

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ
ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ –
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΕΛΙΚΑ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ :

ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ :

ΑΜΑΝΑΤΙΔΗΣ ΜΑΞ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	Σελ. 2
<u>Κεφάλαιο 1^ο</u>	Σελ. 4
Ορισμοί πλοίων και αντίσταση γάστρας Τύποι πλοίων.....	Σελ. 4
Γραμμές φόρτωσης πλοίου και Ένδειξη μεγέθους πλοίου.....	Σελ. 5
Περιγραφή μορφών γάστρας	Σελ. 7
Αντίσταση πλοίου.....	Σελ. 12
 <u>Κεφάλαιο 2^ο</u>	 Σελ. 19
Έλικες και πρόωση.....	Σελ. 19
Τύποι Ελίκων.....	Σελ. 19
Συνθήκες ροής γύρω από την έλικα.....	Σελ. 20
Βαθμοί απόδοσης.....	Σελ. 22
Διαστάσεις έλικας.....	Σελ. 25
Συνθήκες λειτουργίας έλικας.....	Σελ. 29
 <u>Κεφάλαιο 3^ο</u>	 Σελ. 39
Πεδίο ρυθμίσεως λειτουργίας μηχανής και διάγραμμα φορτισης (εισαγωγή)	Σελ. 39
Πρόωση και σημεία λειτουργίας της μηχανής.....	Σελ. 41
Πεδίο ρυθμίσεως λειτουργίας μηχανής.....	Σελ. 43
Διάγραμμα φόρτισης.....	Σελ. 45
<u>Κεφάλαιο 4</u>	Σελ. 49
Παραδείγματα – χρήση του διαγράμματος φόρτισης....	Σελ. 49
<u>Κεφάλαιο 5</u>	Σελ. 61
Επιρροή των διαφόρων τύπων αντίστασης στην λειτουργία τής μηχανής.....	Σελ. 61
Λειτουργία σε ταραγμένη θάλασσα με μεγάλα κύματα σημείο S3.....	Σελ. 63
 Επίλογος.....	 Σελ. 65
 Βιβλιογραφία/πηγές.....	 Σελ. 66

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αυτή η πτυχιακή εργασία θα προσπαθήσει να εξηγήσει ειδικά μερικούς από τους πιο βασικούς όρους που χρησιμοποιούνται και έχουν σχέση με τους τύπους των πλοίων, τις διαστάσεις των πλοίων και τις μορφές της γάστρας και να διευκρινίσει μερικές από τις παραμέτρους που αφορούν την αντίσταση της γάστρας, τις συνθήκες λειτουργίας της έλικας καθώς και το διάγραμμα φορτίσεως της μηχανής.

Η πρόωση του πλοίου συνήθως επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας έλικας (στα αγγλικά ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος όρος είναι "propeller", αν και χρησιμοποιείται επίσης και ο όρος "screw" σε συνδυασμούς ελίκων, όπως, μεταξύ άλλων, και ο όρος "twin-screw" για να υποδηλώσει πλοία με δύο έλικες.)

Σήμερα, η βασική πηγή ισχύος για μια έλικα είναι ο κινητήρας Diesel και οι απαιτήσεις ισχύος και οι στροφές της έλικας εξαρτώνται σημαντικά από την μορφή της γάστρας του πλοίου και την σχεδίαση της έλικας. Συνεπώς, για να φτάσουμε σε μία λύση που θα είναι η βέλτιστη δυνατή, είναι απαραίτητες μερικές γνώσεις σχετικές με τις κύριες παραμέτρους του πλοίου και του κινητήρα Diesel, που επηρεάζουν το σύστημα πρόωσης.

Η πτυχιακή αυτή εργασία χωρίζεται σε τρία κεφάλαια τα οποία μπορούν να θεωρηθούν σαν τρία ξεχωριστά τμήματα, αλλά τα οποία μπορούν επίσης να διαβαστούν και μαζί. Συνεπώς, μερικές σημαντικές πληροφορίες που αναφέρονται στο ένα κεφάλαιο μπορούν επίσης να εμφανίζονται και σε κάποιο άλλο.

Το κεφάλαιο 1^ο, περιγράφει τους πιο βασικούς όρους που χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν οι κύριες διαστάσεις των πλοίων και των μορφών της γάστρας, όπως, για παράδειγμα το εκτόπισμα, το νεκρό βάρος «deadweight», το βύθισμασχεδιάσεως, το μήκος μεταξύ καθέτων, ο συντελεστής γάστρας, κ.λ.π. Άλλοι όροι που περιγράφονται περιλαμβάνουν την αντίσταση ρυμουλκήσεως (effective towing resistance), που αποτελείται από την αντίσταση τριβής, την υπόλοιπη αντίσταση και την αντίσταση αέρα, και την επιρροή των αντιστάσεων αυτών κατά την περίοδο λειτουργίας.

Το κεφάλαιο 2^ο ασχολείται με την πρόωση του πλοίου και τις συνθήκες της ροής γύρω από την έλικα. Σε σχέση με αυτά αναφέρονται και ο συντελεστής ομόρρου, ο συντελεστής μείωσης ώσης, κ.λ.π.

Η συνολική ισχύς που απαιτείται από την έλικα υπολογίζεται με βάση την αντίσταση ρυμουλκήσεως (effective towing resistance) και διαφόρους βαθμούς απόδοσης της γάστρας και της έλικας. Μία περίληψη της θεωρίας πρόωσης δίνεται στο Σχήμα 6.

Οι συνθήκες λειτουργίας μίας έλικας, σύμφωνα με το νόμο της έλικας που ισχύει για έλικες σταθερού βήματος, περιγράφονται για ελεύθερη πλεύση σε ήρεμο νερό και ακολουθούνται από τις σχετικές συνθήκες βαρείας ή ελαφράς λειτουργίας, που αφορούν την πλεύση του πλοίου με διαφόρους τύπους πρόσθετης αντίστασης, όπως λόγω ρυπάνσεως της γάστρας, λόγω θαλασσοταραχής, κ.λ.π.

Το κεφάλαιο 3^ο διευκρινίζει την σημασία της επιλογής του κατάλληλου σημείου συνεχούς λειτουργίας (MCR) και βελτιστοποίησης του σημείου λειτουργίας της Κυρίας Μηχανής και, συνεπώς, το διάγραμμα φορτίσεως της μηχανής, λαμβάνοντας υπ' όψιν το σημείο σχεδιάσεως της έλικας.

Το κεφάλαιο 4 έχει χάραξη των σχετικών διαγραμμάτων περιγράφεται λεπτομερειακά μέσω αρκετών παραδειγμάτων.

Το κεφάλαιο 5 έχει το Σχήμα 24, που δείχνει μέσω ενός διαγράμματος φορτίσεως την σημαντική επιρροή των διαφόρων τύπων αντίστασης του πλοίου στο σημείο συνεχούς λειτουργίας της μηχανής.

ABSTRACT

This thesis will especially try to explain some of the most basic terms used and related to the type of ship, size of ship and hull forms and clarify some of the aspects related to the resistance of the hull, the operating conditions of the propeller and the load of the engine block.

The propulsion of the ship is normally accomplished by means of a helix (in English, the most commonly used term is "propeller", although also used the term "screw" in combinations helices, such as, among others, and the term "twin-screw" to denote ships with two propellers.)

Today, the main source of power to a propeller is the Diesel engine and the power requirements and speed of the propeller depend significantly on the form of the hull and propeller design. Therefore, to reach a solution that is optimal, it is necessary some knowledge regarding the main parameters of the ship and engine Diesel, affecting the propulsion system.

The thesis work is divided into five chapters which can be regarded as three separate parts, but which can also be read and together. Therefore, some important information listed in a section can also appear in another.

The Chapter 1 describes the most basic terms used to define the main dimensions of the ship and hull forms, such as displacement, deadweight «deadweight», the draft design, the length between perpendiculars, the coefficient hull, etc. Other conditions described include the towing resistance (effective towing resistance), consisting of the friction resistance, the remaining resistance and wind resistance, and influence of these resistors during operation.

The Chapter 2 deals with the propulsion and the conditions of the flow around the propeller. In connection with these refer and the wake factor, the rate of reduction of thrust, etc.

The total power required by the propeller is calculated based on the coupling resistance (effective towing resistance) and varying degrees of efficiency of the hull and propeller. A summary of the theory propulsion given in Figure 6.

The operating conditions of a propeller according to the propeller law valid for fixed pitch propellers, are described for free sailing in calm water, followed by the relevant treaties of heavy or light operation, involving sailing ship with various types of additional resistance as pollution due to the hull because of rough seas, etc.

The Chapter 3 explains the importance of choosing the appropriate point of continuous operation (MCR) and optimization of the operating point of the main engine and therefore the engine load diagram, taking into account the design point of the helix.

The Chapter 4 has been making the relevant diagrams described in detail by several examples.

The Chapter 5 is the Figure 24, which shows a diagram of charging through the significant influence of various types of resistance of the vessel to the point of continuous operation of the machine.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ορισμοί Πλοίων και

Αντίσταση Γάστρας Τύποι πλοίων

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες, κλάσεις και τύποι πλοίων που χωρίζονται, ανάλογα με την φύση του φορτίου τους, και μερικές φορές ανάλογα με τον τρόπο που το φορτίο φορτώνεται/ξεφορτώνεται.

Στόν Πίνακα 1 φαίνονται μερικοί τύποι πλοίων.

Category	Class	Type	
Tanker	Oil tanker	Crude (oil) Carrier Very Large Crude Carrier Ultra Large Crude Carrier Product Tanker	CC VLCC ULCC
	Gas tanker Chemical tanker	Liquefied Natural Gas carrier Liquefied Petroleum Gas carrier	LNG LPG
	OBO	Oil/Bulk/Ore carrier	OBO
Bulk carrier	Bulk carrier		
Container ship	Container ship	Container carrier Roll On-Roll Off	Ro-Ro
General cargo ship	General cargo Coaster		
Reefer	Reefer	Refrigerated cargo vessel	
Passenger ship	Ferry Cruise vessel		

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 :Παραδείγματα τύπων πλοίων

Στόν Πίνακας 1 δίνει μερικά πλοία σαν παράδειγμα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλοί άλλοι συνδυασμοί, όπως τα "Πολλαπλών δυνατοτήτων φορτίων χύδην και εμπορευματοκιβωτίων (Multi-purpose bulk container carrier)," για παράδειγμα.

Οι τρεις μεγαλύτερες κατηγορίες πλοίων είναι τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων (containerships), τα πλοία φορτίου χύδην (Bulk carriers) (για μεταφορά αγαθών χύδην, όπως ορυκτά, κάρβουνο, δημητριακά, κ.λ.π.) και τα δεξαμενόπλοια (Tankers), τα οποία με την σειρά τους μπορούν να ταξινομηθούν σε ειδικότερες κλάσεις και τύπους. Έτσι τα tanker πετρελαίου μπορούν να χωρισθούν σε tanker πετρελαίου, αερίου και χημικά tanker, αλλά υπάρχουν επίσης και συνδυασμοί, για παράδειγμα tanker πετρελαίου/χημικών.

Γραμμές φόρτωσης πλοίου

Στο μέσον του μήκους του πλοίου είναι σχεδιασμένο το σημείο "Plimsoll," Σχήμα 1. Οι γραμμές και τα γράμματα του σημείου Plimsoll, τα οποία ανταποκρίνονται στους κανονισμούς εξάλων, όπως αυτοί ορίζονται από τον IMO (International Maritime Organisation) και τις τοπικές αρχές, δείχνουν το βύθισμα μέχρι το οποίο το σκάφος μπορεί να φορτωθεί με ασφάλεια (το μέγεθος αυτό ποικίλει ανάλογα με την εποχή και την αλμυρότητα του νερού.)

Υπάρχουν, για παράδειγμα, γραμμές φόρτωσης για πλεύση σε γλυκό ή θαλάσσιο νερό, αντίστοιχα, με επιπλέον υποδιαίρεσεις για τροπικές συνθήκες και πλεύση το καλοκαίρι ή το χειμώνα. Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς εξάλων, το βύθισμα το καλοκαίρι για θαλάσσιο νερό είναι ίσο με το "Scantling draught," που είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για το βύθισμα σχεδιασμού του πλοίου όταν διαστασιολογείται η γάστρα.

Το χειμερινό βύθισμα είναι μικρότερο από το αντίστοιχο που ισχύει το καλοκαίρι, λόγω των αυξημένων κινδύνων από κακοκαιρία, ενώ από την άλλη μεριά, το βύθισμα για τροπικές θάλασσες είναι κάπως μεγαλύτερο από το βύθισμα καλοκαιριού.

Ένδειξη μεγέθους πλοίου

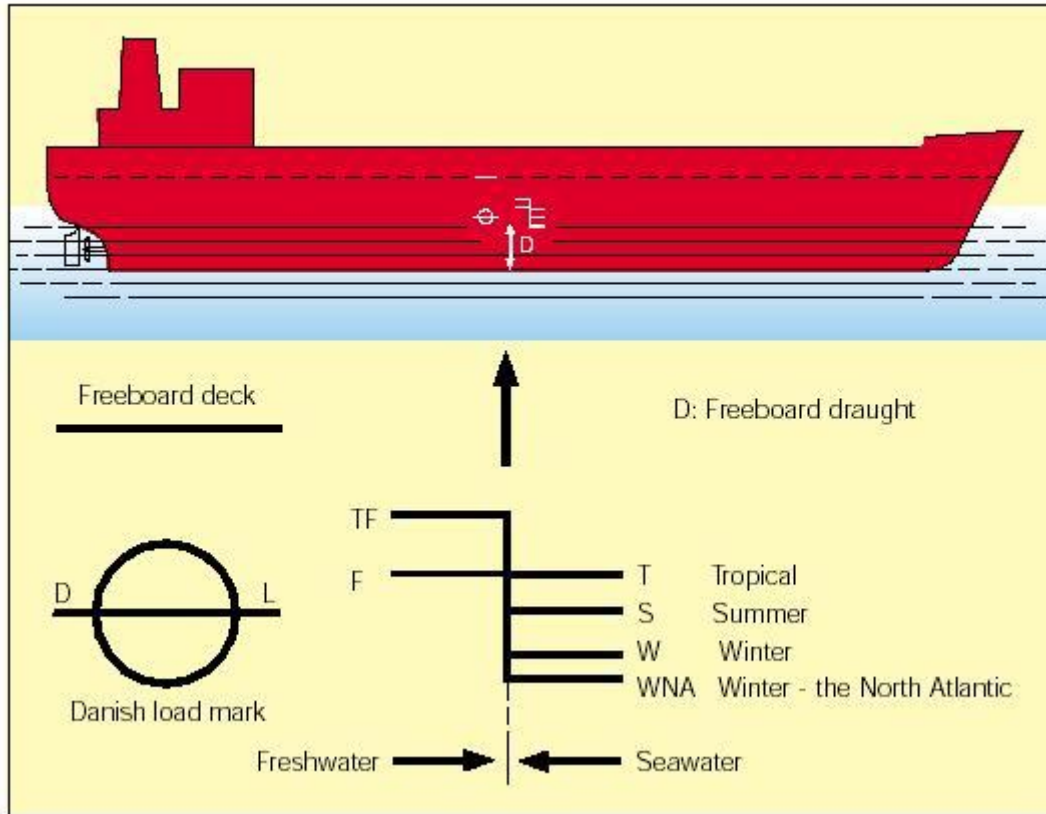
Εκτόπισμα και deadweight

Όταν ένα πλοίο σε έμφορτη κατάσταση επιπλέει σε μια τυχαία ίσαλο, το εκτόπισμα είναι ίσο με την αντίστοιχη μάζα του νερού που εκτοπίζει. Το εκτόπισμα είναι λοιπόν ίσο με το συνολικό βάρος του πλοίου στην αντίστοιχη έμφορτη κατάσταση, συνήθως σε θαλάσσιο νερό με πυκνότητα μάζας 1.025 t/m^3 .

Το εκτόπισμα περιλαμβάνει το βάρος κατασκευής (light weight) του πλοίου και το πρόσθετο ή νεκρό βάρος του (deadweight), όπου το deadweight είναι το ίσο με την μεταφορική ικανότητα του πλοίου περιλαμβανομένων των αποθηκών, δεξαμενών καυσίμου ή άλλων προμηθειών απαραίτητων για την πρόωση του πλοίου. Το deadweight λοιπόν σε μία οποιαδήποτε στιγμή αντιπροσωπεύει την διαφορά ανάμεσα στο πραγματικό εκτόπισμα του σκάφους και στο light weight, όλα σε tons:

$$\text{deadweight} = \text{εκτόπισμα} - \text{light weight}$$

Να διευκρινίσουμε ότι η μονάδα ton δεν εκφράζει πάντα το ίδιο ποσό βάρους. Εκτός από τον μετρικό ton (1.000 kg), υπάρχει ο αγγλικός ton = 1.106 kg, που ονομάζεται και "long ton," ενώ ένας "short ton" είναι περίπου 907 kg.



Σχήμα 1 : Γραμμές φόρτωσης και βύθισμα

Συνήθως το light weight ενός πλοίου δεν χρησιμοποιείται για να καταδείξει το μέγεθος του πλοίου, ενώ αντίθετα χρησιμοποιείται το deadweight (DWT), που βασίζεται στην μεταφορική ικανότητα του πλοίου και μετράται σε tons στο βύθισμα που αντιστοιχεί στο καλοκαιρινό ύψος εξάλλων.

Το deadweight μπορεί μερικές φορές να αναφέρεται και στο βύθισμα σχεδίασεως, αλλά όταν αυτό ισχύει, αναφέρεται ειδικά. Ο Πίνακας 2 δείχνει μερικές εμπειρικές σχέσεις μεταξύ εκτοπίσματος, deadweight (καλοκαιρινό ύψος εξάλλων) και light weight.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Παραδείγματα της σχέσης μεταξύ εκτοπίσματος, τόνων dead weight και light weight.

Τύπος πλοίου	Σχέση DWT/light weight	Σχέση Εκτόπισμα/DWT
Δεξαμενόπλοια και Φορτίου Χύδη	6	1.17
Εμπορευματοκιβωτίων (Container)	2.5 - 3.0	1.33 - 1.4

Το εκτόπισμα ενός πλοίου μπορεί επίσης να εκφραστεί και σαν όγκος εκτοπιζόμενου ύδατος ∇ δηλαδή, σε m^3 .

Ολική Χωρητικότητα

Πολλές φορές μπορούμε να πούμε πως χρησιμοποιούνται και διάφορα άλλα μεγέθη όπως η ολική χωρητικότητα (Gross Register tons, GRT) και η καθαρή χωρητικότητα (Net Register Tons, NRT), όπου 1 register ton = 100 αγγλικά κυβικά πόδια (ft^3) - $2.83 m^3$.

Αυτά τα μεγέθη εκφράζουν το μέγεθος του εσωτερικού όγκου του πλοίου σύμφωνα με τους δεδομένους κανονισμούς για τέτοιες μετρήσεις, και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για τον υπολογισμό των τελών σε λιμάνια και διώρυγες.

Περιγραφή μορφών γάστρας

Το τμήμα του πλοίου που επηρεάζει τις απαιτήσεις πρόωσής του είναι το τμήμα της γάστρας του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή. Οι διαστάσεις που παρακάτω περιγράφουν την μορφή της γάστρας αναφέρονται στο βύθισμα σχεδιάσεως, το οποίο είναι μικρότερο ή ίσο με το βύθισμα που αντιστοιχεί στο ύψος εξάλλων το καλοκαίρι. Η επιλογή του βυθίσματος σχεδιάσεως εξαρτάται από το ποσόν του φορτίου, δηλαδή, από το εάν το πλοίο κατά την κανονική λειτουργία του θα είναι ελαφρά ή βαριά φορτωμένο. Γενικά, χρησιμοποιείται το πιο σύνηθες βύθισμα μεταξύ του βυθίσματος στην έμφορτη κατάσταση και του βυθίσματος στην κατάσταση ερματισμού.

Μήκη πλοίου L_{OA} , L_{WL} , και L_{PP}

Στο παρακάτω Σχήμα 2 φαίνονται διατάξεις απο μήκη πλοίου.

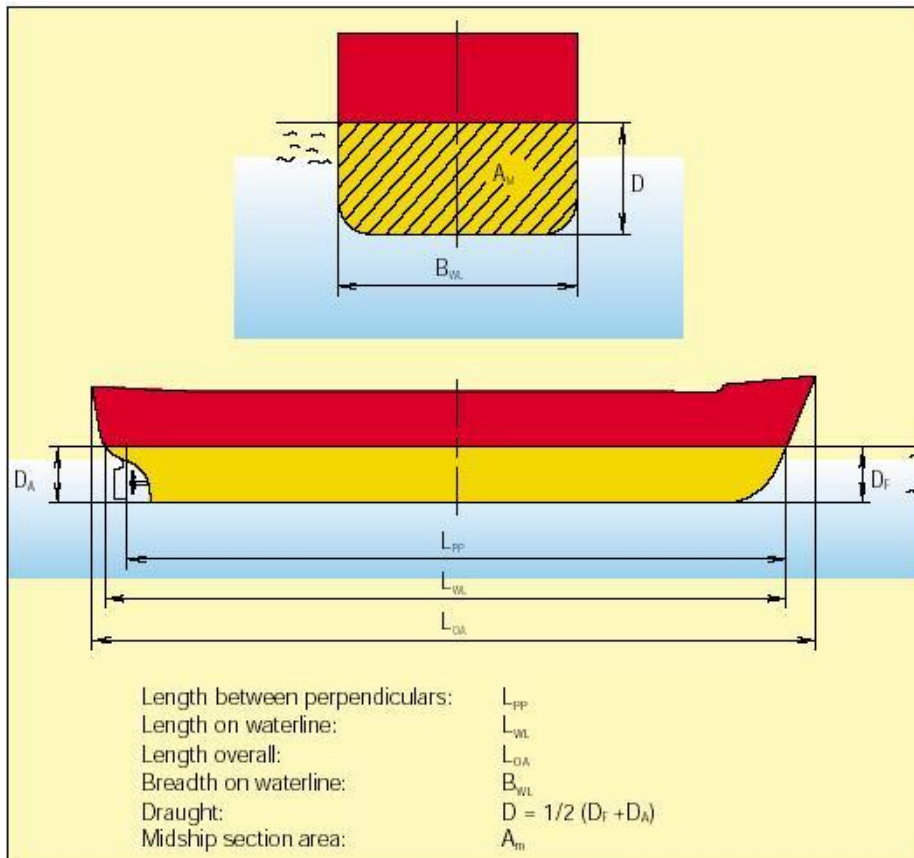
Το συνολικό μήκος του πλοίου (length overall), L_{OA} , κανονικά δεν παίζει κανένα ρόλο όταν υπολογίζεται η υδροδυναμική αντίσταση. Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι το μήκος της ισάλου γραμμής (waterline length), L_{WL} , και το μήκος μεταξύ καθέτων (length between perpendiculars), L_{PP}

Το μήκος μεταξύ καθέτων είναι το μήκος μεταξύ της προραίας καθέτου, δηλαδή, συνήθως μίας κατακόρυφης ευθείας που περνά από το σημείο που η πρόρα τέρμει την ίσαλο γραμμή, και της πρυμναίας καθέτου, που συνήθως συμπίπτει με τον άξονα του πηδαλιού. Γενικά το μήκος αυτό είναι ελαφρά μικρότερο από το μήκος της ισάλου γραμμής και συνήθως εκφράζεται ως:

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

Βύθισμα D

Το βύθισμα του πλοίου, D , (συχνά χρησιμοποιείται το T στην βιβλιογραφία) ορίζεται ως η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο μέχρι το σημείο της γάστρας που είναι βαθύτερα στο νερό, Σχήμα 2 και 3. Το προραίο βύθισμα D_F , και το πρυμναίο βύθισμα, D_A , κανονικά είναι ίσα, όταν το πλοίο βρίσκεται στην έμφορτη κατάσταση.



Σχήμα 2 : Κύριες διαστάσεις πλοίων

Πλάτος στην ίσαλο B_{WL}

Το μεγαλύτερο πλάτος της γάστρας στην ίσαλο, B_{WL} , είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας Σχήμα 2 και 3.

Συντελεστής γάστρας C_B

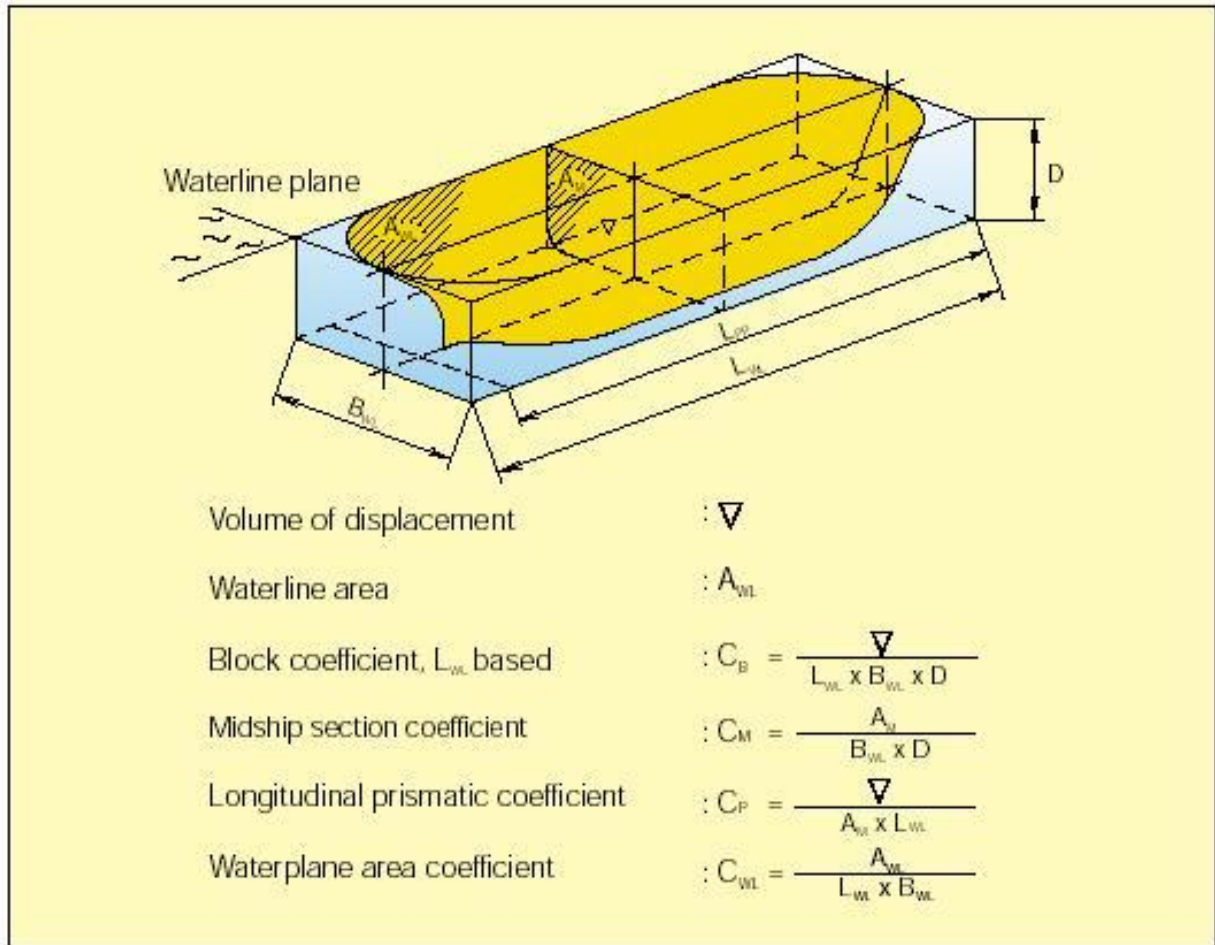
Υπάρχουν διάφοροι συντελεστές μορφής που χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν το σχήμα της γάστρας. Ο πιο σημαντικός από τους συντελεστές αυτούς είναι ο συντελεστής γάστρας C_B , που ορίζεται ως ο λόγος του εκτοπίσματος προς τον όγκο ενός ορθογωνίου με διαστάσεις $L_{WL} * B_{WL} * D$, Σχήμα 3, δηλαδή

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \times B_{WL} \times D}$$

Στην παραπάνω περίπτωση ο συντελεστής γάστρας αναφέρεται στο μήκος της ισάλου, L_{WL} . Όμως οι κατασκευαστές συχνά χρησιμοποιούν συντελεστή γάστρας βασισμένο στο μήκος μεταξύ καθέτων, L_{PP} , οπότε ο συντελεστής γάστρας θα είναι, κατά κανόνα, ελαφρά μεγαλύτερος, γιατί, όπως είπαμε προηγουμένως το, L_{PP} , είναι κανονικά λίγο μικρότερο από L_{WL} .

