



**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

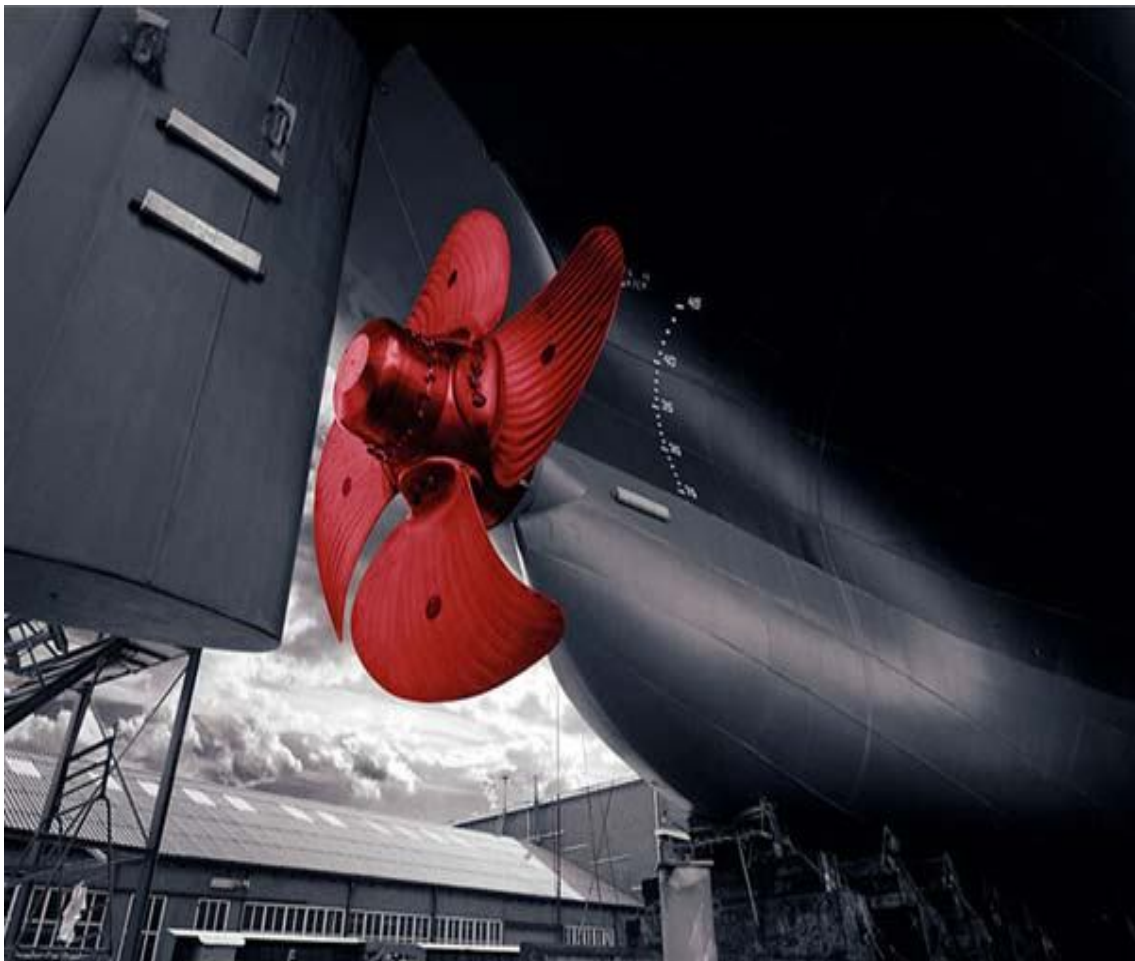
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΛΙΚΑ ΠΛΟΙΟΥ**

---

**ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΑΡΩΝΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΙΒΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, καθηγητής Α.Ε.Ν.**



ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2013

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΛΙΚΑ  
ΠΛΟΙΟΥ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΑΡΩΝΗΣ**

**ΑΡ. ΜΗΤΡΩΟΥ: 4441**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΙΒΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, καθηγητής Α.Ε.Ν.**

**Ημ. Παράδοσης:**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής:

## Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι να γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση των συνθηκών ροής που επικρατούν γύρω από έλικα πλοίου - αλλά και αεροπλάνου. Στόχος είναι να καταγραφούν οι συνθήκες λειτουργίας της έλικας και πως επηρεάζει τη απόδοσή της αφενός η γεωμετρία της γάστρας του πλοίου αλλά αφετέρου και οι διαφορετικές συνθήκες πλεύσης. Για την πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση του παρόντος αντικειμένου, γίνεται εκτενής βιβλιογραφική αναφορά στις έλικες των αεροπλάνων ώστε να μπορέσει ο αναγνώστης να δει ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους ελίκων αλλά και ρευστών.

Για την πληρέστερη παρουσίαση των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει εκτενής αναφορά στα είδη ροής και ιδιότητες ρευστών (νερό και αέρας). Να γίνει αναφορά στα συστήματα πρόωσης με έλικα αλλά και στα μέρη του πλοίου που επηρεάζουν τη ροή. Μελετήθηκε βιβλιογραφικά επίσης η μορφή των πτερυγίων, ο αριθμός τους, η κλίση τους, η χημική σύνθεσή τους και έγινε επεξήγηση των κύριων τμημάτων της έλικας.

Γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των συνθηκών ροής που επικρατούν γύρω από την έλικα του πλοίου, και πιο συγκεκριμένα για τον συντελεστή ποσοστού ομόρρου, τους βαθμούς απόδοσης έλικας, πρόωσης, σχετικής περιστροφής, άξονα, και τον ολικό βαθμό απόδοσης. Γίνεται αναφορά στον ρόλο που έχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τις έλικας (π.χ. διάσταση, λόγος βήματος προς την διάμετρο), στην συμπεριφορά ροής (π.χ. ολίσθηση), σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας (π.χ. βαριές συνθήκες λειτουργίας, αυξημένη αντίσταση πλοίου, διαφορετικές συνθήκες ροής όπως η συμπεριφορά της στα μεγάλα κύματα, η επιτάχυνση του πλοίου, η συμπεριφορά της στα ρηγά νερά, η επίδραση του εκτοπίσματος). Τέλος, γίνεται αναφορά και στις φθορές που προκαλούνται στα πτερύγια της έλικας εξαιτίας των συνθηκών ροής που επικρατούν κατά την διάρκεια λειτουργίας της. (π.χ. σπηλαίωση).

Τέλος γίνεται αναφορά σε έλικες αεροπλάνου και ειδικότερα το τι είναι περιστροφική ταχύτητα, προχωρητική ταχύτητα, ελικοειδής κίνηση της έλικας, πια είναι τα μέρη της έλικας και ποιές δυνάμεις ενεργούν σε αυτή.

## Abstract

Object of this work is to make literature the flow conditions prevailing around boat propellers - and plane. The aim is to record the operating conditions of the propeller and how it affects the performance of both the geometry of the hull but other and different sailing conditions. For the most comprehensive presentation of this object, there is an extensive literature reporting on propellers of airplanes to allow the reader to see similarities and differences between the two types of propellers and fluids.

For a fuller presentation of the above, it was necessary to make extensive reference to species and flow properties of fluids (water and air). Reference to the propulsion propellers and parts of the vessel that affect the flow. The literature also studied form of fins, their number, their inclination, the chemical composition and was an explanation of the main parts of the propeller.

Literature is the flow conditions prevailing around the propeller of the ship, and more particularly to wake rate coefficient, the degrees of efficiency propeller, propulsion, relative rotation axis, and the total efficiency. Reference to the role to the geometric characteristics of the helix (e.g. dimension, pitch ratio to the diameter), the flow behavior (e.g., sliding), in different operating conditions (e.g., heavy operating conditions, increased resistance vessel, different flow conditions such as the behavior of the big waves, the speed of the ship's behavior in shallow water, the effect of displacement). Finally, reference is made to the damage caused to the blades of the propeller due to the flow conditions prevailing during operation. (E.g., cavitation).

Finally reference to airplane propellers and in particular what is rotational speed, anterograde velocity, spiral motion of the propeller, anymore are the parts of the propeller and what forces act on it.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### 1.1 Είδη ροής

Με τον όρο Ροή χαρακτηρίζεται γενικά οποιαδήποτε παρατηρούμενη συνεχόμενη κίνηση ρευστού στο χώρο. Συναφής επίσης όρος είναι και το «ρεύμα» που απαντάται περισσότερο στον Ηλεκτρισμό και την Μετεωρολογία. Περισσότερο όμως συναντάται ως επιστημονικός όρος που αφορά την κίνηση των ρευστών και ειδικότερα των υγρών με συνέπεια να είναι ο σημαντικότερος όρος στη Μηχανική ρευστών δηλαδή στην Υδροδυναμική και την Υδραυλική.

Εμπειρικά γνωρίζουμε ότι ως ρευστά θεωρούνται σώματα χωρίς σταθερό σχήμα που έχουν τη δυνατότητα να ρέουν (σε αντίθεση με τα στερεά). Τέτοια σώματα είναι το νερό και ο αέρας και γενικότερα όλα τα υγρά και τα αέρια. Επίσης όπως γνωρίζουμε πως και τα λεπτόκοκκα στερεά όπως (π.χ. άμμος, σιτάρι) «ρέουν». Από την άλλη, κάποια υγρά όταν βρίσκονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε αρκετές περιπτώσεις ρέουν με δυσκολία (παχύρευστα υγρά). Ο εμπειρικός προσδιορισμός της έννοιας λοιπόν δεν αρκεί. Για να εξετάσουμε την ροή πιο σωστά πρέπει να εξετάσουμε το αίτιο που την προκαλεί δηλαδή την απώλεια της κατάστασης ισορροπίας και τη μεταβολή της κινητικής κατάστασης. Αν σε οριζόντιο επίπεδο τοποθετήσουμε ένα στερεό σώμα αυτό θα ισορροπήσει, το ίδιο θα συμβεί αν τοποθετήσουμε και μια σταγόνα νερού. Αν όμως το οριζόντιο επίπεδο αποκτήσει κάποια κλίση το στερεό σώμα θα μετακινηθεί σαν ενιαίο σώμα. Και το νερό θα κινηθεί αλλά όχι ενιαία, δηλαδή μικρές ποσότητες θα παραμείνουν στην επιφάνεια κατά μήκος της διαδρομής του. Λέμε πως το νερό ρέει (αφού το στερεό σώμα μετακινείται).

Για να παρατηρηθεί το φαινόμενο της ροής, πρέπει να εφαρμοστεί στο ρευστό μια διατμητική δύναμη και να προκληθεί συνεχής, ανομοιόμορφη και οριστική μετακίνηση των μορίων του σώματος κατά την διεύθυνσή της. Στη φυσική ροή του **νερού** σε ένα ποτάμι, το ρόλο της διατμητικής δύναμης τον παίζει η συνιστώσα του βάρους του κατά την διεύθυνσή της κοίτης του ποταμού (που είναι κεκλιμένη). Στη φυσική ροή του **αέρα** (άνεμοι) η διατμητική δύναμη δημιουργείται λόγω διαφοράς πίεσης στην ατμόσφαιρα ( Η φυσική ροή του αέρα αποτελεί πιο πολύπλοκο ζήτημα,

αφού και η διαφορά θερμοκρασίας από τόπο σε τόπο σε συνδυασμό με την γήινη βαρύτητα είναι δυνατόν να προκαλέσει αξιόλογα τοπικά ρεύματα).

Όπως σε όλες τις επιστήμες έτσι και στην Μηχανική των Ρευστών, οι τρεις βασικές θερμοδυναμικές ιδιότητες των σωμάτων (**θερμοκρασία T, πίεση P, πυκνότητα ρ και ειδικό βάρος Y**) παίζουν καθοριστικό ρόλο.

**Θερμοκρασία T:** Όπως γνωρίζουμε από την φυσική η θερμοκρασία εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα των μορίων του σώματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η μέση ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερη και η θερμοκρασία του.

Σε συνδυασμό με την πίεση, καθορίζει την φυσική κατάσταση του σώματος. Άρα από την θερμοκρασία εξαρτάται αν ένα σώμα βρίσκεται σε κατάσταση ρευστού.

**Πίεση P:** Τα μόρια των ρευστών κινούμενα με σχετικά μεγάλες ταχύτητες στο χώρο τους, συγκρούονται μεταξύ τους, στα τοιχώματα των δοχείων που τα περιέχουν, αλλά και σε ξένα σώματα που βρίσκονται μέσα στη μάζα τους. Οι κρούσεις αυτές ασκούν δυνάμεις κάθετες στις επιφάνειες. Σύμφωνα με την αρχή δράσης – αντίδρασης, το μόριο ασκεί δύναμη ίση και αντίθετη επί του τοιχώματος. Η κάθετη δύναμη που ασκείτε στην επιφάνεια είναι το άθροισμα των δυνάμεων που οφείλονται στις κρούσεις όλων των μορίων επί αυτής. Η πίεση του ρευστού σε κάποιο σημείο, είναι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, που το ρευστό ασκεί σε σώμα που βρέθηκε στο σημείο αυτό. Παρατηρούμε πως η πίεση που ασκεί το ρευστό εξαρτάται εξαρτάται από την μέση ταχύτητα των μορίων και το ρυθμό των κρούσεων. Σύμφωνα με τη θερμοδυναμική, η πίεση του ιδανικού αερίου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας (αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει αύξηση της μέσης ταχύτητας των μορίων) και ανάλογη της πυκνότητας (μεγάλη πυκνότητα σημαίνει περισσότερες κρούσεις).

**Πυκνότητα ρ και ειδικό βάρος Y:** Η πυκνότητα ενός σώματος καλείται η μάζα του ανά μονάδα όγκου. Η πυκνότητα είναι αντίστροφη του ειδικού όγκου.

Ειδικό βάρος αντίστοιχα καλείται το βάρος ανά μονάδα όγκου. Οι δύο αυτές ιδιότητες **δεν** είναι ανεξάρτητες διότι από αυτές προκύπτει η σχέση:

$$Y = \rho \times g$$

**Όπου g επιτάχυνση της βαρύτητας: 9.81**

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην πυκνότητα (η οποία αποτελεί βασική ιδιότητα των σωμάτων). Γνωρίζοντας την πυκνότητα ενός σώματος, μπορούμε, αν χρειαστεί, να υπολογίσουμε και το ειδικό βάρος όπως προαναφέραμε στην παραπάνω σχέση.

Η πυκνότητα των υγρών είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την πυκνότητα των αερίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια των υγρών βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους (δηλαδή τα υγρά έχουν μεγάλη μοριακή συγκέντρωση), σε σχέση με τα μόρια των αερίων. Για παράδειγμα, σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας η πυκνότητα του νερού είναι 785 φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του αέρα. Αφού στους 100 °C το υγρό νερό έχει 1600 φορές μεγαλύτερη πυκνότητα από τον υδρατμό ίδιας θερμοκρασίας

## 1.2 Διάκριση ροής των ρευστών

### Ροή ιδανικών ρευστών

Στη ροή των τέλειων, ή ιδανικών, ή ιδεωδών υγρών εφαρμόζονται δύο βασικοί νόμοι της υδροδυναμικής:

1. Ο Νόμος της συνεχείας της ροής και
2. Ο Νόμος του Μπερνούλι.

Συναφές επίσης είναι και το Θεώρημα του Torricelli.

### Ροή φυσικών ρευστών

Η ροή των φυσικών υγρών είναι διάφορη από εκείνη των ιδεωδών και τούτο διότι επηρεάζονται από τα τρία χαρακτηριστικά των φυσικών υγρών, δηλαδή το συμπιεστόν τους, την συνοχή των μορίων τους και την συνάφεια αυτών προς τα τοιχώματα των αγωγών.

Το *συμπιεστόν* εν τούτοις ελάχιστα επηρεάζει τη ροή, δεδομένου ότι τα υγρά θεωρούνται πρακτικά ασυμπιέστα σε αντίθεση με τα αέρια όπου η επίρεια είναι μεγαλύτερη.

