

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΛΙΚΑΣ

ΓΑΛΑΝΗΣ ΡΟΣΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΙΒΙΝΗΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΛΙΚΑΣ

ΓΑΛΑΝΗΣ ΡΟΣΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΑΜ : 4280

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι να γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση της συνεργασίας μεταξύ της προωστήριας μηχανής και της έλικας. Περιλαμβάνεται, μια επιγραμματική αναφορά στο σύστημα πρόωσης και στην έλικα, ενώ γίνεται μία εκτενής αναφορά, στο με ποιο τρόπο και με ποια μέρη, τα συστήματα αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους, ώστε να υπάρχει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Η επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος, έγινε επιτακτική, μετά την χρήση του πετρελαίου ως καύσιμο, και ειδικά μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, το κόστος του καυσίμου, όρισε, το γιατί σήμερα μελετάται βαθιά, η εν λόγω συνεργασία και το πόσο σημαντικό ρόλο στον βαθμό απόδοσης, έχει η σωστή επιλογή αυτών των τμημάτων ως προς την πρόωση, και επίσης τι παραμέτροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η χρήση του πλοίου, εμπορική ή πολεμική, καθορίζει διαφορετικές ανάγκες ταχύτητας και ελιγμών· το είδος του πλοίου, ορίζει το θέμα κινήσεων και ελιγμών, και την αναγκαίους ισχύ· η περιοχή που θα ταξιδεύει, ορίζει την ανάγκη του συστήματος πρόωσης, να προσαρμόζεται στα όρια εκπομπών των εν λόγω περιοχών. Εν ολίγοις, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που θα αναλυθεί, έχει τεράστια οικονομική και περιβαλλοντολογική επίπτωση, και παίζει κυρίαρχο ρόλο σε μία αγορά δισεκατομμυρίων.

Abstract

Object of this dissertation, is to make a literature review, on the cooperation, between the propulsion engine, and the propeller. There is an epigrammatic reference to the propulsion system and the propeller, and an extensive reference is made, on how and with which parts, those systems cooperate with each other, so an optimal result can be achieved.

The achievement of an optimal result, became imperative, after the use of fuel oil, and especially after the oil crisis of 1973, the cost of fuel, determined why the aforementioned cooperation, is so deeply studied, and how important is for the efficiency, the correct choice of those parts, as to the propulsion, and also, which parameters should be taken into consideration. The use of the ship, mercantile or militant, define different needs of speed and maneuvering; the type of the ship, determines the subject of movement and maneuvering, and the necessary power; the voyaging area determines the need of the propulsion system, to adapt, on the emission limits, of those areas. In sum, the mechanical equipment to be analyzed, has a huge economical and environmental impact, and plays a significant part, in a market of billions.

Πρόλογος

Η εμπορική ναυτιλία, ένας από τους πιο κρίσιμους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό του τρόπου μετακίνησης αγαθών, ορίζει την ζωή δισεκατομμυρίων ανθρώπων, με δισεκατομμύρια τόνους αγαθών, όπου μεταξύ τους κυκλοφορούν δισεκατομμύρια δολάρια. Χωρίς αυτήν, ο κόσμος μεταφορικά, θα σταματήσει να γυρίζει. Ένας όμως παράγοντας παίζει καθοριστικό και παράλληλα νευραλγικό ρόλο σε αυτόν τον τεράστιο τομέα. Το καύσιμο. Μετά την κατακόρυφη άνοδο στην τιμή του πετρελαίου, όλοι οι εμπλεκόμενοι άρχισαν να το λαμβάνουν πολύ σοβαρά υπόψη τους, και το τοποθέτησαν στην πρώτη θέση ως γνώμονα, πριν από όλες τις κινήσεις που θα πραγματοποιούσαν, στον χώρο της ναυτιλίας. Έπειτα εμφανίστηκε άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας, που απορρέει από το καύσιμο: Τα όρια εκπομπών. Παρόλο που τα καύσιμα ναυτιλίας είναι σχεδόν ασήμαντα για την πετρελαϊκή βιομηχανία, το ίδιο δεν ισχύει αντίστροφα, και με την αύξηση στην ζήτηση καθαρότερων καυσίμων, για την ναυτιλία περισσεύουν, ακριβά και χείριστης ποιότητας καύσιμα. Προς αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι κατασκευαστές κατέληξαν σε μία μέθοδο: Στην προσέγγιση του τέλει βαθμού απόδοσης. Εφόσον, οι τιμές καυσίμου είναι υψηλές, μία Μ.Ε.Κ. παραδείγματος χάρι, που σήμερα έχει 50% βαθμό απόδοσης, προτιμάται από έναν ατμοστρόβιλο, που έχει βαθμό απόδοσης 35-40%. Αυτό το 10% στην διαφορά τους, μεταφράζεται σε εκατομμύρια δολάρια τόνων πετρελαίου. Άρα, τοποθετώντας μηχανήματα, πάντα με γνώμονα τον βαθμό απόδοσης, τα ποσοστά που συγκεντρώνονται, συμβάλλουν στην μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων.

Παρακάτω θα αναλυθούν από μηχανολογικής πλευράς, τα τμήματα του συστήματος πρόωσης, και η μεταξύ τους συνεργασία. Αναλυτικότερα:

- Στο 1^ο κεφάλαιο, αναπτύσσονται, η ιστορία της έλικας, οι τύποι που υπάρχουν, οι συνθήκες στις οποίες κινείται, επίδραση μεγέθους, και συντελεστές και βαθμοί απόδοσης, που την επηρεάζουν.
- Στο 2^ο κεφάλαιο, αναπτύσσονται, η ιστορία των μηχανών στα πλοία, οι τρόποι επιλογής και οι κατηγορίες προωστήριων μηχανών, και γενική αναφορά στα συστήματα συνδυασμένου κύκλου.
- Στο 3^ο κεφάλαιο, αναλύονται τα τμήματα που παρεμβάλλονται μεταξύ μηχανής και έλικας.

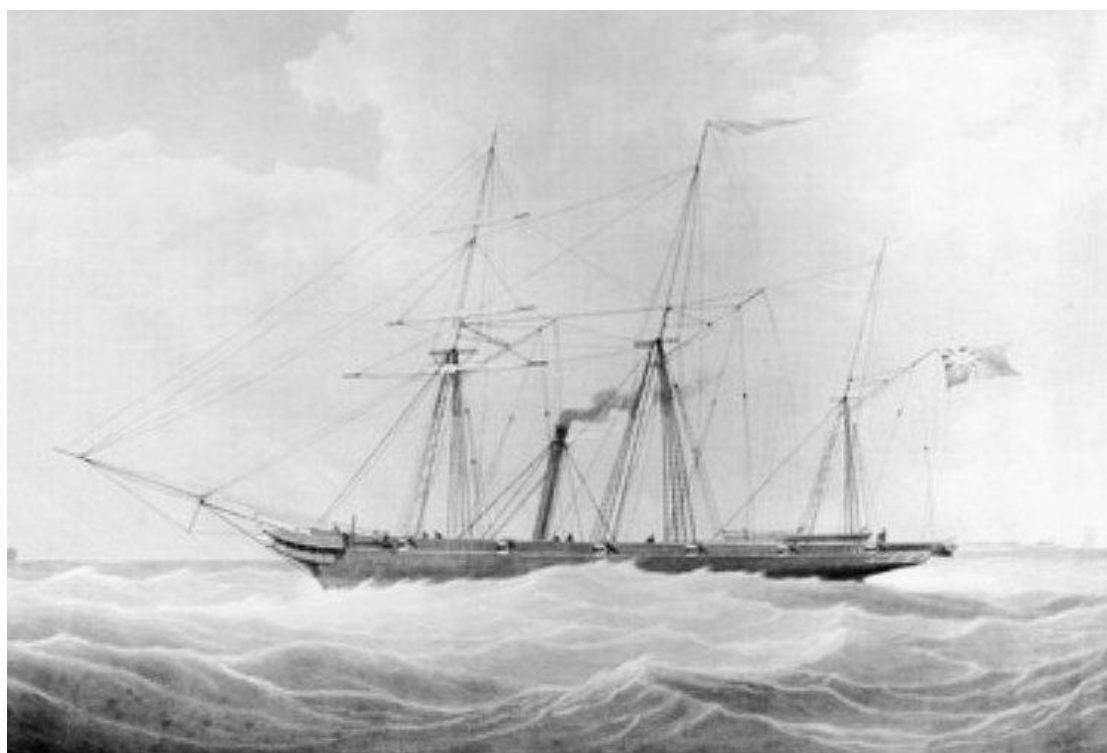
Κεφάλαιο 1

Έλικες

1.1 Γενικά για την Έλικα

1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

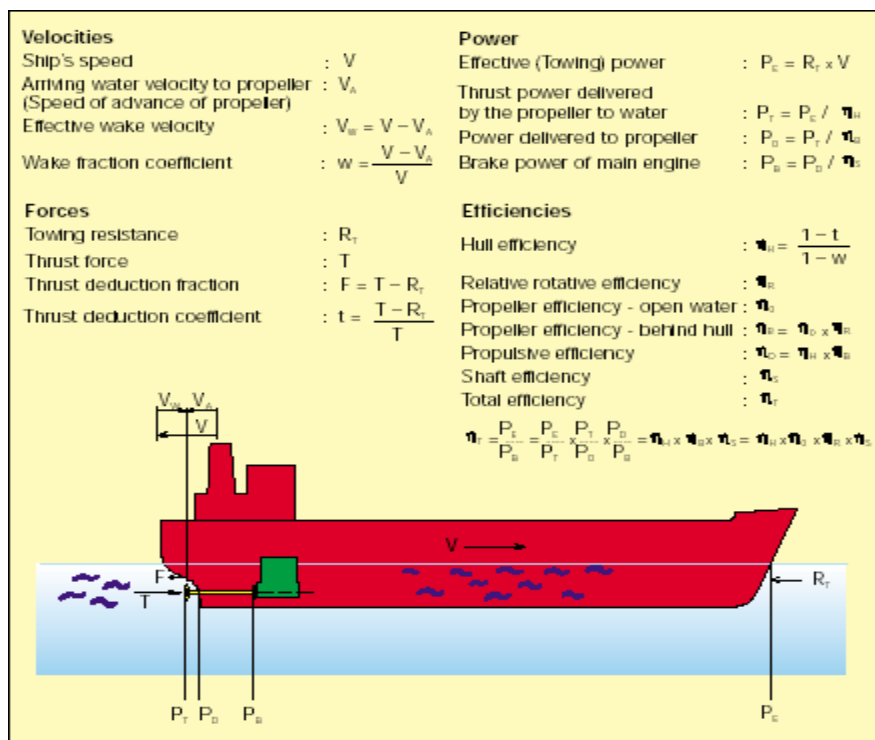
Η έλικα στην χρήση πρόωσης, βασίστηκε στον Κοχλία του Αρχιμήδη. Το 1827 ο Josef Ressel εφήυρε μια κοχλιωτή έλικα με πολλαπλά πτερύγια τοποθετημένα επάνω σε μια κωνική βάση. Η εν λόγω έλικα δοκιμάστηκε πάνω στο ατμόπλοιο Civetta, το οποίο έφτασε ταχύτητα 6 κόμβων. Αυτό ήταν το πρώτο πλοίο που κινήθηκε επιτυχώς με έλικα βασισμένη στον Κοχλία του Αρχιμήδη, και το οποίο έθεσε τις βάσεις για την χρήση της έλικας, ως μέσο πρόωσης. Αυτό το πραγματοποίησαν το 1835 ο John Ericsson και ο Francis Pettit Smith, παρουσιάζοντας στο Βρετανικό Βασιλικό Ναυτικό διάφορα ατμόπλοια κινούμενα με κοχλιωτές έλικες, μη πείθοντας τους όμως. Σε ένα ταξίδι όμως, που ο Smith όδευσε προς κακοκαιρία, εξέπληξε τους αξιωματικούς του Π.Ν., και τότε αυτοί τον ώθησαν να κατασκευάσει ένα λειτουργικό πλοίοιού πλήρους μεγέθους, με κοχλιωτή έλικα. Έτσι, κατασκευάστηκε το SS Archimedes, το 1838, ως το πρώτο πλήρως λειτουργικό ατμόπλοιο στον κόσμο, με κοχλιωτή έλικα, και έτσι, σιγά σιγά, κατά το 1880, εδραιώθηκε η έλικα, παραμερίζοντας την πρόωση με τροχό (paddle wheel).



