του σκάφους και στην ενεργειακή κατανάλωση αυτού, παρατίθενται ακολούθως τα Διαγράμματα 4.1 έως 4.5. Για τα προαναφερθέντα Σενάρια αποτυπώνονται για την κάθε περίπτωση, η ταχύτητα του ιστιοπλοϊκού σκάφους (Διάγραμμα 4.1), ο χρόνος της συνολικής διαδρομής (Διάγραμμα 4.2), η συνολική κατανάλωση του σκάφους (Διάγραμμα 4.3), η ιπποδύναμη που προσδίδεται στο σκάφος από τα ιστία ή τον κινητήρα (Διάγραμμα 4.4) και τέλος η ενέργεια για το σύνολο της διαδρομής (Διάγραμμα 4.5).



Διάγραμμα 4.1: Ταχύτητες σκάφους για τα Σενάρια 1 έως 10

Σχετικά με την ταχύτητα του σκάφους για τις διαφορετικές συνθήκες πλεύσης που επιλέχθηκαν στα δέκα Σενάρια, όπως αυτές παρατίθενται στο Διάγραμμα 4.1,

παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ταχύτητα του σκάφους επιτυγχάνεται σε συνθήκες θύελλας, με ένταση ανέμου 48 kn. Παρά του ότι το πανί θυέλλης είναι μόλις επιφάνειας 16,71 m², προσδίδει ταχύτητα στο σκάφος ίσης με 12 kn. Για ένταση ανέμου 20 kn, κάνοντας αποκλειστική χρήση των ιστίων, η ταχύτητα του σκάφους κυμαίνεται από 8,14 kn έως 10,29 kn, ανάλογα με τη γωνία πλεύσης. Η μεγαλύτερη ταχύτητα επιτυγχάνεται, όπως είναι αναμενόμενο, για την ανοιχτή γωνία πλεύσης των 135°, ήτοι 10,29 knots, ενώ για μικρότερες γωνίες πλεύσης η ταχύτητα μειώνεται (9,21 kn για πλαγιοδρομία και 8,14 kn για ανοιχτά όρτσα). Στην περίπτωση που η ένταση του αέρα είναι χαμηλή, δηλαδή μόλις 6 kn, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του σκάφους μειώνεται, καθώς κυμαίνεται από 5,38 kn έως 6,07 kn. Επίσης παρατηρούμε ότι, για τον ασθενή άνεμο των 6 kn, η μέγιστη ταχύτητα του σκάφους επιτυγχάνεται στην πλαγιοδρομία (γωνία πλεύσης 90°) και όχι στη ανοιχτή γωνία πλεύσης, όπως συμβαίνει για ένταση ανέμου 20 kn. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι σε μικρές εντάσεις ανέμου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μπαλόκι αντί της τζένοας για τη γωνία πλεύσης των 90°, το οποίο λόγω της καμπυλότητάς του, αυξάνει τις δυνάμεις υποπίεσης. Όσον αφορά την ταχύτητα του σκάφους μόνο με τη χρήση κινητήρα και σε ελαφρύ κυματισμό, παρατηρούμε ότι το σκάφος ταξιδεύει με ταχύτητα 7 kn, η οποία αποτελεί την ταχύτητα κρουαζιέρας, ενώ στην περίπτωση που έχουμε έντονο κυματισμό, η ταχύτητα αυτή μειώνεται στα 6 kn. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί στη μέγιστη υποδύναμή του, η ταχύτητα του σκάφους ανέρχεται στα 8 kn, όμως η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται σημαντικά, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Το Ρεαλιστικό Σενάριο δεν έχει αποτυπωθεί στο Διάγραμμα 4.1, καθώς η ταχύτητα πλεύσης του σκάφους διαφέρει από προορισμό σε προορισμό. Ο σταθμισμένος μέσος όρος της ταχύτητας του σκάφους για το Ρεαλιστικό Σενάριο είναι 8,96 kn, θα μπορούσαμε δηλαδή να πούμε ότι βρίσκεται πλησιέστερα στο Σενάριο 2.

Συγκρίνοντας τους τρόπους πλεύσης του σκάφους, δηλαδή με τη χρήση ιστίων και με τη χρήση κινητήρα, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του σκάφους είναι σημαντικά μεγαλύτερη με τη χρήση ιστίων, στην περίπτωση που φυσάει. Ακόμα και στην περίπτωση που η ένταση του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (6 kn), παρατηρούμε ότι η ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση ιστίων δεν διαφέρει πολύ, από τη ταχύτητα που επιτυγχάνει το σκάφος με τη χρήση μηχανής, εκτός της περίπτωση που μηχανή

λειτουργεί στη μέγιστη υποδύναμή της, στην οποία όμως η κατανάλωση καυσίμου είναι σημαντικά αυξημένη.



Διάγραμμα 4.2: Συνολικές Διάρκειες διαδρομής για τα Σενάρια πλεύσης

Στο Διάγραμμα 4.2 παρατίθεται η συνολική διάρκεια της προτεινόμενης διαδρομής, για καθένα από τα Σενάρια. Όπως είναι αναμενόμενο, η διάρκεια διαδρομής είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ταχύτητα του σκάφους, οπότε η μικρότερη διάρκεια διαδρομής επιτυγχάνεται όταν το σκάφος έχει τη μεγαλύτερη ταχύτητα, δηλαδή για ένταση ανέμου 48 kn (Σενάριο 7°). Παρατηρούμε επίσης ότι, στις περιπτώσεις που η ένταση του ανέμου είναι υψηλή, η συνολική διάρκεια διαδρομής είναι αισθητά μικρότερη από τη συνολική διάρκεια διαδρομής για τις περιπτώσεις που γίνεται χρήση κινητήρα, στην ταχύτητα κρουαζιέρας. Η διάρκεια διαδρομής, όταν η χρήση κινητήρα πραγματοποιείται στη μέγιστη υποδύναμή του,

