



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα μηχανικών σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων

Διπλωματική εργασία:

Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων σε μηχανισμούς πλοίων

Σκούρας Αντώνιος

Επιβλέπων : Βασίλειος Μουλιανίτης, Επ.Καθηγητής Παν. Αιγαίου

Σύρος, Οκτώβριος 2023

Περίληψη της εργασίας

Η εργασία ξεκινά με μια ιστορική αναφορά της προέλευσης των υδραυλικών συστημάτων, αλλά και τον ορισμό του τι είναι ένα υδραυλικό σύστημα γενικά. Γίνεται αναφορά ιδικά στις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές για την σχεδίαση ενός υδραυλικού συστήματος στο πλαίσιο του πλοίου και ανάλυση των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην αρχή του δεύτερου κεφαλαίου περιγράφεται η λειτουργία ενός μηχανισμού πηδαλίου πλοίου ο οποίος έχει σχεδιαστεί σε 3d, πρὸς ανάλυση των επιμέρων τμημάτων από τα οποία αποτελείται. Στην συνέχεια έχει σχεδιαστεί δυσδιάστατα το υδραυλικό τμήμα του συστήματος του πηδαλίου μέσω του οποίου ο μηχανισμός εκτελεί την βασική του λειτουργία (τη στρέψη του πηδαλίου) και εξηγείται ο ρόλος του κάθε υδραυλικού εξαρτήματος που έχει χρησιμοποιηθεί. Τέλος αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως αυτά θα έχουν προκύψει από την μελέτη μιας πραγματικής εφαρμογής του συγκεκριμένου υδραυλικού πηδαλίου. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της λειτουργίας ενός συστήματος έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, αναλύονται οι μηχανισμοί από τους οποίους αποτελείται και σχεδιάζονται εξωτερικά αλλά και εσωτερικά σε 3d, για την ανάδειξη της λειτουργίας τους. Έχει σχεδιαστεί το υδραυλικό σύστημα βάσει των απαιτήσεων λειτουργίας του μηχανισμού, ενώ έχουν προστεθεί οι απαραίτητοι αυτοματισμοί και μηχανισμοί ασφάλειας πάνω στο υδραυλικό κύκλωμα. Τέλος γίνεται αναφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος c.p.p.. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας ενός υδραυλικού βαρούλκου και γίνεται ανάλυση των μηχανισμών από τους οποίους αποτελείται αλλά και σχεδίαση αυτών σε 3d μοντέλο. Στην συνέχεια παρατίθεται το σχέδιο του υδραυλικού συστήματος βάσει των απαιτήσεων του μηχανισμού. Στο σχέδιο γίνεται εφαρμογή διαφόρων βελτιώσεων, μέσω υδραυλικών αυτοματισμών με σκοπό την διευκόλυνση χρήσης και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας του βαρούλκου, ενώ τελειώνοντας υπάρχει αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας υπάρχουν όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την διαδικασία της έρευνας αλλά και της σχεδίασης των τριών υδραυλικών συστημάτων πλοίων που αναφέρονται στην εργασία.

Λέξεις κλειδιά: Υδραυλικά Συστήματα, Υδραυλικό σχέδιο, Μηχανισμοί πλοίων, Σχεδιαστική προσέγγιση, Μηχανισμός υδραυλικού πηδαλίου, Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος, Βαρούλκο ανύψωσης άγκυρας.

Abstract

The project begins with a historical reference of the origin of hydraulic systems, and continues with referring the definition of a hydraulic system. Special reference is made to the requirements and specifications for the design of a hydraulic system in the framework of a ship and an analysis of the technologies that can be used is given. At the beginning of the second chapter, the operation of a ship's rudder mechanism is described, which has been designed in 3d, to analyze the individual parts of which it is composed. Next, the hydraulic part of the rudder system through which the mechanism performs its basic function (rotation of the rudder) is drawn two-dimensionally and the role of each hydraulic component used is explained. Finally, the mechanical characteristics of the system are mentioned as they would have resulted in a hypothetical real application of the particular hydraulic rudder. The third chapter, describes the operation of a controllable pitch propeller system, the mechanisms of which it is composed are analyzed and the design of the mechanisms externally and internally is explained by using 3D models to highlight their function. The hydraulic system has been designed based on the operating requirements of the mechanism, while the necessary safety mechanisms have been added to the hydraulic circuit. Finally, the technical characteristics of the c.p.p. system are mentioned. In the fourth chapter, the operating principles of a hydraulic winch are described and the mechanisms of which it is composed are analyzed as well as a 3d model of the mechanism is presented. After that, the hydraulic system design is explained based on the requirements of the mechanism. In the design, various hydraulic automations are implemented in order to facilitate use and optimize the energy consumption of the winch, while finishing with a reference to the technical characteristics of the system. In the last chapter of the project, the reader can find all the conclusions obtained during the research process and the designing of the three ship hydraulic systems.

Keywords: Hydraulic Systems, Hydraulic Design, Ship Mechanisms, Design Thinking, Hydraulic Rudder Mechanism, Controllable Pitch Propeller, Anchor Lifting Winch.

Περιεχόμενα

Περίληψη της εργασίας.....	1
Πρόλογος.....	5
Αρχές σχεδίασης υδραυλικών συστημάτων στο πλαίσιο του πλοίου	
.1.1 Εισαγωγή.....	6
.1.2 Αρχές σχεδίασης ενός υδραυλικού συστήματος.....	10
.1.3 Το πλοίο ως πλαίσιο σχεδίασης.....	13
.1.4 Στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος.....	17
.1.5 Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	25
Μηχανισμός υδραυλικού πηδάλιου	
.2.1 Περιγραφή της σχεδίασης ενός μηχανισμού υδραυλικού πηδάλιου.....	27
.2.2 Υπολογισμός των τεχνικών προδιαγραφών του συστήματος.....	29
.2.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος.....	39
.2.4 Λειτουργία του κυκλώματος.....	42
.2.5 Σχεδίαση του συστήματος ασφαλείας.....	46
.2.6 Χαρακτηριστικά του συστήματος.....	48
.2.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	49
Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος	
.3.1 Εισαγωγή.....	52
.3.2 Περιγραφή της σχεδίασης ενός συστήματος C.P.P.....	53
.3.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος.....	58
.3.4 Λειτουργία του υδραυλικού συστήματος.....	60
.3.5 Διαφορικός μηχανισμός επαναφοράς.....	64
.3.6 Χαρακτηριστικά του συστήματος.....	66
.3.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	67
Βαρούλκο ανύψωσης άγκυρας	
.4.1 Εισαγωγή.....	70

.4.2 Περιγραφή της σχεδίασης ενός μηχανισμού βαρούλκου αγκύρας.....	72
.4.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος.....	75
.4.4 Βελτιστοποίηση του υδραυλικού σχεδίου του βαρούλκου.....	77
.4.5 Χαρακτηριστικά του συστήματος.....	82
.4.6 Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	83
Συμπεράσματα	
.5.1 Γενικά συμπεράσματα.....	85
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	87

Πρόλογος

Η εκπόνηση μελέτης για την σχεδίαση συστημάτων προϋποθέτει γνώσεις τις οποίες πρέπει να έχει ο μελετητής για τις διάφορες λειτουργίες που το σύστημα πρέπει να καλύπτει καθώς και για τις ιδιαιτερότητες που το σύστημα πρέπει να έχει λόγω των ειδικών απαιτήσεων του χώρου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Τις γνώσεις αυτές ο μελετητής μπορεί, ήδη να τις διαθέτει από προηγούμενη εμπειρία του, ή μπορεί να τις αποκτήσει μελετώντας παροιμίες εν λειτουργία καταστάσεις.

Στην σχεδίαση των ειδικών εφαρμογών των μηχανο-υδραυλικών συστημάτων στα πλοία, τις λειτουργίες τους και τις ιδιαιτερότητες τους αναφέρονται τα κεφάλαια της εργασίας αυτής. Μέσα από αυτά μπορεί κάποιος να γνωρίσει τον τρόπο με τον οποίο η υδραυλική ισχύς παράγεται και συνδυάζεται με τους κατάλληλους μηχανισμούς για να επιτευχθούν οι διάφορες λειτουργίες σε ένα πλοίο, όπως η στρέψη του πτερυγίου του πηδαλίου, η λειτουργία μιας έλικας ρυθμιζόμενου βήματος και η ανύψωση της αγκύρας.

Σε κάθε κεφάλαιο εξετάζετε ένα μόνο σύστημα. Στην αρχή του κάθε κεφαλαίου γίνεται αναφορά στα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος χωριστά για το μηχανικό και το υδραυλικό μέρος. Στα γενικά αυτά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται πληροφορίες για τη σχεδίαση του συστήματος, για το σύνολο των εξαρτημάτων του, για τις βασικές αρχές της λειτουργίας του και για τις διάφορες κατασκευαστικές του ιδιαιτερότητες.

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της μεθόδου σχεδίασης του υδραυλικού μέρους. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει την αναφορά στα διάφορα τμήματα και στοιχεία λειτουργίας του υδραυλικού κυκλώματος και στην εξήγηση της λειτουργίας του. Όλες οι περιγραφές σε κάθε κεφάλαιο συνοδεύονται από τα ανάλογα σχήματα και σχέδια τα οποία καλύπτουν πλήρως τις περιγραφές στο κείμενο.

Τα στοιχεία για τις συγκεκριμένες εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων στα πλοία, για τις οποίες γίνεται αναφορά στα κεφάλαια της εργασίας έχουν προκύψει κατόπιν μελέτης αρκετών σύγχρονων συστημάτων από τα οποία επιλέχθηκαν ορισμένα με τα κριτήρια ότι περιείχαν τα περισσότερα κατασκευαστικά στοιχεία, έχουν τα καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά και καλύπτουν το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογών.

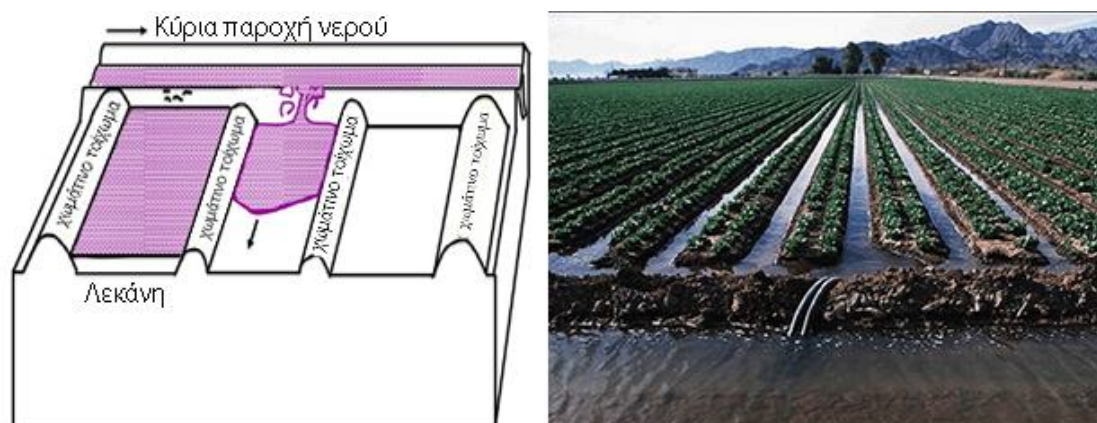
Κεφάλαιο 1: Αρχές σχεδίασης υδραυλικών συστημάτων στο πλαίσιο του πλοίου:

1.1 Εισαγωγή:

Τα υδραυλικά συστήματα έχουν σχηματίσει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία των πλοίων για πολλές δεκαετίες. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ρευστή ισχύ για τη μετάδοση και τον έλεγχο των δυνάμεων, επιτρέποντας την κίνηση διαφόρων εξαρτημάτων και εξοπλισμού του πλοίου. Ακολουθεί μια επισκόπηση της ιστορίας των υδραυλικών συστημάτων στα πλοία:

1.1.1. Πρώιμες εξελίξεις:

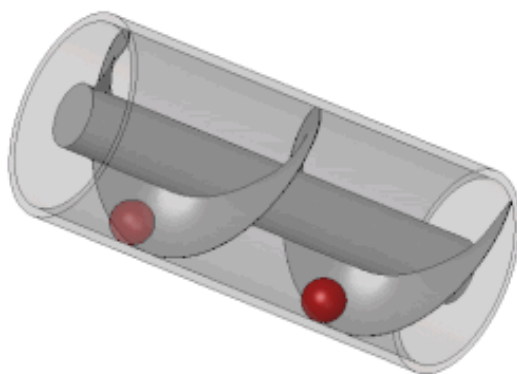
Η έννοια της υδραυλικής ισχύος προϋπήρχε της χρήσης κινητήρων στα πλοία. Οι αρχαίοι πολιτισμοί, όπως οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι, χρησιμοποιούσαν μηχανισμούς που οδηγούνταν από το νερό για άρδευση και άλλους σκοπούς. Το πρώτο υδραυλικό σύστημα εμφανίζεται στην αρχαία Αίγυπτο πριν από 4.000 χρόνια [Εικ.1.1] και αποτελεί ένα σύστημα άρδευσης νερού σε χωμάτινες λεκάνες, με στόχο το αυτόματο πότισμα των καλλιεργειών. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την συνεχή ροή ενός ποταμού και επιτρέπει τον έλεγχο στην στάθμη και στην ποσότητα του νερού με την οποία θα ποτίζονται οι καλλιέργειες. Παρόμοια συστήματα αυτόματου ποτίσματος χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.



