

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΛΙΚΑΣ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Πασχαλίδης Χρήστος 4954
Πρόιος Μιχάλης 4905**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Γκοτζαμάνης Γεώργιος**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2016

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΛΙΚΑΣ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : Πασχαλίδης Χρήστος 4954
Πρόιος Μιχάλης 4905**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής
Γκοτζαμάνης Γεώργιος

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι σε πρώτη φάση να παρουσιάσει και να αναλύσει κάποιες ναυπηγικές έννοιες με έμφαση την έλικα και σε δεύτερο επίπεδο να διερευνηθούν οι συνθήκες λειτουργίας της έλικας των πλοίων. Μια βιβλιογραφική έρευνα που θα απαντάει στα επόμενα ερωτήματα. Ποιοι είναι οι τύποι έλικα και ποια τα χαρακτηριστικά των πλοίων αλλά και ειδικότερα της έλικας. Σε ποιες συνθήκες λειτουργεί και αποδίδει καλύτερα καθώς επίσης ποιες συνθήκες θεωρούνται δυσμενής. Ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία αυτή. Ποια είναι τα μεγέθη μέτρησης της απόδοσης της προπέλας καθώς και την διαδικασία σχεδίασης.

Abstract

The objective of this thesis is initially to present and analyze some shipbuilding concepts emphasizing the propeller and at a second level to investigate the operating conditions of the ship propeller. A bibliographical research that will be able to answer the next questions. What types of propeller and what are the characteristics of ships and especially the propeller. In what circumstances it works and performs better and also what conditions are considered unfavorable. What are the factors that affect this function. What are the sizes of measuring efficiency of the propeller and the design process.

Κεφάλαιο 1

Ορισμοί και Ιστορική Αναδρομή

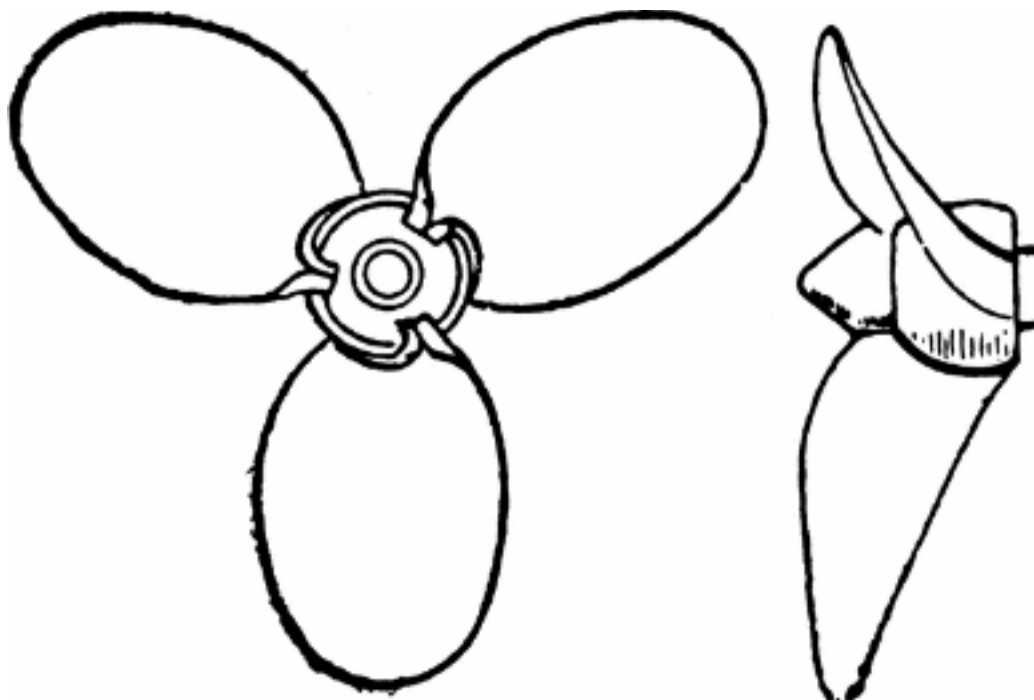
Η «προπέλα» ορίζεται ως κάτι το οποίο οδηγεί προς τα εμπρός. Ως λέξη, προέρχεται από τη λατινική γλώσσα, όπου το πρώτο συνθετικό της λέξης, δηλαδή το «pro» σημαίνει «προς τα εμπρός», και το δεύτερο συνθετικό της λέξης, δηλαδή το «rella» σημαίνει «οδηγώ». Εκτός από τη γερμανική γλώσσα, στην οποία η προπέλα λέγεται «schraube» και τη γαλλική γλώσσα όπου λέγεται «helice», σε πολλές γλώσσες η λέξη αυτή λέγεται «έλικα» (screw). Ως γνωστόν, η λέξη έλικα προήλθε από τον Λεονάρντο Ντα Βίντσι (1452-1519), ενώ αρκετά χρόνια αργότερα, πάνω από διακόσια, και πιο συγκεκριμένα το 1731, περιγράφηκε από τον Γάλλο Dupe Quiet, ένας «οδηγός στο νερό» (driver on water) με βάση την έλικα. Παράλληλα, σε άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένων της Ελβετίας, τα Γαλλίας και της Αγγλίας, τέθηκαν διάφορες ιδέες από άλλους εφευρέτες, οι οποίες όμως στην πράξη δεν είχαν κάποιο αποτέλεσμα. Αρκετά αργότερα, το 1802, πραγματοποιήθηκε η ιδέα του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε από τον αμερικάνο Stevens John, ένα πλοiάριο 7,5 μέτρων, το οποίο όταν χρησιμοποιούσε ολόκληρη της ισχύ του κατά την πλεύση του, άγγιζε μια ικανοποιητική ταχύτητα που έφτανε τα τέσσερα μίλια την ώρα. Ο δημιουργός του, Stevens, είχε κάνει αναφορά για το μηχανισμό του πλοiαρίου, ο οποίος αποτελούνταν από έναν ορειχάλκινο κύλινδρο 20 εκατοστών και μήκους 10 μέτρων που είχε τοποθετηθεί σε οριζόντια θέση στον πυθμένα του πλοiαρίου. Ένας άξονας στο κέντρο του κυλίνδρου, περιστρεφόταν κατά την εναλλασσόμενη πλεύση του ατμού πάνω σε δύο πτέρυγες που ολίσθαιναν, καθώς στη μία άκρη του άξονα, η οποία περνούσε μέσα από την πρύμνη, τοποθετήθηκαν πτερύγια. Τα πτερύγια αυτά, ήταν σαν αυτά των βραχιόνων ενός ανεμόμυλου, τα οποία είχαν ρυθμιστεί κατάλληλα σε μια ορισμένη γωνία ώστε να μην είναι εφικτή η λειτουργία τους μέσα στο νερό. Τα παραπάνω, αποτελούσαν όλο το μηχανισμό του πλοiαρίου. Όμως, ο μηχανισμός αυτός παρουσίαζε ένα λειτουργικό πρόβλημα. Το πρόβλημα ήταν ότι η ροπή κατά την οποία στρεφόταν η έλικα, είχε ως αποτέλεσμα να οδηγεί το πλοiάριο σε κυκλική τροχιά (Theriat, 2001).

Το πρόβλημα αυτό της κυκλικής τροχιάς, επιλύθηκε από τον ίδιο τον Stevens στην επόμενη κατασκευή του, με το πλοiό «Little Juliana», το οποίο και ναυπήγησε το 1804. Ο κατασκευαστής, τοποθέτησε δίδυμες έλικες που αποτελούνταν από τέσσερα πτερύγια. Η

περιστροφή μεταξύ των ελίκων, πραγματοποιούνταν με αντίθετη φορά, με αποτέλεσμα το πλοίο αυτό να φτάσει τους 6 με 7 κόμβους.

Κατά τη διάρκεια του 1816 προσαρμόστηκε στο πλοίο «Stockholm shaxan» μια προπέλα των 1,5 μέτρων, από τον Άγγλο Sannel Ower. Λίγα χρόνια αργότερα, κατά τη δεκαετία του 1830, κατασκευάστηκαν πλοία, τα οποία κινούνταν με έλικα, από τον Άγγλο εφευρέτη Francis Pettit Smith και τον Σουηδό μηχανικό John Ericsson. Μάλιστα, τα πλοία αυτά, προκάλεσαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη Βρετανία. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η έλικα των Smith και Ericsson:



Εικόνα 1.1. Έλικα των Smith και Ericsson

Πηγή: <https://prezi.com/nb-ynf2lawng/francis-pettit-smith-and-the-screw-propeller/>

Ειδικότερα, η απόδοση αυτής της έλικας, προκάλεσε μεγάλο ενδιαφέρον προς τον ναυπηγό Brinnee, από τον οποίο τότε, σχεδιάστηκε για πρώτη φορά ένα υπερωκεάνιο, με το όνομα «Μεγάλη Βρετανία». Ο ναυπηγός, άλλαξε τα σχέδια που είχε δημιουργήσει εξ' αρχής, τα οποία περιλάμβαναν τροχούς, και τους αντικατέστησε με μία έλικα, με διάμετρο 4,51 μέτρα, που αποτελούνταν από έξι πτερύγια. Το πρώτο ταξίδι του υπερωκεανίου «Μεγάλη Βρετανία» πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1843. Το υπερωκεάνιο ξεκίνησε από το Λίβερπουλ και κατέληξε στη Νέα Υόρκη, μέσω του Ατλαντικού. Το ταξίδι αυτό διήρκησε δεκατέσσερις ημέρες και είκοσι μία ώρες.

Τότε, υπήρχε μια τάση διελκυστίνδων, ανάμεσα στα τροχήλατα και τα ελικοκίνητα πλοία. Ειδικότερα, το 1845 οργανώθηκε μία διελκυστίδα, από το Βρετανικό ναυαρχείο, μεταξύ ενός τροχήλατου, που ονομαζόταν «Αληκτώ», και ενός ελικοκίνητου ταχυδρομικού, που ονομαζόταν «Rattler». Οι πρύμνες των δύο ισοδύναμων πλοίων, δέθηκαν μεταξύ τους, και ξεκίνησαν την πορεία τους όταν δόθηκε το σήμα. Το αποτέλεσμα ήταν η νίκη του Ruttler, το οποίο έσερνε από την πρύμνη το τροχήλατο, αγγίζοντας την ταχύτητα των 2,5 κόμβων. Γενικά, επιδεικνύοντας τις αποδόσεις και επιδόσεις αυτές από τα πλοία που λειτουργούσαν με έλικα, είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του τροχού. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα αντίγραφο της προπέλας του SS Great Britain:



Εικόνα 1.2. Σημερινό αντίγραφο της προπέλας του SS Great Britain

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller>

Κατά τη διάρκεια του 1862 κατελύστηκε το τελευταίο πλοίο της εταιρείας Κιούναρντ Λαϊν, αφού από τότε και στο εξής η ναυπήγηση των πλοίων γινόταν αποκλειστικά για την ακτοπλοΐα ή για τα κλειστά ύδατα. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, η προπέλα πήρε την εμφάνιση που έχει έως και τώρα, χωρίς όμως αυτό να υποδηλώνει την υποβάθμιση της ανάπτυξής της, αφού έχει παρατηρηθεί σε μεγάλο βαθμό πρόοδος για τις αποδόσεις των μεθόδων σχεδιασμού που αφορούν το υλικό της κατασκευής, των ιδιοτήτων ταλάντευσης και της σπηλαίωσης (Cavitation).

Όσον αφορά την ταλάντευση, πρόσφατα σημειώθηκε πρόοδος για την καταπολέμησή της, με τη χρήση προπέλας, η οποία περιλαμβάνει πολύ λοξά πτερύγια. Αυτό βέβαια, είχε εμφανιστεί και το 1883, κάτι το οποίο όμως δεν είχε αναπτυχθεί για να εφαρμοστεί στην πράξη, έως και τη δεκαετία του '60. Η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας μιας προπέλας με ελεγχόμενο βήμα, έγινε το έτος 1840. Όμως, έως και τη δεκαετία του 1950, το σχέδιο αυτό δε βρήκε εφαρμογή πάνω σε σκάφη τα οποία έπλεαν σε ωκεανούς με μεγάλη ισχύ μηχανής. Σήμερα, η προπέλα με τη μεγαλύτερη διάμετρο, παγκοσμίως, αγγίζει τα 11 μέτρα.

Κεφάλαιο 2

Βασικά Χαρακτηριστικά Πλοίων

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, θα πρέπει πρώτα να οριστούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά για την περιγραφή των πλοίων, για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας των υπολογισμών (www.e-nautilia.gr).

2.1. Μορφές Γάστρας

Η προπέλα αποτελεί τον κύριο μηχανισμό για την πρόωση ενός πλοίου. Η προπέλα αποκτά κίνηση μέσω ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, κυρίως Diesel. Η επιλογή που αφορά τον κινητήρα, αλλά και τον αριθμό των στροφών που πραγματοποιούνται από την προπέλα, εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από τη γάστρα του φορηγού πλοίου και ειδικότερα από το σχήμα της, καθώς και από τα χαρακτηριστικά της προπέλας που θα επιλεγθούν. Παρακάτω αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά που αποτελούν την κίνηση για ένα πλοίου, συμπεριλαμβανομένων του μεγέθους της γάστρας, της διαμόρφωσής της και της αντίστασής της, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν την προπέλα.

2.2. Χαρακτηριστικά Μεγέθη

Αρχικά θα καταγραφούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός πλοίου και θα αναφερθούν τα μεγέθη, με τα οποία καθορίζεται η υδροδυναμική αντίσταση των πλοίων. Αυτά καθορίζουν την επιλογή του κινητήρα για την πρόωση των πλοίων, καθώς και το κόστος που αφορά τη μεταφορά των φορτίων ως προς την κατανάλωση των καυσίμων.

2.3. Βασικές Διαστάσεις

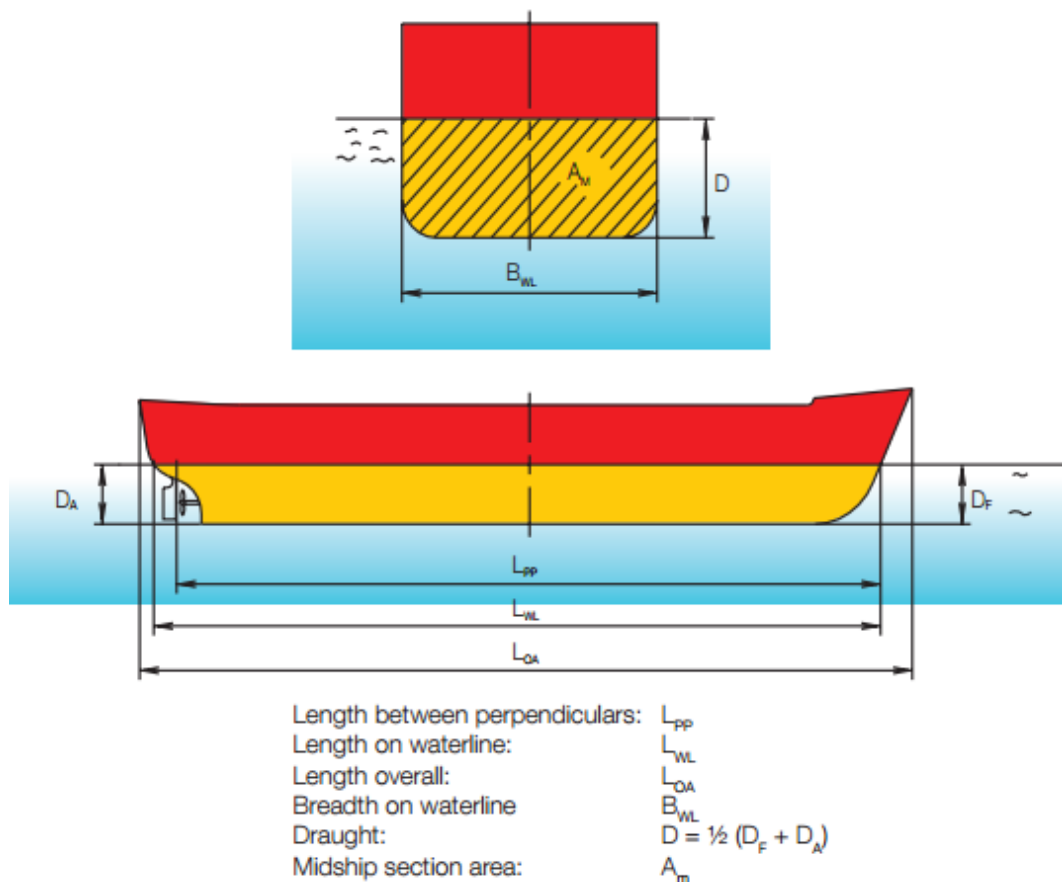
Η γάστρα (hull) αποτελεί το βασικότερο παράγοντα, ώστε να μελετηθεί η υδροδυναμική αντίσταση ενός πλοίου, καθώς και η πρόωσή του. Στην ουσία, με τον όρο αυτό, αναφέρεται το τμήμα του πλοίου, το οποίο βρίσκεται βυθισμένο μέσα στο νερό.

2.4 Μήκος Πλοίου L_{OA} , L_{WL} , L_{PP}

Όσον αφορά το μέγεθος L_{OA} , το συνολικό μήκος του πλοίου, δεν αποτελεί κάποιο βασικό στοιχείο ώστε να υπολογιστεί η υδροδυναμική αντίσταση ενός πλοίου. Τα βασικότερα μεγέθη που χρησιμοποιούνται, κυρίως, για τον υπολογισμό, είναι το L_{WL} και το L_{PP} , το μήκος της ίσαλου γραμμής και το μήκος των διδύμων καθέτων, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι δίδυμοι κάθετοι μεταφράζονται από τον όρο «tween perpendiculars». Το μήκος των διδύμων καθέτων, L_{PP} , είναι λίγο πιο μικρό από αυτό της ίσαλου γραμμής, L_{WL} , και ο υπολογισμός του προέρχεται από την εφαρμογή του παρακάτω τύπου:

$$L_{PP} = 0.97 * L_{WL}$$

Τα παραπάνω μεγέθη, μπορούν να γίνουν καλύτερα αντιληπτά από την παρακάτω εικόνα:



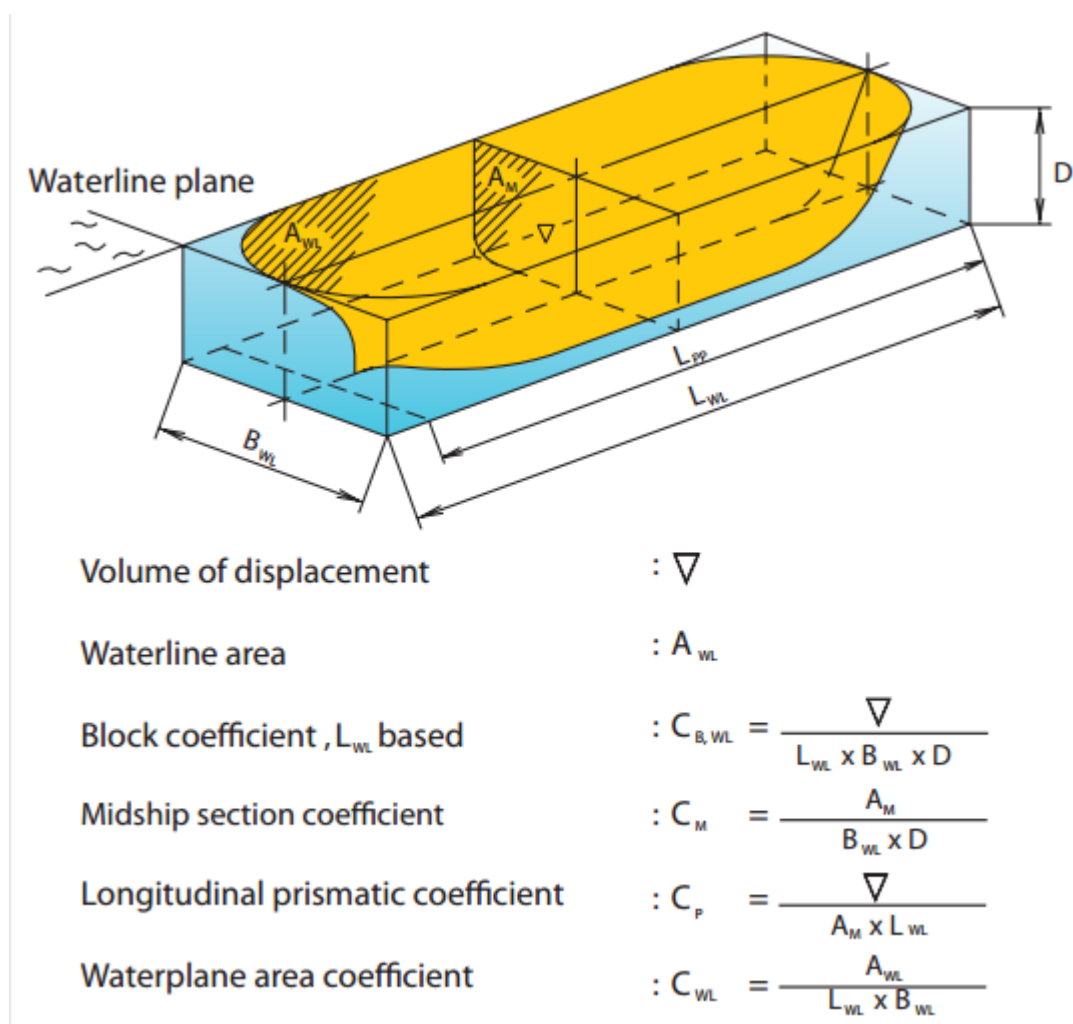
Εικόνα 2.1. Χαρακτηριστικά μεγέθη

2.5. Βύθισμα (Draught)

Το βύθισμα αναφέρεται στην κάθετη απόσταση που υπάρχει μεταξύ της ίσαλου γραμμής και του κομματιού από το κύτος που υπάρχει σε μεγαλύτερο βάθος, βυθισμένο μέσα στο νερό. Το βύθισμα από το μπροστινό τμήμα DF και από το πίσω τμήμα DA που περιλαμβάνονται στο πλοίο, είναι περίπου ίσα με το σύνολο βυθίσματος D, σε περίπτωση που υπάρχει πλήρες φορτίο.

2.6. Πλάτος ίσαλου γραμμής B_{WL}

Ακόμη ένα χαρακτηριστικό μέγεθος αποτελεί το πλάτος που αφορά το σημείο του πλοίου, το οποίο έρχεται σε επαφή με το νερό. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συγκεκριμένη διάσταση:



Εικόνα 2.2. Χαρακτηριστικά μεγέθη καρίνας

2.7. Συντελεστές Μορφής Γάστρας

2.7.1. Συντελεστής γάστρας [Block Coefficient] C_B

Για να υπολογιστεί η υδροδυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου, χρησιμοποιείται ένα πλήθος από συντελεστές. Ο C_B αποτελεί έναν από τους κυριότερους συντελεστές υπολογισμού της υδροδυναμικής συμπεριφοράς, κατά τον οποίο δίνεται η ποσοτική τιμή του λόγου του όγκου εκτοπίσματος προς τον όγκο με τις διαστάσεις του μήκους της ίσαλου γραμμής * το μήκος των δίδυμων καθέτων * το συνολικό βύθισμα (δηλαδή, $L_{WL} * B_{WL} * D$). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ορισμένες τιμές του C_B από κάποιες κατηγορίες πλοίων:

Ship type	Block coefficient $C_{B,PP}$	Approximate ship speed V in knots
Lighter	0.90	5-10
Bulk carrier	0.80-0.85	12-16
Tanker	0.80-0.85	12-17
General cargo	0.55-0.75	13-22
Container ship	0.50-0.70	14-26
Ferry boat	0.50-0.70	15-26

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικές τιμές του C_B

Όπως παρατηρείται και από τον πίνακα, όσο πιο μικρή είναι η τιμή του C_B , τόσο πιο μικρή είναι και η υδροδυναμική αντίσταση του πλοίου, καθώς αυξάνεται η πιθανότητα να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες.