είναι σχεδόν ίδια με το Σενάριο 3 που η ένταση του ανέμου είναι 20 kn και η γωνία πλεύσης ανοιχτά όρτσα. Ωστόσο, είναι μεγαλύτερη από τις διάρκειες διαδρομής στις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις που έχουμε ένταση ανέμου 20 kn (Σενάρια 1 και 2). Ακόμα, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της πλαγιοδρομίας (90°), ακόμα και όταν η ένταση του ανέμου είναι 6 kn που πρακτικά φυσάει ελάχιστα, η συνολική διάρκεια ταξιδιού είναι παραπλήσια της συνολικής διάρκειας ταξιδιού με μηχανή, σε ταχύτητα κρουαζιέρας και σε έντονο κυματισμό. Τέλος, όσον αφορά τη διάρκεια διαδρομής του Ρεαλιστικού Σεναρίου, αυτή είναι μικρότερη από τη διάρκεια διαδρομής όλων των Σεναρίων στα οποία έχουμε χρήση κινητήρα, ενώ βρίσκεται πολύ κοντά στο Σενάριο 2, όπου έχουμε πλαγιοδρομία και ένταση ανέμου 20 kn.

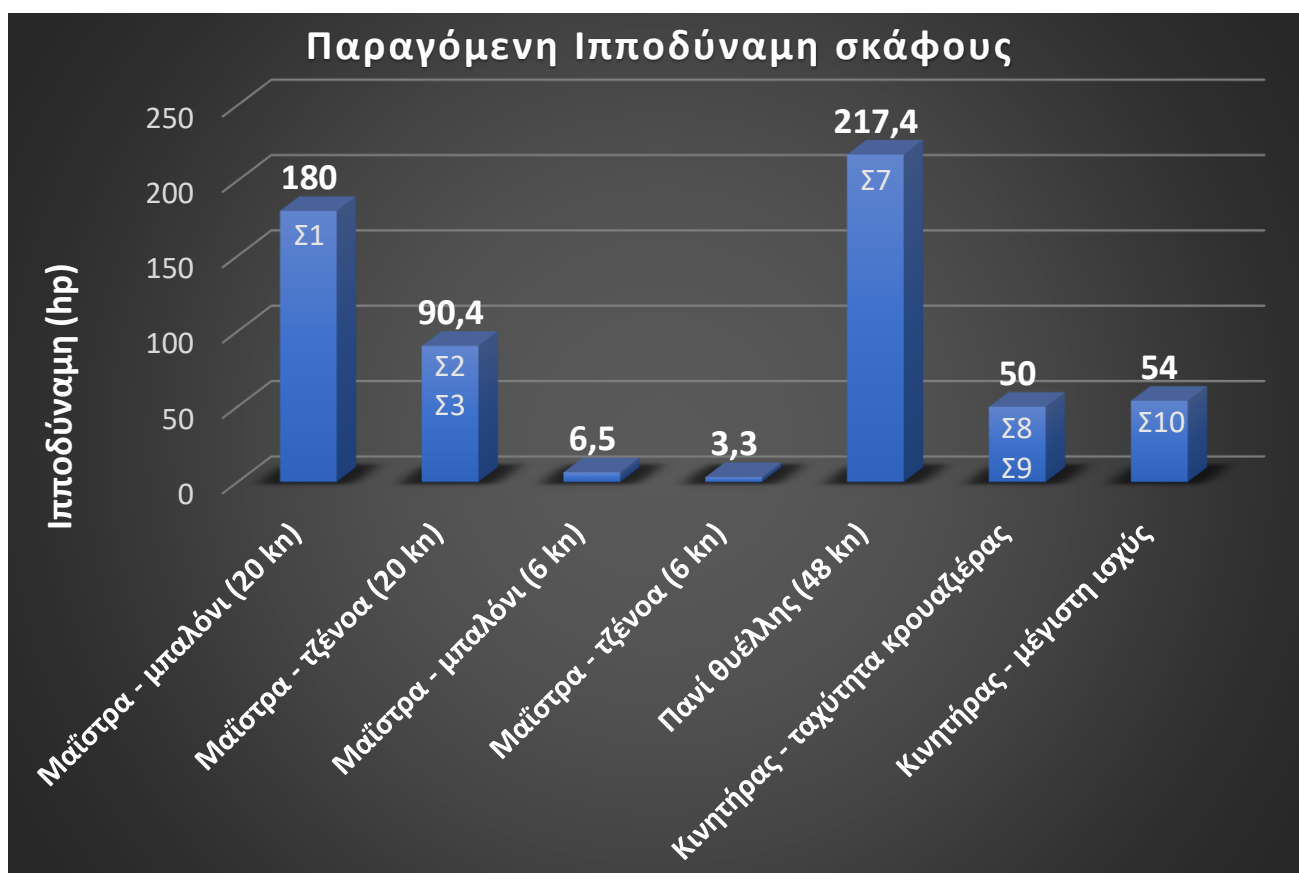


Διάγραμμα 4.3: Συνολικές καταναλώσεις καυσίμου για τα Σενάρια πλεύσης

Στο Διάγραμμα 4.3 παρουσιάζονται οι συνολικές καταναλώσεις καυσίμου για την προτεινόμενη διαδρομή, ως εξής: Τα Σενάρια στα οποία έχει γίνει μόνο χρήση ιστίων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, έχουν ληφθεί υπόψη στην πρώτη περίπτωση όπου αναγράφεται ως «Αποκλειστική χρήση ιστίων». Στα Σενάρια δηλαδή 1 έως 7

όπως και στο Ρεαλιστικό Σενάριο, η κατανάλωση καυσίμου είναι μηδενική. Στην περίπτωση που η πλεύση του σκάφους πραγματοποιείται με τη χρήση του κινητήρα σε ταχύτητα κρουαζιέρας, η συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι 275,3 L για ελαφρύ κυματισμό, ενώ για έντονο κυματισμό είναι 321,4 L (καθώς έχω μεγαλύτερη διάρκεια διαδρομής, λόγω του κυματισμού). Αναφερόμαστε δηλαδή στα Σενάρια 8 και 9. Τέλος, για το Σενάριο 10, όπου η πλεύση πραγματοποιείται με τη χρήση κινητήρα στη μέγιστη ιπποδύναμή του, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ταχύτητα του σκάφους, η συνολική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται στα 406,4 L. Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση καυσίμου ανάλογα με τον τρόπο πλεύσης ποικίλει, ενώ η κατανάλωση όταν κάνουμε χρήση μηχανής, συγκριτικά με την κατανάλωση όταν έχουμε αποκλειστική χρήση των ιστίων του σκάφους, διαφέρει αισθητά.