Εικόνα 1.1.1: Το SS Archimedes, το πρώτο ατμόπλοιο με έλικα

1.1.2 Τύποι Ελίκων

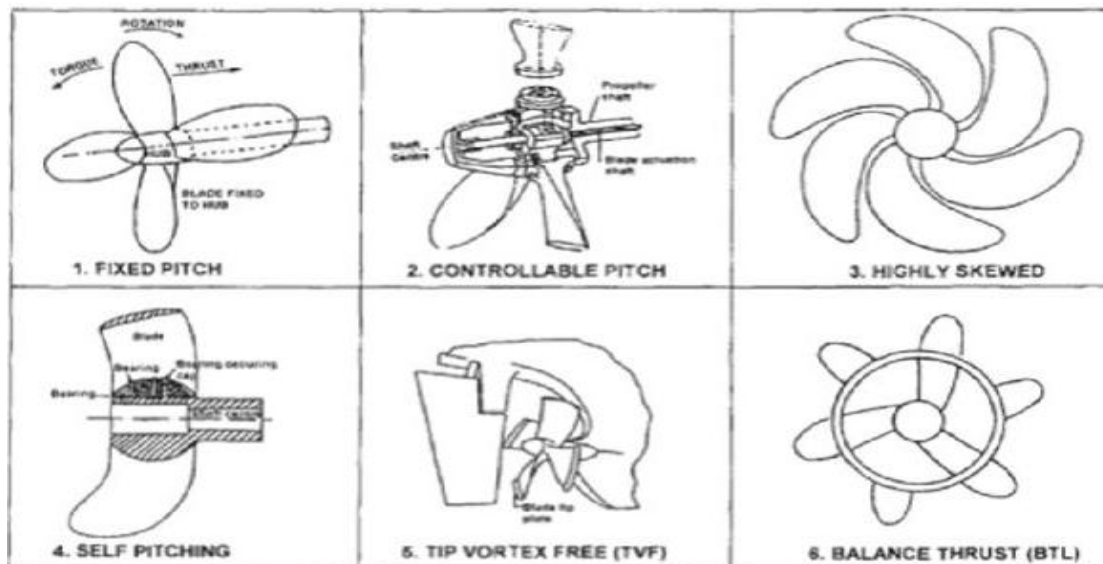
Το παραδοσιακό μέσο που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός πλοίου είναι η έλικα, μερικές φορές δύο και, σε σπανιότερες περιπτώσεις, περισσότερες από δύο. Η απαιτούμενη ώση της έλικας για την κίνηση του πλοίου με ταχύτητα V κανονικά είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αντίσταση ρυμουλκήσεως R_T και τα αίτια που έχουν σχέση με την ροή καθώς και κάποια άλλα, εξηγούνται στο κεφάλαιο αυτό. Στο Σχήμα 1.1.1, παρουσιάζονται όλες οι σχετικές παράμετροι ταχύτητας, δύναμης, ισχύος και απόδοσης.



Σχήμα 1.1.1: Διάφοροι Παράμετροι

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ελίκων, ανάλογα με την χρήση τους, εάν είναι εμπορική ή πολεμική, και ανάλογα σε τι είδος πλοίου τοποθετούνται. Για παράδειγμα, υπάρχουν έλικες σταθερού βήματος, μεταβλητού βήματος, highly skewed, αζιμούθιου κ.α.

Μερικές ενδεικνύονται στην παρακάτω Εικόνα, 1.1.2:



Εικόνα 1.1.2: Διάφοροι Τύποι Ελίκων

Εδώ θα αναλυθούν οι 2 κυριότερες κατηγορίες ελίκων:

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

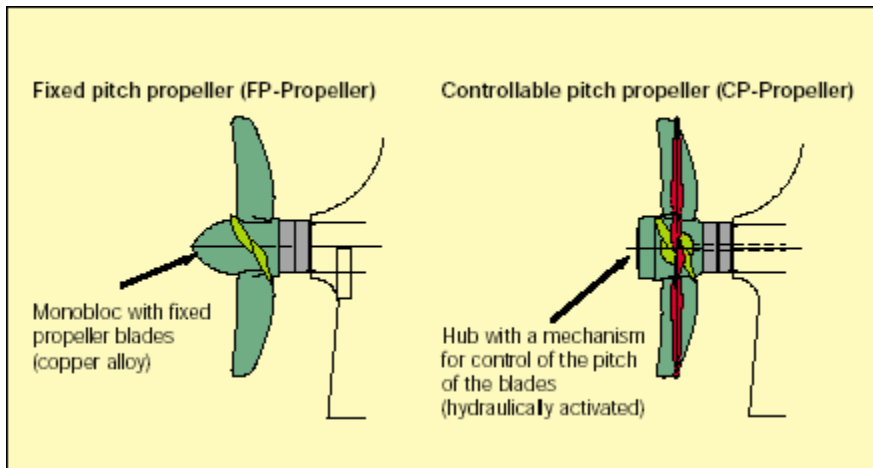
Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια και συνήθως κατασκευάζονται από κράμα χαλκού. Η θέση των πτερυγίων, και συνεπώς το βήμα της έλικας, είναι ίση και σταθερή για όλα, με ένα δεδομένο βήμα που δεν μπορεί να αλλάξει κατά την λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι όταν η έλικα λειτουργεί σε συνθήκες, 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 καλές ελεγκτικές ικανότητες είναι εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν μεγαλύτερη πλήμνη σε σχέση με τις έλικες σταθερού βήματος, επειδή η πλήμνη 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 πλήμνης, 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

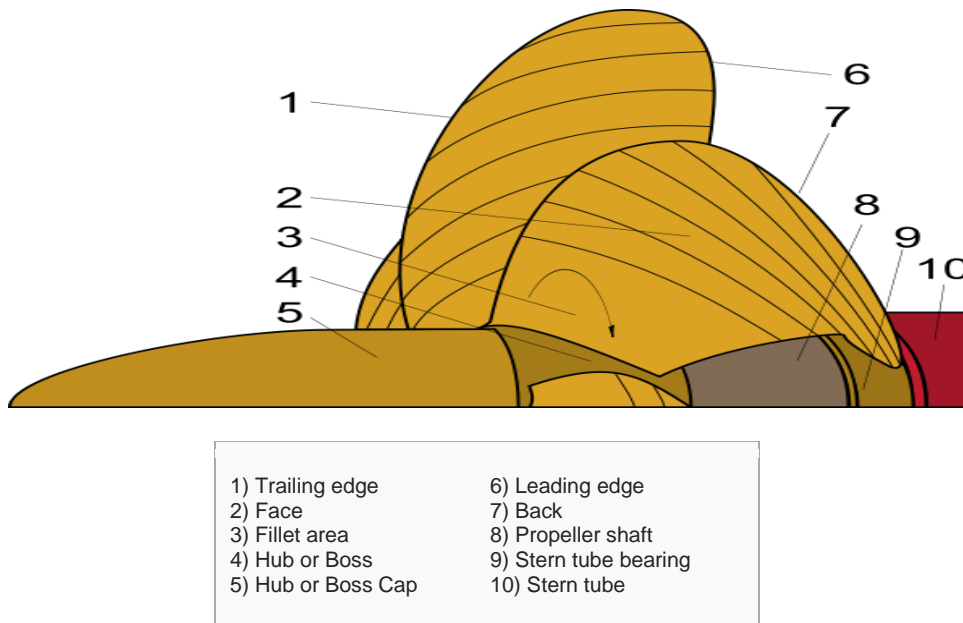
πλέουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε κανονική θάλασσα και με δεδομένη ταχύτητα, θα ήταν γενικά αντισυμβαλλόμενο να εγκατασταθούν έλικες μεταβλητού βήματος αντί για σταθερού. Επίσης,

μια έλικα μεταβλητού βήματος είναι πιο περίπλοκη και συνοδεύεται από υψηλότερο ρίσκο εμφάνισης προβλημάτων κατά την λειτουργία.



Σχήμα 1.1.2: Οι 2 κυριότεροι τύποι ελίκων

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα της ναυτικής έλικας.



Εικόνα 1.1.3: Επιμέρους τμήματα ναυτικής έλικας.

1.2 Συνθήκες Ροής γύρω από την έλικα

1.2.1 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 πρωαίο 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. 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 .

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

σπηλαίωση 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 διαφόρους 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.

1.3 Βαθμοί απόδοσης

1.3.1 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 $P_T = T V_A$.

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.

1.3.2 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 προχωρήσεως V_A , 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 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 .

1.4 Διαστάσεις της έλικας

1.4.1 Διάμετρος της έλικας d

Για τη επίτευξη του υψηλότερου βαθμού αποδόσεως προώσεως ηD , 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 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 σχεδίασεως 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.

1.4.2 Αριθμός πτερυγίων έλικας

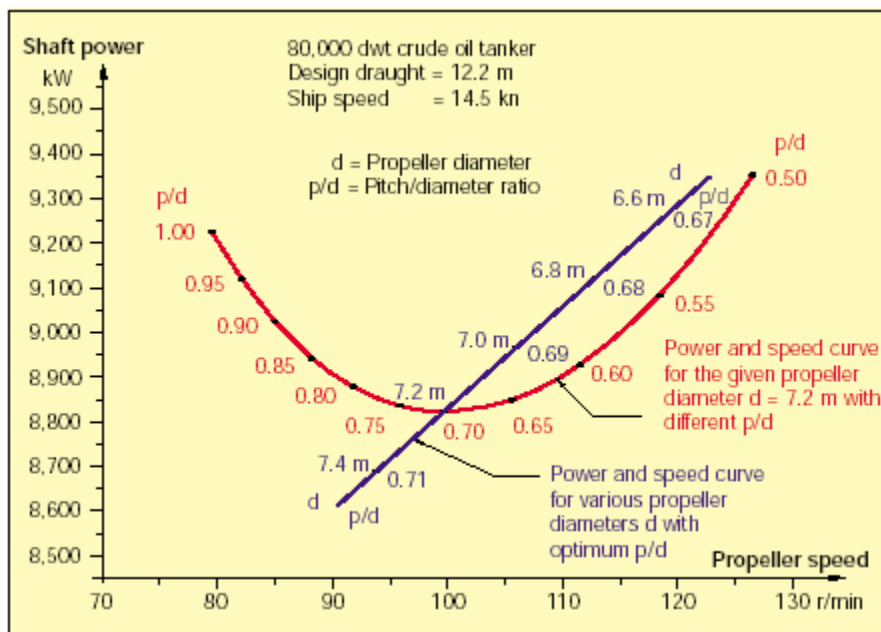
Έλικες μπορούν να κατασκευασθούν με 2,3,4,5, ή 6 πτερύγια. Όσο λιγότερος ο αριθμός των πτερυγίων, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός αποδόσεως της έλικας. Όμως για λόγους αντοχής, έλικες που θα υποστούν ισχυρά φορτία δεν μπορούν να κατασκευασθούν μόνο με δύο ή τρία πτερύγια.

Έλικες με δύο πτερύγια χρησιμοποιούνται σε μικρά σκάφη και με 4, 5 και 6 πτερύγια σε μεγάλα πλοία. Τα πλοία που χρησιμοποιούν τις 2-X 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.

1.4.3 Επίδραση της διαμέτρου και του λόγου βήματος/διαμέτρου 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 1.4.1.



Σχήμα 1.4.1: 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

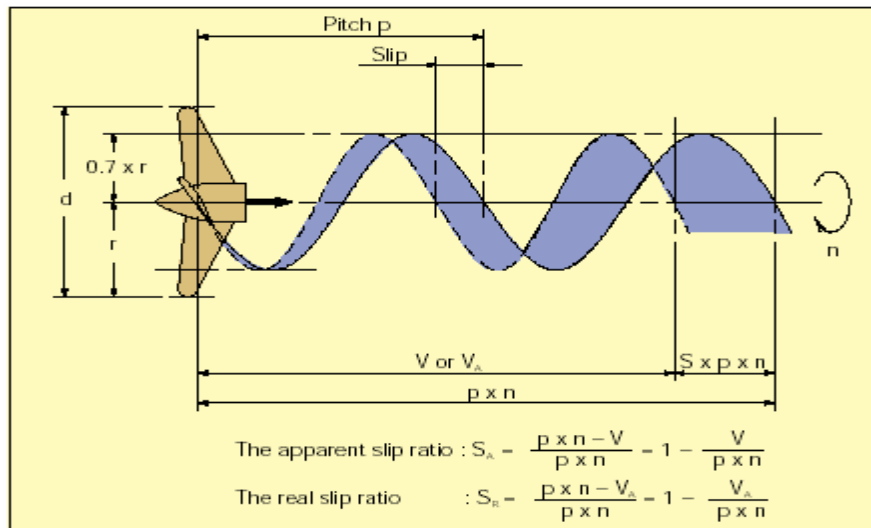
δυνατή, η απαιτούμενη ισχύς άξονα θα ελαττωθεί σε 8,690 kW στις 94 σ.α.λ. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η έλικα, τόσο μικρότερη είναι η βέλτιστη περιστροφική της ταχύτητα.

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.

1.5 Συνθήκες λειτουργίας έλικας

1.5.1 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 1.5.1.



Σχήμα 1.5.1: Κίνηση της έλικας πλοίου, με βήμα p και λόγο ολίσθησης S .

Μια παρόμοια κατάσταση υπάρχει 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 $(p \times n - V)$.

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 . 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.