Η *συναγωγή* όμως των μορίων του φυσικού υγρού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικής τριβής μεταξύ αυτών, η οποία χαρακτηρίζεται από τον λεγόμενο συντελεστή συνεκτικότητας ή συντελεστή εσωτερικής τριβής ή συντελεστή ιξώδους.

### 1.3 Στρωτή ροή και Τυρβώδης ροή

Στρωτή και τυρβώδης ροή (δύο είναι τα βασικά είδη της ροής: (α) στρωτή και (β) τυρβώδης. Ο χαρακτηρισμός αυτός της ροής γίνεται από δυναμική άποψη (συσχετισμός δυνάμεων). (α) Κατά τη στρωτή ροή οι γειτονικές στρώσεις του ρευστού κινούνται σχηματίζοντας λείες (όχι απαραίτητα ευθείες) γραμμές ροής (γραμμή ροής είναι η γραμμή στην οποία είναι εφαιπτόμενο το άνυσμα της ταχύτητας ροής), χωρίς να πραγματοποιείται ανάμιξη μακροσκοπικής κλίμακας μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων.

Η στρωτή ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις συνεκτικότητας (εξαιτίας των διατμητικών τάσεων, δηλ. οι δυνάμεις τριβών που οφείλονται στην παρουσία στερεών τοιχωμάτων) είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις αδράνειας.

Οι στρωτές ροές αποτελούν θεωρητική περίπτωση και πολύ σπάνια συμβαίνουν στη φύση.

(β) Στην τυρβώδη ροή τα ρευστά σωματίδια έχουν ακανόνιστη, σχεδόν τυχαία, διακυμαινόμενη κίνηση. Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού μεταβάλλεται με το χρόνο τόσο κατά μέγεθος, όσο και κατά διεύθυνση.

Η ροή κατά στρώσεις με λείες γραμμές ροής που παρατηρείται στη στρωτή ροή, διασπάται πλήρως και συμβαίνει έντονη μακροσκοπική ανάμιξη μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων.

Η τυρβώδης ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις αδράνειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνεκτικότητας. Στο φυσικό περιβάλλον όλες σχεδόν οι ροές είναι τυρβώδεις. Όπως στο παρακάτω σχήμα η ροή του θερμού καπνού που καπνίζει ο Humphrey Bogart είναι αρχικά στρωτή στη συνέχεια είναι ασταθής και μετά τυρβώδης καθώς επιταχύνει ανερχόμενη προς τα θερμότερα υψηλά στρώματα του αέρα.





Κατά τη *στροβιλώδη ροή*, ή *στροβιλοειδή ροή*, ή *τυρβώδη ροή* οι γραμμές ροής του ρευστού λαμβάνουν μορφή ακανόνιστων καμπυλών οι οποίες τέμνουν συνεχώς αλλήλους, δίνοντας έτσι την εικόνα ροής με στροβιλισμούς. Εικόνες τυρβώδους ροής μας παρέχουν οι ποταμοί όταν παρουσιάζουν στροβίλους που μπορεί να οφείλονται σε υποκείμενα ρεύματα, σε τριβές σε βραχώδεις όχθες ή σε πετρώματα του βυθού ή σε απότομη στένωση του πλάτους τους. Τυρβώδη ροή επίσης είναι δυνατόν να προκαλέσουν και πλοία ή λέμβοι που κινούνται ενάντια στο ρεύμα του ποταμού καθώς επίσης και οι αεροστρόβιλοι που μπορεί να επηρεάσουν την άντωση του αεροπλάνου με συνέπεια να προκληθούν τρανταγμοί του σκάφους.

#### 1.4 Αριθμός Reynolds

Στη μηχανική των ρευστών, ο **αριθμός Reynolds** ( $Re$ ) είναι ένας αδιάστατος αριθμός που δίνει ένα μέτρο της αναλογίας των αδρανειακών δυνάμεων στο παχύρρευστο δυνάμεων και, κατά συνέπεια, ποσοτικοποιεί τη σχετική σημασία των δύο αυτών τύπων των δυνάμεων για δεδομένες συνθήκες ροής.

Η έννοια εισήχθη από τον George Gabriel Stokes το 1851, αλλά ο αριθμός Reynolds είναι το όνομά του Osborne Reynolds (1842-1912), ο οποίος διέδωσε τη χρήση του το 1883.

Reynolds αριθμοί προκύπτουν συχνά κατά την εκτέλεση διαστατική ανάλυση του υγρού προβλήματα δυναμικής, και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό δυναμική ομοιότητα μεταξύ των διαφόρων πειραματικών περιπτώσεις.

Επίσης, χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει διαφορετικά καθεστάτα ροής, όπως είναι στρωτή ή τυρβώδης ροή : στρωτή ροή λαμβάνει χώρα σε χαμηλό αριθμό Reynolds, όπου ιξώδεις δυνάμεις είναι κυρίαρχη, και χαρακτηρίζεται από την ομαλή, συνεχή κίνηση ρευστού. Τυρβώδης ροή εμφανίζεται σε υψηλούς αριθμούς Reynolds και κυριαρχείται από δυνάμεις αδρανείας, οι οποίες τείνουν να παράγουν χαοτικές δίνες , και άλλες αστάθειες ροής.

Ο κρίσιμος αριθμός Reynolds είναι περίπου ίσος με 2100. Άρα στους κυλινδρικούς αγωγούς η ροή είναι στρωτή για  $Re < 2100$ . Ακολουθεί μια μεταβατική περιοχή που η ροή μετατρέπεται σταδιακά σε τυρβώδη  $2100 < Re < 4000$  περίπου. Για μεγαλύτερες τιμές Reynolds ( $Re > 4000$ ) η ροή είναι τυρβώδης.

### **Ροή γύρω από πτερύγια σε νερό και αέρα**

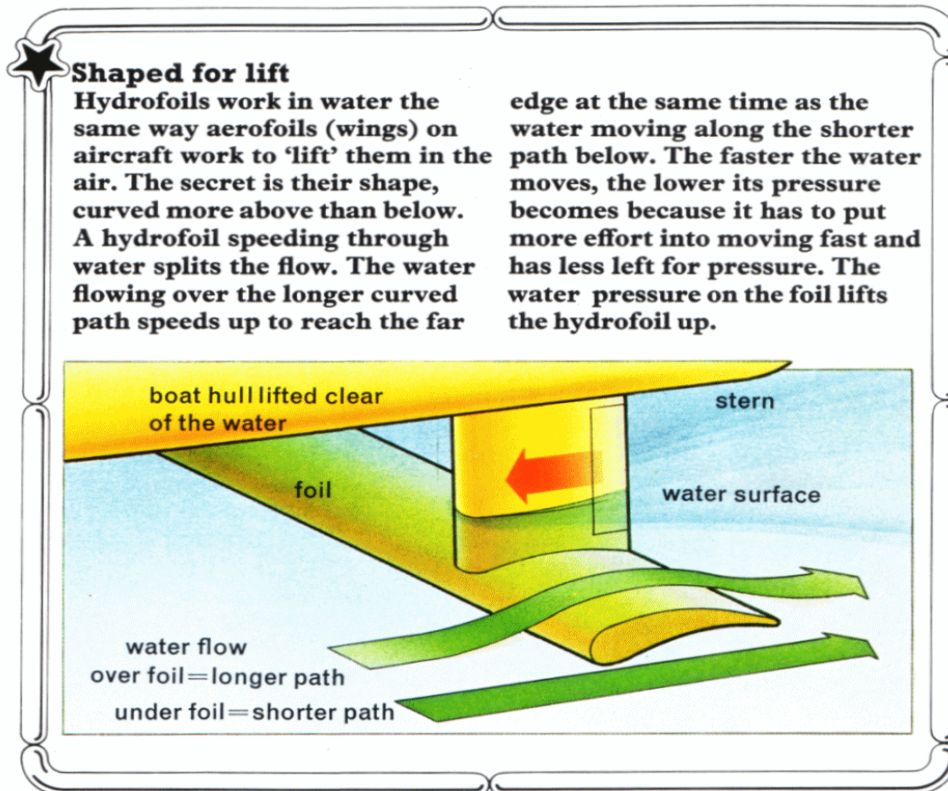


**Υδροπτερυγο ταχύπλοο πλοίο**

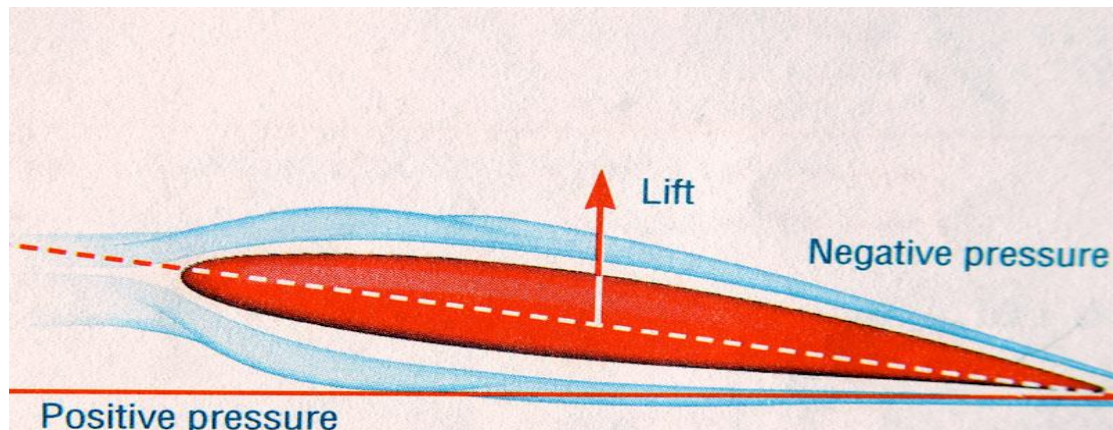
Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε τα κοινά χαρακτηριστικά και την συμπεριφορά των δύο ρευστών στην υδροδυναμική και αεροδυναμική αντίστοιχα.

Τα υδροπτέρυγα η εμπορικά λεγόμενο (ιπτάμενο δελφίни) η υδροφύιλ (hydrofoil ship) κατασκευάστηκαν με καμπυλωτά πέδιλα συνήθως δύο, με ελαφρά ανοδική κλίση προς την πλώρη) απ' τα οποία πάνω από συγκεκριμένη ταχύτητα, το κύριο μέρος του σκάφους εξέρχεται της επιφάνειας του νερού της θάλασσας με αποτέλεσμα μηδενίζοντας τις τριβές να αναπτύσσει μεγαλύτερη ταχύτητα.

Τα πτερύγια των Υ/Γ λειτουργούν με την ίδια φιλοσοφία των πτερυγίων των αεροπλάνων, το μυστικό είναι η καμπυλότητα να είναι μεγαλύτερη στο άνω μέρος του πτερυγίου απ το κάτω. Καθώς το Υ/Γ επιταχύνει το πτερύγιο με την μορφή που έχει χωρίζει την ροή του νερού που περνάει από την μεγαλύτερη διαδρομή και την μικρότερη διαδρομή. Όταν το νερό ρέει κατά την μεγαλύτερη διαδρομή επιταχύνεται η ροή ώστε να φτάσει στο πίσω άκρο του πτερυγίου στον ίδιο χρόνο με την ροή της κάτω διαδρομής. Όσο πιο γρήγορα κινείται το πτερύγιο στο νερό η πίεση μειώνεται, αυτό γίνεται επειδή έχει να καταβάλει μεγαλύτερη προσπάθεια για να κινηθεί γρήγορα και έχει λιγότερο εναπομένουσα πίεση. Η πίεση του νερού στο κάτω μέρος του πτερυγίου το ανυψώνει προς τα πάνω καθώς στην κάτω πλευρά δημιουργείται μια θετική πίεση και στην επάνω αρνητική.



Γράφημα ροής γύρω από πτερύγιο Υ/Γ



Γράφημα ροής γύρω από πτερύγιο αεροπλάνου

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Συστήματα πρόωσης με έλικα – Γενικά

#### Έλικα (helix,propeller,screw)

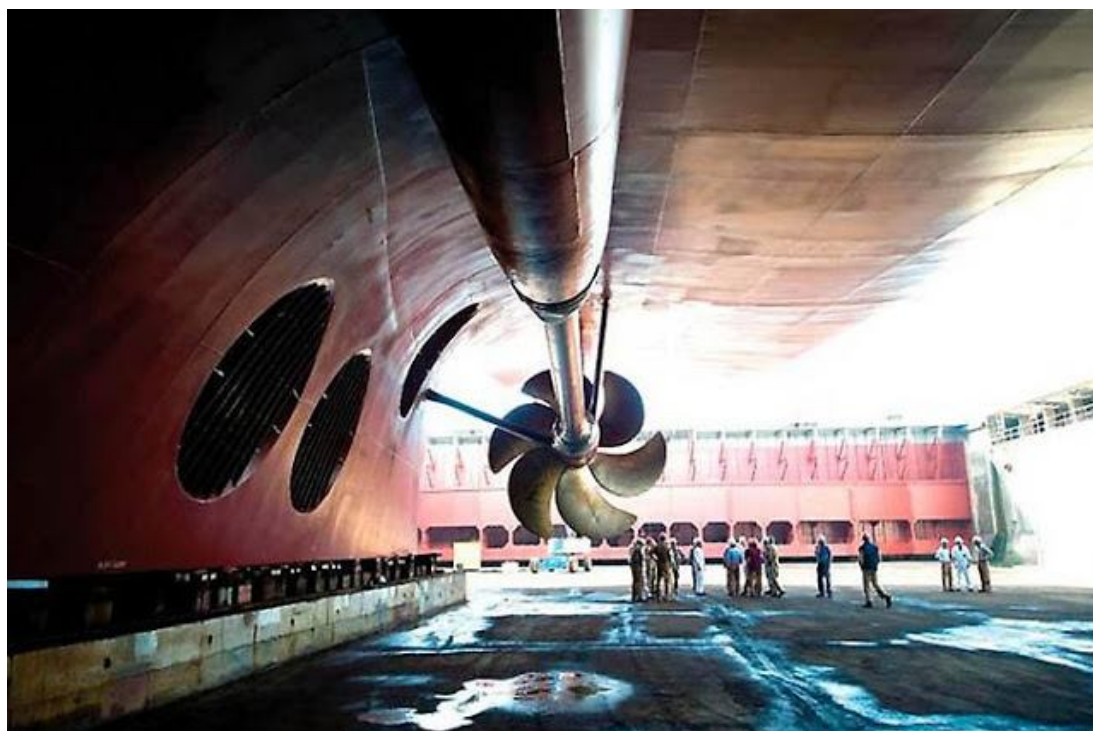
Η έλικα έχει θεωρηθεί ως μια από τις σπουδαιότερες ανθρώπινες ανακαλύψεις διότι ο άνθρωπος κατάφερε να μετατρέψει την περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη.

Ο ελικοφόρα μηχανή στην πραγματικότητα είναι ένας συνδυασμός δύο μηχανών. Μιας μηχανής που παρέχει ένα περιστρεφόμενο άξονα, (κινητήρας εσ. καύσης, ηλ. μοτέρ, λάστιχο κ.λ.π.), και της έλικας (μιάς άλλης απλής "μηχανής") που στρέφεται μαζί του.

Η έλικα του πλοίου /αεροπλάνου παίρνει την ενέργεια που προσφέρεται στον άξονά της και δίνει κινητική ενέργεια στον νερό/ αέρα. Για την επιτάχυνση της μάζας του νερού/αέρα ή έλικα ασκεί πάνω του μία δύναμη. Με την αρχή δράση-αντίδραση και η μάζα του νερού/ αέρα σπρώχνει την έλικα με μία ίση και αντίθετη δύναμη, που τελικά κινεί το πλοίο/ αεροπλάνο και που ονομάζεται "έλξη" (ή ώση).

Παρακάτω θα αναλύσουμε εκτενώς τα μέρη των ελίκων και τους τρόπους λειτουργίας τους.