Ένας μικρός συντελεστής γάστρας σημαίνει μικρότερη αντίσταση και, συνεπώς, την πιθανότητα επίτευξης υψηλής ταχύτητας.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται μερικά παραδείγματα μεγέθους συντελεστών γάστρας και τις αντίστοιχες ταχύτητες για διαφορετικούς τύπους πλοίων. Δείχνει ότι οι μεγάλοι συντελεστές γάστρας αντιστοιχούν σε χαμηλές ταχύτητες και αντίστροφα



Σχήμα 3 : Συντελεστές μορφής πλοίων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : Παραδείγματα συντελεστών γάστρας

Τύπος πλοίου	Συντελεστής γάστρας C_B	Ταχύτητα (περίπου) [κόμβοι (knots)]
Φορηγίδες	0.90	5 - 10
Φορτίου χύδην	0.80 - 0.85	12 - 17
Δεξαμενόπλοια	0.80 - 0.85	12 - 16
Γενικού φορτίου	0.55 - 0.75	13 - 22
Εμπορευματοκιβωτίων (Container)	0.50 - 0.70	14 - 26
Πορθμεία (Ferry Boat)	0.50 - 0.70	15 - 26

Συντελεστής ισάλου επιφάνειας C_{WL}

Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας, C_{WL} , εκφράζει το λόγο της ισάλου επιφάνειας του πλοίου, A_{WL} , προς το γινόμενο του μήκους L_{WL} και του πλάτους B_{WL} του πλοίου στην ίσαλο επιφάνεια, Σχήμα 3, δηλαδή :

$$C_{WL} = \frac{A_{WL}}{L_{WL} \cdot B_{WL}}$$

Γενικά ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας είναι περίπου κατά 0.10 υψηλότερος από το συντελεστή γάστρας, δηλαδή: $C_{WL} = C_B + 0.10$.

Αυτή η διαφορά θα είναι ελαφρώς μεγαλύτερη για γρήγορα πλοία με χαμηλούς συντελεστές γάστρας, όπου η πρύμνη είναι μερικώς βυθισμένη στο νερό και γίνεται έτσι τμήμα της "ισάλου" επιφάνειας.

Συντελεστής μέσης τομής C_M

Μία επιπλέον περιγραφή της μορφής της γάστρας γίνεται μέσω του συντελεστή μέσης τομής C_M , που εκφράζει το λόγο της επιφάνειας της μέσης τομής που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο A_M (στο μέσον της απόστασης μεταξύ της πρωαίας και της πρυμναίας καθέτου) προς το γινόμενο του πλάτους B_{WL} και του βυθίσματος D του πλοίου, Σχήμα 3, δηλαδή,

$$C_M = \frac{A_M}{B_{WL} \cdot D}$$

Για πλοία φορτίου χύδην και για δεξαμενόπλοια, ο συντελεστής αυτός είναι της τάξης του 0.98 - 0.99, ενώ για τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων είναι της τάξης του 0.97-0.98.

Διαμήκης πρισματικός συντελεστής C_P

Ο διαμήκης πρισματικός συντελεστής C_P εκφράζει το λόγο του όγκου το εκτοπίσματος ∇ προς το γινόμενο της επιφάνειας της μέσης τομής, A_M , και του μήκους της ισάλου, L_{WL} , Σχήμα 3, δηλαδή,

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M \cdot L_{WL}} = \frac{\nabla}{C_M \cdot B_{WL} \cdot D \cdot L_{WL}} = \frac{C_B}{C_M}$$

Όπως φαίνεται, ο C_P δεν είναι ένας ανεξάρτητος συντελεστής μορφής αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από τον συντελεστή γάστρας, C_B , και τον συντελεστή μέσης τομής, C_M .

Συντελεστής λεπτότητας C_{LD}

Ο λόγος μήκος προς εκτόπισμα ή συντελεστής λεπτότητας, C_{LD} ορίζεται ως ο λόγος του μήκους της ισάλου, L_{WL} , και του μήκους της μιας πλευράς ενός κύβου με όγκο ίσο με τον όγκο του εκτοπίσματος, δηλαδή

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

Διάμηκες κέντρο άντωσης LCB

Το διάμηκες κέντρο άντωσης (LCB) εκφράζει την θέση του κέντρο άντωσης και ορίζεται ως η προσημασμένη απόσταση μεταξύ του κέντρου άντωσης και του μέσου μεταξύ της πωραίας και της πρυμναίας καθέτου. Η απόσταση συνήθως δίνεται ως ποσοστό του μήκους μεταξύ των καθέτων και είναι θετικά προσημασμένη αν το κέντρο άντωσης βρίσκεται πρόωραθεν του μέσου μεταξύ των καθέτων και αρνητικά εάν βρίσκεται πρύμνηθεν του μέσου σημείου. Για ένα πλοίο σχεδιασμένο για υψηλές ταχύτητες, για παράδειγμα, εμπορευματοκιβωτίων (containership), το LCB θα είναι κανονικά αρνητικό, ενώ για αργά πλοία, όπως είναι τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία φορτίου χύδην, θα είναι κανονικά θετικό. Το LCB κυμαίνεται γενικά από -3% έως +3%.

Αντίσταση πλοίου

Για να κινηθεί ένα πλοίο είναι πρώτα από όλα αναγκαίο να υπερνικήσει την αντίσταση, δηλαδή την δύναμη που δρα αντίθετα από την ώση. Ο υπολογισμός της αντίστασης παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης έλικας και στην εν συνεχεία επιλογή της Κύριας Μηχανής.

Γενικά η αντίσταση ενός πλοίου επηρεάζεται κυρίως από την ταχύτητά του, το εκτόπισμά του και την μορφή της γάστρας του. Η συνολική αντίσταση R_T , αποτελείται από πολλές συνιστώσες αντιστάσεις R , που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κυρίως ομάδες ως εξής:

1. Αντίσταση τριβής
2. Υπόλοιπη Αντίσταση
3. Αντίσταση Αέρα

Η σχετική επιρροή της αντίστασης τριβής και της υπόλοιπης αντίστασης εξαρτάται από το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της γάστρας κάτω από την ίσαλο, ενώ η επιρροή της αντίστασης του αέρα εξαρτάται από το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα του πλοίου πάνω από την ίσαλο. Έτσι η αντίσταση του αέρα θα έχει επιπτώσεις σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container) που μεταφέρουν ένα μεγάλο αριθμό από αυτά στο κατάστρωμα.

Νερό ταχύτητας V και πυκνότητας ρ έχει μία δυναμική πίεση ίση με :

$$1/2 \rho V^2 \text{ (Νόμος του Bernoulli)}$$

Έτσι όταν το νερό σταματήσει πάνω σε ένα ακίνητο σώμα, λόγω της δυναμικής πίεσης που αναπτύσσεται πάνω στην επιφάνεια του σώματος, θα εξασκήθει μία δύναμη επάνω στο σώμα από το νερό.

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται ως βάση όταν υπολογίζονται ή μετρώνται οι διάφορες αντιστάσεις R της γάστρας του πλοίου μέσω αδιάστατων συντελεστών αντίστασης C . Έτσι οι C σχετίζονται με την δύναμη αναφοράς K , που ορίζεται ως η δύναμη, που η δυναμική πίεση νερού με ταχύτητα ίση με τη ταχύτητα του πλοίου V ασκεί σε μία επιφάνεια, που είναι ίση με την βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας, A_S . Η επιφάνεια του πηδαλίου περιλαμβάνεται επίσης στην βρεχόμενη επιφάνεια. Έτσι, λοιπόν, τα γενικά δεδομένα για υπολογισμούς αντίστασης είναι:

$$\text{Δύναμη αναφοράς : } K = 1/2 \rho V^2 A_S$$

$$\text{και διάφορες αντιστάσεις : } R = C K$$

Με βάση πολλά πειραματικά δεδομένα μετρήσεων σε δεξαμενές και με την βοήθεια κατάλληλων αδιάστατων παραμέτρων της γάστρας, μερικές από τις οποίες έχουν ήδη συζητηθεί, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τον υπολογισμό όλων των αναγκαίων συντελεστών αντίστασης C και, κατά συνέπεια, των διαφόρων αντιστάσεων. Στην πράξη, ο υπολογισμός της αντίστασης κάποιου συγκεκριμένου πλοίου μπορεί να επαληθευτεί με δοκιμές ενός μοντέλου του πλοίου αυτού σε μία πειραματική δεξαμενή.

Αντίσταση τριβής R_F

Η αντίσταση τριβής, R_F , της γάστρας εξαρτάται από το μέγεθος της βρεχόμενης επιφανείας της γάστρας A_S και από τον ειδικό συντελεστή αντίστασης τριβής C_F . Η τριβή αυξάνεται με την ρύπανσή της γάστρας από θαλάσσιους οργανισμούς, όστρακα, φύκια, κ.λ.π.

Μια προσπάθεια να αποφευχθεί η ρύπανση της γάστρας γίνεται με την χρήση των αντιρρυπαντικών χρωμάτων. Πρόκειται για ειδικά χρώματα γάστρας που μειώνουν την πιθανότητα ανάπτυξης οργανισμών στα ύφαλα του πλοίου. Τα χρώματα που περιέχουν TBT ως βασικό βιοκτόνο συστατικό, που είναι πολύ τοξικό, είχαν επικρατήσει στην αγορά για δεκαετίες. Όμως η απαγόρευση του TBT που εκδόθηκε από τον IMO και αφορούσε τις νέες κατασκευές μετά την 1^η Ιανουαρίου 2003 και η ολική απαγόρευση μετά την 1^η Ιανουαρίου 2008, θα επιβάλουν την χρήση νέων εναλλακτικών χρωμάτων, πιθανόν βασισμένων στον χαλκό, (και ίσως λιγότερο αποτελεσματικών).

Όταν το πλοίο ωθείται μέσα στο νερό, η αντίσταση τριβής αυξάνεται με ρυθμό που είναι περίπου ίσος με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου.

Η αντίσταση τριβής αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μέρος της αντίστασης του πλοίου, μερικές φορές κάπου 70 - 90 % της συνολικής αντίστασης του πλοίου για αργά πλοία (φορτίου χύδην και δεξαμενόπλοια) και άλλες φορές λιγότερο από 40 % για γρήγορα

πλοία (εμπορευματοκιβωτίων -container-και επιβατηγά) [4].
βρίσκεται ως ακολούθως:

Η αντίσταση τριβής

$$R_F = C_F \times K$$

Υπόλοιπη Αντίσταση R_R

Η υπόλοιπη αντίσταση, R_R , περιλαμβάνει την αντίσταση κυματισμού και την αντίσταση δινών. Η αντίσταση κυματισμού αφορά την απώλεια ενέργειας που προκύπτει λόγω της δημιουργίας κυμάτων από το σκάφος κατά την διάρκεια της προώσεώς του μέσα στο νερό, ενώ η αντίσταση των δινών αφορά την απώλεια λόγω αποκολλήσεως της ροής που δημιουργεί δίνες, ειδικά στην πρύμνη του σκάφους.

Η αντίσταση κυματισμού σε χαμηλές ταχύτητες είναι ανάλογη στο τετράγωνο της ταχύτητας αλλά αυξάνει πολύ γρηγορότερα σε υψηλότερες ταχύτητες. Θεωρητικά αυτό σημαίνει ότι τίθεται ένα φράγμα ταχύτητας, έτσι ώστε επιπλέον αύξηση της ωστικής ισχύος του πλοίου δεν έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη ταχύτητα, καθώς όλη η ενέργεια θα μετατρέπεται σε ενέργεια κυματισμού. Η υπόλοιπη αντίσταση κανονικά αντιπροσωπεύει το 10 - 25 % της συνολικής αντίστασης για αργά πλοία και έως 40 - 60% για ταχεία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ρηχό νερό μπορεί να έχει επίσης μεγάλη επίπτωση στην υπόλοιπη αντίσταση, καθώς το εκτοπιζόμενο νερό κάτω από το πλοίο έχει μεγαλύτερη δυσκολία να κινηθεί προς τα πίσω.

Η διαδικασία για τον υπολογισμό του συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R περιγράφεται στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία και η υπόλοιπη αντίσταση βρίσκεται ως ακολούθως:

$$R_R = C_R \times K$$

Αντίσταση του αέρα R_A

Σε ήρεμο νερό, η αντίσταση του αέρα, θεωρητικά, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου και επίσης ανάλογη με την μετωπική επιφάνεια του πλοίου πάνω απο την ίσαλο. Η αντίσταση του αέρα κανονικά αντιπροσωπεύει περίπου το 2% της συνολικής αντίστασης.

Για πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container) με αντίθετο άνεμο, η αντίσταση λόγω του αέρα μπορεί να φθάσει και το 10%. Η αντίσταση αυτή μπορεί, κατ' αναλογία προς τις άλλες μορφές αντίστασης, να εκφρασθεί ως $R_A = C_A K$, όμως μερικές φορές είναι βασισμένη στο 90% της δυναμικής πίεσης του αέρα με ταχύτητα V , δηλαδή :

$$R_A = 0.90 \cdot \frac{1}{2} \rho_{air} V^2 A_{air}$$

όπου ρ_{air} είναι η πυκνότητα του αέρα και A_{air} είναι η επιφάνεια διατομής του πλοίου πάνω στο νερό [4].

Αντίσταση R_T και ισχύς P_E ρυμουλκήσεως

Η συνολική αντίσταση ρυμουλκήσεως του πλοίου R_T βρίσκεται, λοιπόν, ως:

$$R_T = R_F + R_R + R_A$$

Η αντίστοιχη ισχύς ρυμουλκήσεως (effective - towing - power), P_E , που είναι απαραίτητη για να κινηθεί το πλοίο μέσα στο νερό, δηλαδή, για να ρυμουλκηθεί το πλοίο με ταχύτητα V , είναι τότε:

$$P_E = V \times R_T$$

Η ισχύς που απορροφάται από την έλικα, P_D , ώστε να κινήσει το πλοίο με ταχύτητα V είναι, ωστόσο κάπως υψηλότερη. Αυτό οφείλεται ιδιαίτερα στις συνθήκες ροής γύρω από την έλικα και την απόδοση της ίδιας της έλικας, οι επιπτώσεις των οποίων συζητώνται στο επόμενο κεφάλαιο που αναφέρεται στην Πρόωση με Έλικες.

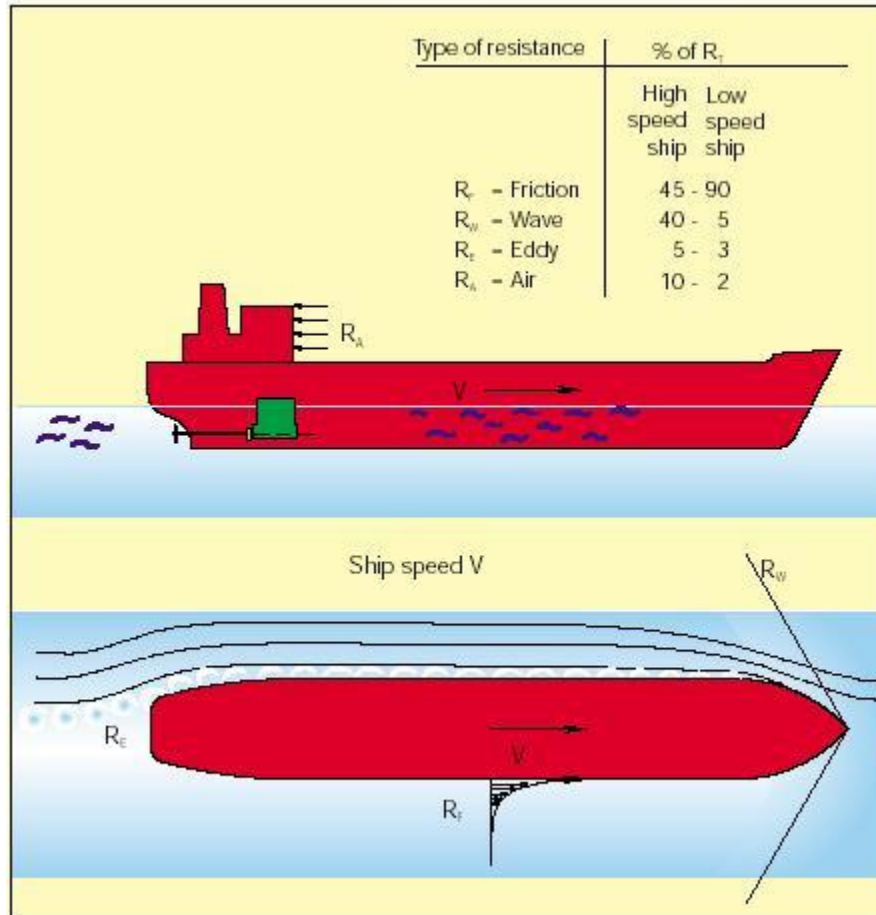
Συνολική αντίσταση γενικά.

Χωρίζοντας την υπόλοιπη αντίσταση σε αντίσταση κυμματισμών και δινών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατανομή της συνολικής αντίστασης ρυμούλκησης μπορεί να απεικονιστεί όπως στο σχήμα 4. Η δεξιά στήλη αναφέρεται σε αργά πλοία, όπως δεξαμενόπλοια και φορτίου χύδην, και η αριστερή στήλη αναφέρεται σε πολύ γρήγορα πλοία, όπως κρουαζιερόπλοια και ferries. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν κάπου ενδιάμεσα.

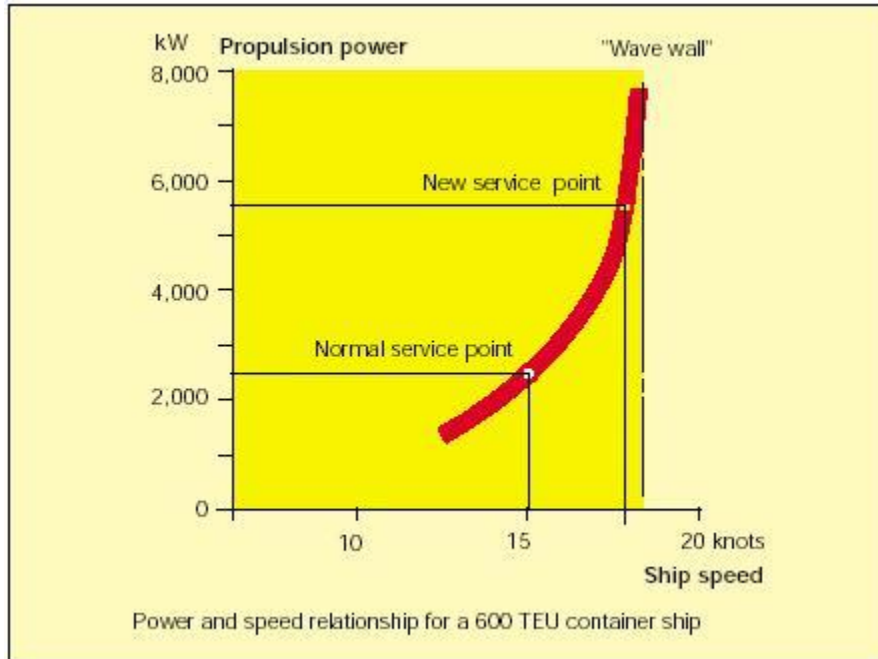
Ο κύριος λόγος διαφοροποίησης των δύο στηλών είναι η αντίσταση κυμματισμών, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Έτσι, γενικά όλες οι αντιστάσεις είναι ανάλογες με το τετράγωνο της ταχύτητας, αλλά στις υψηλότερες ταχύτητες η αντίσταση κυμματισμών αυξάνεται πολύ γρηγορότερα, αποτελώντας ένα μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής αντίστασης.

Αυτή η τάση φαίνεται επίσης στο σχήμα 5 που αναφέρεται σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χωρητικότητας 600 TEU, αρχικά σχεδιασμένο για ταχύτητα πλεύσης 15 κόμβων. Χωρίς καμία αλλαγή στην σχεδίαση της γάστρας, η ταχύτητα ενός αδελφού πλοίου απαιτήθηκε να αυξηθεί σε 17.6 κόμβους. Όμως αυτό θα οδηγούσε σε μια σχετικά υψηλή αντίσταση κυμματισμών, και θα απαιτούσε διπλασιασμό της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης.

Μια επιπλέον αύξηση της ισχύος πρόωσης θα προκαλούσε μια μικρή μόνο αύξηση της ταχύτητας του πλοίου, αφού η περισσότερη απο την επιπλέον ισχύ θα μετατρέπονταν σε ενέργεια κυματισμών. Δηλαδή τίθεται ένα όριο της ταχύτητας του πλοίου για την δεδομένη σχεδίαση γάστρας, που αποκαλούμε «τοίχο κύματος (wave wall)», σχήμα 5. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη λοιπόν μια τροποποίηση των γραμμών της γάστρας.



Σχήμα 4: Συνολική αντίσταση ρυμούλκησης



Σχήμα 5: Το όριο ταχύτητας του πλοίου

Αύξηση της αντίστασης κατά την λειτουργία

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου, η μεμβράνη του υφαλο-χρώματος στην γάστρα σταδιακά θα αποξεσθεί. Η διάβρωση θα ξεκινήσει και θαλάσσιοι οργανισμοί, όστρακα κ.λ.π. θα αναπτυχθούν στην επιφάνεια της γάστρας. Άσχημος καιρός σε συνδυασμό, ίσως, με κακή κατανομή του φορτίου μπορεί να αποτελέσουν αιτίες για στρέβλωση των ελασμάτων του πυθμένα. Η ρυπασμένη γάστρα του πλοίου δεν έχει "ομαλή" επιφάνεια, γεγονός που σημαίνει ότι η αντίσταση τριβής θα είναι μεγαλύτερη. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπ' όψη ότι και η επιφάνεια της έλικας θα γίνει τραχεία με την ρύπανση. Η αύξηση της συνολικής αντίστασης λόγω ρυπασμένης γάστρας και έλικας κατά την διάρκεια της ζωής του πλοίου μπορεί να φθάσει το 25 - 50%.

Η αντίσταση θα αυξηθεί επίσης και λόγω θαλασσίων ρευμάτων ή ρευμάτων αέρα. Η αντίσταση κατά την πλοήγηση με αντίθετο καιρό μπορεί να αυξηθεί έως και 50 - 100% της συνολικής αντίστασης του πλοίου σε καλό καιρό.

Η μέση αύξηση της αντίστασης των πλοίων κατά την πλοήγηση στις κύριες διαδρομές μπορεί να εκτιμηθεί ως ακολούθως:

Βόρειος Ατλαντικός, δυτικά	25 - 35%
Βόρειος Ατλαντικός, ανατολικά	20 - 25 %
Ευρώπη - Αυστραλία	20 - 25%
Ευρώπη - Ανατολική Ασία	20 - 25%
Ειρηνικός Ωκεανός	20 - 30%

Στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό, το πρώτο ποσοστό αντιστοιχεί σε πλοήγηση το καλοκαίρι και το δεύτερο το χειμώνα.

Ωστόσο, ανάλυση πραγματικών συνθηκών πλεύσης ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 140000 dwt έδειξε ότι σε μερικά δρομολόγια, ειδικά μεταξύ Ιαπωνίας – Καναδά σε έμφορτη κατάσταση, η αυξημένη αντίσταση (περιθώριο θάλασσας) μπορεί να πάρει οριακές τιμές ως 220%, με ένα μέσο όρο περίπου 100%.

Δυστυχώς, πολύ περιορισμένα στοιχεία σχετικά με την αύξηση της αντίστασης συναρτήσκει του τύπου και του μεγέθους του σκάφους έχουν δημοσιευθεί. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλοίο, τόσο μικρότερη είναι η αύξηση της αντίστασης λόγω της κατάστασης της θάλασσας. Από την άλλη μεριά, η αντίσταση τριβής των μεγάλων "γεμάτων" πλοίων θα αλλάξει πολύ εύκολα με τον χρόνο λόγω της ρυπάνσεως της γάστρας.

Οι παραπάνω πληροφορίες αναφέρονται στο [1].

Στην πράξη αύξηση της αντίστασης που προκαλείται από τον άσχημο καιρό εξαρτάται από τα ρεύματα, από τον άνεμο, καθώς και από το μέγεθος του κύματος. Ο τελευταίος παράγοντας μπορεί να παίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο. Έτσι, εάν το μέγεθος των κυμάτων είναι σχετικά μεγάλο, η ταχύτητα θα είναι κάπως ελαττωμένη ακόμη και κατά την πλεύση με σχετικά ήρεμες (fair) θάλασσες.

Θεωρητικά, η αύξηση που προκαλείται από άσχημο καιρό μπορεί να συσχετισθεί

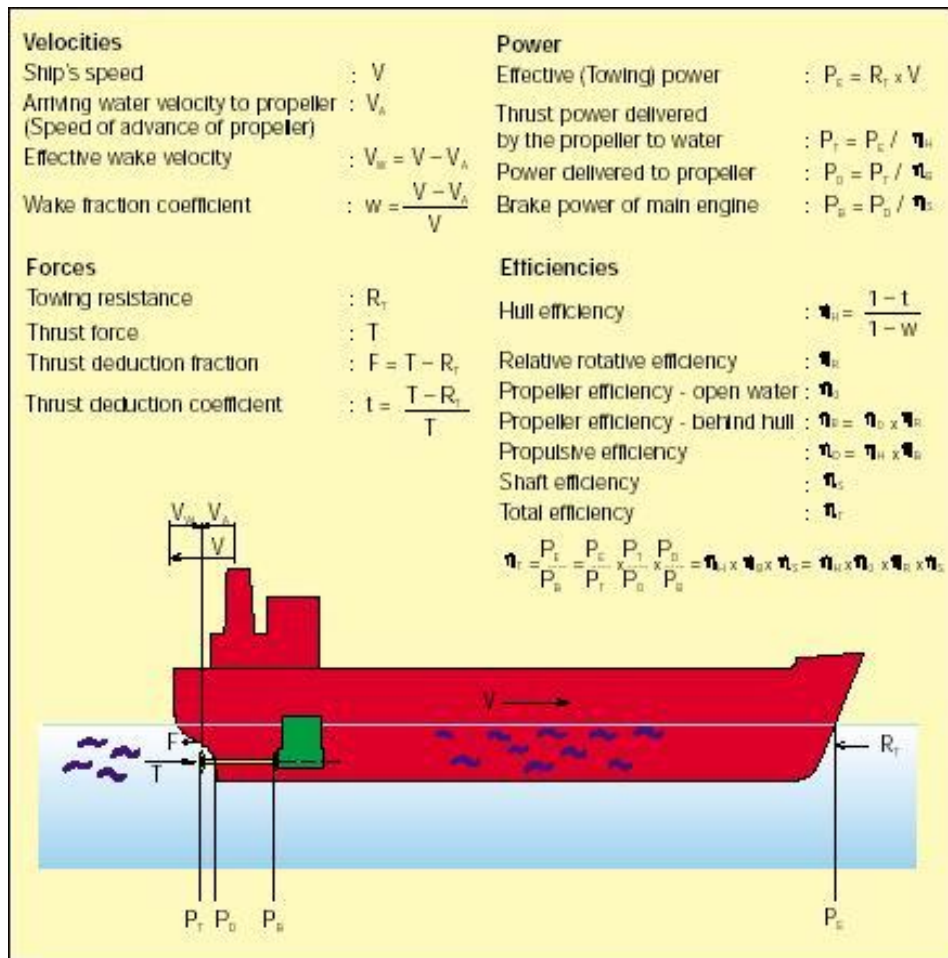
με: α) αντίθετους ανέμους και ρεύματα β) μεγάλα κύματα

στην πράξη, όμως, θα είναι δύσκολο να την ξεχωρίσει κανείς μεταξύ αυτών των παραγόντων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

Έλικες και Πρόωση

Για την κίνηση του πλοίου χρησιμοποιείται η έλικα, μερικές φορές δύο και , σε σπανιότερες περιπτώσεις, περισσότερες από δύο. Η απαιτούμενη ώση της έλικας για την κίνηση του πλοίου με ταχύτητα V κανονικά είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αντίσταση ρυμουλκήσεως R_T και τα αίτια που έχουν σχέση με την ροή καθώς και κάποια άλλα , εξηγούνται στο κεφάλαιο αυτό. Στο Σχήμα 6, παρουσιάζονται όλες οι σχετικές παράμετροι ταχύτητας, δύναμης, ισχύος και απόδοσης.