2.7.2. Συντελεστής ισάλου επιφανείας [Water Plane Area Coefficient] C_{WL}

Το C_{WL} ισούται με το λόγο της επιφάνειας που βρέχεται, A_{WL} , προς το γινόμενο μεταξύ του μήκους της ίσαλου γραμμής, L_{WL} , και του πλάτους της ίσαλου γραμμής, B_{WL} . Δηλαδή:

$$C_{WL} = A_{WL} / (L_{WL} * B_{WL})$$

Όμως, υπάρχει και μια προσεγγιστική σχέση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με την οποία προσδιορίζεται ο συντελεστής C_{WL} συναρτήσει του C_B . Η σχέση αυτή έχει ως εξής:

$$C_{WL} = C_B + 0.10$$

2.7.3. Συντελεστής μέσης τομής [Midship Section Coefficient] C_M

Ο συντελεστής C_M , αποτελεί ακόμη έναν βασικό συντελεστή ώστε να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά της καρίνας. Με αυτόν τον συντελεστή εκφράζεται ο λόγος της επιφάνειας που αφορά το μεσαίο τμήμα ενός πλοίου, και συμβολίζεται με A_M , η οποία επιφάνεια βρίσκεται βυθισμένη μέσα στο νερό, προς το γινόμενο μεταξύ του πλάτους της ίσαλου γραμμής, B_{WL} και του βυθίσματος της καρίνας, D . δηλαδή:

$$C_M = A_M / (B_{WL} * D)$$

Το εύρος των τιμών για τα δεξαμενόπλοια είναι από 0.98 έως και 0.99.

2.7.4. διαμήκης πρισματικός συντελεστής [Longitudinal Prismatic Coefficient] C_P

Ο συντελεστής αυτός, C_P , ισούται με το λόγο του όγκου του εκτοπίσματος, προς το γινόμενο της επιφάνειας που αφορά το μεσαίο τμήμα ενός πλοίου A_M και του μήκους της ίσαλου γραμμής, L_{WL} . Δηλαδή:

$$C_P = V / (A_M * L_{WL}) = V / (C_M * B_{WL} * D * L_{WL}) = C_{BWL} / C_M$$

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω σχέση, ο συντελεστής C_P δεν αποτελεί έναν ανεξάρτητο συντελεστή, αλλά εξαρτάται από τους συντελεστές C_M και C_B .

2.7.5. Διαμήκες κέντρο άντωσης [Longitudinal Center of Buoyancy]

L_{CB}

Με τον συντελεστή L_{CB} εκφράζεται η θέση στην οποία βρίσκεται το κέντρο της άντωσης ενός πλοίου, μέχρι και την απόσταση αυτού του σημείου από τη μέση απόσταση του μήκους μεταξύ καθέτων, L_{PP} . Ο συντελεστής αυτός είναι θετικός όταν το κέντρο

βρίσκεται κατάντη προς το μέσο μήκος του πλοίου και αρνητικός όταν ισχύει το αντίθετο. Σε περίπτωση που ένα πλοίο είναι αργοκίνητο εμπορικό πλοίο, όπως για παράδειγμα ένα δεξαμενόπλοιο, ο συντελεστής L_{CB} είναι συνήθως θετικός μεταξύ των τιμών από 1% έως και 3%.

2.7.6. Συντελεστής λεπτότητας [Fineness Ratio] C_{LD}

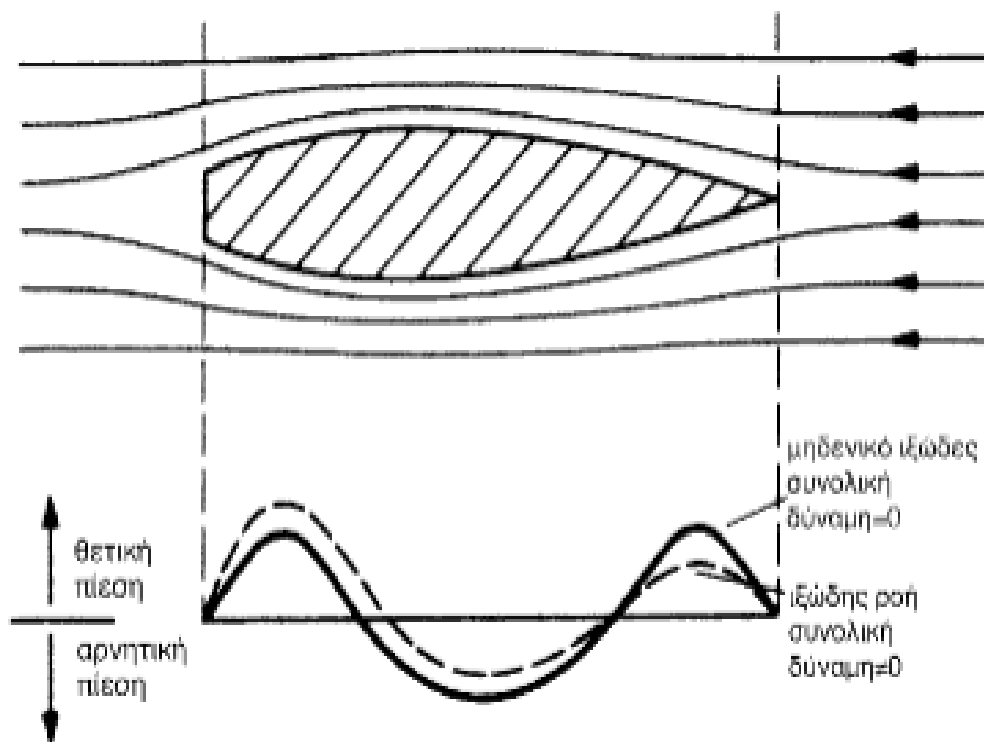
Ο συντελεστής C_{LD} ισούται με το λόγο του μήκους της ίσαλου γραμμής προς την τρίτη ρίζα του όγκου εκτοπίσματος. Δηλαδή:

$$C_{LD} = \frac{L_{WL}}{\sqrt[3]{V}}$$

Κεφάλαιο 3

Η Αντίσταση του Πλοίου

Σύμφωνα με την θεωρία της υδροδυναμικής, όταν ένα σώμα βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, βυθισμένο μέσα στο νερό, το οποίο έχει μηδενικό ιξώδες, τότε και το σώμα έχει μηδενική αντίσταση. Αφού περάσουν από το σώμα οι γραμμές της ροής, η συνισταμένη δύναμη η οποία ασκείται πάνω στο σώμα είναι μηδενική και οι γραμμές επιστρέφουν αρκετά μακριά από τη θέση του σώματος, και μάλιστα σε αδιατάραχτη κατάσταση. Το αποτέλεσμα αυτό δεν εξαρτάται καθόλου από τον τρόπο εκτροπής των γραμμών ροής. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι γραμμές ροής:



Εικόνα 3.1. Γραμμές ροής

Πρακτικά, το υγρό είναι συνεκτικό και ένα σώμα το οποίο είναι σε μεγάλο βάθος βυθισμένο, θα έχει ως αποτέλεσμα μια αντίσταση τριβής. Επίσης, καθώς το σώμα κατευθύνεται προς την ελεύθερη επιφάνεια οι διαφορές που υπάρχουν στην πίεση του σώματος, έχουν ως αποτέλεσμα να ανυψώνεται ή να πέφτει η επιφάνεια του υγρού. Με αυτό, διαταράσσεται η ισορροπία που υπάρχει στις πιέσεις οι οποίες ασκούνται πάνω στο σώμα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η δύναμη της αντίστασης κυματισμού.

Για να μπορέσει ένα πλοίο να κινηθεί, θα πρέπει να αντιμετωπίσει την αντίσταση, δηλαδή τη δύναμη, η οποία ασκείται με αντίθετη φορά από αυτή του πλοίου. Οπότε, για να επιλεγεί η σωστή έλικα και ο σωστός μηχανισμός για την ώση ενός πλοίου, θα πρέπει πρώτα να γίνει ο υπολογισμός της αντίστασης. Τα χαρακτηριστικά από τα οποία επηρεάζεται η αντίσταση είναι τα εξής:

- Η ταχύτητα του πλοίου,
- Το εκτόπισμα του πλοίου, και
- Η μορφή της γάστρας του πλοίου

Η συνολική αντίσταση συμβολίζεται με R_T και περιλαμβάνει αρκετές συνιστώσες αντιστάσεων R . Οι συνιστώσες αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Αντίσταση τριβής R_F ,
- Αντίσταση αέρα R_A , και
- Υπόλοιπη αντίσταση R_T

Η σχετική επιρροή της αντίστασης της τριβής, καθώς και της υπόλοιπης αντίστασης, εξαρτώνται από το μέγεθος του τμήματος της γάστρας, το οποίο είναι κάτω από την ίσαλο γραμμή, και η αντίσταση του αέρα εξαρτάται από το μέγεθος του τμήματος που είναι πάνω από την ίσαλο γραμμή. Για παράδειγμα, αντίσταση του αέρα επιδρά σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων με τα οποία μεταφέρονται αρκετά απ' αυτά στο κατάστρωμά τους (H.E. Guldhammer, 1974).

Σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli, η δυναμική πίεση του νερού ισούται με:

$$(1/2) * \rho * V^2$$

Όπου ρ η πυκνότητα και V η ταχύτητα.

Άρα μόλις το νερό σταματήσει σε κάποιο στερεό σώμα, το οποίο δεν κινείται, εξασκεί επάνω του μια δύναμη. Η δύναμη αυτή προκαλείται από τη δυναμική πίεση, η οποία δημιουργείται πάνω στην επιφάνεια του σώματος. Αυτό αποτελεί τη βάση, ώστε να υπολογιστούν οι διάφορες αντιστάσεις R της γάστρας του πλοίου, από συντελεστές χωρίς διαστάσεις, C . Αυτό σημαίνει ότι, οι συντελεστές αυτοί έχουν άμεση σχέση με τη δύναμη αναφοράς K , η οποία είναι η δύναμη που ασκείται από τη δυναμική πίεση του νερού, που κινείται με κάποια ταχύτητα V ίση με αυτή του πλοίου, επάνω σε κάποια επιφάνεια η οποία βρέχεται και είναι ίση με αυτή της γάστρας του πλοίου. Σε αυτή την επιφάνεια συμπεριλαμβάνεται και η επιφάνεια του πηδαλίου. Συνεπώς, η σχέση που δίνει τη δύναμη αναφοράς έχει ως εξής:

$$K = (1/2) * \rho * V^2$$

Ενώ η σχέση των διάφορων αντιστάσεων είναι:

$$R = C * K$$

Με τη χρήση αρκετών πειραματικών δεδομένων αλλά και κατάλληλων αδιάστατων συντελεστών, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω, αναπτύχθηκαν μέθοδοι, με τις οποίες υπολογίζονται όλοι οι απαραίτητοι συντελεστές της αντίστασης, αλλά και των διάφορων αντιστάσεων.

Ειδικότερα, η αντίσταση της τριβής, που συμβολίζεται με R_f , της γάστρας, σχετίζεται από το μέγεθος της επιφάνειας της γάστρας, η οποία βρέχεται, και συμβολίζεται με A_s , καθώς και από τον συντελεστή της αντίστασης της τριβής, ο οποίος συμβολίζεται ως C_f . Ο βασικός στόχος είναι να επιτευχθεί η διατήρηση της γάστρας του πλοίου χωρίς ρύπανση, με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρή τριβή, αφού η ρύπανση της γάστρας δημιουργείται από θαλάσσιους οργανισμούς, φύκια κ.α. Επίσης, με βάση το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου, αυξάνεται και η αντίσταση της τριβής. Μάλιστα, η αντίσταση της τριβής είναι ένα βασικό στοιχείο για τη συνολική αντίσταση του πλοίου, αφού για πλοία με μικρή ταχύτητα αποτελεί το 70-90% από τη συνολική αντίσταση και για πλοία με μεγάλη ταχύτητα αποτελεί κάτω από το 40% της συνολικής αντίστασης. Η σχέση της αντίστασης της τριβής δίνεται παρακάτω:

$$R_f = C_f * K$$

Η υπόλοιπη αντίσταση, η οποία συμβολίζεται με R_r , αποτελείται από την αντίσταση κυματισμού και από την αντίσταση δινών. Η αντίσταση κυματισμού είναι η αντίσταση των απωλειών της ενέργειας εξ' αιτίας των κυμάτων που δημιουργούνται από το πλοίο κατά τη

διάρκεια της πλεύσης τους στο νερό. Οι απώλειες αυτές, όταν το πλοίο κινείται με μικρή ταχύτητα είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας. Όταν όμως ένα πλοίο κινείται με υψηλότερη ταχύτητα, τότε και οι απώλειες αυξάνονται γρηγορότερα. Πιο συγκεκριμένα, σε πλοία με μικρή ταχύτητα μπορεί να είναι από 10% έως και 25% της συνολικής αντίστασης, ενώ για πλοία με μεγαλύτερη ταχύτητα μπορεί να είναι 40-60% της συνολικής αντίστασης. Όσον αφορά την αντίσταση δινών, αυτή είναι η αντίσταση από την οποία προκαλούνται απώλειες της ενέργειας λόγω της αποκόλλησης της ροής και της δημιουργίας των δινών, κυρίως στην πρύμνη ενός πλοίου. Επιπλέον, λόγω των ρηχών νερών, μπορεί να υπάρξει αυξημένη επίδραση ως προς την υπόλοιπη αντίσταση, αφού το νερό το οποίο εκτοπίζεται κάτω από το πλοίο, είναι πιο δύσκολο να κινηθεί προς τα πίσω. Η υπόλοιπη αντίσταση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_r = C_r * K$$

Όσον αφορά την αντίσταση του αέρα, αυτή συμβολίζεται ως R_a . η αντίσταση αυτή του αέρα, όταν ο καιρός είναι ήρεμος, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου και της μετωπικής επιφάνειας η οποία είναι πάνω από την ίσαλο γραμμή. Επίσης, αποτελεί το 2% της συνολικής αντίστασης του πλοίου, ενώ σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων αποτελεί έως και το 10% της συνολικής αντίστασης. Ομοίως, η αντίσταση του αέρα δίνεται από της εξής σχέση:

$$R_a = C_a * K$$

Επίσης, αυτή η αντίσταση δίνεται, ως το 90% της δυναμικής πίεσης του αέρα, από τον εξής τύπο:

$$R_a = 0.9 * (1/2) * \rho_{air} * V^2 * A_{air}$$

Με ρ_{air} η πυκνότητα του αέρα και A_{air} η επιφάνεια της διατομής του πλοίο στην επιφάνεια του νερού.

Μετά τον υπολογισμό των επιμέρους αντιστάσεων, μπορεί να υπολογισθεί και η συνολική αντίσταση ρυμουλκήσεως του πλοίου, που συμβολίζεται ως R_t , από τον παρακάτω τύπο:

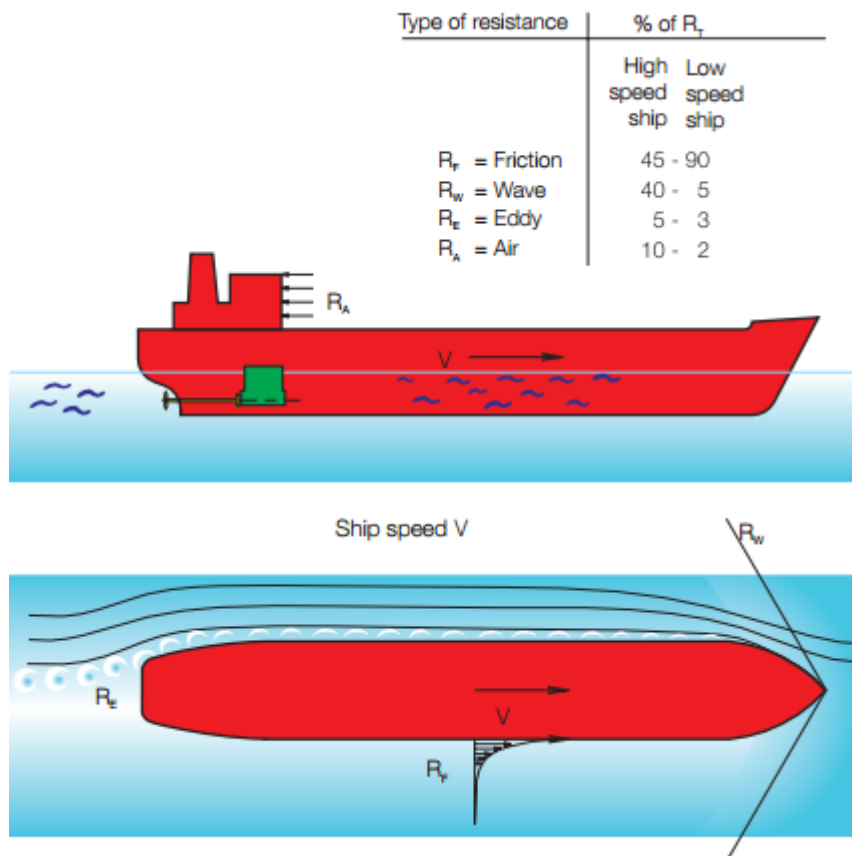
$$R_t = R_f + R_r + R_a$$

Έπειτα, μπορεί να υπολογισθεί και η ισχύς που αντιστοιχεί σε αυτή την αντίσταση, η οποία συμβολίζεται ως P_e . Η ισχύς αυτή είναι αναγκαία για την κίνηση ενός πλοίου μέσα

στο νερό, αποτελεί δηλαδή την ισχύ που χρειάζεται ώστε να ρυμουλκηθεί το πλοίο με μία ταχύτητα V . Ο τύπος της ισχύος είναι ο ακόλουθος:

$$Pe = V * Rt$$

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι των αντιστάσεων πρόωσης φορτηγού πλοίου:

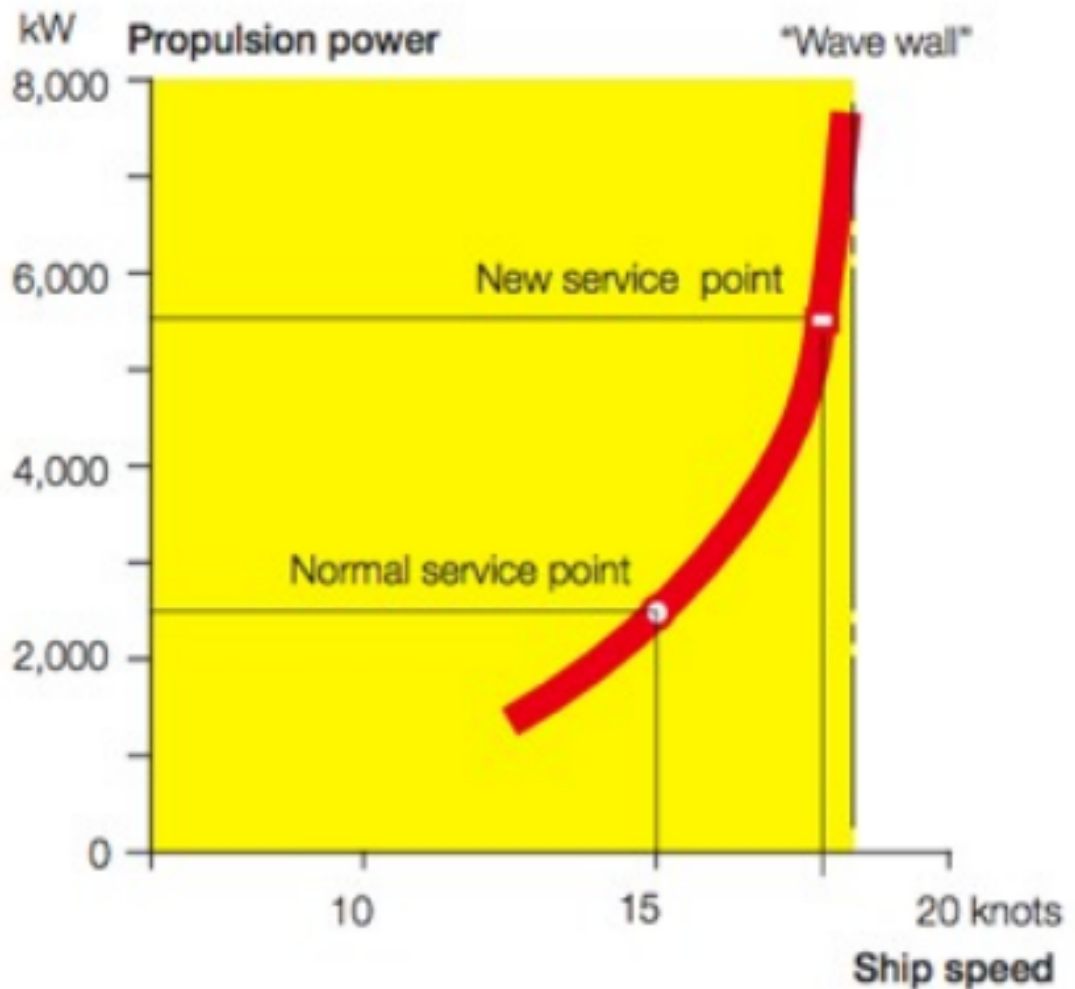


Εικόνα 3.2. Παράμετροι των αντιστάσεων πρόωσης φορτηγού πλοίου

Παρόλα αυτά, η ισχύς την οποία απορροφά η έλικα, και συμβολίζεται ως P_d , για να μπορέσει να κινηθεί το πλοίο με την ίδια ταχύτητα, είναι λίγο πιο υψηλή. Σημαντικό παράγοντα γι' αυτό, αποτελούν οι συνθήκες της ροής γύρω από την έλικα, καθώς και η απόδοση της έλικας (H.E. Guldhammer, 1974).

Γενικά, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι όλες οι επιμέρους αντιστάσεις είναι ανάλογες με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου και αυτό από το οποίο προκαλείται διαφοροποίηση είναι ότι αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η αντίσταση των κυματισμών όταν το πλοίο κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Γι' αυτό έχει οριστεί μια άλλη

ταχύτητα, για τη δεδομένη σχεδίαση της γάστρας, η οποία ονομάζεται «τείχος κύματος» (wave wall). Όταν ένα πλοίο πλέει με κάποια ταχύτητα, εάν αυξηθεί η ισχύς της πρόωσής του, διαπιστώνεται ότι η ταχύτητα του πλοίου παρουσιάζει μία μικρή αύξηση, καθώς το μεγαλύτερο μέρος από την ισχύ μετατρέπεται σε ενέργεια κυματισμών. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το όριο ταχύτητας ενός πλοίου:



Εικόνα 3.3. Όριο ταχύτητας ενός πλοίου

3.1. Αντίσταση πρόωσης κατά την διάρκεια ζωής του πλοίου

Κατά την αύξηση των ωρών κατά τις οποίες λειτουργεί το πλοίο, η μεμβράνη του υφαλο-χρώματος στην γάστρα θα αποξεσθεί σταδιακά. Στην επιφάνεια της γάστρας ξεκινάνε να αναπτύσσονται διάφοροι θαλάσσιοι οργανισμοί, όστρακα και άλλα, καθώς ξεκινάει η διάβρωσή της. Τα ελάσματα του πυθμένα του πλοίου, αρχίζουν να στρεβλώνουν λόγω των κακών καιρικών συνθηκών, αλλά και λόγω της λανθασμένης τοποθέτησης του φορτίου πάνω στο πλοίο. Η αντίσταση της τριβής του πλοίου είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της ανώμαλης επιφάνειας την οποία παρουσιάζει η ρυπασμένη γάστρα. Αξίζει να σημειωθεί και να ληφθεί υπ' όψη, πως λόγω της ρύπανσης η επιφάνεια της έλικας θα γίνει τραχεία. Η συνολική αντίσταση μπορεί να παρουσιάσει αύξηση, εξαιτίας της ρυπασμένης γάστρας και της έλικας, όπου μπορεί να φτάσει το 25%-50%, σε όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου. Αυτή η αύξηση της αντίστασης μπορεί να προκληθεί και εξαιτίας των θαλάσσιων ρευμάτων ή ακόμα και των ρευμάτων αέρα. Κατά την πλεύση του πλοίου με αντίθετο καιρό, η αντίσταση αυξάνεται από 50% έως 100% επί της συνολικής αντίστασης που έχει το πλοίο σε καλές καιρικές συνθήκες.