Η πρόωση του πλοίου συνήθως επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μίας έλικας (στα αγγλικά ο συνηθέστερος όρος είναι "propeller" αλλά χρησιμοποιείται και ο όρος "screw" η και "twin screw" για πλοία με δύο έλικες. Σήμερα η βασική πηγή ισχύος για μία 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 μια 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.



Έλικά επιβατικού πλοίου

## 2.2 Γενικά για πλοία

Σε αυτό το σκέλος θα εξηγηθούν μερικοί 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. Από την άλλη μεριά, θεωρείται πέρα από τον σκοπό του σκέλους αυτού να εξηγήσει πως γίνονται οι υπολογισμοί πρόωσης καθώς αυτή η διαδικασία υπολογισμών είναι πολύ περίπλοκη.

Αρχικά θα περιγραφούν οι πιο βασικοί όροι 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 βύθισμα σχεδιάσεως, το μήκος μεταξύ καθέτων, ο συντελεστής γάστρας, κ.λπ. 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.

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.λπ. Επίσης θα διευκρινιστεί η 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.

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.λπ.) 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.

### 2.3 Περιγραφή μορφών γάστρας

Είναι φανερό ότι 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.

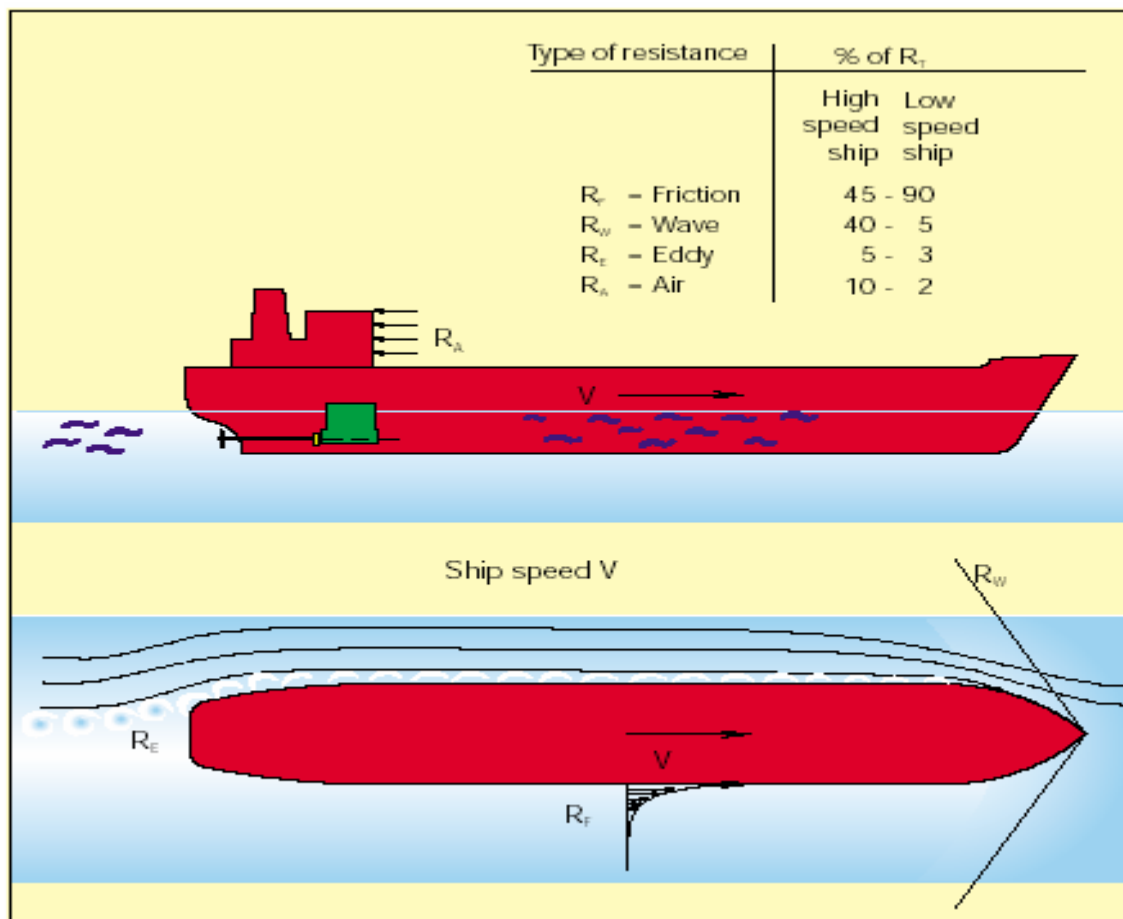
## 2.4 Αντίσταση πλοίου

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.





Συνολική αντίσταση ρυμούλκησης

*Αύξηση της αντίστασης κατά την λειτουργία*

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου, η μεμβράνη του ύφαλο-χρώματος στην γάστρα σταδιακά θα αποξεσθεί. Η διάβρωση θα ξεκινήσει και θαλάσσιοι οργανισμοί, όστρακα κ.λπ. 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 θαλασσιών 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 συναρτήσει 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.

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

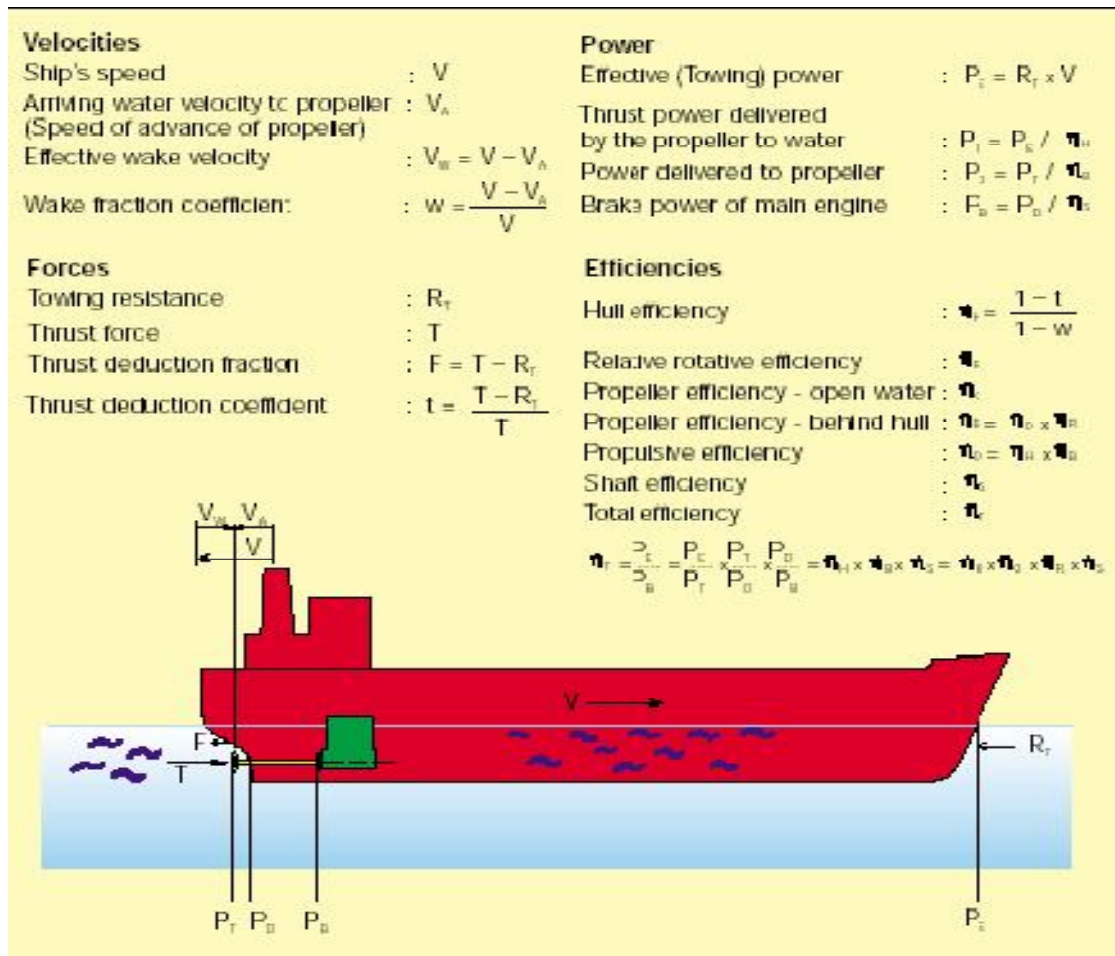
β) μεγάλα κύματα

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

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Έλικες πλοίων

Το παραδοσιακό μέσο που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός πλοίου είναι 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  $RT$  και τα αίτια που έχουν σχέση με την ροή καθώς και κάποια άλλα , εξηγούνται στο κεφάλαιο αυτό. Στο Σχήμα παρουσιάζονται όλες οι σχετικές παράμετροι ταχύτητας, δύναμης, ισχύος και απόδοσης.



Η πρόωση του πλοίου - θεωρία

### 3.2 Τύποι ελίκων

Οι έλικες μπορεί να χωριστούν στις δύο ακόλουθες κατηγορίες, που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

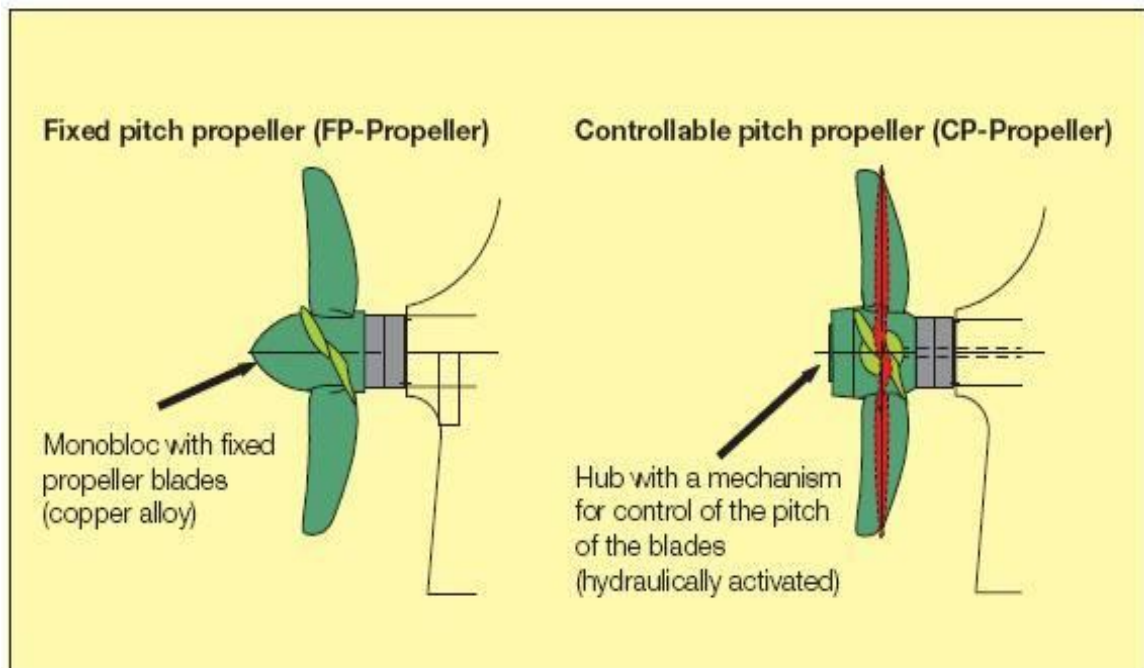
1. Έλικες σταθερού βήματος – fixed pitch propeller (FP-propeller)
2. Έλικες μεταβλητού βήματος – controllable pitch propeller (CP-propeller)

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια και συνήθως κατασκευάζονται από κράμα χαλκού. Η θέση των περυγίων, και συνεπώς το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή για όλα, με ένα δεδομένο βήμα που δεν μπορεί να αλλάξει κατά την λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι όταν η έλικα λειτουργεί σε συνθήκες, για παράδειγμα άσχημου καιρού, οι καμπύλες απόδοσης της έλικας, δηλαδή ο συνδυασμός 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 ικανότητες ελιγμών 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 αντισυμβαλλόμενο 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.



Τύποι Ελίκων

### 3.3 Υλικά κατασκευής

Υπάρχουν αρκετοί και διάφοροι τύποι κατασκευαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται για έλικες πλοίων. Δεδομένου ότι οι έλικες χρησιμοποιούνται για εμπορικά πλοία συνήθως χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες που βασίζονται στα εξής βασικά υλικά, οπού αυτά είναι:

1. Κράματα αλουμινίου-ορείχαλκου
2. Κράματα μαγγανίου-ορείχαλκου

Εκτός όμως από αυτά οι έλικες κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο και χυτοχάλυβα, οι οποίες όμως συναντώνται σπανιότερα.

Οι έλικες από αλουμίνιο-ορείχαλκο είναι περίπου κατά 10% ελαφρύτερες από αυτές του μαγγανίου-ορείχαλκου κάτι που σημαίνει μικρότερη ημερήσια κατανάλωση πετρελαίου.

Όπως θα πούμε και παρακάτω στις έλικες συμβαίνει το φαινόμενο της σπηλαιώσης και ως εκ τούτου απαιτείται περιοδική συντήρηση. Το κράμα Αλουμινίου-ορείχαλκου στις έλικες είναι πολύ πιο ανθεκτικό στη σπηλαιώση, και τότε το κόστος απόκτησης και συντήρησης γίνεται αρκετά χαμηλότερο απ' ότι στις έλικες μαγγανίου-ορείχαλκου.

Οι έλικες Αλουμινίου-ορείχαλκου είναι πιο εύκολο να συντηρηθούν. Επίσης όταν δημιουργηθεί ευλωγίαση (pitting), στα πτερύγια της έλικας είναι ευκολότερο να γεμισθούν με ηλεκτροσυγκόλληση. {Το ζέσταμα τους δεν είναι απαραίτητο}.

Οι έλικες από κράμα αλουμινίου-ορείχαλκου είναι πολύ πιο ακριβές άλλα κατά την διάρκεια της μακροχρόνιας λειτουργίας θα αποσβέσει αυτή τη διαφορά κόστους.

Λόγω του χαμηλού κόστους συντήρησης των ελίκων από κράμα μαγγανίου – ορείχαλκου χρησιμοποιούνται ευρέως στα εμπορικά πλοία, ωστόσο για όλους τους παραπάνω λόγους που προαναφέραμε, οι έλικες από κράμα αλουμινίου ορείχαλκου έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από αυτά των ελίκων μαγγανίου – ορείχαλκου.

### 3.4 Χημική σύνθεση

Στοιχείο/Υλικό έλικας	Αλουμίνιο - Ορείχαλκος	Μαγγάνιο – Ορείχαλκος
Χαλκός	78% - 81%	55% - 60%
Ψευδάργυρος	0,37% - 0,62%	35% - 40%
Νικέλιο	4,5% - 5,5%	4,3%
Σίδηρος	3,5% - 5,5%	0,9% - 2,0%
Μαγγάνιο	0,5% - 1%	0,3% - 0,9%
Αλουμίνιο	9,0% - 10,3%	0,7% - 1%
Μόλυβδος	0,01% max.	0,4% max.
Κασσίτερος	-----	1,5% max.
Άλλο	0,5 max.	-----



© TrasguPhoto | N° 104853 | www.photaki.com

**Έλικα Μαγγανίου - ορείχαλκου**

### 3.5 Βασικά τμήματα έλικας

#### A. Άκρον του πτερυγίου (Blade tip).

Είναι η άκρη του πτερυγίου, το σημείο όπου μετριέται η διάμετρος της προπέλας και το σημείο που συναντώνται η οπίσθια με την εμπρόσθια κόψη.

#### B. Εμπρόσθια κόψη (Leading edge)

Είναι το μέρος του πτερυγίου που «βλέπει» στην πρύμη του σκάφους και η επιφάνειά του θα κόψει πρώτη την επιφάνεια του νερού κατά την περιστροφή της προπέλας. Ξεκινάει από τον κορμό και καταλήγει στο άκρον του πτερυγίου.

#### Γ. Οπίσθια κόψη (Trailing edge).

Είναι το μέρος του πτερυγίου που «βλέπει» πίσω, και από την επιφάνεια του οποίου το νερό θα «εγκαταλείψει» την προπέλα.