Σχήμα 6: Η πρόωση του πλοίου - θεωρία

Τύποι ελίκων

Στο σχήμα 7 φαίνονται οι έλικες που χωρίζονται σε δύο ακόλουθες κατηγορίες:

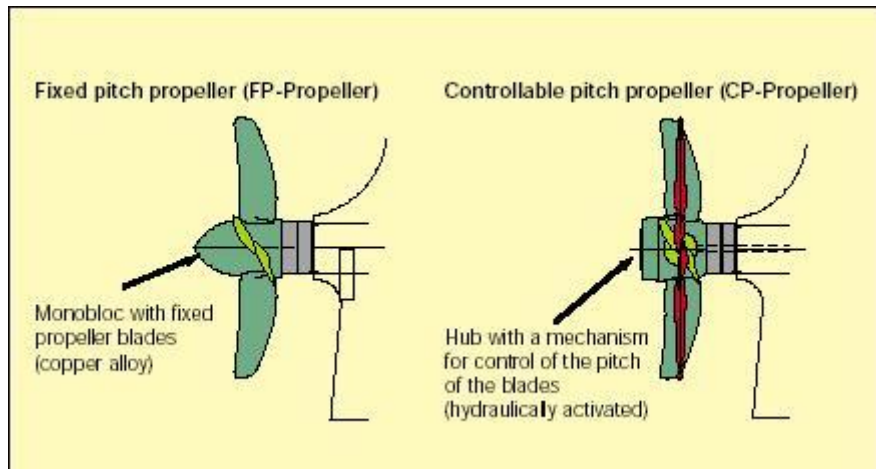
1. Έλικες σταθερού βήματος – fixed pitch propeller (FP-propeller)
2. Έλικες μεταβλητού βήματος – controllable pitch propeller (CP-propeller)

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια και συνήθως κατασκευάζονται απο κράμα χαλκού. Η θέση των πτερυγίων, και συνεπώς το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή για όλα, με ένα δεδομένο βήμα που δεν μπορεί να αλλάξει κατα την

λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι όταν η έλικα λειτουργεί σε συνθήκες, για παράδειγμα άσχημου καιρού, οι καμπύλες απόδοσης της έλικας, δηλαδή ο συνδιασμός ισχύος και ταχύτητας (r/min), θα αλλάζουν ακολουθώντας τους φυσικούς νόμους, και η πραγματική καμπύλη της έλικας δεν μπορεί να μεταβληθεί από το πλήρωμα. Τα περισσότερα πλοία που δεν χρειάζονται ειδικές καλές ελιγκτικές ικανότητες είναι εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν μεγαλύτερη πλύμνη σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος, επειδή η πλύμνη πρέπει να έχει αρκετό χώρο για τον υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της γωνίας (βήματος) των πτερυγίων. Οι έλικες μεταβλητού βήματος είναι σχετικά ακριβές, ίσως 3 με 4 φορές ακριβότερες σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος. Επιπλέον, λόγω της μεγαλύτερης πλύμνης, η απόδοση της έλικας είναι ελαφρώς χαμηλότερη.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος συνήθως χρησιμοποιούνται στα κρουαζιερόπλοια και στα ferries που απαιτούν υψηλές ελεγκτικές ικανότητες. Για τα συνηθισμένα πλοία, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, φορτίου χύδην και τα δεξαμενόπλοια, που πλέουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε κανονική θάλασσα και με δεδομένη ταχύτητα, θα ήταν γενικά αντισυμβατικό να εγκατασταθούν έλικες μεταβλητού βήματος αντί για σταθερού. Επίσης, μια έλικα μεταβλητού βήματος είναι πιο περίπλοκη και συνοδεύεται από υψηλότερο ρίσκο εμφάνισης προβλημάτων κατά την λειτουργία.



Σχήμα 7: Τύποι ελίκων.

Συνθήκες ροής γύρω από την έλικα

Συντελεστής ποσοστού ομόρρου w

Όταν το πλοίο κινείται, η τριβή της γάστρας θα δημιουργήσει μία λεγόμενη ζώνη τριβής ή οριακό στρώμα νερού γύρω από την γάστρα. Στην ζώνη αυτή, η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι ίση με αυτή του πλοίου, αλλά μειώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της γάστρας. Σε μία ορισμένη απόσταση από την γάστρα και, εξ' ορισμού, ίση με την απόσταση της εξωτερικής επιφάνειας της ζώνης τριβής, η ταχύτητα του νερού, σε σχέση με την περιβάλλουσα υδάτινη μάζα είναι ίση με μηδέν.

Το πάχος της ζώνης τριβής αυξάνει με την απόστασή του από το πρωραίο τμήμα της γάστρας. Η ζώνη τριβής είναι, λοιπόν, παχύτερη στο πρυμναίο άκρο της γάστρας και το πάχος της είναι σχεδόν ανάλογο με το μήκος του πλοίου [3]. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει κάποια ταχύτητα του ομόρρου που προκαλείται από την τριβή κατά μήκος των πλευρών της γάστρας. Επιπλέον, το εκτοπιζόμενο νερό από το πλοίο θα προκαλέσει επίσης κύματα τόσο προς την πύρα όσο και την πρύμνη. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η έλικα πίσω από την γάστρα θα λειτουργεί σε ένα πεδίο ομόρρου.

Συνεπώς, το νερό στην έλικα θα έχει μία πραγματική ταχύτητα ομόρρου V_w , που έχει την ίδια κατεύθυνση όπως και η ταχύτητα του πλοίου V , κυρίως λόγω του ομόρρου τριβής, Σχήμα 4. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα με την οποία φθάνει το νερό στην έλικα V_A (ίση με την ταχύτητα προχώρησης της έλικας), εκφραζόμενη ως μέση ταχύτητα στον δίσκο της έλικας, είναι κατά V_w χαμηλότερη από την ταχύτητα του πλοίου V .

Η πραγματική ταχύτητα του ομόρρου στην έλικα είναι, συνεπώς, ίση με $V_w = V - V_A$ και μπορεί να εκφραστεί σε αδιάστατη μορφή μέσω του συντελεστή ποσοστού του ομόρρου w . Ο συνήθως χρησιμοποιούμενος συντελεστής ποσοστού ομόρρου w που δίνεται από τον Taylor ορίζεται ως

$$W = V_w / V = (V - V_A) / V$$

$$(\because V_A / V = 1 - w)$$

Η τιμή του συντελεστή ποσοστού ομόρρου εξαρτάται σημαντικά από το σχήμα της γάστρας αλλά επίσης και από την θέση της έλικας και το μέγεθος της και επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή της.

Η διάμετρος της έλικας ή, ακόμη καλύτερα, η σχέση της διαμέτρου της έλικας d και του μήκους του πλοίου L_{WL} επηρεάζει κάπως τον συντελεστή ποσοστού ομόρρου, καθώς και το d / L_{WL} δίνει μία προσεγγιστική ένδειξη του βαθμού στον οποίο η έλικα λειτουργεί στον ομόρρο της γάστρας. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος d / L_{WL} τόσο μικρότερο είναι το w . Ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου αυξάνει όταν η γάστρα είναι ρυπασμένη.

Για πλοία με μία έλικα, ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου w είναι κανονικά στην περιοχή του 0.20 έως 0.45, αντιστοιχώντας σε μία ταχύτητα προχώρησης της έλικας V_A της τάξης του 0.55 έως 0.80 της ταχύτητας του πλοίου V . Πλοία με μεγάλο συντελεστή γάστρας έχουν έναν μεγάλο συντελεστή ποσοστού ομόρρου. Σε πλοία με δύο έλικες και ένα συμβατικό πρυμναίο τμήμα γάστρας, οι έλικες θα βρίσκονται κανονικά έξω από την ζώνη τριβής, οπότε ο συντελεστής ποσοστού w θα είναι στην περίπτωση αυτή κατά πολύ χαμηλότερος.

Πάντως, ένας υψηλός συντελεστής ποσοστού ομόρρου αυξάνει τον κίνδυνο για σπηλαιώση της έλικας, καθώς, κάτω από τέτοιες συνθήκες, η κατανομή της ταχύτητας του νερού γύρω από την έλικα είναι γενικά ανομοιογενής.

Μερικές φορές μπορεί να χρειάζεται ένα περισσότερο ομοιογενές πεδίο ομόρρου για την έλικα με επίσης υψηλότερη ταχύτητα προχώρησης V_A της έλικας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, για παράδειγμα, έχοντας έλικες σε διατάξεις ακροφυσίων (δακτυλίων). Προφανώς, η καλύτερη μέθοδος είναι να βεβαιωθεί, ήδη από το στάδιο της σχεδίασης, ότι το πρυμναίο τμήμα της γάστρας έχει τέτοιο σχήμα που επιτυγχάνεται το βέλτιστο πεδίο ομόρρου.

Συντελεστής μείωσης ώσης t

Η περιστροφή της έλικας προκαλεί την αναρρόφηση του νερό που βρίσκεται μπροστά της πίσω προς την έλικα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία επιπλέον αντίσταση στην γάστρα που συνήθως ονομάζεται "αύξηση αντίστασης" (augment of resistance) ή, σε σχέση με την συνολική απαιτούμενη δύναμη ώσης T στην έλικα, "ποσοστό μείωσης ώσης" F, Σχήμα 6. Αυτό σημαίνει ότι η ώση T στην έλικα πρέπει να υπερνικήσει και την αντίσταση του πλοίου R_T και αυτή την "απώλεια ώσης" F.

Το ποσοστό μείωσης ώσης F μπορεί να εκφραστεί σε αδιάστατη μορφή μέσω του συντελεστή μείωσης ώσης t, που ορίζεται ως:

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

($\therefore R_T / T = 1 - t$)

Γενικά το μέγεθος του συντελεστή μείωσης ώσης t αυξάνει όταν ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου w αυξάνει. Το σχήμα της γάστρας μπορεί να έχει σημαντική επίδραση, για παράδειγμα, μία βολβοειδής πλώρα μπορεί, κάτω από ορισμένες συνθήκες (χαμηλές ταχύτητες πλοίου), να μειώσει το t.

Το μέγεθος του συντελεστή μείωσης ώσης t για ένα πλοίο με μία έλικα κυμαίνεται, κανονικά, στην περιοχή από 0.12 έως 0.30, καθώς ένα πλοίο με ένα μεγάλο συντελεστή γάστρας έχει ένα μεγάλο συντελεστή μείωσης ώσης. Για πλοία με δύο έλικες, ο συντελεστής μείωσης ώσης t θα είναι πολύ μικρότερος καθώς οι έλικες "αναρροφούν" μακρύτερα από την γάστρα.

Βαθμοί απόδοσης

Βαθμός απόδοσης γάστρας η_H

Ο βαθμός απόδοσης γάστρας η_H ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της ισχύος ρυμουλκήσεως $P_E = R_T V$ και της ισχύος ώσης που η έλικα προσδίδει στο νερό $P_T = T V_A$, δηλαδή:

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T \times V}{T \times V_A} = \frac{R_T / T}{V_A / V} = \frac{1 - t}{w} = 1 - w$$

Για ένα πλοίο με μία έλικα, ο βαθμός απόδοσης γάστρας η_H κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή από 1.1 έως 1.4, με την υψηλή τιμή για πλοία με υψηλό συντελεστή γάστρας. Για πλοία με δύο έλικες και συμβατική πρύμνη, ο βαθμός απόδοσης γάστρας η_H είναι περίπου 0.95 έως 1.05, πάλι με την υψηλή τιμή για υψηλό συντελεστή γάστρας.

Βαθμός απόδοσης έλικας η_o , σε ελεύθερη ροή

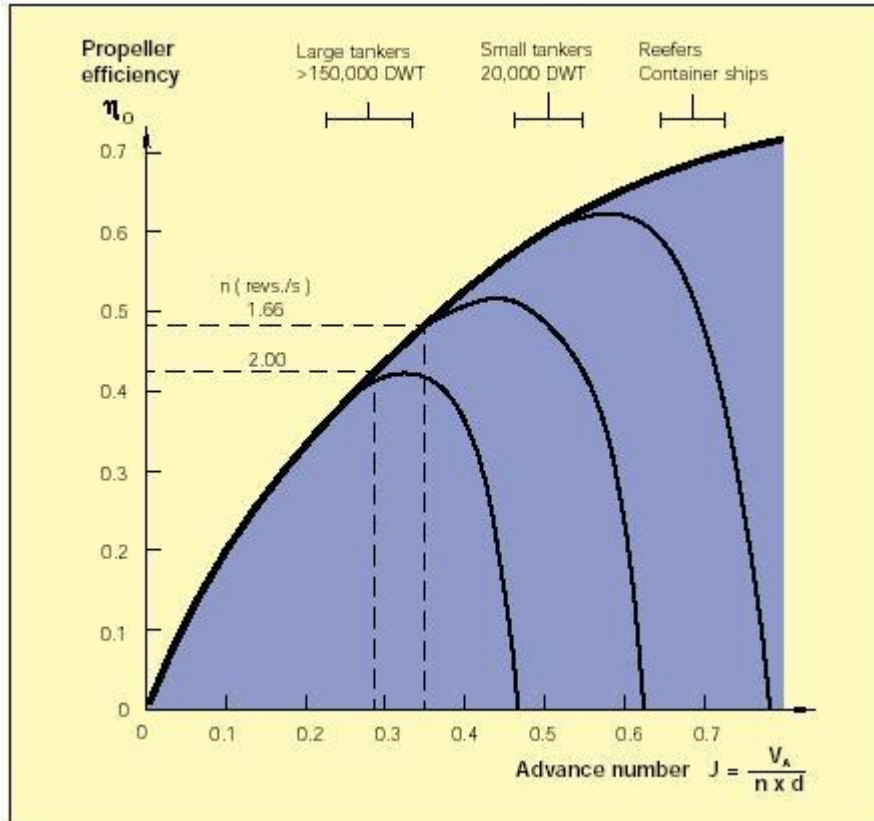
Βαθμός απόδοσης έλικας η_o σχετίζεται με ελεύθερη ροή, δηλαδή, όταν η έλικα λειτουργεί σε ομοιογενές πεδίο ομόρρου χωρίς γάστρα μπροστά της.

Ο βαθμός απόδοσης της έλικας εξαρτάται, ιδιαίτερα, από την ταχύτητα προχώρησης V_A , την ώση T , τον ρυθμό περιστροφής n , την διάμετρο d και, επιπλέον, από την σχεδίαση της έλικας, δηλαδή, τον αριθμό των περυγίων, τον λόγο εκτεταμένης επιφανείας, και την σχέση βήμα / διάμετρο - που θα συζητηθεί αργότερα στο κεφάλαιο αυτό. Ο βαθμός απόδοσης έλικας η_o , μπορεί να ποικίλει περίπου μεταξύ 0.35 και 0.75, με την υψηλή τιμή να ισχύει για έλικες με υψηλή ταχύτητα προχώρησης V_A [1].

Το Σχήμα 8 δείχνει τον βαθμό αποδόσεως της έλικας η_H που μπορεί να επιτευχθεί συναρτήσει της ταχύτητας προχώρησης V_A , που σε αδιάστατη μορφή δίνεται ως

$$J = V_A / (n \times d)$$

όπου J είναι ο συντελεστής προχώρησης της έλικας.



Σχήμα 8 : Λαμβανόμενος βαθμός απόδοσης έλικας - ελεύθερη ροή [1], σελ .213

Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R

Η πραγματική ροή του νερού που ρέει προς την έλικα πίσω από την γάστρα δεν είναι ούτε σταθερή ούτε σε ορθή γωνία προς τον δίσκο της έλικας, αλλά είναι ένα είδος περιστροφικής ροής. Συνεπώς, σε σχέση με την λειτουργία της έλικας σε ελεύθερη ροή, ο βαθμός απόδοσης της έλικας επηρεάζεται από τον συντελεστή η_R - που ονομάζεται βαθμός απόδοσης της σχετικής περιστροφής.

Σε πλοία με μία έλικα, ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής είναι, κανονικά, γύρω στο 1.0 έως 1.07, με άλλα λόγια, η περιστροφή του νερού έχει ευεργετικό αποτέλεσμα. Ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής σε ένα πλοίο με συμβατικό σχήμα γάστρας και δύο έλικες θα είναι κανονικά μικρότερος, περίπου 0.98.

Σε συνδυασμό με τα w και t , ο η_R πιθανώς χρησιμοποιείται συχνά για να προσαρμοστούν τα αποτελέσματα των δοκιμών σε πειραματικές δεξαμενές στους θεωρητικούς υπολογισμούς.

Βαθμός απόδοσης της έλικας η_B που λειτουργεί πίσω από το πλοίο.

Ο λόγος της ισχύος ώσης P_T , που η έλικα προσδίδει στο νερό και της ισχύος P_D , που προσδίδεται στην έλικα, δηλαδή, ο βαθμός απόδοσης της έλικας η_B , για μία έλικα, που λειτουργεί πίσω από το πλοίο ορίζεται ως :

$$\eta_B = P_T / P_D = \eta_O \times \eta_R$$

Βαθμός απόδοσης πρόωσης η_D

Βαθμός απόδοσης πρόωσης η_D , που δεν πρέπει να συγχέεται με τον βαθμό απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή η_O , είναι ίσος με τον λόγο ισχύος ρυμουλκήσεως P_E προς την απαιτούμενη ισχύ που προσδίδεται στην έλικα P_D , δηλαδή :

$$\eta_D = \frac{P_E - P_E \times P_T}{P_D} \times \frac{P_T}{P_D} = \eta_H \times \eta_B = \eta_H \times \eta_O \times \eta_R$$

Όπως φαίνεται, ο βαθμός πρόωσης η_D είναι ίσος με το γινόμενο του βαθμού απόδοσης της γάστρας η_H , του βαθμού απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή η_O και του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R , αν και ο τελευταίος έχει λιγότερη σημασία.

Σε σχέση με αυτά, μπορεί κανείς να οδηγηθεί στο να πιστεύει ότι μία μορφή γάστρας που δίδει υψηλό συντελεστή ποσοστού ομόρρου w και, άρα, υψηλό βαθμό απόδοσης γάστρας η_H , θα δώσει επίσης και τον καλύτερο βαθμό απόδοσης πρόωσης η_D .

Όμως καθώς ο βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή η_O εξαρτάται σημαντικά από την ταχύτητα προχώρησης V_A , βλ. Σχήμα 8, που μειώνεται καθώς αυξάνεται το w , ο βαθμός απόδοσης η_D , γενικά, δεν θα βελτιώνεται καθώς αυξάνεται το w . Πολύ συχνά συμβαίνει το αντίθετο.

Γενικά ο καλύτερος βαθμός απόδοσης πρόωσης επιτυγχάνεται, όταν η έλικα λειτουργεί σε ένα ομοιογενές πεδίο ομόρρου.

Βαθμός απόδοσης άξονα η_s

Ο βαθμός απόδοσης άξονα η_s εξαρτάται μεταξύ άλλων απο την ευθυγράμμιση και την λίπανση των εδράνων του άξονα και του μειωτήρα εάν υπάρχει.

Ο βαθμός απόδοσης του άξονα είναι ίσος με τον λόγο της ισχύος P_D που προσδίδεται στην έλικα και της ισχύος πέδης P_B , που παράγει η Κύρια Μηχανή , δηλαδή

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_B}$$

Ο βαθμός απόδοσης του άξονα είναι κανονικά περίπου 0.985, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται από 0.96 έως 0.995.

Ολικός βαθμός απόδοσης η_T

Ο ολικός βαθμός απόδοσης η_T , που είναι ίσος με τον λόγο της ισχύος ρυμουλκήσεως P_E προς την απαιτούμενη ισχύ πέδης P_B, που παράγεται από τη Κύρια Μηχανή, μπορεί να εκφραστεί ως ακολούθως,

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_D} \cdot \frac{P_D}{P_B} = \eta_D \cdot \eta_s = \eta_H \cdot \eta_O \cdot \eta_R \cdot \eta_s$$

Διαστάσεις της έλικας

Διάμετρος της έλικας d

Για να πετύχουμε υψηλό βαθμό αποδόσεως προώσεως η_D , θα πρέπει να επιλεχθεί κανονικά η μεγαλύτερη δυνατή διάμετρος έλικας d. Υπάρχουν, όμως , ειδικές συνθήκες που πρέπει κανείς να λάβει υπ' όψη του. Από την μία μεριά το πρυμναίο τμήμα της γάστρας μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την σχεδίαση του, από την άλλη, η απαραίτητη ανοχή μεταξύ του άκρου των πτερυγίων της έλικας και της γάστρας θα εξαρτάται από τον τύπο της έλικας.

Για πλοία φορτίου χύδην και δεξαμενόπλοια, που πολύ συχνά πλέουν στην κατάσταση ερματισμού, υπάρχουν συχνές απαιτήσεις η έλικα να είναι πλήρως βυθισμένη ακόμη και σε αυτήν την κατάσταση, θέτοντας έτσι κάποιους περιορισμούς όσον αναφορά το μέγεθος της έλικας. Ο περιορισμός του μεγέθους της έλικας δεν έχει τόση σημασία για πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container), καθώς αυτά σπάνια πλέουν σε κατάσταση ερματισμού. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες σημαίνουν ότι ένας ακριβής λόγος διάμετρος έλικας/βύθισμα σχεδιάσεως d/D δεν μπορεί να δοθεί εδώ, αλλά σαν εμπειρικό κανόνα μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς τις παρακάτω αναφερόμενες προσεγγίσεις και το γεγονός ότι μία μεγάλη διάμετρος d θα έχει κανονικά ως αποτέλεσμα έναν χαμηλό ρυθμό περιστροφής n.

Πλοίο φορτίου χύδην και δεξαμενόπλοιο : d/D < περίπου 0.65

Πλοίο εμπορευματοκιβωτίων (container) : d/D < περίπου 0.74

Για λόγους αντοχής και παραγωγής, η διάμετρος της έλικας γενικά δεν θα ξεπερνά τα 10 m και δεν θα απορροφά ισχύ μεγαλύτερη από 90000 kw. Η μεγαλύτερη έλικα που έχει κατασκευαστεί ως σήμερα έχει διάμετρο 11 μέτρα και έχει 4 πτερύγια.

Αριθμός πτερυγίων έλικας

Έλικες μπορούν να κατασκευασθούν με 2,3,4,5, ή 6 πτερύγια. Όσο λιγότερος ο αριθμός των πτερυγίων, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός αποδόσεως της έλικας. Όμως για λόγους αντοχής, έλικες που θα υποστούν ισχυρά φορτία δεν μπορούν να κατασκευασθούν μόνο με δύο ή τρία πτερύγια.

Έλικες με δύο πτερύγια χρησιμοποιούνται σε μικρά σκάφη και με 4, 5 και 6 πτερύγια σε μεγάλα πλοία. Τα πλοία που χρησιμοποιούν τις 2-Χ μηχανές της MAN B&W είναι κατά κανόνα μεγάλου τύπου και έχουν έλικες με 4 πτερύγια. Πλοία με σχετικά μεγάλες απαιτήσεις ισχύος και έλικες που λειτουργούν με υψηλή φόρτιση, για παράδειγμα, πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container) μπορεί να χρειάζονται έλικες με 5 ή 6 πτερύγια. Για λόγους ταλαντώσεων, έλικες με ορισμένο αριθμό πτερυγίων μπορεί να αποφεύγονται σε ειδικές περιπτώσεις ώστε να μην υπάρχει διέγερση φυσικών συχνοτήτων στην γάστρα ή στην υπερκατασκευή του πλοίου [3].

Συντελεστής εκτεταμένης επιφανείας

Ο συντελεστής επιφανείας - γνωστός τελευταία στην βιβλιογραφία και ως συντελεστής εκτεταμένης επιφανείας δίσκου - ορίζει την ανεπτυγμένη επιφάνεια της έλικας σε σχέση με την επιφάνεια του δίσκου της. Ένας συντελεστής 0.55 θεωρείται ότι είναι καλός. Ο συντελεστής εκτεταμένης επιφανείας παραδοσιακών τετραπτέρυγων ελίκων έχει μικρή σημασία, καθώς μία υψηλότερη τιμή θα οδηγήσει απλώς σε αυξημένη αντίσταση στην ίδια την έλικα και, έτσι, θα έχει μικρή επίπτωση στο τελικό αποτέλεσμα.

Για πλοία με ιδιαίτερα φορτισμένες έλικες, συχνά με 5 ή 6 πτερύγια, ο συντελεστής μπορεί να έχει μία υψηλότερη τιμή. Σε πολεμικά πλοία μπορεί να φθάσει και το 1.2.

Λόγος βήματος προς διάμετρο p/d.

Ο λόγος βήματος προς διάμετρο p/d εκφράζει τον λόγο του βήματος της έλικας p προς την διάμετρο της d, Σχήμα 10. Το βήμα, p, είναι η απόσταση που η έλικα "βιδώνεται" προς τα μπροστά μέσα στο νερό ανά περιστροφή υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει ολίσθηση -βλ. επίσης και το επόμενο εδάφιο και το Σχήμα 10. Καθώς το βήμα μπορεί να ποικίλει κατά μήκος της ακτίνας του πτερυγίου, ο λόγος αυτός συνήθως αναφέρεται στο βήμα στα 0,7r, όπου $r = d/2$ είναι η ακτίνα της έλικας.

Για να επιτευχθεί ο καλύτερος βαθμός απόδοσης προώσεως για δεδομένη διάμετρο της έλικας, πρέπει να βρεθεί ένας βέλτιστος λόγος βήματος προς διάμετρο, ο οποίος πάλι αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ρυθμό περιστροφής σχεδιάσεως. Αν, για παράδειγμα, επιθυμείται ένας χαμηλότερος ρυθμός περιστροφής σχεδιάσεως, ο λόγος βήματος προς διάμετρο πρέπει να αυξηθεί και αντίστροφα, γεγονός που θα έχει κόστος αποδόσεως.

Από την άλλη μεριά, η επιλογή μίας μεγαλύτερης έλικας, εφ' όσον το επιτρέπει το βύθισμα του πλοίου, μπορεί να επιτρέψει χαμηλότερο ρυθμό περιστροφής σχεδίασεως και όμως, ταυτόχρονα, να αυξήσει τον βαθμό αποδόσεως της έλικας.

Συντελεστές έλικας J, K_T και K_Q

Η θεωρία ελίκων βασίζεται σε μοντέλα, αλλά για να διευκολυνθεί η γενική χρήση της θεωρίας, ορισμένοι αδιάστατοι συντελεστές έλικας έχουν εισαχθεί σε σχέση με την διάμετρο d, τον ρυθμό περιστροφής n και την πυκνότητα μάζας του νερού ρ. Οι τρεις πιο σημαντικοί από αυτούς αναφέρονται παρακάτω.