Μια μέση αύξηση της αντίστασης των πλοίων στην πλεύση τους στις πιο βασικές διαδρομές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή		Από (%)	Έως (%)
Βόρειος Ατλαντικός	Δυτικά	25	35
Βόρειος Ατλαντικός	Ανατολικά	20	25
Ευρώπη	Αυστραλία	20	25
Ευρώπη	Ανατολική Ασία	20	25
Ειρηνικός Ωκεανός		20	30

Πίνακας 3.1. Μέση αύξηση της αντίστασης των πλοίων στην πλεύση τους στις πιο βασικές διαδρομές

Στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού, το ποσοστό το οποίο βρίσκεται στην στήλη «Από (%)», αντιστοιχεί στην πλεύση του πλοίου το καλοκαίρι, ενώ το ποσοστό

που βρίσκεται στην στήλη «Έως (%)» αντιστοιχεί στον χειμώνα. Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης ενός πλοίου το οποίο μεταφέρει εμπορευματοκιβώτια (140000 dwt, βρέθηκε πως η αυξημένη αντίσταση έχει τιμές 220%, με μέσο όρο 100%, σε συγκεκριμένα δρομολόγια μεταξύ Ιαπωνίας και Καναδά, ενώ το πλοίο ήταν φορτωμένο. Δεν υπάρχουν πολλά δημοσιευμένα στοιχεία όσον αφορά την αύξηση της αντίστασης με βάση τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου. Μια μικρή αύξηση της αντίστασης, παρατηρείται σε μεγάλα πλοία εξαιτίας της κατάστασης της θάλασσας. Αντίθετα η αντίσταση της τριβής των μεγάλων και φορτωμένων πλοίων θα παρουσιάσει μεταβολές μέσα στον χρόνο ευκολότερα, λόγω της ρύπανσης της γάστρας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η χαρακτηριστική ανάπτυξη οργανισμών στην γάστρα ενός πλοίου:



Εικόνα 3.4. Χαρακτηριστική ανάπτυξη οργανισμών στην γάστρα ενός πλοίου

3.2. Τύποι Ελίκων

Προκειμένου να ξεκινήσει ένα πλοίο απαιτείται η έλικα. Τις περισσότερες φορές για την εκκίνηση ενός πλοίου απαιτείται μια έλικα, μερικές φορές απαιτούνται δύο έλικες και πιο σπάνια απαιτούνται πάνω από δύο έλικες. Η λειτουργία της έλικας βασίζεται στην αρχή της διατήρησης της ορμής. Πιο αναλυτικά η επιτάχυνση της μάζας του νερού προς τα πίσω, πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα του νερού το οποίο είναι ίσο με την μάζα του πλοίου επί την ταχύτητά του. Η πραγματικότητα όμως είναι διαφορετική και πιο δύσκολη, καθώς υπάρχει και ο παράγοντας της αντίστασης του νερού στην γάστρα του πλοίου, το οποίο μειώνει την ταχύτητά του.

Οι έλικες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις έλικες σταθερού βήματος και στις έλικες μεταβλητού βήματος. Οι έλικες σταθερού βήματος αποτελούν μεμονωμένα χυτά κομμάτια, των οποίων η θέση των πτερυγίων δεν έχει την δυνατότητα να μετακινηθεί και έτσι διαθέτουν σταθερό βήμα. Αυτό μπορεί να έχει το αποτέλεσμα το πλήρωμα του πλοίου να μην μπορεί να μεταβάλει τις καμπύλες απόδοσής της, σε περιπτώσεις κακών καιρικών συνθηκών, δηλαδή τον συνδυασμό ισχύος και ταχύτητας, τα οποία δεν συμβαδίζουν με τους φυσικούς νόμους. Αυτές οι έλικες υπάρχουν στα πλοία τα οποία δεν απαιτείται να διαθέτουν ειδικά καλές ικανότητες ελιγμών.

Από την άλλη πλευρά οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν πιο μεγάλη πλύμνη σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος, εξαιτίας του υδραυλικού μηχανισμού που διαθέτουν για τον καλύτερο έλεγχο της γωνίας των πτερυγίων τους, που βρίσκονται στην πλύμνη. Έχουν μια μικρότερη απόδοση σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος και συνήθως τις χρησιμοποιούν πλοία τα οποία πρέπει να έχουν καλύτερες ικανότητες ελιγμών. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της κατασκευής τους η οποία είναι αρκετά πολύπλοκη, αυτές οι έλικες έχουν περισσότερες πιθανότητες να εμφανίσουν προβλήματα κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους (www.marineinsight.com).

3.3. Συνθήκες Ροής Γύρω από την Έλικα

Οι συνθήκες της ροής γύρω από την έλικα εξαρτώνται από δύο συντελεστές, αυτόν του ποσοστού ομόρρου, ο οποίος συμβολίζεται με w , και αυτόν της μείωσης της ώσης, ο οποίος συμβολίζεται με t . Για να οριστεί ο συντελεστής ομόρρου, πρέπει πρώτα να γίνει αναφορά στη ροή του νερού που υπάρχει γύρω από το πλοίο, καθώς και γύρω από την έλικα του πλοίου.

Με την κίνηση του πλοίου, δημιουργείται εξ' αιτίας της τριβής της γάστρας του, ένα οριακό στρώμα από νερό γύρω από τη γάστρα, που ονομάζεται ζώνη τριβής. Στο οριακό αυτό στρώμα, η ταχύτητα που έχει το νερό στην επιφάνεια της γάστρας, ισούται με την ταχύτητα του πλοίου. Μάλιστα, όσο αυτό απομακρύνεται από την επιφάνεια της γάστρας, η ταχύτητα αυτή παρουσιάζει μείωση. Επίσης, σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση από τη γάστρα, η ταχύτητα αυτή του νερού, ισούται με αυτή της περιβάλλουσας υδάτινης μάζας. Αυτή η συγκεκριμένη απόσταση λέγεται πάχος του οριακού στρώματος και από αυτήν ορίζεται η επιφάνεια της ζώνης τριβής.

Το πάχος της ζώνης τριβής παρουσιάζει αύξηση κατά την απομάκρυνση από το πρωραίο τμήμα της γάστρας. Γι' αυτό και η ζώνη τριβής, όσο πιο κοντά βρίσκεται στο πρυμναίο άκρο της γάστρας, τόσο πιο παχύτερη θα είναι, και το πάχος της θα είναι περίπου ανάλογο με το μήκος που έχει το πλοίο. Από αυτό, συμπεραίνεται ότι θα δημιουργείται και κάποια ταχύτητα του ομόρρου λόγω της τριβής κατά μήκος των πλευρών της γάστρας. Επιπλέον, από τον τρόπο με τον οποίο κινείται το πλοίο, δημιουργούνται κύματα τόσο προς την πλώρα όσο και προς την πρύμνη. Έτσι, παρατηρείται ότι η λειτουργία της έλικας πίσω από τη γάστρα, πραγματοποιείται σε ένα πεδίο ομόρρου.

Άρα, το νερό που βρίσκεται στην έλικα θα έχει κάποια πραγματική ταχύτητα ομόρρου, η οποία συμβολίζεται ως V_w , και έχει την ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση ταχύτητας του πλοίου, κατά κύριο λόγο, εξ αιτίας του ομόρρου τριβής. Συνεπώς, η ταχύτητα από το νερό που φτάνει στην έλικα, η οποία συμβολίζεται ως V_a και ισούται με αυτή της προχώρησης της έλικας, εάν εκφραστεί ως μέση ταχύτητα στο δίσκο της έλικας, θα είναι μικρότερη από την ταχύτητα του πλοίου κατά V_w .

Η πραγματική ταχύτητα του ομόρρου στην έλικα δίνεται από την εξής σχέση:

$$V_w = V - V_a$$

Η ταχύτητα αυτή μπορεί να εκφραστεί και σε αδιάστατη μορφή, με τον συντελεστή ομόρρου w , και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$w = V_w / V = (V - V_a) / V$$

Αυτός ο συντελεστής σχετίζεται άμεσα με το σχήμα το οποίο έχει η γάστρα του πλοίου, καθώς επίσης και από τη θέση στην οποία βρίσκεται η έλικα, αλλά και το μέγεθος το οποίο έχει, με αποτέλεσμα αυτά να επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στην απόδοση της έλικας.

Ειδικότερα, ο συντελεστής ποσοστού του ομόρρου, επηρεάζεται από τη σχέση μεταξύ της διαμέτρου που έχει η έλικα και του μήκους που έχει το πλοίο, καθώς ο λόγος αυτών των δύο, έχει ως αποτέλεσμα μια προσεγγιστική ένδειξη για το κατά πόσο πραγματοποιείται η λειτουργία της έλικας στον ομόρρο της γάστρας. Όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο λόγος, τόσο πιο μικρός θα είναι και ο συντελεστής ποσοστού του ομόρρου. Επιπλέον, το w παρουσιάζει αύξηση όταν έχει ρυπανθεί η γάστρα του πλοίου. Σε πλοία τα οποία περιλαμβάνουν μία έλικα, το w κυμαίνεται στις τιμές 0.20-0.45, το οποίο αντιστοιχεί στην ταχύτητα της προχώρησης της έλικας, V_a , μεταξύ των τιμών 0.55-0.80 της ταχύτητας του πλοίου. Τα πλοία που έχουν υψηλό συντελεστή γάστρας έχουν και υψηλό συντελεστή του ποσοστού ομόρρου, ενώ τα πλοία που αποτελούνται από δύο έλικες και συμβατικό πρυμναίο τμήμα γάστρας, έχουν αρκετά πιο μειωμένο w , εφόσον οι έλικες θα είναι έξω από τη ζώνη τριβής.

Τέλος, ένας συντελεστής w ο οποίος είναι μεγάλος, αυξάνει και το ποσοστό της πιθανότητας να εμφανιστεί σπηλαίωση της έλικας, αφού στην περίπτωση τέτοιων συνθηκών η ταχύτητα του νερού γύρω από την έλικα κατανέμεται, γενικά, ανομοιόμορφα. Γι' αυτό μερικές φορές είναι απαραίτητο ένα περισσότερο ομοιογενές πεδίο ομόρρου με μεγαλύτερη ταχύτητα προχώρησης της έλικας. Για την επίτευξη αυτού, γίνεται χρήση διάφορων διατάξεων, όπως έλικες σε διατάξεις ακροφυσίων. Η καλύτερη μέθοδος όμως είναι, η διαπίστωση ότι το σχήμα του πρυμναίου τμήματος της έλικας είναι τέτοιο ώστε να δημιουργείται το καλύτερο πεδίο ομόρρου. Η διαπίστωση αυτή θα πρέπει να γίνει ήδη κατά τη διάρκεια της σχεδίασης (MAN Diesel & Turbo, 2012).

Ο συντελεστής της μείωσης της ώσης, είναι κι αυτός αδιάστατος, και δίνεται από την εξής σχέση:

$$t = F / T = (T - R_t) / T$$

όπου F το ποσοστό της μείωσης της ώσης, όπου T η συνολική δύναμη της ώσης που απαιτείται και όπου R_t η αντίσταση του πλοίου.

Η μείωση αυτή της ώσης προκαλείται από το φαινόμενο που σχετίζεται με την περιστροφή της έλικας, από την οποία προκαλείται αναρρόφηση του νερού που υπάρχει μπροστά της πίσω προς την έλικα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας ακόμη αντίστασης στη γάστρα που ονομάζεται αύξηση αντίστασης, ή σε σχέση με τη συνολική δύναμη της ώσης που απαιτείται, T , στην έλικα, ποσοστό μείωσης της ώσης, F . Άρα, η ώση στην έλικα T θα πρέπει να αντιμετωπίσει την αντίσταση του πλοίου, καθώς και την

απώλεια της ώσης F . από την αδιάστατη έκφραση της F , προκύπτει και ο συντελεστής μείωσης της ώσης t .

Ο συντελεστής μείωσης της ώσης t , αυξάνεται καθώς αυξάνεται και ο συντελεστής w . Επίσης, ο συντελεστής μείωσης της ώσης επηρεάζεται και από το σχήμα που έχει η γάστρα, όπως παραδείγματος χάριν, μια βολβοειδής πλώρα υπό ορισμένες συνθήκες, όπως η μικρή ταχύτητα του πλοίου, μπορεί να σημειώσει μείωση στον συντελεστή t . Τέλος, ο συντελεστής αυτός της μείωσης της ώσης κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 0.12-0.30 για πλοία τα οποία αποτελούνται από μία έλικα, εφόσον τα πλοία που έχουν μεγάλο συντελεστή γάστρας έχουν και μεγάλο συντελεστή μείωσης της ώσης, ενώ τα πλοία που αποτελούνται από δύο έλικες, ο συντελεστής t θα είναι αρκετά πιο μικρός, αφού οι έλικες αναρροφούν πιο μακριά από τη γάστρα.

3.4. Βαθμοί Απόδοσης

Για τον υπολογισμό του ολικού βαθμού απόδοσης, υπάρχουν διάφοροι βαθμοί απόδοσης που χρησιμοποιούνται. Ο βαθμός απόδοσης της γάστρας, συμβολίζεται με n_H , και ισούται με το λόγο της ισχύος ρυμουλκήσεως, $P_e = R_t * V$, και της ισχύος ώσης που προσδίδεται από την έλικα στο νερό, $P_t = T * V_a$.

Άρα η σχέση έχει ως εξής:

$$n_H = P_e / P_t = (R_t * V) / (T * V_a) = ((R_t / V) / V_a) / V = (1 - t) / (1 - w)$$

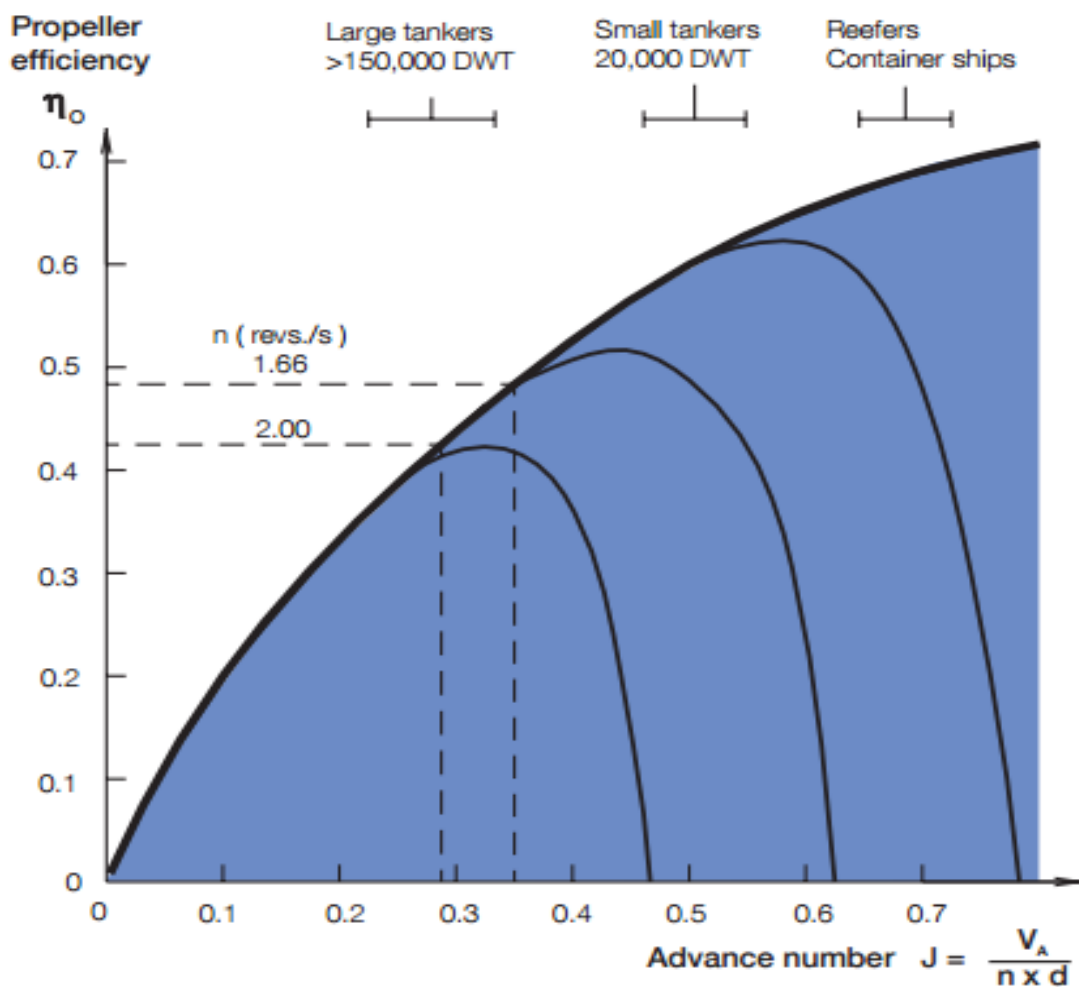
Στα πλοία που περιλαμβάνουν μία έλικα, ο βαθμός απόδοσης της γάστρας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1.1-1.4, όπου η υψηλή τιμή αφορά πλοία που έχουν μεγάλο συντελεστή γάστρας, ενώ στα πλοία που περιλαμβάνουν δύο έλικες και συμβατική πρύμνη, ο βαθμός απόδοσης της γάστρας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.95-1.01, όπου και πάλι η υψηλή τιμή αφορά τα πλοία που έχουν μεγάλο συντελεστή γάστρας.

Εκτός από τον βαθμό απόδοσης της γάστρας, υπάρχει και ο βαθμός απόδοσης της έλικας, ο οποίος συμβολίζεται ως n_0 , σε ελεύθερη ροή. Αυτό σημαίνει ότι η λειτουργία της έλικας πραγματοποιείται σε ομοιογενές πεδίο ομόρρου χωρίς να υπάρχει μπροστά της γάστρα. Ο βαθμός της απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή, επηρεάζεται από την ταχύτητα προσχώρησης, που συμβολίζεται με V_a , από τον ρυθμό περιστροφής, που συμβολίζεται με n , από τη διάμετρο, που συμβολίζεται με d , και από τον σχεδιασμό της έλικας, δηλαδή από το πλήθος των πτερυγίων από τα οποία αποτελείται, από το λόγο της

εκτεταμένης επιφάνειας, καθώς και από τη σχέση του βήματος με τη διάμετρο της έλικας. Ο βαθμός αυτός της απόδοσης της έλικας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.35-0.75, όπου η υψηλή τιμή αφορά έλικες που έχουν μεγάλη ταχύτητα προσχώρησης. Επίσης, υπάρχει και ο αδιάστατος συντελεστής προσχώρησης της έλικας που δίνεται από την εξής σχέση:

$$J = V_a / (n * d)$$

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο λαμβανόμενος βαθμός απόδοσης έλικας ως προς την ελεύθερη ροή:



Εικόνα 3.5. Λαμβανόμενος βαθμός απόδοσης έλικας ως προς την ελεύθερη ροή

Επίσης, υπάρχει ο βαθμός απόδοσης της σχετικής περιστροφής, ο οποίος συμβολίζεται με η_R , και σε σχέση με την ελεύθερη ροή, επηρεάζει το βαθμό απόδοσης της έλικας. ο βαθμός απόδοσης της σχετικής περιστροφής κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1-

1.07, δηλαδή επηρεάζει θετικά το βαθμό απόδοσης της έλικας, και στα πλοία τα οποία περιλαμβάνουν δύο έλικες και συμβατικό σχήμα γάστρας, κυμαίνεται περίπου στο 0.98.

Ακόμη ένας συντελεστής, είναι ο βαθμός απόδοσης της έλικας η οποία λειτουργεί πίσω από το πλοίο, και συμβολίζεται ως n_B . Ο βαθμός αυτός της έλικας ισούται με το λόγο της ισχύος ώσης που προσδίδεται από την έλικα στο νερό και της ισχύος που προσδίδεται στην έλικα, P_d . Άρα, για έλικα η οποία λειτουργεί πίσω από το πλοίο έχει βαθμό απόδοσης που ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_B = P_t / P_d = n_0 * n_R$$

Επιπλέον, ορίζεται και ο βαθμός απόδοσης της πρόωσης, ως το πηλίκο της ισχύος ρυμουλκήσεων προς την ισχύ που απαιτείται και προσδίδεται στην έλικα, ο οποίος συμβολίζεται ως n_D . Ο βαθμός απόδοσης της πρόωσης δίνεται από την εξής σχέση:

$$n_D = P_E / P_D = (P_E * P_T) / (P_D * P_D) = n_h * n_0 * n_R$$

Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι μια γάστρα η οποία έχει μεγάλο συντελεστή w , και συνεπώς μεγάλο συντελεστή n_2 , θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης της πρόωσης. Αυτό όμως δεν μπορεί να ισχύσει εφόσον ο συντελεστής n_0 επηρεάζεται από την ταχύτητα προχώρησης, η οποία σημειώνει μείωση κατά την αύξηση του συντελεστή w . Άρα, σε γενικές γραμμές, ο καλύτερος βαθμός απόδοσης της πρόωσης επιτυγχάνεται όταν η έλικα λειτουργεί σε ένα ομοιογενές πεδίο ομόρρου (MAN Diesel & Turbo, 2012)..

Τέλος, ορίζεται και ο βαθμός απόδοσης του άξονα, ως το πηλίκο της ισχύος που προσδίδεται στην έλικα, P_D , ως προς την ισχύ πέδης, P_s , που παράγεται από την κύρια μηχανή, και συμβολίζεται ως n_s . Η σχέση που δίνει τον βαθμό απόδοσης του άξονα είναι η εξής:

$$n_s = P_D / P_s$$

ο βαθμός απόδοσης του άξονα κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.96-0.995, και είναι εξαρτώμενος από την ευθυγράμμιση και τη λίπανση των εδράνων του άξονα και του μειωτήρα, εφόσον υπάρχει. Συνεπώς, ο ολικός βαθμός απόδοσης, ο οποίος συμβολίζεται με n_T , είναι ίσος με το λόγο της ισχύος ρυμουλκήσεως προς την ισχύ πέδης που απαιτείται, και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_D = P_E / P_D = (P_E * P_T) / (P_D * P_D) = n_D * n_0 * n_R * n_S$$

3.5. Διαστάσεις της Έλικας

Η απόδοση της έλικας, εκτός από τα παραπάνω που αναφέρθηκαν, επηρεάζεται άμεσα και από τις διαστάσεις της. Βασική διάσταση της έλικας αποτελεί η διάμετρος της, η οποία συμβολίζεται με d . Ως γνωστόν, ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της πρόωσης πραγματοποιείται με την υψηλότερη δυνατή διάμετρο που μπορεί να έχει η έλικα. Όμως υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί που αφορούν το πρυμναίο τμήμα, το οποίο μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το είδος του πλοίου ή με το σχεδιασμό του, και την ανοχή που απαιτείται να υπάρχει ανάμεσα στο άκρο από τα πτερύγια της έλικας και στη γάστρα ανάλογα με τον τύπο της έλικας.

Ακόμη ένα βασικό χαρακτηριστικό της έλικας, είναι το πλήθος των πτερυγίων της. Μία έλικα μπορεί να περιλαμβάνει δύο, τρία, τέσσερα, πέντε, ή ακόμη και έξι πτερύγια. Τα πλοία που αποτελούνται από δίχρονους κινητήρες, είναι κυρίως μεγάλα πλοία που αποτελούνται από έλικες τεσσάρων πτερυγίων. Συνήθως, για λόγους που αφορούν τις ταλαντώσεις, προτείνεται να αποφεύγεται η χρήση μίας έλικας με συγκεκριμένο αριθμό από πτερύγια. Αυτό γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις για την αποφυγή φαινομένων συντονισμού στη γάστρα ή στην υπερκατασκευή του πλοίου.

Επιπλέον, χρησιμοποιείται και ο συντελεστής εκτεταμένης επιφάνειας, με τον οποίο ορίζεται η ανεπτυγμένη επιφάνεια της έλικας σε σχέση με την επιφάνεια από το δίσκο της. Ικανοποιητική τιμή για αυτόν τον συντελεστή θεωρείται η 0.55. Τέλος, στις παραδοσιακές έλικες με τέσσερα πτερύγια, ο συντελεστής αυτός δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού μια μεγαλύτερη τιμή του θα είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αντίσταση στην ίδια την έλικα και άρα θα είχε και μικρό αντίκτυπο στο τελικό αποτέλεσμα.