Κεφάλαιο 2

Μηχανές & Πρόωση

2.1 Ιστορική ανασκόπηση

Το 1807, το S/S Cleremont ήταν το πρώτο εμπορικά επιτυχημένο πλοίο με ατμομηχανή και τροχούς. Το 1837, γίνεται η πρώτη χρήση της έλικας ως προωστήρα ναυτικών εγκαταστάσεων, και κινείται από παλινδρομική ατμομηχανή. Το 1894 ο Charles Parsons κατασκεύασε το πειραματικό πλοίο Turbinia με εγκατάσταση ατμοστροβίλου. Μετά το 1892, όταν ο Rudolf Diesel πατεντάρισε την ομώνυμη μηχανή εσωτερικής καύσης, ξεκίνησε και η συστηματική χρήση της, με το M/S Vulcanus το 1910, που είναι το πρώτο πλοίο με εμπορική επιτυχία που κινείται με μηχανή Diesel και το 1911, το M/S Selandia, έθεσε τις βάσεις για κατασκευή μεγάλων ντιζελομηχανών. Το 1942, εγκαταστάθηκε ο πρώτος ναυτικός αεριοστροβίλος στην Βρετανική κανονιοφόρο MCB 2009, και το 1959, το Savannah ήταν το πρώτο πειραματικό πυρηνικό εμπορικό πλοίο.

2.2 Επιλογή κύριας μηχανής πρόωσης

Για την επιλογή της κύριας μηχανής πρόωσης ενός πλοίου λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν τις ακόλουθες κατηγορίες:

Απαιτήσεις φορτίου:

- Είδος πλοίου
- Κάλυψη απαιτήσεων ισχύος
- Σχεδιασμός έλικας
- Σχεδιασμός υποσυστημάτων (παροχής αέρα, ψύξεως, εκκίνησης, κλπ)

Απαιτήσεις περιβάλλοντος:

- Είδος πλοίου – γεωμετρικοί περιορισμοί
- Ανάλυση δυναμικών φαινομένων

Απαιτήσεις χρήσης:

- Βάρος εγκατάστασης, κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης, αξιοπιστία
- Σχεδιασμός / επιλογή στοιχείων μετάδοσης ισχύος (αξονικού συστήματος, μειωτήρα, εδράνων)

2.3 Τύποι προωστήριων μηχανών

- Κινητήρας Diesel (2-X, 4-X)

Οι κινητήρες Diesel μετά από μακροχρόνια έρευνα κατέληξαν να αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο μέσο πρόωσης των εμπορικών πλοίων συνδυάζοντας μεταξύ άλλων σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης, δυνατότητα λειτουργίας με βαριά καύσιμα (fuel oils) και μικρές ταχύτητες για απευθείας κίνηση της έλικας.

- **Αεριοστρόβιλος**

Στο παρελθόν δεν ήταν τόσο συχνή η επιλογή του αεριοστροβίλου ως κύρια μηχανή πρόωσης λόγω του χαμηλού βαθμού απόδοσης του συστήματος. Τα τελευταία χρόνια όμως κερδίζει έδαφος έναντι των κινητήρων Diesel σε ορισμένες κατηγορίες πλοίων σύγχρονης τεχνολογίας.

- **Ατμοστρόβιλος**

Οι πρώτες προσπάθειες για πρόωση πλοίων με ατμό, ξεκίνησαν στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Οι σημερινές ατμομηχανές διαφέρουν σημαντικά από τις πρώτες εφαρμογές, οι οποίες ήταν παλινδρομικές μηχανές που χρησιμοποιούνταν σε ιστιοφόρα πλοία ως βοηθητικό μέσο πρόωσης. Με την ανακάλυψη του ατμοστρόβιλου και τις συνεχείς βελτιώσεις σε αυτή, ο ατμοστρόβιλος αντικατέστησε τις προηγούμενες παλινδρομικές μηχανές. Η ραγδαία εξέλιξη των κινητήρων Diesel και τελευταία των αεριοστροβίλων, είχε ως συνέπεια τη μείωση του αριθμού των νεότευκτων ατμοκίνητων πλοίων. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιούνται σε νηζελοκίνητα πλοία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας από την κύρια μηχανή, καθώς και επίσης σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλους.

- **Πυρηνική πρόωση**

Η πυρηνική ενέργεια είναι η πιο καινούρια μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την πρόωση των πλοίων την τελευταία εικοσαετία. Η αρχή της λειτουργίας της πυρηνικής πρόωσης μοιάζει με την πρόωση με ατμοστρόβιλους με ουσιαστική διαφορά ότι ο ατμός παράγεται από την θερμότητα που εκλύεται από τις διασπάσεις που γίνονται στον πυρηνικό αντιδραστήρα.

Τα πλεονεκτήματα των πυρηνοκίνητων πλοίων είναι η μεγάλη αυτονομία, ο μικρός όγκος καυσίμου, με καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου του πλοίου, η ανεξαρτητοποίηση από ανάγκη

ατμοσφαιρικού αέρα – ιδιαίτερα σημαντικό για τα υποβρύχια – και η ανυπαρξία καπνοδόχων και γενικότερα οχετών εισαγωγής – εξαγωγής αέρα.

- **Ηλεκτρική πρόωση**

Η κινητήρια μηχανή που μπορεί να είναι ντιζελοκινητήρας, ατμοστρόβιλος ή αεριοστρόβιλος, κινεί ηλεκτρογεννήτρια, που τροφοδοτεί με ρεύμα ηλεκτροκινητήρα. Αυτός κινεί την έλικα είτε απευθείας, είτε μέσω μειωτήρα στροφών. Μπορεί να γίνει με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι οι εύκολοι χειρισμοί, η αναπόδιση, ή η στάση, γίνεται χωρίς αντίστοιχες λειτουργίες της κύριας μηχανής, και σε περίπτωση χρήσης εναλασσόμενου ρεύματος, δεν απαιτείται η ύπαρξη μειωτήρα στροφών.

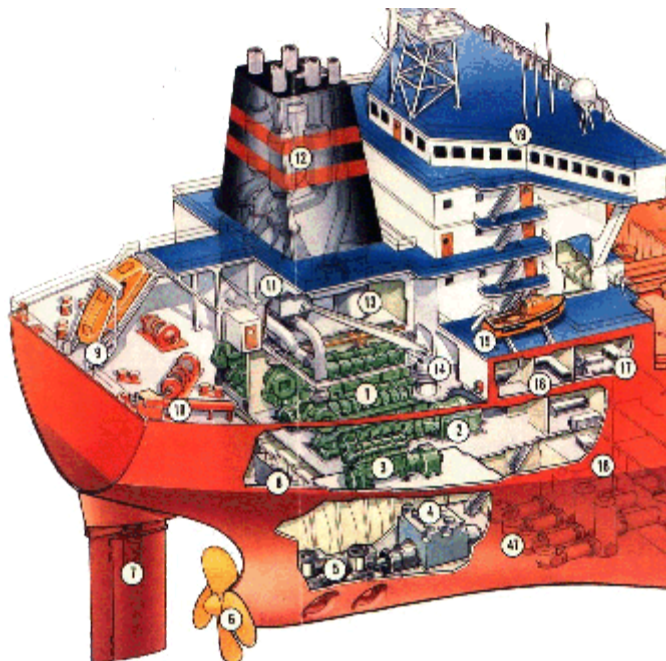
Η εγκατάσταση αυτή μειονεκτεί λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας και του κόστους της. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται λόγω όταν τα πλεονεκτήματα της είναι πολύ σημαντικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως σε σκάφη με:

- Υψηλές απαιτήσεις ικανότητας ελιγμών (παγοθραυστικά, ωκεανογραφικά, πόντισης καλωδίων, ρυμουλκά, κλπ)
- Μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων (μεγάλα δεξαμενόπλοια, πυροσβεστικά, με ίδια μέσα φορτοεκφόρτωσης)
- Μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης (μεγάλα επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια)
- Εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες, μη ανάστρεψιμες μηχανές (αεριοστρόβιλοι και ταχύστροφες Diesel)
- Υποβρύχια και βαθυσκάφη

2.4 Κατηγορίες Ντιζελοκινητήρων

- Δίχρονοι ή Τετράχρονοι, ανάλογα με τις διαδρομές (χρόνους) του εμβόλου, σε έναν κύκλο λειτουργίας.

- Με φυσική αναπνοή ή υπερπληρωμένοι. Σήμερα οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες είναι υπερπληρωμένοι λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ισχύος και του καλύτερου βαθμού απόδοσης.
- Αριθμός και διάταξη κυλίνδρων. Σε σειρά, κατακόρυφα, και L, τοποθετούνται οι κύλινδροι των αργόστροφων (μέχρι 12 κύλινδροι) και των μεσόστροφων (μέχρι 10 κύλινδροι) κινητήρων, ενώ σε διάταξη V, τοποθετούνται οι κύλινδροι των μεσόστροφων και ταχύστροφων κινητήρων (μέχρι 20 κύλινδροι). Οι διατάξεις αντιθέτων εμβόλων, ακτινωτές, ή σε Δ με αντίθετα έμβολα, χρησιμοποιούνται σπανιότερα.
- Η διάμετρος και η διαδρομή του εμβόλου ή ο όγκος εμβολισμού
- Με βάκτρο και ζύγωμα – διωστήρα – στρόφαλο (κυριώς 2-X κινητήρες) ή μόνο διωστήρα έμβολο.
- Αριθμός στροφών ανά λεπτό, RPM. Διακρίνονται σε αργόστροφους (54 - 250 rpm) που είναι κυρίως 2-X, μεσόστροφους (750 - 1000 rpm) που είναι συνήθως 4-X, και ταχύστροφους (1000 - 3000 rpm) που είναι όλοι 4-X.



Εικόνα 2.1: Τυπική διάταξη μηχανοστασίου σε πλοίο με κινητήρα Diesel

2.5 Χρήση συστήματος συνδυασμένου κύκλου

Ο σχεδιασμός ενός νέου συστήματος συνδυασμένου κύκλου έδωσε νέες προοπτικές για τη βελτίωσή του χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς των πετρελαιομηχανών, των ατμοστροβίλων και των αεριοστροβίλων. Η ισχύς αυτού του συστήματος μπορεί να ξεπεράσει και

τα 150MW. Οι συνδυασμένοι κύκλοι χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το συνδυασμό των μηχανών και τη μορφή της ισχύς εξόδου (ηλεκτρική ή μηχανική). Με αυτόν τον τρόπο έχουμε αρκετά οφέλη όπως:

- Λιγότερος χώρος από τα μηχανήματα
- Λιγότερη συντήρηση
- Μηδαμινή χρήση και καύση λιπαντικού ελαίου
- Πλήρης αυτόματος έλεγχος σε όλα τα στάδια λειτουργίας
- Λιγότερος θόρυβος και κραδασμοί
- Καθαρότερα απαέρια
- Μεγαλύτερα ποσά ισχύος

Τα παραπάνω οφέλη οδηγούν σε περισσότερα πλεονεκτήματα όπως:

- Οικονομικά

Περισσότερος χώρος για τους επιβάτες και το φορτίο. Εκτιμάται πως η διαφορά του χώρου που χρησιμοποιείται, με τη νέα μορφή, εξοικονομεί χώρο για 55 περισσότερες καμπίνες.

- Περιβαλλοντικά

Λιγότερη μόλυνση λόγω ελαφρότερου καυσίμου με αποτέλεσμα μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο και χαμηλότερες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO.

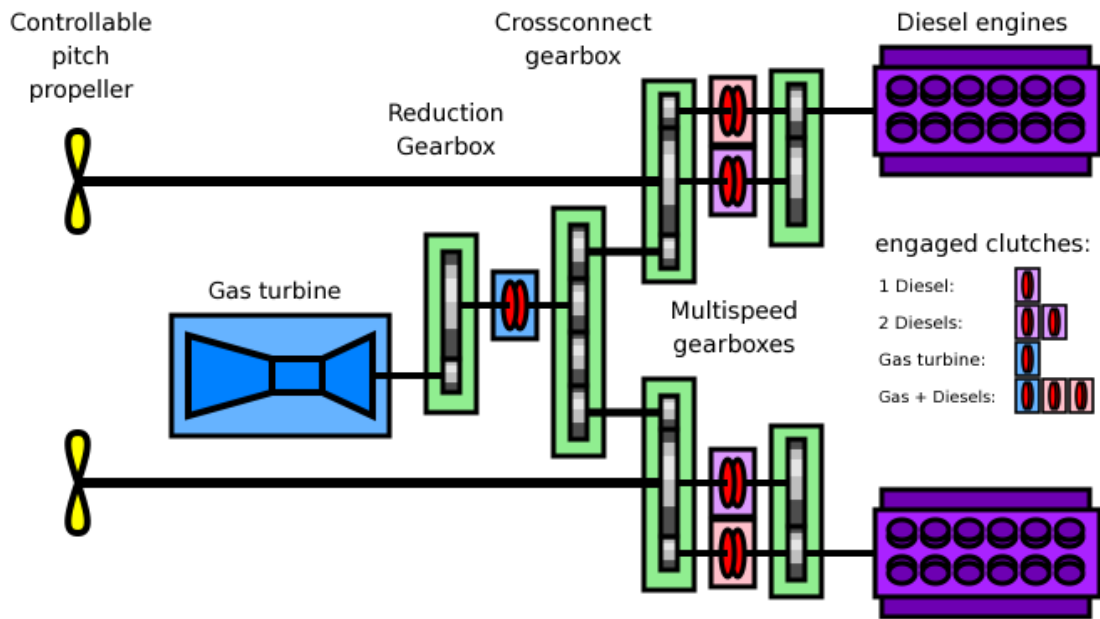
- Λειτουργικά

Πλήρως αυτοματοποιημένος έλεγχος σε όλα τα στάδια και καλύτερη διαχείριση του συστήματος.