Ο συντελεστής προχώρησης της έλικας J, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, είναι μία αδιάστατη έκφραση της ταχύτητας, προχώρησης της έλικας V_A.

$$J = \frac{V_A n}{\times d}$$

Η δύναμη ώσης T εκφράζεται αδιάστατα με την βοήθεια του συντελεστή ώσης K_T, ως

$$K_T = \frac{T}{\rho \times n^2 \times d^4}$$

και η ροπή της έλικας

$$Q = \frac{P}{2\pi \times n}$$

εκφράζεται αδιάστατα με την βοήθεια του συντελεστή ροπής K_Q, ως

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times d^5}$$

Ο βαθμός απόδοσης της έλικας η₀, μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια των προαναφερθέντων συντελεστών, διότι, όπως είπαμε προηγούμενα, ο βαθμός απόδοσης της έλικας η₀, ορίζεται ως:

$$\eta_0 = \frac{P}{P_D} = \frac{T \times V_A}{Q \times 2\pi \times n} = \frac{K_T}{K_Q} \times \frac{J}{2\pi}$$

Με την βοήθεια ειδικών και πολύ πολύπλοκων διαγραμμάτων της έλικας, που περιέχουν μεταξύ άλλων καμπύλες των J, K_T και K_Q, είναι δυνατό να βρεθούν/υπολογιστούν οι διαστάσεις της έλικας, ο βαθμός απόδοσης, η ώση, η ισχύς, κ.λ.π.

Κατασκευαστική ακρίβεια έλικας.

Πριν την κατασκευή της έλικας, η επιθυμητή πρότυπη κλάση ακρίβειας της έλικας πρέπει να επιλεγεί από τον πελάτη. Ένα τέτοιο πρότυπο είναι, για παράδειγμα, το ISO 484/1 – 1981 (CE), το οποίο έχει 4 κλάσεις ακρίβειας όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.

ISO 484/1 - 1981 (CE)		
Class	Manufacturing accuracy	Mean pitch for propeller
S	Very high accuracy	+/- 0.5 %
I	High accuracy	+/- 0.75 %
II	Medium accuracy	+/- 1.00 %
III	Wide tolerances	+/- 3.00 %

Πίνακας 4: Κλάσεις κατασκευαστικής ακρίβειας έλικας

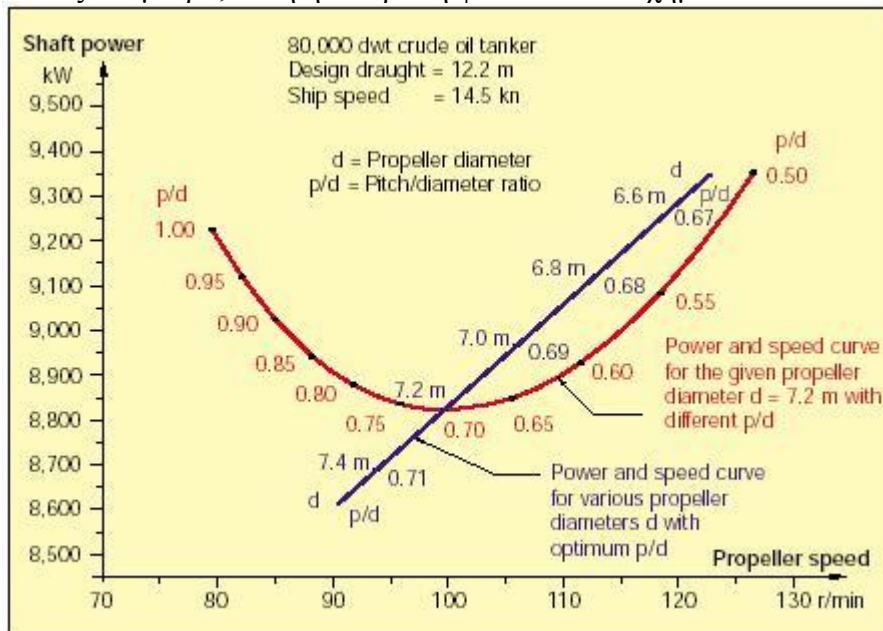
Κάθε μια απο αυτές τις κλάσεις, ανάμεσα σε άλλες λεπτομέρειες, καθορίζουν την μέγιστη επιτρεπτή ανοχή στο μέσο σχεδιαστικό βήμα της κατασκευασμένης έλικας, και έτσι την ανοχή της αντίστοιχης περιστροφικής ταχύτητας της έλικας.

Το κόστος της έλικας φυσικά εξαρτάται απο την επιλεγμένη κλάση ακρίβειας, με τις χαμηλότερες τιμές για την κλάση III . Ωστόσο, δεν προτείνεται να χρησιμοποιείται η κλάση III, επειδή αυτή η κλάση έχει πολύ μεγάλες ανοχές. Αυτό πάλι σημαίνει ότι η μέση ανοχή βήματος θα πρέπει να είναι κανονικά μικρότερη απο +/- 1.0 %.

Η κατασκευαστική ακρίβεια ανοχής αντιστοιχεί σε μια ανοχή ταχύτητας έλικας το πολύ +/- 1.0 %. Όταν επίσης συμπεριληφθεί η επίδραση της ανοχής του πεδίου ομόρρου της γάστρας, η συνολική ανοχή της ταχύτητας της έλικας μπορεί να φτάσει ως +/- 2.0%. Αυτή η ανοχή έχει ληφθεί υπόψιν όταν εκτιμούνται οι συνθήκες λειτουργίας της έλικας σε κακό καιρό.

Επίδραση της διαμέτρου και του λόγου βήματος/διάμετρο της έλικας στον βαθμό απόδοσης πρόωσης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο υψηλότερος δυνατός βαθμός απόδοσης πρόωσης, που απαιτείται για την επίτευξη μιας δεδομένης ταχύτητας πλοίου, επιτυγχάνεται με την μεγαλύτερη δυνατή διάμετρο έλικας, σε συνδιασμό με τον αντίστοιχο βέλτιστο λόγο βήμα/διάμετρο p/d. Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός δεξαμενοπλοίου αργού πετρελαίου 80,000 dwt, με ταχύτητα υπηρεσίας 14.5 κόμβων και με μέγιστη δυνατή διάμετρο έλικας 7.2 μέτρα, αυτή η επίδραση φαίνεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Επίδραση διαμέτρου και βήματος στην σχεδίαση έλικας

Σύμφωνα με την μπλέ καμπύλη, η μέγιστη δυνατή διάμετρος έλικας των 7.2 μέτρων, έχει το βέλτιστο λόγο βήμα/διάμετρο ίσο με περίπου 0.70, και την ελάχιστη δυνατή ισχύ άξονα των 8,820 kW στις 100 σ.α.λ. Εάν το βήμα για αυτή την διάμετρο αλλάξει, ο βαθμός απόδοσης πρόωσης θα ελαττωθεί, δηλαδή η απαιτούμενη ισχύς άξονα θα αυξηθεί, βλέπε κόκκινη καμπύλη.

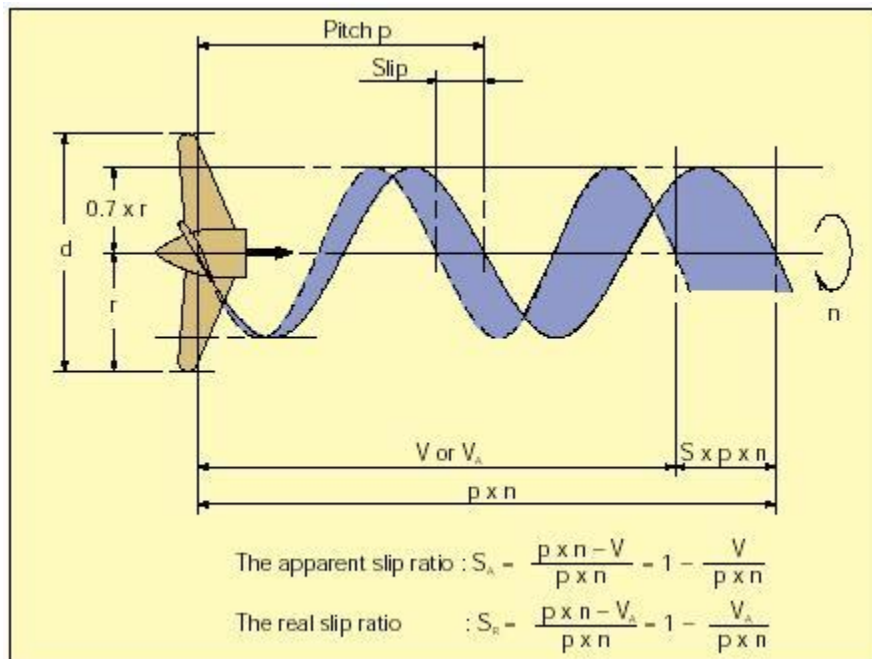
Η μπλέ καμπύλη δείχνει ότι εάν μια μεγαλύτερη έλικα με διάμετρο 7.4 μέτρα είναι δυνατή, η απαιτούμενη ισχύς άξονα θα ελαττωθεί σε 8,690 kW στις 94 σ.α.λ. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η έλικα, τόσο μικρότερη είναι η βέλτιστη περιστροφική της ταχύτητα.

Η κόκκινη καμπύλη επίσης δείχνει ότι για καλύτερη πρόωση θα ήταν πάντα πλεονέκτημα να διαλέξουμε την μέγιστη δυνατή διάμετρο έλικας, ακόμα και αν ο βέλτιστος λόγος βήμα/διάμετρο θα απαιτούσε μια πολύ χαμηλή περιστροφική ταχύτητα έλικας (σε σχέση με την απαιτούμενη περιστροφική ταχύτητα της μηχανής). Έτσι, όταν χρησιμοποιείται ένας λίγο χαμηλότερος λόγος βήμα/διάμετρο από τον βέλτιστο, η ταχύτητα μηχανής – έλικας θα αυξηθεί και θα προκληθεί μια μικρή επιπλέον αύξηση της ισχύος.

Συνθήκες λειτουργίας έλικας

Λόγος ολίσθησης S

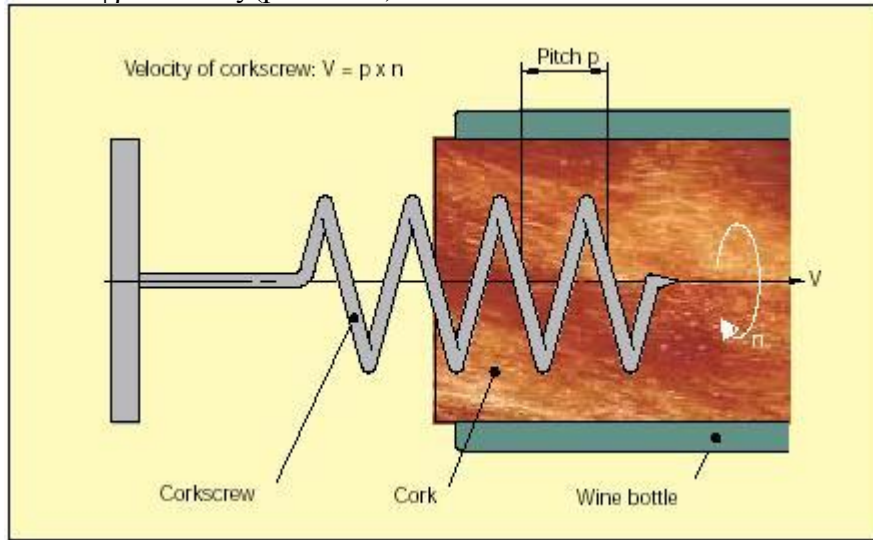
Στο παρακατώ Σχήμα 10 μας δίνει πως η έλικα θα προχωρούσε μπροστά με ταχύτητα $p \times n$, όπου n είναι ο ρυθμός περιστροφής της έλικας, εάν η έλικα δεν ολίσθαινε καθόλου, δηλαδή, εάν το νερό μέσα στο οποίο "βιδώνεται" δεν υποχωρούσε (δηλαδή, εάν το νερό δεν επιταχυνόταν προς τα πίσω).



Σχήμα 10: κίνηση της έλικας πλοίου, με βήμα p και λόγο ολίσθησης S .

Μια παρόμοια κατάσταση φαίνεται στο σχήμα 11 με το ανοιχτήρι φελλών, και επειδή το ανοιχτήρι είναι ένα στερεό σώμα, η ολίσθηση είναι μηδενική και έτσι κινείται προς τα μπρός με σταθερή ταχύτητα $V = p \times n$. Όμως επειδή το νερό είναι ρευστό και πράγματι υποχωρεί (δηλαδή, επιταχύνει προς τα πίσω), η πραγματική ταχύτητα της έλικας

μειώνεται και γίνεται ίση με την ταχύτητα του πλοίου V , και η φαινόμενη ολίσθηση μπορεί έτσι να εκφρασθεί ως $(p \times n - V)$.



Σχήμα 11: η κίνηση που κάνει ένα ανοιχτήρι (τιρμπουσόν), χωρίς ολίσθηση

Ο φαινόμενος λόγος ολίσθησης S_A , που είναι αδιάστατος, ορίζεται ως:

$$S_A = \frac{p \times n - V}{p \times n} = 1 - \frac{V}{p \times n}$$

Ο φαινόμενος λόγος ολίσθησης S_A , που υπολογίζεται από το πλήρωμα, δίδει μία αποτύπωση των φορτίων, που ασκούνται στην έλικα κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ο φαινόμενος λόγος ολίσθησης αυξάνεται, μεταξύ άλλων, όταν το σκάφος πλέει αντίθετα με τον άνεμο ή τα κύματα, σε ρηγά νερά, όταν η γάστρα είναι ρυπασμένη, και όταν το σκάφος επιταχύνει.

Ο πραγματικός λόγος ολίσθησης θα είναι μεγαλύτερος από τον φαινόμενο, γιατί η πραγματική ταχύτητα προχώρησης V_A της έλικας είναι, όπως προαναφέρθηκε, μικρότερη από την ταχύτητα του πλοίου V .

Ο πραγματικός λόγος ολίσθησης S_R , που δίδει μία πιο αληθινή εικόνα λειτουργία της έλικας, είναι:

$$S_R = 1 - \frac{V_A}{p \times n} = 1 - \frac{V \times (1 - w)}{p \times n}$$

Σε δοκιμές στην αποβάθρα, όπου η ταχύτητα του πλοίου είναι $V=0$, και οι δύο λόγοι ολίσθησης είναι 1.0. Αναφέρεται, ότι οι λόγοι ολίσθησης δίνονται συνήθως σε ποσοστά επί τοις εκατό.

Ο νόμος της έλικας γενικά.

Όπως συζητήθηκε στο Κεφάλαιο I, η αντίσταση R για πλοία χαμηλής ταχύτητας είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου V , δηλαδή, $R = c V^2$, όπου c είναι μία σταθερά. Η απαιτούμενη ισχύς P είναι ανάλογη προς την τρίτη δύναμη της ταχύτητας V και συνεπώς:

$$P = RV = c \times V^3$$

Για ένα πλοίο με μία έλικα σταθερού βήματος, δηλαδή, μία έλικα της οποίας το βήμα δεν είναι δυνατό να μεταβληθεί, η ταχύτητα V θα είναι ανάλογη προς τον ρυθμό περιστροφής n , δηλαδή:

$$P = c \times n^3$$

που εκφράζει ακριβώς τον νόμο της έλικας, που διατυπώνεται ως εξής: "η αναγκαία ισχύς που απορροφάται από την έλικα είναι ανάλογη με την τρίτη δύναμη του ρυθμού περιστροφής της."

Πραγματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ ισχύος και στροφών μηχανής για μια δεδομένη κατάσταση καιρού είναι αρκετά λογική, αν και η σχέση ισχύος και ταχύτητας πλοίου συχνά εμφανίζεται με μια δύναμη μεγαλύτερη του τρία. Μια λογική σχέση, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κάποιες εκτιμήσεις στο πεδίο κανονικών ταχυτήτων πλοίων, θα ήταν:

- Για πλοία υψηλών ταχυτήτων όπως πλοία εμπορευματοκιβωτίων: $P = c \times V^{4.5}$
- Για πλοία μεσαίου μεγέθους και ταχύτητας όπως ψυγεία, RoRo κλπ: $P = c \times V^4$
- Για πλοία χαμηλής ταχύτητας, όπως δεξαμενόπλοια, πλοία φορτίου χύδην, μικρά πλοία εμπορευματοκιβωτίων κλπ: $P = c \times V^{3.5}$

Νόμος της έλικας σε βαριές συνθήκες λειτουργίας.

Ο νόμος της έλικας μπορεί, φυσικά, να χρησιμοποιηθεί για όμοιες λειτουργίες του πλοίου. Όταν για παράδειγμα, η γάστρα του πλοίου μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας έχει ρυπανθεί και έτσι έχει γίνει πιο τραχεία, το πεδίο του ομόρρου θα είναι διαφορετικό από αυτό ενός πλοίου με ομαλή (καθαρή) γάστρα όπως ήταν στις δοκιμές παραλαβής του.

Ένα πλοίο με ρυπασμένη γάστρα θα αντιμετωπίζει συνεπώς αυξημένη αντίσταση, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα "υψηλή φόρτιση της έλικας", δηλαδή, για την ίδια ισχύ στην έλικα, ο ρυθμός περιστροφής θα είναι χαμηλότερος.

Ο νόμος της έλικας ισχύει για μία άλλη "υψηλότερη" καμπύλη έλικας από αυτή που ισχύει για μια καθαρή γάστρα. [1] Οι ίδιες κατ' αναλογία συνθήκες ισχύουν και όταν το πλοίο ταξιδεύει με άσχημο καιρό

αντίθετα στο ρεύμα, σε ένα δυνατό άνεμο ή μεγάλα κύματα, όπου ειδικά η αντίσταση κυματισμού μπορεί να οδηγήσει την έλικα να λειτουργεί με υψηλότερη φόρτιση από ότι σε ήρεμο καιρό. Από την άλλη μεριά, εάν το πλοίο πλέει στην κατάσταση ερματισμού, δηλαδή με χαμηλότερο εκτόπισμα, ο νόμος της έλικας ισχύει για μία "χαμηλότερη" καμπύλη έλικας, δηλαδή, για την ίδια ισχύ έλικας, ο ρυθμός περιστροφής της έλικας είναι υψηλότερος.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο νόμος της έλικας για πλοία με έλικα σταθερού βήματος χρησιμοποιείται εκτενώς σε λειτουργία με μερική φόρτιση. Έτσι χρησιμοποιείται επίσης και στο διάγραμμα φόρτισης και στο πεδίο λειτουργίας των κινητήρων Diesel, για να προσδιορίσει τις καμπύλες λειτουργίας της μηχανής για καθαρή και ρυπασμένη γάστρα, κ.λπ. Αυτά τα διαγράμματα περιγράφονται με λεπτομέρειες στο επόμενο Κεφάλαιο.

Η απόδοση της έλικας σε γενικά αυξημένη αντίσταση πλοίου.

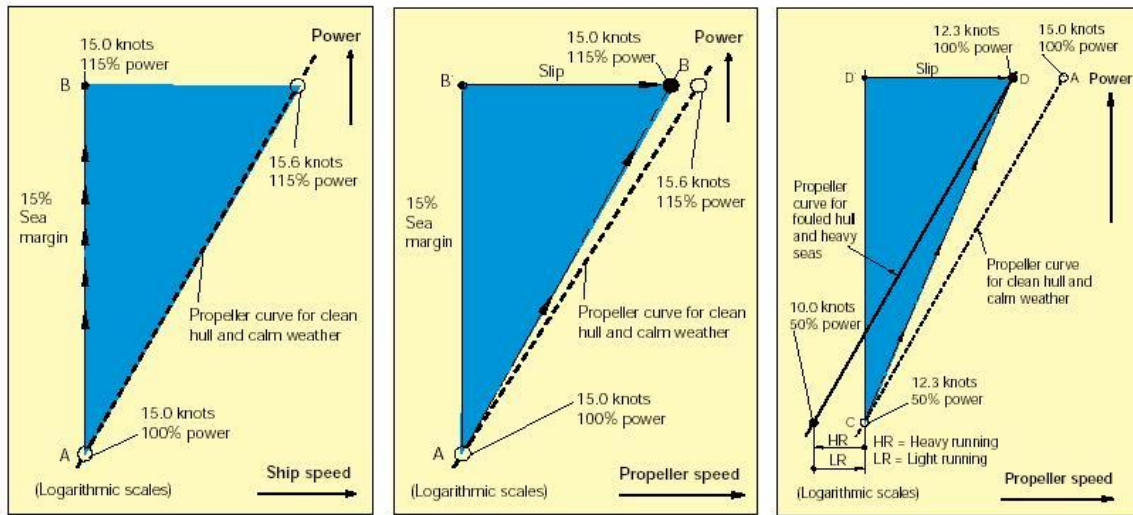
Η διαφορά μεταξύ των καμπυλών έλικας βαριάς και ελαφριάς λειτουργίας μπορεί να εξηγηθεί μέσω ενός παραδείγματος, (σχήμα 12), ενός πλοίου που χρησιμοποιεί το 100% της ισχύος πρόωσης και ταξιδεύει με 15 κόμβους σε συνθήκες καθαρής γάστρας και ήρεμου καιρού. Με 15% επιπλέον ισχύ, η αντίστοιχη ταχύτητα πλοίου μπορεί να αυξηθεί από 15 σε 15.6 κόμβους.

Όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, και συγκρινόμενο με τις συνθήκες ήρεμου καιρού, είναι λογικό να προσθέσουμε ένα επιπλέον περιθώριο ισχύος, που ονομάζεται περιθώριο θάλασσας, το οποίο συνήθως επιλέγεται να είναι 15%. Αυτό το περιθώριο ισχύος αφορά την επιπλέον αντίσταση που έχει το πλοίο λόγω συνθηκών καιρού. Ωστόσο, σε συνθήκες πολύ άσχημου καιρού, η επίδραση στην αντίσταση μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη.

Στο σχήμα 12 α παρουσιάζεται η ισχύς πρόωσης ως συνάρτηση της ταχύτητας του πλοίου. Όταν η αντίσταση του πλοίου αυξάνει σε ένα επίπεδο στο οποίο απαιτείται 15% επιπλέον ισχύ για να διατηρηθεί η ταχύτητα των 15 κόμβων, το σημείο λειτουργίας Α θα μετακινηθεί προς το Β.

Στο σχήμα 12 β παρουσιάζεται η ισχύς πρόωσης ως συνάρτηση της περιστροφικής ταχύτητας της έλικας. Ως μια πρώτη εκτίμηση, συχνά θεωρείται ότι το σημείο Α θα μετακινηθεί προς το Β', αφού μια αμετάβλητη ταχύτητα έλικας σημαίνει, με αμετάβλητο βήμα, ότι η έλικα θα προχωρήσει μέσα στο νερό με αμετάβλητη ταχύτητα.

Εάν η έλικα ήταν ένα ανοιχτήρι φελλών που προχωρούσε μέσα στο φελλό, αυτή η υπόθεση θα ήταν σωστή. Όμως το νερό δεν είναι στερεό όπως ο φελλός, αλλά υποχωρεί, και η έλικα θα εμφανίζει μια ολίσθηση που θα αυξάνεται με την αυξανόμενη ώση που προκαλείται από την αυξανόμενη αντίσταση γάστρας. Έτσι το σημείο Α θα κινηθεί προς το σημείο Β το οποίο στην πραγματικότητα είναι πολύ κοντά στην καμπύλη έλικας που περνάει από το Α. Το σημείο Β θα τοποθετηθεί τώρα σε μια καμπύλη έλικας που είναι ελαφρώς πιο βαριά συγκρινόμενη με την καμπύλη καθαρής γάστρας και ήρεμου καιρού. Μερικές φορές, για παράδειγμα όταν η γάστρα του πλοίου είναι ρυπασμένη και το πλοίο ταξιδεύει με κακό καιρό και μετωπικούς ανέμους, η αύξηση της αντίστασης μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη και έτσι η αύξηση της απαιτούμενης ισχύος μπορεί να είναι της τάξης του 100% ή και ακόμα μεγαλύτερη. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 12 γ.



Σχήμα 12: α) απόδοση ταχύτητας πλοίου με 15% περιθώριο θάλασσας, β) απόδοση ταχύτητας έλικας με 15% περιθώριο θάλασσας, γ) απόδοση ταχύτητας έλικας σε μεγάλη επιπρόσθετη αντίσταση

Σε αυτό το παράδειγμα, όπου το 100% της ισχύος θα δώσει μια ταχύτητα πλοίου 15 κόμβων, σημείο A, μια ταχύτητα πλοίου, για παράδειγμα, 12.3 κόμβων σε κατάσταση καθαρής γάστρας και ήρεμου νερού, σημείο C, θα απαιτεί περίπου 50% ισχύος πρόωσης, αλλά σε συνθήκες άσχημου καιρού, είναι δυνατόν να αποκτήσει ταχύτητα 12.3 κόμβων μόνο με το 100% της ισχύος πρόωσης, δηλαδή για 100% ισχύ πηγαίνει από το A στο D. Το σημείο λειτουργίας D μπορεί να τοποθετηθεί σχετικά μακριά στα αριστερά του σημείου A (πολύ βαριά λειτουργία). Μια τέτοια κατάσταση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν επιλέγεται κινητήρας για δεδομένη έλικα.

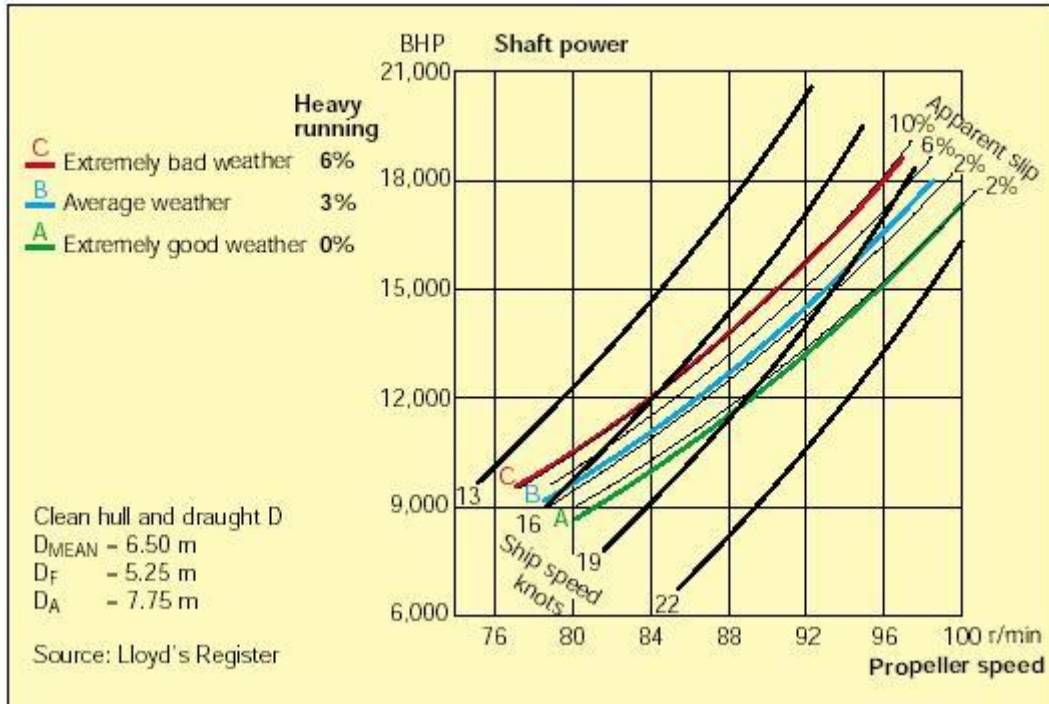
Μια *skewed* έλικα είναι πιο ευαίσθητη σε βαριά λειτουργία σε σχέση με μια συνηθισμένη έλικα, επειδή η έλικα απορροφά μεγαλύτερη ροπή σε συνθήκες βαριάς λειτουργίας. Για μια έλικα σε δακτύλιο ισχύει το αντίστροφο.

