

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΥΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΜΑ:

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑΣ – ΠΡΩΘΗΣΗ/ ΑΛΛΑΓΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ – BOW THRUSTERS**

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΑΔΕΞΗ ΗΛΙΑ

Α.Γ.Μ:3581

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότης	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ : ΤΣΟΥΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν πόνημα ασχολείται με τα συστήματα πηδαλιουχίας των πλοίων, με την προώθηση και την αλλαγή κατεύθυνσης, καθώς και με τους bow thrusters.

Αρχικά αναπτύσσεται η πηδαλιουχία. Θα γίνει μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του πηδαλίου και στην πορεία θα αναφερθούν τρία είδη πηδαλίου, το ατμοκίνητο πηδάλιο, το ηλεκτρικό πηδάλιο και το ηλεκτρουδραυλικό πηδάλιο. Οι υπόλοιπες υποενότητες αναφέρονται στο σχήμα και τη λειτουργία του πηδαλίου καθώς και στη θεωρία πηδαλιούχησης.

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται η πρόωση του πλοίου, δηλαδή η αρχή της ναυσιπλοΐας, της πλοήγησης και του ελέγχου κατεύθυνσης των πλοίων αλλά και τα συστήματα προώθησης του πλοίου.

Επιπροσθέτως, στο εκτενέστερο κεφάλαιο θα αναλυθεί ένας συγκεκριμένος τύπος πρόωσης, ο πιο δημοφιλής, η ηλεκτρική πρόωση. Αρχικά θα γίνει μια ιστορική αναδρομή της ηλεκτροπρόωσης και μια περιγραφή του ηλεκτρικού δικτύου πλοίων, με αναφορά στα συστήματα παραγωγής ενέργειας και στους καταναλωτές ενέργειας. Επίσης ασχολείται με τη σχεδίαση του ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης, τους ηλεκτρικούς κινητήρες και τη συνεργασία έλικας και κινητήρα, συγκεκριμένα με την έλικα σταθερού βήματος και την έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος. Έπειτα θα γίνει αναφορά στα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης, δηλαδή στην αξονική πρόωση (shaft propulsion), στους αζιμουθιακούς προωστήρες (azimuth thrusters), στο αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion) και στο σύστημα πρόωσης Voith Schneider. Κλείνοντας θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης.

Καταληκτικά της παρούσας πτυχιακής γίνεται αναφορά στους bow thrusters. Θα ξεκινά με την ιστορική εξέλιξη του απωθητή πλώρας και στη συνέχεια θα αναπτύσσεται η χρησιμότητα του απωθητή πλώρας, ο τρόπος λειτουργίας του και οι τύποι πρωραίας έλικας.

Στη συγκεκριμένη εργασία, αξιοποιώντας ποιοτικά της πηγές πληροφοριών, γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των μέσων πηδαλιουχίας των πλοίων και ανάλυση σε κάθε μέσον καθώς και παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε συστήματος. Μέσω της αναφοράς στην ιστορική εξέλιξη, καταλήγει στα σημερινά μέσα και στη σημαντική υποβοήθηση των καινούργιων αυτών εργαλείων στη ναυσιπλοΐα.

Table of Contents

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	5
1.1 Ιστορική εξέλιξη του πηδαλίου	5
1.2 Τα διάφορα είδη πηδαλίου	7
1.2.1 ΤΟ ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΟ ΠΗΔΑΛΙΟ (Steam Driven Steering Gear).....	7
1.2.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ (Electric Steering Gear).....	9
1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ	12
1.3 Σχήμα πηδαλίου.....	12
1.4 Λειτουργία του πηδαλίου	14
1.5 Θεωρία πηδαλιούχησης.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΡΟΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	21
2.1 Αρχή της Ναυσιπλοΐας, της Πλοήγησης και του Ελέγχου Κατεύθυνσης πλοίων	21
2.2 Σύστημα προώθησης πλοίου	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ	24
3.1 Ηλεκτρική πρόωση πλωτών μέσων μεταφοράς	24
3.2 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροπρόωσης	26
3.3 Περιγραφή του ηλεκτρικού δικτύου πλοίων	27
3.3.1 Συστήματα παραγωγής ενέργειας.....	27
3.3.2 Καταναλωτές Ενέργειας.....	29
3.4 Σχεδίαση Ηλεκτρικού Συστήματος Πρόωσης.....	30
3.5 Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης	31
3.6 Συνεργασία έλικα και κινητήρα	32
3.6.1 Έλικα σταθερού βήματος	33
3.6.2 Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος	33
3.7 Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης	34
3.7.1 Αξονική πρόωση (shaft propulsion)	34
3.7.2 Αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters)	34
3.7.3 Αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion)	35
3.7.4 Σύστημα πρόωσης Voith Schneider	36
3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης	37
3.8.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	37
3.8.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – BOW THRUSTERS.....	40
4.1 Ιστορία του αρωθητή πλώρας	40
4.2 Χρησιμότητα του αρωθητή πλώρας (bow thruster)	41

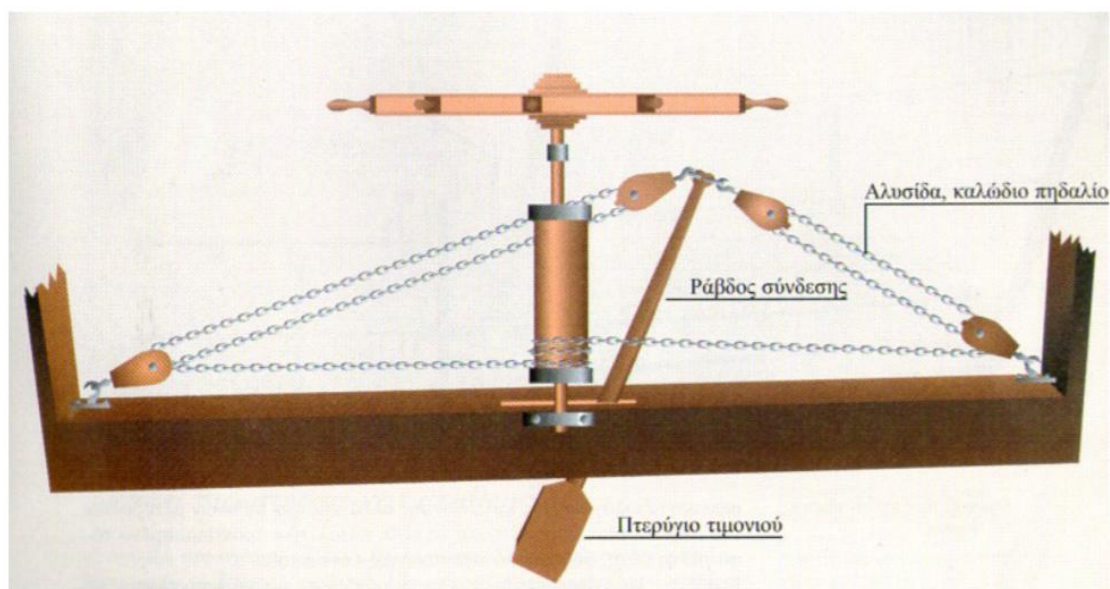
4.3 Τρόπος λειτουργίας	41
4.4 Τύποι προαίας έλικας.....	42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

1.1 Ιστορική εξέλιξη του πηδαλίου

Κατά τον 18ο αιώνα έγινε ιδιαίτερα επιτακτική η ανάγκη για τα επιβλητικά πλοία γραμμής να διατηρήσουν αναλλοίωτη την ικανότητα πυρός ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Σε αυτό, πέρα από την πρόοδο στην εξάρτιση και στη διαμόρφωση των σκαφών, αποφασιστική αποδείχθηκε η εισαγωγή του τιμονιού με ρόδα (οιακοστρόφιο) και αλυσίδα (ή καλώδιο) πηδαλίου.

Άποψη ενός συστήματος για το χειρισμό του τιμονιού (χώρος μηχανισμού πηδαλιουχίας) με οιακοστρόφιο και αλυσίδες πηδαλίου.

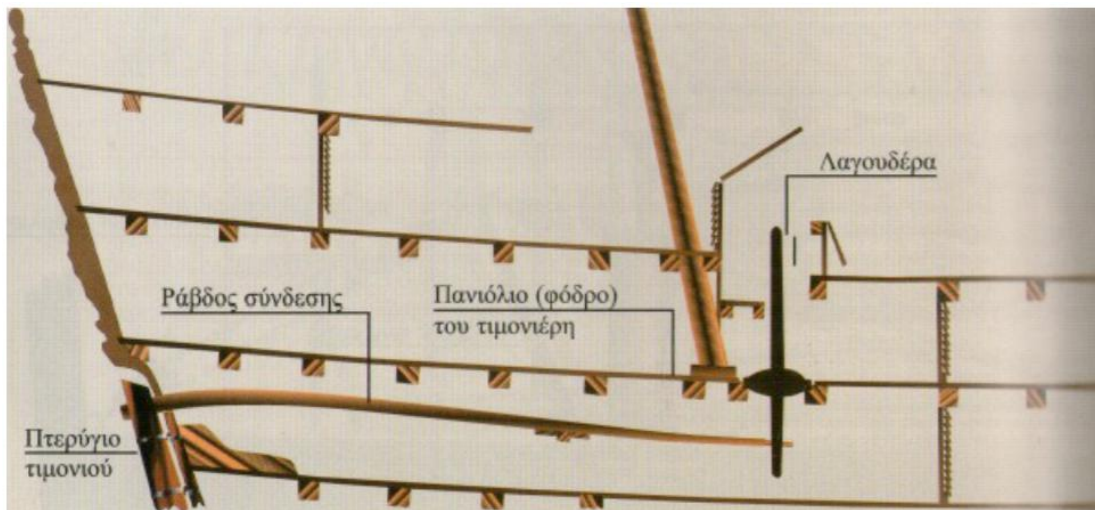


ΕΙΚΟΝΑ 1 – ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Τα πλεονεκτήματα του νέου συστήματος (το οποίο στο σύνολο του ονομάζεται μηχανισμός πηδαλιουχίας και που ουσιαστικά χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα) αποδείχθηκαν σημαντικά. Η παλιά εύκαμπτη λαγούδρα επέτρεπε να περιστρέφουν το πτερύγιο του τιμονιού των μεγάλων πλοίων μόνο 15 μοίρες από κάθε πλευρά. Επίσης, σε περίπτωση κακοκαιρίας, έπρεπε να το αποσυναρμολογήσουν και να το αντικαταστήσουν με ένα ειδικό εξάρτημα ώστε να καταφέρουν να κυβερνήσουν το πλοίο.

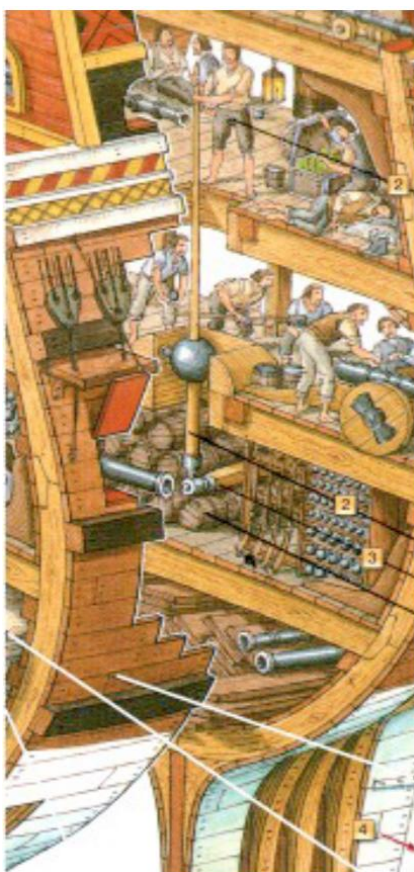
Αντίθετα, ο τροχός, περιστρέφοντας το πτερύγιο διαμέσου ενός συστήματος μετάδοσης με τροχαλίες που λειτουργούσε κάτω από το κατάστρωμα, διέυρνε κατά πολύ την ικανότητα περιστροφής και διευκόλυνε τη δυνατότητα ελιγμών και την ακρίβεια της διακυβέρνησης του πλοίου, χαρακτηριστικά που ήταν πραγματικά πολύτιμα στα πλοία που γίνονταν ολοένα και μεγαλύτερα.

Με αυτό το σύστημα, τα πλοία άρχισαν να ανταποκρίνονται πολύ περισσότερο στο τιμόνι. Για τους τιμονιέρηδες έγινε έτσι ευκολότερο να διατηρούν τη γραμμή μάχης με την απόλυτη ακρίβεια που απαιτούσαν οι ναύαρχοι.



ΕΙΚΟΝΑ 2 – ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Στα μεταγενέστερα πλεούμενα, όπως μπορείτε να δείτε από μια διατομή του γαλονιού του 16^{ου} Αιώνα, ο τιμονιέρης (1) μετακινούσε δεξιά - αριστερά ένα κατακόρυφο κοντάρι με αντίβαρο (2) που προσαρμοζόταν με σιδερένιο σύνδεσμο σε μια οριζόντια λαγουδέρα (3) που με τη σειρά της μετέδιδε την κίνηση στο πηδάλιο.(4).



ΕΙΚΟΝΑ 3 – ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Αργότερα μπήκε το γνωστό στρόγγυλο τιμόνι που είναι εγκατεστημένο στη γέφυρα του πλοίου.

Έπειτα μαζί με την εμφάνιση και εξέλιξη των μηχανών εμφανίστηκαν τα ατμοκίνητα πηδάλια τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Μετέπειτα εμφανίστηκαν τα υδραυλικά, τα ηλεκτροϋδραυλικά και τα ηλεκτρικά με χρονολογική σειρά. Η λειτουργία τους καθώς και η σημασία τους στην ναυτιλία αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

1.2 Τα διάφορα είδη πηδαλίου

Το μηχανήμα πηδαλίου τοποθετείται είτε στο μηχανοστάσιο είτε, συνηθέστερα, στο πρυμναίο μέρος του πλοίου κοντά στον άξονα του πηδαλίου, σε ιδιαίτερο χώρο που ονομάζεται διαμέρισμα πηδαλίου. Η θέση πηδαλιουχίας εγκαθίσταται στη γέφυρα του πλοίου.

Σε μεγάλα πλοία υπάρχουν δυο ή περισσότερες θέσεις πηδαλιουχίας, συνήθως μία στην άνω και μία στην κάτω γέφυρα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά, άλλη στο κύριο κατάστρωμα, στην πρύμνη του πλοίου, και άλλη με επιτόπιο χειρισμό του μηχανήματος από το ίδιο το διαμέρισμα του πηδαλίου. Σε όλες τις εγκαταστάσεις των πηδαλίων υπάρχει διάταξη, με την οποία αυτά είναι δυνατό να κινηθούν χειροκίνητα με τη βοήθεια συσπαστών, σε περίπτωση βλάβης του μηχανήματος.

Όπου χρησιμοποιούνται υδραυλικά συστήματα για τον έλεγχο και την κίνηση του μηχανήματος πηδαλίου, χρησιμοποιείται ως εργαζόμενη ουσία ειδικό λεπτόρρευστο λάδι ή καμιά φορά μίγμα αποσταγμένου νερού και γλυκερίνης σε αναλογία γλυκερίνης 25% περίπου.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να καταβάλλεται κατά τη λειτουργία τους, ώστε να μην υπάρχουν διαρροές στο κύκλωμα είτε της μεταδόσεως από τη γέφυρα προς το μηχανήμα είτε των αντλιών του μηχανήματος. Διαφορετικά το πηδάλιο γίνεται νωθρό και δεν θα υπάρχει τέλεια ανταπόκριση της γωνίας που θα βλέπει ο πηδαλιούχος στον ενδείκτη της γέφυρας και της πραγματικής γωνίας, στην οποία θα βρίσκεται το πηδάλιο. Μεγάλη επίσης προσοχή πρέπει να δίνεται στον καλό εξαερισμό των υδραυλικών δικτύων, γιατί, αν υπάρχουν φυσαλίδες αέρα μέσα σ' αυτά, πάλι θα υπάρχουν απώλειες κατά τη μετάδοση.