#### Δ. Ακτινικά μεταβλητό βήμα (Curved)

Είναι όταν σε ένα πτερύγιο το βήμα του στη ρίζα είναι μεγαλύτερο από αυτό της κορυφής του. Δηλαδή κατά την περιφέρεια μεταβλητό βήμα έχει ένα πτερύγιο όταν το βήμα στην ακμή εισόδου είναι διαφορετικό (μικρότερο) από αυτό της ακμής εξόδου.

#### E. Επιφάνεια πτερυγίου (Blade face).

Είναι η εξωτερική πλευρά του πτερυγίου, η οποία αναφέρεται και σαν η πλευρά εξάσκησης «θετικής» πίεσης.

#### Z. Πλάτη πτερυγίου (Blade back)

Είναι η πίσω πλευρά του πτερυγίου, αυτή που βλέπει στην πρύμη η οποία αναφέρεται και σαν η πλευρά εξάσκησης «αρνητικής» πίεσης (αναρρόφησης).

#### H. Ρίζα της λεπίδας (blade root)

Είναι το σημείο στο οποίο το πτερύγιο «δένει» με τον κορμό.



### Θ. Πλήμνη (Hub ή Boss)

Είναι το σημείο το οποίο δένουν επάνω του τα πτερύγια.

### Ι. Προπέτεια (Rake)

Είναι η κλίση των πτερυγίων προς τα πίσω και αποβλέπει στη καλύτερη λειτουργία της έλικας αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ της κορυφής των πτερυγίων και του πλοίου. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται:

- Μείωση των παλμικών πιέσεων στο περίβλημα του πλοίου(κραδασμοί)
- Μείωση του συντελεστή ρόφησης

### Κ. Λοξότητα (Skew)

Χαρακτηρίζεται η έντονη καμπυλότητα της ακμής εισόδου του πτερυγίου.



Λοξότητα πτερυγίων έλικας

### 3.6 Αριθμός πτερυγίων έλικας (Z)

Ο αριθμός πτερυγίων επιδρά ελάχιστα στον βαθμό απόδοσης της έλικας.

Ο αριθμός των πτερυγίων επιλέγεται κυρίως με βάση τη δυναμική συμπεριφορά της έλικας, ταλαντώσεις(vibration).

Πλοία με μονή έλικα: Με περιττό και αυξανόμενο αριθμό πτερυγίων: Μείωση των μεταβολών (παλμικών) ώσης και ροπής.

Με άρτιο αριθμό πτερυγίων: Μείωση δυνάμεων και ροπών που ενεργούν κάθετα στον άξονα.(δημιουργούνται λόγω της ασύμμετρης ροής προς την έλικα).

Προς αποφυγή συντονισμών με αργόστροφη μηχανή **K**, πρέπει να αποφεύγεται:

Z= 3 για 6-κύλινδρη

Z= 4 για 4- και 8-κύλινδρη

Z= 5 για 5- και 10-κύλινδρη

**Όπου K, οι μηχανές με μικρή τιμή του λόγου, περίπου 2.8μ (short stroke)**

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 2χρονες 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.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4.1 Συνθήκες ροής γύρω από την έλικα πλοίου

*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 προωαίο 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. 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 πλώρα 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, όπως φαίνεται και στην εικόνα για την συνολική αντίσταση ρυμούλκησης. 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.

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 LWL επηρεάζει κάπως τον συντελεστή ποσοστού ομόρρου, καθώς και το  $d/ LWL$  δίνει μία προσεγγιστική ένδειξη του βαθμού στον οποίο η έλικα λειτουργεί στον ομόρρου της γάστρας. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος  $d/ LWL$  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"  $F$ . Αυτό σημαίνει ότι η ώση  $T$  στην έλικα πρέπει να υπερνικήσει και την αντίσταση του πλοίου  $RT$  και αυτή την "απώλεια ώσης"  $F$ .

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 πρόρα 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 $\eta_H$*

Ο βαθμός απόδοσης γάστρας  $\eta_H$  ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της ισχύος ρυμουλκήσεως  $PE = RT V$  και της ισχύος ώσης που η έλικα προσδίδει στο νερό  $PT = T VA$ . Για ένα πλοίο με μία έλικα, ο βαθμός απόδοσης γάστρας  $\eta_H$  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  $\eta_H$  είναι περίπου 0.95 έως 1.05, πάλι με την υψηλή τιμή για υψηλό συντελεστή γάστρας.

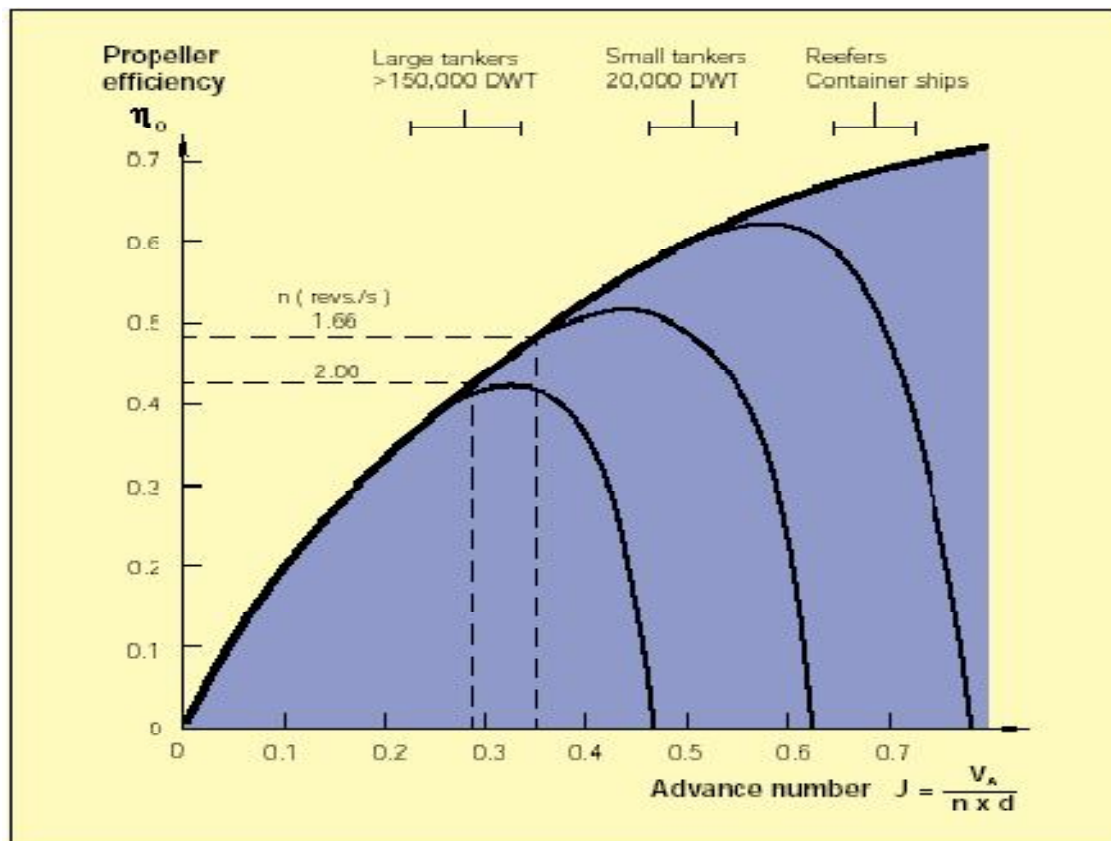
#### *Βαθμός απόδοσης έλικας $\eta_o$ , σε ελεύθερη ροή*

Βαθμός απόδοσης έλικας  $\eta_o$  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 προχωρήσεως  $VA$ , την ώση  $T$ , τον ρυθμό περιστροφής  $n$ , την διάμετρο  $d$  και, επιπλέον, από την σχεδίαση

της έλικας, δηλαδή, τον αριθμό των πτερυγίων, τον λόγο εκτεταμένης επιφάνειας, και την σχέση βήμα / διάμετρο - που θα συζητηθεί αργότερα στο κεφάλαιο αυτό. Ο βαθμός απόδοσης έλικας  $\eta_0$ , μπορεί να ποικίλει περίπου μεταξύ 0.35 και 0.75, με την υψηλή τιμή να ισχύει για έλικες με υψηλή ταχύτητα προχώρησης VA.

Το Σχήμα 8 δείχνει τον βαθμό αποδόσεως της έλικας  $\eta_H$  που μπορεί να επιτευχθεί συναρτήσει της ταχύτητας προχώρησης VA.

όπου J είναι ο συντελεστής προχώρησης της έλικας.



Σχήμα 8: Λαμβανόμενος βαθμός απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή

*Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$* 

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  $\eta_R$  - 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  $\eta_R$  πιθανώς χρησιμοποιείται συχνά για να προσαρμοστούν τα αποτελέσματα των δοκιμών σε πειραματικές δεξαμενές στους θεωρητικούς υπολογισμούς.

*Βαθμός απόδοσης της έλικας  $\eta_B$  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  $\eta_B$ , για μία έλικα, που λειτουργεί πίσω από το πλοίο.

*Βαθμός απόδοσης πρόωσης  $\eta_D$* 

Βαθμός απόδοσης πρόωσης  $\eta_D$ , που δεν πρέπει να συγχέεται με τον βαθμό απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή  $\eta_O$ , είναι ίσος με τον λόγο ισχύος ρυμουλκήσεως  $P_E$  προς την απαιτούμενη ισχύ που προσδίδεται στην έλικα  $P_D$ .

Όπως φαίνεται, ο βαθμός πρόωσης  $\eta_D$  είναι ίσος με το γινόμενο του βαθμού απόδοσης της γάστρας  $\eta_H$ , του βαθμού απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή  $\eta_O$  και του βαθμού απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$ , 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  $\eta_H$ , θα δώσει επίσης και τον καλύτερο βαθμό απόδοσης πρόωσης  $\eta_D$ .

Όμως καθώς ο βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή η $O$  εξαρτάται σημαντικά από την ταχύτητα προχώρησης  $VA$ , βλ. Σχήμα8, 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 από 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  $PD$  που προσδίδεται στην έλικα και της ισχύος πέδης  $PB$ , που παράγει η Κύρια Μηχανή. 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  $PE$  προς την απαιτούμενη ισχύ πέδης  $PB$ , που παράγεται από τη Κύρια Μηχανή.

## **4.2 Διαστάσεις της έλικας**

### *Διάμετρος της έλικας $d$*

Για τη επίτευξη του υψηλότερου βαθμού αποδόσεως πρόωσης η $D$ , θα προτιμηθεί 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 αφορά 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 :  $d/D < \text{περίπου } 0.65$
- Πλοίο εμπορευματοκιβωτίων (container) :  $d/D < \text{περίπου } 0.74$

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.



**Έλικα με 4 πτερύγια**

*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 σχεδιάσεως και όμως, ταυτόχρονα, να αυξήσει τον βαθμό αποδόσεως της έλικας.

*Συντελεστές έλικας J, KT και KQ*

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  $\rho$ . 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  $VA$ .

Με την βοήθεια ειδικών και πολύ πολύπλοκων διαγραμμάτων της έλικας, που περιέχουν μεταξύ άλλων καμπύλες των  $J$ ,  $KT$  και  $KQ$ , 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 επιλεγθεί 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**

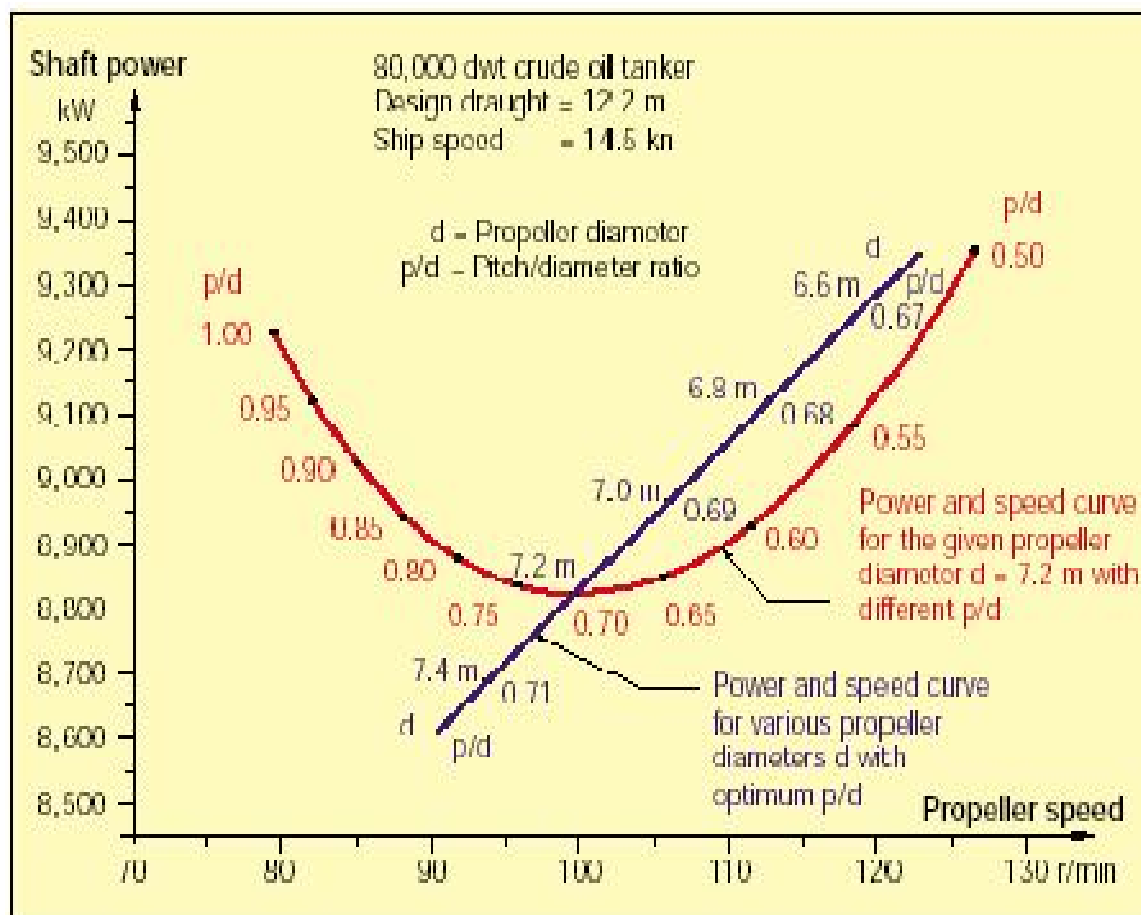
Κάθε μια από αυτές τις κλάσεις, ανάμεσα σε άλλες λεπτομέρειες, καθορίζουν την μέγιστη επιτρεπτή ανοχή στο μέσο σχεδιαστικό βήμα της κατασκευασμένης έλικας, και έτσι την ανοχή της αντίστοιχης περιστροφικής ταχύτητας της έλικας. Το κόστος της έλικας φυσικά εξαρτάται από την επιλεγμένη κλάση ακρίβειας, 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 από +/- 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 υπόψη 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 συνδυασμό 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.