Σημαντικό λόγο, αποτελεί το βήμα ως προς τη διάμετρο της έλικας. Το βήμα της έλικας είναι η απόσταση που η έλικα βιδώνεται προς τα εμπρός μέσα στο νερό ανά περιστροφή, προϋποθέτοντας όμως ότι δεν υπάρχει ολίσθηση. Επειδή συνήθως το βήμα της έλικας διαφέρει κατά μήκος της ακτίνας που έχει το πτερύγιο, γίνεται χρήση του βήματος $0.7r$, με r την ακτίνα της έλικας. Για την επίτευξη καλύτερου βαθμού απόδοσης της πρόωσης για μία συγκεκριμένη διάμετρο, θα πρέπει να επιλεγθεί ο καλύτερος λόγος του βήματος ως προς τη διάμετρο, ο οποίος αφορά έναν συγκεκριμένο ρυθμό περιστροφής. Για έναν μικρότερο ρυθμό επιστροφής, ο λόγος του βήματος προς τη διάμετρο θα πρέπει να αυξηθεί, και αντιστρόφως, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης. Όμως, με μία έλικα μεγαλύτερη, εφόσον είναι εφικτό από το βύθισμα του πλοίου, μπορεί να σημειωθεί και χαμηλότερος ρυθμός περιστροφής, αλλά και μεγαλύτερος βαθμός για την απόδοση της έλικας.

Τέλος, γίνεται χρήση και διάφορων αδιάστατων συντελεστών έλικας, για την καλύτερη μελέτη της θεωρίας των ελίκων. Αυτοί οι συντελεστές ορίζονται σύμφωνα με τη διάμετρο d , με το ρυθμό περιστροφής n και με την πυκνότητα της μάζας του νερού ρ . Οπότε, ορίζεται ο συντελεστής προχώρησης, ο οποίος έχει ήδη ορισθεί ως:

$$J = V_A / (n * d)$$

η οποία σχέση αποτελεί μια αδιάστατη έκφραση της ταχύτητας προχώρησης. Επιπλέον, υπάρχει και η αδιάστατη έκφραση για τη δύναμη της ώσης K , εκφραζόμενη από τον συντελεστή ώσης ως εξής:

$$K_T = T / (\rho * n^2 * d^4)$$

Επίσης, η ροπή της έλικας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = P_D / (2 * \pi * n)$$

και η αδιάστατη έκφρασή της γίνεται μέσω του συντελεστή ροπής K_Q , όπου :

$$K_Q = Q / (\rho * n^2 * d^5)$$

Συνεπώς, η σχέση που δίνει το βαθμό απόδοσης της έλικας έχει ως εξής:

$$n_0 = P_T / P_D = (T * V_A) / (Q * 2 * \pi * n) = (K_T / K_Q) * (J / (2 * \pi))$$

Με αρκετά περίπλοκα διαγράμματα της έλικας που περιλαμβάνουν τους συντελεστές που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να υπολογισθούν ή να βρεθούν οι διαστάσεις για την έλικα, ο βαθμός της απόδοσής της, η ώση της, η ισχύς της κ.α.

3.6. Ολίσθηση

Η ολίσθηση της έλικας από ένα πλοίο, αποτελεί ένα φαινόμενο που επηρεάζεται από τις συνθήκες της λειτουργίας της έλικας. Για να οριστεί η ολίσθηση θα πρέπει πρώτα να γίνει επεξήγηση στις παρακάτω τρεις ταχύτητες:

1. Ταχύτητα που θα είχε η έλικα σε στερεό σώμα,
2. Ταχύτητα του πλοίου, και
3. Ταχύτητα προχώρησης

Η λειτουργία της έλικας πραγματοποιείται μέσα σε ένα ρευστό. Εάν αυτό το ρευστό δεν υποχωρούσε κατά τη διάρκεια που λειτουργεί η έλικα, δηλαδή εάν δεν υπήρχε επιτάχυνση προς τα πίσω, τότε η έλικα θα κατευθυνόταν προς τα εμπρός με μία ταχύτητα που δίνεται από τη σχέση:

$$V_T = p * n$$

Όπου n ο ρυθμός της περιστροφής της έλικας και όπου p το βήμα της έλικας. σε αυτή την περίπτωση το ρευστό θεωρείται ακίνητο μπροστά από την έλικα.

Επίσης, η φαινόμενη ολίσθηση ισούται με τη διαφορά $V_T - V$ και ο αδιάστατος φαινόμενος λόγος της ολίσθησης, που συμβολίζεται με S_A δίνεται από την εξής σχέση:

$$S_A = (V_T - V) / V_T = 1 - (V / V_T)$$

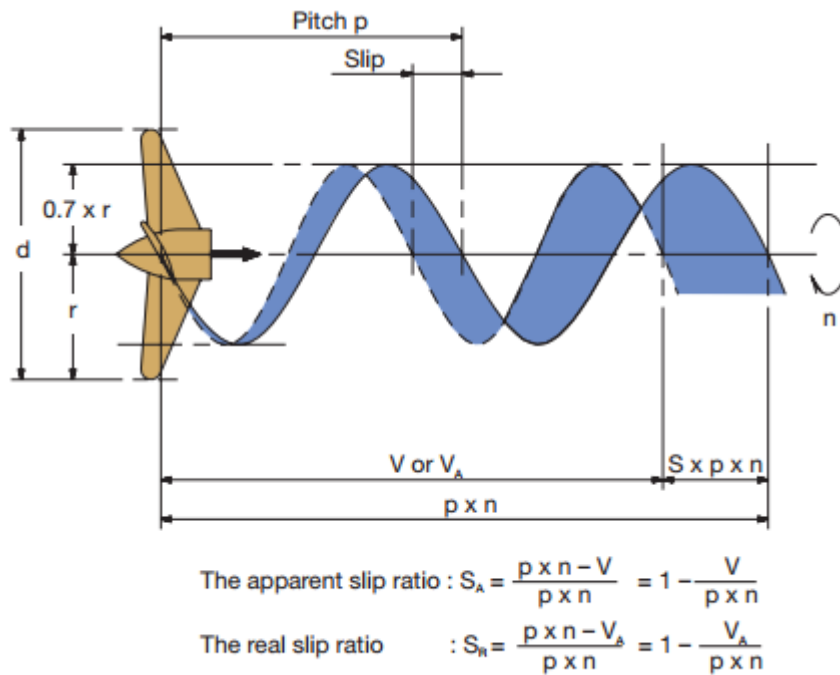
Ο παραπάνω λόγος δίνεται ως ποσοστό %, και μπορεί να πάρει είτε θετικές τιμές, είτε αρνητικές, είτε μηδέν, έχοντας μια διακύμανση μεταξύ των τιμών -15% έως και 15%. Επιπλέον, με αυτόν το λόγο, αποτυπώνονται τα φορτία τα οποία ασκούνται στην έλικα υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ακόμη, αυτός υπολογίζεται από το πλήρωμα. Ο καλύτερος είναι να υπολογισθεί ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει το πλοίο ένα μίλι, ώστε να βρεθεί η ταχύτητά του. Συνεπώς, ξέροντας το πλήθος των στροφών της έλικας, καθώς και το βήμα της έλικας, μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής S_A από την παρακάτω σχέση:

$$S_A = ((P / 12) - 101.3 * K_{ts}) / (p * n / 12)$$

Όπου K_{ts} η ταχύτητα του πλοίου V σε κόμβους και P το βήμα της έλικας σε ίντσες.

Η ολίσθηση μπορεί να επηρεασθεί από παράγοντες, όπως για παράδειγμα τα διάφορα ρεύματα, λόγω ισοστάθμισης του πλοίου, από το βήμα της έλικας, από τον καιρό, από την μεταβολή ταχύτητας του πλοίου, από τη ρύπανση της γάστρας κ.α.

Εκτός της φαινόμενης ολίσθησης, υπάρχει και η πραγματική ολίσθηση, η οποία ισούται με τη διαφορά $V_T - V_A$. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ολίσθηση:



Εικόνα 3.6. Η ολίσθηση

Ο πραγματικός λόγος της ολίσθησης έχει και αυτός ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό %, και έχει πάντα θετικές τιμές και μάλιστα αρκετά υψηλότερες από το φαινόμενο λόγο ολίσθησης, έως και 40%. Ειδικότερα, ο πραγματικός λόγος ολίσθησης έχει ως αποτέλεσμα μία περισσότερο πραγματική εικόνα για τη λειτουργία της έλικας.

3.7. Ο νόμος της έλικας

Ο συγκεκριμένος νόμος είναι πολύ σημαντικός, καθώς προσφέρει την συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας του πλοίου και της ισχύς τα οποία απαιτούνται για την κίνηση του πλοίου με συγκεκριμένη ταχύτητα.

Σε προηγούμενα κεφάλαια έχει αναφερθεί πως στα πλοία τα οποία παρουσιάζουν χαμηλή ταχύτητα πλεύσης, η αντίσταση R είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του πλοίου V . Άρα ισχύει:

$$R = c * V^2$$

Όπου C αποτελεί μια σταθερά.

Επομένως η απαιτούμενη ισχύς είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του πλοίου V :

$$P = R * V = c * V^3$$

Στα πλοία τα οποία διαθέτουν έλικα σταθερού βήματος, ισχύει πως η ταχύτητα του πλοίου είναι ανάλογη του ρυθμού της περιστροφής ή της έλικάς τους:

$$P = c * n^3$$

Αυτός είναι ο νόμος της έλικας, όπου η αναγκαία ισχύς που απορροφάται από την έλικα είναι ανάλογη με την τρίτη δύναμη του ρυθμού περιστροφής της.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί, παρατηρείται πως υπάρχει μια ικανοποιητική σχέση σε συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες.

Μερικές φορές χρησιμοποιείται μια δύναμη μεγαλύτερη του τρία, για την σχέση ισχύος και ταχύτητας. Αναλυτικότερα:

$P = cV^{4,5}$	Πλοία με υψηλές ταχύτητες
$P = cV^4$	Πλοία μεσαίου μεγέθους και ταχύτητες
$P = cV^{3,5}$	Πλοία χαμηλής ταχύτητας

Πίνακας 3.2. Απαιτούμενη ισχύς

Κεφάλαιο 4

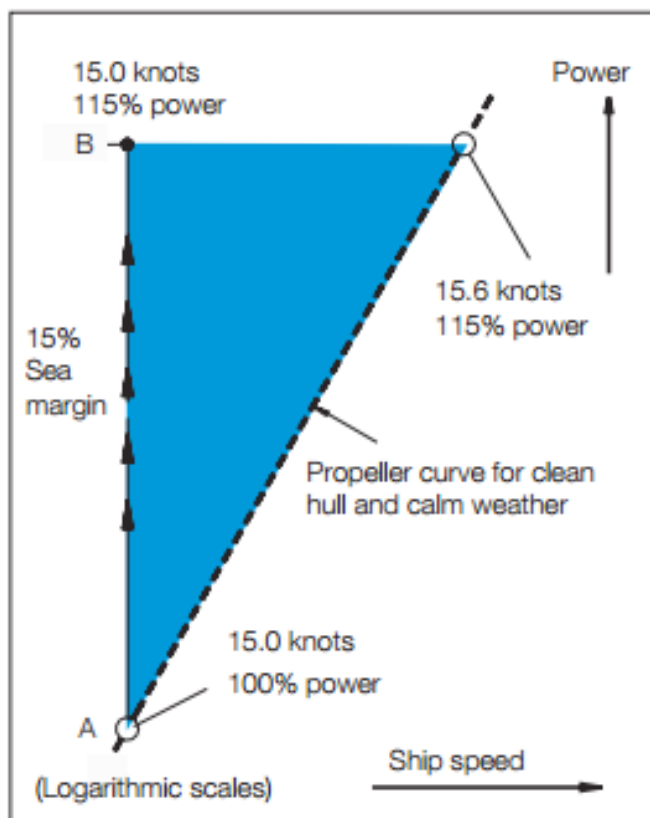
Δυσμενείς Συνθήκες Λειτουργίας και Απόδοση Έλικας

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την έλικα μπορεί να είναι είτε εξωτερικοί παράγοντες όπως για παράδειγμα η γάστρα του πλοίου που έχει ρυπανθεί είτε σε εσωτερικούς που σημαίνει πως η ίδια η έλικα έχει ρυπανθεί ή έχει πάθει κάποια βλάβη. Σε κάθε μια από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, η έλικα θα έχει υψηλή φόρτιση. Αυτό σημαίνει πως για την ίδια ποσότητα ισχύς στην έλικα, ο ρυθμός περιστροφής της θα είναι χαμηλότερος και ο νόμος της έλικας θα ισχύει για μια 'υψηλότερη' καμπύλη έλικας από αυτή που έχουμε για πιο ιδανικές συνθήκες (καθαρή γάστρα πλοίου, καθαρή έλικα). Οι ίδιες κατά αναλογία συνθήκες ισχύουν και όταν το πλοίο πλέει με άσχημο καιρό αντίθετα στο ρεύμα, σε ένα δυνατό άνεμο ή σε μεγάλα κύματα, όπου η αντίσταση κυματισμού μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη φόρτιση της έλικας από όταν έχουμε ήρεμο καιρό. Από την άλλη πλευρά όταν το πλοίο πλέει σε κατάσταση τερματισμού, έχοντας δηλαδή χαμηλότερο εκτόπισμα, τότε ο νόμος της έλικας ισχύει για μια 'χαμηλότερη' καμπύλη έλικας, δηλαδή για την ίδια ισχύ της έλικας έχουμε αύξηση του ρυθμού περιστροφής της. Ο νόμος της έλικας εφαρμόζεται κυρίως σε πλοία με έλικα που έχουν σταθερό βήμα και λειτουργούν σε μερική φόρτιση. Επιπλέον, ο νόμος χρησιμοποιείται και για το διάγραμμα φόρτισης και στο πεδίο που λειτουργούν οι κινητήρες Diesel, ώστε να προσδιοριστούν οι καμπύλες της λειτουργίας του κινητήρα για ένα πλοίο με καθαρή αλλά και με γάστρα που έχει ρυπανθεί (bblades.com).

4.1. Η απόδοση της έλικας σε γενικά αυξημένη αντίσταση πλοίου.

Οι καμπύλες έλικας με βαριά λειτουργία και έλικας με ελαφριά λειτουργία, παρουσιάζουν κάποια διαφορά, η οποία εξηγείται από ένα παράδειγμα, ενός πλοίου το οποίο καταλαμβάνει το 100% της ισχύος πρόωσης και ταξιδεύει με 15 κόμβους υπό συνθήκες που η γάστρα είναι καθαρή και ο καιρός ήρεμος. Με 15% επιπλέον ισχύ, η αντίστοιχη ταχύτητα του πλοίου μπορεί να σημειώσει αύξηση από 15 σε 15.6 κόμβους. Σύμφωνα με την ανάλυση που αφορά στην αύξηση της αντίστασης κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου, και συγκρίνοντάς το με τις συνθήκες όπου ο καιρός είναι ήρεμος, είναι λογικό να προστεθεί ένα ακόμη περιθώριο ισχύος, το οποίο λέγεται περιθώριο θάλασσας, και συνήθως επιλέγεται να είναι 15%. Το περιθώριο αυτό της ισχύος

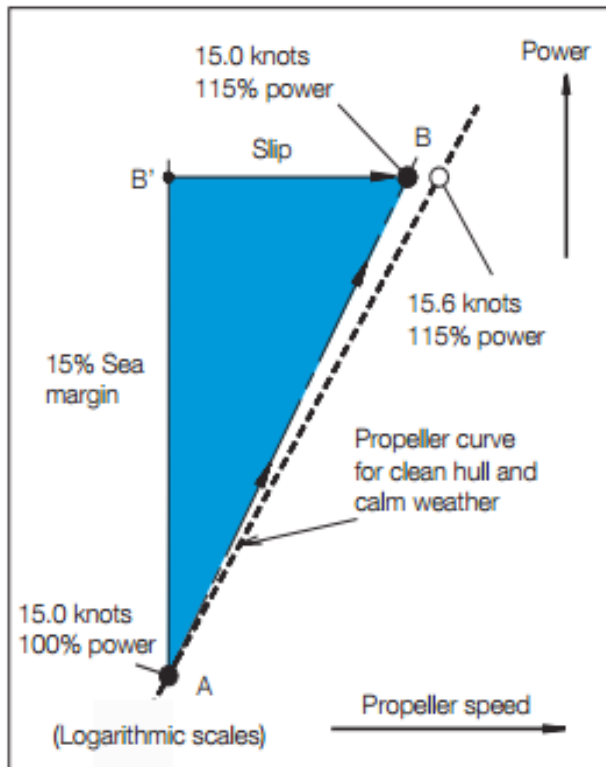
αναφέρεται στην πρόσθετη αντίσταση του πλοίου εξ αιτίας των συνθηκών του καιρού. Παρόλα αυτά, υπό συνθήκες όπου ο καιρός είναι πολύ άσχημος, η επίδραση στην αντίσταση μπορεί να είναι πολύ πιο μεγάλη. Στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω παρουσιάζεται η ισχύς πρόωσης συναρτήσει της ταχύτητας του πλοίου (αριστερή εικόνα 4.1.α). Εάν η αντίσταση του πλοίου αυξηθεί ως ένα βαθμό όπου απαιτείται ακόμη 15% ισχύς ώστε να διατηρηθεί η ταχύτητα των 15 κόμβων, τότε το σημείο λειτουργίας A μετακινείται προς το σημείο B. Στο



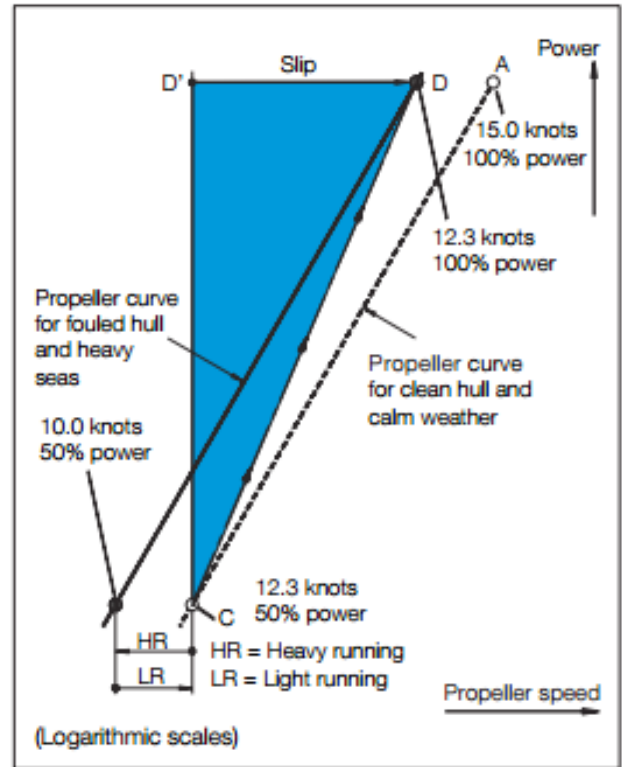
Εικόνα 4.1 α. Απόδοση έλικας

σχήμα που ακολουθεί παρακάτω παρουσιάζεται η ισχύς πρόωσης συναρτήσει της περιστροφικής ταχύτητας της έλικας (μεσαία εικόνα 4.1.β). Αρχικά, συνήθως θεωρείται ότι το σημείο A θα μετακινηθεί προς το B, εφόσον μια ταχύτητα της έλικας η οποία μεταβάλλεται σημαίνει, με αμετάβλητο βήμα, ότι η έλικα θα κινηθεί μέσα στο νερό με μια ταχύτητα χωρίς μεταβολές. Αν η έλικα ήταν όμοια με ένα ανοιχτήρι που ανοίγει φελλούς και κινούνταν μέσα σε ένα φελλό, η παραπάνω υπόθεση θα ήταν σωστή. Όμως το νερό, σε αντίθεση με τον φελλό, δεν αποτελεί στερεό σώμα, αλλά υποχωρεί, με

αποτέλεσμα η έλικα να παρουσιάζει μια ολίσθηση που σημειώνει αύξηση με την αυξανόμενη ώση η οποία προκαλείται από την αυξανόμενη αντίσταση της γάστρας. Γι' αυτό και το σημείο A θα κινηθεί προς το σημείο B, όπου στην πραγματικότητα βρίσκεται αρκετά κοντά στην καμπύλη της έλικας η οποία περνάει από το σημείο A. Το σημείο B θα βρίσκεται σε μια καμπύλη της έλικας η οποία είναι λίγο βαρύτερη, συγκρίνοντάς την με την καμπύλη μιας γάστρας η οποία είναι καθαρή και οι καιρικές συνθήκες είναι ήρεμες (MAN Diesel & Turbo, 2012). Ορισμένες φορές, όπως στην περίπτωση που η γάστρα του πλοίου έχει ρυπανθεί και το πλοίο ταξιδεύει με άσχημες καιρικές συνθήκες και μετωπικούς ανέμους, η αύξηση της αντίστασης μπορεί να είναι αρκετά πιο μεγάλη, με αποτέλεσμα η αύξηση της ισχύος που απαιτείται μπορεί να είναι φτάσει έως και το 100% ή και μεγαλύτερη. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4.1 β. Απόδοση έλικας



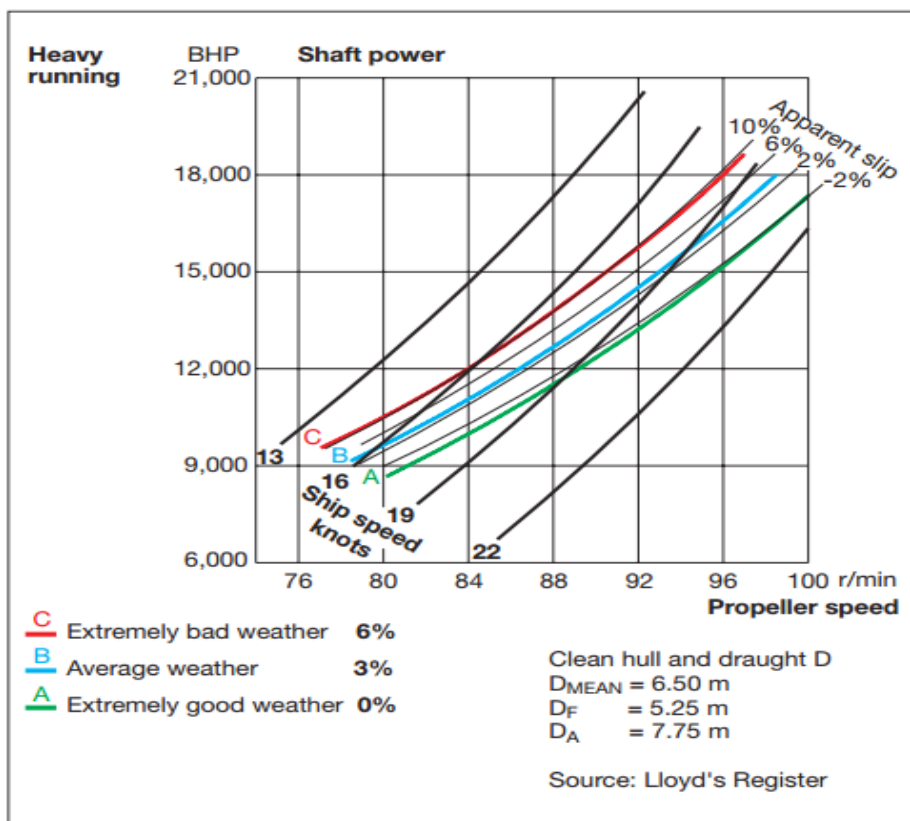
Εικόνα 4.1 γ. Απόδοση έλικας

Στο παραπάνω παράδειγμα, όπου το 100% της ισχύος θα έχει ως αποτέλεσμα μια ταχύτητα πλοίου 15 κόμβων (σημείο A), μια ταχύτητα πλοίου, όπως 12.3 κόμβων σε κατάσταση όπου η γάστρα είναι καθαρή και ο καιρός είναι ήρεμος (σημείο C), θα χρειάζεται περίπου 50% ισχύος πρόωσης. Όμως, υπό συνθήκες όπου ο καιρός είναι άσχημος, είναι εφικτό να αποκτήσει ταχύτητα 12.3 κόμβων μόνο με το 100% της ισχύος πρόωσης. Αυτό σημαίνει ότι για 100% ισχύ πηγαίνει από το σημείο A στο σημείο D. Το σημείο λειτουργίας D μπορεί να βρίσκεται σχετικά μακριά από το σημείο A, στα αριστερά του (αρκετά βαριά λειτουργία). Μια τέτοιου είδους κατάσταση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε περίπτωση που έχει επιλεγθεί κινητήρας για μια δεδομένη έλικα. Μια έλικα «skewed» είναι περισσότερο ευαίσθητη σε κατάσταση βαριάς λειτουργίας, συγκρινόμενη με μια συνηθισμένη έλικα, διότι από την έλικα απορροφάται η μεγαλύτερη ροπή υπό συνθήκες βαριάς λειτουργίας. Για μια έλικα σε δακτύλιο ισχύει το αντίστροφο.