[Εικ.1.1] Σύστημα άρδευσης νερού σε λεκάνες.

Στην συνέχεια εμφανίστηκαν διάφοροι απλοί μηχανισμοί που επιτρέπουν τον έλεγχο ενός ρευστού. Το 200 π.χ. ο Αρχιμήδης εφηύρε το πρώτο μοντέλο αντλίας, τον κοχλία του Αρχιμήδη [Εικ.1.2]. Από εκεί και πέρα η μια εφεύρεση διαδέχτηκε την άλλη καθώς οι άνθρωποι ερευνούσαν διάφορους τρόπους να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες των ρευστών για την διευκόλυνση τους, έως και τον 17ο αιώνα όπου η τεχνολογία των υδραυλικών συστημάτων αρχίζει πλέον να εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Διάφοροι φυσικοί και μαθηματικοί άρχισαν να ερευνούν τους νομούς της φύσης και το πως αυτοί εφαρμόζονται στα υδραυλικά, την κίνηση των

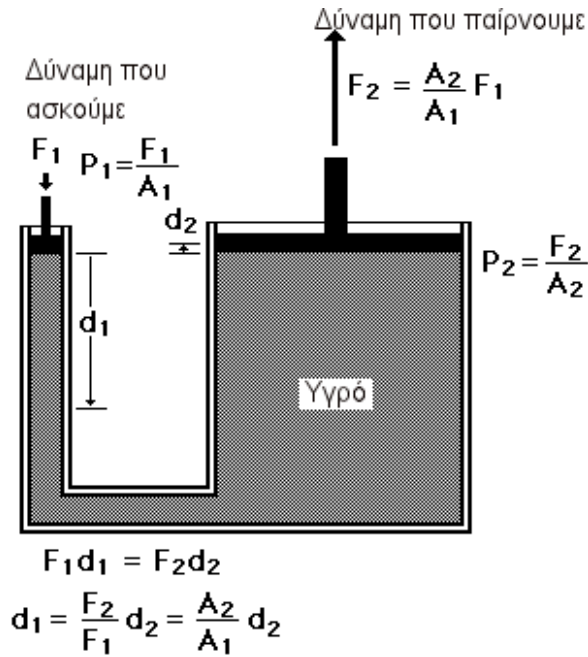
ρευστών και την πίεση. Ένας από αυτούς ήταν και ο Blaise Pascal ο οποίος διατύπωσε την αρχή του Pascal. Καθορίζει ότι η οποιαδήποτε πίεση που τυχόν μπορεί να ασκηθεί στην επιφάνεια ενός υγρού μεταδίδεται ομοιόμορφα εντός αυτού, προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλο το βάθος του. Μέσω της διατύπωσης αυτής ο Pascal έδειξε τον δρόμο για την εξέλιξη πολύπλοκων υδραυλικών συστημάτων.



[Εικ.1.2] Ο κοχλίας του Αρχιμήδη.

1.1.2 Εφεύρεση της υδραυλικής πρέσας:

Το 1795, ο Βρετανός μηχανικός Joseph Bramah εφεύρε την υδραυλική πρέσα [Εικ.1.3], η οποία χρησιμοποίησε υδραυλική ισχύ για να ενισχύσει τη δύναμη. Αυτή η εφεύρεση έθεσε τα θεμέλια για τη χρήση υδραυλικών συστημάτων σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων. Η πρέσα λειτουργεί ως εξής: Ο χειριστής ασκεί μια δύναμη F_1 στο μικρής διατομής έμβολο και εμβαδού A_1 της κατασκευής αναγκάζοντας το να μετακινηθεί κατά απόσταση ίση με d_1 . Κατά την μετακίνηση αυτή το υδραυλικό υγρό κάτω από το έμβολο αναγκάζεται να συμπιεστεί δημιουργώντας έτσι πίεση P_1 για την οποία ισχύει $P_1 = F_1/A_1$. Επειδή τα δοχεία επικοινωνούν αυτή η πίεση θα ασκηθεί και στο μεγάλο έμβολο εμβαδού A_2 ως P_2 με $P_1 = P_2$, δημιουργώντας την δύναμη F_2 η οποία το αναγκάζει να μετακινηθεί κατά d_2 . Αν επιλύσουμε τον τύπο $P_1 = P_2$ ως προς την F_2 έχουμε: $F_2 = (A_2/A_1) * F_1$ και επειδή το $A_2 \gg A_1$ ισχύει ότι και η $F_2 \gg F_1$. Άρα στο μεγάλο έμβολο η δύναμη που ασκείται θα είναι πολλαπλάσια της αρχικής δύναμης που ασκήθηκε. Για την απόσταση που θα μετακινηθούν τα έμβολα ισχύει $F_1 * d_1 = F_2 * d_2$ άρα το $d_1 = (F_2/F_1) * d_2$ και αφού η $F_2 \gg F_1$ τότε και $d_1 \gg d_2$. Το μικρότερο έμβολο θα μετακινηθεί πολύ περισσότερο από το μεγάλο.



[Εικ.1.3] Εφαρμογή της αρχής του Pascal για την μετακίνηση ενός υδραυλικού εμβόλου (πιεστήριο του Bramah).

1.1.3 Εμφάνιση των πρώιμων υδραυλικών συστημάτων του πλοίου:

Κατά τον 19ο αιώνα, τα υδραυλικά συστήματα άρχισαν να κάνουν την εμφάνιση τους στα πλοία. Το Βασιλικό Ναυτικό της Βρετανίας ήταν από τους πρώτους που υιοθέτησαν την συγκεκριμένη τεχνολογία στα στρατιωτικά πλοία τους. Χρησιμοποίησε την υδραυλική ισχύ για διάφορες εργασίες όπως τον χειρισμό πυργίσκων όπλων, τους μηχανισμούς των πηδαλίων και τους μηχανισμούς φόρτωσης-εκφόρτωσης φορτίου. Αυτά τα συστήματα τροφοδοτούνταν αρχικά με χειροκίνητες αντλίες ή ατμομηχανές.

1.1.4 Οι εξελίξεις στον 20ο αιώνα:

Ο 20ός αιώνας έφερε σημαντικές προόδους στην τεχνολογία των υδραυλικών συστημάτων, που οδήγησαν σε πιο αξιόπιστες και αποτελεσματικές εφαρμογές στα πλοία. Η εισαγωγή ηλεκτρικών κινητήρων και βελτιωμένων μηχανισμών ελέγχου ενίσχυσαν περαιτέρω την απόδοση και την ευελιξία των υδραυλικών συστημάτων στα πλοία.

1.1.5 Ανάπτυξη Μηχανισμών Πηδαλίων:

Μία από τις κρίσιμες εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων στα πλοία είναι τα υδραυλικά πηδάλια. Αρχικά, τα πλοία χρησιμοποιούσαν μηχανικά συστήματα πηδαλίων που λειτουργούσαν με ανθρώπινη ενέργεια ή ατμό. Ωστόσο, η υδραυλική

ισχύς βελτίωσε σημαντικά τον έλεγχο και την απόκριση του τιμονιού. Η έλευση των υδραυλικών συστημάτων επέτρεψε τη χρήση υδραυλικών μηχανισμών διεύθυνσης, κάνοντας τα πλοία πιο ευέλικτα και ανταποκρινόμενα στις εντολές του τιμονιού.

1.1.6 Διακίνηση φορτίου:

Τα υδραυλικά συστήματα έφεραν επανάσταση στη διαχείριση φορτίου στα πλοία. Με τη βοήθεια της υδραυλικής ισχύος, οι γερανοί και τα βαρούλκα μπορούσαν να σηκώσουν πλέον πολύ βαριά φορτία και να τα χειριστούν με ακρίβεια. Αυτή η τεχνολογία αύξησε σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια στις εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου.

1.1.7 Σύγχρονες Εφαρμογές:

Στα σύγχρονα πλοία, τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές. Τροφοδοτούν συστήματα όπως τα βαρούλκα αγκύρας, τις έλικες προώθησης (προπέλες), τα διάφορα μηχανήματα του καταστρώματος, τα καλύμματα των αμπαριών αλλά και τους πλάγιους σταθεροποιητές του πλοίου. Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο της κίνησης μεγάλων θυρών και ραμπών, καθώς και για τη λειτουργία των ανελκυστήρων εντός του σκάφους.

1.1.8 Πρόοδος στους Αυτοματισμούς:

Με την ενσωμάτωση των αυτοματισμών και των συστημάτων ηλεκτρονικού ελέγχου, τα υδραυλικά συστήματα στα πλοία έχουν γίνει πιο εξελιγμένα. Αυτά τα συστήματα μπορούν να λειτουργούν και να ελέγχονται εξ αποστάσεως, επιτρέποντας μεγαλύτερη ασφάλεια, αξιοπιστία και ενεργειακή απόδοση.

1.1.9 Περιβαλλοντικές ανησυχίες:

Τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί μια αυξανόμενη έμφαση στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ως αποτέλεσμα, υπήρξε μια στροφή προς την ανάπτυξη εναλλακτικών συστημάτων πρόωσης και τη μείωση των εκπομπών. Ενώ τα υδραυλικά συστήματα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται στα πλοία, δίνεται έμφαση στη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητάς τους και στην εξερεύνηση πιο πράσινων εναλλακτικών λύσεων.

Συνολικά, η ιστορία των υδραυλικών συστημάτων στα πλοία καταδεικνύει τον ζωτικό τους ρόλο στην διευκόλυνση πολλών λειτουργιών και στη συνολική βελτίωση της απόδοσης του πλοίου. Από τα πρώιμα μηχανικά συστήματα έως τις σύγχρονες αυτοματοποιημένες λύσεις, η υδραυλική ισχύς έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της σύγχρονης βιομηχανίας της ναυτιλίας.

1.2 Αρχές σχεδίασης ενός υδραυλικού συστήματος:

Κατά την διαδικασία του σχεδιασμού ενός υδραυλικού συστήματος ο σχεδιαστής ακολουθεί την κοινή μεθοδολογία σχεδίασης, όπως θα έκανε με οποιοδήποτε άλλο σύστημα.

Αρχικά ο σχεδιαστής πρέπει να αναγνωρίσει τον τύπο του προβλήματος και να ερευνήσει τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους εκείνο μπορεί να λυθεί. Αφού καταλήξει πως η λύση θα έρθει μέσω της δημιουργίας ενός υδραυλικού συστήματος τότε θα πρέπει να οριστούν οι βασικές προδιαγραφές αυτού. Οι προδιαγραφές του συστήματος ορίζονται πάντα από τις μηχανικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις του πλαισίου σχεδίασης. Οι πρώτες είναι πάντα συγκεκριμένες και αμετάβλητες και είτε θα δοθούν έτοιμες από τον μηχανικό στον σχεδιαστή είτε ο σχεδιαστής θα της ορίσει ο ίδιος, με την προϋπόθεση ότι κατέχει μηχανολογικές γνώσεις. Το πλαίσιο σχεδίασης ορίζεται πάντα από τον χώρο όπου βρίσκεται το πρόβλημα προς επίλυση.

Design Thinking



Empathize



Define



Ideate



Prototype



Test

Interaction Design Foundation
interaction-design.org

[Εικ.1.4] Στόχοι της σχεδιαστικής προσέγγισης.

Η εφαρμογή της σχεδιαστικής προσέγγισης στην σχεδίαση υδραυλικών συστημάτων στην θάλασσα περιλαμβάνει την υιοθέτηση μιας ανθρωποκεντρικής προσέγγισης κατά την διαδικασία σχεδιασμού [Εικ.1.4]. Ακολουθούν ορισμένα βήματα και μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν:

1. Εμπάθεια με τους χρήστες : Αρχικά ο σχεδιαστής πρέπει να κατανοήσει τις ανάγκες, τις προκλήσεις και τις προτιμήσεις των τελικών χρηστών ενός υδραυλικού συστήματος. Απαραίτητη είναι η συνεργασία με τους χειριστές πλοίων, το προσωπικό συντήρησης και τους υπόλοιπους εμπλεκόμενους για να συγκεντρωθούν πληροφορίες και να αποκτηθεί μια βαθιά κατανόηση των απαιτήσεών τους.
2. Ορισμός του προβλήματος: Σαφής καθορισμός του προβλήματος που στοχεύει να αντιμετωπίσει το υδραυλικό σύστημα. Προσδιορισμός των αδύναμων σημείων, των ανεπαρκειών και των προβλημάτων ασφάλειας που πρέπει να επιλυθούν μέσω του σχεδιασμού.
3. Ιδεασμός και Brainstorming: Δημιουργία ενός ευρέος φάσματος ιδεών. Ο ιδεασμός θα πρέπει να προκύψει μέσω συνεργασίας των σχεδιαστών, μηχανικών και ειδικών του τομέα για να βρεθούν οι πιθανές λύσεις. Θα πρέπει να εξεταστούν τόσο οι συμβατικές όσο και οι καινοτόμες προσεγγίσεις σχετικά με την σχεδίαση υδραυλικών συστημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον.
4. Πρωτοτυποποίηση: Δημιουργία πρωτότυπων ή μακετών των συστημάτων προς σχεδίαση. Αυτές μπορεί να είναι φυσικές ή ψηφιακές αναπαραστάσεις που επιτρέπουν δοκιμές και αξιολόγηση. Τεχνικές ταχείας πρωτοτυποποίησης, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δοκιμή και τη γρήγορη βελτίωση των υδραυλικών σχεδίων.
5. Δοκιμή και επικύρωση: Πραγματοποίηση δοκιμών χρηστών και συγκέντρωση σχολίων για τα πρωτότυπα. Παρατήρηση της αλληλεπίδρασης των χρηστών με το υδραυλικό σύστημα και εντοπισμός περιοχών προς βελτίωση. Χρήση αυτού του feedback για να βελτίωση και επανασχεδίαση του συστήματος,

διασφαλίζοντας ότι ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών.