2.6 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

CODAG (Combined Diesel and Gas, Σχήμα 2.6.1).

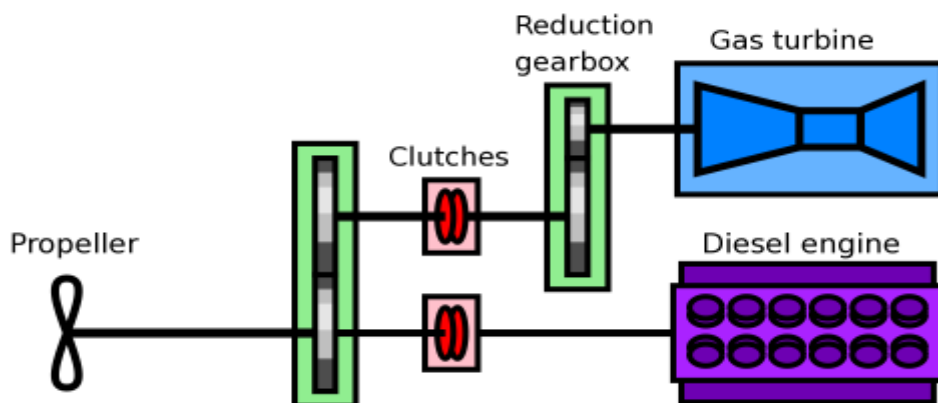
Συνδυασμός ντίζελ μηχανών και αεριοστρόβιλων. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης με τον αεριοστρόβιλο. Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που το πλοίο θέλει να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα, όπως σε πολεμικά πλοία. Σε πλήρες φορτίο λειτουργεί ο αεριοστρόβιλος μαζί με τον Diesel, ενώ σε χαμηλά φορτία, μόνο ο Diesel. Αυτό το σύστημα καταλαμβάνει μικρότερο χώρο από μία εγκατάσταση μόνο με ντιζελοκινητήρες, όμως απαιτούνται πιο πολύπλοκα μηχανήματα μείωσης στροφών. Η τυπική ταχύτητα υπηρεσίας σε πολεμικά πλοία με τέτοιες εγκαταστάσεις είναι 20 κόμβοι, ενώ η μέγιστη είναι 30.



Σχήμα 2.6.1: Σύστημα CODAG

CODOG (Combined Diesel or Gas, Σχήμα 2.6.2).

Κάνοντας χρήση πετρελαιομηχανών ή αεριοστρόβιλων. Κάθε ένας από τους κινητήρες περιστρέφει έναν άξονα μέσα σε ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει την λειτουργία των αεριοστρόβιλων ή των μηχανών εσωτερικής καύσης. Και οι 2 κινητήρες είναι συνδεδεμένοι με τον ελικοφόρο άξονα με συμπλέκτες και λειτουργούν ο καθένας ξεχωριστά κάθε φορά, σε αντίθεση με το σύστημα CODAG. Το πλεονέκτημα του CODOG, σε σχέση με το προηγούμενο, είναι ο απλούστερος συμπλέκτης, αλλά χρειάζεται είτε πιο ισχυρό, είτε πιο πολλούς αεριοστρόβιλους, για την ίδια μέγιστη ισχύ, έχοντας έτσι χειρότερη κατανάλωση καυσίμου. Επίσης χρησιμοποιείται σε πολεμικά πλοία.



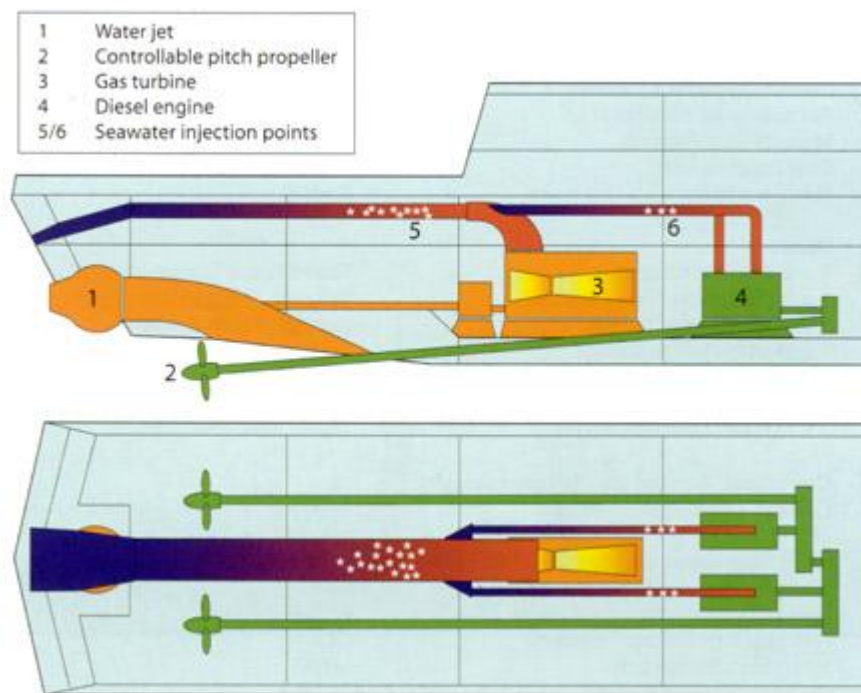
Σχήμα 2.6.2: Σύστημα CODOG

CODAS (Combined Diesel - electric and Steam).

Χρησιμοποιώντας ένα λέβητα στον οποίο εισάγεται θερμότητα από τον κύλινδρο και τα καυσαέρια μιας πετρελαιομηχανής, γίνεται παραγωγή ατμού σε ποσοστό ανάλογο με τη ροή του καυσίμου . Ο ατμός εγχέεται ξεχωριστά στον κύλινδρο κοντά στο άνω νεκρό σημείο , ο οποίος ενεργά τροποποιεί την καύση και την μετάκαυση. Ο λόγος της μάζας ατμού προς τη μάζα καυσίμου είναι κατά προτίμηση 1 : 0.1 - 3:0.1 , η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού προσεγγίζουν υψηλές τιμές ανάλογες των υλικών του κινητήρα. Αυτό το σύστημα προσαρμόζεται σε μεγάλες πετρελαιομηχανές και με μειώνει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές.

CODAG WARP (Combined Diesel and Gas – Water Jet and Refined Propeller)

Η ώση σε αυτό το σύστημα (Σχήμα 2.6.3) παρέχεται από πετρελαιομηχανές ενώ παράλληλα υπάρχει αεριοτουρμπίνα η οποία δημιουργεί έναν πίδακα νερού "water jet".



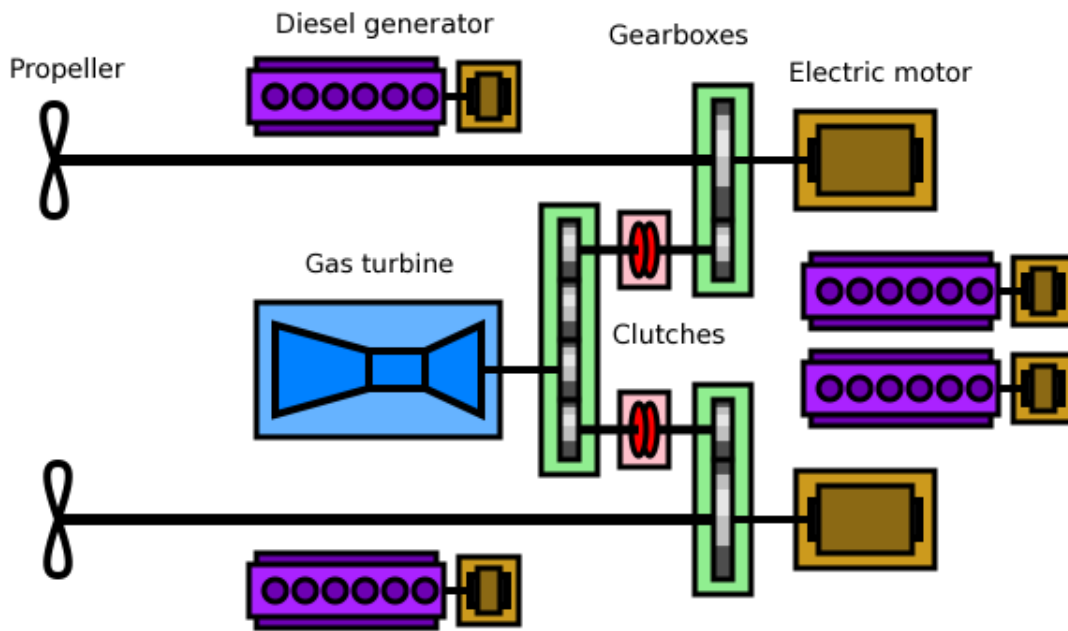
Σχήμα 2.6.3: Σύστημα CODAG WARP

CODAG - ELECTRIC (Combined Diesel and Gas – Electric)

Συνδυασμός στον οποίον και οι πετρελαιομηχανές και η αεριοτουρμπίνες περιστρέφουν γεννήτριες οι οποίες με την σειρά τους τροφοδοτούν ηλεκτρικές προπέλες.

CODLAG (Combined Diesel - electric and Gas, Σχήμα 2.6.4).

Ηλεκτρικά μοτέρ περιστρέφουν τις προπέλες και σε περίπτωση ανάγκης μεγαλύτερης ταχύτητας, μέσω κιβωτίου ταχυτήτων ο αεροστρόβιλος συμβάλει στην περιστροφή της προπέλας.



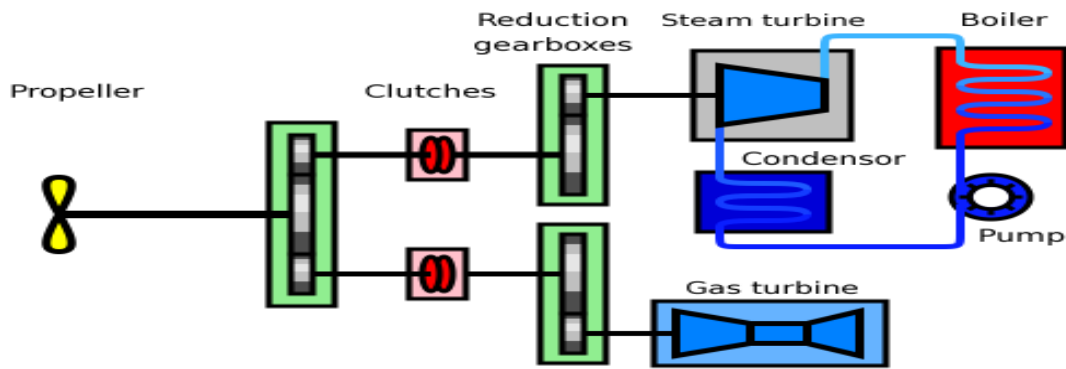
Σχήμα 2.6.4: Σύστημα CODLAG

CODAD (Combined Diesel and Diesel).

Είναι ο συνδυασμός δύο πετρελαιομηχανών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κίνηση μίας προπέλας. Οι πετρελαιομηχανές μπορούν να είναι ίδιας ισχύος ή διαφορετικής. Την δυνατότητα αυτή την επιτρέπει ένα κιβώτιο ταχυτήτων.

COSAG (Combined Steam and Gas, Σχήμα 2.6.5).