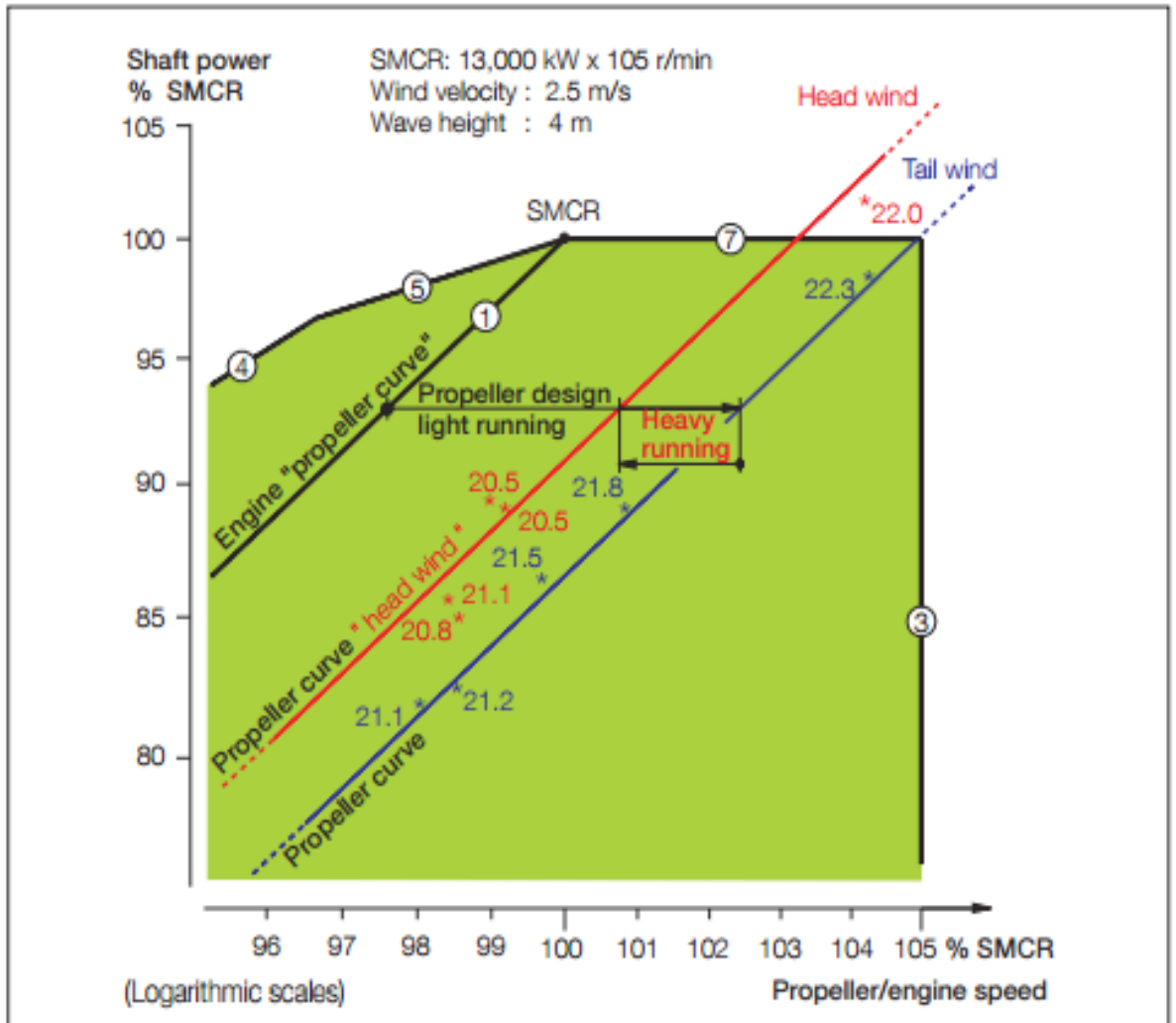
4.2. Ο καιρός

Όταν ένα πλοίο ταξιδεύει υπό άσχημες καιρικές συνθήκες, τότε προστίθεται ένα ακόμη περιθώριο ισχύος, που είναι συνήθως 15%, και ονομάζεται περιθώριο θάλασσας. Το περιθώριο θάλασσας αφορά την κάλυψη της πρόσθετης αντίστασης που θα υπάρχει εξ αιτίας των άσχημων καιρικών συνθηκών. Όμως, στην περίπτωση πολύ άσχημων καιρικών συνθηκών, ενδεχομένως η επίδραση στην αντίσταση του πλοίου να είναι αρκετά πιο μεγάλη.

Επιπλέον, εάν ο καιρός είναι άσχημος, ή γενικά υπάρχει αυξημένη αντίσταση, τότε θα υπάρχει και αύξηση της ολίσθησης της έλικας εξ αιτίας της αυξανόμενης ώσης που προκαλεί η αύξηση της αντίστασης του πλοίου. Τέλος, υπό άσχημες καιρικές συνθήκες και με γάστρα η οποία έχει ρυπανθεί, ενδεχομένως η αύξηση της ισχύος που απαιτείται να φτάνει ακόμα και το 100% ή και μεγαλύτερη. Ακόμη, εάν το πλοίο ταξιδεύει κάτω από άσχημες καιρικές συνθήκες αντίθετα στο ρεύμα, με υψηλή αντίσταση κυματισμού, η πρόσθετη φόρτιση σε σύγκριση με την περίπτωση που ο καιρός είναι καλός, φτάνει το 7÷8%, με αποτέλεσμα ο ρυθμός με τον οποίο περιστρέφεται η έλικα να μειώνεται κατά το ίδιο ποσοστό. Υπό τέτοιες συνθήκες, για την αποφυγή σφυρόκρουσης του πλοίου και ζημιών στην πλώρα, και υπερτάχυνση της έλικας, ο καπετάνιος μειώνει την ταχύτητα του πλοίου.



Εικόνα 4.2. Λειτουργικά δεδομένα ενός μονέλικου πλοίου εμπορευματοκιβωτίων κατά την διάρκεια ενός έτους

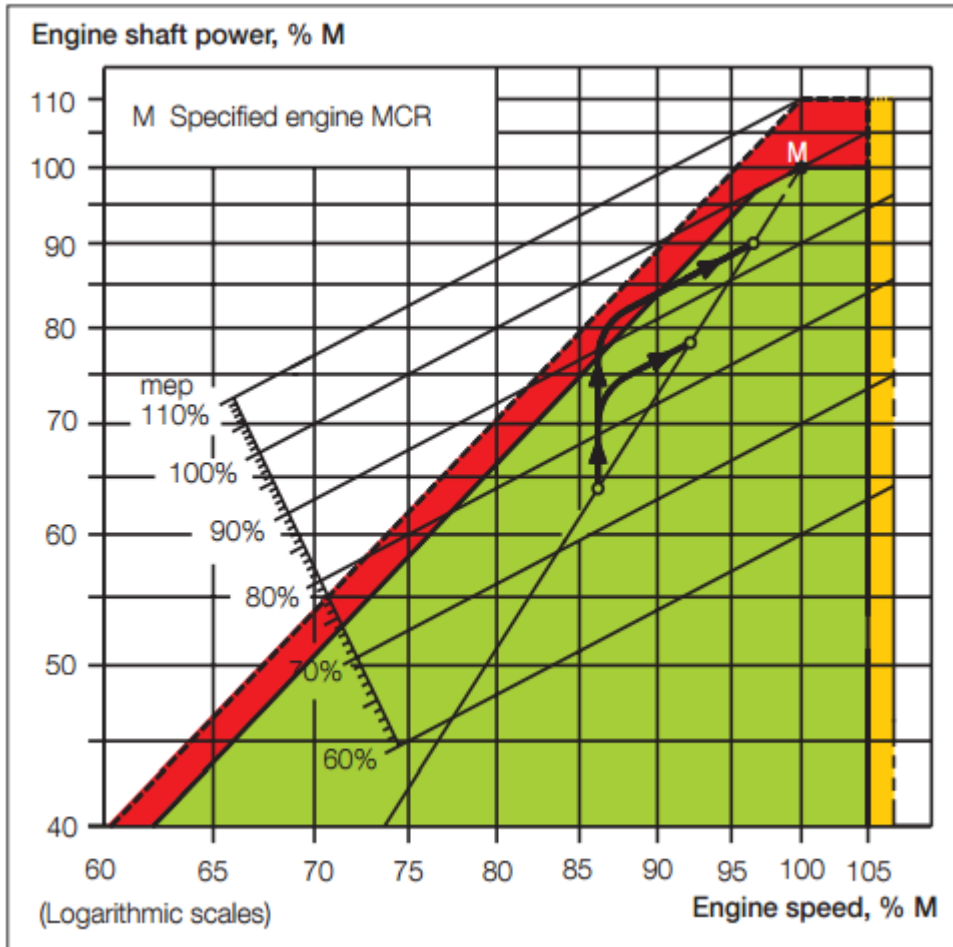


Εικόνα 4.3. Σχέση ισχύος, περιστροφικής ταχύτητας έλικας και ταχύτητας πλοίου κατά την διάρκεια δοκιμών θαλάσσης πλοίου ψυγείου.

4.3. Η επιτάχυνση

Ακόμη ένας παράγοντας που βρίσκει επίδραση πάνω στον νόμο της έλικας, είναι η επιτάχυνση του πλοίου. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν το πλοίο επιταχύνεται, η φόρτιση της έλικας είναι μεγαλύτερη, απ' την περίπτωση όπου το πλοίο έχει μία σταθερή ταχύτητα, με αποτέλεσμα το σημείο στο οποίο λειτουργεί ο κινητήρας να αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη φόρτιση, αφού χρειάζεται κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε η έλικα να αυξήσει την ταχύτητά της.

Επιπλέον, όταν το πλοίο πλέει σε νερά τα οποία είναι ρηχά, τότε η φόρτιση της έλικας αυξάνεται εξ αιτίας της υπόλοιπης αντίστασής του η οποία επίσης αυξάνεται (Ν.Π. Κυρτάτος, 2012).



Εικόνα 4.4. Διάγραμμα φόρτισης – επιτάχυνση

4.4. Το εκτόπισμα

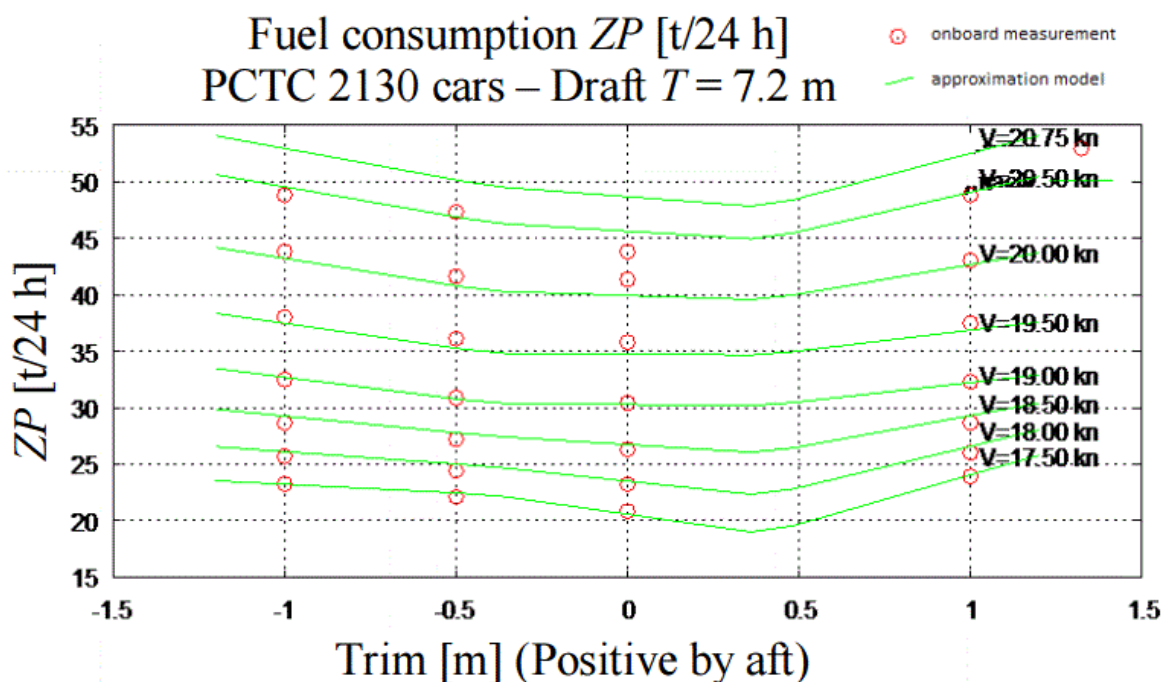
Ακόμη μία επίδραση πάνω στο νόμο της έλικας, είναι αυτή του εκτοπίσματος. Ένα πλοίο το οποίο βρίσκεται σε έμφορτη κατάσταση μπορεί να έχει, παραδείγματος χάριν, 10% περισσότερο ή λιγότερο όγκο εκτοπίσματος από εκείνον που υπάρχει στην μέση έμφορτη κατάσταση. Άρα θα επιδρά στην αντίσταση του πλοίου και συνεπώς και στην ισχύ που απαιτείται, αλλά η επίδραση στον νόμο της έλικας θα είναι μικρή. Αν το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ερματισμού, θα έχει ως αποτέλεσμα ο όγκος εκτοπίσματός του να είναι πιθανώς, για παράδειγμα 2% μικρότερος σε σύγκριση με εκείνον σε έμφορτη κατάσταση και άρα, για την ίδια ισχύ έλικας, θα αυξηθεί ο ρυθμός με τον οποίο περιστρέφεται κατά 2%.

4.5 Η επίδραση της διαγωγής ενός πλοίου.

Η διαγωγή ενός πλοίου είναι μία παράμετρος που σημαντικά επηρεάζει τη συνολική αντίσταση του πλοίου την φορτίση της ελικας και επιμέρους την κατανάλωση των καυσίμων ενώ βρίσκεται σε λειτουργία. Τα αποτελέσματα από τις εν πλω εγγραφές, που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1 δείχνουν πως για μια προκαθορισμένη μετατόπιση και συνεχή ταχύτητα του πλοίου, αλλαγή στην διαγωγή του πλοίου προκαλεί τις αλλαγές στην κατανάλωση των καυσίμων που κυμαίνονται από 3 έως 7 τοις εκατό. Αυτή η αλλαγή είναι σημαντική όσον αφορά το κόστος λειτουργίας. Δυστυχώς, η επίδραση της διαγωγής του πλοίου δεν μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί στο στάδιο της σχεδίασης του πλοίου.

Η επίδραση της διαγωγής του πλοίου στην κατανάλωση καυσίμου ποικίλει σημαντικά από τα δύο, την αλλαγή της ταχύτητας και το βύθισμα του σκάφους. Ο ποιοτικός προσδιορισμός αυτών των σχέσεων απαιτεί πολύπλοκες αριθμητικές πράξεις.

Η απόκτηση ποσοτικών δεδομένων απαιτεί την εκτέλεση και διεξαγωγή τεστ/πειραμάτων αντίστασης και ώθησης για μεγάλο εύρος ταχυτήτων, βυθισμάτων και διαγωγών. Εξαιτίας περιορισμών όπως το κόστος και ο χρόνος, τέτοια τεστ/πειράματα σπάνια διεξάγονται. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η επίδραση της διαγωγής στην κατανάλωση καυσίμων είναι σημαντική για τον χειριστή, ιδιοκτήτη ή ναυλωτή, ο οποίος δεν έχει συνήθως ενεργό ρόλο στον κύκλο εργασιών σχεδίασης του πλοίου, όταν οι υδρομηχανικές αναλύσεις λαμβάνουν χώρα.



Σχ. 4.1 Κατανάλωση καυσίμων σε διαφορετικές τιμές διαγωγής

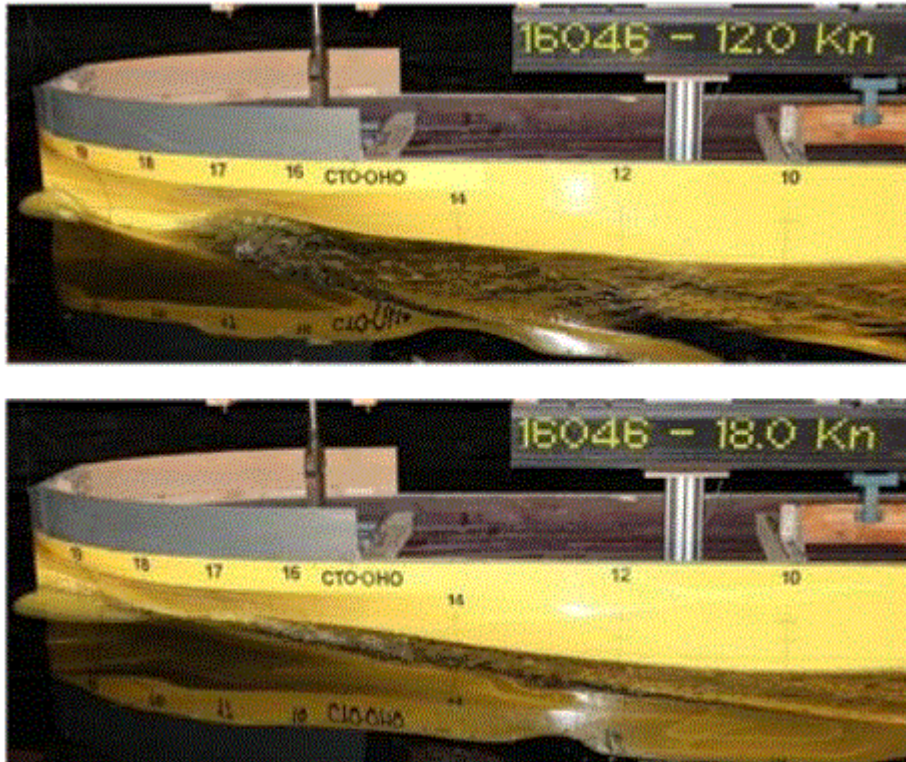
Η δυσκολία στον προσδιορισμό της επίδρασης της διαγωγής στην κατανάλωση καυσίμων προσδίδεται κυρίως στην πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του σκελετού του πλοίου. Η εξάσκηση του σχεδιασμού δείχνει πως το σχήμα του σκελετού του πλοίου, σχεδιασμένο και βελτιστοποιημένο για τις παραμέτρους (ταχύτητας και βυθίσματος) όπως ορίζεται στο συμβόλαιο, διατηρεί τις ωφέλιμες ιδιότητες με μικρή διαφοροποίηση από αυτές τις παραμέτρους. Σημαντικές αλλαγές στις ναυτιλιακές παραμέτρους (μειωμένο βύθισμα και ταχύτητα) οδηγούν στην μη σωστή λειτουργία του σκελετού, ο οποίος βελτιστοποιήθηκε για να βεβαιώσει τις ελάχιστες απώλειες σε ροή και να έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλή κατανάλωση καυσίμων.

4.5.1 Η επίδραση της βύθισης της βολβοειδούς πλώρας

Ένα πρωταρχικό παράδειγμα του φαινομένου που προαναφέρθηκε είναι η ροή γύρω από την «μπάλα του πλοίου». Τέτοιου είδους παρειά είναι ένα τυπικό στοιχείο της γεωμετρίας του σκελετού του σκάφους από τα περισσότερα φορτηγά πλοία που λειτουργούν με σχετική ταχύτητα (σύμφωνα με τους αριθμούς του Froude) πάνω από 0.2.

Ο κύριος σκοπός της εφαρμογής του βολβού είναι η μείωση του κύματος κάνοντας συστατικό της αντίστασης, δημιουργώντας μία περιοχή με υψηλή πίεση μπροστά από την πλώρη και συνεπώς, ένα επιπρόσθετο κύμα το οποίο μέσα από ευνοϊκή παρεμβολή με το κύμα που δημιουργείται από το κινούμενο σώμα, χαμηλώνει το ύψος του κύματος στην πλώρη.

Κύριοι παράγοντες για την ποιότητα για την σταθερή γεωμετρία του βολβοειδούς αυτού σχήματος, είναι η βύθισή του κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού και την ταχύτητα της ροής γύρω από αυτήν (η ίδια με την ταχύτητα του πλοίου). Η βύθιση του βολβού πρέπει να προσαρμοστεί στην πραγματική ταχύτητα του σκάφους ούτως ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να λάβουμε υπόψιν το φαινόμενο της δυναμικής διαγωγής και βύθισης που σχετίζονται με την παραγωγή πεδίου πίεσης στην επιφάνεια του κινούμενου σκάφους. Αλλαγή στην διαγωγή του πλοίου, επιτρέπει την προσαρμογή της βύθισης του πλοίου στην τωρινή ταχύτητα.



Εικ 4.5 Απόδοση βολβου σε μη-ιδανική(πάνω) και ιδανική ταχύτητα (κάτω) (Wojciech Górski , Teresa Abramowicz-Gerigk , Zbigniew Burciu ,The influence of ship operational parameters on fuel consumption, 2013)

Η εικόνα 4.5 παρουσιάζει μία άποψη του συστήματος των κυμάτων της πλώρης που δημιουργείται καθώς ο σκελετός του σκάφους κινείται σε δύο ταχύτητες και από το ίδιο αρχικό ρεύμα. Παρά την σημαντικά μειωμένη ταχύτητα το σύστημα των κυμάτων της πλώρης είναι αρκετά πιο περίπλοκο. Πιο συγκεκριμένα, για ταχύτητα 12 κόμβων με ένα μικρό κύμα με βαθύ κοίλο παρουσιάζεται στην περιοχή του θεωρητικού πλαισίου $18 \frac{1}{2}$.

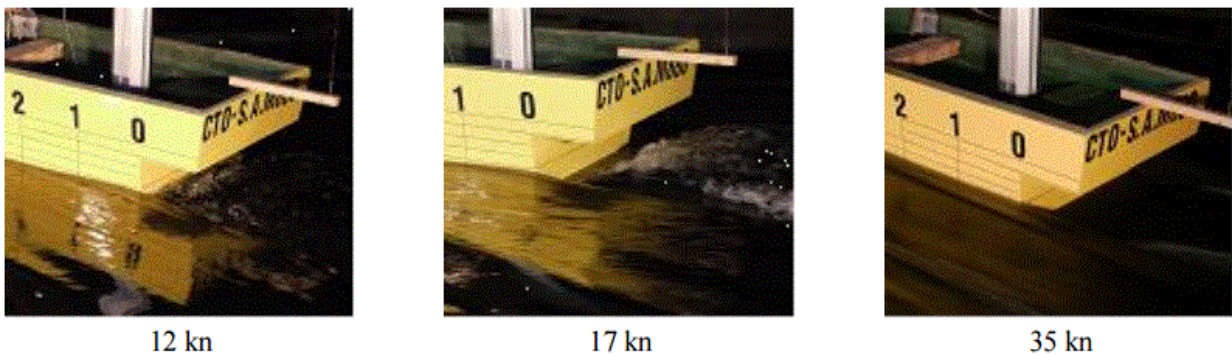
Αυτό το πρότυπο είναι χαρακτηριστικό για την ροή γύρω από τον βολβό που βρίσκεται υπερβολικά κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια. Σ'αυτή την περίπτωση, αλλαγή στην διαγωγή έχει ως αποτέλεσμα στην αυξημένη βύθιση του βολβού που ως επακόλουθο θα έχει την μειωμένη ανάπτυξη του συστήματος κυμάτων και τελικά χαμηλή ολική αντίσταση του σκάφους.