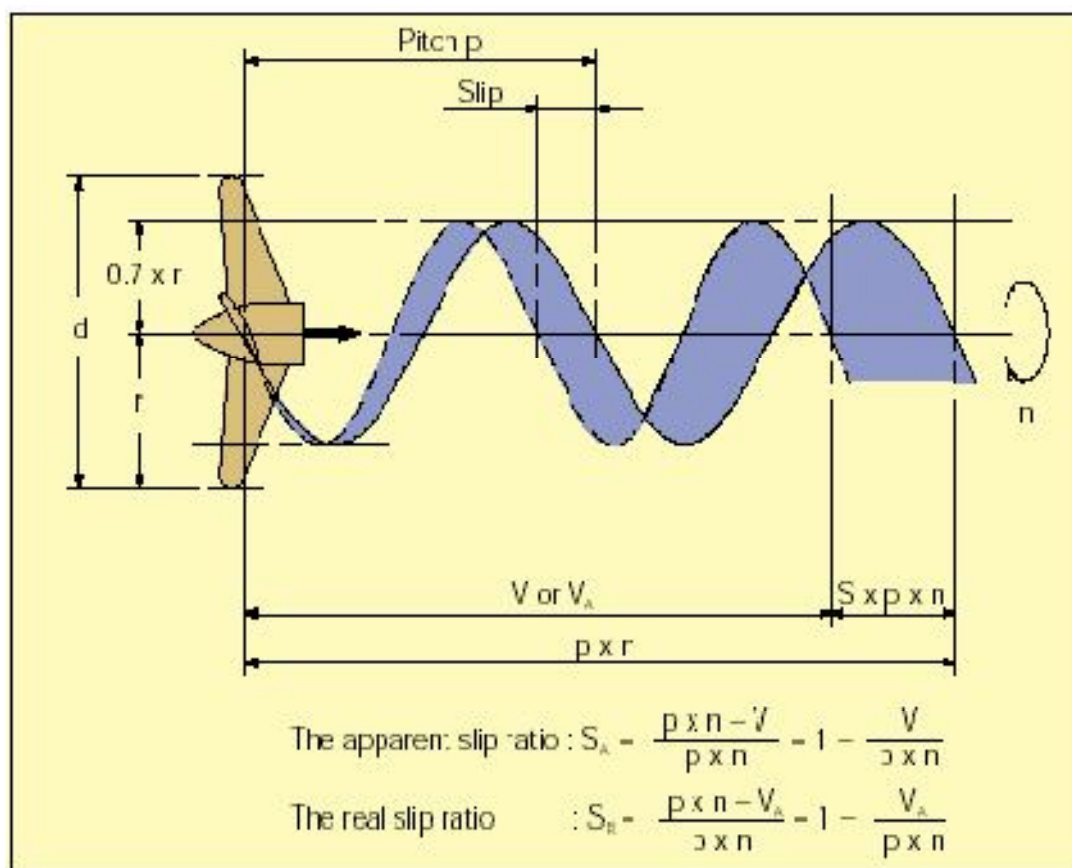
Σχήμα 9: Επίδραση διαμέτρου και βήματος στη σχεδίαση της έλικας

Σύμφωνα με την μπλε 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 μπλε 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.

### 4.3 Συνθήκες λειτουργίας έλικας

#### Λόγος ολίσθησης $S$

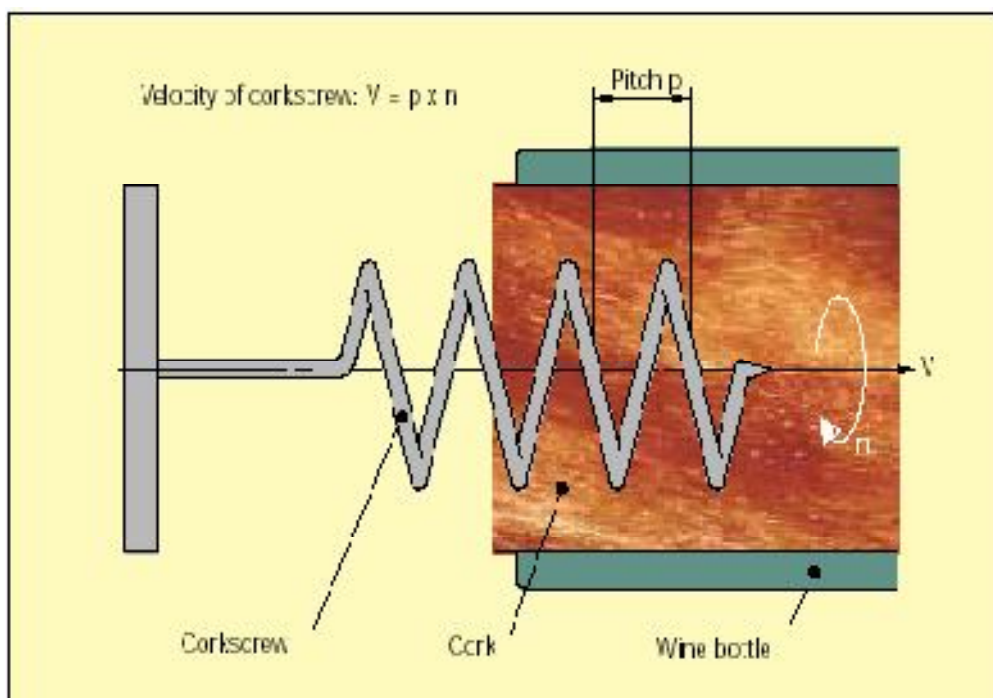
Εάν η έλικα δεν ολίσθαινε καθόλου, δηλαδή, εάν το νερό μέσα στο οποίο "βιδώνεται" δεν υποχωρούσε (δηλαδή, εάν το νερό δεν επιταχυνόταν προς τα πίσω), η έλικα θα προχωρούσε μπροστά με ταχύτητα  $p \times n$ , όπου  $n$  είναι ο ρυθμός περιστροφής της έλικας, Σχήμα 10.



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

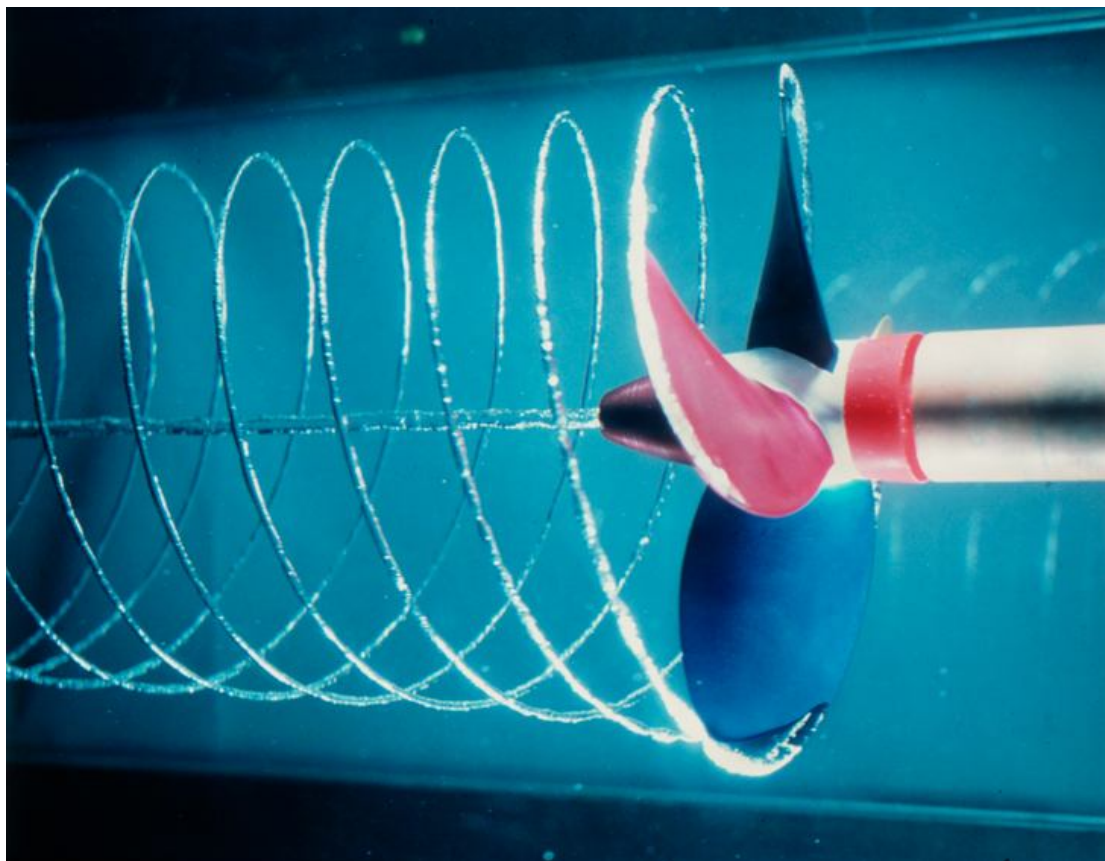
ταχύτητα της έλικας μειώνεται και γίνεται ίση με την ταχύτητα του πλοίου  $V$ , και η φαινόμενη ολίσθηση μπορεί έτσι να εκφρασθεί ως  $(p \times n - V)$ .



**Σχήμα 11: Κίνηση που κάνει το ανοιχτήρι (τιρμπουσόν), χωρίς ολίσθηση**

Ο φαινόμενος λόγος ολίσθησης  $SA$ , 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  $VA$  της έλικας είναι, όπως προαναφέρθηκε, μικρότερη από την ταχύτητα του πλοίου  $V$ .

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.



Πραγματική απεικόνιση για το βήμα της έλικας

*Ο νόμος της έλικας γενικά.*

Όπως συζητήθηκε και παραπάνω, 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  $V$ . 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  $n$ , 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:  $P = c \times V^4$  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. 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. 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.λ.π.

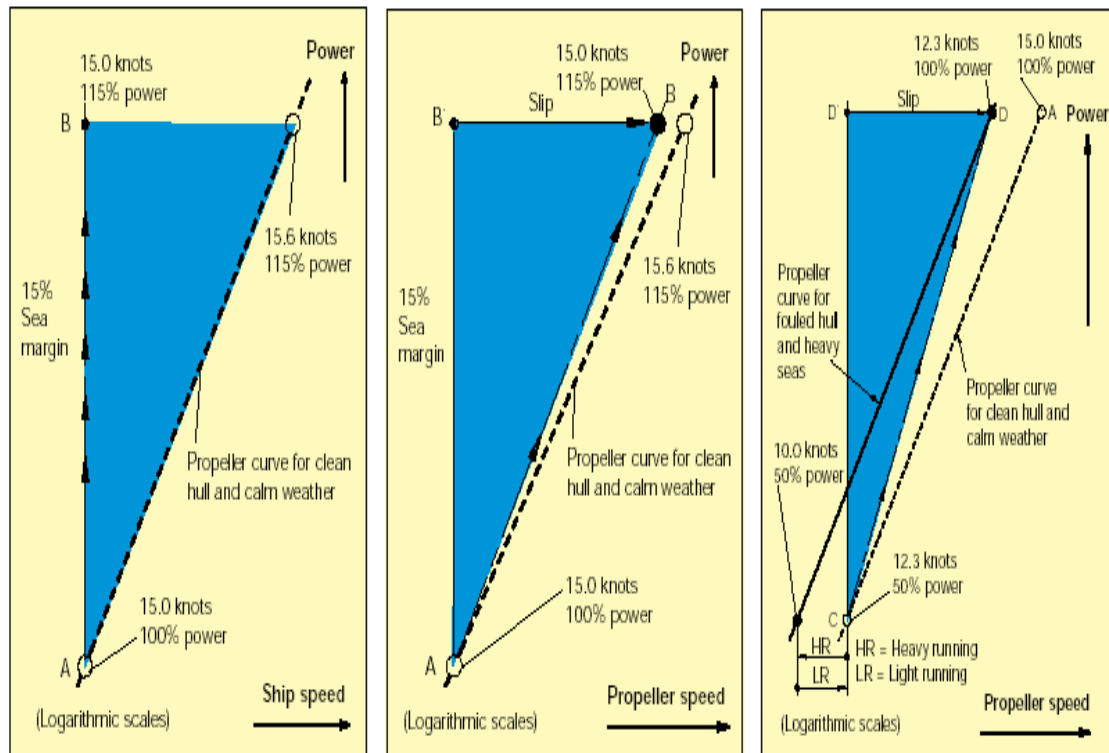
*Η απόδοση της έλικας σε γενικά αυξημένη αντίσταση πλοίου.*

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.

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 A θα μετακινηθεί προς το B.

Στο σχήμα 12β παρουσιάζεται η ισχύς πρόωσης ως συνάρτηση της περιστροφικής ταχύτητας της έλικας. Ως μια πρώτη εκτίμηση, συχνά θεωρείται ότι το σημείο A θα μετακινηθεί προς το B', 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 A θα κινηθεί προς το σημείο B το οποίο στην πραγματικότητα είναι πολύ κοντά στην καμπύλη έλικας που περνάει από το A. Το σημείο B 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 12γ.

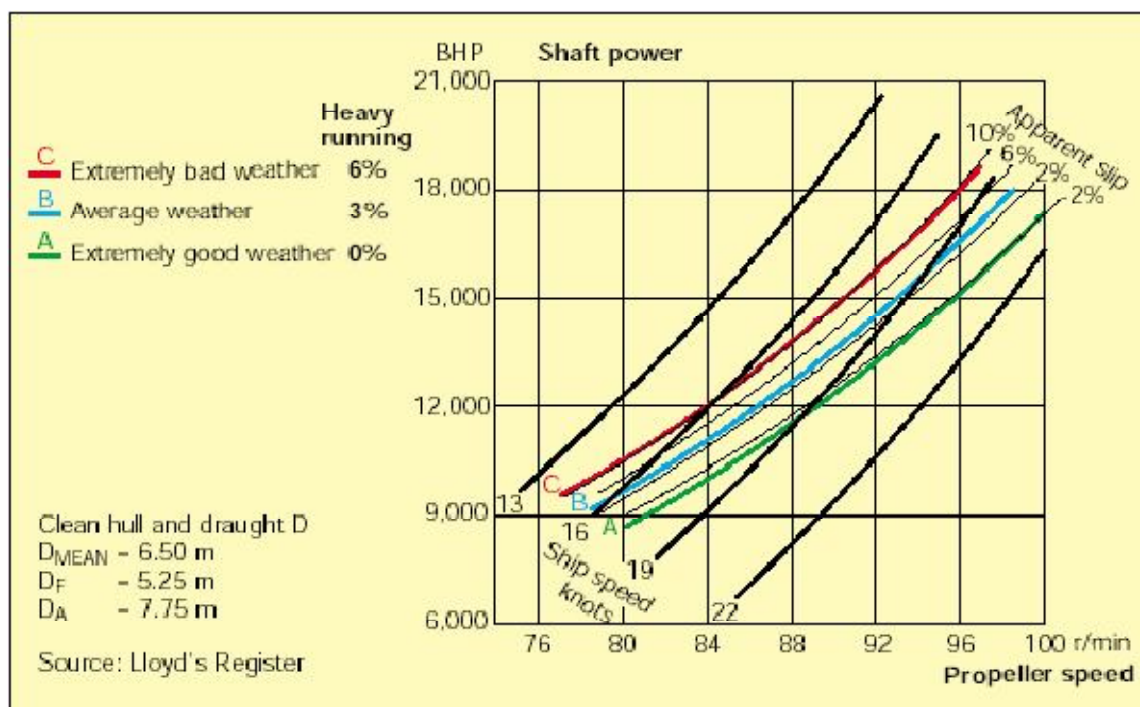


Σχήμα 12:α) απόδοση ταχύτητας πλοίου με 15% περιθώριο θάλασσας, β) απόδοση ταχύτητας έλικας με 15% περιθώριο θάλασσας, γ) απόδοση ταχύτητας έλικας σε μεγάλη επιπρόσθετη αντίσταση