6. Επανασχεδίαση: Επανάληψη της διαδικασίας σχεδιασμού, βελτιώνοντας συνεχώς το υδραυλικό σύστημα με βάση τα σχόλια των χρηστών και τα αποτελέσματα δοκιμών. Μπορεί να χρειαστούν πολλαπλοί κύκλοι σχεδίασης, πρωτοτύπων, δοκιμών και βελτιώσεων για να δημιουργηθεί μια λύση που αντιμετωπίζει βέλτιστα τα εντοπισμένα προβλήματα και απαιτήσεις.
7. Ασφάλεια και αξιοπιστία: Σχεδιάζοντας στο πλαίσιο του πλοίου, η ασφάλεια και η αξιοπιστία είναι πρωταρχικής σημασίας. Πάντα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας μηχανισμός ασφαλείας για την αντιμετώπιση αστοχιών, όπως επίσης είναι αναγκαία η ύπαρξη ανταλλακτικών και στιβαρών δομές για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η ασφάλεια του υδραυλικού συστήματος, κάτω από όλες τις συνθήκες.
8. Ενσωμάτωση και συμβατότητα: Εξετάζεται η ενσωμάτωση του υδραυλικού συστήματος σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα και εξαρτήματα του πλοίου. Διασφαλίζεται η συμβατότητα με την υπάρχουσα υποδομή και τις διεπαφές, επιτρέποντας την απρόσκοπτη εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος. Για να συμβεί αυτό απαιτείται η συνεργασία ανάμεσα στις ομάδες σχεδιασμού για να διασφαλιστεί ότι η ενοποίηση του συστήματος είναι ομαλή.
9. Απόδοση και βιωσιμότητα: Σχεδίαση του υδραυλικού συστήματος έχοντας κατά νου τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή του απόδοση. Εξέταση του ενδεχόμενου να χρησιμοποιηθούν φιλικά προς το περιβάλλον υγρά, να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα και οι διαρροές. Πάντα πρέπει να γίνεται εξερεύνηση ευκαιριών για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υδραυλικών εξαρτημάτων.
10. Συνεχής Βελτίωση: Η διαδικασία σχεδιασμού δεν τελειώνει με την αρχική υλοποίηση. Γίνεται συνεχώς αναζήτηση σχολίων και παρακολούθηση της απόδοσης του υδραυλικού συστήματος σε πραγματικές συνθήκες. Η εύρεση

των τομέων του συστήματος που χρήζουν περαιτέρω βελτίωση στη σχεδίαση γίνεται με βάση τα λειτουργικά δεδομένα και τις εμπειρίες των χρηστών.

Ενσωματώνοντας την σχεδιαστική προσέγγιση στην σχεδίαση υδραυλικών συστημάτων, ο σχεδιαστής δημιουργεί καινοτόμες και με επίκεντρο τον χρήστη λύσεις που αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τις προκλήσεις και τις απαιτήσεις της βιομηχανίας της ναυτιλίας.

Ο χώρος εγκατάστασης του υδραυλικού συστήματος, μαζί με τις μηχανολογικές ανάγκες που υπάρχουν, ορίζουν τις απαιτήσεις ασφάλειας που καλείτε να καλύψει ο σχεδιαστής. Αυτές επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης αυτοματισμών και βαλβίδων (γίνεται αναφορά στη συνέχεια), αλλά και μέσω της χρήσης ενός συστήματος διακοπής της λειτουργίας του συστήματος σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Αφού οι μηχανολογικές αλλά και οι απαιτήσεις ασφάλειας του συστήματος γίνουν κατανοητές τότε ο σχεδιαστής προχωράει στην δημιουργία ενός δισδιάστατου διαγράμματος. Αυτό με τη χρήση των κατάλληλων συμβόλων θα δείχνει με λεπτομέρεια την συνδεσμολογία όλων των στοιχείων λειτουργίας αλλά και τον τρόπο λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος.

Για να μπορεί να ολοκληρωθεί σωστά το υδραυλικό σχέδιο θα πρέπει να μελετηθούν όλοι οι τύποι συμβατών εξαρτημάτων από όλους τους κατασκευαστές της αγοράς και να επιλεγθούν αυτοί που ταιριάζουν ιδανικά με την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Με το υδραυλικό σχέδιο να έχει ολοκληρωθεί, ο σχεδιαστής περνάει στην τελική φάση της σχεδίασης η οποία απαιτεί την τρισδιάστατη σχεδίαση του συστήματος στον χώρο που θα τοποθετηθεί με στόχο την διευκόλυνση της συντήρησης του συστήματος αλλά και την μείωση του κόστους και του χώρου τοποθέτησης.

1.3 Το πλοίο ως πλαίσιο σχεδίασης:

Η μεγαλύτερη δυσκολία κατά την σχεδίαση ενός υδραυλικού συστήματος σε ένα πλοίο είναι η ταυτόχρονη ικανοποίηση τόσο των μηχανολογικών απαιτήσεων όσο και των απαιτήσεων του πλαισίου.

Οι απαιτήσεις που χρειάζεται να έχει το υδραυλικό σύστημα πάνω στο πλοίο σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο υδραυλικό σύστημα είναι οι εξής:

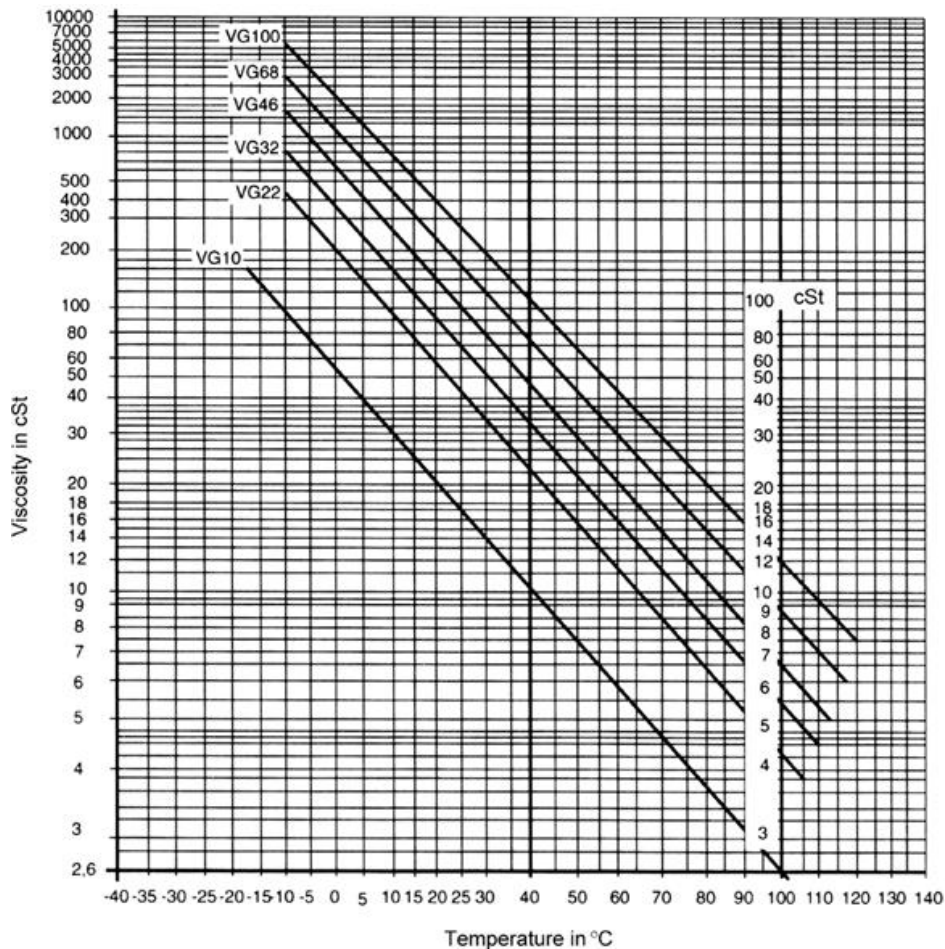
- Το πλοίο καθώς ταξιδεύει συνεχώς μπορεί να βρεθεί μέσα σε λίγους μήνες σε δύο διαφορετικά μέρη του πλανήτη με τέλειος διαφορετικά κλίματα. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος έχει πολύ σημαντικό ρόλο κατά την λειτουργία ενός υδραυλικού συστήματος καθώς επηρεάζει το ιξώδες του

υδραυλικού ρευστού. Ο βαθμός ιξώδους (VG) ενός υδραυλικού υγρού παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αντίσταση στη ροή του μέσα σε ένα υδραυλικό κύκλωμα. Ένα υδραυλικό υγρό με χαμηλό βαθμό ιξώδους θα είναι πιο αραιό, πιο υγρό και θα ρέει πιο εύκολα. Οι περισσότεροι κατασκευαστές στο χώρο των υδραυλικών συστημάτων ορίζουν το ιδανικό ιξώδες ρευστού για την ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού τους σύμφωνα με το ISO 3448:1992, όπως μπορούμε να δούμε και στον παρακάτω πίνακα [Πιν.1.1],[Εικ.1.5]. Για αυτό τον λόγο πρέπει πάντα να τοποθετείτε ένα σύστημα συνεχούς ελέγχου της θερμοκρασίας του συστήματος.

Αριθμός βαθμίδας ιξώδους ρευστού VG (VISCOSITY GRADE)	Τύπος περιβάλλοντος λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος
VG 22	Αρκτικά κλίματα
VG 32	Χειμερινές συνθήκες στην κεντρική Ευρώπη
VG 46	Θερινές συνθήκες στην κεντρική Ευρώπη
VG 68	Τροπικά κλίματα / Υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος
VG 100	Εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

[Πιν.1.1] Ιδανικός βαθμός ιξώδους υδραυλικού ρευστού ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας του συστήματος σύμφωνα με το ISO 3448:1992.

Ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει σχεδιάσει το σύστημα, ώστε να διευκολύνει την αντικατάσταση του υδραυλικού υγρού από το ίδιο το πλήρωμα, χωρίς να χρειάζεται ειδικό συνεργείο για να κάνει την αλλαγή.



[Εικ.1.5] Γράφημα μεταβολής ιξώδους υδραυλικού ρευστού ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για ρευστά διαφορετικών βαθμίδων ιξώδους .Σύμφωνα με το ISO 3448:1992.

- Πολύ σημαντικό ρόλο στη ομαλή λειτουργία ενός υδραυλικού συστήματος έχει η προγραμματισμένη συντήρηση του σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας που ορίζει ο κατασκευαστής του κάθε εξαρτήματος. Το πλοίο μπορεί να ταξιδεύει για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα και η συντήρηση του συστήματος δεν θα είναι εφικτή από κάποιο εξωτερικό συνεργείο. Το σύστημα θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε όλα τα επιμέρους στοιχεία του να έχουν περισσότερες ώρες ζωής έως την συντήρηση, σε σχέση με την διάρκεια του μεγαλύτερου δρομολογίου που εκτελεί το πλοίο. Έτσι όταν αυτό φτάσει στο λιμάνι, το αρμόδιο συνεργείο θα μπορεί να προβεί στην συντήρηση των υδραυλικών του.
- Τα υδραυλικά συστήματα έχουν ζωτική σημασία για την σωστή και ασφαλή λειτουργία ενός πλοίου, με τα περισσότερα από αυτά να πρέπει να λειτουργούν σε όλη την διάρκεια του ταξιδιού. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να επιλέξει τα στοιχεία του συστήματος με γνώμονα τόσο την αξιοπιστία τους

αλλά και βάσει της επισκευασιμότητας τους σε περίπτωση βλάβης. Κατά τη διάρκεια όπου το πλοίο ταξιδεύει, οποιαδήποτε βλάβη προκύψει στο σύστημα θα πρέπει να μπορεί να διορθωθεί από το πλήρωμα το οποίο δεν θα διαθέτει εξειδικευμένες γνώσεις αλλά ούτε και τον κατάλληλο εξοπλισμό. Σε περιπτώσεις που κάποιο στοιχείο του συστήματος δεν είναι δυνατό να επισκευαστεί έστω και προσωρινά από το πλήρωμα, ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει προνοήσει και είτε να έχει τοποθετήσει δικλείδες ασφάλειας ώστε να εγγυάται την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος μέχρι και την επισκευή από ένα εξειδικευμένο συνεργείο. Είτε να υποχρεώνει τον ιδιοκτήτη του συστήματος να έχει τουλάχιστον άλλο ένα ανταλλακτικό εξάρτημα μέσα στο πλοίο.