Η επιλογή της διαγωγής του πλοίου σε αντιστοιχία με την σωστή βύθιση της βολβοειδούς πλώρης δεν εγγυάται αυτόματα την μείωση στην κατανάλωση καυσίμων. Πέρα από τον βολβό υπάρχουν κι άλλα στοιχεία της γεωμετρίας του σκελετού του σκάφους γύρω, τα οποία η ροή αλλάζει σημαντικά με την διαγωγή και συνεπώς επηρεάζει την αντίσταση του σκάφους και την κατανάλωση των καυσίμων.

4.5.2 Η επίδραση της βύθισης της πρύμνης

Άλλα στοιχεία κλειδιά αναφορικά με αυτό το θέμα είναι η πρύμνη. Αντίσταση της ροής γύρω από την περιοχή της πρύμνης εξαρτάται, όπως και στην περίπτωση του βολβού, και από την ταχύτητα και από την βύθιση. Στην χειρότερη περίπτωση, όταν η ταχύτητα της ροής γύρω από το βυθισμένο κομμάτι του καθρέφτη είναι σε πολύ χαμηλή περιοχή της δυνατής και γεμάτη αναταράξεις ροή, σημαντική μείωση στην πίεση μπορεί να παρατηρηθεί. Καθώς η κανονική επιφάνεια του καθρέφτη είναι σχεδόν κάθετη στην κατεύθυνση της κίνησης του σκάφους, η πτώση της πίεσης σε αυτή την περιοχή, αυξάνει σημαντικά την αντίσταση του σκελετού του σκάφους.

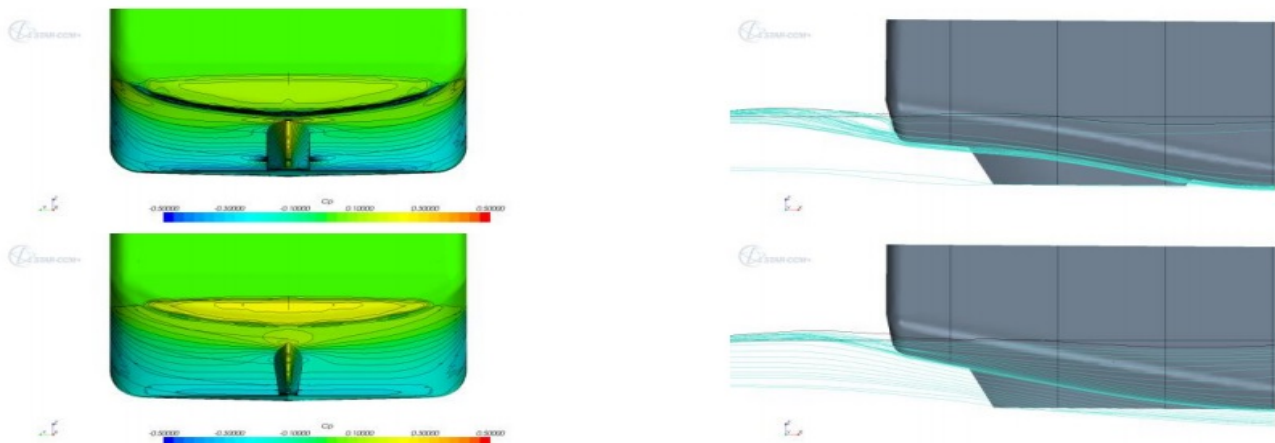
Φαινόμενα που συσχετίζονται με την ροή γύρω από το καθρέπτη της πρύμνης, παρατηρούνται σε δοκιμαστικά τεστ και παρουσιάζονται στην εικόνα 4.6 Αρχικά, σε χαμηλές ταχύτητες, αναταραγμένη ροή σε μεγάλο βαθμό μπορεί να παρατηρηθεί πίσω από το καθρέπτη, το οποίο αφού βρεθεί σε επαρκώς υψηλή ταχύτητα, χωρίζεται. Η προσομοίωση χρησιμοποιώντας εργαλεία υπολογιστικής δυναμικής των ρευστών επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση αυτού του φαινομένου.



Εικ. 4.6 Σύστημα κυματισμών πρύμνης (Wojciech Górski , Teresa Abramowicz-Gerigk , Zbigniew Burciu ,The influence of ship operational parameters on fuel consumption ,2013)

Η εικόνα 4.7 παρουσιάζει το πεδίο πίεσης και την κατεύθυνση της ροής για μεγάλο βαθμού διαταραχή (πάνω σειρά) και αποκομμένη (κάτω σειρά) ροή πίσω από το καθρέπτη. Οι υπολογισμοί διεξήχθησαν σε CTO SA με την χρήση κώδικα CDF ANSYS STAR-CCM+ λαμβάνοντας υπόψιν την παραμόρφωση της ελεύθερης επιφάνειας και την δυναμική διαγωγή και βύθιση του σκελετού του σκάφους. Τα αποτελέσματα που

παρουσιάζονται είναι ένα μέρος της βασικής διαδικασίας βελτιστοποίησης της μορφής του σκάφους.



Εικ 4.7 Ροή γύρω από την πρύμνη - αριστερά, πεδίο πιέσεων - δεξιά, γραμμές ροής
(Wojciech Górski , Teresa Abramowicz-Gerigk , Zbigniew Burciu , The influence of ship operational parameters on fuel consumption, 2013)

Η εμφάνιση διαταραγμένης ροής πίσω από το καθρέφτη προκαλεί μία σημαντική αύξηση στην αντίσταση εξαιτίας της παρουσίας δίνης και έχοντας σαν αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης. Μία μειωμένη πίεση επιδρά στην βρεγμένη επιφάνεια του καθρεπτη καταλήγοντας σε μία δύναμη που κατευθύνεται αντίθετα στην κατεύθυνση της ροής.

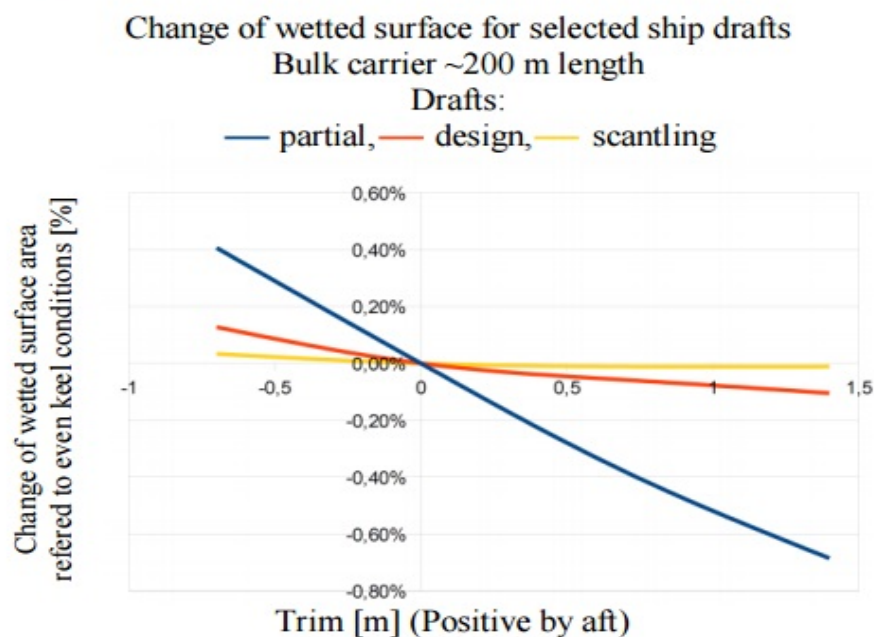
Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας κατά νου την οριζόντια λειτουργία στο πίσω μέρος της πρύμνης, μία σημαντική αύξηση της διαγωγής μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση στην ίσαλο γραμμή και επομένως στην αύξηση του αριθμού του Froude που χαρακτηρίζει την ροή γύρω από το σκάφος και την επακόλουθη αύξηση στην αντίσταση των κυμάτων.

Προσαρμογές στην διαγωγή επίσης επηρεάζουν, αν και σε μικρότερο βαθμό, άλλους παράγοντες που οδηγούν στην αλλαγή της αντίστασης του σκάφους και στην αλλαγή της κατανάλωσης καυσίμων. Αν και οι επόμενοι λόγοι δεν έχουν συνήθως καθοριστική επίδραση σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορούν να επηρεάσουν την κατανάλωση καυσίμων.

Εξαιτίας του πολύπλοκου, ασύμμετρου, αναφορικά με το μέσο του πλοίου, σχήμα του σκελετού του σκάφους, αλλαγή στην διαγωγή, παρά έχοντας την ίδια μετατόπιση / εκτόπισμα (π.χ. πραγματοποιημένο μετακινώντας μάζα μέσα στο σκάφος), προκαλεί αλλαγή στην θάλασσα. Καθώς η αντίσταση τριβής είναι σε γραμμική συνάρτηση με την βρεγμένη επιφάνεια, οι σημαντικές αλλαγές επηρεάζουν την αντίσταση και επομένως το επίπεδο κατανάλωσης καυσίμων. Στην πράξη, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2 , όπου

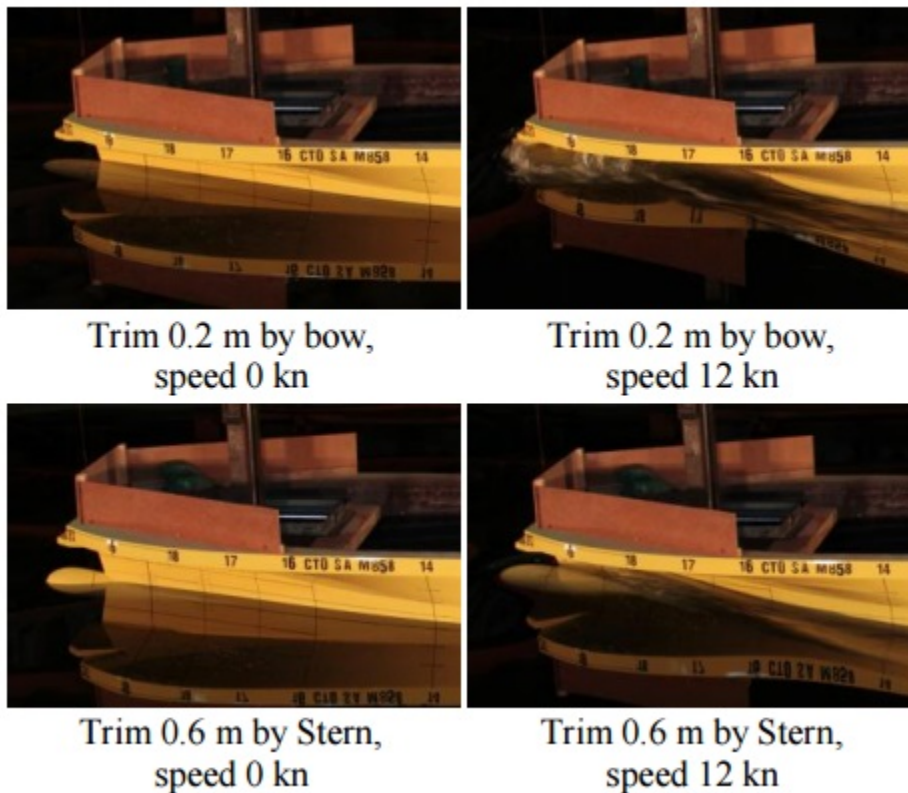
παρουσιάζονται αλλαγές στη βρεγμένη επιφάνεια του πλοίου μεταφοράς χύδην σε ορισμένες λειτουργικές περιπτώσεις, αυτές οι αλλαγές δεν είναι σημαντικές.

Σε περίπτωση μιας σημαντικής διαγωγής της πλώρης του πλοίου, όχι μόνο παράγεται έλλειψη της θετικής επίδρασης του βολβού στο σύστημα των κυμάτων εξαιτίας της βαθιάς βύθισης, αλλά θα πρέπει να προσδοκάται και επιπρόσθετη αντίσταση από την ροή γύρω από το ευρύτερο ανώτερο μέρος της πλώρης.



Σχ 4.2 Επίδραση της διαγωγής στο μέγεθος της βρεχόμενης επιφάνειας πλοίου

Το κύμα που παράγεται σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στην εικόνα 4.8 Η πρακτική δείχνει, παρόλα αυτά, πως σημαντική διαγωγή στην πλώρη δεν χρησιμοποιείται, ειδικά σε κακές καιρικές συνθήκες εξαιτίας της μείωση των εξάλων και του κινδύνου της πλημμύρας του μπροστινού καταστρώματος της πλώρης.



Εικ 4.8 Σύστημα κυματισμών πλώρης (Wojciech Górski , Teresa Abramowicz-Gerigk , Zbigniew Burciu ,The influence of ship operational parameters on fuel consumption 2013)

4.5.3 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την διαγωγή

Ανάμεσα στους εξαρτώμενους για την διαγωγή παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση του πλοίου και επομένως την επιβάρυνση της έλικας είναι η ροή γύρω από τα παραρτήματα. Αυτά τα στοιχεία είναι μικρά, σε σύγκριση με το μέγεθος του κύριου σκελετού και τοποθετούνται στην επιφάνεια. Παραδείγματα κοινών παραρτημάτων είναι οι καρίνες, κονσόλες πηδαλίων ή στηρίγματα του άξονα. Αυτά τα στοιχεία είναι προσανατολισμένα κατά τέτοιο τρόπο που η θέση τους είναι ευθυγραμμισμένη με την ομαλή ροή γύρω από τον σκελετό του πλοίου.

Μ' αυτό τον τρόπο, η πίεση της αντίστασης ελαχιστοποιείται και η ολική αντίσταση των παραρτημάτων είναι σχεδόν ίση με την αντίσταση τριβής από την επίπεδη επιφάνεια της ίδιας περιοχής. Σε περίπτωση στοιχείων με μικρή έκταση στην κατεύθυνση της ροής, ο παράγοντας σχήματος πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Παρόλα αυτά, σε περίπτωση που το πλοίο λειτουργεί σε συνθήκες πολύ διαφορετικές από εκείνες που η θέση και η ευθυγράμμιση των παραρτημάτων έχουν σχεδιαστεί, μία αύξηση στην αντίδραση πρέπει να αναμένεται.

Σημαντικές αλλαγές στην διαγωγή επίσης επηρεάζουν, ακόμα και ελάχιστα, την αποτελεσματικότητα της προπέλας. Με την αύξηση της διαγωγής, αλλάζει η κατεύθυνση της ροής του νερού στην προπέλα, προκαλώντας την αύξηση της εγκάρσιας ταχύτητας των παρατημάτων της ροής. Μπορεί να προκαλέσει αυξημένο κίνδυνο σπηλαιώσης. Επιπροσθέτως, η κατεύθυνση της ενέργειας που παράγεται από την προπέλα, δεν είναι παράλληλη με την κατεύθυνση της κίνησης του πλοίου και επομένως η αποτελεσματική δύναμη της ώθησης μειώνεται.

4.6 Επιπλέον παράμετροι

Επίσης, υπάρχουν ορισμένοι παράμετροι οι οποίοι αυξάνουν τη φόρτιση στην έλικα. Οι παράμετροι αυτοί αποτελούν ένα δείκτη ευαισθησίας ο οποίος εμφανίζει αύξηση στη φόρτιση της έλικας κατά την διάρκεια που το πλοίο ταξιδεύει υπό άσχημες καιρικές συνθήκες. Γι' αυτό και τα μικρά πλοία είναι περισσότερο ευαίσθητα, απ' ό,τι τα μεγάλα πλοία, σε περίπτωση που τα κύματα είναι σχετικά μικρά σε σύγκριση με το μέγεθός τους.

Επιπλέον, τα μικρά πλοία έχουν και μικρή κατευθυντική ευστάθεια, με αποτέλεσμα να απαιτούνται συχνά διορθώσεις στο πηδάλιο ώστε να αυξάνεται η αντίστασή τους.

Ακόμη, τα πλοία που έχουν μεγάλη ταχύτητα είναι περισσότερο ευαίσθητα από εκείνα που κινούνται με αργή ταχύτητα, διότι τα κύματα ασκούν περισσότερη δύναμη σε γρήγορα πλοία. Ως γνωστόν, τα πλοία που έχουν επίπεδη πλώρη, σημειώνουν γρηγορότερη επιβράδυνση λόγω των κυμάτων, σε σύγκριση με τα πλοία που έχουν πιο οξεία πλώρη. Για το λόγο αυτό η χρήση ενός βολβού που έχει σχήμα πέλεκου, μπορεί να μειώσει την τάση που έχει η φόρτιση να αυξάνεται, αφού θα έκοβε καλύτερα τα κύματα.

Ακόμη μία παράμετρος είναι η ρύπανση της γάστρας και της έλικας, που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντίσταση. Τέλος, τα πλοία που έχουν έλικα αποτελούμενη από πτερύγια κεκκαμένης χορδής, μπορούν να απορροφήσουν περισσότερη ροπή όταν η φόρτιση παρουσιάζει αύξηση.

Κλείνοντας, θα γίνει αναφορά στην ταχύτητα που αφορά τους ελιγμούς και την πλευρική ώση. Η ταχύτητα των ελιγμών είναι η ταχύτητα κατά την οποία η ικανότητα του πηδαλίου δεν είναι ικανοποιητική για να στρίψει το πλοίο, αφού η ταχύτητα που έχει το νερό το οποίο φθάνει στο πηδάλιο είναι αρκετά χαμηλή. Αν και είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί αυτή η ταχύτητα, αφού είναι εξαρτώμενη από το ομόρρου της έλικας, συνήθως ως ταχύτητα των ελιγμών αναφέρονται οι τιμές των 3,5÷4,5 κόμβων. Άρα, εφόσον η ταχύτητα των ελιγμών είναι μικρή, σύμφωνα με τον νόμο της έλικας,

συμπεραίνεται ότι απαιτείται και χαμηλή ισχύς πρόωσης, που όμως θα είναι πιο μεγάλη για λειτουργία με μεγάλη αντίσταση του πλοίου.

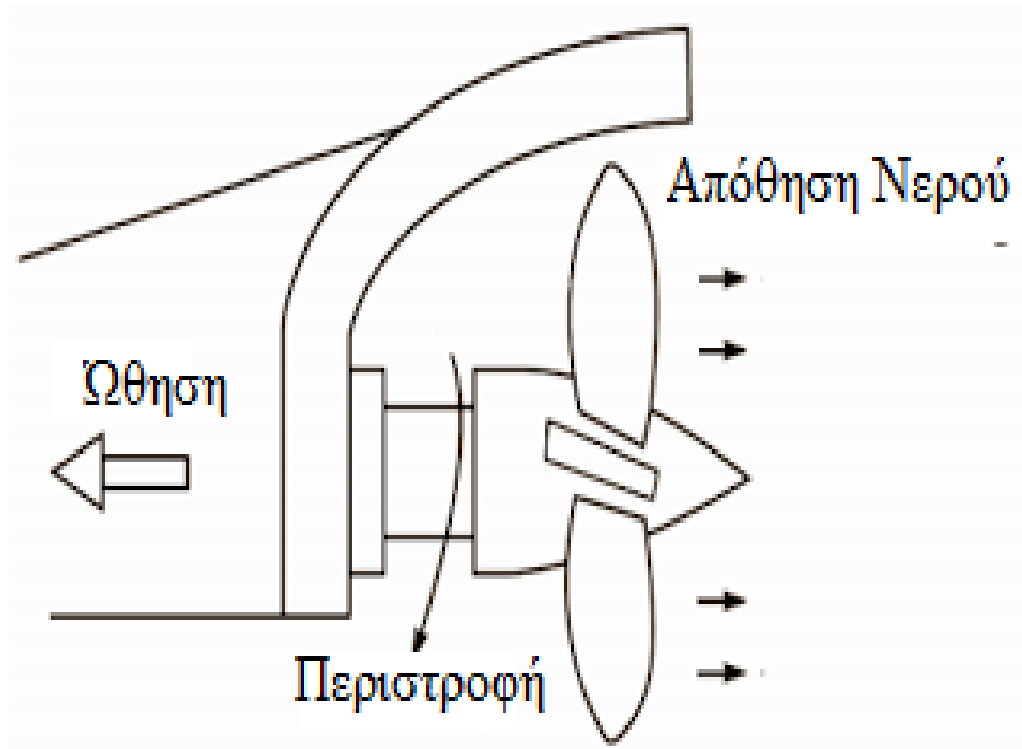
Όσον αφορά την πλευρική ώση, αυτή είναι το αποτέλεσμα, όταν ένα πλοίο ταξιδεύει, τα πτερύγιά του λειτουργούν καλύτερα στην χαμηλότερη θέση από ότι στην υψηλότερη, στην οποία εμποδίζεται η ομαλή ροή του νερού από τη γάστρα. Συνεπώς, η πλευρική ώση αυξάνεται τόσο, όσο το νερό γίνεται ρηχότερο, όπως συμβαίνει στους ελιγμούς μέσα στα λιμάνια. Οπότε, για μία έλικα που κινείται δεξιόστροφα, δηλαδή σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού, κοιτώντας από την πρύμνη προς την πλώρα, θα έχει ως αποτέλεσμα να σπρώχνει την πρύμνη του πλοίου προς τα δεξιά. Αυτό σημαίνει ότι η πλώρα θα στραφεί προς τα αριστερά κατά τη διάρκεια κανονικής πλεύσης. Αυτό το φαινόμενο θα πρέπει να αντισταθμιστεί από το πηδάλιο. Από την άλλη, αντίστοιχα, για μία έλικα που κινείται αριστερόστροφα, η πλευρική ώση αυξάνεται όσο μειώνεται η ταχύτητα του πλοίου (Ν.Π. Κυρτάτος, Αθήνα , 2012). Η πλευρική ώση κατά την ανάστροφη λειτουργία μιας έλικας δημιουργείται λόγω του ότι το επάνω τμήμα του ομόρρου της έλικας χτυπά την πρύμνη του πλοίου. Τέλος οι έλικες που κινούνται με σταθερό βήμα σχεδιάζονται με δεξιόστροφη κίνηση ώστε να πλέουν προς τα εμπρός, ενώ οι έλικες που μεταβάλλουν το βήμα τους, σχεδιάζονται με αριστερόστροφη κίνηση.

Κεφάλαιο 5

Πρόωση και Σχεδίαση Έλικας

5.1. Το σημείο σχεδίασεως της έλικας (propeller design, P_D)

Ο υπολογισμός της ισχύς της έλικας καθώς επίσης και της ταχύτητας είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί σε πραγματικές συνθήκες και για το λόγο αυτό οι εκτιμήσεις που έχουμε στη διάθεσή μας στηρίζονται είτε στη θεωρία είτε σε πειράματα σε ελεγχόμενες δεξαμενές. Προκειμένου βέβαια να υπολογιστεί η ισχύς και η ταχύτητα λαμβάνουμε υπόψιν τις ιδανικές συνθήκες όπως είναι ο καιρός ή άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάζουν την ταχύτητα όπως είναι για παράδειγμα η καθαρότητα της γάστρας. Στη σχεδίαση της έλικας λαμβάνεται υπόψιν και ένα περιθώριο μη ιδανικών συνθηκών προκειμένου να μπορεί να ανταπεξέλθει σε πραγματικές συνθήκες (Ν.Π. Κυρτάτος, Αθήνα , 2012)..



Εικόνα 5.1. Τρόπος λειτουργίας έλικας και πρόωση πλοίου

5.2. Σημαντικοί Συντελεστές της έλικας

5.2.1. Γάστρα

Όπως μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό, είναι πολύ σημαντικό το πλοίο να έχει καθαρή γάστρα και έλικα. Μια ρυπασμένη γάστρα σε συνδυασμό με μια ρυπασμένη έλικα επιβαρύνουν το φορτίο της έλικας και προκαλούν αυξημένη αντίσταση με αποτέλεσμα να καταναλώνεται περισσότερη ισχύ. Αυτά τα στοιχεία αν συνδυαστούν και με δυνατούς, αντίθετους ανέμους τότε η έλικα λειτουργεί με αυξημένη φόρτιση (Heavy Running, HR). Άλλος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας επιβάρυνσης της έλικας είναι η τραχύτητα της επιφάνειας της γάστρας. Αυτός είναι και ο λόγος που στα ναυπηγεία, όταν δοκιμάζουν ένα πλοίο, η γάστρα είναι λεία και καθαρή προκειμένου να δοκιμάζεται η πραγματική ισχύς του.