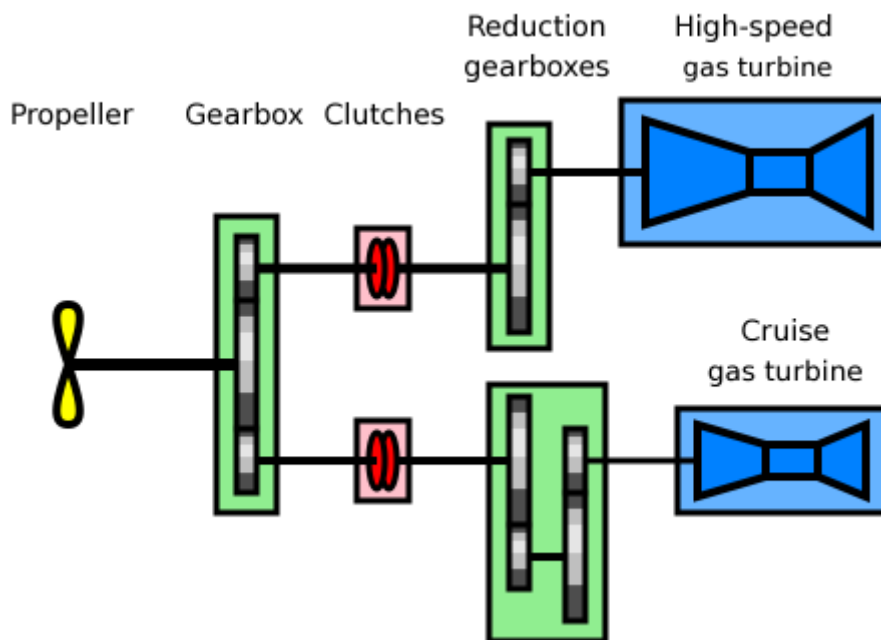
Συνδυασμός αεροστρόβιλου και ατμοστρόβιλου που τροφοδοτούν με την απαραίτητη ισχύ τον άξονα. Ένα κιβώτιο ταχυτήτων σε συνδυασμό με συμπλέκτη επιτρέπει στους στροβίλους να οδηγούν τον άξονα. Το σύστημα διακρίνεται για την αξιοπιστία του ατμοστροβίλου και τη γρήγορη επιτάχυνση και χρόνο εκκίνησης του φυσικού αερίου.



Σχήμα 2.6.5: Σύστημα COSAG

COGOG (Combined Gas or Gas, Σχήμα 2.6.6).

Συνδυασμός δύο αεριοστρόβιλων, ένας χαμηλής απόδοσης που λειτουργεί υπό φυσιολογικές συνθήκες κρουαζιέρας και ένας δεύτερος υψηλής απόδοσης που επιτρέπει μεγαλύτερες ταχύτητες. Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτό το σύστημα για κρουαζιέρες είναι διότι όταν ένας αεριοστρόβιλος δουλεύει στο 100% της ισχύς του έχει μεγαλύτερη απόδοση καυσίμου.



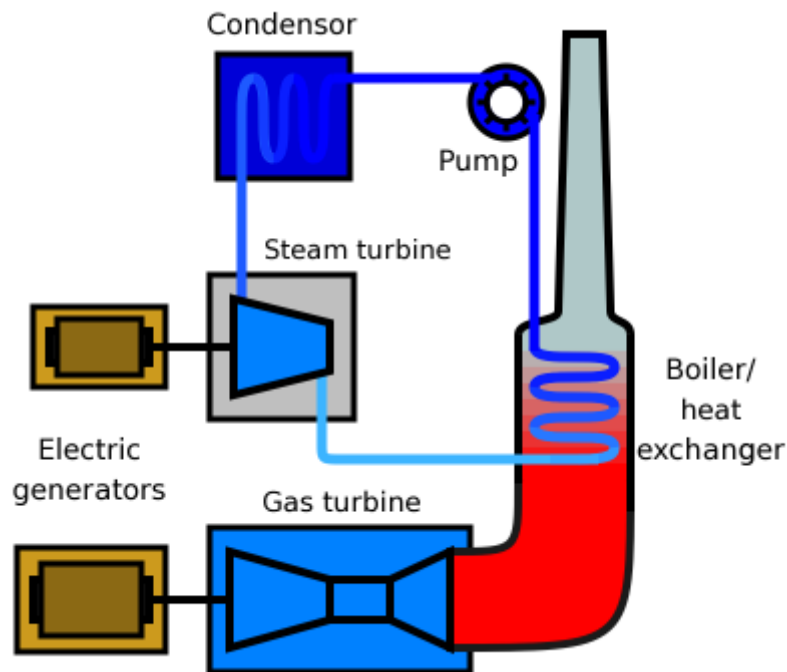
Σχήμα 2.6.6: Σύστημα COGOG

COGAG (Combined Gas and Gas) .

Συνδυασμός δύο αεριοστρόβιλων που συνδέονται σε ενιαίο άξονα με σύστημα ταχυτήτων και συμπλέκτη. Χρησιμοποιείται λόγω της μεγαλύτερης απόδοσης καυσίμου που έχουν οι αεριοστρόβιλοι κατά τη λειτουργία τους υπό πλήρες φορτίο.

COGAS (Combined Gas and Steam, Σχήμα 2.6.7).

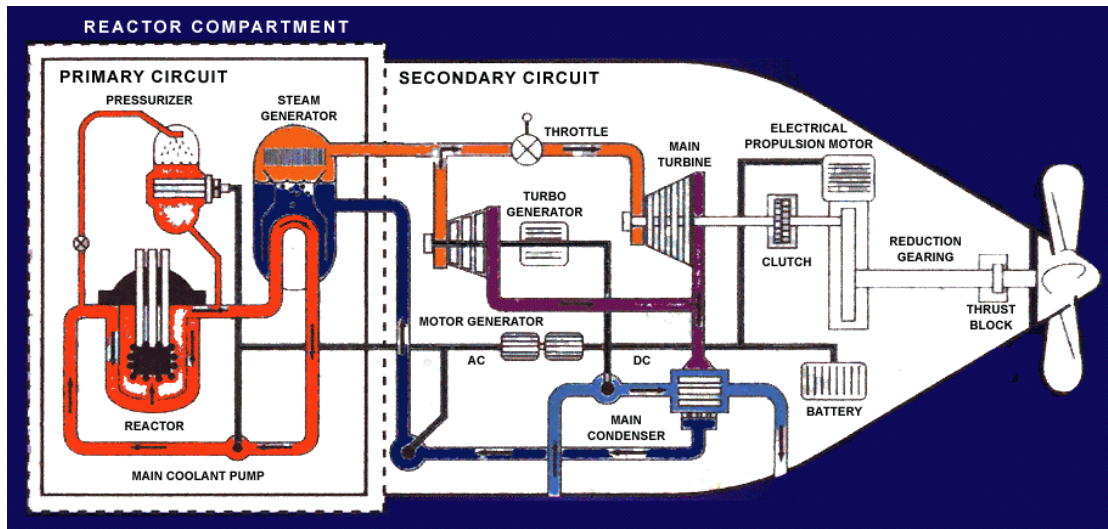
Συνδυασμός αεριοστρόβιλου με ατμοστρόβιλο. Ο ατμοστρόβιλος οδηγείται από τον ατμό που παράγεται χρησιμοποιώντας την εξάτμιση του αεριοστρόβιλου. Με αυτόν τον τρόπο μέρος της ενέργειας που θα χανόταν από τον αεριοστρόβιλο ανακτάται πετυχαίνοντας μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Τέτοιου είδους εργοστάσια παραγωγής συνδυασμένου κύκλου έχουν απόδοση μετατροπής πάνω από 58%.



Σχήμα 2.6.7: Σύστημα COGAS

CONAS (Combined Nuclear and Steam, Σχήμα 2.6.8).

Σύστημα πρόωσης με συνδυασμό πυρηνικού αντιδραστήρα και ατμοστρόβιλου. Συμπληρωματικά προς τον πυρηνικό αντιδραστήρα υπάρχουν δύο συμβατικοί λέβητες, που έχουν εγκατασταθεί ως εφεδρικοί σε περίπτωση βλάβης του αντιδραστήρα. Και οι δύο μαζί είναι ικανοί να οδηγήσουν δύο ατμοστρόβιλους ώστε να παράγουν 89MW ή 120.000 hp σε δύο άξονες.



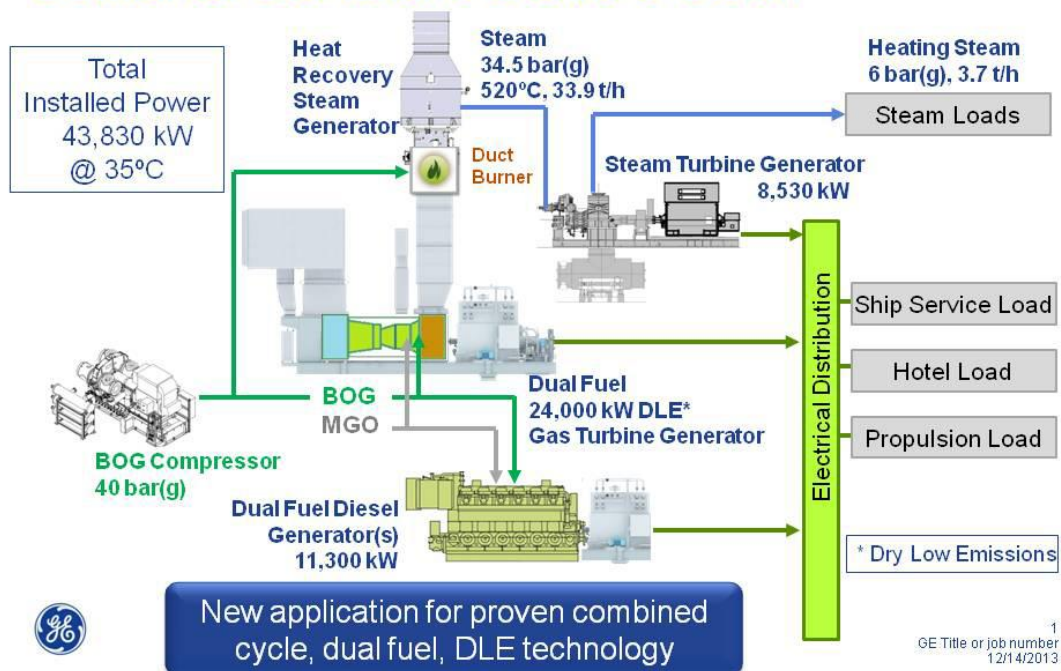
Σχήμα 2.6.8: Σύστημα CONAS

COGES (Combined Gas turbine and Steam Turbine integrated Electric drive system, Σχήμα 2.6.9)

Αν αντί οι στρόβιλοι να συνδέονται άμεσα με τον ελικοφόρο άξονα, χρησιμοποιηθεί στροβίλο – ηλεκτρική μετάδοση, τότε το σύστημα είναι γνωστό και ως COGES. Το σύστημα αυτό αποτελείται από συνδυασμό αεριοστρόβιλου και αμμοστρόβιλου και εκμεταλλεύεται την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων για την παραγωγή ατμού για τον αμμοστρόβιλο. Οι δύο κινητήρες κινούν ηλεκτροκινητήρα, που χρησιμοποιείται για την πρόωση του πλοίου, καθώς επίσης και για άλλες καταναλώσεις.

COGES System

COmBined Gas turbine Electric & Steam



Σχήμα 2.6.9: Σύστημα COGES

Παρακάτω παρατείνεται συγκριτικός πίνακας των συνδυασμών (Πίνακας 3.1)

ΣΥΣΤΗΜΑ	CODOG	CODAG	CODLAG	CODAD	COSAG	COGOG	COGAG	COGAS	CONAS
ΣΥΝΔΕΣΗ	Μηχ/κή	Μηχ/κή	Ηλεκ/Μηχ	Μηχ/κή	Μηχ/κή	Μηχ/κή	Μηχ/κή	Ηλεκ.	Μηχ/κή
ΧΡΗΣΗ	Οικ/Ταχ.	Ταχύτητα	Απόδοση	Οικονομ.	Απόδ/Οικ.	Απόδ/Οικ.	Απόδοση	Επίδοση	Ειδική
ΙΣΧΥΣ (MW)	16 ή 36	16 + 36	16 + 36	16 + 16	>80	36	>60	>70	>150
ΤΑΧΥΤΗΣ	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Μεγάλη	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
TN/24H	Μεγάλη	Υψηλή	Μεγάλη	Μέτρια	Μεγάλη	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια
ΚΟΣΤΟΣ	Μέτριο	Μέτριο	Υψηλό	Χαμηλό	Υψηλό	Μέτριο	Μέτριο	Υψηλό	Τεράστιο
ΒΑΡΟΣ	Μεσαίο	Μεσαίο	Μεσαίο	Μεγάλο	Μεγάλο	Μικρό	Μικρό	Μεγάλο	Μεγάλο

Πίνακας 3.1

Κεφάλαιο 3

Συνεργασία Μηχανής-Έλικας

3.1 Αξονικό σύστημα

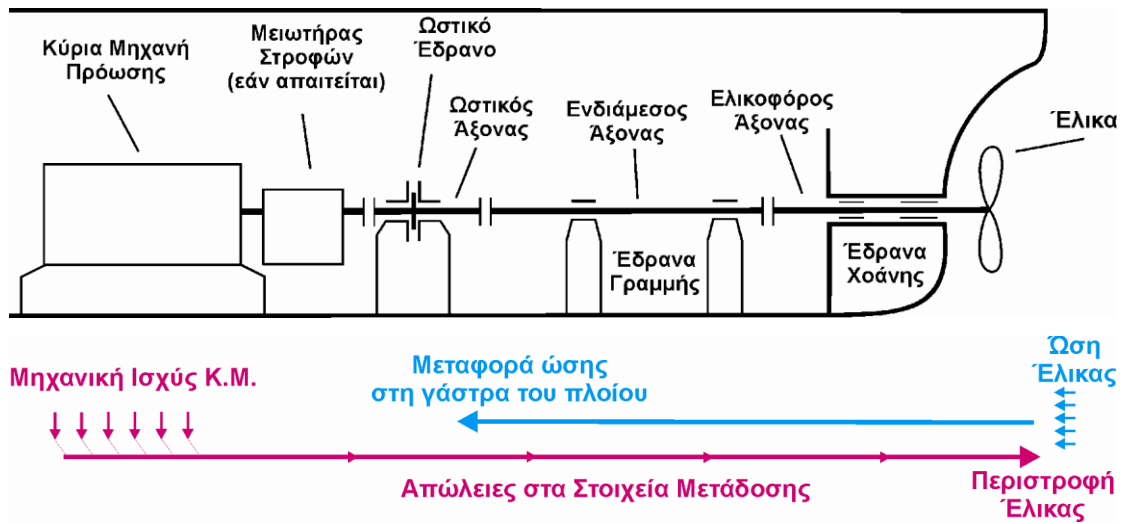
Το αξονικό σύστημα ενός πλοίου μεταφέρει την ισχύ από την παραγωγή (Κύρια Μηχανή Πρόωσης), στην κατανάλωση (έλικα του πλοίου). Επιπροσθέτως, μεταφέρει την παραγόμενη από την έλικα ώση στο σημείο παραλαβής της από το πλοίο (ωστικό έδρανο). Το Σχ. 3.1.1 παρουσιάζει τυπική διάταξη αξονικού συστήματος και απεικονίζει τα επιμέρους στοιχεία καθώς και τη μετάδοση ισχύος που λαμβάνει χώρα.