1.2.1 ΤΟ ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΟ ΠΗΔΑΛΙΟ (Steam Driven Steering Gear)

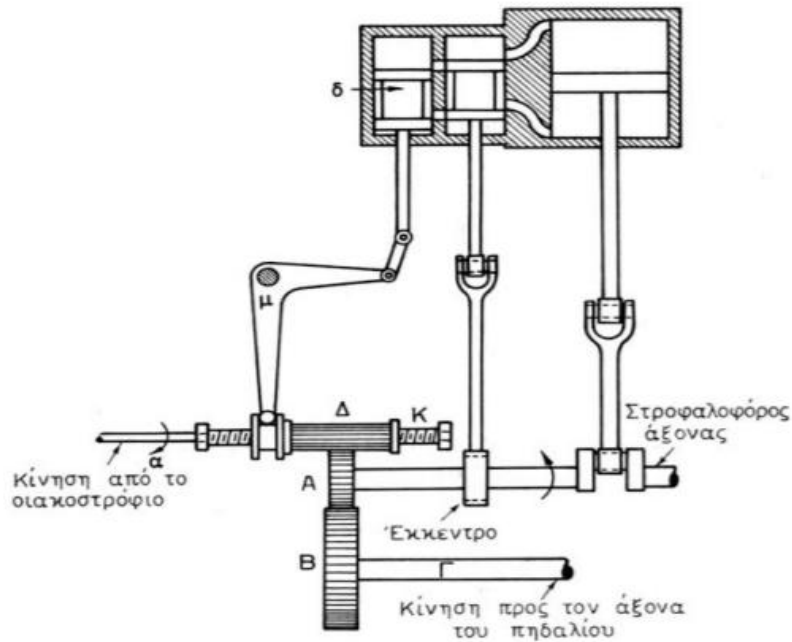
Αυτό είναι κατά κανόνα δικύλινδρη ατμομηχανή κατακόρυφου ή οριζόντιου τύπου με γωνία στροφών 90°, για να είναι πάντοτε εξασφαλισμένη η εκκίνησή του. Οι σύρτες του είναι χωρίς επικαλύψεις ή με ελάχιστη επικάλυψη, ώστε να είναι πλήρης σχεδόν ή εισαγωγή του ατμού.

Εκτός από τους κύριους ατμοσύρτες του, ανά ένας για κάθε κύλινδρο, διαθέτει επίσης και άλλο ατμοσύρτη, το λεγόμενο ρυθμιστικό ή διαφορικό σύρτη (control valve). Με αυτόν επιτυγχάνεται η εκκίνηση, η λειτουργία, η κράτηση και η αναστροφή της

φοράς περιστροφής του, ανάλογα με τις κινήσεις που εκτελεί ο πηδαλιούχος με το οιακοστρόφιο (τιμόνι). Ο ρυθμιστικός αυτός σύρτης είναι το κύριο χαρακτηριστικό αλλά και το σπουδαιότερο εξάρτημα του ατμοκίνητου μηχανήματος.

Η κίνηση του πηδαλιούχου μεταδίδεται στο ρυθμιστικό σύρτη είτε μηχανικά είτε υδραυλικά. Η παραπέρα κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα του μηχανήματος μεταδίδεται (είτε μέσω αλυσίδων και τυμπάνων είτε μέσω συστήματος οδοντωτού τροχού και οδοντωτού τόξου ή συστήματος παραλληλογράμμου) προς τον άξονα περιστροφής του τιμονιού, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Ας εξετάσουμε πρώτα την αρχή, στην οποία βασίζεται η λειτουργία του μηχανήματος, παρακολουθώντας το σχήμα 1.1 παρατηρούμε ότι η κίνηση του άξονα α από τον πηδαλιούχο μεταβιβάζεται μέσω του αγκωνωτού μοχλού μ προς το διαφορικό σύρτη δ . Όταν αυτός βρίσκεται στη μέση του θέσης, δεν επιτρέπει καμιά διέλευση ατμού προς τον ατμοσύρτη του κυλίνδρου. Όταν όμως μετακινηθεί από τη θέση αυτή διανέμει τον ατμό έτσι, ώστε να κινηθεί ο στροφαλοφόρος άξονας του μηχανήματος. Αυτός μέσω του τροχού A κινεί τον οδοντωτό τροχό B , που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνησή του στον άξονα Γ , από τον οποίο κινείται το πηδάλιο.

Ας θεωρήσουμε τώρα ότι ο πηδαλιούχος στρέφει το πηδάλιο κατά 1° προς τα δεξιά. Αυτό σημαίνει ότι επιθυμεί να εργασθεί το μηχανήμα και να στρέψει το πηδάλιο κατά 1° δεξιά και να σταματήσει εκεί. Με την κίνηση του πηδαλιούχου ο διαφορικός σύρτης α κινείται από τη μέση θέση του σε μία άλλη θέση και θέτει σε λειτουργία το μηχανήμα, το οποίο όμως θα κινείται συνεχώς και θα στρέφει επίσης συνεχώς το πηδάλιο, εκτός αν υπάρχει κάποιο άλλο σύστημα που να επαναφέρει τον διαφορικό σύρτη στη μέση θέση του και να σταματά την παραπέρα στροφή του πηδαλίου. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του χιτωνίου Δ και του κοχλίου K . Ο στροφαλοφόρος άξονας δηλαδή του μηχανήματος στρέφει το χιτώνιο Δ τόσο, όσο το έστρεψε ο πηδαλιούχος, αλλά με αντίθετη φορά περιστροφής, όπως δείχνουν τα βέλη, και έτσι με την ελάχιστη ή διαφορική κίνηση που εκτελεί ο πηδαλιούχος στο διαφορικό σύρτη, το ίδιο το μηχανήμα τον επαναφέρει στη μέση του θέσης. Γι' αυτό και ο σύρτης αυτός ονομάζεται διαφορικός. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα αυτό επαναφοράς του διαφορικού σύρτη στη μέση του θέσης αποτελείται από αριθμό κατάλληλα διαταγμένων μοχλών, με την κίνηση των οποίων επιτυγχάνεται η επαναφορά αυτή.



ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

1.2.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ (Electric Steering Gear)

Τα ηλεκτρικά πηδάλια χρησιμοποιούνται στα πλοία, όταν αυτά διαθέτουν ηλεκτρική ισχύ μόνο για την πηδαλιούχηση του σκάφους.

Σ' αυτά η αρχή λειτουργίας και τα κυκλώματα ελέγχου παρουσιάζουν σημαντικές μεταξύ τους διαφορές, ώστε δεν είναι δυνατό να περιγραφούν όλα εδώ, δεδομένου άλλωστε ότι η πλήρης σπουδή και ανάλυση αυτών αποτελεί αντικείμενο άλλου βιβλίου. Θα περιορισθούμε λοιπόν στη σύντομη διαγραμματική περιγραφή του περισσότερο σε χρήση συστήματος ηλεκτρικού πηδαλίου κατά Ward-Leonard.

Ηλεκτρικό πηδάλιο Donkin -Scott κατά το σύστημα Ward-Leonard .

α) Περιγραφή

Αυτό αποτελείται :

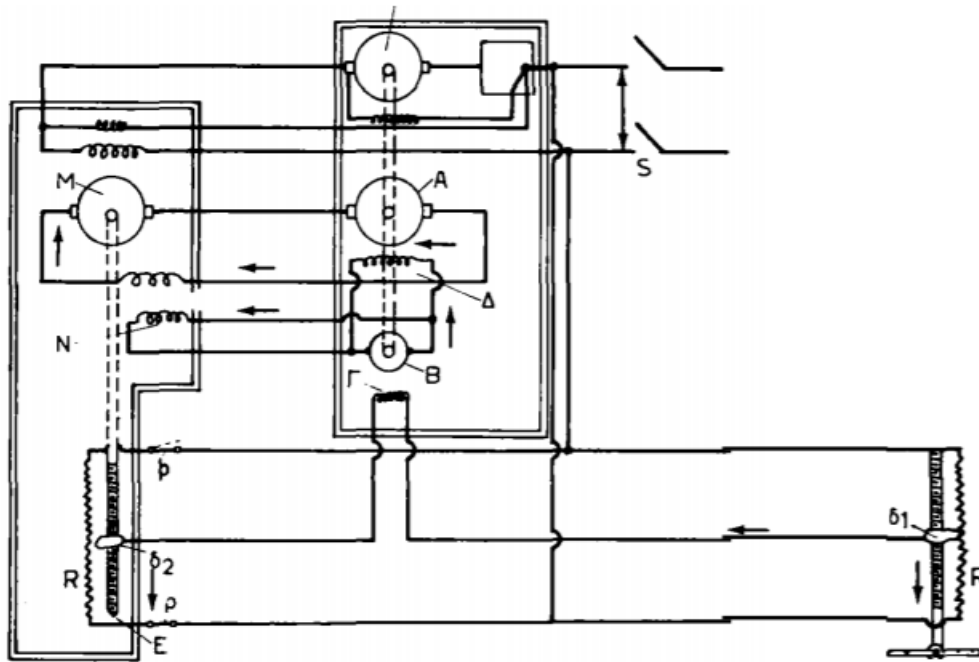
α) Από τη γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τον κινητήρα της.

β) Τον κινητήρα του πηδαλίου .

γ) Το παραλληλόγραμμα με τους οδοντωτούς τροχούς μεταδόσεως κινήσεως προς αυτό.

δ) Δυο ρεοστάτες

ε) το οιακοστρόφιο.



ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Ο κινητήρας του πηδαλίου (συνδέεται μέσω οδοντωτών τροχών με το πηδάλιο) δεν τροφοδοτείται αμέσως από την τροφοδότηση του πλοίου αλλά μέσω ιδιαίτερης γεννήτριας. Αυτή αποτελείται γενικά από ζεύγος κινητήρα- γεννήτριας που βρίσκεται στο διαμέρισμα πηδαλίου. Ο κινητήρας του ζεύγους τροφοδοτείται από την τάση του πλοίου. Η γεννήτρια μπορεί να παράγει οποιαδήποτε τάση (από 0 έως μέγιστη θετική και από 0 έως μέγιστη αρνητική), με την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας στροφής του πηδαλίου.

Στις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ γεννήτριας και κινητήρα πηδαλίου δεν παρεμβάλλονται διακόπτες. Η τάση της γεννήτριας εξαρτάται από την προς τα ΔΕ ή ΑΡ κίνηση του οιακοστροφίου. Όπως αναφέρεται παρακάτω, υπάρχουν δυο όμοιοι ρεοστάτες (ή μεταβλητές αντιστάσεις) και δυο άξονες με σπείρωμα. Ο ένας άξονας συνδέεται με το οιακοστρόφιο και ο άλλος μέσω μειωτήρα οδοντωτών τροχών συνδέεται μηχανικά με τον κινητήρα του πηδαλίου. Σε κάθε άξονα υπάρχει περικόχλιο, που φέρει επάνω στην αντίσταση ολισθαίνουσα επαφή (δρομέα) και κατάλληλο δείκτη που δείχνει τη γωνία στροφής πηδαλίου επάνω σε κλίμακα που υποδιαιρείται σε μοίρες.

Οι δυο ρεοστάτες συνδέονται ηλεκτρικά σε γέφυρα Wheatstone. Ρεύμα μικρής τιμής ρέει διαρκώς μέσω των ρεοστατών αλλά, εφόσον οι ολισθαίνουσες επαφές (δρομείς) βρίσκονται στην αντίστοιχη θέση, π.χ. το οιακοστρόφιο και 0° πηδάλιο, η διέγερση δεν διαρρέετε υπό ρεύμα.

Αν το οιακοστρόφιο στραφεί, τότε θα μετακινήσει τη μία επαφή κατά τη μία ή την άλλη διεύθυνση, ρεύμα θα κυκλοφορήσει αντίστοιχα στη διέγερση. Έτσι διεγείρεται η γεννήτρια και αρχίζει να παρέχει ρεύμα στον κινητήρα στροφής του πηδαλίου. Αυτός στρέφει το πηδάλιο και φέρει την ολισθαίνουσα επαφή του ρεοστάτη σε τέτοια θέση, ώστε, όταν δημιουργηθεί ανταπόκριση γωνίας στροφής πηδαλίου με τη γωνία

που δόθηκε στο οιακοστρόφιο, να σταματά η διέλευση ρεύματος μέσω της διεγέρσεως της διεγέρτριας. Τότε η γεννήτρια δεν παράγει πια τάση και ο κινητήρας σταματά.

Τα κύρια τμήματα του ηλεκτρικού μηχανισμού στο σύστημα Ward-Leonard είναι τα παρακάτω.

α) Κύριος κινητήρας M , που στρέφει το πηδάλιο μέσω οδοντωτών τροχών. Είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρική πέδη (φρένο) N για την κράτηση του πηδαλίου, όταν ο κινητήρας δεν στρέφεται.

β) Ζεύγος A κινητήρα-γεννήτριας συνεχούς λειτουργίας, που τροφοδοτείται από την τάση του πλοίου και παρέχει μέσω της γεννήτριας μεταβλητή τάση, ανάλογη της στροφής οιακοστροφίου, στον κινητήρα M στροφής του πηδαλίου.

γ) Διεγέρτρια, δηλαδή μικρή γεννήτρια B που παρέχει ρεύμα στο πεδίο διεγέρσεως της γεννήτριας.

δ) Δυο ρεοστάτες R για τη ρύθμιση από απόσταση του ρεύματος διεγέρσεως της διεγέρτριας.

β) Λειτουργία.

Όταν κλείσει ο διακόπτης S τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας K , που στρέφει συγχρόνως τη γεννήτρια A και τη διεγέρτριά της B . Η γεννήτρια A δεν παράγει τάση, δεδομένου ότι η διέγερσή της δεν διαρρέετε από ρεύμα. Άρα ο κινητήρας στροφής πηδαλίου M δεν στρέφεται. Για να στραφεί το πηδάλιο στρέψαμε το οιακοστρόφιο Π κι έτσι μετακινείται η επαφή $\delta 1$ κατά τη φορά του βέλους, έστω μέχρι α •

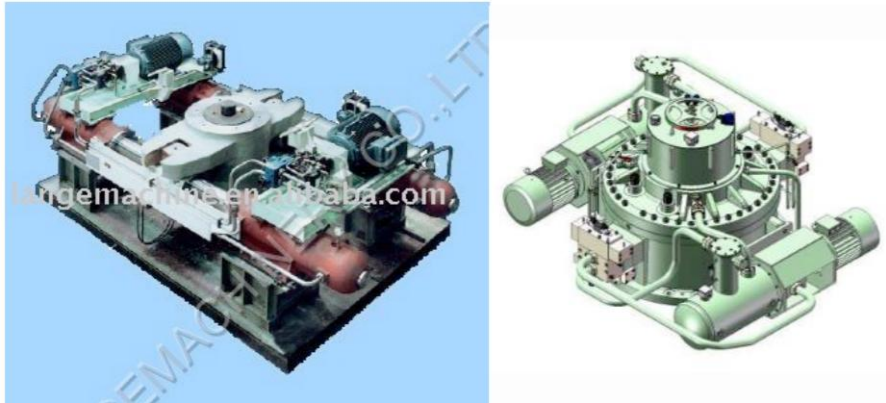
Η ηλεκτρική ισορροπία του συστήματος καταστρέφεται και ρεύμα κατά τη φορά του βέλους θα κυκλοφορήσει μέσω της διεγέρσεως της διεγέρτριας B . Η διεγέρτρια B παράγει αμέσως τάση, και ρεύμα κυκλοφορεί μέσω του πηνίου N , που ενεργοποιούμενο απελευθερώνει τη μαγνητική πέδη. Άλλο ρεύμα διαρρέει τη διέγερση Δ της κύριας γεννήτριας και αυτή παράγει τάση, που είναι ανάλογη της στροφής του οιακοστροφίου και τροφοδοτεί τον κινητήρα στροφής πηδαλίου M .