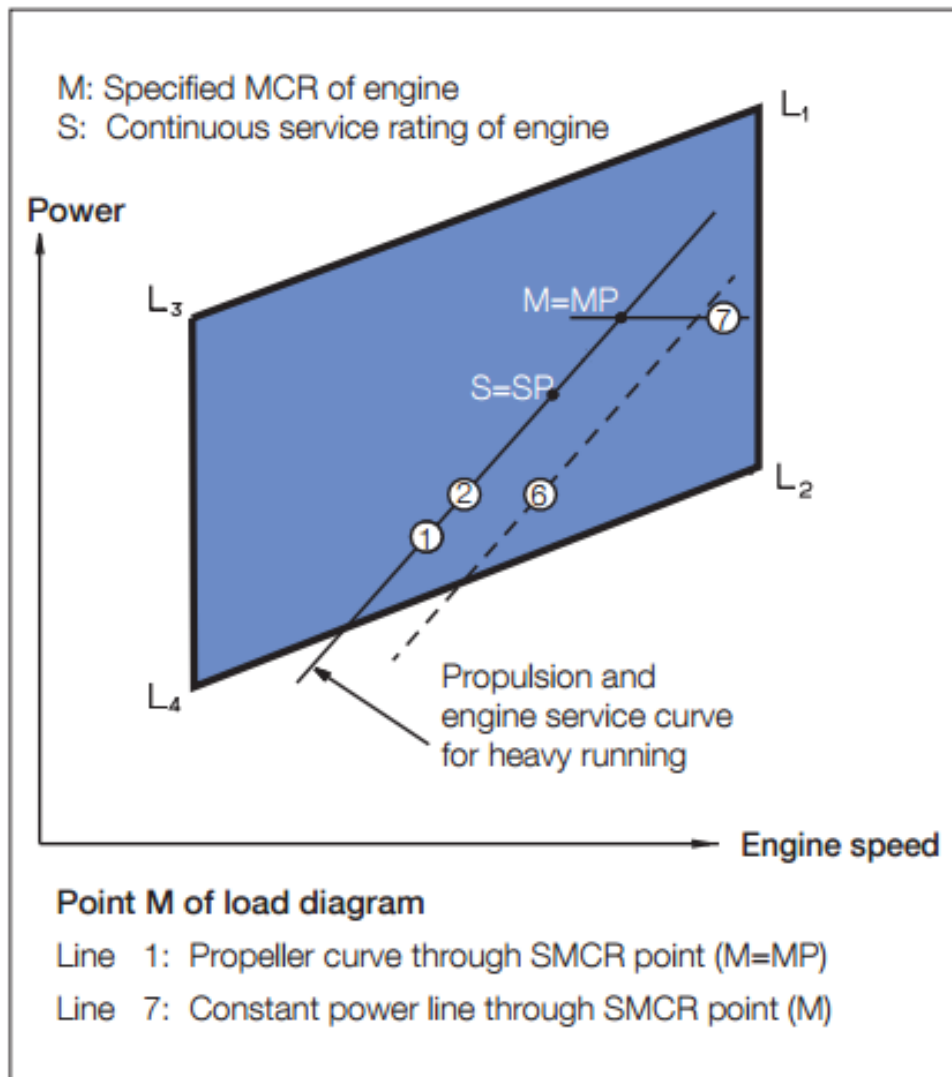
5.2.2. Περιθώριο Θάλασσας (Sea Margin)

Η φόρτιση της έλικας αυξάνεται σημαντικά όταν το πλοίο αντιμετωπίζει μετωπικούς ανέμους, ειδικά όταν συνδυάζονται με τους παραπάνω παράγοντες καθαριότητας της γάστρας και της έλικας. Αυτός είναι και ο λόγος ο οποίος υπολογίζεται ένα «περιθώριο θάλασσας» όπως ονομάζεται, κατά την σχεδίαση και κατασκευή του κινητήρα. Στα παραδοσιακά πλοία το περιθώριο αυτό είναι 15% της ισχύος σχεδίασης έλικας αλλά σε μεγάλα εμπορικά πλοία μπορεί να αγγίζει το 30%. Κατά τον καθορισμό της ταχύτητας που απαιτείται για τον κινητήρα, για το πεδίο λειτουργίας του, προτείνεται, συγκρίνοντάς το με την καμπύλη μιας έλικας που έχει καθαρή γάστρα και με ήρεμο νερό (6), η επιλογή της περισσότερο φορτισμένης καμπύλης (2), η οποία έχει χαμηλότερη ταχύτητα 3-7% σε σύγκριση με την καμπύλη (6).

5.2.3. Περιθώριο μηχανής

Υπάρχει άλλη μια απόκλιση η οποία θα πρέπει να συνυπολογιστεί κατά την σχεδίαση και αυτή είναι το περιθώριο μηχανής. Ένα τέτοιο περιθώριο, εκτός από αυτό της θάλασσας, αποτελεί συνήθως ένα περιθώριο που αφορά τη λειτουργία της μηχανής, και είναι της τάξεως περίπου 10-15%. Το σημείο, το οποίο αντιστοιχεί σε αυτό το περιθώριο, λέγεται «προδιαγεγραμμένη Μέγιστη Συνεχής Ισχύς για πρόωση» MP και αφορά την ισχύ, η οποία για το σημείο SP κυμαίνεται στις τιμές μεταξύ 10-15% χαμηλότερα από την ισχύ

που αντιστοιχεί στο σημείο MP, δηλαδή ίση με το 90-85% του MP όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα (Ν.Π. Κυρτάτος, Αθήνα, 2012).



Εικόνα 5.2.

5.2.4. Ισχύς συνεχούς λειτουργίας σε κατάσταση υπηρεσίας (Continuous Service Rating S)

Η ισχύς συνεχούς λειτουργίας σε κατάσταση υπηρεσίας (Continuous Service Rating) είναι η ισχύς, όπου ο κινητήρας θεωρητικά βρίσκεται σε λειτουργία, και το σημείο S είναι όμοιο με αυτό της πρόωσης σε κατάσταση υπηρεσίας SP, με εξαίρεση την περίπτωση που έχει εγκατασταθεί κάποια γεννήτρια άξονα. Σε αυτή την ισχύ περιλαμβάνεται και το περιθώριο της θάλασσας.

5.2.5. Συντελεστής λειτουργίας με μειωμένη φόρτιση f_{LR}

Η καμπύλη της έλικας για μία γάστρα η οποία έχει ρυπανθεί και για μεγάλα κύματα, αποτελεί τη βασική καμπύλη για εκείνη της λειτουργίας της μηχανής κατά την υπηρεσία, ενώ η καμπύλη της έλικας για μία γάστρα που δεν έχει ρυπανθεί, καθώς δεν υπάρχουν και κύματα, η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό συνθήκες λειτουργίας σε νέα πλοία. Γι' αυτό και η καμπύλη της έλικας για μία γάστρα που δεν έχει ρυπανθεί θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτική της "λειτουργίας της έλικας με μειωμένη φόρτιση" (light running, LR) και συσχετίζεται με συνθήκες γάστρας η οποία έχει ρυπανθεί μέσω ενός συντελεστή λειτουργίας με μειωμένη φόρτιση f_{LR} , που, για όμοια ισχύ στην έλικα, ισούται με την επί τοις εκατό αύξηση από τον ρυθμό περιστροφής n , συγκρίνοντάς το με τον ρυθμό περιστροφής για γάστρα που έχει ρυπανθεί. Η σχέση έχει ως εξής:

$$f_{LR} = \frac{n_{καθαρη} - n_{ρυπασμενη}}{n_{ρυπασμενη}} \cdot 100$$

5.2.6. Σημείο βέλτιστης λειτουργίας (O).

Το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O αποτελείται από την ισχύ και την ταχύτητα περιστροφής (rating), όπου συνδέονται ο κινητήρας και ο υπερσυμπιεστής και πραγματοποιούνται ρυθμίσεις για να χρονιστεί η μηχανή και ο λόγος συμπίεσης. Όπως φαίνεται στα επόμενα σχήματα της επόμενης ενότητας, το σημείο βέλτιστης λειτουργίας βρίσκεται στην γραμμή 1 από το διάγραμμα φόρτισης, και η βέλτιστη ισχύς παίρνει τιμές μεταξύ 85 και 100% της ισχύος του σημείου M, λαμβάνοντας όμως υπ' όψη τον υπερπληρωτή και τον χρονισμό της μηχανής. Το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O πρέπει να βρίσκεται εντός του πεδίου της λειτουργίας της μηχανής. Κάποιες φορές, το σημείο που έχει καθοριστεί, MCR, M, μπορεί να βρίσκεται εκτός του πεδίου λειτουργίας της μηχανής, περιορίζοντας το όμως στα δεξιά της γραμμής L1 - L2 και, μόνο εάν το σημείο της βέλτιστης λειτουργίας O είναι εντός του πεδίου λειτουργίας.

5.3. Διάγραμμα φόρτισης

5.3.1. Ορισμοί

Από το διάγραμμα φόρτισης καθορίζονται τα όρια της ισχύος και οι στροφές της λειτουργίας για συνεχή λειτουργία, αλλά και για υπερφορτισμένη λειτουργία, ενός κινητήρα

που έχει εγκατασταθεί και έχει σημείο βέλτιστης λειτουργίας O και καθορισμένο σημείο MCR, M, που ικανοποιεί τις ανάγκες του πλοίου.

Το σημείο A είναι σημείο αναφοράς με 100% ισχύ και στροφές του διαγράμματος φορτίσεως και αποτελεί το σημείο της καμπύλης της έλικας, το οποίο περνάει από το σημείο βέλτιστης λειτουργίας, O , και έχει την καθορισμένη ισχύ MCR.

Στην πραγματικότητα, το σημείο M είναι το ίδιο το A, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις, παραδείγματος χάριν εάν έχει εγκατασταθεί κάποια γεννήτρια στον άξονα, τότε το σημείο M μπορεί να βρίσκεται δεξιά από το A στην γραμμή 7. Τα σημεία υπηρεσίας από τον κινητήρα που έχει εγκατασταθεί αποτελούνται από την ισχύ που απαιτείται για τον κινητήρα για την πρόωση του πλοίου και για την γεννήτρια του άξονα, εάν υπάρχει.

Όσον αφορά τα όρια για τη συνεχή λειτουργία, η περιοχή αυτή ορίζεται από τις τέσσερις γραμμές 4, 5, 7 και 3.

5.3.2. Επεξήγηση Διαγράμματος:

Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε την φόρτιση που δέχεται ο άξονας και κατά επέκταση η έλικα σε διάφορες συνθήκες (φορτωμένο το καράβι, καιροί, υπερφόρτιση κτλ.) σε συνεχή λειτουργία MCR της κύριας μηχανής.

Επίσης καθορίζει τα όρια ισχύος και στροφών λειτουργίας της Κ.Μ. Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε το διάγραμμα πρέπει το σημείο A η M να μας δώσει την αναφορά της 100% ισχύς και στροφών του διαγράμματος φορτίσεως και ορίζεται ως το σημείο της καμπύλης της έλικας που περνά από το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O , και έχει την καθορισμένη ισχύ MCR

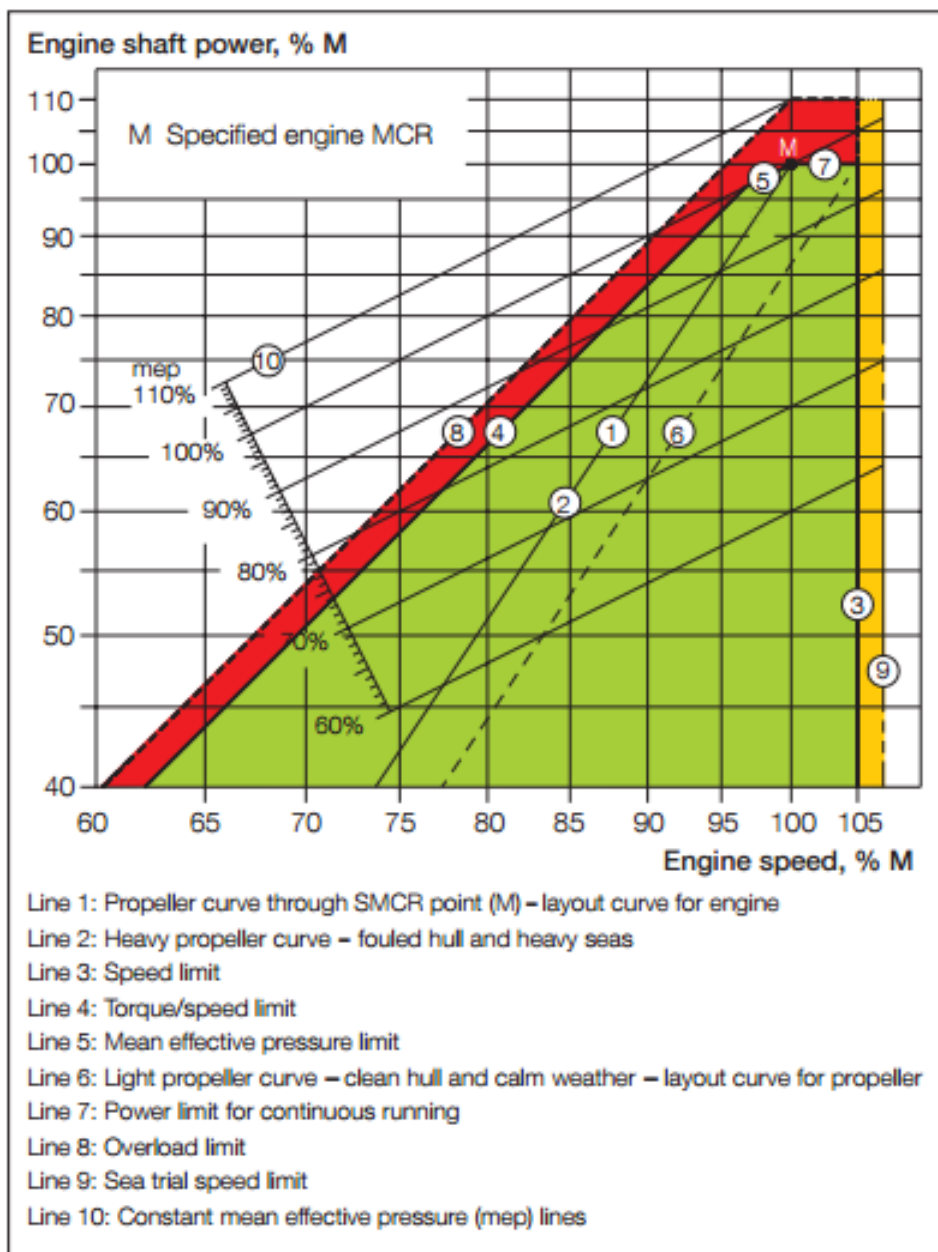
Στο διάγραμμα είναι σημειωμένες οι εξής καμπύλες (ευθείες στις λογαριθμικές κλίμακες):

- 1) Ονομαστική καμπύλη έλικας δια του σημείου M (MCR/N100), όπου είναι η καμπύλη επιλογής μηχανής
- 2) Καμπύλη έλικας βαριάς φόρτισης – ρυπασμένη γάστρα και αντίξο- ες καιρικές συνθήκες
- 3) Όριο στροφών μηχανής
- 4) Όριο ροπής/ στροφών

- 5) Όριο μέσης ενεργής πίεσης
- 6) Καμπύλη έλικας ελαφριάς φόρτισης – καθαρή γάστρα και καλός καιρός – καμπύλη επιλογής έλικας
- 7) Όριο ισχύος για συνεχή λειτουργία
- 8) Όριο υπερφόρτισης
- 9) Όριο στροφών δοκιμών ταχύτητας-ισχύος
- 10) Γραμμές σταθερής μέσης ενεργής πίεσης

Στο διάγραμμα φόρτισης πρέπει να χαραχτούν (ως ανωτέρω) οι καμπύλες της έλικας (καμπύλες απαιτήσεων του συστήματος πλοίο - έλικα) για τις διάφορες καταστάσεις υπηρεσίας του πλοίου. Όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η αύξηση της αντίστασης λόγω συνθηκών υπηρεσίας, αναφερόμαστε στο έμφορτο πλοίο, με νέα και φρεσκοβαμμένη γάστρα, σε ήρε- μες καιρικές συνθήκες και χωρίς ρεύμα και έτσι ορίζουμε την κατάσταση δοκιμών (καμπύλη 6), που μπορεί όμως (συνήθως) να αναφέρεται σε κατάσταση μερικού φόρτου (ή ερματισμού). Υποθέτοντας έμφορτη κατάσταση μπορούμε, όπως έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, να προσδιορίσουμε την καμπύλη της έλικας, τις απαιτήσεις δηλαδή του συστήματος πλοίο - έλικα σε συνδυασμούς ισχύος - στροφών και την ταχύτητα που αντιστοιχεί σε κάθε τέτοιο συνδυασμό. Το ίδιο μπορεί να γίνει και με συγκεκριμένες προσαυξήσεις της αντίστασης για ρύπανση/γήρανση της επιφάνειας της γάστρας και για αντίξοες καιρικές συνθήκες και να ορίσου- με έτσι την κατάσταση υπηρεσίας (καμπύλη 2).

Ορίζουμε έτσι την καμπύλη (6) ως καμπύλη έλικας χωρίς περιθώριο θάλασσας ή ως την καμπύλη έλικας δοκιμών ή αλλιώς, ως την καμπύλη ελαφριάς φόρτισης. Αντίστοιχα, η κυβική παραβολή δια του σημείου SMCR, καμπύλη (1), που αντιστοιχεί σε απορρόφηση του 100% της ισχύος στο 100% των στροφών της μηχανής, ονομάζεται καμπύλη χαρακτηριστικών ονομαστικής έλικας και συνήθως ταυτίζεται με την καμπύλη βαριάς φόρτισης, καμπύλη (2).



Εικόνα 5.3. Διάγραμμα φόρτισης μηχανής (Andreas Torp Karlsen, 2012, On Modeling of a Ship Propulsion System for Control Purposes)

Οπότε η γραμμή 4 ως την γραμμή 3 (πράσινο πλαίσιο) μας δείχνει ότι η έλικα μπορεί να δουλέψει σε αυτές τις συνέχεις ταχύτητες χωρίς να υπάρχουν προβλήματα υπερφόρτισης σε έναν μέτριο καιρό και σχετικά μέτριες συνθήκες γάστρας. Το κίτρινο πλαίσιο η αλλιώς οι γραμμές 3 ως 9 μας δείχνουν τα όρια που μπορεί η κύρια μηχανή να δουλεύει σε αυτές της στροφές για συνεχή λειτουργία. Φυσικά μπορεί εύκολα σε αυτήν την περίπτωση να έχουμε OVER SPEED της ίδιας της έλικας σε δύσκολες καιρικές συνθήκες η κακής γάστρας. Στην συνέχεια αναγνωρίζουμε ότι το κόκκινο πλαίσιο η αλλιώς οι 8 ως 4 γραμμές είναι επικίνδυνες στροφές συνεχής λειτουργίας τις έλικας διότι σε κακές συνθήκες που θα φορτώσουν την έλικα θα προκληθεί OVERLOAD. Τα παραπάνω όρια

μπορούν γενικά να επεκταθεί στο 105% και κατά την διάρκεια των δοκιμών στο 107% της ονομαστικής ταχύτητας λειτουργίας της μηχανής ,μόνον όμως όταν οι συνθήκες των στρεπτικών ταλαντώσεων το επιτρέπουν. Μέσα στο διάγραμμα (ταχύτητας της μηχανής – φόρτισης του άξονα της μηχανής σε MCR λειτουργία) υπάρχει ένα επιπλέον διάγραμμα που αναφέρει τις τιμές και κατά επέκταση και τα όρια της μέσης ενδεικτικής πίεσης η αλλιώς πραγματικής πίεσης της κύριας μηχανής (MEP) που μπορεί να δουλέψει σε συνεχή λειτουργία (MAN Diesel & Turbo, 2012).

5.3.3. Συμπεράσματα από το Διάγραμμα:

Κύριο συμπέρασμα από το διάγραμμα που αναλύσαμε προηγουμένως είναι ότι ανάλογα το πόσο ρηχά είναι τα νερά , πόσο καθαρή είναι η γάστρα ,την επιφάνεια και το σχήμα της γάστρας καθώς και οι καιρικές συνθήκες μπορούν να αλλάξουν τις γραμμές και τις καμπύλες πάνω στο διάγραμμα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το διάγραμμα αυτό δημιουργήθηκε πάνω σε μετρήσεις που πάρθηκαν σε δοκιμές (SEATRIALS).

Επομένως:

1) Για λειτουργία με έλικα σταθερού βήματος, σε ήρεμο νερό, με φορτωμένο πλοίο και καθαρή γάστρα, η έλικα/μηχανή πρέπει να κυμαίνεται κοντά στην γραμμή 6.

2) Σε περίπτωση που η γάστρα βρωμήσει μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας ι, με αποτέλεσμα την λειτουργία της έλικας με υπερφόρτιση, δηλαδή, η καμπύλη της έλικας θα μετατεθεί προς τα αριστερά της γραμμής 6 προς την γραμμή 2. Έτσι προκειμένου να διατηρηθεί η ταχύτητα του σκάφους το governor η αλλιώς ρυθμιστής στροφών δίνει περισσότερα πετρέλαια με τους κανόνες λόγω βαριάς έλικας .

3) Σε συνθήκες καλού καιρού, αν η έλικα λειτουργεί με αυξημένη φόρτιση είναι ένδειξη για καθαρισμό της γάστρας και, πιθανώς, γυάλισμα της έλικας. Για λειτουργία σε ρηχό νερό, άσχημο καιρό και κατά την διάρκεια επιτάχυνσης τότε θα προσέξουμε ότι η γραμμή μας αρχίζει και πλησιάζει στη γραμμή 4 (όρια υπερφόρτισης).

5.3.4. Μέτρα ασφαλείας της Μηχανής

Γνωρίζοντας τώρα τα όρια της μηχανής για υπερφόρτιση από το διάγραμμα και για την αποφυγή βλαβών, χρησιμοποιείται το governor (Ηλεκτρονικός ελεγκτής). Χωρίς έλεγχο, η μεταβολή του φορτίου στον άξονα της έλικας θα μετέβαλε διαρκώς τη ροπή στον άξονα του κινητήρα και αυτή, με τη σειρά της, θα επηρέαζε τις στροφές της μηχανής. Αυτές οι διακυμάνσεις είναι ανεπιθύμητες για την ορθή εκμετάλλευση του πλοίου που απαιτεί κίνηση με σταθερή ταχύτητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και χωρίς συνεχή ανθρώπινη επιτήρηση. Επιπρόσθετα, οι συνεχείς μεταβολές των στροφών προκαλούν δυναμική καταπόνηση του κινητήρα, γιατί δημιουργούνται ταλαντώσεις, που μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή της μηχανής. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι ανάγκη να υπάρχει ένα αυτόματο σύστημα ρυθμίσεως των στροφών σε σχέση με τις αλλαγές του φορτίου.

Προκειμένου να διασφαλίσουμε τον κινητήρα Diesel από θερμική και μηχανική καταπόνηση, οι εγκεκριμένοι ηλεκτρονικοί ελεγκτές παρέχουν τις ακόλουθες δύο λειτουργίες:

1) Περιορίζουν την ροπή της κύριας μηχανής έτσι ώστε να παραμείνει στις κατάλληλες θέσεις η καμπύλη του διαγράμματος σε συνεχή λειτουργία. Στην πραγματικότητα είναι ένας εκλεκτής που ελέγχει την καμπύλη αυτή συνεχώς ώστε να μείνει στις επιθυμητές τιμές και για να το κάνει αυτό ρυθμίζει τους κανόνες (αέρα -πετρέλαιο) και έτσι ακολουθούν οι στροφές της μηχανής. Αν η υπολογισμένη θέση του κανόνα καυσίμου είναι πάνω από αυτή την καμπύλη, η προκύπτουσα θέση του κανόνα θα ελαττωθεί κατάλληλα.