Το αξονικό σύστημα του πλοίου περιλαμβάνει τον ελικοφόρο άξονα (στην άκρη του οποίου βρίσκεται η έλικα), και τον ενδιάμεσο άξονα (ή τους ενδιάμεσους άξονες) ο οποίος συνδέει τον ελικοφόρο με τον στροφαλοφόρο άξονα της Κύριας Μηχανής. Σε πλοία με 2-Χ κινητήρες Diesel, ο ενδιάμεσος άξονας συνδέεται απευθείας στον στροφαλοφόρο του κινητήρα. Σε πλοία με 4-Χ κινητήρες Diesel, υπάρχει η ανάγκη μείωσης των στροφών της κύριας μηχανής, επομένως παρεμβάλλεται κατάλληλος μειωτήρας στροφών. Το αξονικό σύστημα καλείται να λειτουργήσει μεταφέροντας την ισχύ από την κύρια μηχανή στην έλικα, συγχρόνως δε, πρέπει να είναι κατάλληλα εδρασμένο ώστε να παραλαμβάνονται τα στατικά και δυναμικά φορτία λειτουργίας (βάρος έλικας, βάρη αξόνων, συνδέσμων, δυνάμεις κατά τη λειτουργία, κ.λπ.).

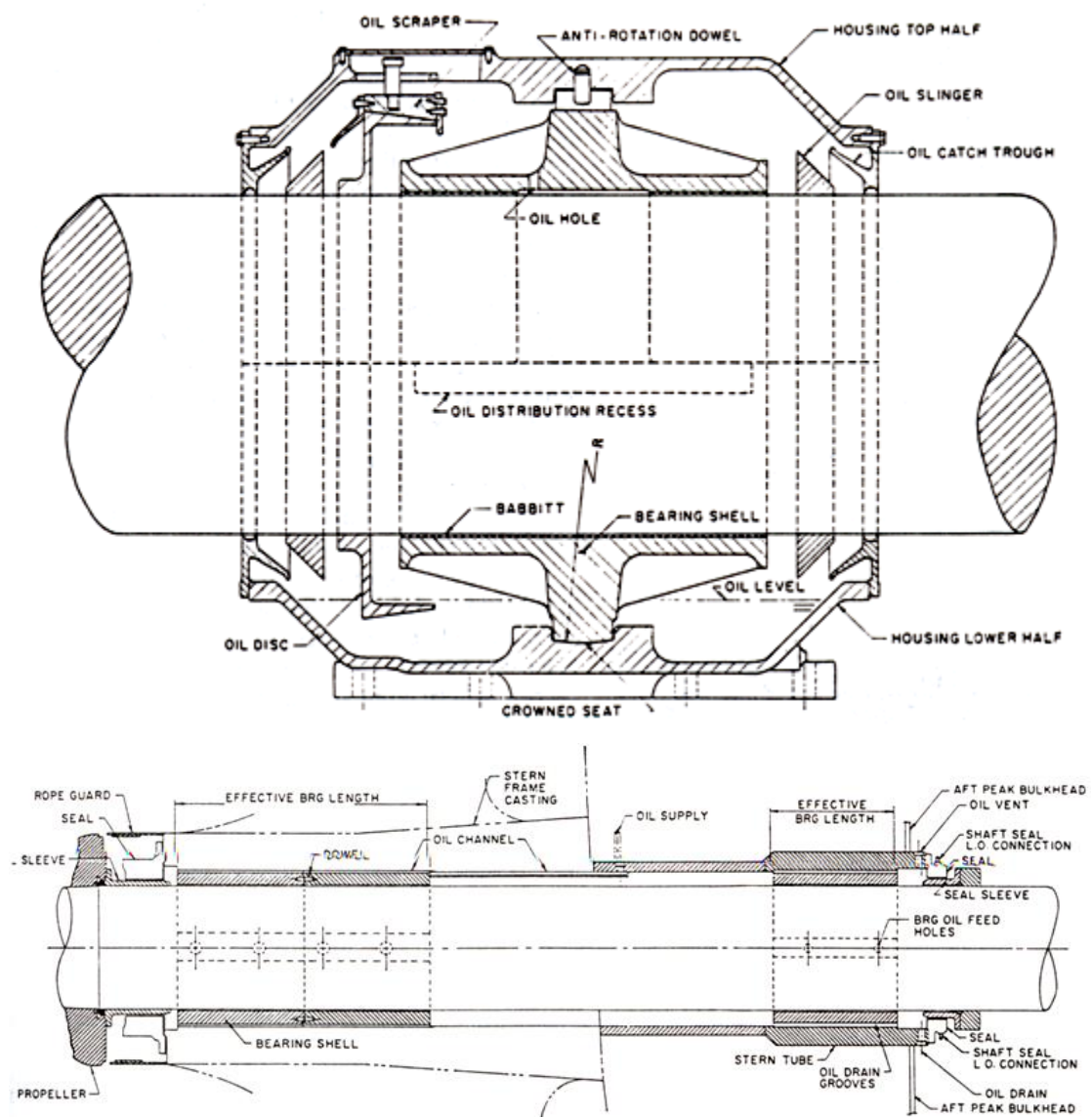
Ο ενδιάμεσος άξονας εδράζεται σε ένα ή περισσότερα έδρανα ολίσθησης, τα οποία καλούνται έδρανα γραμμής. Ο ελικοφόρος άξονας εδράζεται συνήθως σε δύο έδρανα ολίσθησης στη χοάνη του πλοίου. Το πρυμναίο έδρανο χοάνης έχει συνήθως μεγάλο λόγο μήκους προς διάμετρο ώστε να παραλαμβάνει τα μεγάλα φορτία που δημιουργούνται λόγω της ύπαρξης της έλικας σε πρόβολο. Το Σχ. 3.1.2α αποτελεί τυπικό αυτορυθμιζόμενο έδρανο ολίσθησης με δίσκους λίπανσης, ενώ στο Σχ. 3.1.2β παρουσιάζεται τυπική διάταξη εδράνων χοάνης.

ο στροφαλοφορος αξονας του κινητηρα diesel (Σχ. 3.1.3) εδράζεται στα έδρανα βάσεως εκατέρωθεν κάθε στροφάλου.

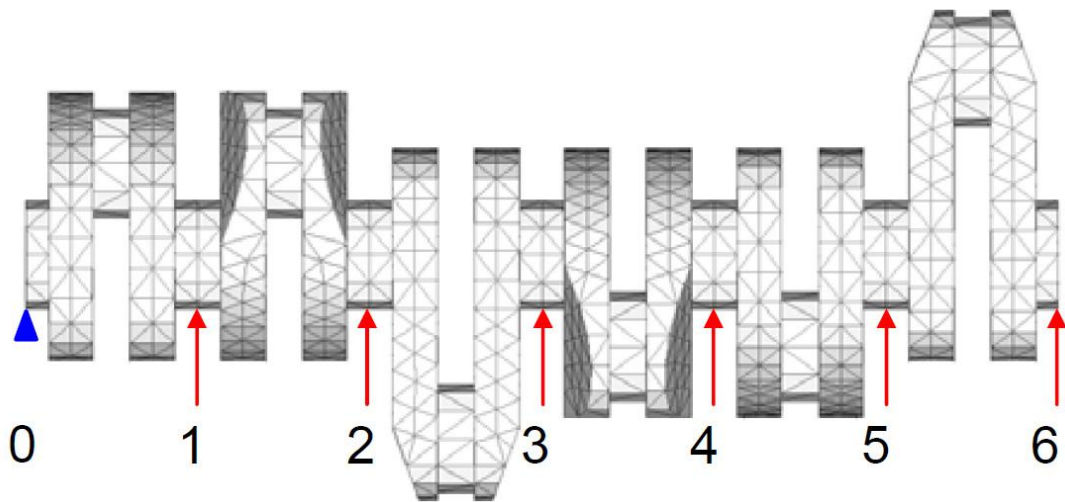
Στη συναρμολογημένη κατάσταση, το αξονικό σύστημα εδράζεται σε μεγάλο αριθμό εδράνων και αποτελεί τυπικό υπερστατικό φορέα. Για τη συγκρότηση πλάνου ευθυγράμμισης είναι αναγκαία η ανάλυση της στατικής ισορροπίας του.



Σχήμα 3.1.1 Τυπικό αξονικό σύστημα πλοίου. Μεταφορά ισχύος από την κύρια μηχανή στην έλικα.



Σχήμα 3.1.2: (α) Τυπικό αυτορυθμιζόμενο έδρανο γραμμής. (β) Έδρανα χοάνης



Σχήμα 3.1.3: Έδραση στροφαλοφόρου άξονα κινητήρα Diesel

3.2 Επιμέρους τμήματα

3.2.1 Σύνδεσμοι

Όταν χρησιμοποιείται μειωτήρας μεταξύ κινητήρα και ελικοφόρου άξονα, συνήθως παρεμβάλλεται κάποιου είδους ελαστικός σύνδεσμος μετά τον κινητήρα και πριν το μειωτήρα. ο σύνδεσμος επιτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

Λειτουργεί ως αποσβεστήρας εξομαλύνοντας τις απότομες μεταβολές της ροπής του κινητήρα ώστε να προστατευτεί ο μειωτήρας στροφών.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παχύς συλλέκτης συνδέσεως – αποσυνδέσεως κατά την διάρκεια των ελιγμών.

Λειτουργεί ως σύστημα ασφάλειας της μέγιστης ροπής που μεταφέρεται περιορίζοντας την κάτω από ένα μέγιστο όριο.

Υπάρχουν 4 είδη συνδέσμων: Ηλεκτρομαγνητικοί, υδραυλικοί, πνευματικοί και μηχανικοί. Θα αναλυθούν οι ηλεκτρομαγνητικοί και οι υδραυλικοί.

- **Ηλεκτρομαγνητικοί**

Η βασική αρχή λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητικών συνδέσμων βασίζεται στη μεταφορά ροπής και ισχύος μέσω ενός ισχυρού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

στην περίπτωση μιας ηλεκτρογεννήτριας, ο ρήτορας περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους του ακίνητου στατήρα, μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια περιστροφής σε ηλεκτρική ισχύ.

Στην περίπτωση του ηλεκτρομαγνητικού συνδέσμου, δεν υπάρχει ακίνητος στατήρας, αλλά η αντίστοιχη περιμετρική διάταξη μαγνητών μπορεί να περιστρέφεται και αυτή γύρω από άξονα περιστροφής, ομοαξονικό με τον άξονα περιστροφής του κεντρικού μαγνήτη.

Μέσω του μαγνητικού πεδίου, που αναπτύσσεται μεταξύ των κεντρικών και των περιφερειακών μαγνητών, μεταφέρεται μηχανική ισχύς από το κινητήριο άξονα στον άξονα με το φορτίο.

Τα δυο συγκροτήματα ηλεκτρομαγνητών ονομάζονται πρωτεύον και δευτερεύον.

το πρωτεύον συνδέεται συνήθως με το μειωτήρα στροφών, ώστε να διατηρεί όσο το δυνατόν πιο σταθερή ταχύτητα περιστροφής, αντιδρώντας ομαλά στις απότομες μεταβολές των στροφών του κινητήρα.

Το πρωτεύον συγκρότημα είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης πολλαπλών πόλων, ο οποίος τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα από την εγκατάσταση του πλοίου.

Το δευτερεύον συνδέεται συνήθως στον κινητήρα, ώστε να μην εμποδίζεται η ταχεία αυξομείωση των στροφών του.