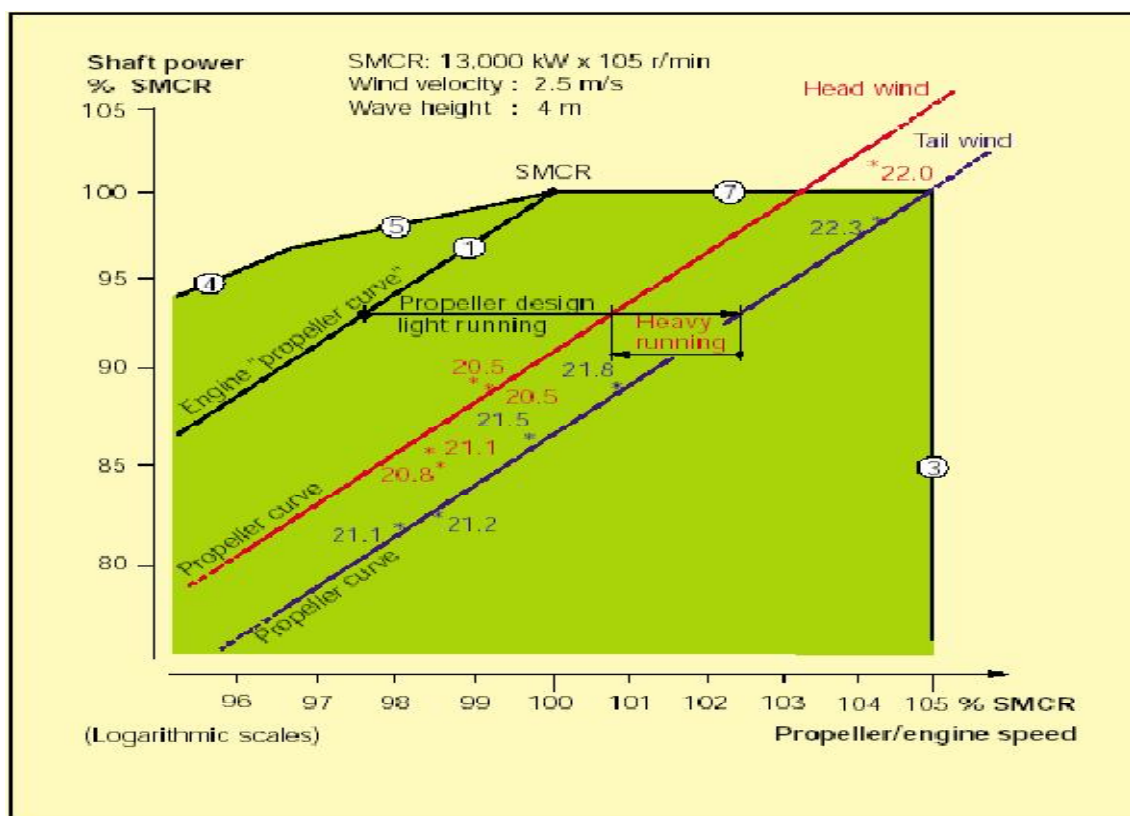
Σε αυτό το παράδειγμα, όπου το 100% της ισχύος θα δώσει μια ταχύτητα πλοίου 15 κόμβων, σημείο A, μια ταχύτητα πλοίου, για παράδειγμα, 12.3 κόμβων σε κατάσταση καθαρής γάστρας και ήρεμου νερού, σημείο C, θα απαιτεί περίπου 50% ισχύος πρόωσης, αλλά σε συνθήκες άσχημου καιρού, είναι δυνατόν να αποκτήσει 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 ξεενιρίζει, 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 μονέλικου 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

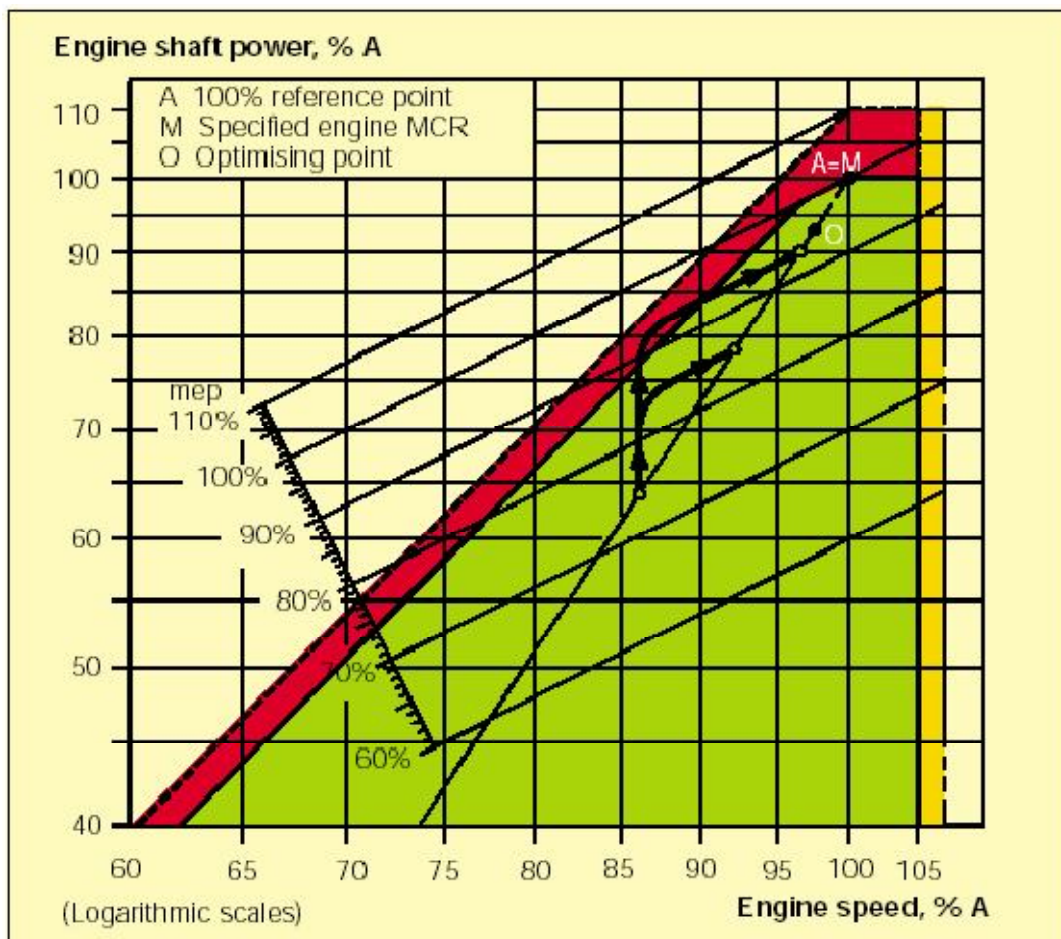
Όταν το πλοίο επιταχύνει, η έλικα υπόκειται σε ακόμα μεγαλύτερα φορτία από ότι σε ελεύθερη πλεύση. Η ισχύς που απαιτείται για την έλικα, συνεπώς, θα είναι υψηλότερη σχετικά με την ελεύθερη πλεύση και το σημείο λειτουργίας της μηχανής θα αντιστοιχεί σε αυξημένη φόρτιση, καθώς παίρνει κάποιο χρόνο μέχρι 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:*

Μαζί με τις παραμέτρους λειτουργίας που αναφέρθηκαν προηγουμένως και που προκαλούν αυξημένη φόρτιση 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:

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 (Lpp<135m, 20000dwt) έχουν μικρή κατευθυντική ευστάθεια και χρειάζονται συχνές διορθώσεις πηδαλίου, οι οποίες αυξάνουν την αντίσταση του πλοίου (ένα αυτό-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' ό τι 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 αντιρρυπαντικών 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 (πτερύγια κεκκαμμένης χορδής) είναι ικανά να απορροφήσουν μεγαλύτερη ροπή υπό συνθήκες αυξημένης φόρτισης.

*Ταχύτητα ελιγμών*

Κάτω από κάποια ορισμένη ταχύτητα, που ονομάζεται ταχύτητα ελιγμών (manoeuvring speed) η ικανότητα του πηδαλίου να στρέφει το πλοίο δεν είναι ικανοποιητική, λόγω πολύ χαμηλής ταχύτητας του νερού που φθάνει στο πηδάλιο.

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 πτερύγια "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 ρολογιού, κοιτώντας από την πρύμνη προς την πρόρα) θα τείνει να σπρώξει την πρύμνη του πλοίου προς την δεξιά κατεύθυνση, δηλαδή, στρέφοντας την πρόρα 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.

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 ρολογιού) 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.



### Σπηλαιώση ( Cavitation )

Η σπηλαιώση είναι η δημιουργία φυσαλίδων ατμού σε ένα ρέον υγρό στο σημείο όπου η πίεσή του πέφτει χαμηλότερα από την πίεση ατμού του. Η σπηλαιώση θεωρείται από τους κύριους παράγοντες φθοράς σε βιομηχανικά συστήματα. Το φαινόμενο συνήθως διαιρείται σε δύο υποφαινόμενα: την αδρανειακή σπηλαιώση και τη μη αδρανειακή σπηλαιώση. Στην αδρανειακή σπηλαιώση, ένα κενό ή μια φυσαλίδα σε ένα υγρό καταρρέει και παράγει πίδακα υγρού ή κρουστικό κύμα. Η φθορά από αυτού του είδους τη σπηλαιώση είναι ορατή σε προπέλες πλοίων και υποβρυχίων, κρυογονικές αντλίες και τουρμπίνες. Στη μη αδρανειακή σπηλαιώση μία φυσαλίδα σε ένα υγρό οδηγείται σε εξαναγκασμένη ταλάντωση ως προς το μέγεθος και το σχήμα της, μέσω παροχής ενέργειας σε αυτήν, για παράδειγμα με τη χρήση ενός ακουστικού πεδίου. Η μη αδρανειακή σπηλαιώση παρατηρείται επίσης σε προπέλες, αντλίες και τουρμπίνες, αλλά η φθορά από αυτήν μπορεί να είναι ελεγχόμενη και χρησιμοποιείται σε υπερηχητικό καθαρισμό.



Φαινόμενο σπηλαιώσης σε έλικα πλοίου

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5.1 Γενικά για αεροπλάνα – ώση από την έλικα

Ο εμβολοφόρος κινητήρας χρειάζεται την έλικα, για να μετατρέψει την ισχύ του κινητήρα σε ώση. Η ισχύς παράγεται από τον εμβολοφόρο κινητήρα και μεταφέρεται στην έλικα μέσω του στροφάλου ως **«ροπή του κινητήρα»** ή **«περιστροφική επίδραση»**. Αυτή την ισχύ χρησιμοποιεί η έλικα για την περιστροφή της και την μετατρέπει σε μια ελκτική ή ωθητική δύναμη, που καλείτε ώση. Η έλικα είναι κατασκευασμένη αεροδυναμικά, ώστε να παράγει αυτή τη δύναμη κατά την περιστροφή της μέσα στον αέρα.

Η έλικα έλκει το αεροπλάνο μέσα στη μάζα του αέρα, παράγοντας μια βασικά οριζόντια άντωση, που καλείτε ώση.

Μια κάθετη τομή ενός φύλλου της έλικας δεν διαφέρει από μια αεροτομή και θα τη μελετήσουμε αεροδυναμικά σαν μια οποιαδήποτε αεροτομή, όπως η πτέρυγα.

Η έλικα κατά την περιστροφή της προκαλεί ροή του αέρα γύρω από τα φύλλα της. Έτσι η στατική πίεση στο μπροστινό μέρος αυτής είναι μικρότερο από την στατική πίεση του πίσω μέρους αυτής. Το αποτέλεσμα είναι μια δύναμη κατά την διεύθυνση της πτήσης, η ώση, που έλκει την έλικα και το αεροπλάνο.

Θα εξετάσουμε το ένα φύλλο της έλικας σαν μια αεροτομή, που έχει χείλος προσβολής, χείλος εκφυγής, χορδή και κυρτότητα, όπως και κάθε άλλη αεροτομή.

Η γωνία γεωμετρικού βήματος, όπως θα δούμε σύντομα, διαφοροποιείτε από μεγάλη γωνία στη ρίζα του φύλλου, σταδιακά, σε μικρή γωνία στην άκρη αυτού, παρουσιάζοντας μία συστροφή. Το κυρτό μέρος της έλικας είναι το **πίσω μέρος** αυτής, ενώ το επίπεδο μέρος είναι η **πρόσοψη της έλικας**, αφού εκεί προσκρούει ο άνεμος κατά την περιστροφή.

## 5.2 Η κίνηση της έλικας

### Περιστροφική ταχύτητα

Όταν το αεροπλάνο είναι σταματημένο, η κίνηση της έλικας είναι καθαρά περιστροφική. Όσο απομακρυνόμαστε από τον ομφαλό της έλικας προς το ακροπερύγιο, η γραμμική ταχύτητα είναι όλο και μεγαλύτερη. Επίσης όσες περισσότερες είναι οι ΣΑΛ (Στροφές Ανά Λεπτό) στα αγγλικά RPM (Revolution Per Minute) της έλικας, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιστροφική ταχύτητα.



Έλικα αεροπλάνου

### Προχωρητική ταχύτητα

Καθώς το αεροπλάνο κινείται κατά την πτήση, κάθε σημείο της έλικας θα έχει και μια προχωρητική ταχύτητα εκτός της περιστροφικής ταχύτητας. Η συνισταμένη της περιστροφικής και προχωρητικής κίνησης είναι η ελικοειδής κίνηση. Αυτή η ελικοειδής κίνηση μας δίνει το αεροδυναμικό βήμα της έλικας, που είναι πάντα μικρότερο από το γεωμετρικό βήμα.

### Ελικοειδής κίνηση

Κάθε σημείο του κάθε φύλλου της έλικας ακολουθεί ένα ελικοειδές μονοπάτι μέσα στον αέρα, που λέγεται ελικοειδή κίνηση και είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της περιστροφικής και προχωρητικής ταχύτητας. Ο ευκολότερος τρόπος για να το απεικονίσουμε είναι να φανταστούμε την ελικοειδή κίνηση σαν το μονοπάτι που ακολουθεί το χείλος της εκφυγής της έλικας.

Κατά την κίνηση του φύλλου της έλικας μέσα στον αέρα, δημιουργείτε ένας σχετικός άνεμος αντίθετος της κίνησης. Η γωνία μεταξύ της χορδής του φύλλου της έλικας και του σχετικού ανέμου λέγεται **γωνία προσβολής**. Σημειώστε ότι η γωνία προσβολής συν το αεροδυναμικό βήμα μας κάνει το γεωμετρικό βήμα της έλικας.

Κατά την πτήση του αεροπλάνου, κάθε σημείο οπουδήποτε σημείου της έλικας έχει την ίδια προχωρητική ταχύτητα. Αυτό που θα διαφέρει θα είναι η γραμμική ταχύτητα περιστροφής, αφού το ακροπτερύγιο θα ταξιδεύει με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ότι τα εσωτερικά σημεία. Εάν το γεωμετρικό βήμα ήταν ίδιο σε όλο το μήκος της έλικας ( που φυσικά ποτέ δεν είναι ), τότε το κάθε σημείο θα είχε διαφορετική γωνία προσβολής.

Σε μία υποθετική έλικα που έχει το ίδιο γεωμετρικό βήμα σ όλο το μήκος της, η γωνία προσβολής κοντά στον ομφαλό θα ήταν διαφορετική από αυτή του ακροπτερυγίου και η ώση δεν θα παραγόταν με αποδοτικό τρόπο. Το φύλλο της έλικας μπορεί ακόμη να έπεφτε και σε απώλεια στήριξης στο ακροπτερύγιο.



### Έλικα αεροπλάνου

Όπως σ' όλες τις αεροτομές, έτσι και στην έλικα υπάρχει η κάλλιστη γωνία προσβολής. Εάν η έλικα είναι σχεδιασμένη να είναι πιο αποδοτική σε συγκεκριμένη ταχύτητα του αεροπλάνου και ΣΑΛ της έλικας, τότε ο σχεδιαστής θα έχει προσπαθήσει να έχει αυτή την κάλλιστη γωνία προσβολής σ' όλο το μήκος του φύλλου της έλικας όταν λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες.

Για να το κατορθώσει αυτό, χρειάζεται να δώσει μία **συστροφή** στο φύλλο της έλικας, ώστε κοντά στον ομφαλό να έχει μεγαλύτερο γεωμετρικό βήμα και στο ακροπερύγιο μικρότερο.

### 5.3 Τα μέρη της έλικας

Υπάρχουν αεροδυναμικές ατέλειες κοντά στον ομφαλό αλλά και στο ακροπερύγιο της έλικας. Κοντά στον ομφαλό το φύλλο είναι παχύ και δομικά ισχυρό, αλλά έρχεται σε αντίθεση με τον αεροδυναμικό σχεδιασμό. Επίσης δημιουργείτε και αλληλεπίδραση των ροών από την μηχανή και τα άλλα δομικά μέρη. Στο ακροπερύγιο της έλικας δημιουργούνται δίνες καθώς ο αέρας γλιστρά από την περιοχή υψηλών πιέσεων προς την περιοχή χαμηλών πιέσεων. Η δημιουργία των αεροδινών αυξάνει την επαγωγική οπισθέλκουσα, άρα μειώνει την ώση στο ακροπερύγιο.