Αυτός στρέφει το πηδάλιο με ταχύτητα ανάλογη προς την τάση τροφοδοτήσεώς του και ταυτόχρονα μετακινεί την επαφή $\delta 2$, που έχει μηχανική σύνδεση κατά τη φορά του βέλους. Όταν η $\delta 2$ έλθει στη θέση $\alpha 0$ αποκαθίσταται η ηλεκτρική ισορροπία, οπότε το ρεύμα μέσω της διεγέρσεως Δ μηδενίζεται. Έτσι η τάση της διεγέρτριας B μηδενίζεται, παύει να παράγει τάση και ο κινητήρας M κρατεί το πηνίο N . Αυτό, αφού δεν διαρρέετε πια από ρεύμα, απενεργοποιείται με συνέπεια να λειτουργήσει η μαγνητική πέδη, που θα κρατήσει το πηδάλιο ακίνητο στις 0 .

Μετακίνηση του οιακοστροφίου κατά αντίθετη φορά δημιουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο αντίθετης φοράς ρεύματα, με αποτέλεσμα την αντίθετη στροφή του πηδαλίου. Οι διακόπτες ορίων ρ χρησιμεύουν στο να θέτουν εκτός λειτουργίας το πηδάλιο, όταν αυτό, λόγω ανωμαλίας, φθάσει στα όρια γωνιών στροφής.

1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ

Υπάρχουν δύο τύποι σε αυτήν την κατηγορία: τα πηδάλια με έμβολα βυθίσεως τα οποία θα αναλυθούν πλήρως σε επόμενο κεφάλαιο και τα περιστροφικά πτερυγοφόρα πηδάλια.



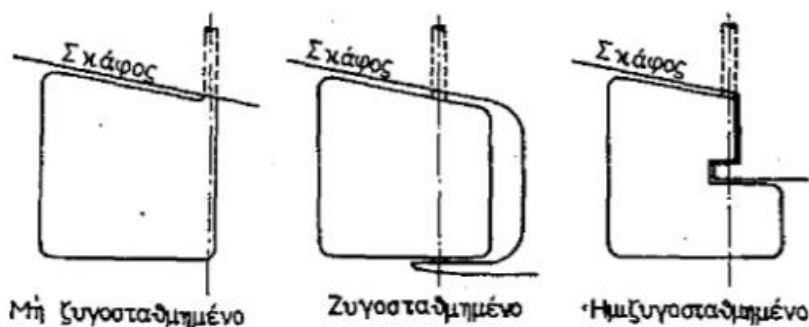
ΠΗΓΗ: ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ/ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

1.3 Σχήμα πηδαλίου

Η επιθυμητή ευελιξία, στην πηδαλιούχηση κάθε τύπου πλοίου, καθορίζει και την επιφάνεια του πηδαλίου και είναι συνάρτηση του βυθίσματος και της επιφάνειας της διαμήκους τομής του πλοίου, κάτω από την ίσαλο. Εμπειρικά, η επιφάνεια του πηδαλίου καθορίζεται, από τον λόγο της επιφάνειας του πηδαλίου, προς το γινόμενο του μήκους της ισάλου, επί το βύθισμα του πλοίου. Έτσι για Φ/Γ πλοία περίπου 1/60, για Ε/Γ πλοία περίπου 1/50, για πολεμικά πλοία περίπου 1/40.

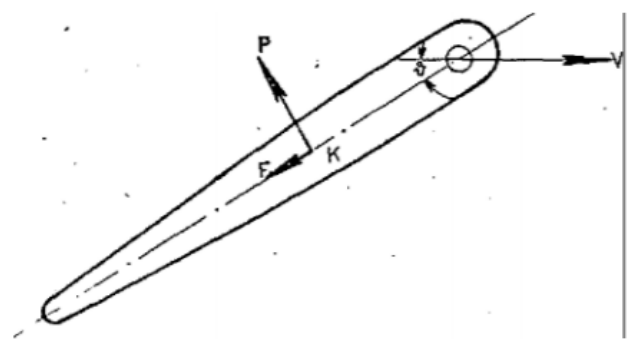
Το πηδάλιο, αποτελείται βασικά, από δύο τμήματα, το πτερύγιο και τον άξονα, ο οποίος μεταδίδει την κίνηση στο πτερύγιο, από τον μηχανισμό του πηδαλίου. Βασικά, υπάρχουν τρεις τύποι πηδαλίων :

- α) Μη ζυγοσταθμισμένος
- β) Ζυγοσταθμισμένος
- γ) Ημιζυγοσταθμισμένος.

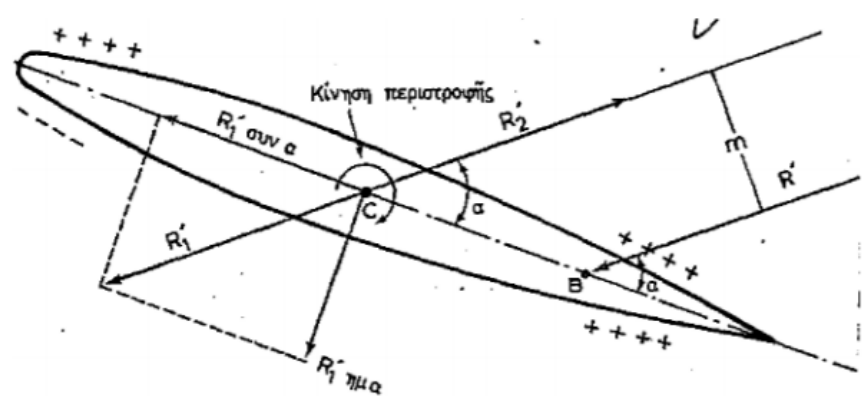


ΠΗΓΗ: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ ΠΛΟΙΟΥ/ ΣΙΔΗΡΕΝΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ & ΤΣΕΒΡΕΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Η εκλογή του πηδαλίου, σχετίζεται εν γένει, με όλη την εγκατάσταση του μηχανισμού πηδαλίου. Καθώς στα ζυγοσταθμισμένα και ημιζυγοσταθμισμένα πηδάλια, το σημείο επενέργειας της κάθετης δύναμης, που ασκεί το νερό επάνω στην επιφάνεια του πηδαλίου, είναι κοντά στον άξονα, σε αντίθεση με το μη ζυγοσταθμισμένο και επομένως, έχουμε σαν αποτέλεσμα, την μείωση της υποδυνάμεως του μηχανήματος πηδαλίου, του κόστους του, της δύναμης, που καταναλώνεται, από αυτό και τον χώρο, που διατίθεται, για την εγκατάσταση του. Για την αύξηση της αποδόσεως του πηδαλίου, σήμερα κατασκευάζονται, με τομή υδροδυναμικού σχήματος, για μείωση και της αντίστασης πρόωσης.



Δυνάμεις στο πηδάλιο. • V = ταχύτητα πηδαλίου (πλοίου), P = δύναμη **κάθετη** προς το διαμήκη άξονα, $K = \pm$ Κέντρο πίεσεως, F = Δύναμη τριβής, θ = γωνία πηδαλίου



ΠΗΓΗ: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΎΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ ΠΛΟΙΟΥ/ ΣΙΔΗΡΕΝΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ & ΤΣΕΒΡΕΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

1.4 Λειτουργία του πηδαλίου

Καθώς το πλοίο κινείται στο νερό, το πηδάλιο του, προσβάλλεται, από υδάτινες μάζες. Η γωνία, με την οποία το πηδάλιο, στρέφεται ή κλείνει, προς την διεύθυνση της ροής του νερού, ονομάζεται γωνία προσβολής.

Η δράση της πηδαλιούχησης, εξαρτάται, από την κατανομή των πιέσεων, στις δύο περιβρεχόμενες επιφάνειες του πηδαλίου. Όταν π.χ., το πηδάλιο στραφεί, σε μία γωνία θ , αναπτύσσεται δύναμη, στο κέντρο πίεσεως του. Το κέντρο πίεσεως του πηδαλίου, βρίσκεται, εμπρός του γεωμετρικού κέντρου, της επιφάνειας του πηδαλίου και εμφανίζεται, κατά την μετακίνηση του πηδαλίου, προς μια πλευρά, με αποτέλεσμα, την καταστροφή της συμμετρικής κατανομής, των υδάτινων μαζών, με αποτέλεσμα, την γέννηση μιας κάθετης δύναμης, που επενεργεί στο κέντρο πίεσεως του.

Η δημιουργία της δύναμης αυτής, οφείλεται στην διαφορά ταχύτητας των υδάτινων μαζών, στις δύο επιφάνειες του πηδαλίου. Έτσι, η διαφορά αυτή των ταχυτήτων, σύμφωνα με το θεώρημα Bernoulli, προκαλεί μια διαφορά πιέσεων, μεταξύ των υδάτινων μαζών, που έχει σαν αποτέλεσμα, την εμφάνιση της δύναμης, η οποία δρα επάνω στο πηδάλιο και που δημιουργεί μια ροπή, ως προς το κέντρο βάρους του πλοίου.

Η ροπή αυτή, είναι υπεύθυνη, για την στροφή του πλοίου. Η ολική δύναμη, που δρα, επάνω στο πηδάλιο, έχει σαν συνιστώσες, τη δυναμική άνωση ή απλώς άνωση, η οποία δρα, κατά διεύθυνση κάθετη, προς την διεύθυνση ροής και τη δυναμική αντίσταση ή απλώς αντίσταση, η οποία δρα, κατά τη διεύθυνση της ροής του νερού.

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο, του σχεδιασμού του πηδαλίου, είναι ο τρόπος, με τον οποίο μεταβάλλονται, η άνωση και η αντίσταση, καθώς αλλάζει η γωνία προσβολής. Και αυτό, γιατί η δύναμη ανώσεως, είναι υπεύθυνη, για την ανάπτυξη της αναγκαίας ροπής, για την στροφή του πλοίου.

Για μια ορισμένη γωνία προσβολής, η οποία ονομάζεται κρίσιμη γωνία, το πηδάλιο, υφίσταται απώλεια στηρίξεως και «νεκρώνει». Το φαινόμενο αυτό, είναι ανάλογο, με αυτό, που παρουσιάζεται στην πτέρυγα ενός αεροπλάνου, όταν η γωνία προσβολής αυξηθεί πέρα από μια τιμή. Το «νέκρωμα» του πηδαλίου, οφείλεται στην απότομη μείωση της δύναμης, που ασκείται σε αυτό. Η εμφάνιση της απώλειας στηρίξεως, οφείλεται κυρίως στην δημιουργία ροής δίνης στην επιφάνεια του πηδαλίου, όπου επικρατεί υποπίεση. Κατά την ροή δίνης, παρατηρείται «σπασμός» των γραμμών ροής και δημιουργία στροβιλισμών. Τα πηδάλια των εμπορικών πλοίων, πρέπει να λειτουργούν σε ένα φάσμα γωνιών, μεγαλύτερο από 35° , που καθορίζεται, από την ουδέτερη θέση του πηδαλίου (κατά την διεύθυνση της καρίνας). Το ολικό φάσμα, δηλαδή των γωνιών λειτουργίας, είναι 70° . Η κρίσιμη γωνία των πηδαλίων τους, δεν πρέπει να ανήκει, σε αυτό το εύρος γωνιών, γιατί ένα «νέκρωμα» του πηδαλίου τους, θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα, στην πηδαλιούχηση τους.

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, κατά τις πειραματικές μετρήσεις μοντέλων πηδαλίων, σε δεξαμενές, θα πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή, ανάλογα με την περίπτωση. Τα αποτελέσματα αυτά, δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν, όπως είναι, σε πηδάλια πλοίων πραγματικού ή πλήρους μεγέθους, καθώς επηρεάζεται η ροή πριν

από το πηδάλιο, από την ροή γύρω από το κύτος του πλοίου, καθώς επίσης και από την ολίσθηση της έλικας.

Αξιόπιστα αποτελέσματα είναι δυνατόν να ληφθούν, μόνο από μετρήσεις σε πλοία πραγματικού μεγέθους και μετά από το στάδιο αυτό, οι μετρήσεις, που λήφθηκαν, από το μοντέλο, τροποποιούνται, με κατάλληλους διορθωτικούς συντελεστές, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν, στον μεταγενέστερο σχεδιασμό του πηδαλίου. Όταν το πηδάλιο του πλοίου στραφεί, το πλοίο κινείται αρχικά, προς τα πλάγια, προς αντίθετη κατεύθυνση, από αυτή που πρόκειται να στραφεί και στην συνέχεια, ακολουθεί κυκλική πορεία, μέχρι να στραφεί, προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η απόσταση, που διανύεται από το πλοίο, με άξονα αναφοράς, τον αρχικό διαμήκη άξονα του πλοίου, από το σημείο που στράφηκε το πηδάλιο του, ως το σημείο, που η διεύθυνση πλεύσεως του, γίνει κάθετη στην αρχική, ονομάζεται προέλαση.

Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων, που προαναφέρθηκαν, αλλά με άξονα αναφοράς, την τελική διεύθυνση πλεύσεως του πλοίου, ονομάζεται μετάθεση. Η διάμετρος της κυκλικής πορείας, που ακολουθείται από το πλοίο, καλείται «τακτική» διάμετρος. Κατά τη διάρκεια της στροφής, η πλώρη του πλοίου, στρέφεται προς το εσωτερικό της καμπυλόγραμμης πορείας, που ακολουθεί. Η γωνία που σχηματίζεται, μεταξύ του διαμήκη άξονα του πλοίου και της εφαπτομένης στην καμπυλόγραμμη πορεία, στο σημείο που βρίσκεται στο πλοίο, καλείται γωνία εκτροπής. Η τακτική διάμετρος, αποτελεί ένα μέτρο του πηδαλίου, να στρέφει το πλοίο και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, για τα εμπορικά πλοία.

Παρακάτω δίνονται, μερικοί, σε χρήση, εμπειρικοί τύποι, για τον υπολογισμό των κατωτέρων μεγεθών του πηδαλίου, όπως :

α) το πηδάλιο,

β) τον άξονα του πηδαλίου,

γ) τον μηχανισμό του πηδαλίου.

Για τον υπολογισμό, του μηχανισμού πηδαλίου και συστήματος πηδαλιουχίσεως , απαραίτητο στοιχείο, είναι ο υπολογισμός των δυνάμεων και ροπών, που επιδρούν στο πηδάλιο, κατά την λειτουργία του.