- Σε σχέση με το ελεγχόμενο περιβάλλον ενός εργοστασίου, στο πλοίο το μεγαλύτερο ποσοστό των υδραυλικών συστημάτων θα έχει τουλάχιστον ένα μέρος του εκτεθειμένο στο περιβάλλον. Γενικά μιλώντας το θαλασσινό νερό προκαλεί από 0.35χιλ. έως και 0.65χιλ. διάβρωσης στο ατσάλι μέσα σε έναν χρόνο. Ανάλογα με την εφαρμογή που θα έχει το υδραυλικό σύστημα, ο σχεδιαστής θα πρέπει να δώσει πολύ μεγάλη προσοχή στην επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Σε όλα τα ζωτικής σημασίας τμήματα του συστήματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση ενώ όλα τα στοιχεία θα πρέπει να έχουν αποκαλυφθεί με κάποιο μονωτικό υλικό προς αποφυγή της απευθείας επαφής με το θαλάσσιο περιβάλλον.
[Πιν.1.2]

Type of Metal	Days	Weight Loss, w_1 (g)	Corrosion Rate, CR (mm/year)
Uncoated Mild Steel	7	0.0114	1.0027
	14	0.0146	2.0054
	21	0.0152	3.0081
	30	0.0185	4.2973
Uncoated Aluminium	7	0.0018	0.3557
	14	0.0022	0.7114
	21	0.0025	1.0671
	30	0.0028	1.5244
Uncoated Stainless Steel	7	0.0001	0.0071
	14	0.0001	0.0141
	21	0.0001	0.0212
	30	0.0001	0.0303
Coated Mild Steel	7	0.0080	0.6164
	14	0.0086	1.2328
	21	0.0088	1.8492
	30	0.0094	2.6417
Coated Aluminium	7	0.0008	0.1739
	14	0.0010	0.3478
	21	0.0013	0.5217
	30	0.0018	0.7453
Coated Stainless Steel	7	0.0000	0.0000
	14	0.0000	0.0000
	21	0.0000	0.0000
	30	0.0001	0.0016

[Πιν.1.2] Πίνακας σύγκρισης διάβρωσης μη μονωμένων και μονωμένων υλικών με μόνωση από λεπτή στρώση καρβίδιου του πυριτίου.

1.4 Στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος:

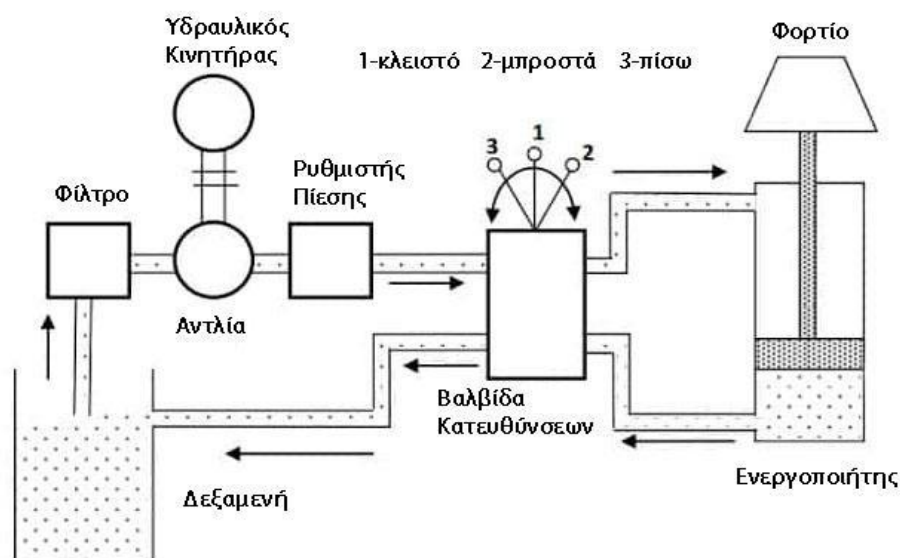
Ένα σύγχρονο υδραυλικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από δεκάδες διαφορετικούς μηχανισμούς προκειμένου να πράξει το επιθυμητό έργο, ενώ το ρευστό που χρησιμοποιείτε μέσα στο σύστημα είναι υδραυλικό λάδι με προκαθορισμένο ιξώδες και συγκεκριμένη καθαρότητα ανά εφαρμογή.

Τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την σχεδίαση ενός απλοποιημένου υδραυλικού συστήματος είναι: Ο ενεργοποιητής, η υδραυλική αντλία, οι βαλβίδες, το ηλεκτρικό μοτέρ, η δεξαμενή του υδραυλικού υγρού, οι σωλήνες, τα φίλτρα και οι υδραυλικοί συσσωρευτές.

Σχεδιάζοντας ένα υδραυλικό σύστημα μπορούμε να το χωρίσουμε σε τρία διαφορετικά υποσυστήματα. Το πρώτο είναι η πηγή ισχύος του συστήματος και αποτελείται από το ηλεκτρικό μοτέρ και την αντλία. Το δεύτερο το οποίο είναι το τμήμα ελέγχου του συστήματος που αποτελείται από όλες τις βαλβίδες, ουσιαστικά είναι ο εγκέφαλος του υδραυλικού συστήματος και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την σχεδίαση του. Τρίτο και τελευταίο τμήμα είναι αυτό της απόδοσης της ισχύος, αποτελούμενο από τον ενεργοποιητή και το εκάστοτε φορτίο.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τον ρολό που το κάθε στοιχείο που αναφέρετε παραπάνω έχει στη σχεδίαση ενός υδραυλικού συστήματος θα πρέπει να αρχικά να κατανοήσουμε την μηχανική λειτουργία τους.

Στην [Εικ.1.6] μπορούμε να δούμε απλοποιημένα, την συνδεσμολογία ενός υδραυλικού συστήματος το οποίο χρησιμοποιείται για την μετακίνηση ενός βαρύ φορτίου.



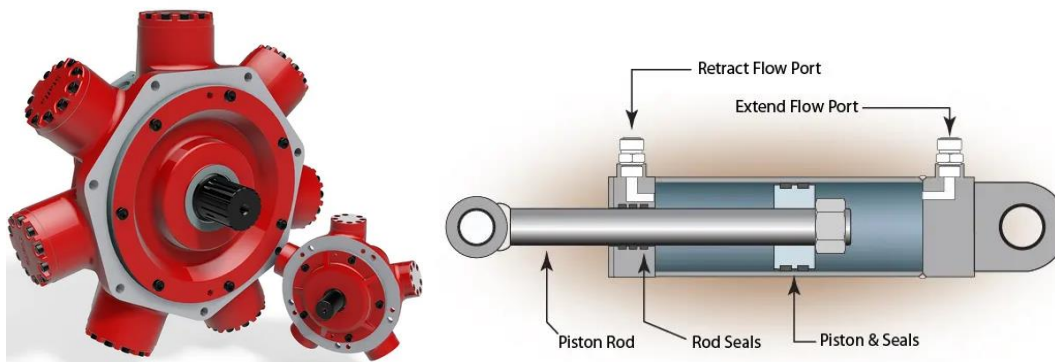
Βασικά τμήματα ενός υδραυλικού συστήματος

[Εικ.1.6] Απλοποιημένο υδραυλικό σχέδιο.

Ενεργοποιητές

Ο ενεργοποιητές, ευρέως γνωστοί στην ορολογία των υδραυλικών συστημάτων ως κινητήρες, μπορεί να είναι οποιοσδήποτε μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική, με σκοπό την δημιουργία έργου. Οι ενεργοποιητές χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τους γραμμικούς ενεργοποιητές (linear actuators) και τους περιστροφικούς ενεργοποιητές (rotary actuators) [Εικ.1.7]. Οι γραμμικού τύπου στα συστήματα που θα συναντήσουμε σε αυτήν την μελέτη θα είναι πάντα υδραυλικοί κύλινδροι, οι οποίοι παρέχουν ευθύγραμμη κίνηση και μόνο κατά μήκος του άξονα στον οποίο είναι τοποθετημένος ο κύλινδρος. Οι περιστροφικού τύπου, τους οποίους σε αυτήν την μελέτη θα τους συναντάμε ως υδραυλικά μοτέρ, μπορούν και παράγουν είτε ευθύγραμμη είτε κυκλική κίνηση ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος. Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, τους συνεχόμενα περιστροφικούς ενεργοποιητές (continuous rotary actuator) και τους ημί-περιστροφικούς ενεργοποιητές (semi-rotary actuator). Οι πρώτοι παράγουν συνεχόμενη κίνηση είτε γραμμική είτε περιστροφική έως 360ο ενώ οι δεύτεροι παράγουν περιορισμένη ή επαναλαμβανόμενη κίνηση είτε γραμμική είτε περιστροφική αλλά πάντα μικρότερη

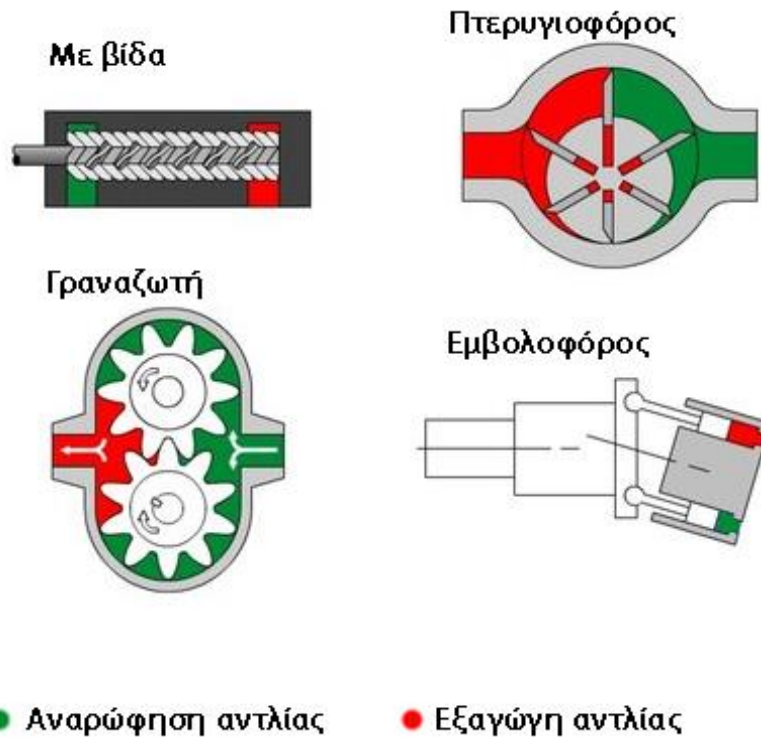
των 360 μοιρών. Στα συστήματα τα οποία θα μελετήσουμε, σχεδόν πάντα έχουμε χρήση συνεχόμενα περιστροφικών ενεργοποιητών.



[Εικ.1.7]Αριστερά: 3D απεικόνιση εμβολοφόρου περιστροφικού ενεργοποιητή, με έμβολο σε διάταξη αστέρα. Δεξιά: 3D απεικόνιση γραμμικού ενεργοποιητή τύπου υδραυλικού κυλίνδρου (τομή) .

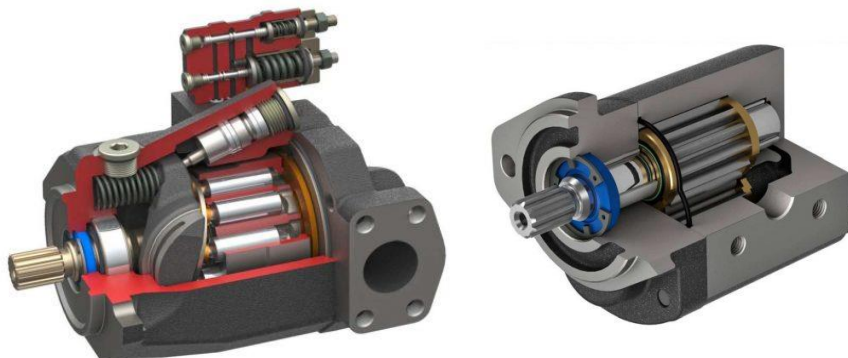
Αντλίες

Για να μπορέσουν οι ενεργοποιητές να δημιουργήσουν έργο, είναι απαραίτητο να τους παρέχεται συνεχής ροή υδραυλικού υγρού. Για να το πετύχουμε αυτό, το σύστημα το οποίο σχεδιάζουμε θα πρέπει να διαθέτει απαραίτητα τουλάχιστον μια υδραυλική αντλία ή οποία θα συνδέεται με τον ενεργοποιητή και θα τον τροφοδοτεί συνεχόμενα με υδραυλικό υγρό συγκεκριμένης πίεσης η οποία θα προκύπτει πάντα από τις απαιτήσεις του συστήματος. Η υδραυλική αντλία έχει την ακριβώς αντίθετη λειτουργία από αυτήν ενός ενεργοποιητή, δέχεται μηχανική ενέργεια και την μετατρέπει σε υδραυλική. Στα συστήματα που θα μελετήσουμε η ενέργεια που δίνεται στην αντλία παρέχεται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ. Όλες οι αντλίες έχουν πάντα τουλάχιστον μια εισαγωγή και μια εξαγωγή. Η εισαγωγή επικοινωνεί με την δεξαμενή υδραυλικού υγρού και χρησιμοποιεί την ενέργεια του ηλεκτρικού μοτέρ για να παράξει μηχανικά αρνητική πίεση(υποπίεση, μικρότερη από την ατμοσφαιρική) στο εσωτερικό της και να αναγκάσει το υδραυλικό υγρό να αρχίσει να κινείται, για την δημιουργία της ροής του υγρού λαμβάνουμε υπόψη την ατμοσφαιρική πίεση. Εάν η αντλία βρίσκεται σε κλειστό σύστημα όπου δεν επιδρά η ατμοσφαιρική πίεση, τότε πριν από αυτή πρέπει να τοποθετηθεί μια πολύ μικρότερη αντλία πλήρωσεως (charge pump) η οποία θα στείλει το υγρό στην κύρια αντλία. Το υγρό το οποίο πλέον βρίσκεται σε κίνηση αναγκάζεται να περάσει από την εξαγωγή της αντλίας και στη συνέχεια να καταλήξει στον ενεργοποιητή ο οποίος θα την μετατρέψει σε χρήσιμο έργο. Η αντλία είναι ένα από τα κύρια στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος και μαζί με τις βαλβίδες επιτρέπει την ρύθμιση της ταχύτητας και της δύναμης που θα παράξει ο ενεργοποιητής.