Το ακροπτερύγιο της έλικας ταξιδεύει γρηγορότερα από όλη την έλικα αλλά και όλο το αεροπλάνο, αφού η περιστροφική του ταχύτητα προστίθεται στην προχωρητικά ταχύτητα του αεροπλάνου.

Μόνο ένα μικρό μέρος του φύλλου της έλικας είναι κατ' εξοχήν αποδοτικό στην παραγωγή ώσης, μεταξύ του 60% και του 90% της ακτίνας του φύλλου. Η περισσότερη χρήσιμη ώση παράγεται στο 75% της ακτίνας, όπου είναι και το σημείο που μετράτε το γεωμετρικό βήμα της έλικας.

#### 5.4 Οι δυνάμεις που ενεργούν στην έλικα

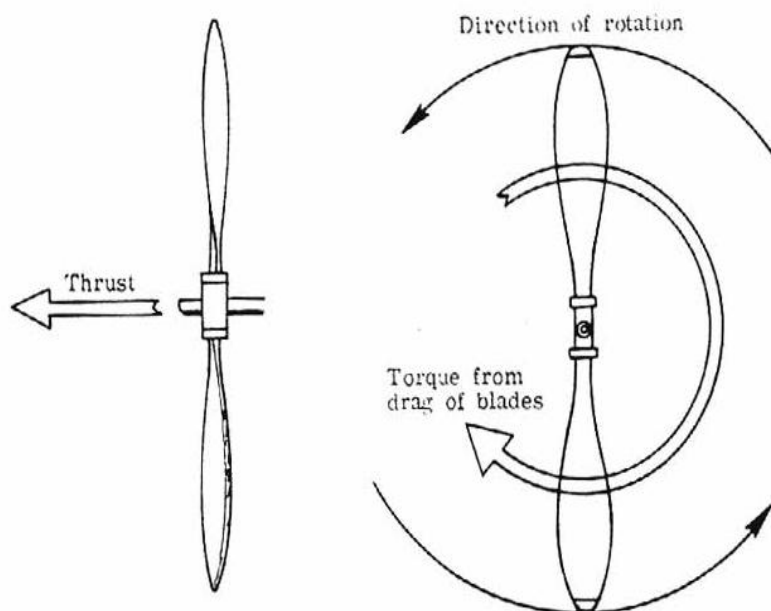
Η ροή του αέρα γύρω από την αεροτομή, με τις επακόλουθες αλλαγές πίεσης, προκαλεί μια **ολική δύναμη αντίδρασης** στην αεροτομή. Στην περίπτωση της πτέρυγας, αναλύουμε αυτή την ολική αντίδραση σε μια συνιστώσα κάθετη στο σχετικό άνεμο, **την άντωση**, και μια συνιστώσα παράλληλη στο σχετικό άνεμο, **την οπισθέλκουσα**. Ο σχετικός άνεμος είναι παράλληλος με την διεύθυνση της πτήσης αλλά με αντίθετη κατεύθυνση.

Λόγω της περιστροφικής ταχύτητας, η διεύθυνση του σχετικού ανέμου που προσκρούει στην έλικα και η διεύθυνση της πτήσης δεν είναι παράλληλες. Ενώ ο σχετικός άνεμος που προσκρούει στις κυρίως πτέρυγες έρχεται από σταθερή διεύθυνση, στο σχετικό άνεμο που προσκρούει στο φύλλο της έλικας η διεύθυνση του διαφοροποιείται όσο απομακρυνόμαστε από τον ομφαλό της έλικας.

Αντί να αναλύσουμε την ολική αντίδραση της έλικας αντωτική συνιστώσα κάθετη στο σχετικό άνεμο και στην παράλληλη στον σχετικό άνεμο συνιστώσα της οπισθέλκουσας, πράγμα που θα ήταν φοβερά περίπλοκο, είναι καλύτερα να αναλύσουμε την ολική αντίδραση:

1. Σε μια συνιστώσα παράλληλη με το επίπεδο περιστροφής της έλικας, που καλείτε **ροπή της έλικας** και
2. Σε μια συνιστώσα κάθετη στο επίπεδο περιστροφής της έλικας, που καλείτε **ώση**.

Για τις ανάγκες μας, γενικά θεωρούμε ότι η κάθετη στο επίπεδο περιστροφής της έλικας διεύθυνση είναι ίδια με την διεύθυνση της πτήσης και έτσι η ώση θεωρείτε ότι δρα κατά την διεύθυνση της πτήσης.



### Οι δυνάμεις σε μια έλικα

Σε μια πτέρυγα, η οπισθέλκουσα πρέπει να ξεπεραστεί για να παραχθεί άντωση. Σε μια έλικα, η ροπή της έλικας πρέπει να ξεπεραστεί ή να ισορροπιστεί από τη ροπή του κινητήρα, για να παράγει ώση η έλικα. Ανοίγοντας τη μανέτα αυξάνεται η ισχύς και η ροπή του κινητήρα, προκαλώντας την έλικα να περιστραφεί γρηγορότερα .

**Αντίσταση ή οπισθέλκουσα (Drag):** ονομάζεται η δύναμη η οποία έχει τον ίδιο φορέα με αυτόν της ταχύτητας, αλλά αντίθετη φορά, και εμφανίζεται κατά την κίνηση αντικειμένων εντός ρευστού. Η παρουσία της δύναμης οφείλεται στη διαφορετική πίεση η οποία επικρατεί στις δύο πλευρές ενός σώματος.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Εάν βάλουμε το αεροπλάνο σε βύθιση, ο σχετικός άνεμος θα αλλάξει λόγω της μεγαλύτερης προχωρητικής ταχύτητας και, ως αποτέλεσμα, η δύναμη ροπής

της έλικας θα μειωθεί. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση των στροφών του κινητήρα (ΣΑΛ), ακόμη και αν δεν μετακινηθεί η μανέτα.

## **Απόδοση της έλικας**

### ***Διαφοροποίηση της απόδοσης της έλικας με την προχωρητική ταχύτητα και τις ΣΑΛ***

Ας εξετάσουμε μια καλοσχεδιασμένη έλικα σταθερού βήματος. Καθώς το πιο αποδοτικό σημείο της έλικας είναι κοντά στο 75% της ακτίνας, όσο αφορά το γεωμετρικό βήμα, την γωνία προσβολής κλπ., θα αναφερθούμε σε αυτό το σημείο. (με τον όρο έλικα σταθερού βήματος εννοούμε ότι το γεωμετρικό βήμα της έλικας σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αλλάξει, αφού έτσι κατασκευάστηκε.)

Εάν οι ΣΑΛ είναι σταθερές, τότε η διεύθυνση του σταθερού ανέμου και η γωνία προσβολής καθορίζονται από την προχωρητική ταχύτητα.

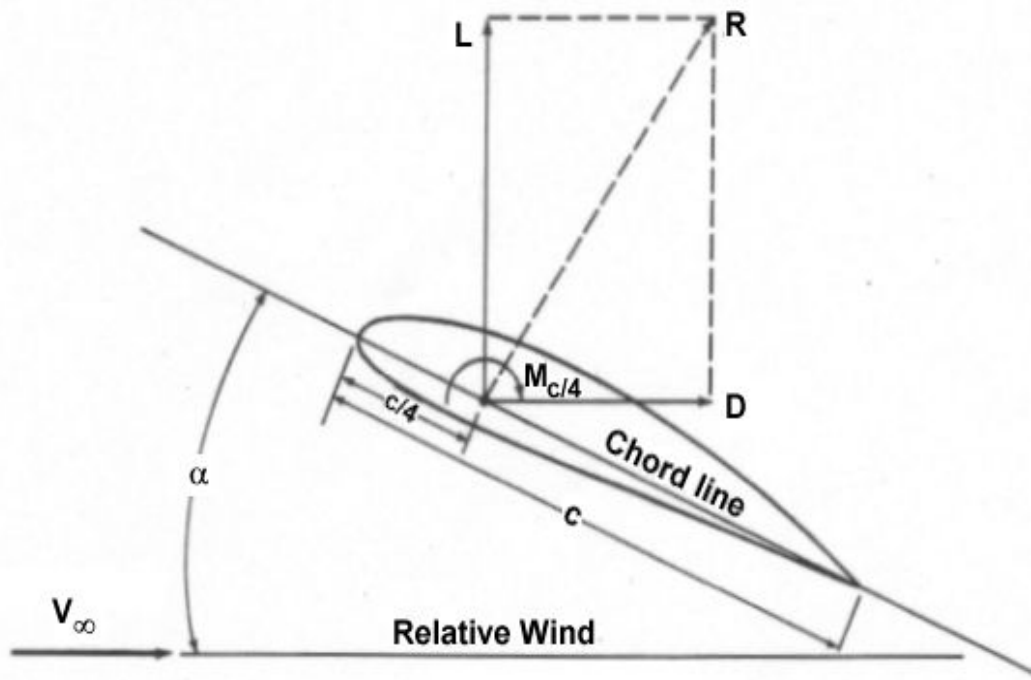
Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, η γωνία προσβολής του φύλλου της έλικας σταθερού βήματος θα μειώνεται. Σε πολύ μεγάλες ταχύτητες, η γωνία προσβολής του φύλλου θα είναι πολύ μικρή ή δεν θα παράγεται ώση.

Για δεδομένες ΣΑΛ, υπάρχει μόνο μια ταχύτητα στην οποία η έλικα πετυχαίνει την κάλλιστη γωνία προσβολής.

Ο σχεδιαστής επιλέγει μια έλικα σταθερού βήματος, που ο κάλλιστος συνδυασμός ταχύτητας/ΣΑΛ αυτής καλύπτει, στο μεγαλύτερο τουλάχιστον ποσοστό, τις επιχειρησιακές ανάγκες του σχεδιασθέντος αεροπλάνου.

Θα ήταν προτιμότερο να έχουμε μια έλικα με μεταβαλλόμενο βήμα, ώστε να μας δίνει την κάλλιστη απόδοση σε όλες τις ταχύτητες.





Γωνία προσβολής έλικας

### 5.5 Η έλικα μεταβλητού βήματος και η έλικα σταθερής ταχύτητας

Αρκετά νωρίς καθώς η τεχνολογία αναπτυσσόταν, κατασκευάστηκε η έλικα σταθερού βήματος. Αυτή η έλικα είχε δυο βήματα που μπορούσατε να επιλέξετε. Ένα λεπτό βήμα για επιδώσεις απογείωσης, ανόδου και μικρές ταχύτητες και ένα χοντρό για οριζόντια πλεύση με μεγαλύτερες ταχύτητες (όπως χρησιμοποιούνται οι ταχύτητες στο αυτοκίνητο). Στα πρώτα αεροπλάνα με έλικα μεταβλητού βήματος, έπρεπε να προαποφασίσουν πριν την πτήση και να επιλέξουν το βήμα που εξυπηρετούσε από το έδαφος, ενώ αργότερα η τεχνολογία βελτιώθηκε και μπορούσαν να αλλάξουν το βήμα κατά την διάρκεια της πτήσης.

Αργότερα αναπτύχθηκε η έλικα σταθερής ταχύτητας, που είναι επίσης έλικα μεταβλητού βήματος αλλά με απεριόριστο αριθμό επιλογών βήματος μέσα στα όρια μεταξύ του πιο λεπτού και του πιο χοντρού. Οι μηχανισμοί αλλαγής του βήματος συνήθως είναι ηλεκτρικοί ή υδραυλικοί.

Στις μικρές ταχύτητες, το βήμα της έλικας χρειάζεται να είναι λεπτό για να επιτευχθεί η κάλλιστη γωνία προσβολής. Καθώς η προχωρητική ταχύτητα αυξάνεται, το βήμα πρέπει να χοντρύνει, για να διατηρηθεί η κάλλιστη γωνία προσβολής. Στο όλο σύστημα υπάρχει ένας **ρυθμιστής (Governor)**, που φροντίζει να αυξομειώνει το βήμα της έλικας έτσι ώστε να παραμένει σταθερή η ταχύτητα της έλικας (οι ΣΑΛ) που έχει επιλέξει ο χειριστής. Ο ρυθμιστής το καταφέρνει αυτό μεταβάλλοντας ηλεκτρικά ή υδραυλικά το βήμα, έτσι ώστε, άσχετα από την ταχύτητα αέρα και την ισχύ του κινητήρα, να διατηρούνται οι επιθυμητές ΣΑΛ της έλικας αλλά και του κινητήρα συγχρόνως, αφού άλλωστε είναι το ίδιο.

Ο στόχος μας είναι να λειτουργεί η έλικα κοντά στην κάλλιστη γωνία προσβολής και στη μέγιστη απόδοση κάθε στιγμή κατά την διάρκεια της πτήσης. Στην ακραία περίπτωση χαμηλής ισχύος του κινητήρα, το βήμα θα λεπτύνει μέχρι το πιο λεπτό όριο και μετά η έλικα θα αρχίσει να συμπεριφέρεται σαν έλικα σταθερού βήματος. Αυτό σημαίνει ότι περαιτέρω μείωση της ισχύος θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ΣΑΛ, αφού η έλικα έφτασε στο πιο λεπτό βήμα και δεν μπορεί να λεπτύνει άλλο για να διατηρήσει τις ΣΑΛ.

## 5.6 Το πλεονέκτημα της έλικας σταθερής ταχύτητας

Η έλικα σταθερής ταχύτητας ρυθμίζεται να πετυχαίνει την κάλλιστη γωνία προσβολής για ένα μεγάλο εύρος ΣΑΛ και ταχυτήτων αέρα. Ενώ η έλικα σταθερού βήματος αποδίδει καλύτερα μόνο σ' ένα συνδυασμό ΣΑΛ και ταχύτητας αέρα.

### Αυξομείωση ισχύος

Ο χειριστής επιλέγει τις επιθυμητές ΣΑΛ χρησιμοποιώντας το μοχλό της έλικας. Το βήμα της έλικας θα αυξηθεί αυτόματα σε οποιαδήποτε αύξηση της ισχύος και μετά θα διατηρήσει τις ίδιες ΣΑΛ, γι' αυτό ονομάζεται έλικα σταθερής ταχύτητας. Η αύξηση της ώσης δίνει στο αεροπλάνο καλύτερες επιδόσεις και μπορεί να επιταχύνει ή να αυξήσει το βαθμό ανόδου.

Εάν η ισχύς του κινητήρα μειωθεί, το βήμα της έλικας αυτόματα θα λεπτύνει, για να εξισορροπήσει την ισχύ και να διατηρήσει τις ΣΑΛ, που στη συνέχεια θα παραμείνουν σταθερές (εκτός εάν η έλικα φτάσει στο πιο λεπτό βήμα). Η μείωση της ώσης θα προκαλέσει μείωση των επιδόσεων του αεροπλάνου.

### **Αυξομείωση της ταχύτητας αέρα**

Εάν το αεροπλάνο αρχίσει άνοδο χωρίς ο χειριστής να κάνει καμία ρύθμιση στην ισχύ, το βήμα αυτόματα θα λεπτύνει, για να αποτρέψει οποιαδήποτε μείωση των ΣΑΛ, αλλά η απόδοση ισχύος του κινητήρα θα παραμείνει σταθερή. Κατά τον ίδιο τρόπο, εάν το αεροπλάνο αρχίσει κάθοδο χωρίς ο χειριστής να αλλάξει την ισχύ, η ταχύτητα αέρα θα αυξηθεί και το βήμα της έλικας θα χοντρύνει, για να αποτραπεί η υπερτάχυνση της έλικας και του κινητήρα.

Δύο ακόμα μεγάλα πλεονεκτήματα μερικών ελίκων σταθερής ταχύτητας είναι:

1. Η ικανότητα να τεθούν στο έδαφος σε **λεπτό ή ανάστροφο βήμα** βοηθώντας στην επιβράδυνση κατά την διαδρόμηση μετά την προσγείωση.
2. Η ικανότητα να **πτερωθούν** κατά την πτήση μειώνοντας την οπισθέλκουσα και την περαιτέρω ζημία του κινητήρα μετά την κράτηση.