Έτσι ο προσδιορισμός της κάθετης δύναμης P, επί του πηδαλίου, υπολογίζεται ως εξής: α) Πλοία με ένα πηδάλιο (τύπου των Baker και Bottomley), καθορίζεται από τη σχέση, $P = 155 \cdot A \cdot V^2 \cdot \Theta$

β) Πλοία με δύο έλικες και κεντρικό πηδάλιο (τύπου Gown) $P = 15.5 \cdot A \cdot V^2 \cdot \Theta$ (κίνηση πρόσω και ανάποδα)

γ) Πλοία με δύο πηδάλια και πίσω από πλευρικές έλικες (τύπου Gown) $P = 21.1 \cdot A \cdot V^2 \cdot \Theta$ (κίνηση πρόσω) $P = 19.1 \cdot A \cdot V^2 \cdot \Theta$ (κίνηση ανάποδα)

όπου:

A: η επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου σε m²

V: η πραγματική ταχύτητα του σκάφους σε m/sec

Θ : η γωνία του πηδαλίου σε μοίρες

P: η κάθετη δύναμη επί του πηδαλίου σε Newton.

Σημείωση : Newton- $1/9.81\text{kg}$ (Διεθνές Σύστημα Μονάδων).

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΣΤΡΕΨΕΩΣ

Η μέγιστη ροπή T, η απαιτούμενη για την στροφή του πηδαλίου, είναι το γινόμενο της μέγιστης κάθετης δύναμης P, επί την απόσταση α , από το K, μέχρι τον άξονα στροφής, $T = P * \alpha$

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Ο άξονας του πηδαλίου, καταπονείται κατά την στροφή, στην γενική περίπτωση οποιασδήποτε μορφής πηδαλίου,

α) Σε στρέψη με ροπή στρέψεως T, ίση προς την απαιτούμενη για την στροφή του πηδαλίου,

β) Σε κάμψη, για ροπή κάμψεως M, λόγω της δύναμης P Το σύνολο στρέψεως και κάμψεως, επάνω στον άξονα, θα εξεταστεί, ως μια ισοδύναμη ροπή στρέψεως και δίνεται από την σχέση,

Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης ροπής στρέψεως T, δίνονται επίσης και από τους νηογνώμονες τύπους και αντίστοιχους κανονισμούς, $T = I_p * \delta \epsilon \pi^{1/2}$

Κατά τον τύπο του Denny για την εύρεση της διαμέτρου d του άξονα πηδαλίου εμπειρικά δίνεται και από την σχέση, $d = 0,0835 * V * A * \text{arm} * V^{1.25} * C$

όπου:

I_p : η πολική ροπή αδράνειας, της διατομής του άξονα,

$\delta \epsilon \pi$: επιτρεπόμενη τάση στρέψεως (kg/cm^2)

A : επιφάνεια πηδαλίου (m^2)

arm: απόσταση του κέντρου πίεσης από το έδρανο στήριξης (m)

C: σταθερά, λαμβανόμενη ίση με 0,2

Η σχέση του Denny, αφορά τα ζυγοσταθμισμένα πηδάλια, που έχουν και την μεγαλύτερη εφαρμογή στα εμπορικά πλοία.

1.5 Θεωρία πηδαλιούχησης

Ο έλεγχος του πλοίου σε οριζόντιο επίπεδο, αναφέρεται στην ικανότητα του πλοίου να διατηρείται ή να μεταβάλλεται η κατεύθυνση της πορείας του με χρήση κατάλληλων οργάνων.

Η ικανότητα ελιγμών του πλοίου δηλώνει την ευκολία με την οποία ένα πλοίο μπορεί να διατηρηθεί σε μια συγκεκριμένη πορεία. Η απόδοση του πλοίου είναι η ευστάθεια κατεύθυνσης, δηλαδή όταν ένα πλοίο υποστεί μια διαταραχή από την αρχική του

πορεία, θεωρείται ότι είναι ευσταθές όταν τείνει να ακολουθήσει μια νέα ευθεία πορεία.

Η ικανότητα ελιγμών του πλοίου σχετίζεται επίσης με την ικανότητα απόκρισης του πλοίου στην επενέργεια επιφανειών ελέγχου κατά την εκκίνηση ή κατά την μεταβολή της γωνίας πορείας του, καθώς επίσης και με τη δυνατότητα του πλοίου να εκτελέσει ένα πλήρη κύκλο στροφής σε συγκεκριμένο χώρο.

Το πιο παλιό όργανο αλλά και το πλέον κατάλληλο είναι το πηδάλιο (επιφάνεια ελέγχου), το οποίο σχηματικά παριστάνεται από μια κατακόρυφη πλάκα τοποθετημένη στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου στο πρυμναίο άκρο του σκάφους, με τρόπον ώστε να υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής της ως προς κατακόρυφο άξονα.

Ο προορισμός του πηδαλίου είναι να δημιουργεί μια δύναμη ελέγχου η οποία με τη σειρά της δημιουργεί μια ροπή περί τον κατακόρυφο άξονα επί του πλοίου, με αποτέλεσμα το πλοίο να περιστραφεί και να προσανατολιστεί με μια γωνία προσπτώσεως ως προς την κατεύθυνση της ροής.

Οι δυνάμεις και οι ροπές που δημιουργούνται επί του πλοίου σαν αποτέλεσμα αυτής της περιστροφής και της γωνίας προσπτώσεως καθορίζουν τις ελκτικές ικανότητες του πλοίου.

Το πηδάλιο πρέπει να αναπτύσσει άνωση και στις δύο αντίθετες κατευθύνσεις γωνιακής εκτροπής, και για το λόγο αυτό είναι συμμετρικό πτερύγιο υδροδυναμικής μορφής (πηδάλια μικρών πλοίων αποτελούνται από επίπεδη πλάκα με οριζόντιες ενισχύσεις) με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας.

Υπάρχει ένα σημείο στο πλοίο, στο οποίο όταν επιδράσει μια δύναμη κάθετη ως προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, δεν παρατηρείται αλλαγή πορείας. Το σημείο αυτό ονομάζεται **ουδέτερο σημείο** (neutral point) και βρίσκεται περίπου σε απόσταση $\left(\frac{1}{6}\right) L_{B.P.}$ πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου (σχήμα -1-).



Σχήμα -1-

ΠΗΓΗ: ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ- ΠΗΛΑΛΙΑ/ ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Εάν η δύναμη F εφαρμοστεί από τα δεξιά προς τα αριστερά πρύμνηθεν του ουδέτερου σημείου, το πλοίο θα στρίψει δεξιά. Εάν η δύναμη F εφαρμοστεί από τα δεξιά προς τα αριστερά αλλά πύρωθεν του ουδέτερου σημείου το πλοίο θα στρίψει αριστερά.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του σημείου εφαρμογής της δύναμης από το ουδέτερο σημείο, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της δύναμης στη διαδικασία στροφής του πλοίου.

Η ικανότητα στροφής του πλοίου εξασφαλίζεται από το πηδάλιο και η ροπή που δημιουργείται όταν το πηδάλιο είναι σε γωνία α ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μακριά το πηδάλιο βρίσκεται από το ουδέτερο σημείο.

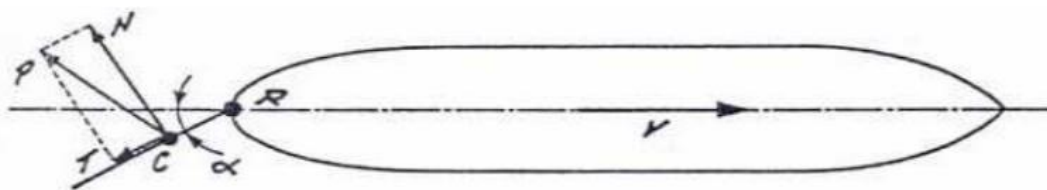
Σε σχέση επομένως με τη θέση του ουδέτερου σημείου και την ιδιότητά του, το πηδάλιο τοποθετείται όσο πιο μακριά, άρα στην πρύμνη του πλοίου και συγκεκριμένα στον ομόρου της έλικας όπου και υφίσταται την επίδραση μάζας νερού που έχει επιταχυνθεί λόγω της έλικας, γεγονός που δημιουργεί μεγαλύτερη δύναμη άρα και ροπή, οπότε εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ευελιξία στο πλοίο.

Κατά συνέπεια, το πηδάλιο είναι περισσότερο αποτελεσματικό όταν τοποθετείται στην πρύμνη του πλοίου.

Όταν το πηδάλιο είναι σε γωνία “0” ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και το πλοίο κινείται ευθύγραμμα με ταχύτητα V , οι δύο πλευρικές επιφάνειες του πηδαλίου προσβάλλονται από το ρευστό κατά ίδιο τρόπο, ούτως ώστε δεν επιδρά καμία δύναμη δεδομένου ότι οι πιέσεις που εξασκούνται επί των δύο πλευρών του πτερυγίου του πηδαλίου είναι ίσες και αντίθετες.

Όταν το πηδάλιο είναι σε κλίση υπό γωνία α ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, το ρευστό εξασκεί μια υπερπίεση στο πρόσωπο (στην πλευρά που απ’ ευθείας βαπτίζεται από τη ροή) και μια υποπίεση στη ράχη (στην αντίθετη πλευρά) (σχήμα -2-), με αποτέλεσμα τη συνισταμένη δύναμη N , η οποία ασκείται στο σημείο C που βρίσκεται πώραθεν του κέντρου βάρους της επιφάνειας του πηδαλίου και κάθετα σε αυτήν.

Εξ αιτίας του ιξώδους του νερού στο οποίο είναι βυθισμένο το πηδάλιο, εξασκείται επί αυτού μια επαπτόμενη δύναμη T (τριβή) η οποία μαζί με την N δίδουν μια συνισταμένη P , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα -2-. Επειδή η επαπτομενική δύναμη είναι πολύ μικρή, θεωρείται αμελητέα και η δύναμη N ταυτίζεται με την P .



Σχήμα -2-

ΠΗΓΗ: ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ- ΠΗΛΑΛΙΑ/ ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

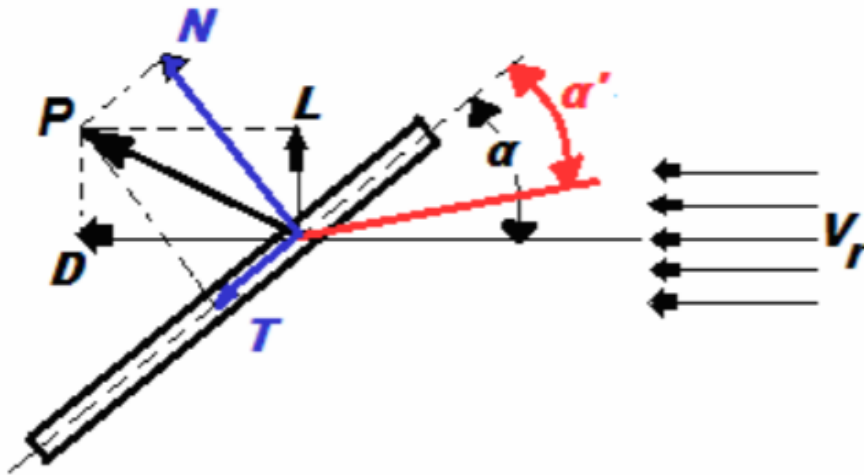
Η δύναμη P ονομάζεται δύναμη επί του πηδαλίου.

Αυτή η δύναμη τείνει να επαναφέρει το πηδάλιο στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας με μια ροπή $P \cdot CR$, όπου R παριστάνει την προβολή του άξονα περιστροφής του πηδαλίου στο οριζόντιο επίπεδο, οπότε για να εμποδιστεί αυτή η κίνηση επαναφοράς, πρέπει να εφαρμοστεί στον άξονα του πηδαλίου μια ροπή ίση και αντίθετη.

Η δύναμη που δημιουργεί ένα πηδάλιο είναι ανάλογη με την επιφάνειά του. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που δημιουργεί τη στροφή και επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η ευελιξία του πλοίου.

Η δύναμη P αναλύεται στη δύναμη D , παράλληλη στη διεύθυνση της ταχύτητας V και στη δύναμη L κάθετη στην ταχύτητα V .

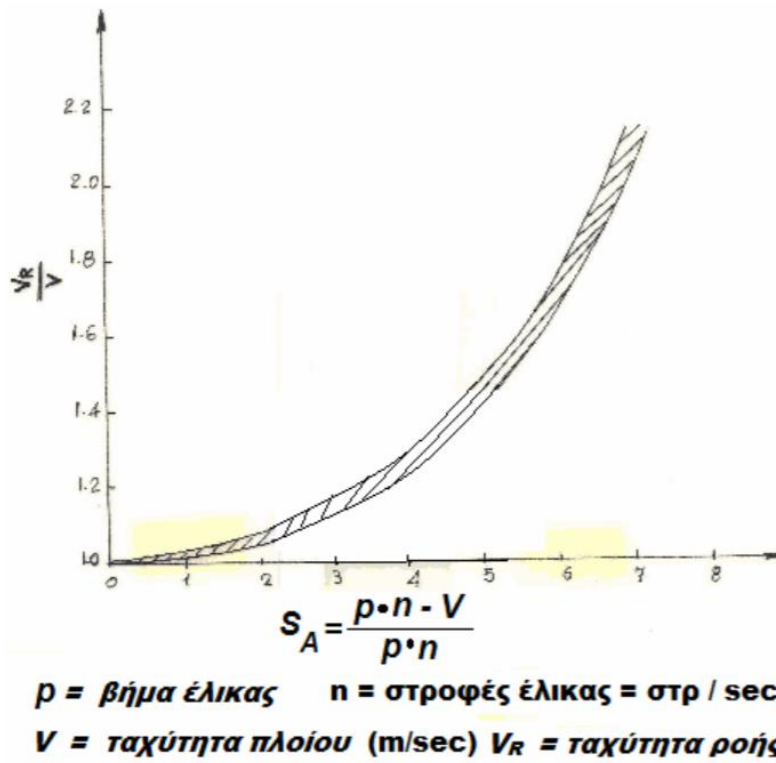
Η παρουσία του σκάφους και της έλικας εμπρός από το πηδάλιο, αλλάζουν την ομοιομορφία της ροής $V R$, σχηματίζοντας τη γωνία α' μεταξύ του επιπέδου συμμετρίας του πηδαλίου και της πραγματικής διεύθυνσης της ροής.



Σχήμα -3-

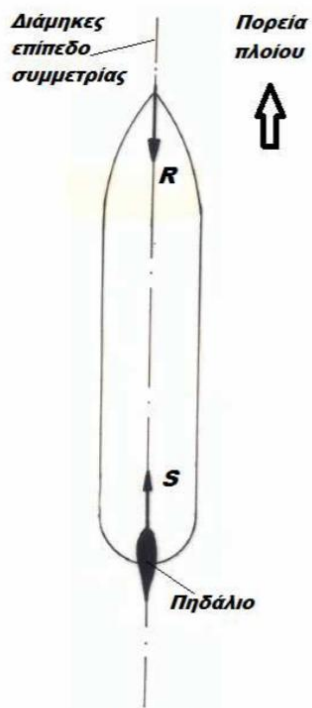
ΠΗΓΗ: ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ- ΠΗΛΑΛΙΑ/ ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Με το πηδάλιο πίσω από την έλικα, η ταχύτητα $V R$ που περιβάλλει την επιφάνεια του πηδαλίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα V προώθησης του πλοίου και αυτό εξ αιτίας του ομόρου της έλικας (σχήμα 5).