Μεγάλα κύματα

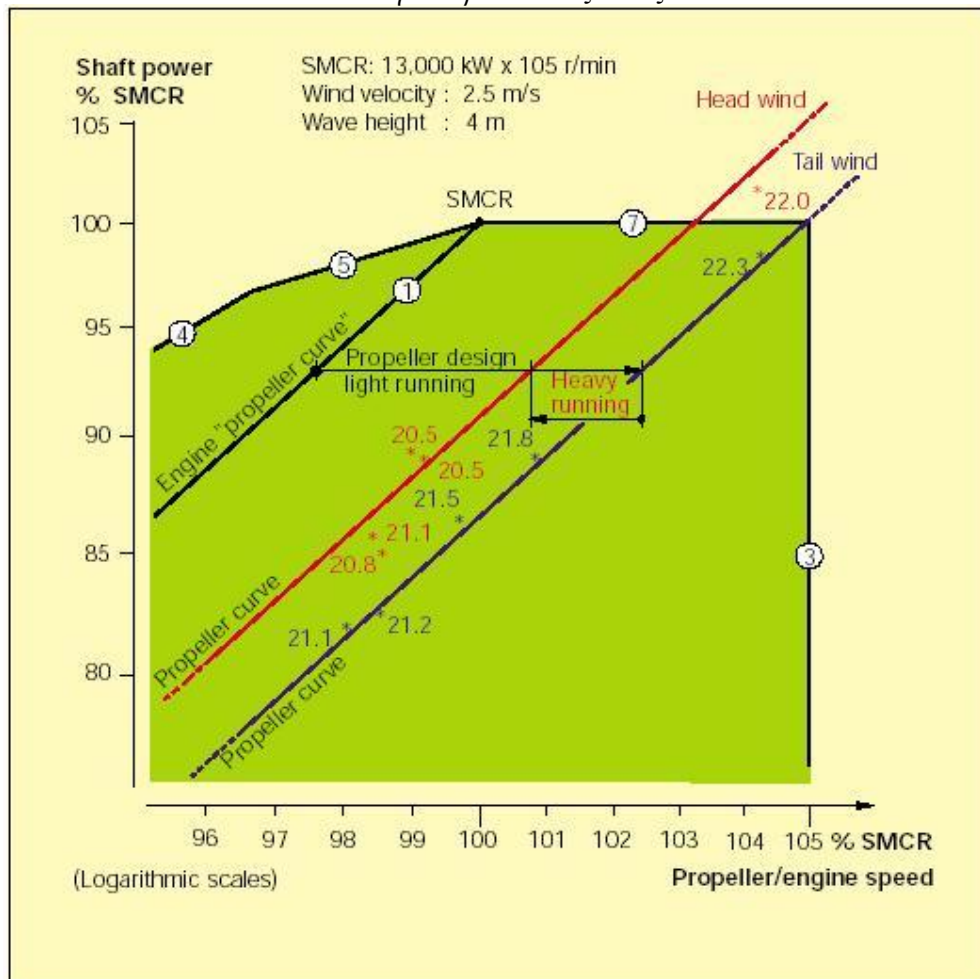
Κατά την πλεύση με άσχημο καιρό αντίθετα στο ρεύμα, με υψηλή αντίσταση κυματισμού, η έλικα μπορεί να λειτουργεί με 7-8% επιπλέον φόρτιση από ότι με καλό καιρό, δηλαδή για την ίδια ισχύ έλικας, ο ρυθμός περιστροφής να είναι 7-8% χαμηλότερος. Ένα παράδειγμα που αναφέρεται σε ένα μικρό πλοίο εμπορευματοκιβωτίων φαίνεται στο σχήμα 13. Τα δεδομένα λειτουργίας μετρήθηκαν για την περίοδο ενός έτους και περιλαμβάνουν μόνο την επίδραση των καιρικών συνθηκών! Τα μετρημένα σημεία λειτουργίας έχουν κατηγοριοποιηθεί σε τρεις μέσες καταστάσεις καιρού και δείχνουν μια επιπλέον μέση φόρτιση 6%, αν και στην πράξη, σε πλεύση με αντίθετα μεγάλα κύματα, η επιπλέον φόρτιση βρέθηκε να είναι ακόμη μεγαλύτερη.

Με σκοπό την αποφυγή της σφυρόκρουσης (*slamming*) του πλοίου, και συνεπώς τις ζημιές στην πρόρα και υπερτάχυνση (*racing*) της έλικας αν ξενερίζει, η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται από τον καπετάνιο.

Ένα άλλο παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 14 και αναφέρεται σε ένα πλοίο ψυγείο κατά την διάρκεια δοκιμών θαλάσσης. Αν και η ταχύτητα του ανέμου είναι σχετικά χαμηλή, μόλις 2.5 m/s, και το ύψος του κύματος είναι 4 μέτρα, οι μετρήσεις δείχνουν μια επιπλέον φόρτιση 1.5 % για πλεύση με μετωπικούς ανέμους σε σχέση με την πλεύση με ούριο άνεμο.



Σχήμα 13: Λειτουργικά δεδομένα ενός μονέλικο πλοίου εμπορευματοκιβωτίων κατά την διάρκεια ενός έτους.



Σχήμα 14: Σχέση ισχύος, περιστροφικής ταχύτητας έλικας και ταχύτητας πλοίου κατά την διάρκεια δοκιμών θαλάσσης πλοίου ψυγείου.

Επιτάχυνση του πλοίου

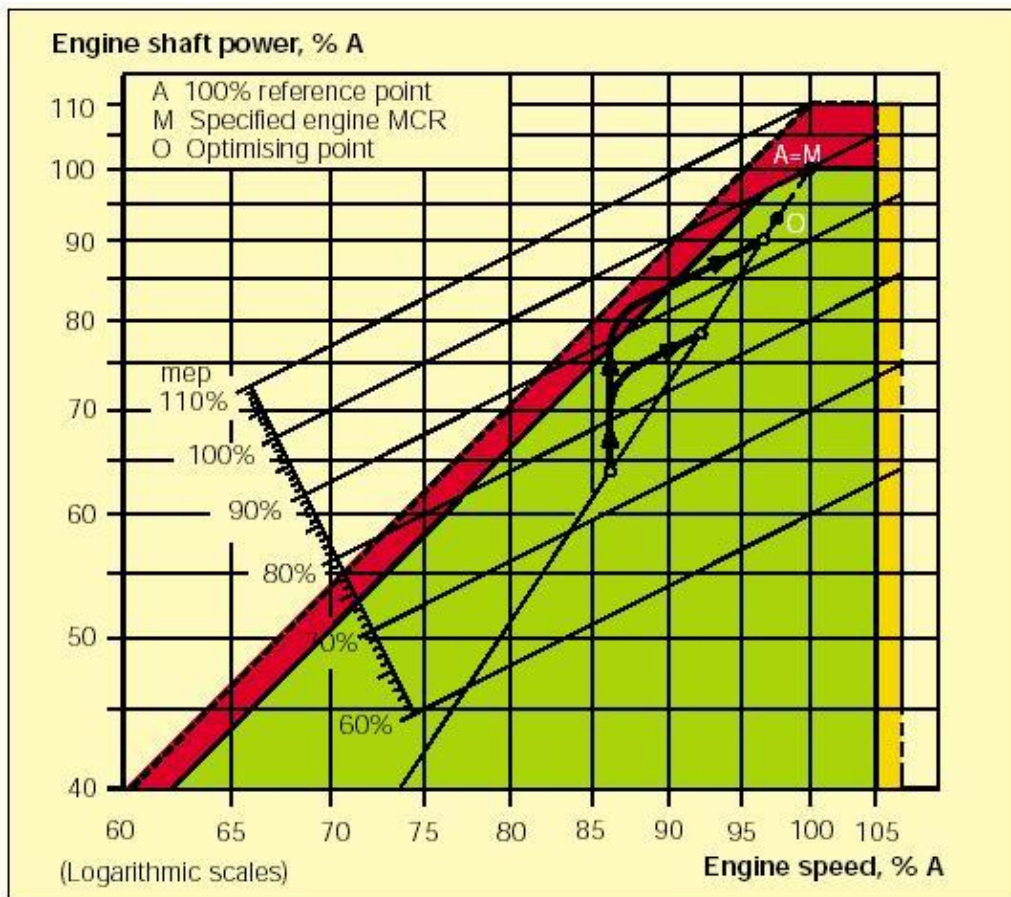
Με την επιτάχυνση του πλοίου, η έλικα υπόκειται σε ακόμα μεγαλύτερα φορτία από ότι σε ελεύθερη πλεύση. Η ισχύς που απαιτείται για την έλικα, συνεπώς, θα είναι υψηλότερη σχετικά με την ελεύθερη πλεύση και το σημείο λειτουργίας της μηχανής θα αντιστοιχεί σε αυξημένη φόρτιση, καθώς παίρνει κάποιο χρόνο μέχρι η ταχύτητα της έλικας να ανέβει. Ένα παράδειγμα με δύο διαφορετικές επιταχύνσεις φαίνεται στο σχήμα 15.

Ρηχό νερό

Κατά την πλεύση σε ρηχό νερό η υπόλοιπη αντίσταση του πλοίου μπορεί να αυξηθεί και, κατά τον ίδιο τρόπο όπως όταν το πλοίο επιταχύνει, η έλικα θα υφίσταται μεγαλύτερο φορτίο από ότι κατά την ελεύθερη πλεύση, και έτσι θα λειτουργεί με αυξημένη φόρτιση.

Επίδραση του εκτοπίσματος

Όταν το πλοίο πλέει στην έμφορτη κατάσταση, ο όγκος εκτοπίσματος του πλοίου μπορεί να είναι λόγω χάρη, 10% μεγαλύτερος ή μικρότερος από τον όγκο που αντιστοιχεί στην μέση έμφορτη κατάσταση. Αυτό, φυσικά, έχει επίδραση στην αντίσταση του πλοίου και στην απαίτηση ισχύος της έλικας, αλλά μόνο μικρή επίδραση στην καμπύλη της έλικας. Από την άλλη μεριά, όταν το πλοίο πλέει στην κατάσταση ερματισμού, ο όγκος εκτοπίσματος συγκρινόμενος με αυτόν της έμφορτης κατάστασης μπορεί να είναι, για παράδειγμα, 2% "χαμηλότερη", δηλαδή, για την ίδια ισχύ της έλικας, ο ρυθμός περιστροφής να είναι 2% υψηλότερος.



Σχήμα 15: Διάγραμμα φόρτισης - επιτάχυνση

Παράμετροι αυξημένης φόρτισης έλικας:

Οι παράμετροι που αναφέρονται παρακάτω μπορούν να αποτελέσουν έναν δείκτη του κινδύνου/ευαισθησίας εμφάνισης αυξημένης φόρτισης έλικας κατά την διάρκεια πλεύσης με άσχημο καιρό, μαζί με τις παραμέτρους λειτουργίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως και που προκαλούν αυξημένη φόρτιση έλικας,:

1. Σχετικά μικρά πλοία (<70,000 dwt) όπως πλοία ψυγεία και μικρά πλοία εμπορευματοκιβωτίων είναι ευαίσθητα, ενώ μεγάλα πλοία όπως μεγάλα δεξαμενόπλοια και πλοία εμπορευματοκιβωτίων είναι λιγότερο ευαίσθητα, αφού τα κύματα είναι σχετικά μικρά σε σχέση με το μέγεθος του πλοίου.
2. Μικρά πλοία ($L_{pp} < 135m$, 20000dwt) έχουν μικρή κατευθυντική ευστάθεια και χρειάζονται συχνές διορθώσεις πηδαλίου, οι οποίες αυξάνουν την αντίσταση του πλοίου (ένα αυτο-ελεγχόμενο πηδάλιο θα ελάττωνε αυτή την αντίσταση).
3. Πλοία υψηλών ταχυτήτων είναι πιο ευαίσθητα σε σχέση με τα αργά πλοία, επειδή τα κύματα ασκούν μεγαλύτερη δύναμη στα γρήγορα πλοία απ' ότι στα αργά.
4. Πλοία με επίπεδη πλώρη μπορεί να επιβραδυνθούν γρηγορότερα από τα κύματα σε σχέση με πλοία με οξεία πλώρη. Έτσι ένας βολβός σε σχήμα πέλεκυ μπορεί να κόβει τα κύματα καλύτερα και να μειώνει την τάση αυξημένης φόρτισης.
5. Ρύπανση της γάστρας και της έλικας οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης της γάστρας και της ροπής της έλικας. Ο καθαρισμός της έλικας όσο συχνότερα γίνεται, έχει πολύ ευεργετικά αποτελέσματα. Η χρήση αντιρυπαντικών χρωμάτων θα εμποδίσει την ρύπανση από ζωντανούς οργανισμούς.
6. Η επιτάχυνση του πλοίου θα αυξήσει την ροπή της έλικας και θα προκαλέσει μια προσωρινή αυξημένη φόρτιση της.
7. Η πλεύση σε ρηχά νερά αυξάνει την αντίσταση της γάστρας και μειώνει την κατευθυντική ευστάθεια του πλοίου.
8. Πλοία με skewed έλικες (περύγια κεκκαμμένης χορδής) είναι ικανά να απορροφήσουν μεγαλύτερη ροπή υπο συνθήκες αυξημένης φόρτισης.

Ταχύτητα ελιγμών

Λόγω πολύ χαμηλής ταχύτητας του νερού που φθάνει στο πηδάλιο, που γίνεται κάτω από κάποια ορισμένη ταχύτητα, που ονομάζεται ταχύτητα ελιγμών (manoeuvring speed), η ικανότητα του πηδαλίου να στρέφει το πλοίο δεν είναι ικανοποιητική. Είναι μάλλον δύσκολο να δώσει κανείς με ακρίβεια μία τιμή στην ταχύτητα ελιγμών, καθώς η ταχύτητα του νερού που φθάνει στο πηδάλιο εξαρτάται από τον ομόρρο της έλικας.

Συχνά αναφέρεται μία ταχύτητα ελιγμών της τάξης των 3.5 - 4.5 κόμβων. Σύμφωνα με τον νόμο της έλικας, μία αντίστοιχα χαμηλή ισχύ προώσεως θα χρειαστεί, αλλά φυσικά, αυτή θα είναι υψηλότερη για λειτουργία με άσχημο καιρό με αυξημένη αντίσταση του πλοίου.

Φορά περιστροφής έλικας (Πλευρική ώση)

Όταν ένα πλοίο πλέει, τα περύγια "πιάνουν" καλύτερα στην χαμηλότερη θέση τους από ότι στην υψηλότερη, όπου η γάστρα εμποδίζει την ομαλή ροή. Η πλευρική ώση, που είναι το αποτέλεσμα, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο ρηχότερο είναι το νερό, όπως, για παράδειγμα κατά τους ελιγμούς σε λιμάνια.

Συνεπώς μία δεξιόστροφη έλικα (που κινείται σύμφωνα με τους δείκτες του ωρολογιού, κοιτώντας από την πρύμνη προς την πλώρα) θα τείνει να σπρώξει την πρύμνη του πλοίου

προς την δεξιά κατεύθυνση, δηλαδή, στρέφοντας την πλώρα προς τα αριστερά κατά την διάρκεια κανονικής πλεύσης. Αυτό πρέπει να αντισταθμισθεί με το πηδάλιο.

Όταν αντιστρέφεται η έλικα για λειτουργία προς τα πίσω, όπως για παράδειγμα, όταν το πλοίο προσαράζει κατά μήκος της αποβάθρας (berthing), το αποτέλεσμα της πλευρικής ώσης αντιστρέφεται και παρουσιάζει εντονότερο όσο η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται. Η γνώση αυτής της συμπεριφοράς είναι πολύ σημαντική σε κρίσιμες καταστάσεις και κατά την διάρκεια ελιγμών στο λιμάνι.

Σύμφωνα με το [3], ο πραγματικός λόγος για την εμφάνιση της πλευρικής ώσης κατά την διάρκεια αναστροφής της έλικας, είναι ότι το επάνω τμήμα του ομόρρου της έλικας, που είναι περιστροφικό, χτυπά την πρύμνη του πλοίου.

Έτσι ο πιλότος πρέπει να γνωρίζει ακριβώς πως αντιδρά το πλοίο σε μία δεδομένη κατάσταση. Είναι, έτσι, άγραφος νόμος ότι σε ένα πλοίο με έλικα σταθερού βήματος, η έλικα σχεδιάζεται πάντα για δεξιόστροφη (με φορά ίδια με εκείνη των δεικτών του ωρολογιού) λειτουργία όταν η πλεύση είναι προς τα μπροστά. Μία απ' ευθείας συνδεδεμένη Κύρια Μηχανή, φυσικά, θα έχει την ίδια φορά.

Με σκοπό να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα της πλευρικής ώσης, κατά την αναστροφή σε ανάποδα, σε πλοία με έλικα μεταβλητού βήματος, έλικες αυτές σχεδιάζονται για αριστερόστροφη λειτουργία κατά την πλεύση προς τα μπροστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο**Πεδίο Ρυθμίσεως Λειτουργίας Μηχανής και Διάγραμμα Φόρτισης****Εισαγωγή**

Η ισχύς πέδης P_B ενός κινητήρα Diesel είναι ανάλογη προς την μέση πίεση (mean effective pressure, mep) P_e και τον αριθμό στροφών της μηχανής (ρυθμό περιστροφής) n . Χρησιμοποιώντας μία σταθερά c , η P_B μπορεί να εκφραστεί ως:

$$P_B = c \times p_e \times n$$

αλλιώς, για σταθερή mep (mean effective pressure) η ισχύς είναι ανάλογη με τον ρυθμό περιστροφής:

$$P_B = c n \text{ (για σταθερή } mep)$$

Όταν χρησιμοποιείται έλικα σταθερού βήματος- η (απαιτούμενη) ισχύς μπορεί να εκφραστεί, σύμφωνα με τον νόμο της έλικας, ως:

$$P_B = c n^3 \text{ (νόμος έλικας)}$$

Έτσι, για τα παραπάνω παραδείγματα, η ισχύς πέδης P_B μπορεί να εκφραστεί ως μία εκθετική συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής n με εκθέτη i , δηλαδή:

$$P_B = c n^i$$

Το Σχήμα 16 δείχνει την σχέση των γραμμικών συναρτήσεων, $y = a x + b$, (A), χρησιμοποιώντας γραμμικές κλίμακες και των εκθετικών συναρτήσεων $P_B = c n^i$, (B), χρησιμοποιώντας λογαριθμική κλίμακα.

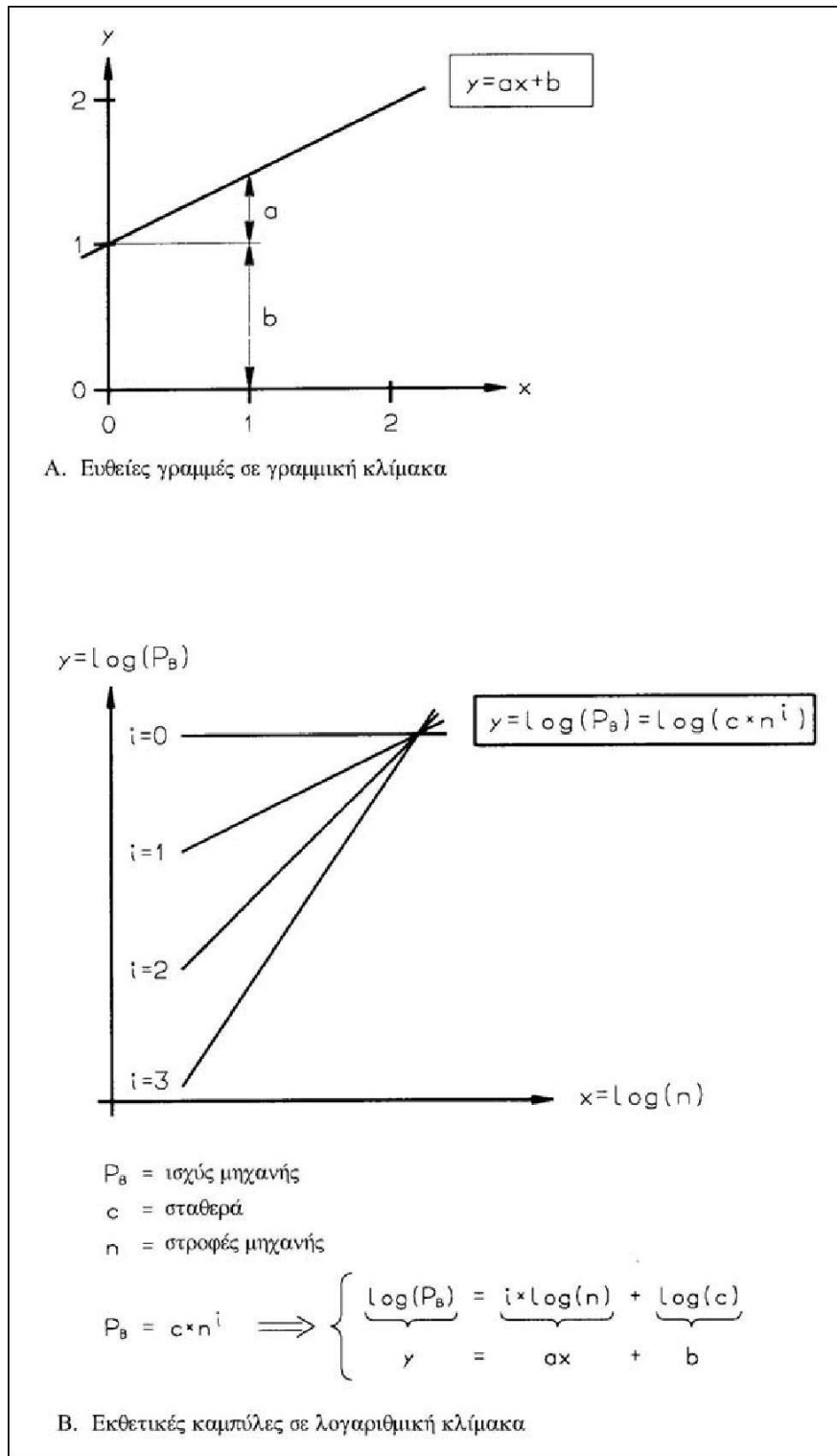
Οι εκθετικές συναρτήσεις θα είναι γραμμικές χρησιμοποιώντας λογαριθμική κλίμακα, ως:

$$\log(P_B) = i \log(n) + \log(c)$$

που είναι ισοδύναμη με:

$$y = a x + b$$

Συνεπώς οι καμπύλες της έλικας θα είναι παράλληλες στις ευθείες με κλίση $i = 3$, και οι γραμμές της σταθερής mer θα είναι παράλληλες στις ευθείες με κλίση $i = 1$.



Σχήμα 16 : Σχέση μεταξύ γραμμικών συναρτήσεων με γραμμική κλίμακα και εκθετικών συναρτήσεων με λογαριθμική κλίμακα

Έτσι λοιπόν στα πεδία λειτουργίας και στα διαγράμματα φόρτισης των κινητήρων Diesel όπως περιγράφονται παρακάτω, χρησιμοποιείται λογαριθμική κλίμακα μετατρέποντας τις διάφορες καμπύλες σε απλές ευθείες γραμμές.

Πρόωση και σημεία λειτουργίας της μηχανής

Σημείο σχεδίασεως έλικας (propeller design point PD)

Πάνω σε θεωρητικούς υπολογισμούς και συχνά σε μετρήσεις σε πειραματικές δεξαμενές βασίζονται οι εκτιμήσεις για την απαιτούμενη ισχύ της έλικας και την ταχύτητα περιστροφής, και τα δύο όμως υποθέτουν βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή, καθαρή γάστρα και καλό καιρό. Ο συνδυασμός ταχύτητας και ισχύος που προκύπτει μπορεί να ονομαστεί σημείο σχεδίασεως της έλικας (propeller design point, PD), Σχήμα 17. Από την άλλη μεριά, μερικά ναυπηγεία και/ή κατασκευαστές ελίκων χρησιμοποιούν μερικές φορές ένα σημείο σχεδίασεως της έλικας λαμβάνοντας υπ' όψη τους όλο ή μέρος ενός καλούμενου "περιθωρίου θάλασσας" που περιγράφεται παρακάτω.

Ρυπασμένη γάστρα

Με το πέρασμα του καιρού που το πλοίο ταξιδεύσει η γάστρα και η έλικα ρυπαίνονται, προκαλώντας αλλαγή στο πεδίο του ομόρρου της έλικας και αυξημένη αντίσταση γάστρας. Εάν ταυτόχρονα ο καιρός δεν είναι καλός με ανέμους αντίθετους από την κατεύθυνση του πλοίου, η αντίσταση του πλοίου αυξάνεται περαιτέρω. Συνεπώς, η ταχύτητα του πλοίου θα μειωθεί, εκτός εάν η μηχανή μπορεί να δώσει και άλλη ισχύ, δηλαδή, το φορτίο της έλικας θα αυξηθεί και άλλο και θα λειτουργεί, με αυξημένη φόρτιση (heavy running, HR).

Επίσης, τα καινούργια πλοία υψηλών ταχυτήτων έχουν παρα πολύ λεία επιφάνεια γάστρας και έλικας κατα την διάρκεια δοκιμών όταν παραδίδονται απο το ναυπηγείο. Αυτό σημαίνει ότι η αναπόφευκτη αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας της γάστρας και της έλικας λόγω ρύπανσης κατα την διάρκεια της ζωής του πλοίου, θα οδηγήσει σε μια πολύ αυξημένη φόρτιση έλικας, σε σύγκριση με παλαιότερα πλοία που φτιάχτηκαν με πιο τραχιά επιφάνεια.

Περιθώριο θάλασσας του διαγράμματος φόρτισης της μηχανής

Εαν, την ίδια στιγμή, ο καιρός είναι κακός, με μετωπικούς ανέμους, η αντίσταση του πλοίου θα αυξηθεί πολύ περισσότερο, και η έλικα θα λειτουργεί με πιο αυξημένη φόρτιση.

Όταν καθορίζεται η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα πρόωσης, είναι κοινή τακτική να προστίθεται ένα επιπλέον περιθώριο ισχύος, το αποκαλούμενο «περιθώριο θάλασσας»,

το οποίο είναι παραδοσιακά περίπου **15 %** της ισχύος σχεδιάσεως έλικας (PD). Όμως σε μεγάλα πλοία εμπορευματοκιβωτίων το περιθώριο θάλασσας μπορεί να είναι και **20 – 30%**.

Όταν καθορίζεται η απαιτούμενη ταχύτητα του κινητήρα, για το πεδίο λειτουργίας του, προτείνεται – σε σύγκριση με την καμπύλη έλικας καθαρής γάστρας και ήρεμου νερού (6) – να επιλέξουμε την πιο φορτισμένη καμπύλη (2), σχήμα 17, που έχει χαμηλότερη ταχύτητα 3-7% σε σχέση με την καμπύλη (6).

Σημείο συνεχούς λειτουργίας (Service Point, SP)

Ο συνδυασμός ταχύτητας και ισχύος που προκύπτει – όταν συμπεριλαμβάνεται η βαριά λειτουργία έλικας (heavy running) και το περιθώριο θάλασσας (sea margin)- ονομάζεται ισχύς πρόωσης συνεχούς λειτουργίας (Service Point, SP) με ρυπασμένη γάστρα και άσχημο καιρό.

Η ισχυρώς φορτισμένη καμπύλη έλικας (καμπύλη 2) για ρυπασμένη γάστρα και άσχημο καιρό θα χρησιμοποιείται κανονικά ως η βάση για την καμπύλη λειτουργίας της μηχανής σε κατάσταση υπηρεσίας, και η καμπύλη έλικας για καθαρή γάστρα και ήρεμο νερό (καμπύλη 6) θα αντιπροσωπεύει την "λειτουργία της έλικας με μειωμένη φόρτιση" (light running, LR).