Οι ηλεκτρομαγνήτες του δευτερεύον διαρρέονται από ρεύμα εξ επαγωγής, που επάγεται από το πρωτεύον.

Διακρίνονται δυο είδη ηλεκτρομαγνητικών συνδέσμων:

Στο πρώτο είδος το πρωτεύον βρίσκεται στο εσωτερικό και το δευτερεύον περιφερειακά.

Στο δεύτερο είδος το δευτερεύον βρίσκεται κεντρικά και το πρωτεύον περιφερειακά.

μεταξύ του 1^{ov} και του 2^{ov} υπάρχει ακτινικό διάκενο της τάξεως των 5 έως 10 mm.

Κατά τη διαρροή ρεύματος από το 1^{ov} δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές περνούν μέσα από τους ηλεκτρομαγνήτες του 2^{ov}.

Με τη σχετική κίνηση του δευτερεύοντος ως προς το πρωτεύον, αναπτύσσονται ρεύματα εξ επαγωγής χαμηλής συχνότητας στα τυλίγματα των αντίστοιχών ηλεκτρομαγνητών του 2^{ov}, τα όποια διεγείρουν τους αντίστοιχους ηλεκτρομαγνήτες.

η αλληλεπίδραση των δυο ηλεκτρομαγνητών προκαλεί κινητήρια στυπτική ροπή στο πρωτεύον και την αντίστοιχη ανθισταμένη στο δευτερεύον.

Για να υπάρχει η μεταβίβαση της ροπής πρέπει να εμφανίζεται σχετική κίνηση μεταξύ του 1^{ov} και του 2^{ov}, η λεγόμενη ολίσθηση. η ολίσθηση είναι αποτέλεσμα της μεταβιβάσεως μικρότερης ισχύος στην άτρακτο του μειωτήρα από την ισχύ που εισέρχεται στο σύνδεσμο, λόγω των απωλειών ισχύος που εμφανίζονται.

Ο ηλεκτρομαγνητικός σύνδεσμος έχει την ικανότητα να αποσβήνει τις απότομες μεταβολές της ροπής του κινητήρα. Το αντίστοιχο συμβαίνει με την αυξομείωση του φορτίου από την πλευρά της

έλικας. Η αύξηση της ολίσθησης συμβαίνει μόνο μέχρι μια μέγιστη τιμή που καθορίζεται από τη σχεδίαση των ηλεκτρομαγνητών.

σε περίπτωση αύξησης της ολίσθησης, η μεταφερόμενη ροπή μειώνεται και το σύστημα επιβραδύνει προστατεύοντας το από υπερφόρτιση.

Η ύπαρξη απωλειών ισχύος εμφανίζεται ως απώλεια θερμότητας.

Ο σύνδεσμος είναι αερόψυκτος, με την κυκλοφορία του αέρα ή με τη χρήση ανεμιστήρα.

- **Υδραυλικοί**

Η αρχή της υδροδυναμικής μετάδοσης της κινήσεως βασίζεται στο συνδυασμό μιας φυγόκεντρης υδροδυναμικής αντλίας και ενός υδροστρόβιλου ακτινικής ροής, σε κοινό κέλυφος. Η πτερωτή της αντλίας ονομάζεται πρωτεύον. Η πτερωτή του στροβίλου ονομάζεται δευτερεύον.

Η πτερωτή της αντλίας περιστρέφεται από την κινητήρια άτρακτο της μηχανής και η πτερωτή του στροβίλου περιστρέφει το φορτίο – μειωτήρα.

Η αντλία προσδίδει ενεργεία στο ρευστό, η ενεργεία απορροφάται από το στρόβιλο και μεταδίδεται ως μηχανική ενέργεια.

Ο βαθμός απόδοσης τους είναι της τάξεως του 97%, με το υπόλοιπο 3% να αποτελεί τις μηχανικές απώλειες τους. Αυτό το τμήμα της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, λόγω των τριβών του ρευστού με τα περύγια. για το λόγο αυτό υπάρχει κυκλώματα ψύξεως για το υγρό του υδραυλικού συνδέσμου. Αποτελείται από δυο πτερωτές προσαρμοσμένες σε κοινό κέλυφος, ενώ απουσιάζουν τα σταθερά περύγια.

Το ρευστό εξέρχεται από το 1^ο με υψηλή ενέργεια και εισέρχεται στο 2^ο. εξερχόμενο από το 2^ο εισέρχεται ξανά στο 1^ο.

Η ροπή που αναπτύσσεται στις δυο πτερωτές είναι ίση, αλλά η ταχύτητα περιστροφής του 2^ο είναι μικρότερη του 1^ο, ως αποτέλεσμα των απωλειών ισχύος λόγω τριβών.

Η μικρή διάφορα στην ταχύτητα περιστροφής (ολίσθηση) μεταξύ των δυο πτερωτών είναι η βάση για τη λειτουργία του υδραυλικού συνδέσμου. Η ολίσθηση (μείωση των στροφών) είναι της τάξεως του 2 ως 4%.

Το υδραυλικό υγρό είναι συνήθως λάδι, με τη δεξαμενή επανακυκλοφορίας του να συνδέεται είτε στο σύστημα λιπάνσεως του μειωτήρα είτε στο σύστημα λιπάνσεως της κύριας μηχανής.

3.2.2 Μειωτήρες

Οι μειωτήρες στροφών (Σχήμα 3.2.1) χρησιμοποιούνται για τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής του άξονα του κινητήρα σε ταχύτητα κατάλληλη για τη μέγιστη απόδοση της έλικας του πλοίου.

Χρησιμοποιούν ζεύγη οδοντωτών τροχών, με διαφορετικό αριθμό δοντιών και διαφορετική διάμετρο για κάθε τροχό. Η μείωση των στροφών συνοδεύεται από αύξηση της ροπής ώστε η μεταφερόμενη ισχύς να είναι σταθερή.

Οι μειωτήρες στροφών στις μεσόστροφες μηχανές φέρουν μια βαθμίδα μειώσεως, οι οδοντώσεις είναι απλές ή διπλές ελικοειδείς. Ο οδοντωτός τροχός με το μικρό αριθμό οδόντων και μικρή διάμετρο συνδέεται από την πλευρά της μηχανής, ενώ ο οδοντωτός τροχός με τη μεγάλη διάμετρο και το μεγάλο αριθμό οδόντων συνδέεται από τη πλευρά του ελικοφόρου άξονα. Ο λόγος μειώσεως των στροφών σπάνια υπερβαίνει το 4:1, ενώ συνήθως βρίσκεται μεταξύ του 2:1 και του 2,5:1.

Οι οδοντωτοί τροχοί κατασκευάζονται από χάλυβες υψηλής ποιότητας, οι οποίοι υποβάλλονται σε επιφανειακή σκλήρυνση.

Η επιφανειακή σκληρότητα επιτρέπει τη διατήρηση καλής επαφής, μείωση των απωλειών λόγω τριβών, ομαλή λειτουργία του μειωτήρα και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Σε περίπτωση συνδέσεως δυο κινητήρων σε κοινό ελικοφόρο άξονα, δυο κινητήριοι τροχοί τοποθετούνται εκατέρωθεν αντιδιαμετρικά ενός κεντρικού οδοντωτού τροχού.

Στο μειωτήρα συνδέονται βοηθητικά μηχανήματα, όπως ηλεκτρογεννήτρια ή αντλίες φορτίου, και πάνω στους μειωτήρες συνδέεται και ο κρίκος της μηχανής.

Οι οδοντωτοί τροχοί περικλείονται εντός του κελύφους, όπου διαμορφώνεται για την τοποθέτηση των εδράνων στήριξης των αξόνων. Το κέλυφος είναι διαιρούμενο, μέσα στον όποιο τοποθετείται και ο ωστικός τριβέας, ο οποίος παραλαμβάνει την αξονική δύναμη από την έλικα.

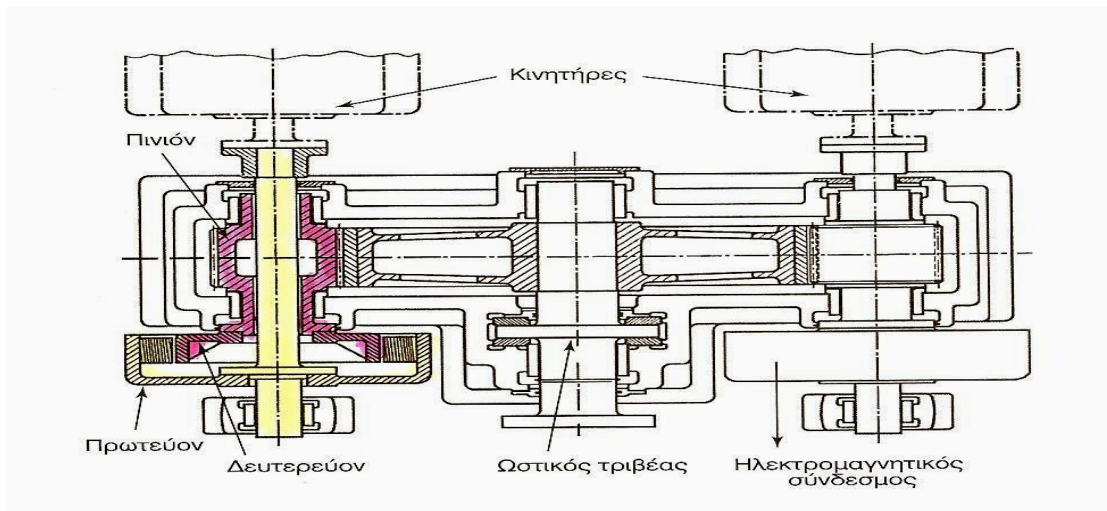
Η λίπανση των οδοντωτών τροχών πραγματοποιείται με χρήση ειδικού λιπαντικού.

Χρησιμοποιείται ψυγείο λαδιού για την απαγωγή της θερμότητας που αναπτύσσεται από την τριβή. Η είσοδος του λιπαντικού στο κιβώτιο του μειωτήρα γίνεται από το κατώτερο σημείο του και η έξοδος από το ανώτερο.

Οι μειωτήρες καταναλώνουν περίπου το 1% της προσδιδόμενης ισχύος.

Στα συστήματα προώσεως με μειωτήρα στροφών και έλικα σταθερού βήματος, όταν η μηχανή δεν αναστρέφει, ενσωματώνεται ζεύγος οδοντωτών τροχών αναστροφής στο μειωτήρα (ρεβέρσα), η κίνηση πρόσω ή ανάποδα πραγματοποιείται με την επιλογή του αντιστοίχου συμπλέκτη.

Σε εγκατάσταση με έλικα σταθερού βήματος, όταν το πλοίο αναμένεται να λειτουργεί για σημαντικά χρονικά διαστήματα σε δυο ή περισσότερες περιοχές στροφών και ισχύος, χρησιμοποιούνται μειωτήρες με δυο λόγους μείωσης.



Σχήμα 3.2.1: Μειωτήρας

3.2.3 Ωστικός τριβέας

Ο ωστικός τριβέας (Σχήμα 3.2.2) παραλαμβάνει την ωστική δύναμη της έλικας και τη μεταφέρει στο σκάφος.

Η κατασκευή της γάστρας στο συγκεκριμένο σημείο είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη.

Σε εγκαταστάσεις πολλαπλών αξόνων, απαιτείται ένα ωστικό έδρανο ανά άξονα.

Σε άμεση κίνηση της έλικας, το ωστικό έδρανο είναι συνήθως ενσωματωμένο στον κινητήρα (στο πρυμναίο άκρο του). Σε μερικές εγκαταστάσεις νηζελοηλεκτροκινήσεως, το ωστικό έδρανο τοποθετείται πρίμα του προωστήριου ηλεκτροκινητήρα.

Ο ωστικός τριβέας στις περιπτώσεις παρουσίας μειωτήρα στροφών, βρίσκεται εντός του κελύφους του μειωτήρα και λιπαίνεται από το λιπαντικό του μειωτήρα. καταναλώνει περίπου το 0,5% της προσδιδόμενης ισχύος, την οποία μετατρέπει σε θερμότητα.

Το ιδιαίτερο τμήμα της ατράκτου, στο οποίο προσαρμόζεται ο ωστικός τριβέας ονομάζεται ωστική άτρακτος. Στο τμήμα αυτό της ατράκτου διαμορφώνονται επίπεδοι δακτύλιοι κάθετοι στον άξονα.

Οι δακτύλιοι αυτοί περιστρέφονται εντός εξωτερικού πλαισίου, το οποίο φέρει αντίστοιχους δακτυλιοειδείς αύλακες, εντός των οποίων ολισθαίνουν οι δακτύλιοι της ωστικής ατράκτου. Το αξονικό διάκενο μεταξύ των δακτυλίων και των τοιχωμάτων των αυλακών είναι πολύ μικρό, τόσο όσο χρειάζεται για την παρεμβολή του λιπαντικού.