Όπως έχει προαναφερθεί, για τα όλα τα Σενάρια, δεν έχει ληφθεί υπόψη η κατανάλωση καυσίμου από τη χρήση κινητήρα, που απαιτείται εντός των λιμένων ή των όρμων αγκυροβόλησης, για τυχόν ελιγμούς. Η κατανάλωση αυτή αντιστοιχεί σε 1 L/h, δηλαδή για τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού εκτιμάται στα 4 L.



Διάγραμμα 4.4: Ιπποδύναμη του σκάφους για τα Σενάρια πλεύσης

Το Διάγραμμα 4.4 αποτυπώνει την υποδύναμη που έχει το σκάφος, είτε από τον άνεμο, μέσω των ιστίων, είτε από τη χρήση του κινητήρα. Όσον αφορά την υποδύναμη που έχει το σκάφος όταν κάνει αποκλειστική χρήση μηχανής στις 2600 στροφές κινητήρα, δηλαδή όταν μιλάμε για την ταχύτητα κρουαζιέρας, αυτή είναι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, 50 hp (Σενάρια 8 και 9). Όταν το σκάφος κάνει χρήση μηχανής στη μέγιστη ισχύ της, δηλαδή σε λειτουργία 3000 στροφών κινητήρα, η ισχύς που προσδίδει η μηχανή στο σκάφος είναι 54 hp (Σενάριο 10).

Για τον υπολογισμό της υποδύναμης του σκάφους, μέσω της χρήσης ιστίων, χρησιμοποιήθηκε ο Πίνακας 2.3, όπως έχει παρουσιαστεί ανωτέρω, στην Ενότητα 2.3. Στην περίπτωση της χρήσης ιστίων σε συνθήκες θύελλας (Σενάριο 7), παρατηρούμε ότι ο άνεμος, μέσω των μόλις 16,71 m² του πανιού θυέλλης, προσδίδει στο σκάφος υποδύναμη 217,4 hp. Στην περίπτωση που η ένταση του ανέμου είναι 20 kn και έχουμε ανοιχτή γωνία πλεύσης, δηλαδή 135° (Σενάριο 1), χρησιμοποιείται πλήρης ιστιοφορία με χρήση του μπαλονιού, δηλαδή έχουμε συνολική επιφάνεια ιστίων 216,12 m². Η υποδύναμη που προσδίδεται στο σκάφος για αυτή την περίπτωση είναι 180 hp. Για την ίδια ένταση ανέμου και για γωνία πλεύσης 90° ή 52° (Σενάρια 2 και 3 αντίστοιχα), όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μπαλόκι, αλλά αντ' αυτού χρησιμοποιείται η τζένοα, η συνολική ιστιοφορία των κύριων πανιών του σκάφους είναι 108,6 m² με αντίστοιχη παραγόμενη υποδύναμη 90,4 hp. Τέλος, για τις περιπτώσεις που η ένταση του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (6 kn), όπου δηλαδή πρακτικά δε φυσάει αισθητός άνεμος, η υποδύναμη που προσδίδεται στο σκάφος διατηρώντας την ίδια ιστιοφορία με προηγουμένως (216,12 m²), για γωνίες πλεύσης 135° και 90° (Σενάρια 4 και 5 αντίστοιχα) είναι 6,5 hp, ενώ για γωνία πλεύσης 52° (Σενάριο 6), όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μπαλόκι και η ιστιοφορία μειώνεται στα 108,6 m², η υποδύναμη είναι μόλις 3,3 hp. Το Ρεαλιστικό Σενάριο δεν έχει αποτυπωθεί ανωτέρω, αλλά αντιπροσωπεύεται από τις δύο πρώτες περιπτώσεις του Διαγράμματος 4.4, οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ανέμου 20 kn. Η υποδύναμη για το Ρεαλιστικό Σενάριο είναι 90,4 hp ή 180 hp, ανάλογα με τη γωνία πλεύσης του σκάφους. Παρατηρούμε ότι η υποδύναμη που προσδίδεται από τον άνεμο στα ιστία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την υποδύναμη που προσδίδει ο κινητήρας στο σκάφος, εκτός των περιπτώσεων που η ένταση του ανέμου είναι

αρκετά χαμηλή (6 kn), κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, καθώς μιλάμε για μία συνθήκη όπου πρακτικά δεν έχουμε αισθητό άνεμο.