Σχήμα -4-

ΠΗΓΗ: ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ- ΠΗΛΑΛΙΑ/ ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ



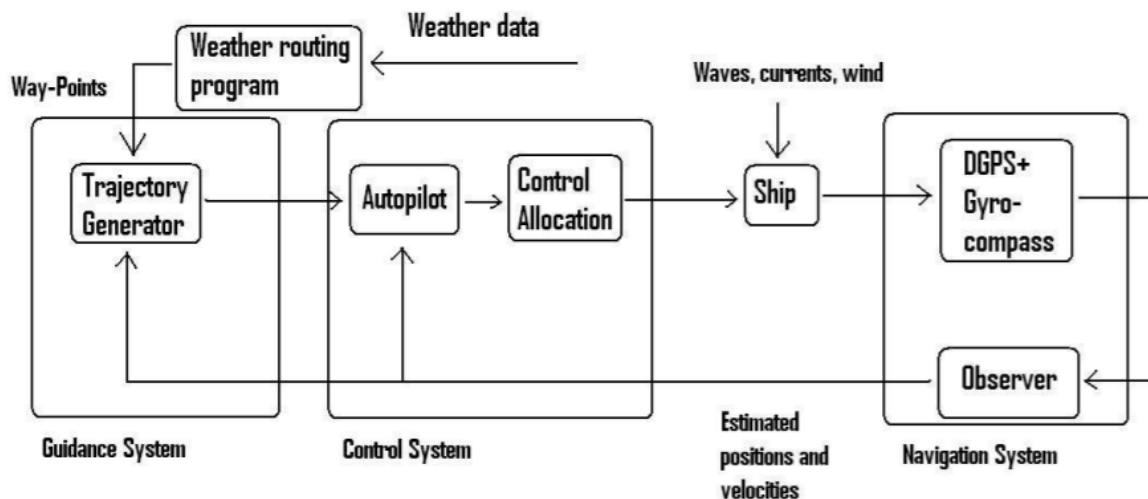
Σχήμα -5-

ΠΗΓΗ: ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ- ΠΗΛΑΛΙΑ/ ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΡΟΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

2.1 Αρχή της Ναυσιπλοΐας, της Πλοήγησης και του Ελέγχου Κατεύθυνσης πλοίων

Ένα σύστημα ελέγχου θαλάσσιου οχήματος αναπτύσσεται ως τρία ανεξάρτητα συστήματα, αυτά της ναυσιπλοΐας (θαλασσοπορείας), της πλοήγησης και του ελέγχου, τα οποία αλληλεπιδρούν βέβαια μέσω δεδομένων και σημάτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



ΠΗΓΗ: ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΙΛΟΤΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ/ ΝΟΒΑΚΗΣ ΖΗΣΗΣ

Επεξήγηση της λειτουργίας του κάθε υποσυστήματος δίνεται παρακάτω:

Ναυσιπλοΐα (Guidance) : Είναι το σύστημα το οποίο διαρκώς υπολογίζει την επιθυμητή τροχιά, που προσδιορίζεται από την θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση του πλοίου, η οποία χρησιμοποιείται από το σύστημα ελέγχου. Η επιθυμητή τροχιά υπολογίζεται με βάση ποικίλα δεδομένα, όπως οι καιρικές συνθήκες, προσχεδιασμένες συναντήσεις, γνωστές θέσεις εμποδίων ή επικίνδυνων περιοχών ακόμα και με βάση τεχνικές βελτιστοποίησης με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμων.

Πλοήγηση (Navigation) : Είναι η επιστήμη της καθοδήγησης ενός πλοίου καθορίζοντας τη θέση, την πορεία και την απόσταση που ταξίδεψε, ενώ μερικές φορές καθορίζονται ακόμα η ταχύτητα και η επιτάχυνσή του. Σήμερα για τον προσδιορισμό της θέσης χρησιμοποιούνται δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, όπως το GPS.

Ελεγχος (Control) : Είναι ο υπολογισμός των δυνάμεων και ροπών που πρέπει να εφαρμοστούν στο πλοίο- όχημα, ώστε να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος σκοπός. Ο κύριος σκοπός είναι η παρακολούθηση της επιθυμητής τροχιάς, που παρέχεται από το σύστημα ναυσιπλοΐας (guidance system). Ενώ οι έξοδοι του συστήματος πλοήγησης,

δηλαδή η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του πλοίου, είναι τα σήματα που ανατροφοδοτούνται και συγκρίνονται με την επιθυμητή τροχιά.

2.2 Σύστημα προώθησης πλοίου

Η αρχή της προώθησης αποτελείται από το νερό το οποίο προωθείται στο κάτω μέρος της γάστρας (Hull) του πλοίου, ακολουθούμενο από έναν οχετό καταθλιμμένο στην πρύμνη του πλοίου. Όταν διέρχεται με ροή στον οχετό το νερό πρεσάρεται με μια αντλία οδηγούμενη από το μηχανήμα της προώθησης του πλοίου. Η ταχύτητα του νερού που καταθλίβεται στην πρύμνη του πλοίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του πλοίου, όπου δίνει μια προώθηση σε μια δύναμη αντιδράσεως (reaction force) όπου προωθεί το σκάφος. Η όλη εγκατάσταση περιλαμβάνεται από την αντλία, ολόκληρη με των άξονα, το υδραυλικό και το ηλεκτρονικό σύστημα καθώς και των σχεδιασμό του οχετού εισαγωγής.

Η περιστρεφόμενη νίλα είναι υδραυλική και μπορεί να περιστραφεί 30 μοίρες σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το reversal του Thrust καταφέρνεται από έναν reversing bucket (κουβά) που βρίσκεται κάτω από την περιστρεφόμενη νίλα. Το Trust επιτυγχάνεται από αυτό το είδος του κουβά το οποίο αντανακλά την ποσότητα του νερού. Ο σκοπός της αντλίας είναι να πρεσάρει το νερό. Το διαφορικό της πίεσης σε κάθε πλευρά του impeller δίνει μια ώθηση σε ένα thrust όπου παίρνεται από ένα ρουλεμάν όπου βρίσκεται στο hub της αντλίας. Από το hub η δύναμη μεταφέρεται διάμεσου κατευθυνόμενων οδηγητικών βανών στο πίσω μέρος του πλοίου.

Το impeller είναι καρφωμένο σε ένα κοντό άξονα στο hub με ένα ρουλεμάν. Το impeller είναι ένα guide vane σχεδιασμένο για να εξουδετερώνει την περιστροφή της ροής που δημιουργείται από το impeller. Το πίσω κομμάτι των οδηγητικών vanes είναι διαμορφωμένο στην εξαγωγή της νόζλας. Το water Jet έχει σχετικά ένα μεγάλο αριθμό λεπίδων και η εξαγωγή είναι σχεδιασμένη να εξασφαλίζει ότι το περιεχόμενο των υψηλών αρμόνικων στην ροή του νερού στην αντλία είναι μικρή. Επίσης η γεωμετρία των πτερύγιων του impeller έχει διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει ελάχιστο θόρυβο και πίεση.

Οι παραγόμενες πλαϊνές δυνάμεις εξαρτώνται μόνο από την ταχύτητα του jet, και όχι από την ταχύτητα του νερού που πλησιάζει την εισαγωγή. Αυτό σημαίνει ότι η πλαϊνές δυνάμεις δεν μειώνονται επάνω στην στροφή του πλοίου η όταν υπάρχει μια κατάσταση ελιγμού.

Σε ταχύτητα 20 με 50 μίλια την ώρα για πλοία τα όποια έχουν αυτό το σύστημα πρόωσης ο εσωτερικός θόρυβος είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με άλλα καράβια όπου έχουν παρόμοια εγκατάσταση. Το water Jet παρέχει πολύ καλή ευελιξία για το καράβι και απόλυτο έλεγχο σε ταχύτητα που βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τα Water jet έχουν βελτιωμένη απόδοση που σημαίνει ότι λιγότερη ισχύ χρειάζονται για να φτάσουν στην κατάλληλη ταχύτητα σκάφους στην ίδια αποδιδόμενη ισχύ. Χαμηλή επιτάχυνση και παρά πολύ καλή ευελιξία είναι χαρακτηριστικά που κάνουν το jet σύστημα ιδανικό για κάποιο σκάφος το οποίο κινείται γρήγορα. Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια σύγκριση με ένα κανονικό σύστημα προώθησης.

- α) Υψηλότερη Ταχύτητα
- β) Χαμηλότερη κατανάλωση σε ταχύτητα επάνω από 20 με 25 μιλιά την ώρα.
- γ) Αυξημένη ευελιξία
- δ) 2-4 φορές μεγαλύτερη δύναμη στο τιμόνι
- ε) Διπλή συχνότητα περιστροφής.
- στ) 40-50 % μικρότερη τακτική διάμετρο
- ζ) Αυξημένη επιτάχυνση και σταμάτημα.
- η) Μειωμένος ίδρο-ακουστικός θόρυβος.
- θ) Μειωμένος θόρυβος και Vibration επάνω στο καράβι.
- ι) Μειωμένη τριβή φθορά σε μηχανή και gearbox.
- ια) Εύκολη συντήρηση. Δεν έχει fouling (ρύπανση).
- ιβ) Μπορεί να αδειάσει τα Jets από το νερό με συμπιεσμένο αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΩΨΗ

3.1 Ηλεκτρική πρόωση πλωτών μέσων μεταφοράς

Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης είναι επωφελή σε πολλές εφαρμογές πλοίων με διαφορετικά προφίλ ταχύτητας, όπως σκάφη εφοδιασμού, πλωτά σκάφη παραγωγής, πλοία-γεωτρύπανα, δεξαμενόπλοια, παγοθραυστικά, πολεμικά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Η βασική ιδέα με τέτοια συστήματα είναι η αντικατάσταση των κύριων πετρελαιομηχανών πρόωσης με ηλεκτρικούς κινητήρες, και ο διαχωρισμός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές μικρότερες γεννήτριες. Οι ηλεκτρικοί προωστήρες μπορούν να σχεδιαστούν για πολύ υψηλές αποδόσεις σε όλο το φάσμα της λειτουργίας τους όσο αφορά την ταχύτητα και την ιπποδύναμη, σε αντίθεση με τους κλασικούς πετρελαιοκινητήρες που έχουν μια σαφή καθορισμένη αιχμή στην απόδοση τους γύρω από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους. Ένα πλοίο του οποίου ποικίλλει η ταχύτητά του θα είναι σε θέση να λειτουργεί με υψηλή απόδοση σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του, επιλέγοντας το βέλτιστο αριθμό των γεννητριών για την παροχή της επιθυμητής ζήτησης ισχύος. Για ένα συμβατικό σύστημα πρόωσης με ντίζελ η απόδοση θα μειωθεί σημαντικά για τη λειτουργία έξω από την ονομαστική του λειτουργία. Η ηλεκτρική πρόωση αποτελεί μια νέα τεχνολογία πάνω στα πλοία και το γεγονός ότι έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πολύ πρόσφατα αποτελεί περιοχή έρευνας για διάφορους κλάδους της μηχανικής.

Στην ηλεκτροπρόωση η κίνηση των προωστήρων γίνεται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως diesel, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Οι συμβατικοί κινητήρες εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως. Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της (αυξομείωση στροφών ή αλλαγή φοράς των ηλεκτρικών κινητήρων).

Επίσης σε κάθε είδους σκάφος (επιβατικό, εμπορικό, τάνκερ, πλοίο ή πλατφόρμα εργασιών/διάτρησης κ.α.), οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι παρούσες, εκτός από την εγκατάσταση υψηλής ισχύος για την ηλεκτρική πρόωση για την πλεύση, για την τροφοδότηση του εξοπλισμού των εργασιών (π.χ. εξοπλισμός γεωτρήσεων), την λειτουργία διάφορων συστημάτων και την λειτουργία του πλοίου (φορτία διανομής).

Για μεγάλο χρονικό διάστημα τα ηλεκτρικά συστήματα των πλοίων ήταν συνεχούς ρεύματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αρχίζει να χρησιμοποιείται την δεκαετία του 1950 όμως τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης συνεχίζουν να βασίζονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Κατά την τελευταία 25ετία, με την ανάπτυξη κατάλληλης τεχνολογίας (διατάξεις και τεχνικές ελέγχου κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος), δόθηκε η δυνατότητα για την ευρεία διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης εφόσον, πλέον, ικανοποιούνταν οι απαιτήσεις τόσο από πλευράς ευελιξίας όσο και από κατανάλωσης καυσίμου.



ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Μία νέα έννοια η οποία ήταν πολύ επιτυχής από την δεκαετία του '90, ήταν η εισαγωγή αζιμουθιακών προωστήρων, η οποία προσέφερε στα πλοία ευελιξία στις κινήσεις, ευκολία στις διελεύσεις από περιοχές υψηλής κινητικότητας και τη δυνατότητα δυναμικής τοποθέτησής τους (dynamic positioning – DP).

Στην αρχή η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε εφαρμογές σε συγκεκριμένα πλοία εφαρμογών (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων). Όμως κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ.. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α) Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων (π.χ. πλοία διάτρησης).
- β) Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ) Σκάφη με έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ) Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε) Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Επίσης οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων).

3.2 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροπρόωσης

Κατά τα τέλη του 19ου αιώνα σε Ρωσία και Γερμανία έλαβαν χώρα πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών. Γύρω στα 1920, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού για την μείωση εκτέλεσης υπερατλαντικών ταξιδιών από τις ναυτιλιακές εταιρίες επιβατικών πλοίων, εφαρμόζεται η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης. Οι μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε στρόβιλο-ηλεκτρικά συστήματα.

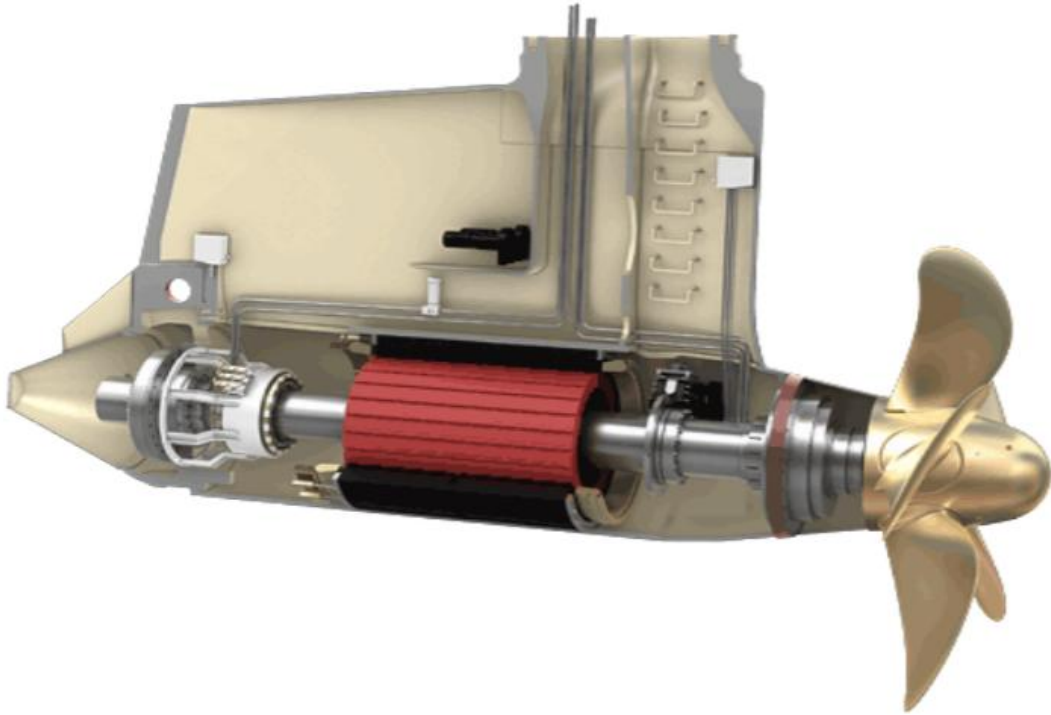
Οι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες τροφοδοτούνταν από ατμογεννήτριες και η περιστροφική ταχύτητα δινόταν από την ηλεκτρική συχνότητα των γεννητριών. Σε κανονική λειτουργία, συνήθως, οι γεννήτριες τροφοδοτούσαν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, υπήρχε όμως και η δυνατότητα τροφοδότησης δύο μηχανών από μία γεννήτρια για ταξίδι χαμηλότερης ταχύτητας.