[Εικ.1.8] Τύποι υδραυλικών αντλιών.

Οι υδραυλικές αντλίες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Τις αντλίες σταθερής παροχής και τις αντλίες μεταβλητής παροχής. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες λειτουργίας μιας υδραυλικής αντλίας, ανάλογα με τις μηχανολογικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις του κάθε συστήματος. Σε αυτήν τη μελέτη θα συναντήσουμε τις τέσσερις πιο διαδεδομένες στην βιομηχανία τεχνολογίες. Έχουμε τις πτερυγιοφόρες, εμβολοφόρες, γραναζωτές και με βίδα αντλίες [Εικ.1.8]. Οι πτερυγιοφόρες και εμβολοφόρες αντλίες μπορούν να είναι είτε μεταβλητής παροχής είτε σταθερής παροχής, ενώ οι γραναζωτές και με βίδα αντλίες είναι πάντα σταθερής παροχής [Εικ.1.9].



[Εικ.1.9] Αριστερά: 3D απεικόνιση εμβολοφόρου αντλίας μεταβλητής παροχής (τομή 3/4). Δεξιά: 3D απεικόνιση γραναζωτής αντλίας σταθερής παροχής (τομή 3/4).

Βαλβίδες

Οι βαλβίδες σε ένα υδραυλικό σύστημα λειτουργούν σαν ρυθμιστές και μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε μέρος του συστήματος ο σχεδιαστής κρίνει πως είναι απαραίτητες. Μέσω των βαλβίδων μπορούμε να ελέγξουμε την κατεύθυνση του υδραυλικού υγρού, την πίεση του αλλά και την ταχύτητα του. [Εικ.1.10]

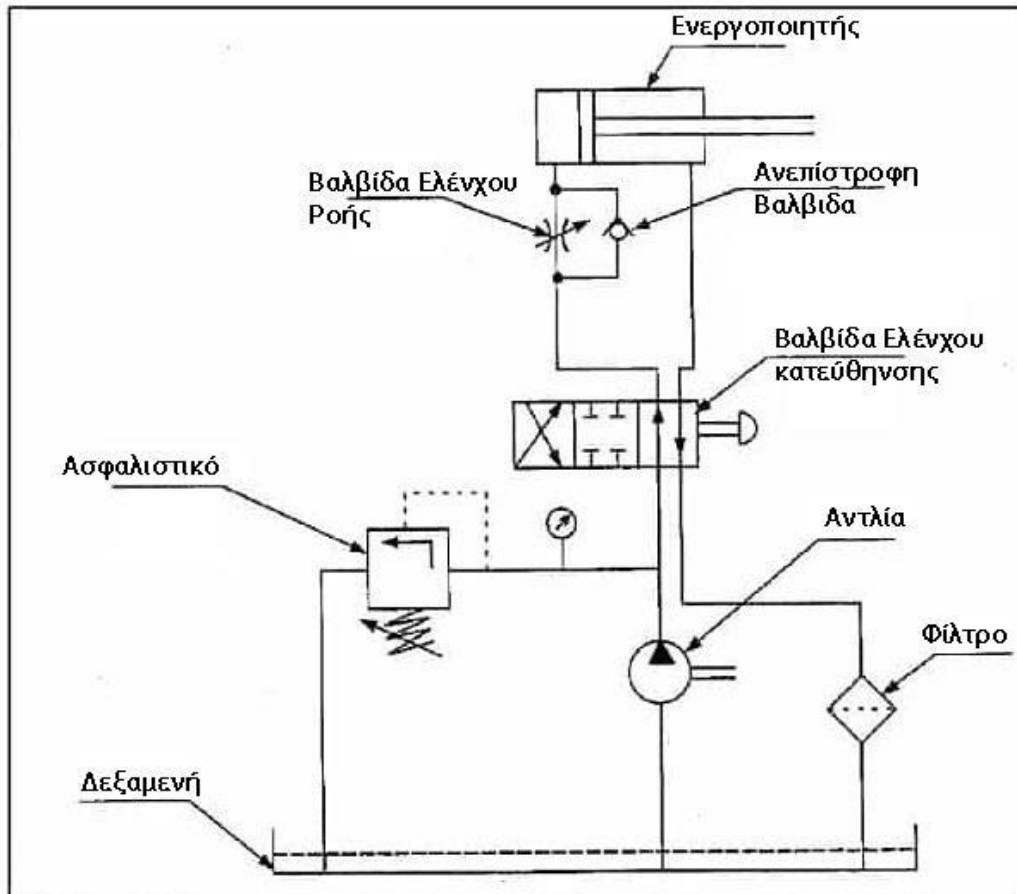
Οι πιο σύνηθες τύποι βαλβίδων που θα συναντήσουμε στα συστήματα αυτής της μελέτης θα είναι οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης (direction control valves) ή για συντομία DCVs, οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης (pressure control valves) ή για συντομία PCVs και οι βαλβίδες ελέγχου Ροής (flow control valves) ή για συντομία FCVs.

Άλλοι χρήσιμοι τύποι βαλβίδων που υπάρχουν είναι:

Βαλβίδες ασφαλείας (pressure relief valves) της οποίες σε αυτήν τη μελέτη θα αναφέρουμε ως ασφαλιστικά. Σκοπός των ασφαλιστικών είναι να ανακατευθύνουν το υδραυλικό ρευστό όταν η πίεση αυτού φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο που εμείς έχουμε ορίσει βάσει των προδιαγραφών του συστήματος. Συνήθως τα τοποθετούμε σε σημεία του συστήματος όπου αν η πίεση του υγρού ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, θα προκληθεί καταστροφική ζημιά σε αυτό. Στην περίπτωση που η πίεση περάσει το όριο, η ασφαλιστική βαλβίδα θα ανοίξει και θα παρακάμψει το υδραυλικό λάδι απευθείας πίσω στην δεξαμενή προστατεύοντας έτσι όλα τα στοιχεία του συστήματος που βρίσκονται μετά από αυτήν.

Βαλβίδες μείωσης πίεσης (pressure reducing valve). Τοποθετούνται σε σημεία του συστήματος στο οποίο θέλουμε να έχουμε συνεχόμενα χαμηλότερη πίεση σε σχέση με το υπόλοιπο σύστημα.

Βαλβίδες αντιστάθμισης (counterbalance valves). Επιτρέπουν στο υδραυλικό υγρό να περνά ελεύθερο μέσα από μια ανεπίστροφη βαλβίδα και να καταλήγει στον ενεργοποιητή. Ταυτόχρονα αναγκάζουν το υδραυλικό υγρό που επιστρέφει από αυτόν να περάσει μέσα από ένα ασφαλιστικό (pressure relief valve) το οποίο και παραμένει κλειστό, έως ότου η πίεση του υγρού στις επιστροφές ξεπεράσει την ρυθμισμένη πίεση και το ανοίξει. Τότε η διαφορά πίεσης των εισαγωγών και εξαγωγών του ενεργοποιητή γίνεται μηδέν ($\Delta p=0$) και εκείνος σταματά να κινείται. Όταν η πίεση των εξαγωγών πέσει τότε ο ενεργοποιητής θα επανέλθει σε λειτουργία αυτόματα και ομαλά. Η πίεση λειτουργίας των βαλβίδων αντιστάθμισης μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε συστήματος στο οποίο εγκαθίστανται.



[Εικ.1.10] Παράδειγμα υδραυλικού σχεδίου ενός υδραυλικού συστήματος το οποίο μετακινεί φορτίο.

Δεξαμενή Υδραυλικού υγρού

Είναι το τμήμα του υδραυλικού συστήματος μέσα στο οποίο αποθηκεύεται το υδραυλικό υγρό και στο οποίο συνδέονται με σωλήνες οι αναρροφήσεις όλων των αντλιών αλλά και όλες οι επιστροφές του συστήματος. Σε πολλές εφαρμογές είναι ενσωματωμένο πάνω του κάποιο σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του υδραυλικού υγρού.

Σωληνώσεις

Είναι ακόμη ένα σημείο το οποίο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη σχεδίαση οποιουδήποτε υδραυλικού συστήματος. Οι σωληνώσεις είναι υπεύθυνες για την επικοινωνία μεταξύ όλων των εξαρτημάτων. Τα υλικά, οι διακλαδώσεις και ο τρόπος σχεδίασης των διαδρομών που ακολουθούν οι σωλήνες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση αλλά και την αξιοπιστία του συστήματος που σχεδιάζεται.

Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις σωληνώσεις υψηλής πίεσης και τις σωληνώσεις των επιστροφών. Οι σωληνώσεις υψηλής πίεσης είναι υπεύθυνες για την μεταφορά υδραυλικού υγρού υψηλής πίεσης στο σύστημα και έχουν πολύ

συγκεκριμένες προδιαγραφές ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος, κυρίως για λόγους ασφαλείας. Οι σωληνώσεις των επιστροφών είναι υπεύθυνες για την μεταφορά υδραυλικού υγρού χαμηλής πίεσης πίσω στην δεξαμενή αφού αυτό έχει παράξει χρήσιμο έργο ή έχει αναγκαστεί να επιστρέψει στην δεξαμενή εξαιτίας κάποιας ασφαλιστικής βαλβίδας που ενεργοποιήθηκε. Οι επιστροφές μεταφέρουν πάντα υδραυλικό υγρό χαμηλής πίεσης και δεν χρειάζεται να πληρούν αυστηρές προδιαγραφές κατά την κατασκευή και τοποθέτησή τους.

Φίλτρα

Τα φίλτρα μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα μέρη του υδραυλικού κυκλώματος και σκοπός τους είναι να διατηρούν το υδραυλικό υγρό καθαρό. Το σημείο τοποθέτησής τους στο κύκλωμα και ο τύπος του φίλτρου που θα χρησιμοποιήσει ο σχεδιαστής, θα προκύψει από τις απαιτήσεις για την καθαριότητα του υδραυλικού υγρού που ορίζει ο κατασκευαστής κάθε στοιχείου το οποίο βρίσκεται μέσα στο κύκλωμα. Στην μελέτη μας θα συναντήσουμε δύο διαφορετικά είδη φίλτρων [Εικ.1.11].



[Εικ.1.11] Διάφορα μεγέθη φίλτρων γραμμής (αριστερά) και φίλτρο Δεξαμενής (δεξιά).

Τα Φίλτρα Δεξαμενής (Reservoir filters) βρίσκονται πάντα εντός της δεξαμενής και φιλτράρουν το υδραυλικό υγρό είτε κατά την αναρρόφηση του από αυτή είτε κατά την επιστροφή του σε αυτήν.

Τα φίλτρα γραμμής (Line filters) μπορούν να βρίσκονται σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος, κατά μήκος των σωληνώσεων που συνδέουν τα στοιχεία μεταξύ τους.

Η σωστή τοποθέτηση των φίλτρων κατά τη σχεδίαση του συστήματος μπορεί να αυξήσει σημαντικά τον χρόνο ζωής όλων των στοιχείων που το αποτελούν και να το καταστήσει αρκετά πιο αξιόπιστο. [Πιν.1.3]

Τύπος υδραυλικού κυκλώματος	Ελάχιστο προτεινόμενο επίπεδο filtraρίσματος σε micron
Ευαίσθητο στην μόλυνση	2
Σερβομηχανισμός	3-5
Υψηλής Πίεσης (250-400 bar)	5-10
Κανονικής Πίεσης (150-250 bar)	10-12
Μέτριας Πίεσης (50-150 bar)	12-15
Χαμηλής Πίεσης (< 50 bar)	15-25
Συστήματα μεγάλων εσωτερικών ανοχών (large clearance)	25-40

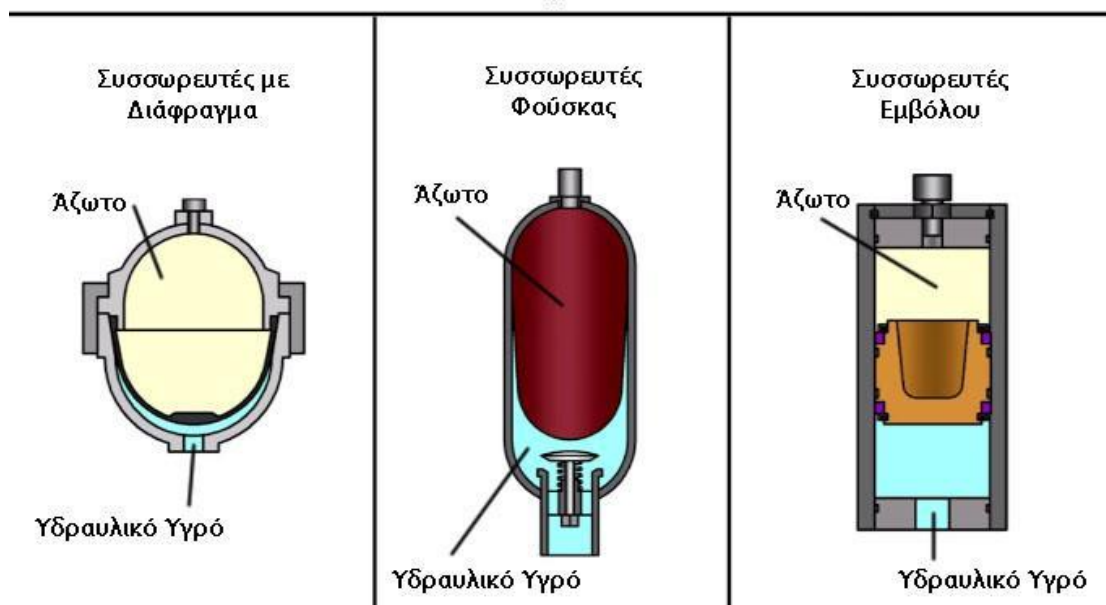
[Πιν.1.3] Πίνακας ελάχιστου προτεινόμενου επιπέδου filtraρίσματος σε micron σύμφωνα με το iso 4406:2021.