Διάγραμμα 4.5: Καταναλισκόμενη ενέργεια για το σύνολο της διαδρομής για τα Σενάρια πλεύσης

Στο Διάγραμμα 4.5 αποτυπώνεται η ενέργεια που καταναλώνεται για το σύνολο της διαδρομής, για τα Σενάρια πλεύσης. Η ενέργεια αυτή έχει προκύψει από το γινόμενο της παραγόμενης ισχύος σε kW, επί το χρόνο της συνολικής, για κάθε Σενάριο, διαδρομής. Παρατηρούμε ότι, η υποδύναμη του σκάφους δε συμβαδίζει με την καταναλισκόμενη ενέργεια για όλα τα Σενάρια, καθώς υπεισέρχεται και ο παράγοντας της διάρκειας διαδρομής. Το Σενάριο 7, στο οποίο η παραγόμενη ισχύς είχε την υψηλότερη τιμή, έχει και την υψηλότερη ενέργεια, ήτοι 3668 kWh. Ακολουθούν οι τιμές για τα Σενάρια με χρήση ιστίων στα 20 kn ανέμου, δηλαδή τα Σενάρια 1, 2 και 3. Στη συνέχεια βρίσκονται τα Σενάρια που έχουμε χρήση κινητήρα (Σενάρια 8, 9 και 10) με τιμές από 1368 έως 1687 kWh. Τα Σενάρια που αφορούν τη

χρήση ιστίων στον ασθενή άνεμο των 6 kn (Σενάρια 4, 5 και 6) βρίσκονται στις τελευταίες θέσεις, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της πολύ μικρής υποδύναμης.

Στο Διάγραμμα 4.5 δεν έχει αποτυπωθεί το Ρεαλιστικό Σενάριο, λόγω της μεταβολής των τιμών του από προορισμό σε προορισμό. Παρ' όλα αυτά, όπως ήδη αναφέρθηκε, η υποδύναμη για το Ρεαλιστικό Σενάριο αντιπροσωπεύεται από τις υποδυνάμεις των Σεναρίων 1, 2 και 3, όπου η ένταση του ανέμου είναι 20 kn. Όσον αφορά την καταναλισκόμενη ενέργεια, μπορούμε να θεωρήσουμε, ομοίως με προηγουμένως, ότι το Ρεαλιστικό Σενάριο βρίσκεται πιο κοντά στο Σενάριο 2, καθώς οι χρόνοι διαδρομής είναι παραπλήσιοι και το μεγαλύτερο μέρος του ταξιδιού πραγματοποιείται με τη χρήση των ιστίων μαϊστρας- τζένοας, όπως στο Σενάριο 2.

5. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση των μετεωρολογικών μεταβλητών στην ενεργειακή κατανάλωση ιστιοφόρων σκαφών αναψυχής. Στις μέρες μας, ο τομέας της ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τις πολιτικές αποφάσεις των κρατών, σε παγκόσμιο επίπεδο. Το γεγονός αυτό καθιστά την εξοικονόμηση ενέργειας, τη διαχείριση των φυσικών πόρων και την εξοικονόμηση κεφαλαίου, θέματα μείζονος σημασίας σε εθνικό επίπεδο. Στην Ελλάδα υπάρχουν συνολικά 170.600 σκάφη αναψυχής, ενώ περίπου τα 5.800 από αυτά είναι ιστιοφόρα σκάφη. Αν θεωρήσουμε ότι τους καλοκαιρινούς μήνες κυκλοφορεί περίπου το 40% με 50% αυτών στις ελληνικές θάλασσες, αναφερόμαστε σε περίπου 2.500 ιστιοφόρα σκάφη, σε ημερήσια βάση. Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη, εκμεταλλευόμενα τη δύναμη του ανέμου και μέσω της κατάλληλης χρήσης της ιστιοφορίας τους, συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, χωρίς να αλλοιώνουν την ποιότητα του ταξιδιού, αλλά αντιθέτως, βελτιώνοντάς τη και μειώνοντας σε αρκετές περιπτώσεις τους χρόνους διαδρομής.

Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στην επίδραση των μετεωρολογικών μεταβλητών στην πλεύση του σκάφους, κάνοντας κύριο λόγο για τον άνεμο, ο οποίος αποτελεί την κινητήριο δύναμη των ιστιοφόρων σκαφών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των βασικών σημείων της εργασίας.

Όσον αφορά την αεροδυναμική των ιστιοφόρων σκαφών, συμπερασματικά διατυπώνονται τα εξής:

- Η αεροδυναμική των σύγχρονων ιστίων βασίζεται στο νόμο Bernoulli, με αποτέλεσμα να δημιουργείται υποπίεση στην υπήνεμη μεριά του ιστίου και πίεση στην προσήνεμη μεριά του. Η δύναμη που αναπτύσσεται λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται, είναι η κύρια αιτία που τα ιστιοπλοϊκά σκάφη ταξιδεύουν σε μικρές γωνίες ως προς τον άνεμο, όπου σε αυτήν την περίπτωση ο άνεμος έλκει το σκάφος αντί μόνο να το σπρώχνει. Είναι αξιοσημείωτο ότι στην ολική παραγόμενη αεροδυναμική δύναμη, η υποπίεση συνεισφέρει κατά 60% και η πίεση μόνο κατά 40%.

- Ο άνεμος που «αντιλαμβάνεται» ένα κινούμενο μέσο λέγεται φαινόμενος άνεμος και προκύπτει από τη διανυσματική αφαίρεση της ταχύτητας του μέσου από την πραγματική ταχύτητα του ανέμου. Συνεπώς, ο φαινόμενος άνεμος διαφέρει από τον πραγματικό σε ένταση και διεύθυνση. Η ταχύτητα του ανέμου, την οποία αισθάνονται τα πανιά, είναι η φαινόμενη ταχύτητα του ανέμου. Συνεπώς, ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος ταξιδεύει με τον φαινόμενο άνεμο και όχι με τον πραγματικό.

- Ένα ιστιοπλοϊκό δεν μπορεί να ταξιδέψει κόντρα στον άνεμο, καθώς δεν αναπτύσσονται δυνάμεις πίεσης και υποπίεσης. Η κοντινότερη προς τον άνεμο πλευρή λέγεται όρτσα και συνήθως είναι στις 40° από τον άνεμο.

- Γρηγορότερη πλευρή θεωρείται η πλαγιοδρομία, όταν δηλαδή ο πραγματικός άνεμος είναι κάθετος προς την πορεία του σκάφους. Στα όρτσα είναι μεγαλύτερη η αίσθηση της ταχύτητας λόγω του φαινόμενου ανέμου, αλλά αυξάνεται και ο εκπεσμός του σκάφους.