Στα μέσα του 20ου αιώνα η εισαγωγή των μηχανών diesel, σήμανε το τέλος της τεχνολογίας στρόβιλων ατμού και της ηλεκτρικής πρόωσης, τουλάχιστον μέχρι τη δεκαετία του '80.

Τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα επανήλθαν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος και κυρίως των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων. Η δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης πραγματοποιείται μέσω των ανορθωτών (E.P./Σ.Ρ.) για τον έλεγχο προωστικών μηχανών Σ.Ρ., περί το 1970 και με τη χρήση των μετατροπέων E.P./E.P. για τον έλεγχο μηχανών το 1980. Το προωστήριο σύστημα τροφοδοτείται πλέον από ένα ισχυρό δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας. Μέσω του ελέγχου των στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων στρέφονται οι έλικες σταθερού βήματος (fixed pitch propellers (FPP)).

Αν και αυτές οι λύσεις αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε ειδικές κατηγορίες πλοίων όπως ερευνητικά και παγοθραυστικά από το 1975 μετατρέπονται σε ηλεκτροκίνητα και άλλα πλοία όπως κρουαζιερόπλοια, τάνκερ κ.α. (Queen Elizabeth II, Fantasy, Princess). Σημειώνεται ότι στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση η ώση ελέγχεται μέσω ενός υδραυλικού συστήματος αλλαγής του βήματος των ελίκων. Οι έλικες αυτές είναι γνωστές ως έλικες μεταβλητού βήματος (controllable pitch propellers (CPP)).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα (podded propulsion) εμφανίστηκε στις αρχές του 1990. Βάσει αυτού ο ηλεκτροκινητήρας είναι τοποθετημένος εντός ενός βυθισμένου λοβοειδούς εξωτερικού περικαλύμματος (pod) με ένα πολύ κοντό άξονα στην προπέλα ή είναι απευθείας η προπέλα συνδεδεμένη με τον κινητήρα. Το εξωτερικό περικάλυμμα μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα κατά 360°, προσφέροντας στο πλοίο ευκινησία και ευελιξία (maneuverability) και η έλικα είναι σταθερού βήματος. Τα εξωτερικά περικαλύμματα αντικαταστούν τα συμβατικά πηδάλια και η συνολική υδροδυναμική απόδοση αυξάνεται για το σκάφος.



ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΟ ΠΡΩΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ)

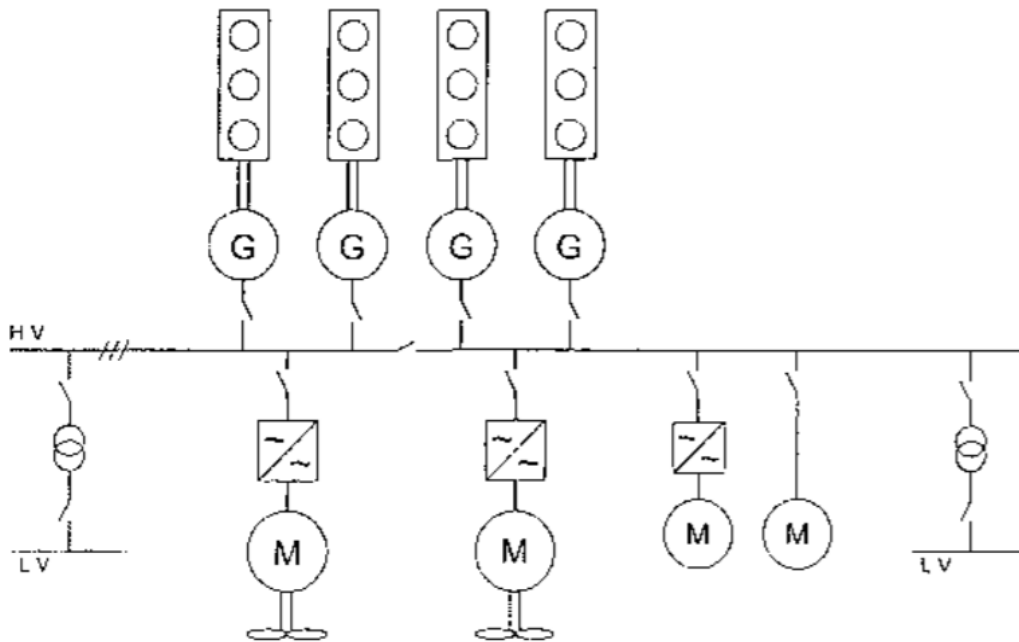
ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.3 Περιγραφή του ηλεκτρικού δικτύου πλοίων

3.3.1 Συστήματα παραγωγής ενέργειας

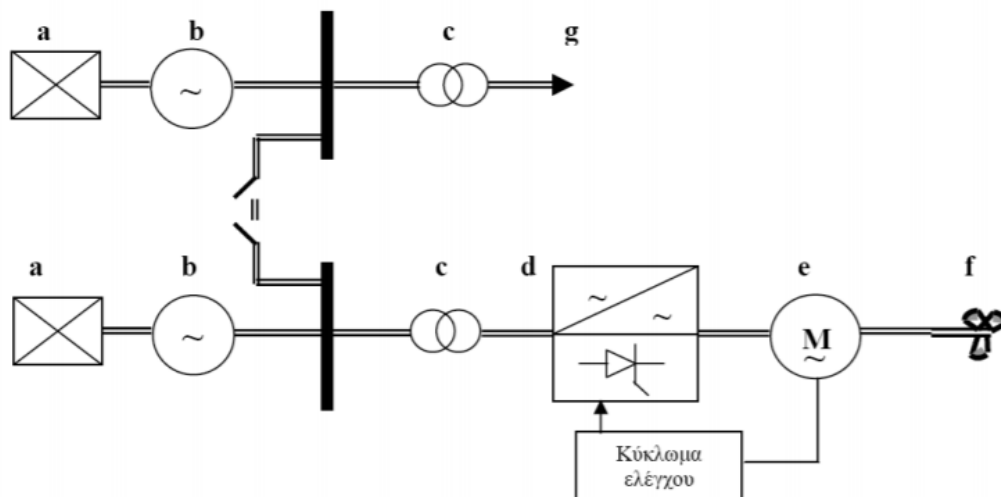
Το σχήμα 1.1 δείχνει μια τυπική διαμόρφωση ενός πετρελαιο-ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης, με μερικά από τα συστατικά του. Συνήθως χρησιμοποιούνται Ντίζελογεννήτριες με σύγχρονες μηχανές (συνήθως 3-8 μονάδες) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται αεριοστρόβιλοι ως κύριοι κινητήρες (ή σε συνδυασμό με κινητήρες ντίζελ), συνήθως για μεγάλες απαιτήσεις ισχύος, με κυμαινόμενη παραγωγή και/ή όταν το φυσικό αέριο είναι εύκολα διαθέσιμο. Οι γεννήτριες παρέχουν ενεργή (P) και άεργη (Q) ισχύς στον κύριο πίνακα. Αυτός ο πίνακας διαιρείται σε δύο ή περισσότερα τμήματα για την εξασφάλιση πλεονάσματος. Το επίπεδο τάσης θα ποικίλει με την εγκατεστημένη ισχύ, συνήθως 11kV για εγκατεστημένη ισχύ άνω των 20 MW. Η υψηλή τάση είναι αναγκαία για να διατηρηθεί το ρεύμα βραχυκυκλώματος και το ρεύμα φορτίου χαμηλά.

Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να είναι ενιαίο καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες ή μπορεί να αποτελείται από δύο επιμέρους υποσυστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των υπόλοιπων ηλεκτρικών φορτίων (σχήμα 1.2).



Σχήμα1.1 Μια τυπική διάταξη ενός πετρελαιο-ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης, με ντιζελογεννητρίες, μονάδες προωθητήρα μεταβλητής ταχύτητας, συμβατικά φορτία κινητήρα και δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης. [7]

ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ



- a. Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος)
- b. Σύγχρονη γεννήτρια
- c. Μετασχηματιστής ισχύος
- d. Μετατροπέας συχνότητας
- e. Προωστήριος κινητήρας
- f. Έλικα
- g. Λοιπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ)

Σχήμα1. 2 Γενικό διάγραμμα συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου. [7]

ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Μια ειδική περίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες (shaft generators) που στρέφονται από την κύρια μηχανή πρόωσης του πλοίου τα οποία βρίσκονται σε πλοία με συμβατική πρόωση. Οι γεννήτριες αυτές μπορεί είτε να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο Σ.Ρ. (DC link) είτε να τροφοδοτούν αυτόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (bow thrusters). Σπανιότερα και σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημία στην κύρια μηχανή) μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα, δηλ. ως ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης (τροφοδοτούμενες από τις άλλες ηλεκτρογεννήτριες) περιορισμένης ισχύος και να οδηγήσουν το σκάφος σε ασφαλή προορισμό.

Σημαντικά διαφορετικό είναι το ηλεκτρικό σύστημα της νέας γενιάς υποβρυχίων στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κυψέλες καυσίμου (fuel cells) (και αποθηκεύεται συστοιχίες συσσωρευτών Σ.Ρ.) για να τροφοδοτήσει καταναλώσεις Σ.Ρ. αλλά και Ε.Ρ. μέσω μετατροπών Σ.Ρ./Ε.Ρ.. Ηλεκτρογεννήτριες Ε.Ρ. που κινούνται με κινητήρες diesel υφίστανται μεν, αλλά δεν αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι κινητήρες πρόωσης είναι Ε.Ρ..

3.3.2 Καταναλωτές Ενέργειας

Οι κύριοι καταναλωτές ενέργειας είναι συνήθως το σύστημα πρόωσης και οι μονάδες προωθητήρων, οι οποίες μπορεί να είναι διαφόρων τύπων. Οι προπέλες μπορεί να έχουν είτε σταθερό είτε μεταβλητό βήμα. Για την πρόωση χρησιμοποιούνται ασύγχρονοι ή σύγχρονοι κινητήρες, όπου οι δεύτεροι χρησιμοποιούνται για την υψηλότερη ονομαστική τους ισχύ. Συνήθως, για μεγάλα πλοία, όπως τα μεγάλα οχηματαγωγά ή τα κρουαζιερόπλοια τα οποία έχουν ένα ζευγάρι των κύριων προωθητήρων (προπελών) και αρκετούς άλλους μικρότερους χρησιμοποιούνται σύγχρονοι κινητήρες για την κύρια πρόωση και ασύγχρονοι κινητήρες για τους βοηθητικούς προωθητήρες. Άλλα πλοία, με πολλούς μεσαίου μεγέθους προωθητήρες, μπορεί να έχουν ασύγχρονους κινητήρες για όλους τους προωθητήρες. Για τις μονάδες πρόωσης οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται, ως επί το πλείστον, είναι:

α) οι μετατροπείς Διαμόρφωσης Εύρους Παλμού (Pulse Width Modulated (PWM) converters), όπου διατηρείται σταθερή η συχνότητα έναυσης και σβέσης του στοιχείου και μεταβάλλεται ο χρόνος αγωγής. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να έχουμε αμφίδρομη ροή ρεύματος αλλά η πολικότητα της τάσης θα πρέπει να παραμείνει η ίδια.

β) οι Αναστροφείς Μεταγωγών Φορτίων (Load Commutated Inverters (LCI) οι οποίοι πρόκειται για ειδική περίπτωση μετατροπέα πηγής ρεύματος (CSI) στην οποία όμως οι διακόπτες ισχύος σβήνουν μόνον με τη βοήθεια του φορτίου τους. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί το κύριο πλεονέκτημά τους καθώς δεν απαιτούνται επιπλέον βοηθητικά κυκλώματα σβέσεως.

γ) οι κυκλομετατροπείς (cycloconverters) όπου με τις διατάξεις αυτές επιτυγχάνεται απευθείας μετατροπή από μία μορφή Ε.Ρ. συγκριμένου πλάτους και συχνότητας σε άλλη μορφή Ε.Ρ. διαφορετικού πλάτους και συχνότητας. Στην περίπτωση των

προωστήριων συστημάτων πλοίων, λαμβάνει χώρα υποβιβασμός συχνότητας (από 50/60 Hz σε 2-3 Hz).

Θεωρητικά όλοι οι συνδυασμοί των προπελών, των κινητήρων πρόωσης και των μετατροπέων μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά πλέον η μεταβλητή ταχύτητα και το σταθερό βήμα της μονάδας του προωθητήρα είναι τα πιο κοινά και στην πράξη οι μετατροπείς PWM χρησιμοποιούνται με ασύγχρονους κινητήρες και οι αναστροφείς μεταγωγών φορτίων LCI ή οι κυκλομετατροπείς χρησιμοποιούνται με τους σύγχρονους κινητήρες.

Άλλοι καταναλωτές μπορούν να είναι φορτία για συστήματα αντλιών, συμπιεστών, γεωτρήσεων, κ.λ.π., συνήθως με σταθερή ταχύτητα ή μεταβλητή ταχύτητα ασύγχρονων κινητήρων, το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης για βοηθητικά μέσα και το φορτίο διαμονής (hotel load).

Για τα πλοία ειδικού σκοπού όπως πλωτά σκάφη παραγωγής, πλοία ή εξέδρες διάτησης κ.λ.π., με υψηλή ζήτηση ενέργειας για τις διάφορες εργασίες, οι μονάδες των προωθητήρων μπορούν να είναι οι μικροί καταναλωτές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν το πλοίο είναι αγκυροβολημένο και οι προωθητήρες χρησιμοποιούνται μόνο για λόγους διευκόλυνσης πρόσδεσης.

Για κρουαζιερόπλοια, το φορτίο διαμονής μπορεί να αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Ωστόσο, η ζήτηση ενέργειας για την προώθηση είναι συνήθως ο κύριος καταναλωτής.

Για εμπορικά πλοία, δεξαμενόπλοια κ.α. η ζήτηση ενέργειας για πρόωση είναι το κυρίαρχο φορτίο. Ωστόσο, οι μεγάλες εγκαταστάσεις που έχουν για την φόρτωση και την εκφόρτωσή τους όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι ή δυναμικά τοποθετημένο μακριά από την στεριά (dynamic position dp) κάνουν την ισχύ για την πρόωση να είναι χαμηλή.

3.4 Σχεδίαση Ηλεκτρικού Συστήματος Πρόωσης

Για τον σχεδιασμό ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτροπρόωσης θα πρέπει να ορίζονται:

α) Το είδος των κινητήριων μηχανών. Πετρελαιοκινητήρες, αεριοστρόβιλοι (για πιο αθόρυβη λειτουργία), ατμοστρόβιλοι (κυρίως για πυρηνοκίνητα σκάφη), συσσωρευτές ή/και ηλεκτροχημικές κυψέλες καυσίμου (fuel-cells) (για υποβρύχια).

β) Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου, όπως το είδος (DC, AC) και η τιμή της τάσης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ισχύος.