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

Η ισχύς συνεχούς λειτουργίας σε κατάσταση υπηρεσίας (Continuous Service Rating) είναι η ισχύς, συμπεριλαμβανομένου και του περιθωρίου θάλασσας, στην οποία ο κινητήρας θεωρείται ότι λειτουργεί, και το σημείο S είναι ίδιο με το σημείο πρόωσης σε κατάσταση υπηρεσίας SP, εκτός και εάν υπάρχει εγκατεστημένη γεννήτρια άξονα.

Συντελεστής λειτουργίας με μειωμένη φόρτιση f_{LR}

Η καμπύλη της έλικας για ρυπασμένη γάστρα (και μεγάλα κύματα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την καμπύλη λειτουργίας της μηχανής κατά την υπηρεσία, καμπύλη 2, ενώ η καμπύλη της έλικας για καθαρή γάστρα (και ήρεμο καιρό), καμπύλη 6, μπορεί να ισχύει για συνθήκες λειτουργίας σε καινούργια πλοία. Έτσι η καμπύλη της έλικας για καθαρή γάστρα λέγεται ότι αντιπροσωπεύει την "λειτουργία της έλικας με μειωμένη φόρτιση" (light running, LR) και θα συσχετισθεί με συνθήκες ρυπασμένης γάστρας μέσω ενός συντελεστή λειτουργίας με μειωμένη φόρτιση f_{LR} , ο οποίος, για ίδια ισχύ στην έλικα, ορίζεται ως η επί τοις εκατό αύξηση του ρυθμού περιστροφής n , σε σύγκριση με τον ρυθμό περιστροφής με ρυπασμένη γάστρα, δηλαδή

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

Περιθώριο μηχανής

Εκτός από το περιθώριο θάλασσας, ένα «περιθώριο μηχανής» της τάξης του **10-15%** συχνά προστίθεται, ως ένα περιθώριο λειτουργίας της μηχανής. Το αντίστοιχο σημείο ονομάζεται «προδιαγεγραμμένη Μέγιστη Συνεχής Ισχύς για πρόωση» MP, σχήμα 17, και αναφέρεται στο γεγονός ότι η ισχύς για το σημείο SP είναι 10-15% χαμηλότερη από αυτή του σημείου MP, δηλαδή ίση με το 90-85% του MP.

Προδιαγεγραμμένη Μέγιστη Συνεχής Ισχύς (specified Maximum Continuous Rating M)

Η προδιαγεγραμμένη Μέγιστη Συνεχής Ισχύς του κινητήρα (σημείο M) είναι η μέγιστη ισχύς που απαιτείται από το ναυπηγείο ή τον ιδιοκτήτη για συνεχή λειτουργία του κινητήρα.

Το σημείο MP είναι το ίδιο με το συγκεκριμένο σημείο MCR της μηχανής (M) εκτός εάν υπάρχει εγκατεστημένη γεννήτρια που κινείται από τον άξονα της Κυρίας Μηχανής. Σε τέτοια περίπτωση, η επιπλέον απαιτούμενη ισχύς της γεννήτριας του άξονα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη.

Σημείωση

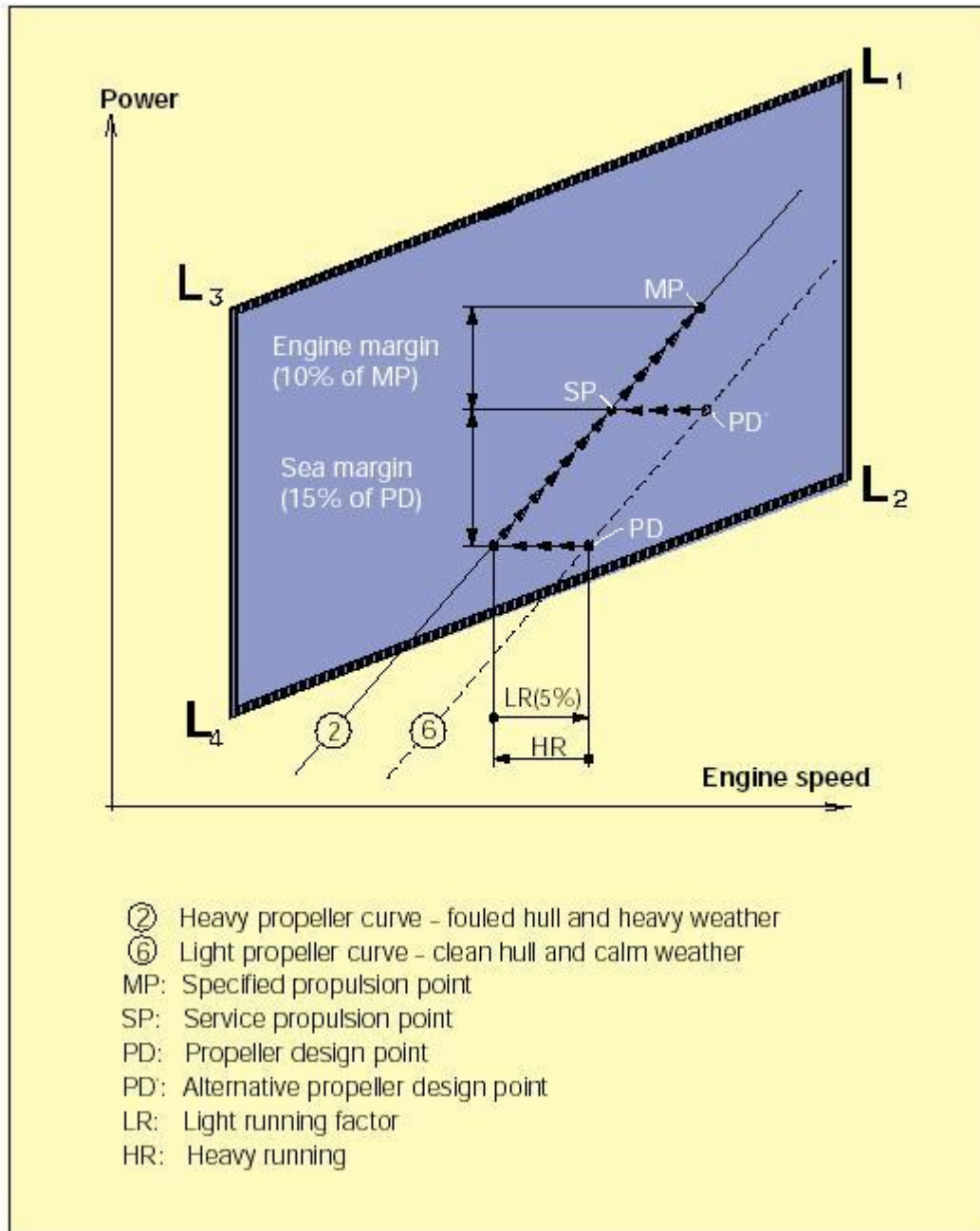
Λειτουργία με μειωμένη ή αυξημένη φόρτιση, ρυπασμένη γάστρα και περιθώριο θάλασσας είναι επικαλυπτόμενοι όροι. Η λειτουργία με μειωμένη ή αυξημένη φόρτιση της έλικας αφορά την χειροτέρευση της γάστρας και της έλικας, τον άσχημο καιρό και το περιθώριο της θάλασσας, δηλαδή, πρόσθετη ισχύς στην έλικα αφορά την επίδραση του ανέμου και της θάλασσας.

Βασίζόμενοι σε εμπειρία και στοιχεία από την πράξη, φαίνεται λογικό να σχεδιαστεί η έλικα για λειτουργία με μειωμένη φόρτιση κατά 2.5 - 5%. Όμως, ο βαθμός της μειωμένης φόρτισης πρέπει να αποφασιστεί με βάση την εμπειρία από πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας και την σχεδίαση της γάστρας.

Πεδίο ρυθμίσεως λειτουργίας μηχανής.

Για τις 2- X μηχανές, που ο κατασκευαστής προσφέρει την δυνατότητα ρυθμίσεως σύμφωνα με τις επιθυμίες του πελάτη, το προσφερόμενο πεδίο λειτουργίας τους περιορίζεται από δύο ευθείες μέσης πίεσης (μερ) $L_1 - L_3$ και $L_2 - L_4$ και από δύο ευθείες σταθερής ταχύτητας της μηχανής, $L_1 - L_2$ και $L_3 - L_4$, Σχήμα 17.

Το σημείο L_1 αντιστοιχεί στην ονομαστική μέγιστη συνεχή ισχύ του συγκεκριμένου τύπου μηχανής. Μέσα στο πεδίο λειτουργίας υπάρχει απόλυτη ελευθερία να επιλέξει κανείς και να ορίσει ως MCR (maximum continuous rating, μέγιστη συνεχής λειτουργία) οποιοδήποτε σημείο M και το αντίστοιχο σημείο βέλτιστης λειτουργίας O (όπως θα δούμε παρακάτω), που είναι το βέλτιστο για το πλοίο και τις προδιαγραφές χρήσεως και λειτουργίας.



Σχήμα 17: Σημεία λειτουργίας προώσεως και πεδίο λειτουργίας μηχανής

Καθορισμένο MCR (M)

Με βάση τα σημεία λειτουργίας της μηχανής και της προώσεως, όπως βρέθηκαν προηγουμένως, μπορεί κανείς να σχεδιάσει (στο ίδιο διάγραμμα) το πεδίο λειτουργίας μίας σχετικής μηχανής. Το συγκεκριμένο σημείο MCR (M) πρέπει να βρίσκεται μέσα στα περιθώρια του πεδίου λειτουργίας· εάν δεν είναι, η ταχύτητα της έλικας θα πρέπει να αλλάξει ή κάποιος άλλος τύπος Κύριας Μηχανής πρέπει να εκλεγεί. Ωστόσο σε ειδικές περιπτώσεις, το σημείο M μπορεί να βρίσκεται δεξιά της γραμμής $L_1 - L_2$ (βλ. παρακάτω "Σημείο Βέλτιστης Λειτουργίας").

Σημείο βέλτιστης λειτουργίας (O).

Το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O είναι ο συνδυασμός ισχύος και ταχύτητας περιστροφής (rating) όπου γίνεται η σύζευξη κινητήρα - υπερσυμπιεστή και στον οποίο ρυθμίζονται ο χρονισμός της μηχανής και ο λόγος συμπίεσης. Όπως φαίνεται στα επόμενα Σχήματα στην παράγραφο "Διάγραμμα Λειτουργίας", το σημείο βέλτιστης λειτουργίας τοποθετείται στην γραμμή 1 του διαγράμματος φόρτισης, και η βέλτιστη ισχύς μπορεί να είναι από 85 έως 100% της ισχύος του σημείου M, όταν ληφθούν υπ' όψη ο υπερπληρωτής και ο χρονισμός (εγχύσεως καυσίμου) της μηχανής.

Το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O πρέπει να τοποθετείται μέσα στο πεδίο λειτουργίας της μηχανής. Σε μερικές περιπτώσεις, το καθορισμένο σημείο MCR, M, μπορεί να τοποθετείται έξω από το πεδίο λειτουργίας, αλλά μόνον δεξιά της γραμμής $L_1 - L_2$ και, φυσικά μόνο όταν το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O βρίσκεται μέσα στο πεδίο λειτουργίας.

Διάγραμμα φόρτισης

Ορισμοί

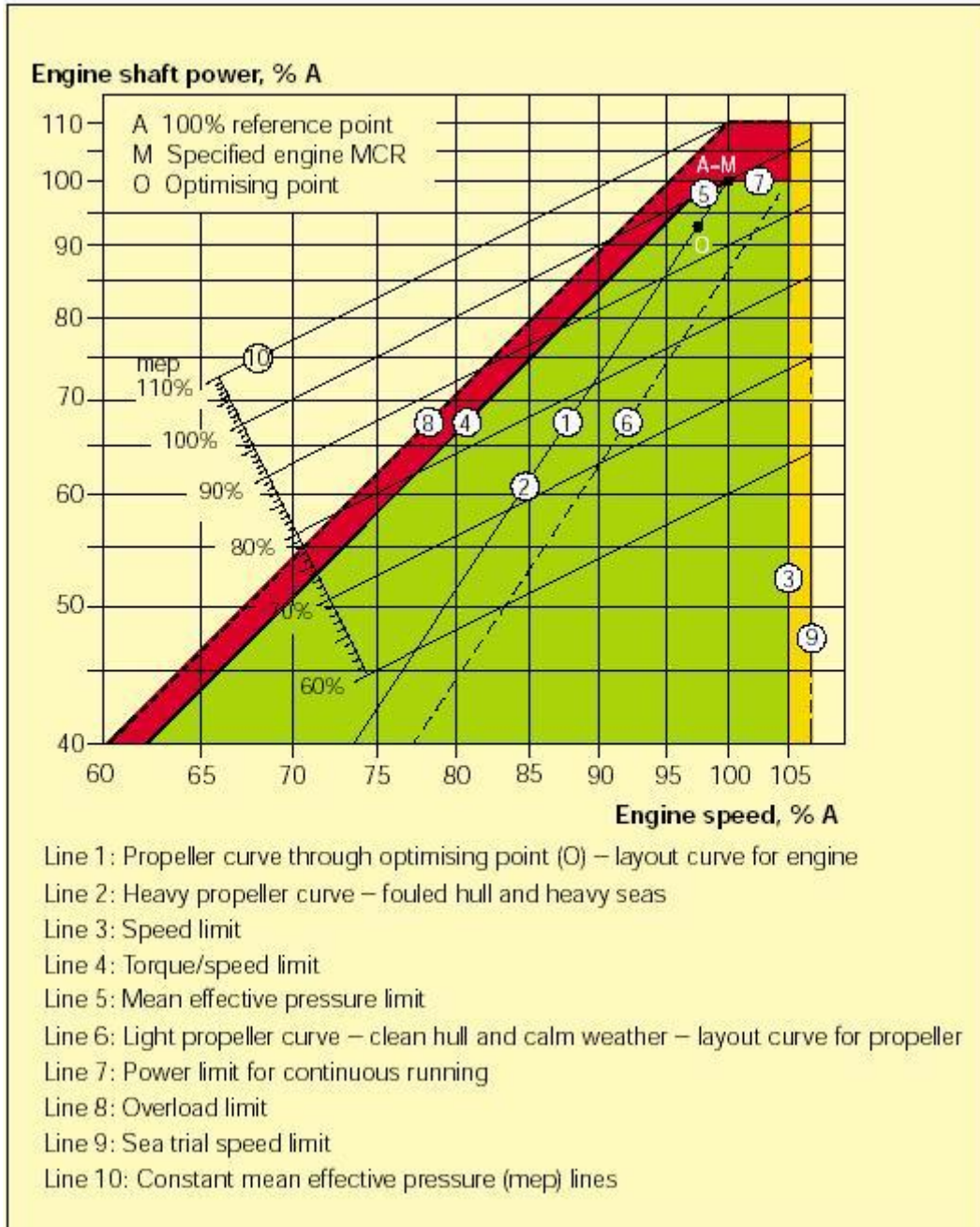
Στο (Σχήμα 18) διάγραμμα φόρτισης καθορίζει τα όρια ισχύος και στροφών λειτουργίας για συνεχή καθώς και για υπερφορτισμένη λειτουργία, ενός εγκατεστημένου κινητήρα που έχει σημείο βέλτιστης λειτουργίας O και καθορισμένο σημείο MCR, M, που ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του πλοίου.

Το σημείο A είναι ένα σημείο αναφοράς 100% ισχύος 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.

Κανονικά, το σημείο M είναι το ίδιο με το σημείο A, αλλά σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν υπάρχει γεννήτρια στον άξονα, το σημείο M μπορεί να τοποθετηθεί στα δεξιά του σημείου A στην γραμμή 7. Τα σημεία υπηρεσίας του εγκατεστημένου κινητήρα συμπεριλαμβάνουν την απαιτούμενη ισχύ του κινητήρα για την πρόωση του πλοίου και για την γεννήτρια του άξονα, εάν υπάρχει.

Όρια για συνεχή λειτουργία

Η περιοχή συνεχούς λειτουργίας ορίζεται από τις τέσσερις γραμμές 4, 5, 7 και 3 (9), Σχήμα 18:



Σχήμα 18: Διάγραμμα φόρτισης μηχανής

Γραμμή 3 και γραμμή 9:

Η γραμμή 3 αντιστοιχεί στην μέγιστη ταχύτητα περιστροφής που μπορεί να γίνει αποδεκτή για συνεχή λειτουργία, δηλαδή, 105% του A, ωστόσο όχι πάνω από το 105 % του L₁. Κατά την διάρκεια δοκιμών θαλάσσης η μέγιστη ταχύτητα μπορεί να επεκταθεί ως το 107% του A (γραμμή 9)

Τα παραπάνω όρια μπορούν γενικά να επεκταθεί στο 105% και κατά την διάρκεια των δοκιμών στο 107% της ονομαστικής ταχύτητας λειτουργίας της μηχανής L₁, μόνον όμως όταν οι συνθήκες των στρεπτικών ταλαντώσεων το επιτρέπουν.

Το όριο υπερτάγχυσης είναι 109% της ταχύτητας στο A, όμως μπορεί να μετακινηθεί και στο 109% της ονομαστικής ταχύτητας του L₁, δεδομένου ότι οι συνθήκες των στρεπτικών ταλαντώσεων το επιτρέπουν.

Γραμμή 4 :

Αντιπροσωπεύει το όριο μέχρι το οποίο υπάρχει ικανοποιητική ποσότητα αέρα για καύση και θέτει έναν περιορισμό στον μέγιστο συνδυασμό ροπής και ταχύτητας.

Γραμμή 5 :

Αντιστοιχεί στο μέγιστο επίπεδο μέσης πίεσης (mean effective pressure, mep), που μπορεί να γίνει αποδεκτό για συνεχή λειτουργία.

Γραμμή 7:

Αντιπροσωπεύει την μέγιστη ισχύ για συνεχή λειτουργία.

Γραμμή 10:

Αντιστοιχούν στις ευθείες σταθερής μέσης ενεργού πίεσης (mep lines). Η γραμμή 5 είναι ίδια με την 100% mep line. Οι γραμμές σταθερής μέσης ενεργού πίεσης αποτελούν μια ένδειξη του εγχυόμενου καυσίμου του κινητήρα.

Όρια για λειτουργία με υπερφόρτιση

Η περιοχή λειτουργίας με υπερφόρτιση περιορίζεται ως ακολούθως, Σχήμα 18.

Γραμμή 8:

Αντιπροσωπεύει τους περιορισμούς για λειτουργία με υπερφόρτιση.

Η περιοχή μεταξύ των γραμμών 4, 5, 7 και της διακεκομμένης γραμμής 8 στο Σχήμα 18 είναι διαθέσιμη για λειτουργία με υπερφόρτιση για περιορισμένες χρονικές περιόδους μόνο (1 ώρα κάθε 12 ώρες).

Ηλεκτρονικός Ελεγχτής (governor) περιορισμού φορτίου.

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

Περιοριστής ροπής:

Ο σκοπός της λειτουργίας του περιοριστή ροπής είναι να εξασφαλίσει την λειτουργία του κινητήρα εντός της επιτρεπτής περιοχής του διαγράμματος φόρτισης του. Ο αλγόριθμος του περιοριστή ροπής συγκρίνει την υπολογισμένη θέση του κανόνα καυσίμου (δηλαδή την ποσότητα του καυσίμου) και την πραγματικά μετρούμενη ταχύτητα του κινητήρα με μία καμπύλη αναφοράς του περιοριστή, που δίνει την μέγιστη επιτρεπτή θέση του κανόνα καυσίμου για μια δεδομένη ταχύτητα του κινητήρα. Εάν η υπολογισμένη θέση του κανόνα καυσίμου είναι πάνω από αυτή την καμπύλη, η προκύπτουσα θέση του κανόνα θα ελαττωθεί κατάλληλα.

Η καμπύλη αναφοράς του περιοριστή είναι έτσι ρυθμισμένη, ώστε να αντιστοιχεί στις περιοριστικές γραμμές του διαγράμματος φόρτισης του κινητήρα.

Περιοριστής πίεσης αέρα σαρώσεως:

Ο σκοπός του περιοριστή πίεσης του αέρα σαρώσεως είναι να εξασφαλίσει ότι ο κινητήρας δεν υπερτροφοδοτείται με καύσιμο κατά την επιτάχυνση, όπως για παράδειγμα κατά την διάρκεια ελιγμών.

Ο αλγόριθμος του περιοριστή πίεσης αέρα σαρώσεως συγκρίνει την υπολογισμένη θέση του κανόνα καυσίμου και την μετρημένη πίεση του αέρα σαρώσεως με μία καμπύλη αναφοράς του περιοριστή, που δίνει την μέγιστη επιτρεπτή θέση του κανόνα καυσίμου σε μία δεδομένη πίεση αέρα σαρώσεως. Εάν η υπολογισμένη θέση του κανόνα καυσίμου είναι πάνω από αυτή την καμπύλη, η προκύπτουσα θέση του κανόνα θα μειωθεί κατάλληλα.

Αυτή η καμπύλη αναφοράς του περιοριστή ρυθμίζεται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι επαρκής αέρας θα είναι πάντα διαθέσιμος για καλή καύση.

Σύσταση

Συνεχής λειτουργία χωρίς περιορισμούς χρόνου επιτρέπεται μόνον μέσα στην περιοχή που ορίζεται από τις γραμμές 4, 5, 7 και 3 του διαγράμματος φόρτισης.

Για λειτουργία με έλικα σταθερού βήματος, σε ήρεμο νερό, με φορτωμένο πλοίο και καθαρή γάστρα, η έλικα/μηχανή μπορεί να λειτουργεί πάνω ή κοντά στην καμπύλη έλικας 6.

Μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας, η γάστρα του πλοίου και η έλικα ρυπαίνονται, 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 και θα χρειαστεί επιπλέον ισχύς για την πρόωση, αν πρέπει να διατηρηθεί η ταχύτητα του σκάφους.

Σε συνθήκες καλού καιρού, το ποσοστό κατά το οποίο η έλικα λειτουργεί με αυξημένη φόρτιση είναι ένδειξη για καθαρισμό της γάστρας και, πιθανώς, γυάλισμα της έλικας.

Η περιοχή μεταξύ των γραμμών 4 και 1 είναι διαθέσιμη για λειτουργία σε ρηχό νερό, άσχημο καιρό και κατά την διάρκεια επιτάχυνσης, δηλαδή, για μη μόνιμη λειτουργία, χωρίς όμως ρητό περιορισμό χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χρήση του διαγράμματος φόρτισης - παραδείγματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά παραδείγματα βασισμένα σε μία έλικα σταθερού βήματος (fixed pitch propeller, FFP) και ένα παράδειγμα βασισμένο σε έλικα μεταβλητού βήματος (controllable pitch propeller, CPP), με σκοπό να περιγραφεί η ευελιξία των διαγραμμάτων πεδίου λειτουργίας και φόρτισης.

Στο πλαίσιο αυτό η επιλογή του σημείου βέλτιστης λειτουργίας Ο έχει σημαντική επίδραση.

Παραδείγματα με έλικα σταθερού βήματος

Παράδειγμα 1 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας, χωρίς γεννήτρια στον άξονα

Κανονικά, το σημείο βέλτιστης λειτουργίας Ο θα επιλεγεί στην καμπύλη λειτουργίας της μηχανής (2) (για ρυπασμένη γάστρα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 19α.

Το σημείο Α βρίσκεται τότε στην τομή της καμπύλης της έλικας 1 (2) και της καμπύλης σταθερής ισχύος που περνά από το σημείο Μ, γραμμή 7. Στην περίπτωση αυτή το σημείο Α θα είναι το ίδιο με το σημείο Μ.

Μόλις βρεθεί το σημείο Α στο διάγραμμα πεδίου λειτουργίας, μπορεί να σχεδιασθεί το διάγραμμα φόρτισης, όπως στο Σχήμα 19β και, συνεπώς, μπορούν να βρεθούν οι πραγματικές οριακές γραμμές φόρτισης του κινητήρα Diesel.

Παράδειγμα 2 Ειδικές συνθήκες λειτουργίας, χωρίς γεννήτρια στον άξονα.

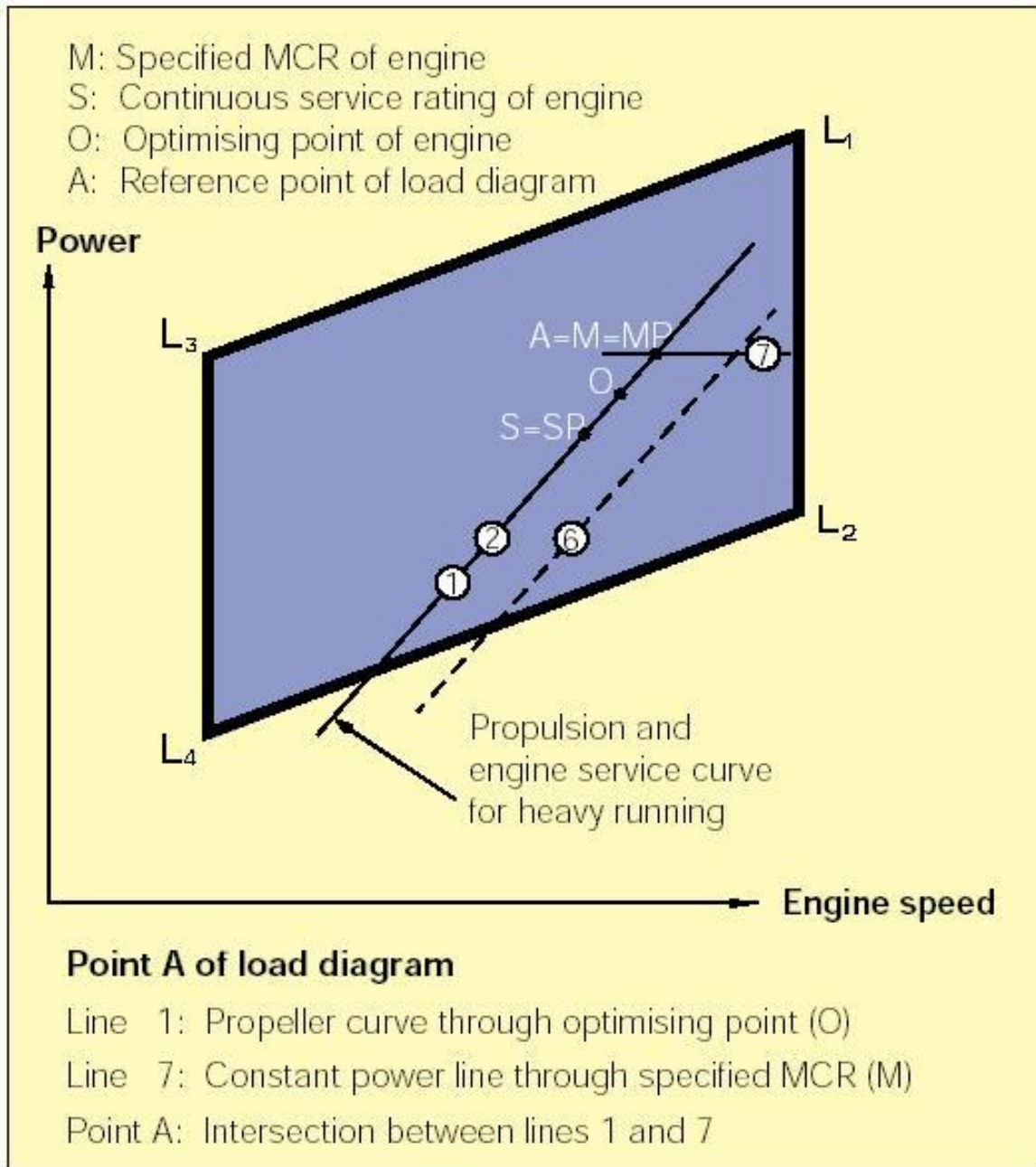
Όταν το πλοίο επιταχύνει, η έλικα θα υπόκειται σε ένα ακόμη μεγαλύτερο φορτίο σε σχέση με την ελεύθερη πλεύση. Το ίδιο ισχύει όταν το πλοίο έχει αυξημένη αντίσταση, όπως, για παράδειγμα, κατά την πλεύση με ισχυρό άνεμο και τρικυμιώδη θάλασσα με μεγάλη αντίσταση κυματισμού.