- Όταν το σκάφος ταξιδεύει στην κατεύθυνση του ανέμου (κατάπρυμα), θα περιμέναμε ότι η ταχύτητα θα είναι η μεγαλύτερη, αλλά τελικά είναι συνήθως η μικρότερη, καθώς τα ιστία δεν είναι σχεδιασμένα για να τα σπρώχνει ο άνεμος, αλλά για να χρησιμοποιούν κανόνες αεροδυναμικής. Στα κατάπρυμα ο άνεμος μόνο σπρώχνει το πανί, με αποτέλεσμα να χάνεται η δύναμη της υποπίεσης. Στις ανοιχτές πλευρές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον ιστίο μεγάλης καμπυλότητας, που ονομάζεται μπαλόνη, ώστε να αναπτύσσονται δυνάμεις υποπίεσης.

- Τα ιστιοφόρα σκάφη είναι κατασκευασμένα ώστε να έχουν τη δυνατότητα να ταξιδέψουν σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Όσο αυξάνεται η ένταση του ανέμου, μειώνεται η ιστιοφορία των πανιών, ώστε να μπορεί το σκάφος να ταξιδέψει ακόμα και σε συνθήκες θύελλας.

Ακολουθώς, όσον αφορά το πεδίο της ναυτικής μετεωρολογίας και της ιπποδύναμης του ανέμου, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Η ισχύς που προσδίδει ο άνεμος στο ιστιοφόρο σκάφος αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και η επιφάνεια των ιστίων. Η ισχύς συναρτηθεί της ταχύτητας του ανέμου, αυξάνεται εκθετικά, λόγω του ότι η ταχύτητα του ανέμου λαμβάνεται υψωμένη στον κύβο, στον τύπο υπολογισμού της ισχύος.

- Η υποδύναμη που παράγεται από τα ιστία, μέσω του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη από την ισχύ του κινητήρα ενός μέσου ιστιοπλοϊκού σκάφους. Για εντάσεις ανέμου από 7 - 8 m/s και άνω, η υποδύναμη που προσδίδεται από τον άνεμο είναι πάντα μεγαλύτερη από την υποδύναμη του κινητήρα. Σύμφωνα με τον πίνακα υπολογισμού ισχύος που κατασκευάστηκε (Κεφ. 2.3), για ταχύτητα ανέμου 30 m/s, η ισχύς φτάνει τους 112 hp για επιφάνεια ιστίων μόλις 5 m², ενώ για ιστιοφορία 160 m², η ισχύς μπορεί να φτάσει τους 3.500 hp. Στην πραγματικότητα βέβαια δεν χρησιμοποιείται τόσο μεγάλη επιφάνεια ιστίων σε τόσο μεγάλες εντάσεις ανέμου. Μιλώντας με πραγματικά δεδομένα, η ισχύς του ανέμου θα μπορούσε να αγγίξει τους 787 hp περίπου, για επιφάνεια ιστίων 35 m², σε ταχύτητα ανέμου 30 m/s.

- Για να υπολογιστεί σε ένα ιστιοφόρο σκάφος η συνολική απαιτούμενη επιφάνεια ιστίων, κατά τη φάση κατασκευής του, επιλέγεται η κατάλληλη τιμή για τον δείκτη αποδοτικότητας SA/D, όπου SA είναι η επιφάνεια των ιστίων σε ft² και D το εκτόπισμα του σκάφους σε ft³, υψωμένο εις την 2/3. Για τα σκάφη αναψυχής, με λόγο SA/D μεταξύ των τιμών 16 και 19, προκύπτει η απαιτούμενη επιφάνεια των κύριων πανιών του σκάφους. Αναλόγως του λόγου SA/D, προσδιορίζεται και το επίπεδο αποδοτικότητας των ιστίων του σκάφους.

Όσον αφορά τις ενεργειακές καταναλώσεις των ιστιοφόρων σκαφών, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η επιλογή της ισχύος του κινητήρα στα ιστιοφόρα σκάφη γίνεται μέσω τύπων που λαμβάνουν υπόψη το βάρος του σκάφους και την μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του σκάφους.

- Από τη σύγκριση των καταναλώσεων ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους, ενός ταχύπλου σκάφους και ενός φορτηγού οχήματος, προέκυψε ότι το φορτηγό όχημα καταναλώνει πετρέλαιο 21,2 L, το ταχύπλοο σκάφος 232 L και το ιστιοπλοϊκό σκάφος 50 L, για την κοινή απόσταση των 50 nmi (ή 93 km στην ξηρά αντίστοιχα). Οι διαφορές στις καταναλώσεις σε σχέση με την ξηρά είναι τεράστιες και μικρές μεταβολές στη χρήση του κινητήρα, μπορεί να σημαίνουν μεγάλες μεταβολές στην κατανάλωση. Η μεγάλη αυτή διαφορά μεταξύ ξηράς και θάλασσας οφείλεται στο ότι η μηχανή ενός σκάφους βρίσκεται συνεχώς υπό φορτίο και χρησιμοποιεί όλη την υποδύναμη που

αντιστοιχεί στις εκάστοτε στροφές της, πράγμα που δεν συμβαίνει με τα χερσαία οχήματα. Φυσικά, χρειάζεται να βάλουμε υπόψη και τις διαφορές στην ταχύτητα των μέσων για τις προαναφερθείσες περιπτώσεις.