Συσσωρευτές αζώτου

Οι Συσσωρευτές (Accumulators) είναι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν αέριο άζωτο σε υψηλή πίεση. Μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια διατηρώντας το υδραυλικό υγρό σε διαρκή πίεση (το άζωτο λειτουργεί σαν ένα συμπιεσμένο ελατήριο) και μπορούν να δώσουν αυτήν την ενέργεια οπότε το σύστημα την χρειαστεί. Η απλούστερη εφαρμογή που μπορούν να έχουν, είναι σε περιπτώσεις όπου το ηλεκτρικό μοτέρ πάψει να τροφοδοτεί με ρεύμα την αντλία, οι Συσσωρευτές που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα λειτουργούν σαν υδραυλικές μπαταρίες παρέχοντας την κατάλληλη παροχή υδραυλικού ρευστού ώστε ο ενεργοποιητής να επιστρέψει σε μια ασφαλή θέση έως ότου επισκευαστεί και επανέλθει σε λειτουργία το ηλεκτρικό μοτέρ.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι συσσωρευτών, ο καθένας σχεδιασμένος για να καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος στο οποίο λειτουργεί. Στην μελέτη αυτή θα συναντήσουμε τρεις διαφορετικές παραλλαγές συσσωρευτών αζώτου. Θα δούμε: συσσωρευτές εμβόλου (piston type), συσσωρευτές φούσκας (blader type) και συσσωρευτές με διάφραγμα (diaphragm type). [Εικ.1.12].

Τύποι Συσσωρευτών Αζώτου



[Εικ.1.12] Τύποι συσσωρευτών αζώτου (τομή).

1.5 Συμπεράσματα κεφαλαίου:

Μέσα από το πρώτο κεφάλαιο της συγκεκριμένης εργασίας γίνεται κατανοητή η σημαντικότητα των υδραυλικών συστημάτων στην ανθρώπινη κοινωνία από την αρχαιότητα έως και σήμερα, αλλά ειδικότερα γίνεται κατανοητή η σημαντικότητα αυτών στην σύγχρονη ναυσιπλοΐα. Παρέχονται λεπτομερώς οι σχεδιαστικές απαιτήσεις που ένα οποιοδήποτε υδραυλικό σύστημα το οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί πάνω σε πλοίο, δύναται να διαθέτει. Τέλος αναλύονται με λεπτομέρεια όλα τα στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος τα οποία ένας σχεδιαστής χρειάζεται να γνωρίζει ώστε να προχωρήσει στην επιτυχή ολοκλήρωση της δημιουργίας ενός υδραυλικού σχεδίου.

Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου:

Rouse, H., (1983) “*Highlights in the History of Hydraulics*”, Books at Iowa 38(1), 3-17. doi: <https://doi.org/10.17077/0006-7474.1448>.

Dr. K N Tiwari, Dr. N S Raghuvanshi & Dr. S D Gorantiwar (2014). *Irrigation Engineering*, 30.1 Surface Irrigation Methods.

FranK Byron, Ph.D. on 11/30/2020. *Corrosion Impact of Offshore Platforms, Structures, and Vessels*. 30/3/2023 απο <https://www.materialsperformance.com/articles/corrosion-basics/2020/12/corrosion-impact-of-offshore-platforms-structures-and-vessels>.

Suriani Mat Jusoh, wan sani wan nik, F. Mansor, M.N.K. Jarkoni, (Μάρτιος 2018). *Corrosion behavior and resistance parameters of silicon carbide nanocomposite coating on different metals*, JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCES.

JOJI PARAMBATH, (08/07/2020), "*Design of Industrial Hydraulic Systems in the SI Units*", Independently published.

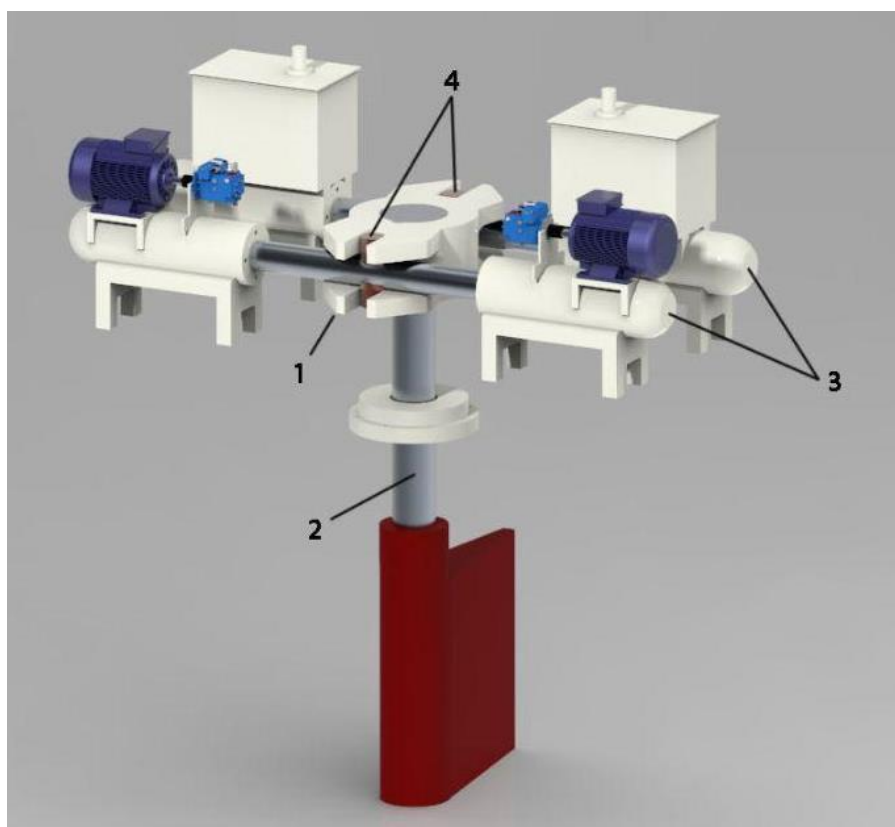
Brendan, C., (January 1, 2002) "*Insider Secrets to Hydraulics*", HydraulicSupermarket.

Rohner, P., (1994) "*Industrial hydraulic control : a textbook for fluid power technicians*", Brisbane : John Wiley & Sons.

Κεφάλαιο 2: Μηχανισμός υδραυλικού πηδαλίου

2.1 Περιγραφή της σχεδίασης ενός μηχανισμού υδραυλικού πηδαλίου:

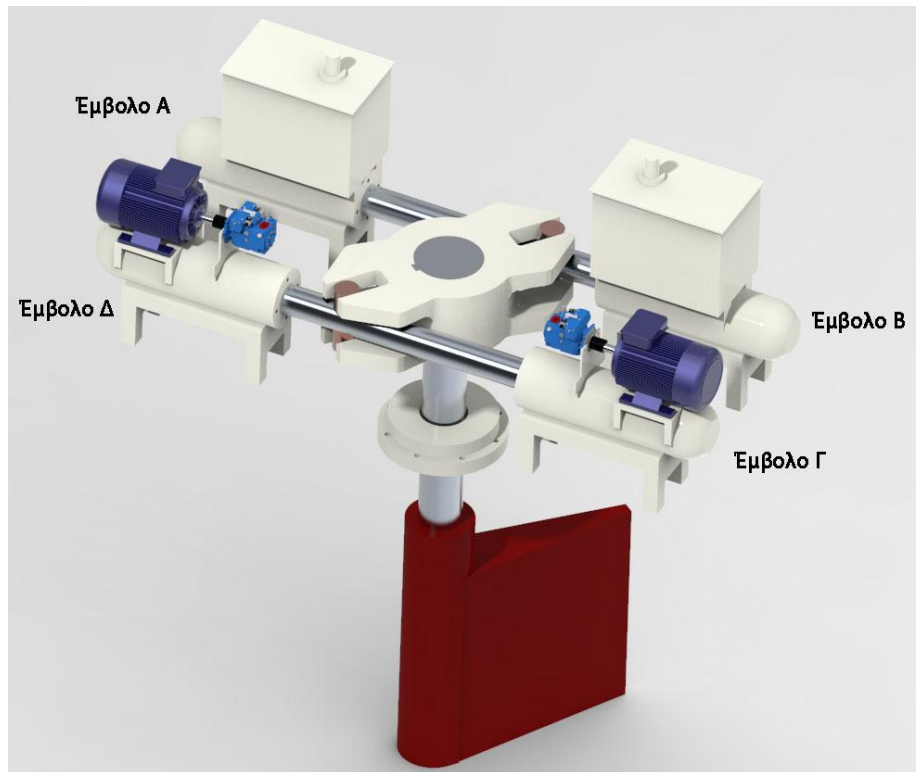
Η κίνηση του πηδαλίου του πλοίου εξυπηρετείται από ειδικό για τον σκοπό αυτό μηχανισμό, ο οποίος είναι τοποθετημένος εντός ιδιαίτερου διαμερίσματος του πλοίου και ονομάζεται μηχανισμός πηδαλίου (steering gear). Ένας μηχανισμός πηδαλίου φαίνεται στην εικόνα 2.1 [Εικ2.1]. Ο μηχανισμός αυτός εφαρμόζει κατάλληλη στρεπτική ροπή στην άτρακτο του πηδαλίου, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η περιστροφή του πηδαλίου εντός των καθορισμένων ορίων λειτουργίας του. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί με την βοήθεια υδραυλικής ισχύος και αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:



[Εικ2.1] Απλοποιημένη 3d απεικόνιση πηδαλίου πλοίου σε θέση ευθείας πορείας.

- Τον ζυγό (1) ο οποίος είναι σταθερά συνδεδεμένος με την άτρακτο του πηδαλίου(2).
- Τέσσερα υδραυλικά έμβολα βυθίσεως (3) τα οποία συνδέονται με τον ζυγό μέσω των ολισθηνούσων αρθρώσεων (4).
- Τις ηλεκτροκίνητες μονάδες παροχής υδραυλικής ισχύος (pump units)
- Το υδραυλικό κύκλωμα, αποτελούμενο από: βαλβίδες κατευθύνσεως υδραυλικού υγρού, ασφαλιστικά, σωλήνες κ.α.

- ε) Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου και εποπτείας του μηχανισμού, το οποίο περιλαμβάνει το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της θέσης του πηδαλίου, καθώς και το σύστημα ελέγχου ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης.



[Εικ2.2] Απλοποιημένη 3d απεικόνιση πηδαλίου πλοίου σε περιστροφή 45 μοιρών .

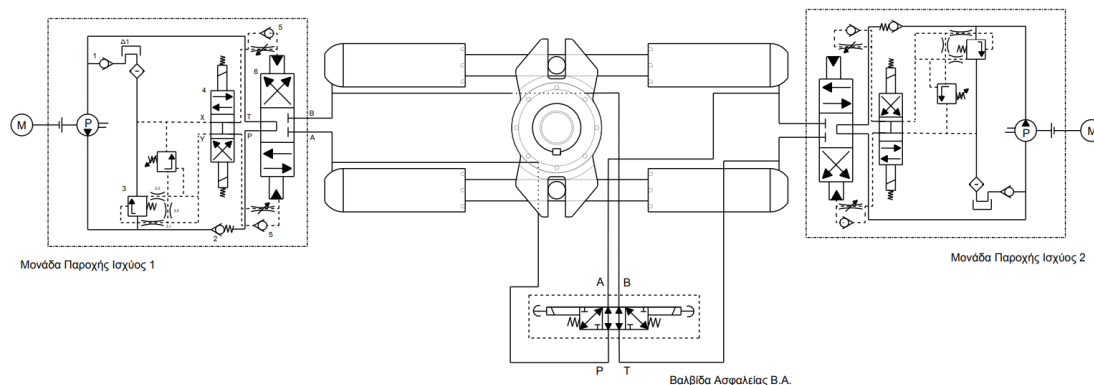
Κατά την λειτουργία του μηχανισμού το υδραυλικό υγρό μεταφέρεται από τις μονάδες παροχής υδραυλικής ισχύος σε δύο μόνο από τα τέσσερα έμβολα, ανάλογα με την επιθυμητή φορά στροφής του πλοίου. Π.χ. στα έμβολα Α και Γ για αριστερή στροφή. [Εικ2.2]

Ταυτόχρονα το υδραυλικό υγρό των άλλων δύο κυλίνδρων επιστρέφει πίσω στην κύρια δεξαμενή υδραυλικού υγρού του συστήματος.

Ο μηχανισμός αυτός έχει την δυνατότητα να ακινητοποιεί το πηδάλιο σε οποιαδήποτε θέση επιθυμούμε, εντός εγκεκριμένων ορίων, με την βοήθεια των βαλβίδων του υδραυλικού κυκλώματος που θα αναλύσουμε λεπτομερώς στη συνέχεια.