γ) Ο αριθμός και το είδος των γεννητριών.

δ) Η παράλληλη ή μη λειτουργία των γεννητριών.

ε) Το ποσοστό αυτοματισμού στη λειτουργία, φόρτωση, παραλληλισμό και κράτηση των γεννητριών.

στ) Ο αριθμός και το είδος των κινητήρων προώσεως. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η μέγιστη ισχύς, ο όγκος και το βάρος ανά μονάδα ισχύος, ο μέσος χρόνος μεταξύ επισκευών και βλαβών και η αποδοτικότητα (βαθμός αποδόσεως).

ζ) Το είδος ελέγχου-χειρισμού των κινητήρων προώσεως.

η) Ελάχιστες απαιτήσεις σε καταστάσεις ανάγκης.

θ) Ο τρόπος έδρασης των μηχανημάτων, καθώς και ο (φυσικός) διαχωρισμός τους, όπως για παράδειγμα των πινάκων ηλεκτρικού δικτύου προώσεως και χρήσεως, των κινητήρων προώσεως και των ηλεκτρονικών διατάξεων οδήγησής τους.

ι) Τοποθέτηση γεννητριών έτσι ώστε να μην παραβιάζονται κλασσικοί κανόνες που σχετίζονται με την ευστάθεια του πλοίου, την ισοκατανομή των φορτίων στο πλοίο, την ακουστική υπογραφή και την ευκολία επισκευής.

3.5 Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης

Η ηλεκτροπρόωση αρχικά εφαρμόστηκε με ηλεκτρικούς κινητήρες (συνεχούς ρεύματος), οι οποίοι είχαν και έχουν ακόμα ευρεία χρήση. Πλέον η ηλεκτροπρόωση εφαρμόζεται με σύγχρονους κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους ασύγχρονους (96 – 98% έναντι 92 – 95%). Ακόμα μεγαλύτερη απόδοση έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (πάνω από 98%) οι οποίοι αποτελούν μία καινούρια κατηγορία σύγχρονων κινητήρων.

Στους σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη το τύλιγμα διέγερσης του δρομέα το οποίο διαρρέεται από συνεχές ρεύμα αντικαθίσταται από μόνιμους μαγνήτες οι οποίοι παράγουν το ίδιο μαγνητικό πεδίο που στρέφεται στο χώρο σύγχρονα με τον δρομέα. Για την ανάπτυξη αυτής της κατηγορίας κινητήρων σημαντικό ρόλο έπαιξε η τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία χρόνια είναι που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων “μονίμων μαγνητών”.



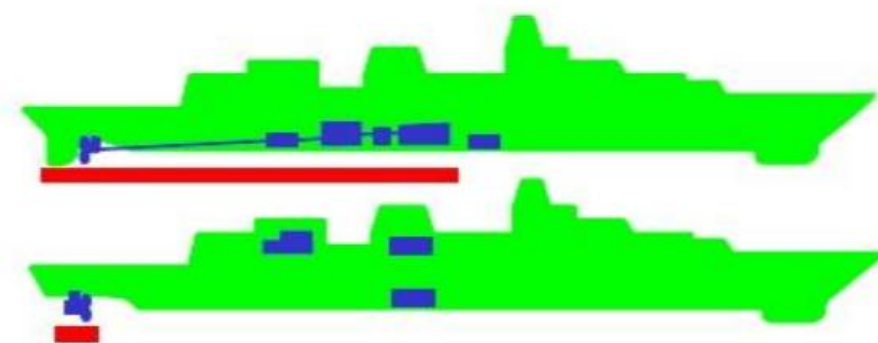
ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Άλλοι τύποι κινητήρων είναι οι κινητήρες αξονικής ροής, στους οποίους η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι κατά την ακτινική διεύθυνση, δηλαδή όπως στις συνήθεις συμβατικές ηλεκτρικές μηχανές, οι πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors) και οι πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors). Οι πρώτοι έχουν μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, προσανατολισμένους κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει μέσα στο διάκενο σε διεύθυνση εν μέρει κατά την αξονική διεύθυνση και κυρίως εγκάρσια προς τον άξονα της μηχανής ενώ οι δεύτεροι έχουν μόνιμους μαγνήτες στον δρομέα, προσανατολισμένους κατά τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της μηχανής (αξονική).

3.6 Συνεργασία έλικα και κινητήρα

Για την εγκατάσταση συστήματος δυναμικής τοποθέτησης σε πλοία (dynamic positioning DP) η ηλεκτρική πρόωση πλέον κυριαρχεί. Κάθε σύστημα DP, σχεδόν, που εφαρμόζεται στα σύγχρονα πλοία οδηγείται από μια ηλεκτρική μηχανή. Αρχικά η χρήση της τεχνολογίας της δυναμικής τοποθέτησης γίνονταν με προωστήρες με έλικες ελεγχόμενου ή μεταβλητού βήματος CPP (controllable pitch propellers (CPP)) ή με προωστήρες με έλικες σταθερού βήματος FPP (fixed pitch propellers (FPP)) με μεταβλητές στροφές/λεπτό.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι η μείωση του όγκου που καταλαμβάνει το σύστημα πρόωσης στο πλοίο σε σχέση με το αξονικό σύστημα. Επίσης τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν συνεχώς τις στροφές. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργούν στο μέγιστο της ροπής τους σε όλη την διάρκεια λειτουργίας τους. Συνήθως και για λόγους ασφαλείας, η έλικα κινείται από δύο και πάνω ηλεκτροκινητήρες περίπου ίδιας ισχύος. Η μηχανική ροπή της έλικας είναι ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας παρόμοια με τις φυγοκεντρικές αντλίες και τους ανεμιστήρες.



ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ. ΠΑΝΩ ΑΞΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, ΚΑΤΩ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΜΕ ΡΟΔ Η ΑΖΙΜΟΥΤΗ ΠΡΟΣΤΗΡΕΣ.

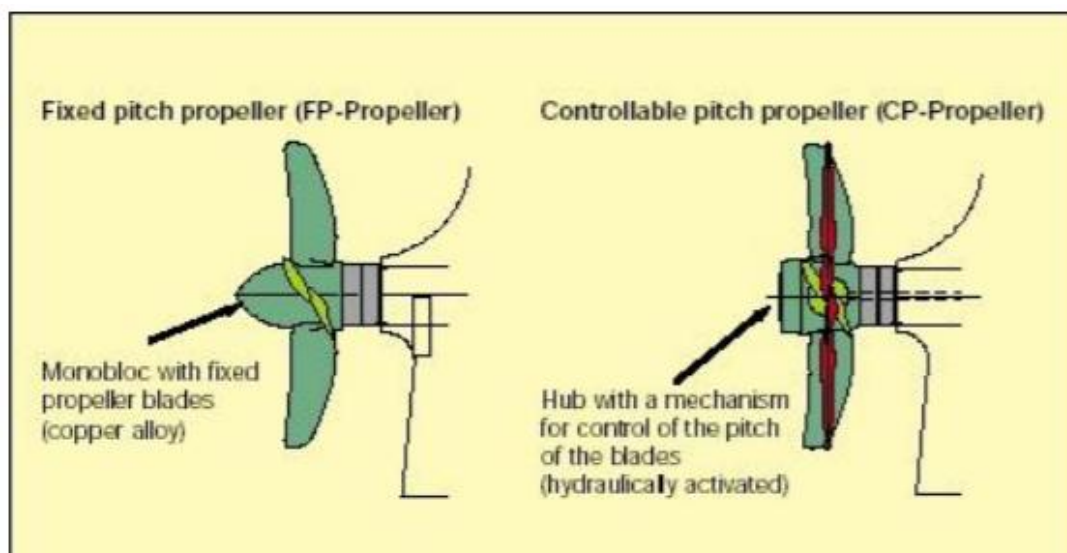
ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.6.1 Έλικα σταθερού βήματος

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 ειδικά καλές ελιγκτικές ικανότητες είναι εφοδιασμένα με έλικες σταθερού βήματος.

3.6.2 Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού 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.



ΈΛΙΚΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ (ΔΕΞΙΑ) ΒΗΜΑΤΟΣ.

ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Οι έλικες μεταβλητού βήματος συνήθως χρησιμοποιούνται στα κρουαζιερόπλοια και στα ferries που απαιτούν υψηλές ελιγκτικές 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 αντιοικονομικό 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.

3.7 Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης

3.7.1 Αξονική πρόωση (shaft propulsion)

Σε αυτό το είδος πρόωσης οι έλικες οδηγούνται συνήθως από κινητήρες πρόωσης μεταβλητής ταχύτητας. Οι ηλεκτρικές μηχανές συνδέονται είτε άμεσα στον άξονα της έλικας, τρόπος απλός και στιβαρός, είτε μέσω μειωτήρων. Η χρήση μειωτήρων, οδηγεί στη χρήση μηχανών σχετικά υψηλών ονομαστικών στροφών, άρα και σε πιο συμπαγείς μηχανές. Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι περιλαμβάνουν αρκετά μηχανικά υποσυστήματα, οπότε και περισσότερες μηχανικές απώλειες.

Η αξονική πρόωση εφαρμόζεται σε ντιζελοηλεκτρικά συστήματα πρόωσης όπου η ισχύς τους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να προσφέρει ένα αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης, μειώνονται όμως οι ελικτικές του ικανότητες και χρειάζονται έξτρα βοηθητικά μέσα πρόωσης (π.χ. bow thrusters). Επίσης είναι απαραίτητη η χρήση πηδαλίων για κάθε έλικα. Συνήθως χρησιμοποιούνται έλικες σταθερού βήματος (FPP). Σε ορισμένες εφαρμογές παρόλο που οι στροφές τις έλικας είναι μεταβλητές χρησιμοποιούνται και έλικες μεταβλητού βήματος (CPP), συνδυασμός ο οποίος οδηγεί σε μεγαλύτερες αποδόσεις έλικας.



ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.7.2 Αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters)

Αυτό το είδος προωστήρων μέσω της περιστροφής τους παράγουν ώση σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Η ώση μπορεί να ελέγχεται είτε από προωστήρες με έλικες ελεγχόμενου βήματος CPP με σταθερές στροφές/λεπτό είτε από προωστήρες με έλικες σταθερού βήματος FPP με μεταβλητές στροφές/λεπτό είτε ακόμα και με προωστήρες μεταβλητού βήματος και στροφών.

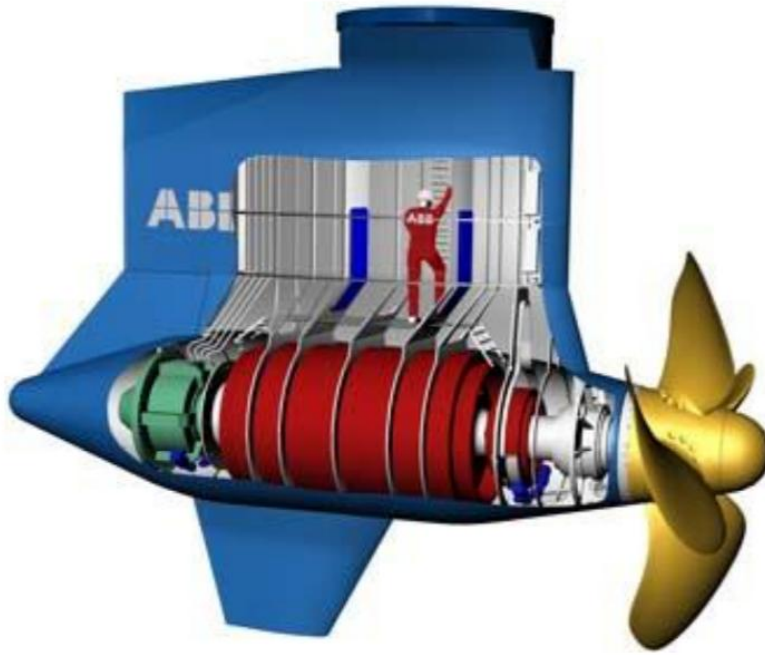
Οι αξιμουθιακοί προωστήρες αρχικά χρησιμοποιούνταν για να κρατούν σταθερή τη θέση ενός πλοίου και για τις μανούβρες του (dp). Τα τελευταία χρόνια ο συνδυασμός τους με την ηλεκτρική πρόωση οδήγησε και στην εφαρμογή τους ως κύρια μέσα πρόωσης σε εφαρμογές της τάξης των 6-7 MW.



ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.7.3 Αξιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion)

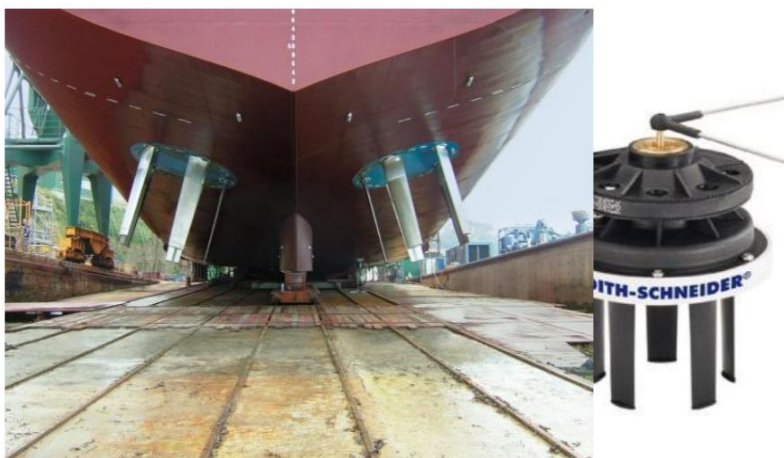
Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα που έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα, εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου, όπως στις εξωλέμβιες. Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360° κατά την αξιμουθιακή διεύθυνση (από όπου προέρχεται και το όνομά του), δηλ. στο οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου, ενώ αφενός πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και αφετέρου δεν υφίσταται μηχανισμός πεδαλίου. Το αξιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod χρησιμοποιείται σήμερα σε εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης της τάξης των 1 – 25MW.



ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.7.4 Σύστημα πρόωσης Voith Schneider

Κατά τα τελευταία χρόνια έχει εισαχθεί στην παραγωγή ένας νέος τύπος προωστήρων, οι Voith Schneider. Από μία κυκλική πλάκα, περιστρεφόμενη γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα, μία κυκλική συστοιχία κάθετων πτερυγίων (σχήμα υδροπτέρυγα) προεξέχουν έξω από τον πυθμένα του πλοίου. Κάθε λεπίδα μπορεί η ίδια να περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. Η εσωτερική ταχύτητα αλλάζει τη γωνία προσβολής των πτερυγίων σε συγχρονισμό με την περιστροφή της πλάκας, έτσι ώστε κάθε λεπίδα μπορεί να παρέχει ώση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση παρέχοντας ικανοποιητικές ταχύτητες πλεύσης αλλά κυρίως πάρα πολύ καλό έλεγχο δυναμικής τοποθέτησης, πράγμα το οποίο βρίσκει χρήση σε πλοία εργασιών.



ΠΗΓΗ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ/ ΜΟΥΝΤΑΚΗΣ Σ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης

3.8.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:

α) Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0 – 100 %.

β) Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.

γ) Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

δ) Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μια να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.

ε) Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.

στ) Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.

ζ) Ευκολία αυτοματισμού.

η) Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και επομένως, αυξημένη ασφάλεια.