- Από την ανάλυση των δεδομένων των πραγματικών διαδρομών (Πίνακας 3.2), προέκυψε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου όταν η πλεύση πραγματοποιείται με τα ιστία σε σχέση με τη χρήση της μηχανής. Ωστόσο, η χρήση της μηχανής είναι απαραίτητη για ελιγμούς εντός των λιμένων και σε συνθήκες άπνοιας. Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που πραγματοποιείται τόσο μεγαλύτερη είναι και η εξοικονόμηση καυσίμου. Στην τελευταία διαδρομή (Λε Σαμπλ ντ' Ολόν - Άλιμος) απόστασης 2468 nmi, το καύσιμο που καταναλώθηκε συνολικά ήταν 1500 L, ενώ αν γινόταν αποκλειστική χρήση της μηχανής, η κατανάλωση καυσίμου θα ήταν 4319 L, δηλαδή σχεδόν τριπλάσια κατανάλωση. Μιλώντας με οικονομικά μεγέθη, λαμβάνοντας τη σημερινή τιμή πετρελαίου στα 1,8 €/L, στην πραγματικότητα το κόστος του καυσίμου ήταν 2.700 €, ενώ με αποκλειστική χρήση της μηχανής, θα ήταν 7.774 €, δηλαδή η οικονομική διαφορά για την εν λόγω διαδρομή θα ήταν 5.074 €.

Τέλος, σχετικά με τη μελέτη περίπτωσης στην παρούσα εργασία, από τη σύγκριση των 11 σεναρίων πλεύσης οδηγούμαστε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η ταχύτητα του ιστιοφόρου σκάφους είναι σημαντικά μεγαλύτερη με τη χρήση ιστίων από ότι με τη χρήση μηχανής, όταν έχουμε αέρα, για όλες τις γωνίες πλεύσης. Ακόμα και στην περίπτωση που η ένταση του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (6 kn), η ταχύτητα του σκάφους με τη χρήση ιστίων δεν διαφέρει πολύ από τη ταχύτητα που επιτυγχάνει το σκάφος με τη χρήση μηχανής, εκτός της περίπτωση που μηχανή λειτουργεί στη μέγιστη υποδύναμή της.

- Η συνολική διάρκεια διαδρομής είναι αισθητά μικρότερη με τη χρήση ιστίων, για άνεμο 20 kn, από ότι με χρήση κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί στην ταχύτητα κρουαζιέρας. Η διάρκεια διαδρομής όταν ο κινητήρας λειτουργεί στη μέγιστη υποδύναμή του, είναι σχεδόν ίδια με το Σενάριο 3 που η ένταση του ανέμου είναι 20 kn και η διεύθυνσή του ανοιχτά όρτσα. Για τις περιπτώσεις χαμηλής έντασης ανέμου, η χρήση μηχανής υπερτερεί σε σχέση με τη χρήση ιστίων, με μικρές όμως, ως προς τους χρόνους, διαφορές.

- Όσον αφορά τις καταναλώσεις καυσίμου, στις περιπτώσεις που η πλεύση γίνεται με τη χρήση ιστίων η κατανάλωση είναι μηδενική, πέραν των ελιγμών που πραγματοποιούνται εντός των λιμένων. Στις περιπτώσεις όπου η πλεύση πραγματοποιείται με χρήση μηχανής οι καταναλώσεις προέκυψαν:

- 275,3 L για ελαφρύ κυματισμό και πλεύση σε ταχύτητα κρουαζιέρας
- 321,4 L για έντονο κυματισμό και πλεύση σε ταχύτητα κρουαζιέρας
- 406,4 L για ελαφρύ κυματισμό και πλεύση στη μέγιστη ιπποδύναμη του κινητήρα

Δεδομένου ότι η τιμή του πετρελαίου κίνησης σήμερα είναι 1,8 €/L, το κόστος των παραπάνω καταναλώσεων προκύπτει 495,54 €, 578,52 € και 731,5 € αντίστοιχα, ενώ στην περίπτωση χρήσης ιστίων το αντίστοιχο κόστος είναι μηδενικό.

- Λαμβάνοντας υπόψη ότι τους καλοκαιρινούς μήνες κυκλοφορούν καθημερινά περίπου 2.500 ιστιοπλοϊκά σκάφη στις ελληνικές θάλασσες, με μέση κατανάλωση καυσίμου 7 L/h και μέση ημερήσια διάρκεια πλεύσης 3 h, προκύπτει ότι η συνολική ημερήσια κατανάλωση καυσίμου είναι 52.500 L και το αντίστοιχο κόστος 94.500 €. Θεωρώντας ότι τα ιστιοφόρα σκάφη αναψυχής κυκλοφορούν στις ελληνικές θάλασσες τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο και λαμβάνοντας ένα μέσο όρο για την περίοδο αυτή, μπορούμε να θεωρήσουμε ως χρόνο ετήσιας κυκλοφορίας τις 90 ημέρες. Ανάγοντας λοιπόν τα μεγέθη αυτά σε ετήσια βάση προκύπτει συνολική κατανάλωση καυσίμου 4.725.000 L και αντίστοιχο κόστος 8.505.000 €.

- Συνοψίζοντας, η χρήση ιστίων υπερτερεί σημαντικά της χρήσης μηχανής, ως προς την ταχύτητα, την κατανάλωση καυσίμου, τη διάρκεια διαδρομής και την ιπποδύναμη του σκάφους, στις περιπτώσεις που έχουμε άνεμο. Ακόμα και όταν η ένταση του ανέμου είναι μηδαμινή, οι διαφορές στα ανωτέρω είναι πρακτικά ελάχιστες. Επίσης, η ποιότητα του ταξιδιού με τη χρήση ιστίων διαφέρει σημαντικά, καθώς απουσιάζει ο ήχος της μηχανής, που πολλές φορές μπορεί να είναι ενοχλητικός.

Η κίνηση με τα πανιά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι του κινητήρα και αυτό είναι η ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που είναι ο άνεμος. Η τέχνη της ιστιοπλοΐας, εκτός από μέσο αναψυχής, χόμπι και άθλημα, μπορεί να συμβάλλει εμμέσως και στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο.