Η εντολή για την κίνηση του πηδαλίου δίνεται μέσω συστήματος τηλεχειρισμού από την γέφυρα του πλοίου ή από άλλο σημείο αυτού. Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου θέσεως μετράει διαρκώς την γωνία στροφής του πηδαλίου, την συγκρίνει με την αντίστοιχη ένδειξη του οιακοστρόφιου και όταν οι γωνιές αυτές ταυτιστούν τότε η παροχή υδραυλικού υγρού από τους κυλίνδρους διακόπτεται, μέσω κατάλληλης βαλβίδας, οπότε ο μηχανισμός ακινητοποιείται.

Ο μηχανισμός του πηδαλίου είναι επίσης εφοδιασμένος με ένα ειδικό σύστημα ασφαλείας, το οποίο έχει σκοπό να μειώσει την πιθανότητα διακοπής της λειτουργίας του συστήματος, λόγω εμφάνισης κάποιας βλάβης, κυρίως στο υδραυλικό τμήμα αυτού.



Στην [Εικ2.3] φαίνεται το διάγραμμα του υδραυλικού κυκλώματος ενός σύγχρονου μηχανισμού υδραυλικού πηδαλίου πλοίου. (Μεγεθυμμένη στο τέλος του κεφαλαίου).

2.2 Υπολογισμός των τεχνικών προδιαγραφών του συστήματος.

2.2.1.Υπολογισμός του μεγέθους του πηδαλίου σε m^2 .

Από την εξέταση των σχέσεων υπολογισμού της δύναμης του πηδαλίου και της ροπής στρέψεως προκύπτει η εξάρτηση των μεγεθών από το τετράγωνο της ταχύτητας. Άρα τα πλοία που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες έχουν μεγαλύτερη ενέργεια πηδαλίου για την ίδια επιφάνεια και ταχύτητα, ή αντιστρόφως για την ίδια ενέργεια πηδαλίου απαιτείται μικρότερη επιφάνεια ή μικρότερη γωνία. Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι πηδάλια με μεγάλη επιφάνεια χρησιμοποιούνται σε πλοία στα οποία είναι απαραίτητη μεγάλη ικανότητα ελιγμών, όπως είναι τα ρυμουκκά, τα πορθμεία και τα πολεμικά πλοία. Στα εμπορικά πλοία η επιφάνεια του πηδαλίου (ή των πηδαλίων) διαφέρει μεταξύ των πλοίων και εξαρτάται από τους ειδικούς όρους εργασίας, όπως η συχνή πορεία με μικρή ταχύτητα, η συχνή είσοδος σε δύσκολα λιμάνια, η πορεία σε στενά ποτάμια και στενά κανάλια. Στην πράξη η επιφάνεια του πηδαλίου συγκρίνεται με το πηδάλιο άλλου σκάφους του ίδιου τύπου που έχει αποδειχθεί κατά τη λειτουργία του ότι έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ελιγμών. Το κριτήριο για τη σύγκριση αυτή είναι το γινόμενο του μήκους επί το βύθισμα του πλοίου, δηλαδή η βρεχόμενη επιφάνεια στο μέγιστο βύθισμα του πλοίου στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Συνεπώς η συνολικά απαιτούμενη επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου (των πηδαλίων), δηλαδή ανεξάρτητα από τον αριθμό των πηδαλίων που τοποθετούνται στο πλοίο, υπολογίζεται σε συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας σε συνθήκες έμφορτης κατάστασης. Η μορφή της επιφάνειας του πηδαλίου εξαρτάται από τη διαμόρφωση

της πρύμνης του πλοίου. Για όλα τα πηδάλια είναι κοινή η ανάγκη τοποθέτησης της κατώτερης επιφάνειας του πηδαλίου πιο πάνω από τη γραμμή της τρόπιδας αφ' ενός για προστασία, αφ' ετέρου για την εύκολη είσοδο του πλοίου στη δεξαμενή. Ένα πηδάλιο με μεγάλο ύψος και μικρό μήκος εκμεταλλεύεται όλη τη ροή της έλικας (ή των ελίκων) και αποδίδει καλύτερα από ένα άλλο πηδάλιο με ίδια επιφάνεια με το πρώτο, αλλά με μικρότερο ύψος και μεγαλύτερο μήκος.

Η συνολική επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τρόπο :

Η συνολική επιφάνεια του πηδαλίου υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση :

$A = k \cdot LWL \cdot d$, όπου LWL = μήκος εμφόρτου ισάλου σε μέτρα, d = έμφορτο βύθισμα, σε μέτρα.

Ο συντελεστής k λαμβάνει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με τον τύπο του πλοίου [Πιν.2.1]:

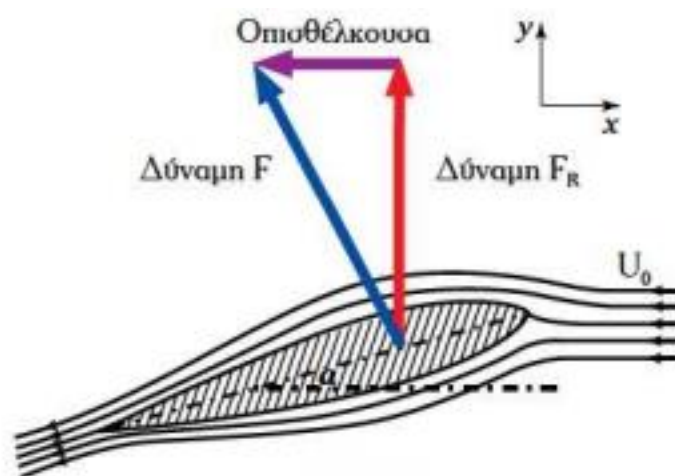
Τύπος πλοίου	k
Μεγάλα δεξαμενόπλοια	$\frac{1}{55} \div \frac{1}{65}$
Μεγάλα φορτηγά ξηρού φορτίου	$\frac{1}{60} \div \frac{1}{70}$
Μεσαίου μεγέθους φορτηγά	$\frac{1}{50} \div \frac{1}{60}$
Ε/Γ – Ο/Γ (Επιβατηγά / Οχηματαγωγά, Ferry boats)	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Ρυμουλκά (Ρ/Κ) ανοικτής θαλάσσης	$\frac{1}{30} \div \frac{1}{40}$
Ρυμουλκά μικρά	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Επιβατηγά πλοία	$\frac{1}{60} \div \frac{1}{70}$
Ποταμόπλοια	$\frac{1}{50} \div \frac{1}{60}$
Αλιευτικά (Α/Κ)	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Ιστιοφόρα (Ι/Φ)	$\frac{1}{14} \div \frac{1}{16}$
Σκάφη λιμένων	$\frac{1}{12} \div \frac{1}{25}$
Σκάφη προησπισμένων περιοχών	$\frac{1}{40} \div \frac{1}{50}$
Τορπιλάκατοι	$\frac{1}{30} \div \frac{1}{40}$
Αεροπλανοφόρα ή ελικοπτεροφόρα	$\frac{1}{35} \div \frac{1}{45}$
Αντιτορπιλικά	$\frac{1}{25} \div \frac{1}{35}$
Υποβρύχια	$\frac{1}{40} \div \frac{1}{45}$

[Πιν.2.1] Πίνακας συντελεστών k (IL GOVERNO DELLE NAVI , EMILIO CASTAGNETO , Pellerano – NAPOLI)

Από την στιγμή που γνωρίζουμε την συνολική επιφάνεια του πηδαλίου μπορούμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις του βάσει του σχήματος που θέλουμε αυτό να έχει.

2.2.2.Υπολογισμός των Δυνάμεων

Κατά την περιστροφή του πηδαλίου κατά μια γωνία θ , αναπτύσσεται μια δύναμη F λόγω της διαφορετικής κατανομής της πίεσης στην δεξιά και αριστερή πλευρά του πηδαλίου. Στην επιφάνεια πρόσκρουσης με το νερό παρατηρείται αύξηση της πίεσης ενώ στην επιφάνεια αποχώρησης παρατηρείται μείωση πίεσεως, σύμφωνα με τον νόμο του bernoulli. Η συνισταμένη των δυνάμεων στις δύο επιφάνειες είναι η F . Η F αναλύεται σε δύο δυνάμεις, την οπισθέλκουσα (drag) και την δύναμη στρέψεως του πηδαλίου F_R (rudder force ή lift force) [Εικ.2.4]. Η οπισθέλκουσα έχει φορά αντίθετη με την κίνηση του πλοίου ενώ η F_R έχει κάθετη φορά και είναι η δύναμη που θα προκαλέσει την αλλαγή της κατεύθυνσης του πλοίου.



[Εικ.2.4] Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πηδάλιο όταν αυτό έχει γωνία θ , σε ρευστό με ταχύτητα V_0 .

Η αναλυτική περιγραφή του υπολογισμού της ροής στρέψεως του πηδαλίου, που θα εφαρμοστεί σε αυτήν την μελέτη, βασίζεται στους κανονισμούς του Ιταλικού νηογνώμονα RINA (Registro Italiano Navale Architectura). Οι κανονισμοί σχεδίασης των πηδαλίων είναι κοινοί για όλους του νηογνώμονες που ανήκουν στον Διεθνή Οργανισμό Νηογνώμωνων (International Association of Classification Society- IACS).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς που αναφέρονται παραπάνω η F_R δίνεται (σε Newton) βάσει του τύπου :

$$F_R=123 \cdot n_R \cdot A \cdot V^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$$

όπου:

α) n_R είναι ο συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις από τους κυματισμούς της θάλασσας στην πλώρη του πλοίου. Οι τιμές που λαμβάνει φαίνονται στον πίνακα [Πιν.2.2]. Όπως παρατηρείται στον πίνακα, για πλοία τα οποία δραστηριοποιούνται σε προστατευόμενες περιοχές η δύναμη F_R είναι μειωμένη κατά 25% (λόγο του n_R) σε σχέση με αντίστοιχες τιμές σε κατάσταση όπου το πλοίο βρίσκεται σε ανοιχτή θάλασσα.

Περιοχή πλόων	Τιμές Συντελεστών
Πλόες χωρίς περιορισμούς	1,00
Πλόες σε θάλασσα θέρους (summer zone)	0,95
Πλόες σε τροπικές θάλασσες (tropical zone)	0,85
Παράκτιες πλόες (coastal area)	0,85
Πλόες σε προστατευμένες περιοχές (sheltered areas)	0,75

[Πιν.2.2] Τιμές συντελεστή n_R , κανονισμοί Ιταλικού νηογνώμονα RINA (Registro Italiano Navale Architectura).

β) Α είναι η ολική επιφάνεια του πηδαλίου σε m^2 , όπως υπολογίζεται από το περίγραμμα του. Για το πηδάλιο της [Εικ.2.5] η συνολική επιφάνεια του δίνεται από την σχέση:

$$A=Lg*H$$

γ) V είναι η μέγιστη υπηρεσιακή ταχύτητα πλοίου σε πρόσω κίνηση, σε κόμβους (kn) στην γραμμή φόρτωσης θέρους. Εάν η ταχύτητα του πλοίου είναι μικρότερη από 10 kn, τότε θα λαμβάνεται ίση με V_{min} , σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$V_{min}=(V+20)/3$$

δ) r_1 είναι ο αδιάστατος συντελεστής μορφής του πηδαλίου και λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r_1=(\lambda+2)/3$$

Η μέγιστη τιμή του r_1 είναι ίση με:

$$r_1=4/3=1,333$$

γιατί η μέγιστη τιμή του συντελεστή λ είναι το 2.

Το λ είναι αδιάστατος συντελεστής, που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, και δεν μπορεί να πάρει τιμή μεγαλύτερη του 2:


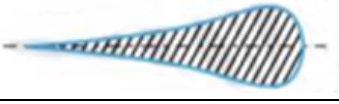
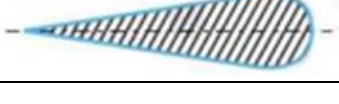


$$\lambda=h^2/A_T$$

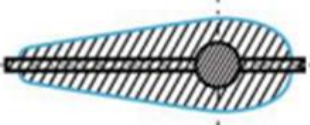
όπου: το h είναι το μέσο ύψος του πηδαλίου σε m και υπολογίζεται απο την σχέση:

$$h=H/2$$

Το $A_T = A_1 + A_2$ αντιπροσωπεύει επιφάνεια σε m^2 . Είναι η άθροιση της επιφάνειας του πηδαλίου A με την πλάγια επιφάνεια του ποδοστήματος μέχρι το ύψος h . Εάν δεν υπάρχει ποδόστημα, τότε το $A_T = A$.

ε) r_2 είναι ο αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος έχει σχέση με το σχήμα της υδροτομής του πηδαλίου. Οι τιμές του συντελεστή r_2 δίνονται από τον πίνακα [Πιν2.3]. Τα περισσότερα πηδάλια έχουν προφίλ με επίπεδες ή κοίλες πλευρές. Ο τύπος του προφίλ του πηδαλίου καθορίζεται από την μέγιστη ταχύτητα του πλοίου.