Και στις δύο περιπτώσεις, το σημείο λειτουργίας της μηχανής θα είναι αριστερά από την κανονική καμπύλη λειτουργίας, καθώς η έλικα θα λειτουργεί με αυξημένη φόρτιση. Με σκοπό την αποφυγή της υπέρβασης της αριστερής γραμμής περιορισμού (4) του διαγράμματος φόρτισης, είναι δυνατό, σε ορισμένες περιπτώσεις, να χρειαστεί να περιοριστεί η επιτάχυνση και / ή η ισχύς πρόωσης.

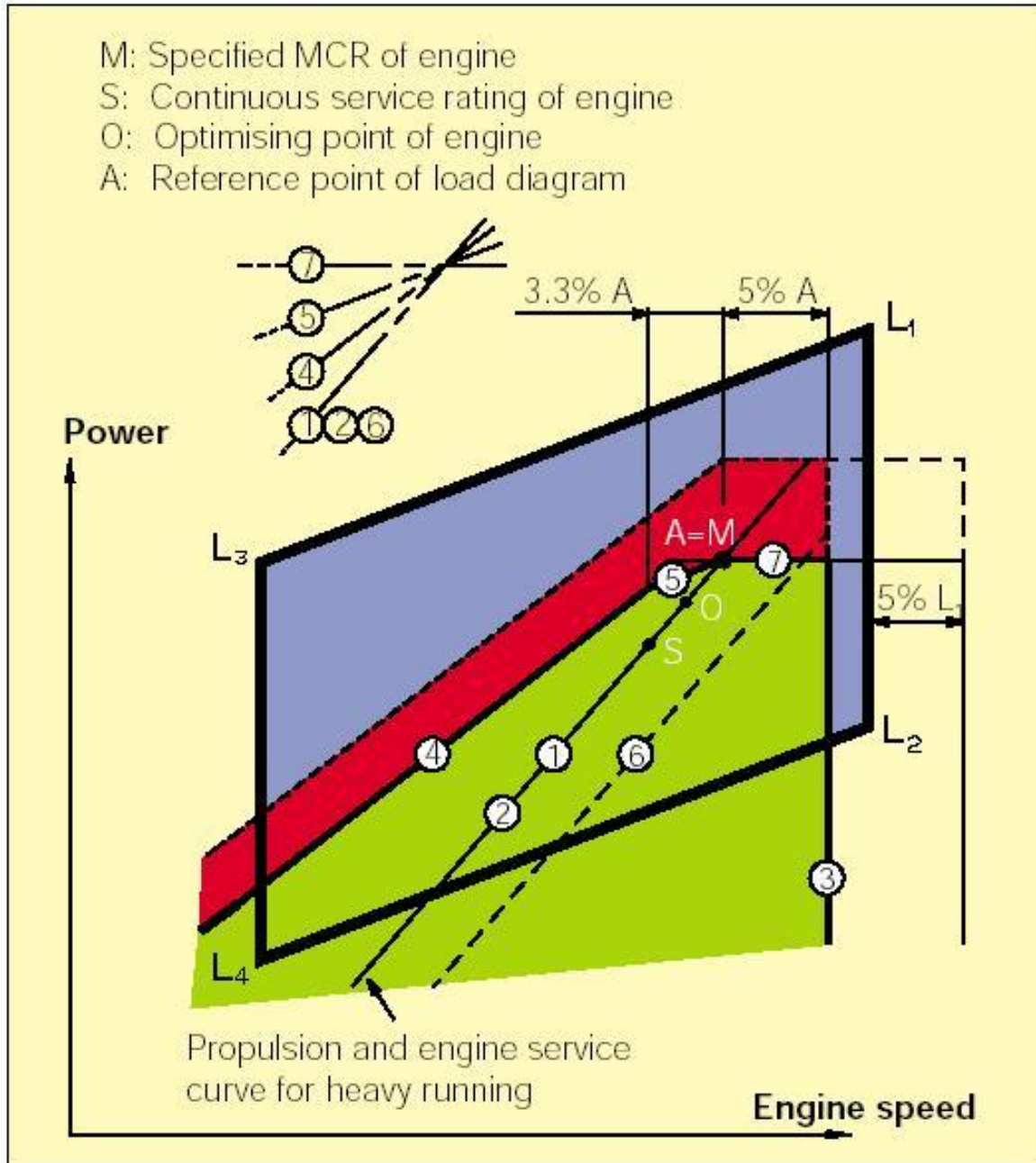
Αν το αναμενόμενο πρόγραμμα λειτουργίας του πλοίου προβλέπει περιοχή ταξιδιών με συχνά επανεμφανιζόμενους ισχυρούς ανέμους, άσχημες θάλασσες και μεγάλη αντίσταση κυματισμού, τότε, είναι δυνατό να πλεονεκτεί ο σχεδιασμός/μεταφορά του διαγράμματος φόρτισης προς τα αριστερά.

Το τελευταίο μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας το σημείο βέλτιστης λειτουργίας της μηχανής Ο - και, έτσι την καμπύλη της έλικας 1 που διέρχεται από το σημείο βέλτιστης λειτουργίας - προς τα αριστερά. Όμως αυτό θα έχει τίμημα μία ελαφρά αυξημένη ειδική κατανάλωση.

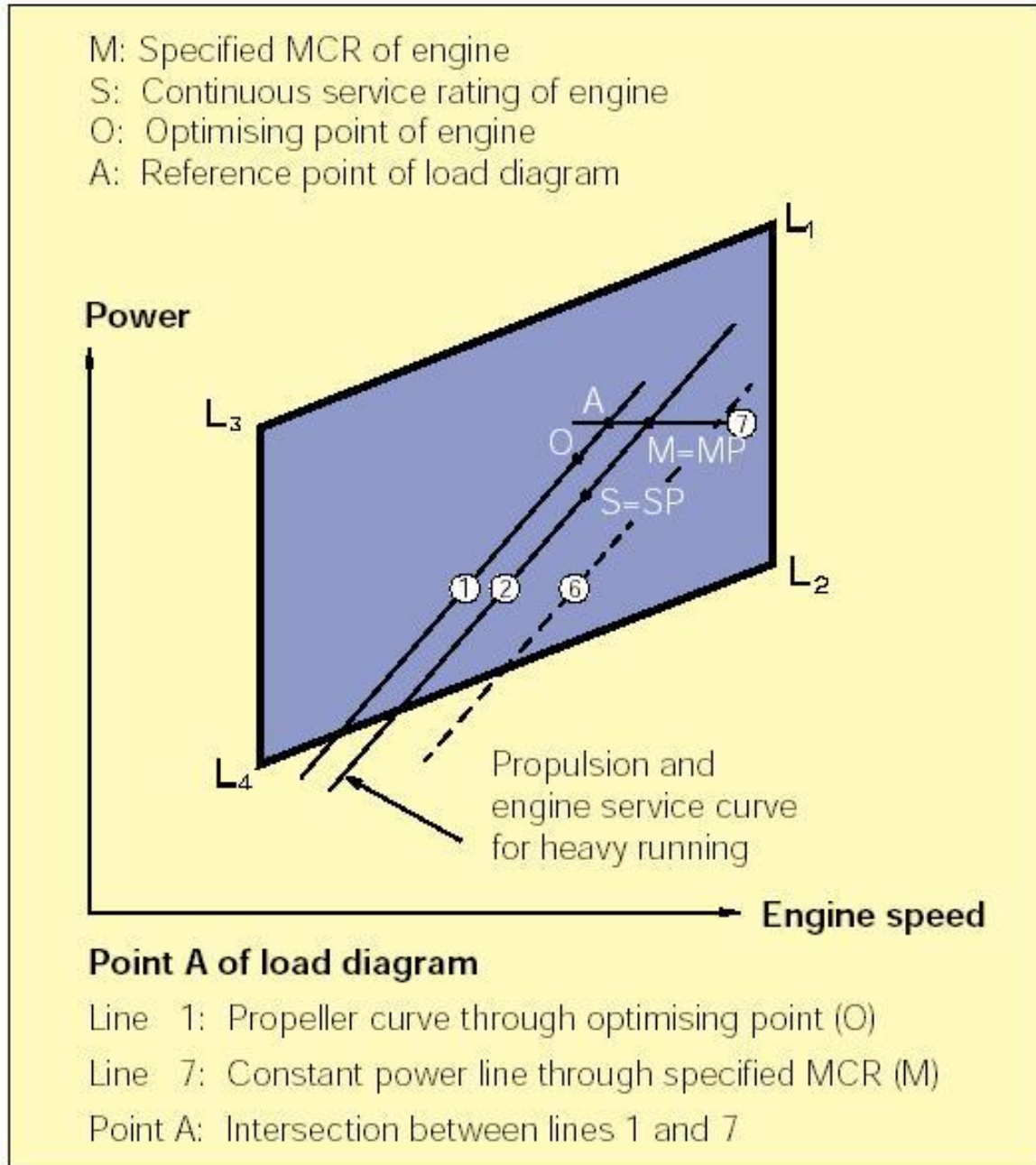
Ένα παράδειγμα φαίνεται στα Σχήματα 20α και 20β. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 20β, και συγκρινόμενο με την κανονική κατάσταση που φαίνεται στο Παράδειγμα 1 (Σχήμα 19β), η αριστερή οριακή γραμμή 4 μετατίθεται αριστερά, δίνοντας ένα μεγαλύτερο περιθώριο μεταξύ των γραμμών 2 και 4.



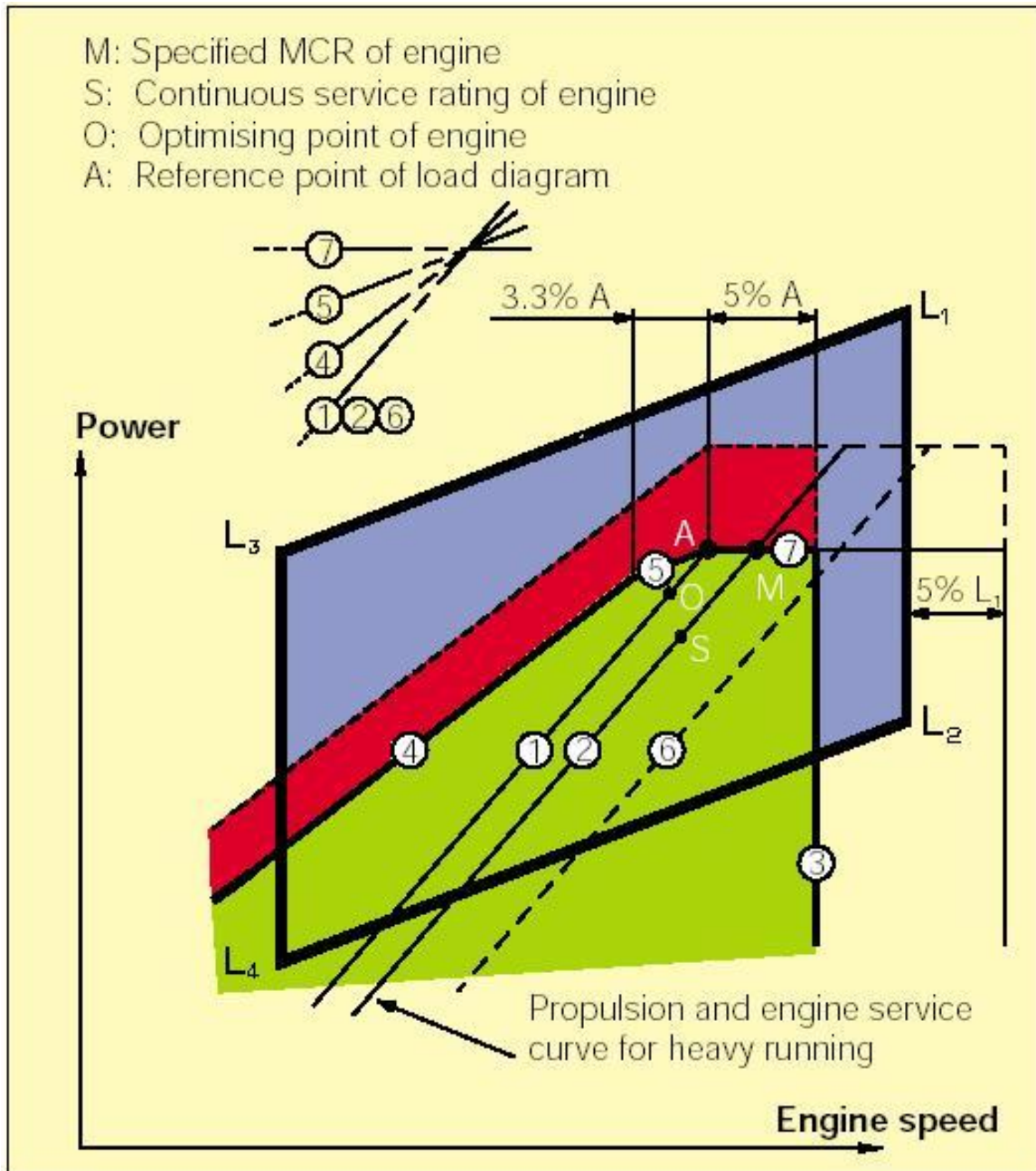
Σχήμα 19α: Παράδειγμα 1 με έλικα σταθερού βήματος - πεδίο λειτουργίας μηχανής χωρίς γεννήτρια στον άξονα (κανονική περίπτωση)



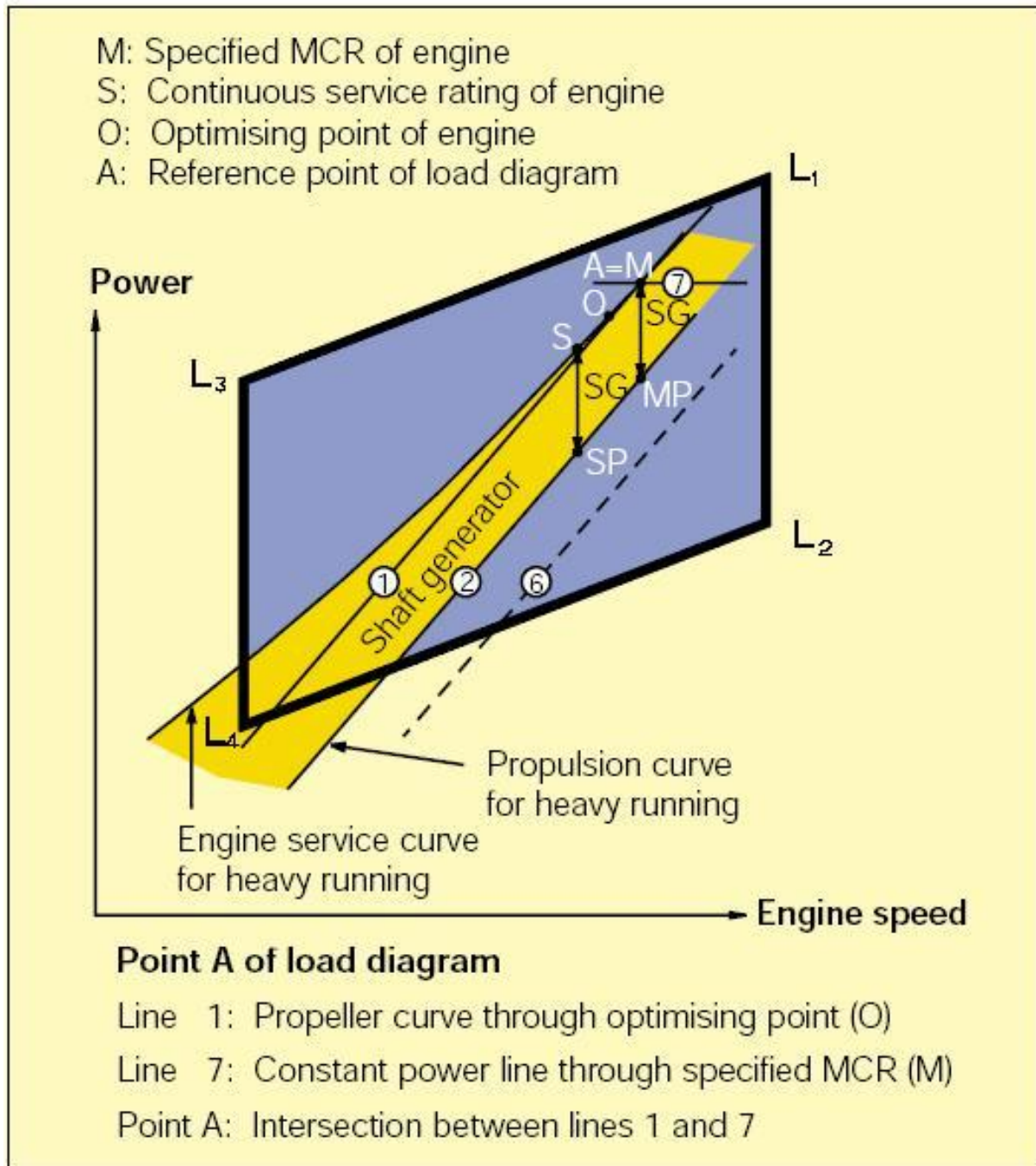
Σχήμα 19β: Παράδειγμα 1 με έλικα σταθερού βήματος - διάγραμμα φόρτισης μηχανής χωρίς γεννήτρια



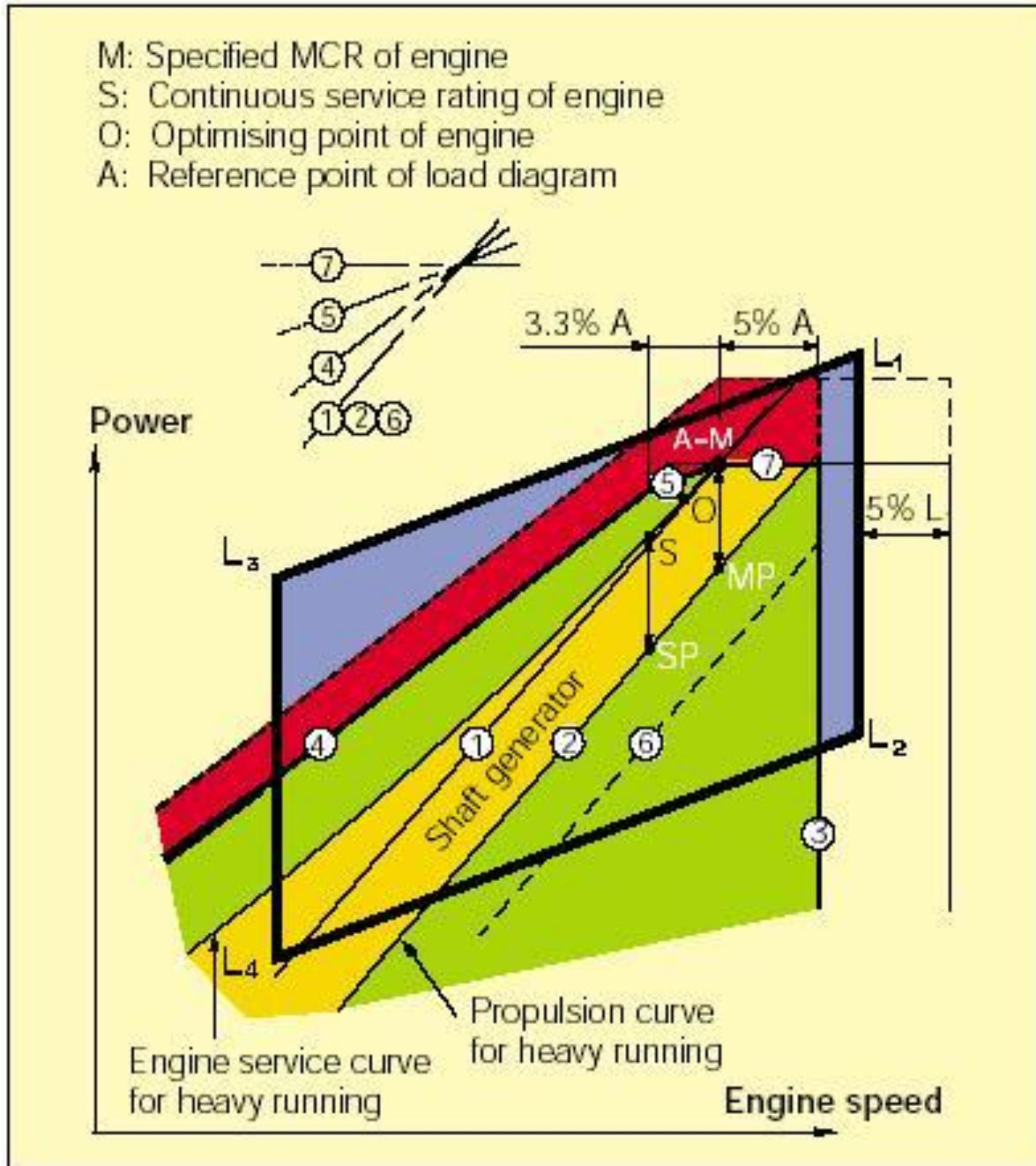
Σχήμα 20α: Παράδειγμα 2 με έλικα σταθερού βήματος - πεδίο λειτουργίας μηχανής (ειδική περίπτωση)



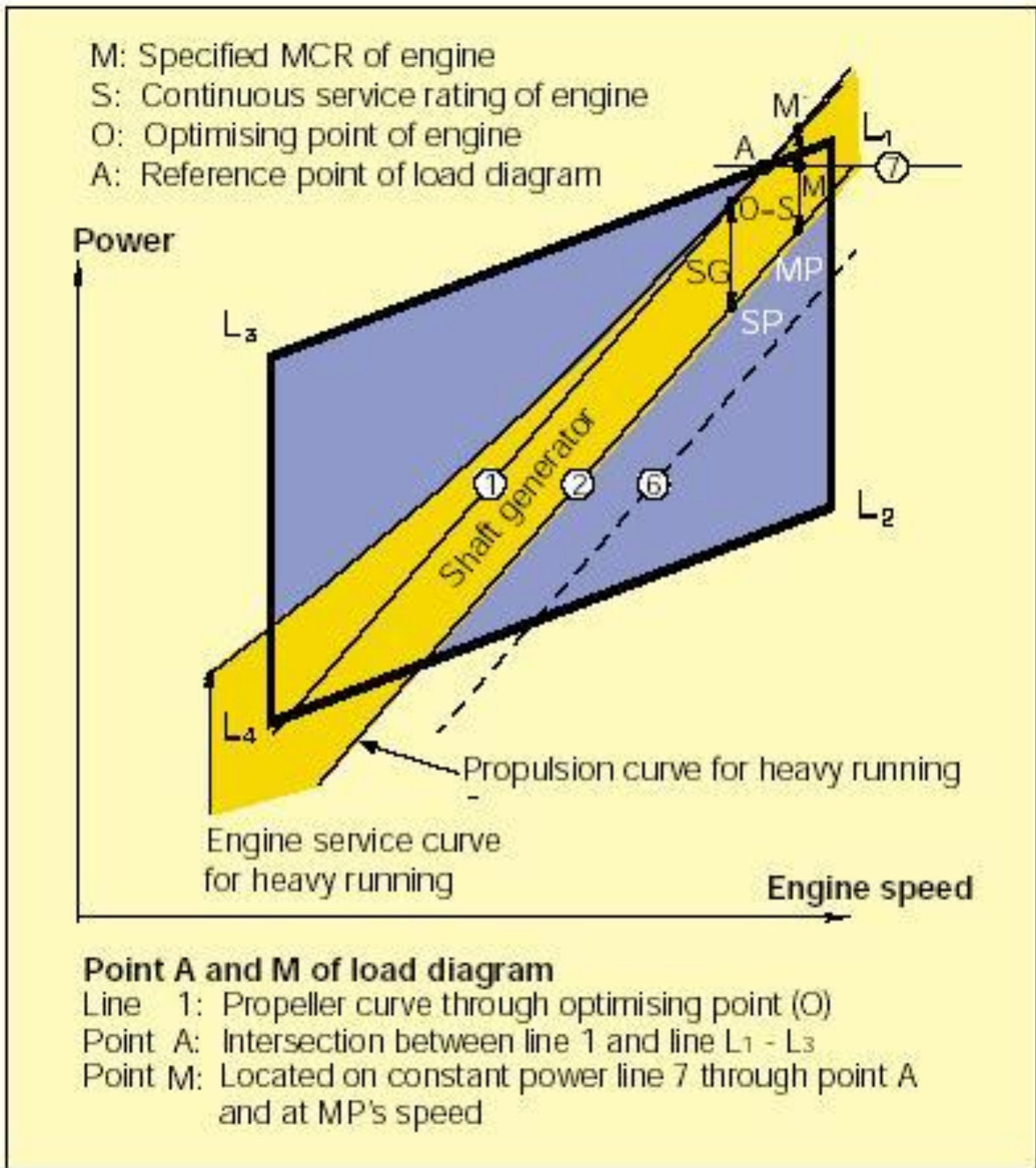
Σχήμα 20β: Παράδειγμα 2 με έλικα σταθερού βήματος - διάγραμμα φόρτιση μηχανής (ειδική περίπτωση)



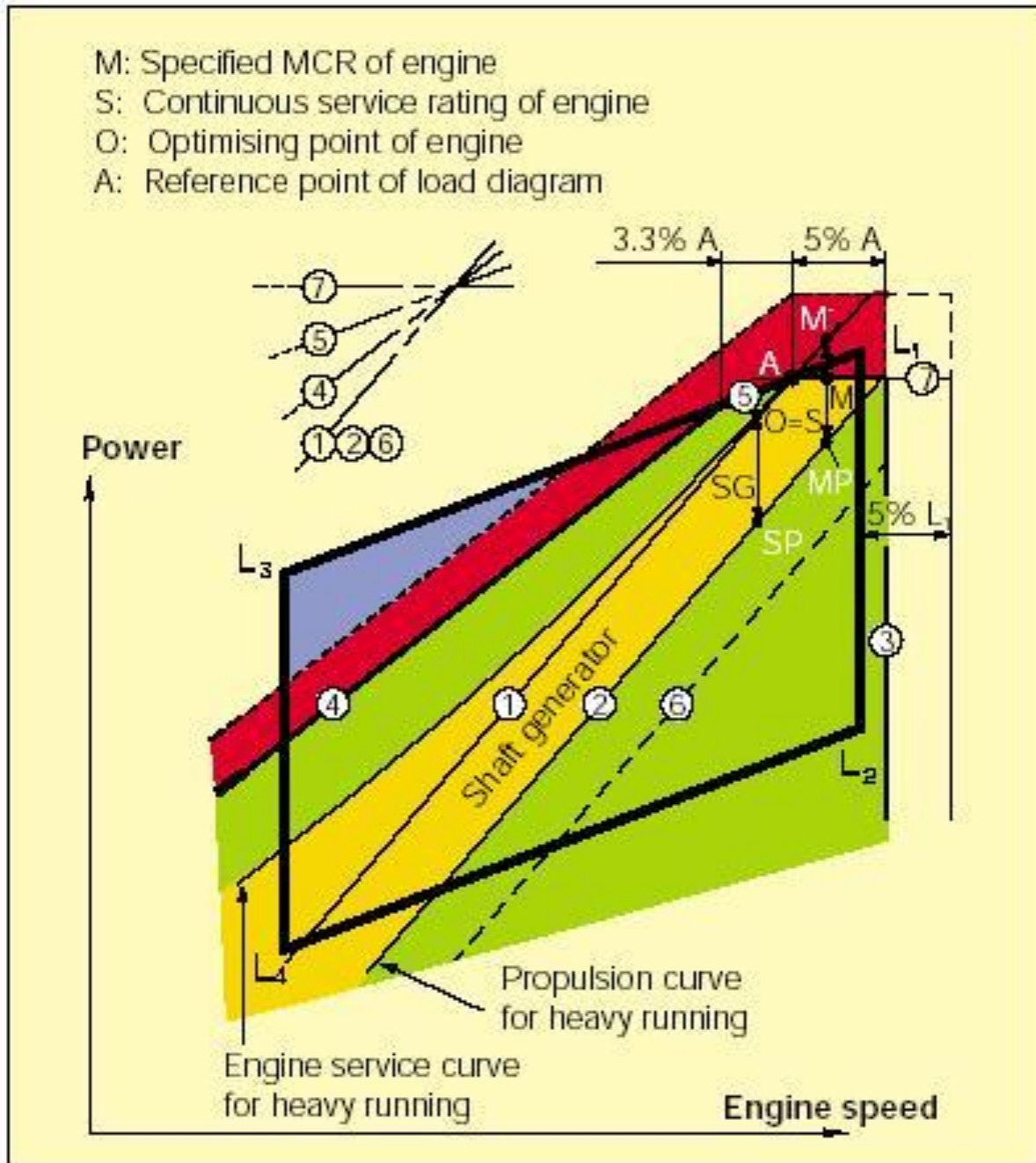
Σχήμα 21α: Παράδειγμα 3 με έλικα σταθερού βήματος - πεδίο λειτουργίας μηχανής με γεννήτρια στον άξονα (κανονική περίπτωση)



Σχήμα 21β: Παράδειγμα με 3 με έλικα σταθερού βήματος – διάγραμμα φόρτισης μηχανής με γεννήτρια στον άξονα (κανονική περίπτωση)



Σχήμα 22α: Παράδειγμα 4 με έλικα σταθερού βήματος - πεδίο λειτουργίας μηχανής (ειδική περίπτωση)



Σχήμα 22β: Παράδειγμα 4 με έλικα σταθερού βήματος - διάγραμμα φόρτισης μηχανής (ειδική περίπτωση)

Παράδειγμα 3:

Κανονική περίπτωση με γεννήτρια στον άξονα

Σε αυτό το παράδειγμα, μία γεννήτρια είναι εγκατεστημένη στον άξονα (shaft generator, SG) και, συνεπώς, η ισχύς υπηρεσίας της μηχανής πρέπει επίσης να συμπεριλάβει την επιπλέον απαιτούμενη ισχύ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος από την γεννήτρια.