Βιβλιογραφία

- Bavariayachts*. (2021). Ανάκτηση από www.bavariayachts.com:
<https://www.bavariayachts.com/sailing-yachts/c38/equipment/>
- Beneteau*. (2013, July 15). Ανάκτηση από www.beneteau.com:
https://pro.beneteau.fr/documents/bateau/6405/B_first45_160608.pdf
- Beneteau*. (2020). Ανάκτηση από Cosmos:The world of yachting:
<https://beneteaugreece.com/oceanis-38-1/>
- Boat test*. (2016, March). Ανάκτηση από <https://boatstest.com/>:
<https://boatstest.com/node/73580>
- Boonzaier, J. (2020, July 3). *Trade Winds*. Ανάκτηση από The Global Shipping News Source: <https://www.tradewindsnews.com/news/tradewind-voyages-casts-off-as-uk-s-newest-cruise-operator/2-1-835733>
- Callahan, S. (2020, July 29). *Cruisingworld*. Ανάκτηση από Hydrofoils for Sailboats:
<https://www.cruisingworld.com/story/how-to/hydrofoils-for-sailboats/>
- Cape Horn Engineering*. (2022, March). Ανάκτηση από www.cape-horn-eng.com:
<https://www.cape-horn-eng.com/hugo-boss-alex-thomson-racing/>
- Clancy, L. J. (1975). *Aerodynamics*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Corfufishing*. (2021, December). Ανάκτηση από <http://corfufishing.blogspot.com/>:
<http://corfufishing.blogspot.com/2012/06/blog-post.html>
- Doane, C. (2011, March 17). *Wavetrain: CRUNCHING NUMBERS: Sail-Area/Displacement Ratio*. Ανάκτηση από wavetrain.net:
<https://wavetrain.net/2011/03/17/crunching-numbers-sail-areadisplacement-ratio/>
- Fraser*. (2022, February 12). Ανάκτηση από www.fraseryachts.com:
<https://www.fraseryachts.com/en/superyachts-for-sale/schooner/>
- Garrett, R. (1996). *The symmetry of sailing: The physics of sailing for yachtsmen*. Adlard Coles Nautical.
- Hannon, G. (2021, November 3). *Life of sailing: What Is Sail Area Displacement Ratio?* Ανάκτηση από www.lifeofsailing.com:
<https://www.lifeofsailing.com/post/what-is-sail-area-displacement-ratio>

- Hodges, T. (2021, October 27). *Yachting World*. Ανάκτηση από [www.yachtingworld.com: https://www.yachtingworld.com/multihull/best-bluewater-multihulls-balance-526-and-482-134641](https://www.yachtingworld.com/multihull/best-bluewater-multihulls-balance-526-and-482-134641)
- Huler, S. (2004). *Defining the Wind*. England: Crown.
- Jeanneau. (2020). Ανάκτηση από [www.jeanneau.com: https://www.jeanneau.com/en/boats/sailboat/2-sun-odyssey/109-sun-odyssey-440/#gallery-exterior_4](https://www.jeanneau.com/en/boats/sailboat/2-sun-odyssey/109-sun-odyssey-440/#gallery-exterior_4)
- Marchaj, C. A. (2000). *Aero-hydrodynamics of sailing*. Adlard Coles Nautical.
- MI News. (2020, July 3). *Marine in sight*. Ανάκτηση από [marineinsight.com: https://www.marineinsight.com/videos/watch-worlds-largest-sailing-ship-her-majesty-flying-clipper/](https://www.marineinsight.com/videos/watch-worlds-largest-sailing-ship-her-majesty-flying-clipper/)
- Neels Trimaran. (2022, April). Ανάκτηση από [www.neel-trimarans.com: https://www.neel-trimarans.com/range/neel-43/](https://www.neel-trimarans.com/range/neel-43/)
- North Sails. (2022, March 7). *North Sails*. Ανάκτηση από [www.northsails.com: https://www.northsails.com/sailing/en/sails/materials](https://www.northsails.com/sailing/en/sails/materials)
- Offshore Racing Congress. (2022, March 16). Ανάκτηση από [www.orc.org: https://data.orc.org/public/WPub.dll/CC/160300](https://data.orc.org/public/WPub.dll/CC/160300)
- Schlichting, M. (2022, March). *Bavaria Yachts*. Ανάκτηση από [www.bavariayachts.com: https://www.bavariayachts.com/sailing-yachts/](https://www.bavariayachts.com/sailing-yachts/)
- Stafford, A. (2020). *Lateen Sail Definition and History*. Ανάκτηση από [Boatinggeeks: https://boatinggeeks.com/lateen-sail/](https://boatinggeeks.com/lateen-sail/)
- Torterat, C. (2021, June 9). *Sail Boats News*. Ανάκτηση από [Boatsnews.com: https://www.boatsnews.com/story/31487/learn-to-recognize-a-sailboat-by-its-rigging](https://www.boatsnews.com/story/31487/learn-to-recognize-a-sailboat-by-its-rigging)
- Yacht Charter Fleet*. (2022). Ανάκτηση από [www.yachtcharterfleet.com: https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-46807/classic-ketch.htm](https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-46807/classic-ketch.htm)
- Yachtingworld*. (2020, March 19). Ανάκτηση από [Road to the America's Cup podcast: https://www.yachtingworld.com/americas-cup/road-to-the-americas-cup-podcast-analytics-125372](https://www.yachtingworld.com/americas-cup/road-to-the-americas-cup-podcast-analytics-125372)