## **5.7 Επίδραση της έλικας στην απογείωση**

### **Επίδραση ελικορεύματος**

Μια δεξιόστροφη έλικα (όπως παρατηρείται από το θάλαμο διακυβέρνησης), δίνει μια δεξιόστροφη περιστροφή στο ελικόρευμα, καθώς αυτό ταξιδεύει προς τα πίσω γύρω απ' το υπόλοιπο αεροπλάνο. Αυτό προκαλεί μια ασύμμετρη ροή γύρω από το κάθετο σταθερό και το πηδάλιο διεύθυνσης, ιδιαίτερα στα μονοκινητήρια αεροπλάνα. Σε συνθήκες μεγάλης ισχύος, το ελικόρευμα προσκρούει στο αριστερό μέρος του κάθετου σταθερού (μια γωνία προσβολής σχηματίζεται μεταξύ του κάθετου σταθερού και του ελικορεύματος), δημιουργώντας μια αεροδυναμική δύναμη που σπρώχνει την ουρά προς τα δεξιά και εκτρέπει την κεφαλή αριστερά. Μερικοί σχεδιαστές τοποθετούν το κάθετο σταθερό υπό γωνία προς τα αριστερά, προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν αυτή την επίδραση.

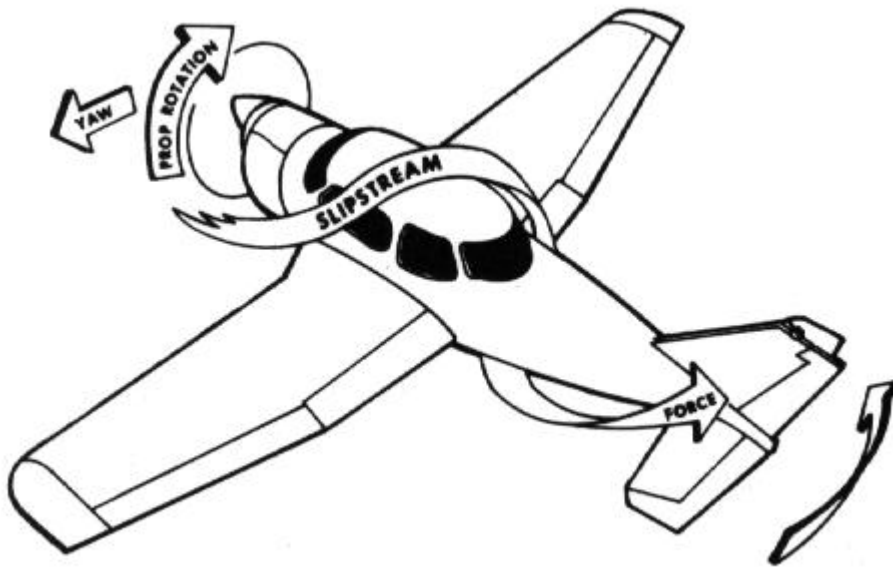
### **Ροπή της έλικας**

Αφού η έλικα στρέφεται δεξιόστροφα, η αντίδραση της ροπής τείνει να στρέψει το αεροπλάνο αριστερόστροφα και να του δώσει διατοιχισμό (κλίση) προς τα αριστερά. Αυτή η επίδραση είναι εντονότερη σε συνθήκες μεγάλης ισχύος και πολλών ΣΑΛ της έλικας, όπως στην απογείωση.

Κατά την διαδρόμηση, αυτή τη ροπή την σταματά ο αριστερός τροχός, που κατ' επέκταση υποστηρίζει μεγαλύτερο φορτίο από το δεξιό. Αυτό θα αυξήσει την τριβή του αριστερού τροχού και θα τον επιβραδύνει με αποτέλεσμα την τάση εκτροπής προς τα αριστερά του αεροπλάνου. Να θυμάστε ότι αυτό το φαινόμενο εκτρέπει το αεροπλάνο προς την ίδια κατεύθυνση με την επίδραση του ελικορεύματος. Εάν η έλικα περιστρεφόταν με αντίθετη φορά, τότε και η εκτροπή θα ήταν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

### **Γυροσκοπική επίδραση της έλικας**

Στις αρχές της διαδρόμησης για απογείωση ενός αεροπλάνου με ουραίο τροχό (όπως το DHC Chipmunk), η ουρά σηκώνεται πρώτα από το έδαφος, για να έρθει το αεροπλάνο σε μια στάση πτήσης με λιγότερη οπισθέλκουσα. Καθώς η ουρά σηκώνεται, μια δύναμη ροπής εφαρμόζεται στο πάνω μέρος του δίσκου περιστροφής της έλικας. Επειδή ένα περιστρεφόμενο γυροσκόπιο τείνει να διατηρήσει τη στάση του στο σύμπαν και αντιστέκεται σε οποιαδήποτε προσπάθεια αλλαγής του επιπέδου περιστροφής του, δημιουργείται μια γυροσκοπική μετάπτωση.



**Figure 17-43 Corkscrewing Slipstream**  
 Γυροσκοπική επίδραση της έλικας – Spiral slipstream effect

Η γυροσκοπική μετάπτωση περιστρέφει την εφαρμοσθείσα δύναμη κατά  $90^\circ$  προς τη φορά περιστροφής και το φαινόμενο είναι γνωστό ως **γυροσκοπική επίδραση της έλικας**. Καθώς η ουρά σηκώνεται και η κεφαλή του αεροπλάνου κατεβαίνει, η δύναμη που εφαρμόζεται στη κορυφή του περιστρεφόμενου δίσκου της έλικας δρα  $90^\circ$  μοίρες μετά, κατά τη φορά περιστροφής. Έτσι είναι σαν μια δύναμη προς τα εμπρός να ασκείται στο δεξιό μέρος του δίσκου της έλικας, προκαλώντας προκαλώντας το αεροπλάνο να εκτραπεί προς τα αριστερά. Η κατεύθυνση της εκτροπής εξαρτάται από τη φορά περιστροφής της έλικας.

Το μέγεθος της γυροσκοπικής επίδρασης εξαρτάται από: τη μάζα της έλικας πως η μάζα είναι κατανεμημένη κατά μήκος των φύλλων της έλικας και πόσο γρήγορα περιστρέφεται η έλικα (όλα αυτά συνδυάζονται στην αδρανειακή ροπή). Το μέγεθος της γυροσκοπικής αδράνειας, επίσης, εξαρτάται από το πόσο γρήγορα έλαβε χώρα η αλλαγή του επιπέδου περιστροφής.

Η ανύψωση της ουράς ενός αεροπλάνου με μεγάλη ισχύ, όπως το Spitfire, κατά την απογείωση, παράγει πολύ μεγαλύτερη γυροσκοπική επίδραση απ' ό τι η ανύψωση της ουράς ενός Tiger Moth.



Spitfire aircraft

### Ασύμμετρη ώση της έλικας – παράγοντας P

Στην αρχή της διαδρόμησης για απογείωση σε ένα αεροπλάνο με ουραίο τροχό, ο άξονας της έλικας έχει κλίση προς τα πάνω και το επίπεδο περιστροφής της έλικας είναι κάθετο. Το ίδιο συμβαίνει και όταν πετάμε με οποιοδήποτε ελικοφόρο αεροπλάνο σε ΕΟΠ αλλά με μεγάλη γωνία προσβολής.

Το αεροπλάνο ταξιδεύει επίπεδο και έτσι το φύλλο της έλικας που κατεβαίνει έχει μεγαλύτερη γωνία προσβολής από το φύλλο της έλικας που ανεβαίνει, προξενώντας παραγωγή περισσότερης ώσης από το κατερχόμενο φύλλο και κατ' επέκταση ανάλογη εκτροπή.

Γι' αυτό το κατερχόμενο μισό του δίσκου της έλικας θα παράγει περισσότερη ώση από το ανερχόμενο αντίστοιχο και, αν η έλικα είναι δεξιόστροφη, το αεροπλάνο θα έχει τάση εκτροπής προς τα αριστερά.

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπός μας ήταν να διερευνηθούν οι συνθήκες που επικρατούν γύρω από την έλικα πλοίου, για την καλύτερη κατανόηση της εργασίας παρουσιάζονται και οι συνθήκες ροής γύρω από πτερύγια και έλικες αεροπλάνων ώστε να γίνουν κατανοητές οι διαφορές και οι ομοιότητες ανάμεσα στα δυο ρευστά, του νερού και του αέρα.

Για το σκοπό αυτό έγινε απεικόνιση και επεξήγηση των συνθηκών της ροής γύρω από έλικες πλοίων και πτερύγια, καθώς επίσης παρουσιάζεται και υλικό που περιγράφει και απεικονίζει την ροή σε πτερύγια αεροπλάνων. Αρχικά έγινε αναφορά στα ρευστά νερό και αέρα καθώς επίσης και τι εννοούμε με τον όρο, ροή. Κατόπιν αναλύθηκε τι νοείτε γενικά έλικα και πως λειτουργεί. Είδαμε τον ρόλο που παίζει η γάστρα του πλοίου και πόσο σημαντική είναι για την ροή προς την έλικα, επίσης περιγράφηκαν αναλυτικά τα είδη των ελίκων των πλοίων, τα μέρη τους και από τι υλικά κατασκευάζονται.

Στο κεφάλαιο IV είδαμε το κυρίως θέμα της πτυχιακής εργασίας μελετώντας τις συνθήκες ροής γύρω από την έλικα πλοίου καθώς και τους παράγοντες που την επηρεάζουν όπως ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου, και ο συντελεστής μείωσης ώσης. Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι βαθμοί απόδοσης διαφόρων μερών γάστρας και έλικας, όπως επίσης το βήμα και η ολίσθηση της έλικας, και τέλος η σπηλαιώση.

Από τα ανωτέρω στοιχεία παρατηρήθηκαν τα εξής κοινά σημεία ανάμεσα στις έλικες και πτερύγια των πλοίων με τα αντίστοιχα των αεροπλάνων, και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να τα εξετάσουμε ξεχωριστά.

Συμπεραίνουμε ότι: Η ροή στην πτέρυγα του αεροπλάνου είναι στρωτή ενώ στην πτέρυγα του Υ/Γ είναι τυρβώδης. Διαφορετικά συμπεριφέρεται η πτέρυγα στο νερό και διαφορετικά στον αέρα.

Συμπεραίνουμε ότι: Με την αρχή δράση-αντίδραση και η μάζα του νερού/αέρα σπρώχνει την έλικα με μία ίση και αντίθετη δύναμη, που τελικά κινεί το πλοίο/αεροπλάνο και που ονομάζεται "έλξη" (ή ώση).

Είναι φανερό ότι το τμήμα του πλοίου που επηρεάζει τις απαιτήσεις πρόωσής του είναι το τμήμα της γάστρας του πλοίου που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή. Κάτι το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της έλικας.

Συμπεραίνουμε ότι: Η χημική σύνθεση της έλικας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αντοχή της στην σπηλαίωση, και το βάρος της στην αποδοτικότητα της.

Συμπεραίνουμε ότι: Το πεδίο ομόρρου της γάστρας και της έλικας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό αν η γάστρα είναι ρυπασμένη και εξαρτάται από την μορφή της γάστρας και το μήκος του πλοίου και αυτό γιατί δημιουργείται ανομοιογενείς συνθήκες ροής προς την έλικα και πέφτει η απόδοση της.

Επιπλέον παρατηρήσαμε την διαφορετικότητα ανάμεσα στις έλικες πλοίων containers και δεξαμενόπλοιων και χύδην φορτίων και αυτό συμβαίνει για τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας τους. Ακόμα είδαμε την συμπεριφορά της έλικας για το πώς ολισθαίνει στο νερό, και πως συμβαίνει το φαινόμενο της σπηλαίωσης.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγαμε από την βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας εργασίας είναι τα κάτωθι:

- Η κατασκευή των πτερυγίων των υδροπτέρυγων πλοίων βασίζεται στην φιλοσοφία των αεροπλάνων ώστε να μπορέσει να εξέλθει από την επιφάνεια της θάλασσας. Συνεπώς και η ροή σε αυτά μας δείχνουν κοινά χαρακτηριστικά.
- Στα πλοία και στα αεροπλάνα χρησιμοποιούνται έλικες σταθερού και μεταβλητού βήματος
- Οι δυο λειτουργούν με τον συνδυασμό έλξης- ώσης.
- Οι δύο έλικες έχουν ολίσθηση γιατί εργάζονται μέσα σε ρευστό.
- Έχουμε πλευρική ώση και στα πλοία και στα αεροπλάνα με έλικες. Δηλαδή, μία δεξιόστροφη έλικα (που κινείται σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού, κοιτώντας από την πρύμνη προς την πρόρα) θα τείνει να σπρώξει την πρύμνη του πλοίου προς την δεξιά κατεύθυνση, δηλαδή, στρέφοντας την πρόρα προς τα αριστερά κατά την διάρκεια



κανονικής πλευσης. Το ίδιο θα συμβεί και σε ένα ελικοφόρο μονέλικο αεροπλάνο. Δηλαδή, μια δύναμη προς τα εμπρός να ασκείται στο δεξιό μέρος του δίσκου της έλικας, προκαλώντας το αεροπλάνο να εκτραπεί προς τα αριστερά. Στην αεροπορία αυτό ονομάζεται, γυροσκοπική επίδραση της έλικας.

- Έχουμε ελικοειδή κίνηση και προχωρητική ταχύτητα και στις έλικες πλοίων και αεροπλάνων.

## Βιβλιογραφία

- Πάντζαλης Νικόλαος, (2008): Μηχανική των ρευστών, Ίδρυμα Ευγενίδου
- Trevor Thom, (Τόμος 4): Το εγχειρίδιο το χειριστή αεροσκαφών – Γενικές τεχνικές γνώσεις
- Νικόλαος Κυρτάτος, Καθηγητής ΕΜΠ,(2007): Βασικές αρχές πρόωσης πλοίων
- Κλίανη Λάζαρου, Νικολού Ιωάννη, Σιδέρη Ιωάννη, Τόμος Β (2003): Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Ίδρυμα Ευγενίδου
- Wikipedia
- [www.ribandsea.com](http://www.ribandsea.com)
- [www.e-marineducation.com](http://www.e-marineducation.com)

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract.....	4
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup></b>	
1.1 Είδη ροής.....	5
1.2 Διάκριση ροής των ρευστών.....	7
1.3 Στροπή και Τυρβώδης ροή.....	8
1.4 Αριθμός Reynolds.....	9
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup></b>	
2.1 Συστήματα πρόωσης με έλικα – Γενικά .....	13
2.2 Γενικά για πλοία.....	14
2.3 Περιγραφή μορφών γάστρας.....	15
2.4 Αντίσταση πλοίου.....	16
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup></b>	
3.1 Έλικες πλοίων.....	19
3.2 Τύποι ελίκων.....	20
3.3 Υλικά κατασκευής .....	22
3.4 Χημική σύνθεση.....	23
3.5 Βασικά τμήματα έλικας.....	24
3.6 Αριθμός πτερυγίων έλικας.....	26
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup></b>	
4.1 Συνθήκες ροής γύρω από έλικα πλοίου.....	27

4.2 Διαστάσεις της έλικας.....	32
4.3 Συνθήκες λειτουργίας έλικας.....	38
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup></b>	
5.1 Γενικά για αεροπλάνα – ώση από την έλικα.....	50
5.2 Η κίνηση της έλικας.....	51
5.3 Τα μέρη της έλικας.....	53
5.4 Οι δυνάμεις που ενεργούν στην έλικα.....	54
5.5 Η έλικα μεταβλητού βήματος και η έλικα σταθερής ταχύτητας.....	57
5.6 Το πλεονέκτημα της έλικας σταθερής ταχύτητας.....	58
5.7 Επίδραση της έλικας στην απογείωση.....	59
Συμπεράσματα.....	63
Βιβλιογραφία.....	66