Στο Σχήμα 21α, η καμπύλη υπηρεσίας της μηχανής που παρουσιάζεται, για ρυπασμένη γάστρα, εμπεριέχει αυτήν την επιπλέον ισχύ.

Το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O, και έτσι και η καμπύλη του διαγράμματος φόρτισης (1), κανονικά θα επιλεγεί πάνω στην καμπύλη της έλικας που περνάει από το σημείο M.

Το σημείο A βρίσκεται τότε με τον ίδιο τρόπο όπως στο Παράδειγμα 1 και κατόπιν μπορεί να σχεδιαστεί το διάγραμμα φόρτισης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 21β.

Παράδειγμα 4:

Ειδική περίπτωση, με γεννήτρια στον άξονα

Επίσης στην ειδική αυτή περίπτωση, μία γεννήτρια είναι εγκατεστημένη στον άξονα, αλλά σε αντίθεση με το Παράδειγμα 3, τώρα το καθορισμένο σημείο MCR για πρόωση, MP, τοποθετείται στην κορυφή του πεδίου λειτουργίας, Σχήμα 22α. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο MCR της μηχανής (σημείο M') θα τοποθετηθεί έξω από την κορυφή του πεδίου λειτουργίας.

Μία λύση θα ήταν να επιλεγεί μία μηχανή Diesel με ένα επιπλέον κύλινδρο, ωστόσο μία άλλη και μάλιστα φθηνότερη λύση είναι να μειωθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της γεννήτριας άξονα, όταν η μηχανή λειτουργεί στην επάνω περιοχή της ισχύος πρόωσης.

Εάν διαλέξουμε την τελευταία λύση, η απαιτούμενη συγκεκριμένη ισχύς MCR της μηχανής μπορεί να μειωθεί από το σημείο M' στο σημείο M, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22α. Έτσι, για λειτουργία στην επάνω περιοχή της ισχύος προώσεως, ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος Diesel πρέπει να αναλάβει ολόκληρη ή μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

Ωστόσο, μία τέτοια περίπτωση σπάνια θα εμφανιστεί, καθώς τα πλοία μάλλον σπάνια λειτουργούν στην επάνω περιοχή της ισχύος πρόωσης. Στο παράδειγμα, το σημείο βέλτιστης λειτουργίας O έχει επιλεγεί ίδιο με το σημείο S και η γραμμή 1 μπορεί να προσδιοριστεί.

Το σημείο A, έχοντας την υψηλότερη δυνατή ισχύ, βρίσκεται τότε στην τομή της γραμμής L₁-L₃ με την γραμμή 1, Σχήμα 22α, και το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτισης

σχεδιάζεται στο Σχήμα 22β. Το σημείο M βρίσκεται στην γραμμή 7 στις στροφές του MP.

Παράδειγμα με έλικα μεταβλητού βήματος

Παράδειγμα 5:

Με ή χωρίς γεννήτρια στον άξονα

Διάγραμμα πεδίου λειτουργίας χωρίς γεννήτρια άξονα

Όταν μία έλικα μεταβλητού βήματος είναι εγκατεστημένη, η καμπύλη συνδιασμών (της έλικας με τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης) θα επιλεγθεί για έμφορτο πλοίο και με περιθώριο θάλασσας.

Για μια δεδομένη ταχύτητα έλικας, η καμπύλη συνδιασμών θα έχει ένα δεδομένο βήμα, και αυτό σημαίνει ότι, όπως στην περίπτωση έλικας με σταθερό βήμα, η έλικα μπορεί να έχει υψηλή φόρτιση σε άσχημο καιρό.

Έτσι προτείνεται η χρήση μιας καμπύλης συνδιασμών με χαμηλή φόρτιση (διακεκομμένη καμπύλη), όπως φαίνεται στο σχήμα 23, για να επιτευχθεί ένα αυξημένο λειτουργικό περιθώριο για τον κινητήρα Diesel σε άσχημο καιρό από τις καμπύλες 4 και 5.

Διάγραμμα πεδίου λειτουργίας με γεννήτρια άξονα

Η διαγραμμισμένη περιοχή στο σχήμα 23 δείχνει το προτεινόμενο πεδίο ταχυτήτων μεταξύ της 100% και της 96.7% ταχύτητας του MCR για έναν κινητήρα με γεννήτρια άξονα που λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα

Το σημείο λειτουργίας S μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε μέσα στην διαγεγραμμένη περιοχή.

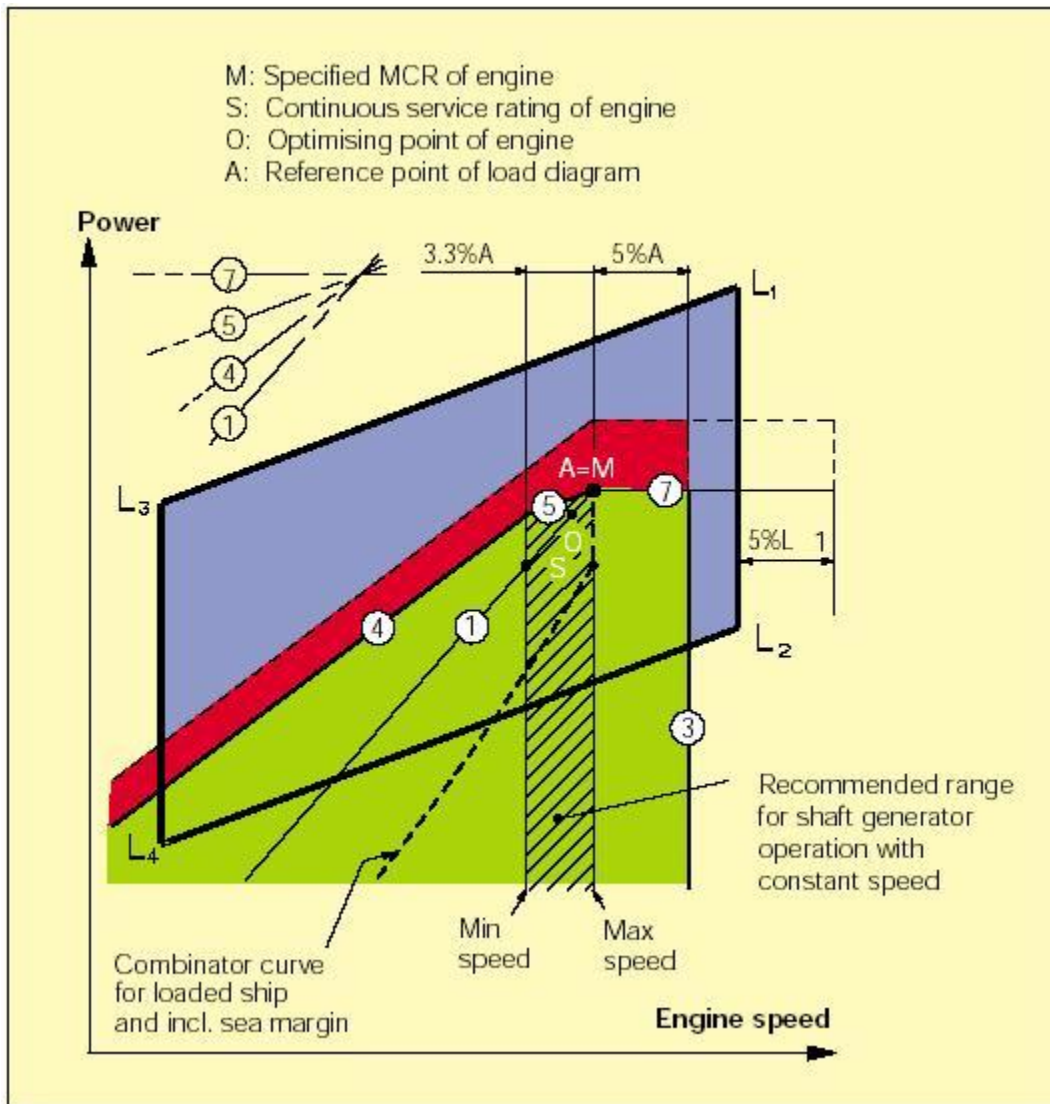
Η διαδικασία που εφαρμόζεται στα παραδείγματα 3 και 4 για κινητήρες με έλικες σταθερού βήματος, μπορεί να εφαρμοστεί και σε κινητήρες με έλικες μεταβλητού βήματος που λειτουργούν πάνω σε μία καμπύλη συνδιασμών.

Το σημείο βελτιστοποίησης O για κινητήρες με VIT (Variable Injection Timing – μεταβλητό χρονισμό έγχυσης) μπορεί να επιλεγθεί πάνω στην καμπύλη 1 που περνάει από το σημείο A=M με μια βελτιστοποιημένη ισχύ από 85% έως 100% της ΜΣΙ, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στην ενότητα που αναφέρονταν στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας O.

Διάγραμμα φόρτισης του κινητήρα

Όταν έχει επιλεγθεί το σημείο Μέγιστης Συνεχούς Ισχύος M, λαμβάνοντας υπόψιν το περιθώριο μηχανής, το περιθώριο θάλασσας και την ισχύ γεννήτριας άξονα εαν αυτή είναι εγκατεστημένη, το σημείο αυτό (M) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το σημείο A του διαγράμματος φόρτισης, το οποίο μπορεί έτσι να σχεδιαστεί.

Η θέση της καμπύλης συνδιασμών εξασφαλίζει το μέγιστο πεδίο φορτίων λειτουργίας του κινητήρα στα πλαίσια της επιτρεπτής περιοχής ταχυτήτων, και επίσης αφήνει ένα λογικό περιθώριο απο τα όρια φορτίσεως (γραμμές 4 και 5)



Σχήμα 23 : Παράδειγμα 5 με έλικα μεταβλητού βήματος - διάγραμμα φόρτισης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Επιρροή των διαφόρων τύπων αντίστασης στην λειτουργία της μηχανής

Με σκοπό να δοθεί μία σύντομη περίληψη σχετικά με την επίδραση των διαφόρων τύπων αντίστασης πάνω στην έλικα και στην λειτουργία της Κύριας Μηχανής, έχει επιλεγεί ένα αυθαίρετο παράδειγμα (βλ. διάγραμμα φόρτισης στο Σχήμα 24).

Η επίδραση των διαφόρων τύπων αντίστασης φαίνεται μέσω των αντίστοιχων σημείων υπηρεσίας για πρόωση, που έχουν την ίδια ισχύ προώσεως, χρησιμοποιώντας ως βάση το σημείο σχεδιάσεως της έλικας PD, με 15% επιπλέον ισχύ.

Σημείο Σχεδιάσεως Έλικας PD

Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, η έλικα κανονικά θα σχεδιαστεί σύμφωνα με μία καθορισμένη ταχύτητα πλοίου V που ισχύει για έμφορτη κατάσταση με καθαρή γάστρα και ήρεμο καιρό. Ο αντίστοιχος συνδυασμός στροφών και ισχύος της μηχανής δίδεται ως σημείο PD στην καμπύλη της έλικας 6 στο διάγραμμα φόρτισης, Σχήμα 24.

Αυξημένη ταχύτητα πλοίου, σημείο S0.

Εάν η ισχύς της μηχανής αυξηθεί, για παράδειγμα, κατά 15%, και το φορτωμένο πλοίο συνεχίσει να λειτουργεί με καθαρή γάστρα και σε ήρεμο καιρό (σημείο S0), η ταχύτητα του πλοίου V και οι στροφές της μηχανής n θα αυξηθούν σύμφωνα με το νόμο της έλικας (που περίπου ισχύει για την συνηθισμένη περιοχή ταχυτήτων):

$$V_{S0} = V \times \sqrt[3]{1.15} = 1.041 \times V$$

$$n_{S0} = n \times \sqrt[3]{1.15} = 1.048 \times n$$

Το σημείο S0 θα τοποθετηθεί στην ίδια καμπύλη έλικας που βρίσκεται και το σημείο PD.

Λειτουργία σε παραγμένη θάλασσα με καθαρή γάστρα και αντίθετο ρεύμα, 15% περιθώριο θάλασσας, σημείο S2

Αντίστροφα, εάν το πλοίο λειτουργεί ακόμη στην έμφορτη κατάσταση με καθαρή γάστρα, αλλά τώρα με αυξημένη αντίσταση από παραγμένη θάλασσα (με σχετικά μικρά κύματα) και άνεμο και εάν ακόμη ταξιδεύει αντίθετα με το ρεύμα, μία επιπλέον ισχύς, για παράδειγμα, 15% χρειάζεται για να διατηρηθεί η ταχύτητα του πλοίου V (περιθώριο θάλασσας 15%).

Καθώς η ταχύτητα του πλοίου είναι $V_{S2} = V$, και η έλικα δεν είχε ολίσθηση, θα ήταν αναμενόμενο ότι η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής (έλικας) θα ήταν επίσης σταθερή. Όμως, το νερό υποχωρεί, δηλαδή, η έλικα έχει ολίσθηση, η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής θα αυξηθεί και το σημείο λειτουργίας S2 θα τοποθετηθεί σε μία καμπύλη έλικας

6.2 πολύ κοντά στο S0, στην καμπύλη έλικας 6. Η καμπύλη έλικας 6.2 είναι δυνατό να αντιπροσωπεύει μία έλικα που λειτουργεί με περίπου 0,5% αυξημένη φόρτιση από ότι η καμπύλη 6, [1].

Ανάλογα με τον συντελεστή γάστρας του πλοίου, ο συντελεστής αυξημένης φόρτισης του 0.5% μπορεί να είναι κάπως υψηλότερος (υψηλός συντελεστής γάστρας) ή χαμηλότερος (χαμηλός συντελεστής γάστρας).

Για αντίσταση που αντιστοιχεί σε 30% επιπλέον ισχύ (30% περιθώριο θάλασσας) ο αντίστοιχος σχετικός συντελεστής αυξημένης φόρτισης θα είναι περίπου 1%, [1].

Λειτουργία σε ταραγμένη θάλασσα με ρυπασμένη γάστρα και 15% περιθώριο θάλασσας, σημείο SP

Όταν, μετά από λίγο καιρό σε λειτουργίας, η γάστρα του πλοίου ρυπαίνεται και η εξωτερική επιφάνειά της γίνεται πιο ανώμαλη, το πεδίο του ομόρρου θα είναι διαφορετικό από αυτό ενός ομαλού πλοίου (καθαρή γάστρα).

Ένα πλοίο με ρυπασμένη γάστρα, συνεπώς, θα υπόκειται σε επιπλέον αντίσταση, η οποία, λόγω του αλλαγμένου πεδίου ομόρρου, θα προκαλέσει λειτουργία της έλικας με αυξημένη φόρτιση σε σχέση με αυτή της λειτουργίας με άσχημες καιρικές συνθήκες μόνο. Όταν συμπεριληφθεί επίσης κάποια μέση επίδραση της άσχημης θάλασσας και των κυμάτων, η καμπύλη της έλικας για πλοίο στην έμφορτη κατάσταση θα μετακινηθεί προς τα αριστερά (καμπύλη της έλικας 2 στο διάγραμμα φόρτισης στο Σχήμα 24). Αυτή η καμπύλη της έλικας, που σημειώνεται ως ρυπασμένη γάστρα και φορτωμένο πλοίο, αντιστοιχεί σε λειτουργία με περίπου 4% αυξημένη φόρτιση σε σχέση με την καμπύλη έλικας 6 για καθαρή γάστρα και ήρεμες καιρικές συνθήκες.

Για να καλυφθεί η απαίτηση για διατήρηση αρκετής παροχής αέρα για την καύση της μηχανής Diesel, που θέτει έναν περιορισμό στον μέγιστο συνδυασμό ροπής και ταχύτητας, βλ. καμπύλη 4 του διαγράμματος φόρτισης, είναι συνήθης πρακτική να προσαρμόζεται η μηχανή Diesel και ο υπερσυμπιεστής κ.λ.π. σύμφωνα με την καμπύλη της έλικας 1 του διαγράμματος φόρτισης που είναι ίδια με την καμπύλη έλικας 2 για ρυπασμένη γάστρα.

Αντί του σημείου S2, λοιπόν, το σημείο SP θα χρησιμοποιηθεί συνήθως στο πεδίο λειτουργίας της μηχανής αντιστοιχώντας αυτή την ισχύ υπηρεσίας στο 90% του καθορισμένου MCR της μηχανής, που αντιστοιχεί με την σειρά του σε ένα περιθώριο μηχανής 10%.

Με άλλα λόγια, στο παράδειγμα, η καμπύλη σχεδιάσεως της έλικας αντιστοιχεί με 5 % μειωμένη φόρτιση συγκρινόμενη με την καμπύλη της έλικας που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο λειτουργίας της Κυρίας Μηχανής.

Λειτουργία σε παραγμένη θάλασσα με μεγάλα κύματα, σημείο S3

Όταν το πλοίο ταξιδεύει σε παραγμένη θάλασσα αντίθετα, με μεγάλα κύματα, η έλικα μπορεί να λειτουργεί με 7-8% αυξημένη φόρτιση από ότι σε ήρεμο καιρό, δηλαδή, στην ίδια ισχύ της έλικας, ο ρυθμός περιστροφής μπορεί να είναι 7-8% χαμηλότερος.

Για μία ισχύ έλικας ίση με το 90% της ισχύος του καθορισμένου σημείο MCR, το σημείο S₃ στο διάγραμμα φόρτισης του Σχήματος 24 δίνει ένα παράδειγμα για μία τέτοια περίπτωση λειτουργίας.

Σε μερικές περιπτώσεις στην πράξη με ισχυρό αντίθετο άνεμο, κατά την λειτουργία με αυξημένη φόρτιση έχει αποδειχθεί ότι το ποσοστό υπερφόρτισης είναι ακόμη μεγαλύτερο και μάλιστα μπορεί το σημείο λειτουργίας να βρεθεί ακόμη και αριστερά της οριακής γραμμής 4 του διαγράμματος φόρτισης.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, για να αποφευχθούν οι σφυροκρούσεις του πλοίου (slamming) και έτσι η ζημιά στην πρύμνη και ξενέρισμα/υπερτάχυνση χωρίς φορτίο (racing) της έλικας, η ταχύτητα του πλοίου κανονικά θα μειωθεί από τον καπετάνιο.

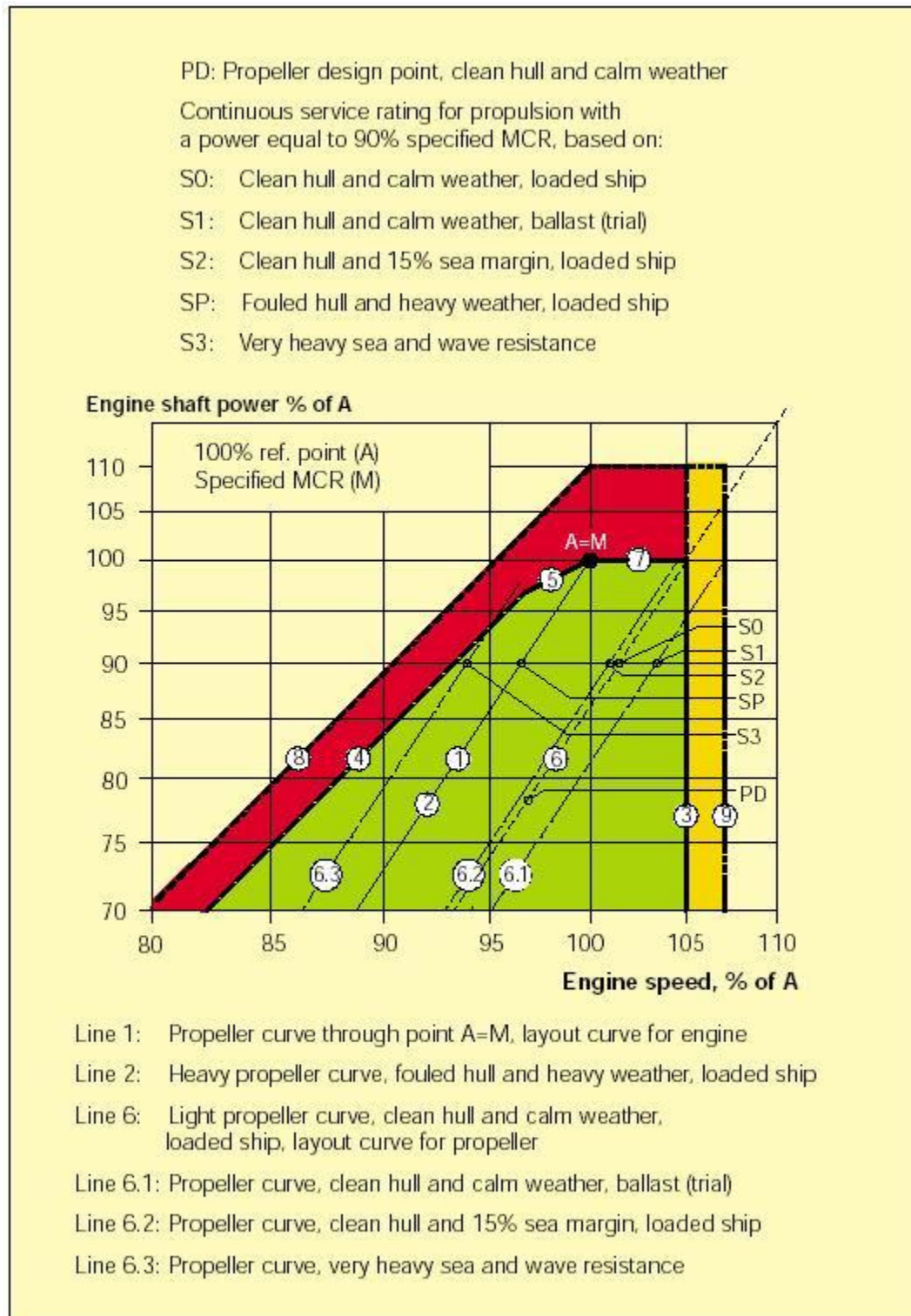
Επιτάχυνση του πλοίου και λειτουργία σε ρηχό νερό

Όταν το πλοίο επιταχύνει και η έλικα υπόκειται σε ένα μεγαλύτερο φορτίο από ότι κατά την ελεύθερη πλεύση, η επίδραση στην έλικα μπορεί να είναι παρόμοια με αυτή που φαίνεται μέσω του σημείου S₃ στο διάγραμμα φόρτισης, Σχήμα 24. 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.

Λειτουργία κατά την πλεύση σε συνθήκες δοκιμών, στο σημείο S1

Κανονικά, η καμπύλη έλικας (6) με καθαρή γάστρα θα αναφέρεται ως η καμπύλη έλικας του 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 6.1 της έλικας θα αντιστοιχεί σε λειτουργία με μειωμένη φόρτιση σε σχέση με την καμπύλη 6.

Για μια ισχύ στην έλικα ίση με το 90% της ισχύος που αντιστοιχεί στο MCR, το σημείο S1 στο διάγραμμα φόρτισης στο Σχήμα 24, δίνει ένα παράδειγμα από μία τέτοια περίπτωση λειτουργίας. Για να είναι δυνατό να επιδείξει λειτουργία κατά την διάρκεια των δοκιμών στα 100% της ισχύος, μπορεί να χρειαστεί σε μερικές περιπτώσεις να ξεπερασθεί ο περιορισμός της ταχύτητας περιστροφής της έλικας, γραμμή 3, που κατά την διάρκεια των δοκιμών μπορεί να επιτραπεί να επεκταθεί μέχρι το 107%.



Σχήμα 24 : Επίδραση των διαφόρων τύπων αντίστασης πλοίου στην επιλογή της περιοχής συνεχούς λειτουργίας

Επίλογος

Η αντίσταση του πλοίου στην πράξη, συχνά προκύπτει από δοκιμές ρυμουλκήσεως ενός μοντέλου του πλοίου στην πειραματική δεξαμενή. Οι μετρήσεις της πειραματικής δεξαμενής χρησιμοποιούνται επίσης για την βελτιστοποίηση της σχεδίασης της έλικας και της γάστρας.

Όταν η απαιτούμενη ισχύς του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων και των περιθωρίων, και η ταχύτητα (ρυθμός) περιστροφής της έλικας έχουν προσδιοριστεί, η κατάλληλη Κύρια Μηχανή μπορεί τότε να επιλεγεί.

Σε σχέση με τα παραπάνω, η αλληλεπίδραση μεταξύ πλοίου και Κυρίας Μηχανής είναι εξαιρετικά σημαντική, και το διάγραμμα φόρτισης της μηχανής, δηλαδή, η επιλογή του πεδίου λειτουργίας της μηχανής σε σχέση με την καμπύλη λειτουργίας της μηχανής (πλοίου), πρέπει να γίνει προσεκτικά για να επιτευχθεί η βέλτιστη εγκατάσταση προώσεως.

Βιβλιογραφία / Πηγές

- [1] Resistance and Propulsion of Ships, Sv..Aa. Harvald, 1983
- [2] Ship Resistance, H.E. Guldhammer and Sv..Aa. Harvald,, 1974
- [3] Gartygspropellrar och Fartygs Framdrift, Jan Tronblad, KaMc Wa Publication, 1985
- [4] Technical Discussion with Keld Kofoed Nielsen, Burmeister & Wain Shipyard, Copenhagen

Επιπλέον συστήνουμε τα:

- [5] Prediction of Power Ships, Sv..Aa. Harvald,, 1977 and 1986.
- [6] Propulsion of Single-screw Ships, Sv..Aa. Harvald, & J. M. Hee, 1981.