- Yanmar. (2007, May). Ανάκτηση από www.yanmar.com:
https://minardsdiesel.com/media/superseded/jh4_series/brochure/4jh4ae.pdf
- Αγγέλου, Ε. (2008). *ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΡΙΝΑΣ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΚΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Αλιβιζάτος, Ι. (2016). *ΟΜΙΛΟΣ ΙΣΤΙΟΠΛΟΪΑΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΛΕΣΒΟΥ*. Ανάκτηση από www.oscl.gr: <https://www.oscl.gr/attachs/255.pdf>
- Αποστολίδης, Μ. (2013). *Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ιστιοφόρα σκάφη*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αρτέμης, Α. (2012, March 3). *Οι εξωλέμβιες μηχανές και η κατανάλωση*. Ανάκτηση από <http://www.ortsa.gr/>: <http://www.ortsa.gr/oi-εξωλέμβιες-μηχανές-και-η-κατανάλωσ/>
- Βαγγέλας, Γ., & Πάλλης, Θ. (2021). *Διαμόρφωση στρατηγικής ανάπτυξης τουριστικών λιμένων*. Διανέοσις.
- Βελέντζα, Ε. (2011). *Υπολογισμός της Δυναμικής Ροής γύρω από Ιστιοπλοϊκό Σκάφος*. Αθήνα: Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Ναυτικής και Θαλάσσιας Υδροδυναμικής Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γερογιαννάκη, Α. (2009). *Πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς ταχύπλοου σκάφους σε ήρεμο νερό και σε κυματισμούς*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γρηγορόπουλος, Γ. (1999). *ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΙΣΤΙΟΠΛΟΙΚΩΝ ΣΚΑΦΩΝ- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Γρηγορόπουλος, Γ., & Περισσάκης, Σ. (2015, Ιανουάριος 13). *Πλατφόρμα Ασύγχρονης Τηλεκπαίδευσης ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ*. Ανάκτηση από Ειδικές Ναυπηγικές Κατασκευές και Ιστιοφόρα Σκάφη:
<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/index.php?course=NAFP144&openDir=/54b55310QwCN>
- ΕΜΥ. (2022). *Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία*. Ανάκτηση από Κλίμακα Douglas για το κύμα: http://www.emy.gr/emyl/navigation/naftilia_douglas

- Ευστρατιάδης, Α., & Μαμάσης, Ν. (2021). *Helios Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.
Ανάκτηση από helios.ntua.gr:
https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/108619/mod_resource/content/3/ET2021_WindEnergy.pdf
- Καλαθάκης, Μ. (2013). *Ιστιοπλοΐα και Ναυτοσύνη*. Πειραιάς: Καλαθάκης
Εμμανουήλ.
- Καλαθάκης, Μ., Μάνθος, Κ., & Καραπέτης, Γ. (2016). *Η ιστιοπλοΐα χωρίς μυστικά*.
Αθήνα: Έμπνευση.
- Καρύμπαλης, Ε. (2020, March 22). *Πλατφόρμα τηλεκπαίδευσης Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο*. Ανάκτηση από Παράκτια Γεωμορφολογία:
<https://eclass.hua.gr/modules/document/file.php/GEO143/My%20Book/%28029-047%29%20kef.02.pdf>
- Μαμάσης, Ν., & Ευστρατιάδης, Α. (2021). *Helios Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.
Ανάκτηση από helios.ntua.gr:
https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/121345/mod_resource/content/1/ET2021_Fossil.pdf
- Μαμάσης, Ν., & Κουτσογιάννης, Δ. (2009). *itia.ntua.gr*. Ανάκτηση από Σημειώσεις
Υδρομετεωρολογίας - Μέρος 2:
<https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/117/9/documents/2009HydrometCirculationSM.pdf>
- Ματιάτος, Μ. (2021). *Ortsa*. Ανάκτηση από <http://www.ortsa.gr/>:
<http://www.ortsa.gr/ισχύς-αντίσταση-τριβής-στο-σκάφος/>
- Μπαρτσώτας, Χ. (2013). *ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΑΧΥΠΛΟΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ
ΣΕ ΤΥΧΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ναυτικός Όμιλος Σκύρου. (2013, Οκτώβριος 1). Ανάκτηση από Skyrosnc:
<https://www.skyrosnc.gr/index.php/ιστιοπλοΐα/ιστιοπλοϊκα-θεματα/item/26-τυποι-ιστιοφορων-σκαφων.html>
- Παναγιώτου, Ο. (2020, September 21). *Hellas Journal*. Ανάκτηση από Η τριήρης
“Ολυμπιάς” του ΠΝ. ΑΠΕ-ΜΠΕ: <https://hellasjournal.com/2020/09/naftosini-eonon-pos-i-archei-ellines-sinetripsan-tous-perses-sti-salamina-axiopiontas-mia-lavida-anemou/>

- Πατρώνης, Σ. (2019). *Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς καταρτιού ιστιοφόρου σκάφους*. Σύρος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Πέννας, Π. (2005). *Σημειώσεις μαθήματος Γενικής Κλιματολογίας*. Ανάκτηση από Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/1000/>
- Περιβάλλον με Οικολογία*. (2022). Ανάκτηση από perivallongr.blogspot.com:
https://perivallongr.blogspot.com/2015/07/blog-post_24.html
- Πιτσικάλης, Χ. (2017). *Σύστημα συστάσεων για τη συντομότερη πλεύση ιστιοφόρων*. Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- Στρούζας, Π. (2003). *Ιστιοπλοΐα και Ναυτική Τέχνη*. Αθήνα: Πανελλήνιος Όμιλος Ιστιοπλοΐας Ανοικτής Θαλάσσης.
- Συφαλέρας, Φ., & Φερεκίδης, Α. (2015). *Θεωρητική και πειραματική μελέτη του αεροδυναμικού και υδροδυναμικού κέντρου ιστιοφόρου και η επίπτωση στη συμπεριφορά του*. Μηχανιώνα: ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.
- Τριανταφύλλου, Γ. (2018). *Θεωρία Θαλάσσιων Κυματισμών*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Φαφουτέλλης, Π. (2015). *Κατανάλωση καυσίμου Φορτηγών Οδικών Οχημάτων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ψαθέρης, Σ. (2021). *Ortsa*. Ανάκτηση από www.ortsa.gr:
<http://www.ortsa.gr/φουσκωτό-σκάφος-και-ιπποδύναμη/>
- Ψυχά, Α. Γ., & Μηνογιάννης, Μ. Π. (2020). *Ναυτική Μετεωρολογία Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου γ' έκδοση.