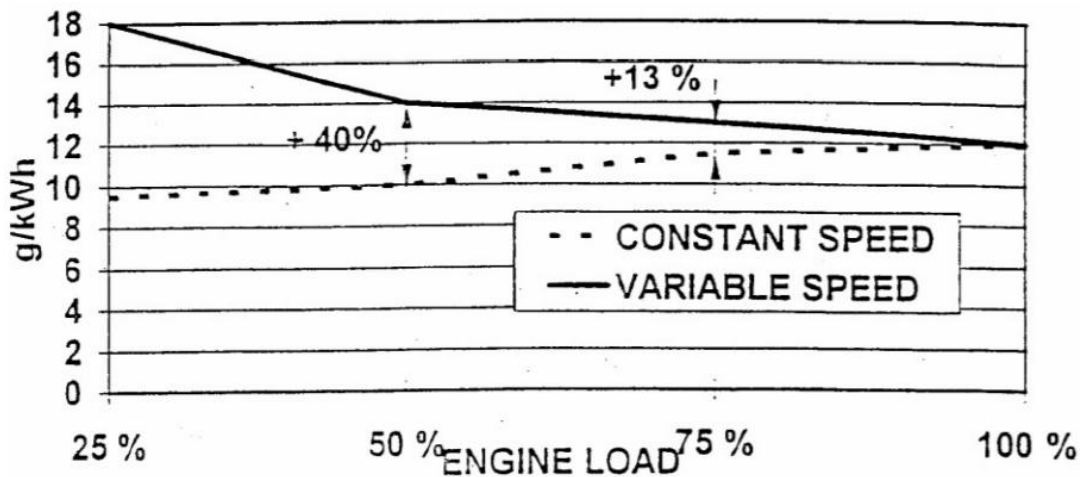
θ) Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων διότι:

α. η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως,

β. ιδιαίτερα οι εκπομπές NOx είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.

γ. σε εφαρμογές αμιγώς ηλεκτρικής πρόωσης με συσσωρευτές ή κυψέλες καυσίμου δεν υπάρχουν ρύποι ή είναι πολύ λιγότεροι (π.χ. σε εφαρμογές με κυψέλες καυσίμου με καύσιμο διαφορετικό του καθαρού υδρογόνου)

ι) Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενόπλοιων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.



ΕΚΠΟΜΠΕΣ NOX ΜΕΣΟΣΤΡΟΦΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL ΜΕ ΒΑΡΥ ΚΑΥΣΙΜΟ.

ΠΗΓΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΜΕ ΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ/ ΚΑΛΟΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

3.8.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης

Τα μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής:

α) Το υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να υπερκερνάται εύκολα.

β) Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε ένα συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel – έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4%: 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7–8%: 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2–3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες.

Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

γ) Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσης.

Οι αρμονικές αυτές αφενός προσauxάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.

Έτσι ο «ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος» που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις, πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος, ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων.

Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλέκτρισης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – BOW THRUSTERS

4.1 Ιστορία του απωθητή πλώρας

Το 1978, ο Doug Aron, ιδρυτής και πρόεδρος του Shipwrights Inc., σχεδίασε ένα απωθητή πλώρας κατάλληλο για μικρά σκάφη. Παρακινήμένος από την ανάγκη για μια μικρή, αλλά ισχυρή μονάδα για τη βάρκα του, και μηχανικός στην δική του επιχείρηση από το 1968, δημιούργησε το αρχικό διπλό απωθητή με την χρήση προπέλας. Σχεδιασμένα για να υδραυλικά οδηγείται σε μια ισχύ 5 hp σε 6 ιντσών σήραγγα. Αυτή η κατασκευή τους οδήγησε να καταλάβουν τα πλεονεκτήματα που είχε ο συνδυασμός δυο προπελών που λειτουργούν σε μια σήραγγα 8 ίντσες, έχει μετάδοση μέχρι 50 HP από το 1990. 10 και 12 ιντσών μεγέθη της σήραγγας είναι διαθέσιμα ως επιλογή στην αρχική σειρά διπλών προπελών.



ΠΗΓΗ: ΑΠΩΘΗΤΗΣ ΠΡΩΡΑΣ (BOW THRUSTER) RO/RO PASSENGERS SHIP/ ΚΩΤΣΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

Για να φτάσουν την ισχύ των 50 HP, το πρωαίο βελτιωνόταν συνεχώς και δοκιμάζονταν στις εγκαταστάσεις τους χρησιμοποιώντας ως πηγές ενέργειας το καύσιμο ντίζελ ή υδραυλικά συστήματα και στις δικές τους μορφοποιημένες δεξαμενές. Το Δοχείο δοκιμής ήταν εξοπλισμένο με ένα μετρητή τάσης που συνδέονταν με ένα ψηφιακό δείκτη ο οποίος έδειχνε τα αποτελέσματα ώθησης. Η πηγή ενέργειας παρακολουθούνταν με άλλα όργανα που εδείχνε η ισχύς HP. Άλλες υποδομές που συμμετείχαν στη διαδικασία ήταν το Κέντρο Κατεργασίας, ο Τόρνος και 4 CAD και ένα σύστημα έκκεντρων.

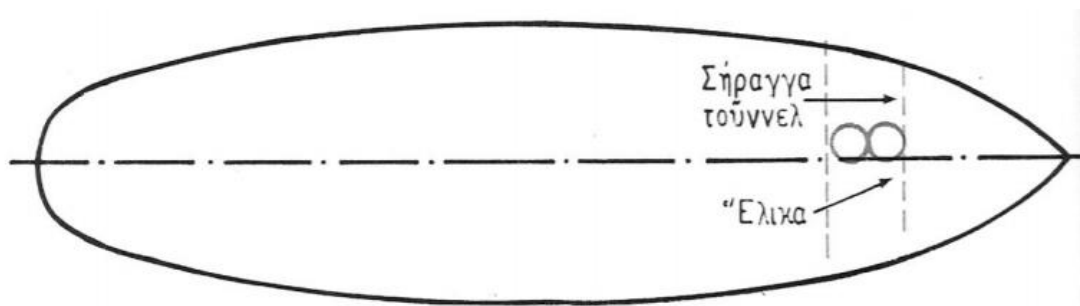
Λόγω της ραγδαίας εξέλιξης σχεδιασμού του απωθητή, ένα σημαντικό πλεονέκτημα που δημιουργήθηκε ήταν πως ακόμη δεν μπορούσε να αντιγραφεί από τους υπόλοιπους ανταγωνιστές μια έλικα με ικανότητα ισχύος 50 hp. Ήταν ένα μεγάλο εμπόδιο να δημιουργήσουν ένα τούνελ 8'' στο οποίο να υπάρχει απωθητής με ισχύ 50 Hp. Μάλιστα ο συγκεκριμένος απωθητής καταλάμβανε μόνο το ένα τρίτο του χώρου του τούνελ της εγκάρσιας τομής.

Έπειτα από 31 χρόνια συνεχούς ανάπτυξης ο απωθητής είναι πολύ πιο ισχυρός από ό,τι άλλες μονάδες στην κλίμακα μεγέθους του, γεγονός που αποδεικνύεται από την ικανότητά του να διαβιβάσει την ισχύ. Σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές υπήρξε επιτυχία σε εγκαταστάσεις επί των πλοίων μέχρι 100 μέτρα σε μήκος, που λειτουργεί μέχρι την ισχύ των 50 HP και ο απωθητής 6'' υπήρξε επιτυχής σε εγκαταστάσεις σε σκάφη έως 50 μέτρα σε μήκος με λειτουργία ισχύς μέχρι και 25 HP.

4.2 Χρησιμότητα του απωθητή πλώρας (bow thruster)

Για να υποβοηθηθούν οι γρήγορες κινήσεις στα λιμάνια (μανούβρες) μερικών τύπων πλοίων όπως, τα οχηματαγωγά, τα container ships (δηλαδή είδη φορτηγών), και τα επιβατικά, χρησιμοποιείται πρωραία έλικα, η οποία προσδίδει αυξημένη ικανότητα χειρισμών, δηλαδή μεγαλύτερη ευελιξία. Όταν ένα πλοίο εισέρχεται στο λιμάνι, χρειάζεται πολύ λεπτομερή χειρισμό για την αποφυγή ατυχημάτων. Με αυτό το σύστημα, του απωθητή πλώρας, έχουμε τον πλήρη έλεγχο όλου του πλοίου. Επίσης, είναι χρήσιμος κατά την αγκυροβόληση διότι μπορεί να τύχει να πρέπει να αγκυροβολήσει ένα πλοίο σε μια πολύ δύσκολη γωνία με λίγο χώρο για ελιγμούς. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο ο bow thruster μπορεί να το πετύχει διότι δεν θα υπάρχει αρκετός χώρος για τα ρυμουλκά.

Η θέση της πρωραίας έλικας είναι στην περιοχή πλώρας πάνω στον διαμήκη άξονα του πλοίου. Με αυτήν πετυχαίνουμε πλευρικές δυνάμεις με αποτέλεσμα την ώθηση και γρήγορη μετατόπιση της πλώρας του πλοίου. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλους χειρισμούς του πηδαλίου και της έλικας του πλοίου. Έτσι το πλοίο μπορεί να παίρνει εύκολα και γρήγορα οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρησιμοποιούνται ρυμουλκά (με αποτέλεσμα να εξοικονομούν και πολλά χρήματα), όταν η ταχύτητά του είναι μικρή, ή ακόμα και με κρατημένες τις μηχανές.



ΠΗΓΗ: ΑΠΩΘΗΤΗΣ ΠΡΩΡΑΣ (BOW THRUSTER) RO/RO PASSENGERS SHIP/ ΚΩΤΣΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

4.3 Τρόπος λειτουργίας

Η λειτουργία του απωθητή βασίζεται στην κίνηση της έλικας που βρίσκεται στην πλώρη του πλοίου. Οι έλικες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια του άξονα σε κινητική ενέργεια του νερού. Η περιστροφική κίνηση της έλικας αυξάνει την ορμή του νερού που ρέει ανάμεσα στα πτερύγια της. Ταυτόχρονα σε κάθε πτερύγιο επάγεται από το ρευστό μια δύναμη, η οποία αναλύεται σε περιφερειακή

ανθιστάμενη συνιστώσα και σε αξονική ωστική δύναμη. Οι περιφερειακές συνιστώσες των δυνάμεων των πτερυγίων δημιουργούν την ανθιστάμενη ροπή στρέψεως της έλικας η οποία υπερνικάται από την στρεπτική ροπή του κινητήρα. Ο αριθμός των πτερυγίων των ελίκων και το σχήμα τους είναι ανάλογα με το είδος του πλοίου και το μέγεθος του. Δηλαδή η έλικα του απωθητή δεν είναι ίδια για όλους τους τύπους πλοίων.

Επίσης, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι για να γίνει σωστά η λειτουργία του απωθητή, θα πρέπει να τοποθετείται όσο γίνεται πιο μπροστά στην πλώρη. Αν τοποθετηθεί λίγο πιο μέσα δεν θα είναι ικανός να αποδώσει στο μέγιστο δυνατό και πάλι θα υπάρξει δυσκολία.

4.4 Τύποι προραίας έλικας

Παρακάτω περιγράφονται δύο από τα σημαντικότερα είδη προραίας έλικας που χρησιμοποιούνται:

A. Προραία έλικα μέσα σε σήραγγα (tunnel type):

Η έλικα τοποθετείται και στερεώνεται σε εγκάρσια σήραγγα. Στις πλευρικές οπές της σήραγγας τοποθετούνται συνήθως, προστατευτικοί ράβδοι κατά τη φορά της ροής. Η αναστροφή της κίνησης της έλικας, δηλαδή η αριστερή ώση γίνεται δεξιά και αντίστροφα, επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

α) Με τον ηλεκτροκινητήρα αναστρέψιμης φοράς περιστροφής και έλικα σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propeller)

β) Με τον ηλεκτροκινητήρα σταθερής φοράς περιστροφής και έλικα μεταβαλλόμενου και αναστρέψιμου βήματος (Controllable Pitch Propeller)

Στην πρώτη περίπτωση η κίνηση ανάποδα επιτυγχάνεται με αναστροφή της φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα με κακό βαθμό αποδόσεως της έλικας κατά την κίνηση αντιστρόφως.

Στην δεύτερη περίπτωση τα πτερύγια έχουν την δυνατότητα μεταβολής της κλίσεως τους ως προς τον άξονα περιστροφής οπότε μπορεί να βελτιστοποιείται η απόδοση της έλικας ανάλογα με την ταχύτητα του πλοίου. Με την αναστροφή της κλίσεως τους επιτυγχάνεται η κίνηση αντίστροφα, χωρίς την ανάγκη περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα. Επίσης η περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για μεσαίες και μεγάλες ιπποδυνάμεις. Η μεταβολή του βήματος των πτερυγίων γίνεται με ηλεκτρικό ή υδραυλικό κινητήρα.

B. Έλικα ανασυρόμενη:

Η έλικα κατεβαίνει κάτω από τον πυθμένα του πλοίου ένα έως δυο μέτρα και μπορεί να περιστραφεί κατά 360° μοίρες γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Μπορεί συνεπώς, να αναπτύξει ώση προς κάθε κατεύθυνση και για αυτό είναι πιο προσαρμόσιμη στους εκάστοτε αναγκαίους χειρισμούς. Έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιείται ασφαλώς κοντά σε προβλήτες με περιορισμένο βάθος νερού. Ο

μηχανισμός κινήσεως κατεβαίνει μαζί με την έλικα η οποία περιβάλλεται από προστατευτικό δακτύλιο. Κάτω από αυτή τοποθετείται προστατευτικό έλασμα, που κατεβαίνει και αυτό μαζί με την έλικα.

Για μια σχετικά μικρή ώση 1000kg η οποία πετυχαίνεται με πρωραία έλικα υποδυνάμεως περίπου 500 ίππων απαιτείται ισχύς της τάξεως των 500KW η οποία επιβαρύνει τις ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου και αυτό θα επηρεάσει σημαντικά τα κατά τη σχεδίαση του πλοίου μεγέθη ή τον αριθμό των ηλεκτρογεννητριών. Όταν η εγκατάσταση της πρωραίας έλικας επιβαρύνει υπέρμετρα (μεγάλη ποσότητα) την ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να επιλεγεί η εγκατάσταση χωριστού κινητήρα Diesel για την κίνηση της πρωραίας έλικας. Οι πρωραίες έλικες χειρισμών για μεγάλα πλοία όπως Επιβατηγά πλοία ή τα πλοία Κοντέινερ ή RO-RO Ships, που κατασκευάζονται σήμερα μπορούν να αναπτύσσουν ώσεις πάνω από 20.000kg με αντίστοιχη υποδύναμη άνω από 1.800 ίππους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF>
- ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΗΔΑΛΙΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΑ ΒΥΘΙΣΕΩΣ (2012) - ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
- ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΎΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ ΠΛΟΙΟΥ (2015) - ΣΙΔΗΡΕΝΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ & ΤΣΕΒΡΕΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
- ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΛΑΛΙΑ (2017) - ΧΑΤΖΗΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
- ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΙΛΟΤΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ (2013) - ΝΟΒΑΚΗΣ ΖΗΣΗΣ
- Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος σε Matlab για την βέλτιστη μεσοπρόθεσμη διαχείριση ενέργειας σε πλοία (2014) - Μουντάκης Σ. Στυλιανός
- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΜΕ ΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ (2013) - ΚΑΛΟΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
- ΑΠΩΘΗΤΗΣ ΠΡΩΡΑΣ (BOW THRUSTER) RO/RO PASSENGERS SHIP (2013) - ΚΩΤΣΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ
- <https://psomakara.com/el/>