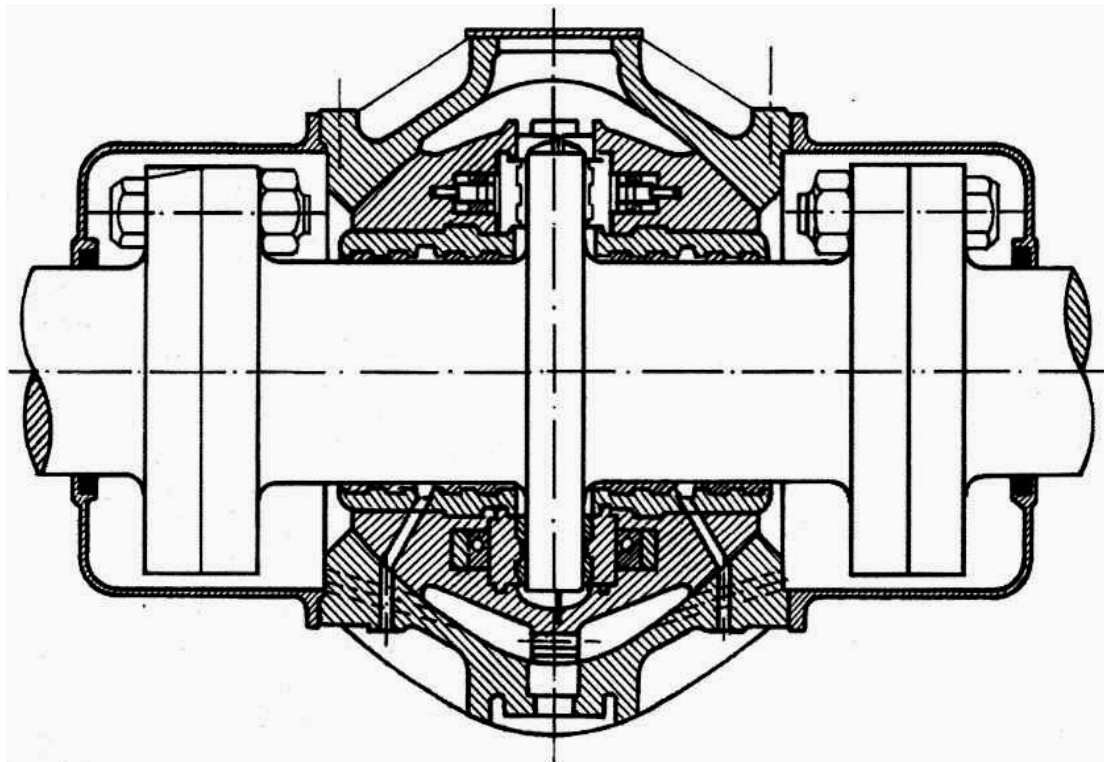
Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις δεν χρησιμοποιούνται πολλαπλοί δακτύλιοι, αλλά ένας μοναδικός δακτύλιος ωστικού τριβέα.

Η αποβολή της αναπτυσσόμενης θερμότητας γίνεται με κυκλοφορία νερού μέσα από κατάλληλες κοιλότητες του κελύφους του.

Οι επιφάνειες επαφής των δακτυλίων και των αυλακών φέρουν επιστρώσεις από ειδικά μέταλλα (αντίστοιχα με εκείνα, στα κύρια έδρανα της μηχανής).

Ένας διαφορετικός τύπος ωστικού τριβέα, είναι το έδρανο τύπου *Mitchell*.

Στο συγκεκριμένο έδρανο χρησιμοποιείται μοναδικός ωστικός δακτύλιος, ο οποίος περιστρέφεται σε κατάλληλη αύλακα. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις δεν χρησιμοποιούνται πολλαπλοί δακτύλιοι, αλλά ένας μοναδικός δακτύλιος ωστικού τριβέα.



Σχήμα 3.2.2: Ωστικός τριβέας

3.2.4 Ελικοφόρος άτρακτος

Η ελικοφόρος άτρακτος είναι το τμήμα μετά την ωστική άτρακτο, μέχρι την έλικα του πλοίου. Φέρει κωνική διαμόρφωση για την προσαρμογή της έλικας, η οποία φέρει αντίστοιχη εσωτερική κωνική διαμόρφωση (φωλιά).

Καταλήγει σε κατάλληλο σπείρωμα για τη σύσφιγξη της έλικας πάνω στον κώνο της ατράκτου, με τη χρήση ανεξάρτητου περικοχλίου. Η φορά σύσφιγξεως του περικοχλίου είναι αντίθετη από τη

φορά περιστροφής της έλικας κατά την πρόσω κίνηση. εάν το μήκος της ατράκτου είναι αρκετά μεγάλο (λόγω θέσεως των μηχανών), στηρίζεται σε ενδιάμεσα έδρανα ολισθήσεως (έδρανα άξονα), τα οποία είναι αυτολιπαινόμενα.

Τα έδρανα πρέπει συνεχώς να ελέγχονται για πιθανή υπερθέρμανση και για μεταβολή των διακένων τους, ενώ πρέπει να ελέγχεται και η ευθυγράμμιση της ελικοφόρου ατράκτου.

3.2.5 Χοάνη, στυπιοθλίπτης, ακροπρυμαία έδρανα

Η χοάνη είναι το τμήμα εκείνο της γάστρας του πλοίου, από το οποίο εξέρχεται η ελικοφόρος άτρακτος. Εντός της χοάνης τοποθετείται ο στυπιοθλίπτης, ο οποίος εμποδίζει την εισροή υδάτων από το διάκενο μεταξύ χοάνης και ατράκτου.

Ο στυπιοθλίπτης αποτελείται από δακτυλίους, οι οποίοι φθιρόμενοι αντικαθίστανται, και λιπαίνεται από ανεξάρτητο σύστημα λιπάνσεως με παχύρρευστο λιπαντικό. Από την πτώση της στάθμης του λιπαντικού στην αντίστοιχη δεξαμενή φαίνεται ο βαθμός φθοράς των δακτυλίων του στυπιοθλίπτη και η ανάγκη αντικαταστάσεως τους.

Τα ακροπρυμαία έδρανα χρησιμοποιούνται για την τελική έδραση της ελικοφόρου ατράκτου, κοντά στο σημείο που ενώνεται με την έλικα. Στα πλοία που κινούνται από μοναδική έλικα τοποθετούνται εντός της χοάνης, ενώ σε πλοία με περισσότερες από μια έλικες τοποθετούνται σε θύλακες εκτός της γάστρας του πλοίου, οι οποίοι στηρίζονται στη γάστρα με κατακόρυφα στηρίγματα ή στηρίγματα τύπου V.

Επίλογος - Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπός μας ήταν να διερευνηθούν από μηχανολογικής πλευράς, οι έλικες, οι προωστήριες μηχανές και η συνεργασία τους, αναλύοντας τα επιμέρους τμήματα τους. Συμπεραίνουμε κυρίως, ότι η σωστή επιλογή όλων των αναφερθέντων, είναι υψίστης σημασίας, και ότι με το κόστος αυτών των κατασκευών, την παρούσα οικονομική κατάσταση, και τα ολοένα και αυστηρότερα περιβαλλοντολογικά μέτρα για τις εκπομπές καυσαερίων, η επίτευξη του υψηλότερου δυνατού βαθμού απόδοσης, γίνεται δραματικά αναγκαία.

Λεπτομερέστερα, στο κεφάλαιο 1, συμπεραίνουμε ότι:

- Η έλικα, διαμορφώθηκε στην τωρινή της μορφή, για την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων.
- Οι διάφοροι τύποι έλικας, δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες πρόωσης, απόδοσης, ταχύτητας, και ελιγμών.
- Υπάρχουν πολλοί συντελεστές που επηρεάζουν την έλικα και τον βαθμό απόδοσής της.
- Ο βαθμός απόδοσης της έλικας, καθορίζεται από την διάμετρο και τον αριθμό πτερυγίων.
- Η διάμετρος της έλικας και ο λόγος διαμέτρου/βήματος, καθορίζουν την απαιτούμενη ισχύ.
- Ο λόγος ολίσθησης αναδεικνύει παραμέτρους, όπως ρεύματα, άνεμο, ρύπανση γάστρας, κ.α.

Στο κεφάλαιο 2, συμπεραίνουμε ότι:

- Τον 20^ο αιώνα, έγιναν άλματα προόδου, στο θέμα των προωστήριων μηχανών.
- Η επιλογή προωστήριας μηχανής, εξαρτάται από διάφορες απαιτήσεις.
- Ανάλογα με τις προαναφερόμενες απαιτήσεις, υπάρχουν πολλοί τύποι προωστήριων μηχανών.
- Η χρήση συνδυασμένου κύκλου, έχει τρομερά οφέλη, πάντα ανάλογα με τον σκοπό χρήσης.

Στο κεφάλαιο 3, συμπεραίνουμε ότι:

- Η μετάδοση της ισχύος, από την μηχανή προς την έλικα, γίνεται μέσω αξονικού συστήματος.
- Χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι, για να εξομαλύνονται οι απότομες μεταβολές της ροπής της μηχανής, για την προστασία του μειωτήρα.

- Ο μειωτήρας επιτρέπει την σύνδεση της έλικας με γρηγορότερες μηχανές, και μπορεί να λειτουργήσει και ως ρεβέρσα, δηλαδή να αναστρέψει την φορά της έλικας, σε περίπτωση που δεν μπορεί να αναποδίσει η μηχανή.
- Ο ωστικός τριβέας, παραλαμβάνει την ωστική δύναμη της έλικας και την παραδίδει στο κύτος του σκάφους, δημιουργώντας έτσι την πλεύση.
- Η ελικοφόρος άτρακτος παρεμβάλλει ανάμεσα ωστικού τριβέα και έλικας, και μέσα σε αυτήν προσαρμόζεται η έλικα.
- Η χοάνη περιέχει τον στυπειοθλίπτη, ο οποίος εμποδίζει την εισροή υδάτων στο μηχανοστάσιο.
- Τα ακροπρυμαία έδρανα, χρησιμοποιούνται για την τελική έδραση της ελικοφόρου ατράκτου.

Βιβλιογραφία

1. Ν.Π. Κυρτάτος, Καθηγητής Ε.Μ.Π, *Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίου*, Αθήνα 2007
2. Στυλιανή Ρισσάκη, *Η Χρήση των Αεριοστροβίλων ως Μέσο Πρόωσης στην Εμπορική Ναυτιλία*, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2010
3. Φαντί Σαάντ, *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ε' Εξαμήνου*, ΑΕΝ Μακεδονίας
4. Διονύσιος Κυραγέλου, *Διερεύνηση του Τρόπου Εξοικονόμησης Ενέργειας Πλοίων Αναψυχής «Κρουαζιερόπλοια»*, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2011
5. Μιχαήλ Νικήτας, *Το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πολεμικό Πλοίο και η Οικονομικοτεχνική Προσιτότητα Κατασκευής του*, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007
6. Χρήστος Παπαδόπουλος, *Ευθυγράμμιση Αξονικού Συστήματος Πλοίου*, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009
7. Γεώργιος Παντελής, *Μοντελοποίηση Ρυθμού Φθοράς και Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Ωστικών Εδράνων με Υδροφοβικές Ιδιότητες*, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2013
8. Wikipedia, *Marine Propulsion*, 2009

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1: Έλικες	6
1.1 Γενικά για την έλικα.....	6
1.1.1 Ιστορική αναδρομή.....	6
1.1.2 Τύποι ελίκων.....	7
1.2 Συνθήκες ροής γύρω από την έλικα	9
1.2.1 Συντελεστής ποσοστού όμορου w	9
1.3 Βαθμοί απόδοσης	11
1.3.1 Βαθμός απόδοσης γάστρας.....	11
1.3.2 Βαθμός απόδοσης έλικας η_o , σε ελεύθερη ροή.....	11
1.4 Διαστάσεις έλικας.....	12
1.4.1 Διάμετρος έλικας d	12
1.4.2 Αριθμός πτερυγίων έλικας.....	12
1.4.3 Επίδραση της διαμέτρου και του λόγου βήματος/διαμέτρου της έλικας στον βαθμό απόδοσης	13
1.5 Συνθήκες λειτουργίας έλικας	14
1.5.1 Λόγος ολίσθησης S	14
Κεφάλαιο 2: Μηχανές & Πρόωση	15
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	15
2.2 Επιλογή κύριας μηχανής πρόωσης.....	16
2.3 Τύποι προωστήριων μηχανών	16
2.4 Κατηγορίες ντιζελοκινητήρων	18
2.5 Χρήση συστήματος συνδυασμένου κύκλου.....	19

2.6 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου	20
Κεφάλαιο 3: Συνεργασία Μηχανής - Έλικας.....	28
3.1 Αξονικό σύστημα	28
3.2 Επιμέρους τμήματα	30
3.2.1 Σύνδεσμοι	30
3.2.2 Μειωτήρες	33
3.2.3 Ωστικός τριβέας.....	34
3.2.4 Ελικοφόρος άξονας	35
3.2.5 Χοάνη, στυπιοθλίπτης, ακροπρυμναία έδρανα.....	36
Επίλογος - Συμπεράσματα	37
Βιβλιογραφία.....	39