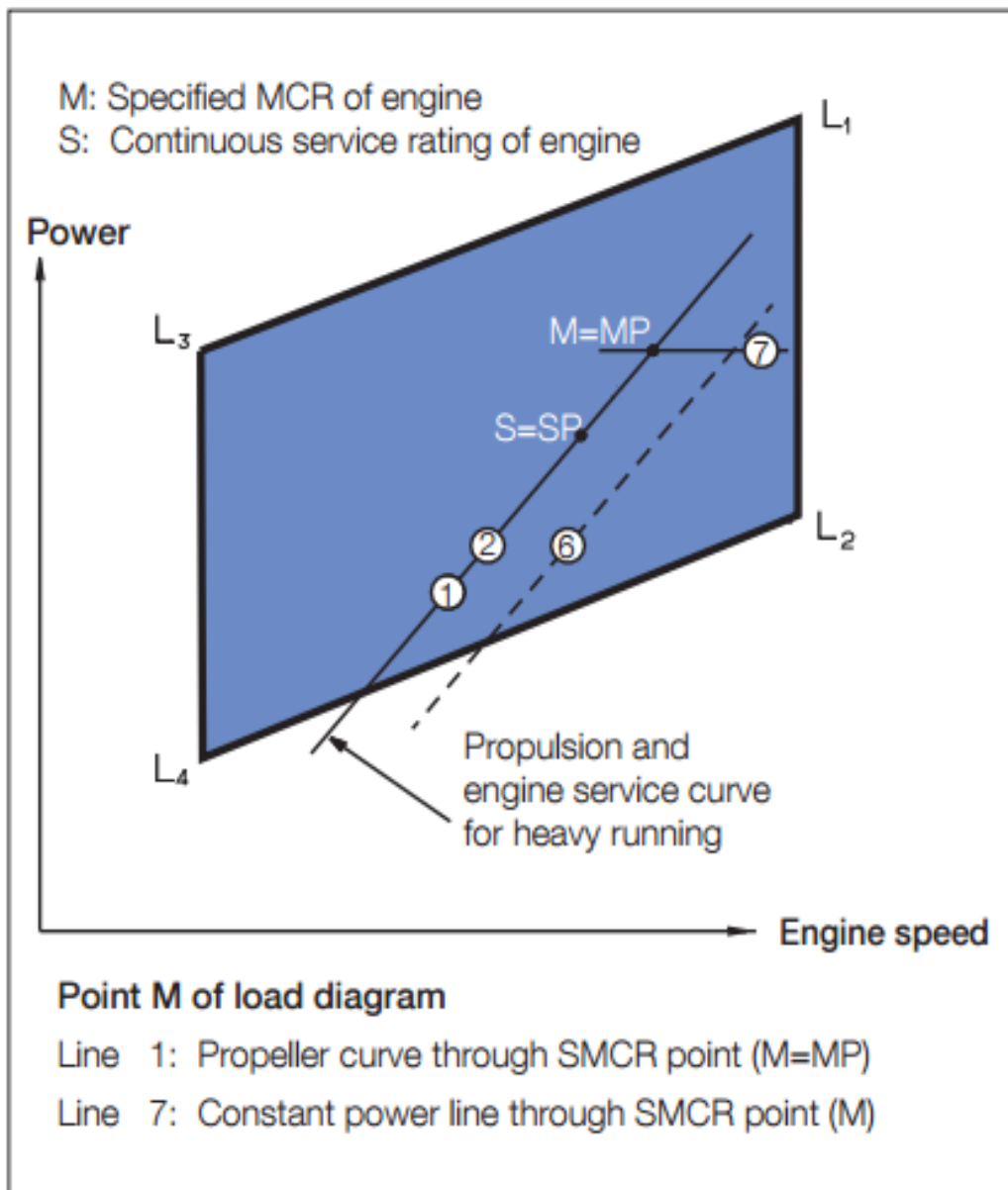
2) Επίσης περιορίζει την πίεση του αέρα σαρώσεως όταν για παράδειγμα κατά την διάρκεια ελιγμών η μηχανή ζορίζεται και για αυτό επειδή δίνονται περισσότερα πετρέλαια αναγκαστικά, θα ανεβεί και η ζήτηση του αέρα οπότε ο εκλεκτής αυτός περιορίζει τον ξαφνικό πρόσθετο αέρα σαρώσεως. Ο περιορισμός ρυθμίζεται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι επαρκής αέρας θα είναι πάντα διαθέσιμος για καλή καύση.



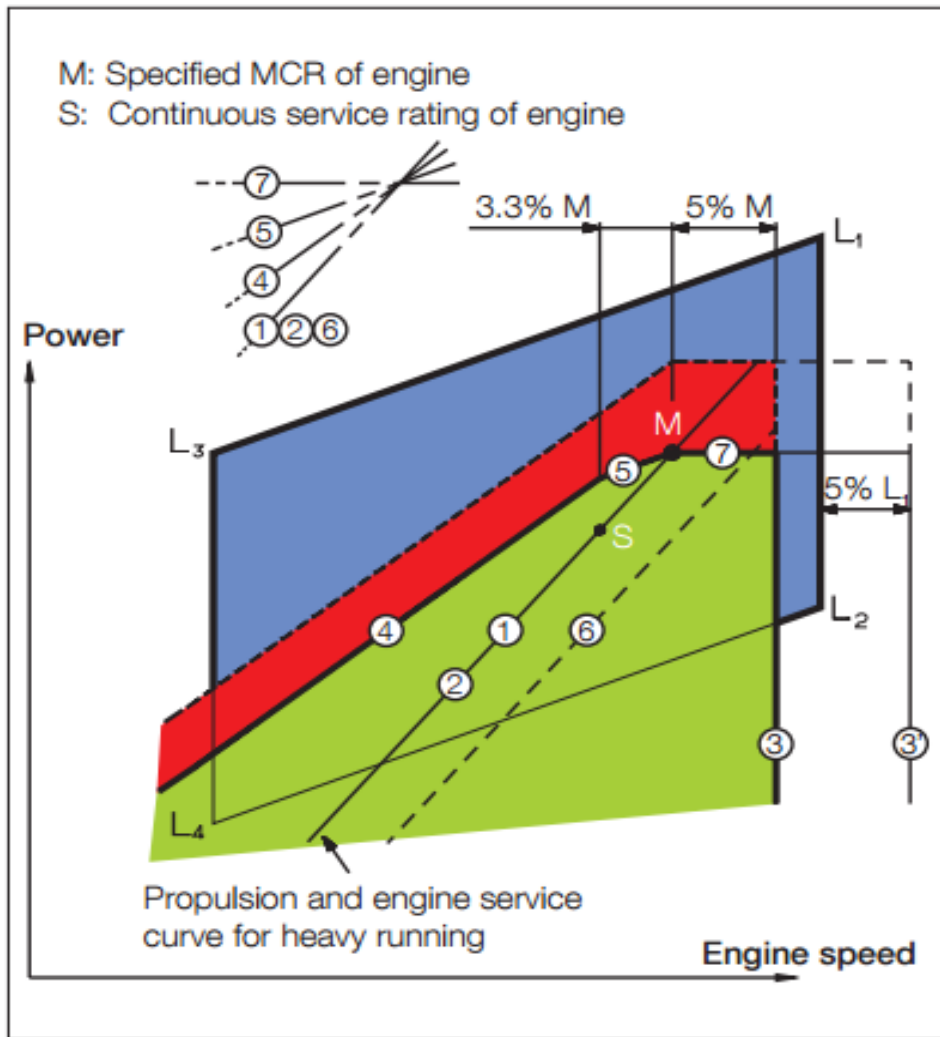
Εικόνα 5.4 Εικόνα από Μηχανικό-υδραυλικό σύστημα ελέγχου στροφών τύπου Governor UG-8. Οι ρυθμίσεις γίνονται μέσω περιστρεφόμενων Διακοπών.

5.3.5. Δυο Βασικές Περιπτώσεις από το Διάγραμμα:

Όταν έχουμε έλικα σταθερού βήματος (fixed pitch propeller, FPP) και έλικα μεταβλητού βήματος (controllable pitch propeller, CPP), με σκοπό να περιγραφεί το διάγραμμα που είδαμε προηγουμένως (φόρτισης άξονα – συνεχή λειτουργία στροφών) . Στην πρώτη περίπτωση έχουμε έλικα σταθερού βήματος χωρίς γεννήτρια στον άξονα.



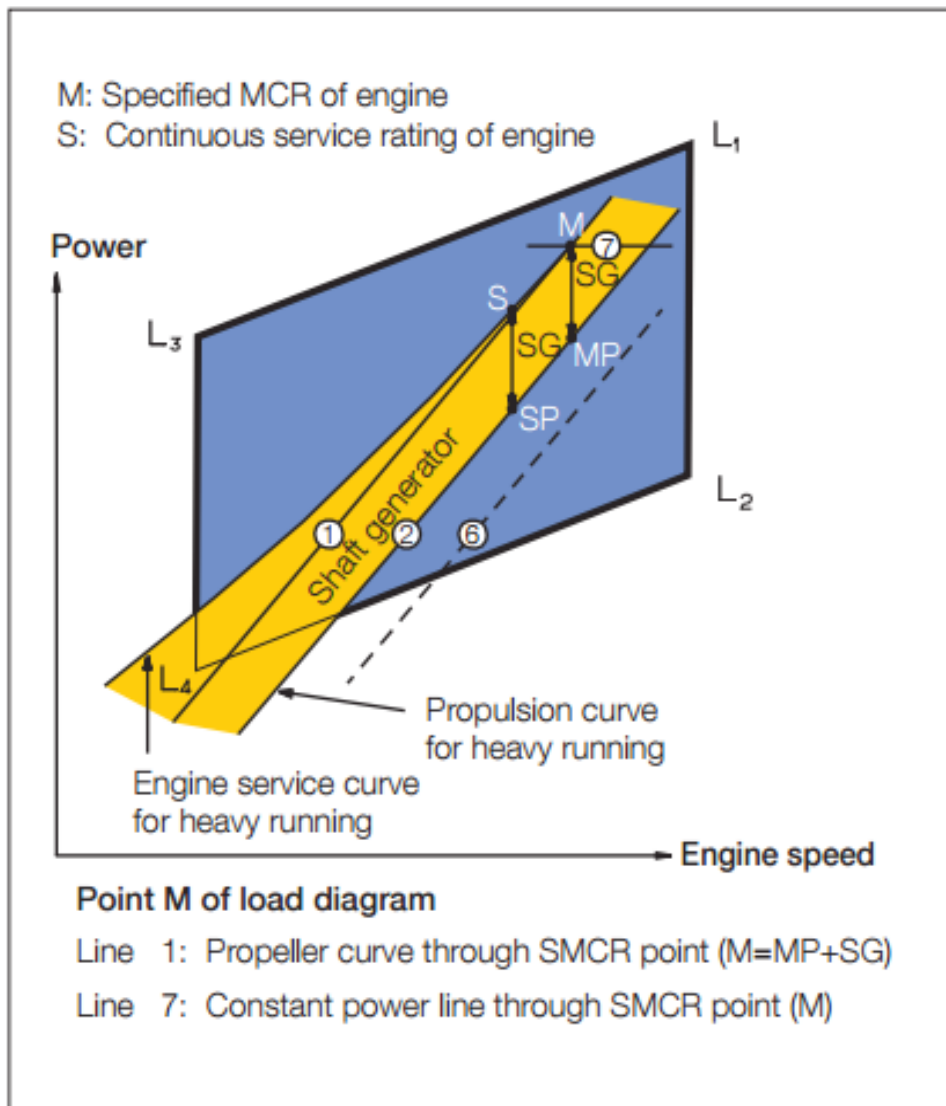
Εικόνα 5.4. (Andreas Torp Karlsen, 2012, On Modeling of a Ship Propulsion System for Control Purposes)



Εικόνα 5.5. (Andreas Torp Karlsen, 2012, On Modeling of a Ship Propulsion System for Control Purposes)

Α 1) Έχοντας στην αρχή το πρώτο σχήμα παίρνουμε το σημείο 0 ως βέλτιστη λειτουργία. Το σημείο αυτό βρίσκεται πάνω στην γραμμή 1 και 2 και στην περίπτωση αυτή έχουμε λερωμένη γάστρα που έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη αντίσταση τριβής και άρα η έλικα γίνεται πιο 'βαριά'. Με καθαρή γάστρα θα ακολουθούσαμε την γραμμή 6. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η γραμμή 1,2 περνάει πάνω από το σημείο M και την γραμμή 7 (καμπύλη σταθερής ισχύος). Στην περίπτωση αυτή το σημείο A θα είναι ίδιο με το M και εφόσον βρεθεί το σημείο A. Μπορούμε να δούμε το δεύτερο σχήμα στο οποίο πρέπει να σχεδιασθεί το διάγραμμα φόρτισης της κύριας μηχανής μας.

A 2) Όταν έχουμε γεννήτρια στον άξονα υπάρχουν κάποιες μικρές αλλαγές στο σχήμα που είδαμε προηγουμένως. Μια από αυτή είναι να μετακινήσουμε το σημείο M πιο έξω από την κανονική γραμμή λειτουργίας του.



Εικόνα 5.6. (Andreas Torp Karlsen, 2012, On Modeling of a Ship Propulsion System for Control Purposes)

Στο σχέδιο αυτό φαίνεται ότι έχει μετακινηθεί η θέση του M και επομένως η θέση του σημείο A, έχοντας την υψηλότερη δυνατή ισχύ, βρίσκεται τότε στην τομή της γραμμής L1-L3 με την γραμμή 1. Αυτό συμβαίνει γιατί ο άξονας ζορίζεται πολύ περισσότερο δίνοντας και κίνηση στην γεννήτρια, η ισχύς υπηρεσίας της μηχανής πρέπει επίσης να συμπεριλάβει την επιπλέον απαιτούμενη ισχύ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος

από την γεννήτρια. Αυτό λοιπόν που έχουμε να κάνουμε είναι να αυξήσουμε ελάχιστα τα πετρέλαια προκειμένου να ανεβάσουμε το σημείο M σαν να είναι κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Μια άλλη λύση είναι να μειώσουμε το φορτίο της γεννήτριας σε περίπτωση κίνδυνου υπερφόρτισης .

B) Η δεύτερη περίπτωση είναι όταν έχουμε έλικα μεταβλητού βήματος .Τότε για να παρθούν οι γραμμές και καμπύλες προκειμένου να φτιαχτεί ένα διάγραμμα σαν τα σχέδια που είδαμε παραπάνω πρέπει να δοκιμαστεί στο (sea trial) ενώ είναι φορτωμένο και με σχετικά δύσκολες καιρικές συνθήκες. Αυτό γίνεται για να δοθεί ένα μεγαλύτερο λειτουργικό περιθώριο όπως και χαμηλής φόρτισης δοκιμές (σημείο βέλτιστης λειτουργίας) για έλικες σταθερού βήματος. Πολλές φορές μπορεί να έχουμε V.I.T. (variable injection timing- μεταβλητός χρονισμός έγχυσης σε καράβια μεταβλητής έλικας διότι μπορεί να έχουμε 85%-95% βέλτιστη ισχύ. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αλλάζουμε συνεχώς το σημείο λειτουργίας (βέλτιστη γραμμή λειτουργίας στο διάγραμμα) οπότε μπορούμε να ελαττώσουμε την ειδική κατανάλωση καυσίμου ελαφρώς ρίχνοντας και την κατανάλωση .

5.3.6. Τελικό συμπέρασμα διαγράμματος

Μέσα από τα παράδειγμα με τα διαγράμματα που είδαμε συμπεράνουμε ότι κάθε φορά που ο άξονας ζορίζεται λόγω υψηλών φορτίων από την έλικα η οποία μπορεί να δεχθεί σπηλαίωση ή να έχει βρωμίσει, είτε από ρηγά νερά, λόγω λερωμένης γάστρας , δυνατούς ανέμους, άσχημες θάλασσες και δυνατούς κυματισμούς. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να μετακινούν την γραμμή λειτουργίας πάντοτε πιο αριστερά από την βέλτιστη γραμμή λειτουργίας (sea trials). Φυσικά η έλικα φορτίζεται ακόμα και όταν το καράβι επιταχύνει για αυτό αν η γραμμή έχει μετακινηθεί πολύ αριστερά θα έχουμε προβλήματα υπερφόρτισης κατά την επιτάχυνση για αυτό πρέπει να ελαττώσουμε την επιτάχυνση η να ελαττώσουμε τα φορτία στην γεννήτρια αν υπάρχει.

Επίλογος - Συμπεράσματα

Αρχικά θα πρέπει να τονιστεί πως η έλικα και κατά επέκταση η μηχανή δέχονται διαφορετικά φορτία από τον καιρό την θάλασσα και επίσης σε περίπτωση λερωμένης γάστρας. Η γάστρα είναι πολύ σημαντικό να παραμείνει καθαρή γιατί δέχεται μικρότερη αντίσταση από το νερό. Η ρυπασμένη γάστρα δέχεται μεγαλύτερες δυνάμεις αντίστασης και λόγω του αλλαγμένου πεδίου ομόρρου, θα προκαλέσει στην έλικα αυξημένη φόρτιση σε σχέση με αυτή της λειτουργίας της σε άσχημες καιρικές συνθήκες μόνο. Όταν συμπεριληφθεί επίσης κάποια επίδραση της θάλασσας και των κυμάτων, η καμπύλη της έλικας από την γραμμή βέλτιστης λειτουργίας θα μεταφερθεί προς τα αριστερά καθώς και στην έμφορτη κατάσταση. Οι καμπύλες ανάμεσα στην γραμμή βέλτιστης λειτουργίας με καθαρό καιρό και καθαρή γάστρα, αντιστοιχεί σε λειτουργία με περίπου 4% μειωμένη φόρτιση σε σχέση με την καμπύλη που η γάστρα είναι βρώμικη και ο καιρός άστατος. Φυσικά η καμπύλη πάντοτε όσο αυξάνεται η φόρτιση της έλικας τόσο μετακινείται προς τα αριστερά.

Κατά δεύτερον μεγάλη επιρροή στην λειτουργία της έλικας κατά την πλεύση έχει η ύπαρξη μεγάλων κυμάτων και γενικά πολύ κακός καιρός. Η έλικα έχει μικρότερη φόρτιση κατά περίπου 10% όταν ο καιρός είναι καλός. Αυτό φυσικά σημαίνει ότι και η κύρια μηχανή θα έχει υψηλή φόρτιση ζητώντας περισσότερα πετρέλαια από το governor άρα και μεγαλύτερη μη επιθυμητή κατανάλωση. Επίσης, εκτός από τον καιρό, μπορεί να πέσει η απόδοση της κύριας μηχανής και της έλικας αρκετά άμα υπάρχουν ισχυροί άνεμοι η τα κύματα είναι πολύ μεγάλα έτσι ώστε να φτάσει στην κόκκινη περιοχή του διαγράμματος φόρτισης και να έχουμε OVERLOAD πριν προλάβει ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφέων να ρυθμίσει τις στροφές. Τότε πρέπει η ταχύτητα του πλοίου κανονικά να μειωθεί από τον πλοίαρχο.

Επίσης η επιτάχυνση του πλοίου καθώς και λειτουργία σε ρηχά νερά, όταν το πλοίο επιταχύνει και η έλικα υπόκειται σε ένα μεγαλύτερο φορτίο από ότι κατά την ελεύθερη πλεύση. Σε μερικές περιπτώσεις στην πράξη, η επίδραση της επιτάχυνσης στην λειτουργία με αυξημένη φόρτιση έχει αποδειχθεί ότι είναι ακόμη ισχυρότερη. Οι ίδιες συνθήκες ισχύουν και για λειτουργία σε ρηχά νερά.

Κανονικά, η καμπύλη έλικας με καθαρή γάστρα αναφέρεται ως η καμπύλη ταξιδιού δοκιμών. Ωστόσο, καθώς το πλοίο σπάνια είναι φορτωμένο κατά την διάρκεια των

δοκιμών και καθώς ακόμη πιο συχνά πλέει στην κατάσταση ερματισμού, η πραγματική καμπύλη της έλικας θα αντιστοιχεί σε λειτουργία με μειωμένη φόρτιση

Βιβλιογραφία

1. Mario Theriault, *Great Maritime Inventions* Goose Lane Publishing (2001)
2. <http://www.e-nautilia.gr/katigories-kai-eidi-ploiwn/>
3. Ship Resistance, H.E. Gulddhammer and Sv..Aa. Harvald (1974)
4. <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/propeller-types-of-propellers-and-construction-of-propellers/>
5. Alpha High-efficient Fixed Pitch Propellers, MAN Diesel & Turbo, Denmark (2012)
6. Basic Principles of Ship Propulsion, MAN Diesel & Turbo, Frederikshavn (2012)
7. <http://bblades.com/props-101/>
8. Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίων, Ν.Π. Κυρτάτος, Αθήνα (2012)
9. The influence of ship operational parameters on fuel consumption ,Wojciech Górsk , Teresa Abramowicz-Gerigk, Zbigniew Burciu(2013)

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Κεφάλαιο 1	
Ορισμοί και Ιστορική Αναδρομή.....	5
Κεφάλαιο 2	
Βασικά Χαρακτηριστικά Πλοίων.....	9
2.1. Μορφές Γάστρας.....	9
2.2. Χαρακτηριστικά Μεγέθη.....	9
2.3. Βασικές Διαστάσεις.....	9
2.4 Μήκος Πλοίου LOA, LWL, LPP.....	10
2.5. Βύθισμα (Draught).....	11
2.6. Πλάτος ίσαλου γραμμής BWL	11
2.7. Συντελεστές Μορφής Γάστρας.....	12
2.7.1. Συντελεστής γάστρας [Block Coefficient] CB.....	12
2.7.2. Συντελεστής ισάλου επιφανείας [Water Plane Area Coefficient] CWL.....	12
2.7.3. Συντελεστής μέσης τομής [Midship Section Coefficient] CM.....	13
2.7.4. διαμήκης πρισματικός συντελεστής [Longitudinal Prismatic Coefficient] CP	13
2.7.5. Διαμήκης κέντρο άντωσης [Longitudinal Center of Buoyancy] LCB.....	13
2.7.6. Συντελεστής λεπτότητας [Fineness Ratio] CLD.....	14
Κεφάλαιο 3	
Η Αντίσταση του Πλοίου.....	15
3.1. Αντίσταση πρόωσης κατά την διάρκεια ζωής του πλοίου.....	21
3.2. Τύποι Ελίκων.....	23
3.3. Συνθήκες Ροής Γύρω από την Έλικά.....	23
3.4. Βαθμοί Απόδοσης.....	26
3.5. Διαστάσεις της Έλικας.....	29
3.6. Ολίσθηση.....	30
3.7. Ο νόμος της έλικας.....	32

Κεφάλαιο 4	
Δυσμενείς Συνθήκες Λειτουργίας και Απόδοση Έλικας.....	34
4.1. Η απόδοση της έλικας σε γενικά αυξημένη αντίσταση πλοίου.....	34
4.2. Ο καιρός	37
4.3. Η επιτάχυνση.....	38
4.4. Το εκτόπισμα.....	39
4.5 Η επίδραση της διαγωγής ενός πλοίου.	40
4.5.1 Η επίδραση της βύθισης της βολβοειδούς πλώρας.....	41
4.5.2 Η επίδραση της βύθισης της πρύμνης	43
4.5.3 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την διαγωγή.....	46
4.6 Επιπλέον παράμετροι.....	47
Κεφάλαιο 5	
Πρόωση και Σχεδίαση Έλικας.....	49
5.1. Το σημείο σχεδιάσεως της έλικας (propeller design, PD).....	49
5.2. Σημαντικοί Συντελεστές της έλικας.....	50
5.2.1. Γάστρα.....	50
5.2.2. Περιθώριο Θάλασσας (Sea Margin).....	50
5.2.3. Περιθώριο μηχανής	50
5.2.4. Ισχύς συνεχούς λειτουργίας σε κατάσταση υπηρεσίας (Continuous Service Rating S).....	51
5.2.5. Συντελεστής λειτουργίας με μειωμένη φόρτιση fLR	52
5.2.6. Σημείο βέλτιστης λειτουργίας (O).....	52
5.3. Διάγραμμα φόρτισης.....	53
5.3.1. Ορισμοί	53
5.3.2. Επεξήγηση Διαγράμματος:	53
5.3.3. Συμπεράσματα σπό το Διάγραμμα:.....	56
5.3.4. Μέτρα ασφαλείας της Μηχανής.....	57
5.3.5. Δυο Βασικές Περιπτώσεις από το Διάγραμμα:.....	58
5.3.6. Τελικό συμπέρασμα διαγράμματος.....	62
Επίλογος - Συμπεράσματα.....	63

Βιβλιογραφία.....	65
Περιεχόμενα.....	66