Προφίλ υδροτομής πηδαλίου	Τιμές του r_2 για την κίνηση πρόσω	Τιμές του r_2 για την κίνηση ανάποδα
NACA 00- Goettingen 	1,10	0,80
Τομή με κοίλες πλευρές -Hallow type 	1,35	0,90
Τομή με επίπεδες πλευρές -Flat type 	1,10	0,90
Τομή με ουραίο πτερύγιο -High type 	1,70	1,30
Τομή σε σχήμα ψαριού - Fish tail 	1,40	0,80

Τομή επίπεδης πλάκας -Single plate	1,00	1,00
		

[Πιν2.3] Τιμές αδιάστατου συντελεστή r_2 ,κανονισμοί Ιταλικού νηογνώμονα RINA (Registro Italiano Navale Architectura)

στ) r_3 είναι ο αδιάστατος συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει τις παρακάτω τιμές:

- $r_3 = 0,80$ για πηδάλια που δεν είναι τοποθετημένα πίσω από την προπέλα.
- $r_3 = 1,15$ για πηδάλια που είναι τοποθετημένα πίσω από την προπέλα.
- $r_3 = 1,00$ για όλα τα υπόλοιπα πηδάλια.

2.2.3. Κέντρο εφαρμογής της δύναμης στρέψεως του πηδαλίου F_R .

Το σημείο αυτό (κέντρο πίεσης) ορίζεται ως το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η συνισταμένη δύναμη επί του πηδαλίου . Η θέση του κέντρου πίεσης εξαρτάται από :

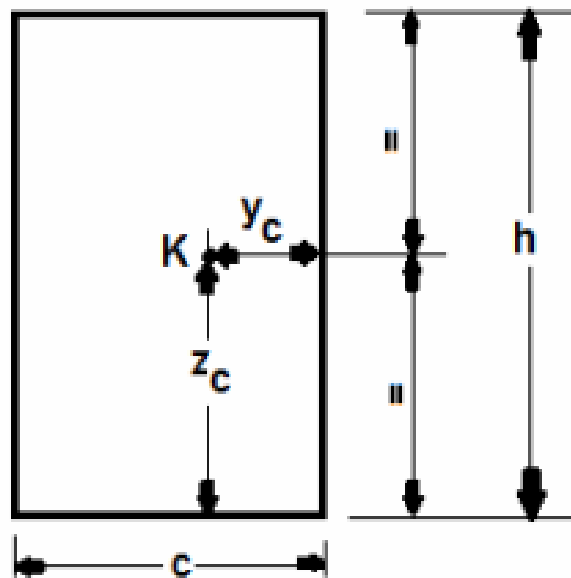
1. το σχήμα της επιφάνειας
2. τη σχέση πλάτους ως προς το ύψος
3. την τομή του πτερυγίου του πηδαλίου
4. τη γωνία του πηδαλίου

Επομένως το κέντρο πίεσης μετατοπίζεται προς την πρωραία ακμή του πηδαλίου (δηλαδή προς τον άξονα περιστροφής) όσο μικρότερη είναι η γωνία του πηδαλίου , όσο πιο "γεμάτη" (ογκώδης) είναι η τομή του πτερυγίου , όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ύψους / πλάτους του πτερυγίου (δηλαδή πτερύγιο στενόμακρο). Για ένα πηδάλιο με ορθογωνική μορφή επιφάνειας με μήκος c και ύψος h , ο Joessel διατύπωσε τους παρακάτω τύπους για τον υπολογισμό των συντεταγμένων του κέντρου πίεσης : [Εικ.2.5]

$Z_c = h/2$ = απόσταση από το κάτω χείλος του πηδαλίου

$Y_c = (0,195 + 0,305 * \sin(a)) * c$ = απόσταση από την ακμή εισόδου (πρωραία ακμή) του πηδαλίου για την κίνηση πρόσω και από την πρυμναία ακμή του πηδαλίου για την κίνηση ανάποδα.

Είναι προφανές ότι το κέντρο εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης επί του πηδαλίου (= κέντρο πίεσης) συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας στην περίπτωση που το πηδάλιο είναι σε θέση 90° προς την πλευρά , οπότε όλη η δύναμη του πηδαλίου είναι αντίσταση με μηδενική πλευρική ώση .

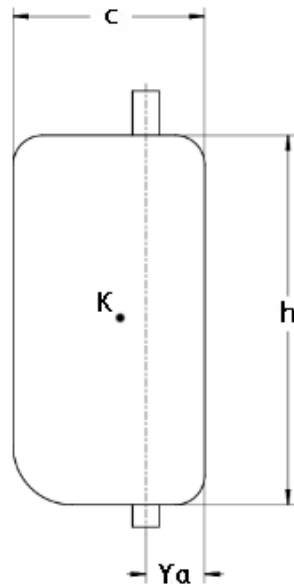


[Εικ.2.5] Κέντρο εφαρμογής δύναμης πηδαλίου με ορθογωνική μορφή επιφάνειας με μήκος c και ύψος h .

2.2.4. Υπολογισμός της ροπής του υδραυλικού πηδαλίου:

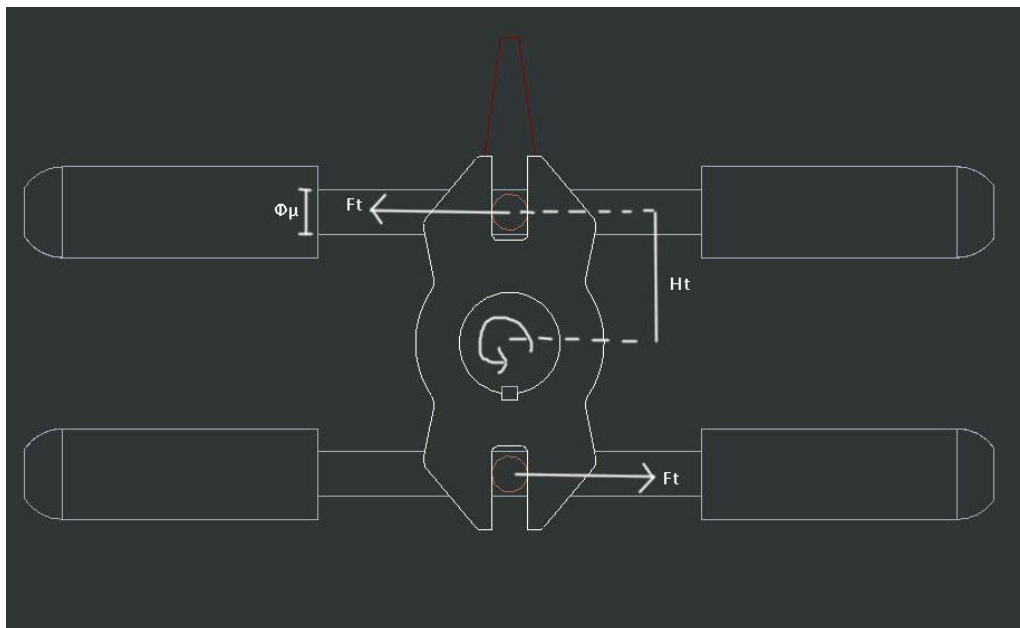
Για να υπολογιστεί η ροπή στον άξονα του υδραυλικού συστήματος, πρέπει αρχικά να υπολογίσουμε την δύναμη σε Newton (S.I.) και το σημείο στο οποίο αυτή ασκείται χρησιμοποιώντας τους παραπάνω τύπους. Με αυτά γνωστά μπορούμε να υπολογίσουμε την ροπή που δέχεται ο άξονας μέσω του τύπου:

$T_R = F_R \cdot (Y_c - Y_a)$, όπου T_R η ροπή στρέψης του άξονα, F_R η μέγιστη δύναμη που ασκείται στο πηδάλιο, Y_c το σημείο που ασκείται η μέγιστη δύναμη F_R και Y_a η απόσταση του κέντρου του άξονα του πηδαλίου από την πίσω πλευρά αυτού, όπως αυτό διακρίνεται στην εικόνα [Εικ.2.6].



[Εικ.2.6] Σχεδιάγραμμα πηδαλίου ορθογωνικού σχήματος με έναν άξονα.

Γνωρίζοντας πλέον την ροπή στρέψης του άξονα στην μέγιστη γωνία λειτουργίας του υδραυλικού τιμονιού, μπορεί να βρεθεί η ελάχιστη δύναμη που πρέπει να ασκηθεί από τους υδραυλικούς κυλίνδρους για να μετακινηθεί το πηδάλιο. [Εικ.2.7]



[Εικ.2.7] Δυνάμεις που ασκούνται από τους υδραυλικούς κυλίνδρους

Η ελάχιστη δύναμη στρέψης του πηδαλίου δίνεται από τον τύπο:

$F_t = T_R / H_t$ όπου F_t η ελάχιστη δύναμη στρέψης του τιμονιού, T_R η ροπή του πηδαλίου και H_t ο μοχλοβραχίονας που δημιουργεί την ροπή από το βάκτρο του υδραυλικού κυλίνδρου προς το κέντρο του άξονα στρέψης του τιμονιού.

Γνωρίζοντας την δύναμη F_t άλλα και την διατομή του βάρου Φ_m είναι δυνατό να βρεθεί η πίεση του υδραυλικού υγρού, έτσι ώστε να μετακινηθεί το τιμόνι.

Η πίεση δίνεται από τον τύπο:

$P=(F_t/E_m)/2$, όπου P η πίεση του υδραυλικού υγρού, E_m το εμβαδόν της επιφάνειας του βάρου, διαιρείται με το δύο καθώς έχουμε δύο κυλίνδρους να ασκούν δύναμη.

Από τον παραπάνω τύπο βρίσκουμε την ελάχιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος στον έναν κύλινδρο και σε κανονική λειτουργία του συστήματος.

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και σε περίπτωση αστοχίας της μιας από τις δυο υδραυλικές μονάδες. Για αυτόν τον λόγο η ελάχιστη πίεση στον κάθε κύλινδρο θα πρέπει να είναι ίση με $2P$. Λαμβάνοντας ταυτόχρονα και έναν συντελεστή ασφαλείας τουλάχιστον 100% όσον αφορά την πίεση του συστήματος, όπως συνηθίζεται κατά την σχεδίαση συστημάτων που προορίζονται για χρήση στην ναυτιλία και βάσει των περιορισμών που ισχύουν από την πλειοψηφία των νηογνώμωνων, έχουμε τελική πίεση λειτουργίας του συστήματος μας ίση με $2P$.

2.2.4 Εύρεση της πίεσης λειτουργίας του συστήματος προς σχεδίαση.

Εφαρμόζοντας τους παραπάνω τύπους θα υπολογίσουμε την πίεση λειτουργίας για ένα μεσαίου μεγέθους φορτηγό πλοίο, με χωρητικότητα φορτίου 4000DTW, μήκους 90m, πλάτους 14,7m, μεγίστου βυθίσματος 6,60m ταχύτητας 20kn και μέγιστη γωνία πηδαλίου τις 65° .

Αρχικά η επιφάνεια του πηδαλίου ενός τέτοιου πλοίου, σύμφωνα με τον τύπο $A= k* LWL*d$ ορίζεται περίπου στα $11,9 m^2$.

Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε πώς θα χρησιμοποιηθεί ένα ορθογώνιο πηδάλιο διαστάσεων 2,5m πλάτος, 4,7 m ύψος και σχήματος τομής με επίπεδες πλευρές (Flat type).

Η δύναμη στρέψεως σύμφωνα με τον Ιταλό νηογνώμονα RINA ισούται με

$$F_R=123*n_R*A*V^2*r_1*r_2*r_3$$

όπου στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης ισχύει :

- $n_R= 1$ (Πλόες χωρίς περιορισμούς)
- $A=2,5*4,7=11,75 m^2$
- $V^2=400kn^2$
- $r_1=0,82<1.333$ ($\lambda=0,47$)
- $r_2=1,1$ (Τομή με επίπεδες πλευρές -Flat type στην κίνηση πρόσω)
- $r_3=0,80$ (για πηδάλια που δεν είναι τοποθετημένα πίσω από την προπέλα)

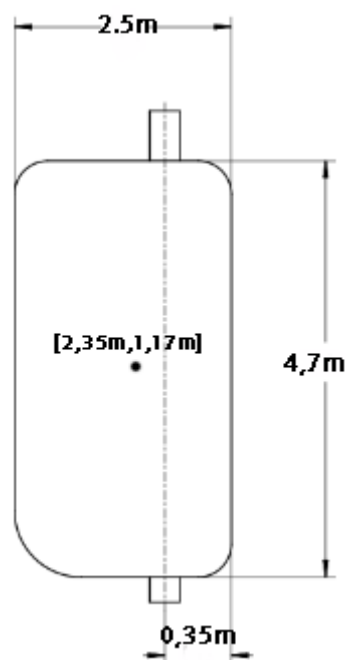
Άρα $F_R=417.156,96 N$

Το κέντρο εφαρμογής της δύναμης F_R βρίσκεται στα σημεία Z_c και Y_c πάνω στο πηδάλιο.

Με $Z_c = 4,7/2 = 2,35\text{m}$ και $Y_c = (0,195 + 0,305 \cdot \sin 65^\circ) \cdot 2,5 = 1,17\text{m}$

Κέντρο εφαρμογής της δύναμης $F_R [2,35\text{m}, 1,17\text{m}]$

Ο άξονας που χρησιμοποιείται για τέτοιου μεγέθους πλοία σύμφωνα με τον ιταλικό νηογνώμονα RINA έχει ελάχιστη διάσταση $\Phi = 0,3\text{m}$ και η απόσταση του από το τέλος του πηδαλίου είναι $0,20\text{m}$. Άρα η απόσταση του κέντρου του άξονα από το τέλος του πηδαλίου είναι $0,20\text{m} + \Phi/2 = 0,35\text{m}$. (βλέπε [Εικ.2.8]).

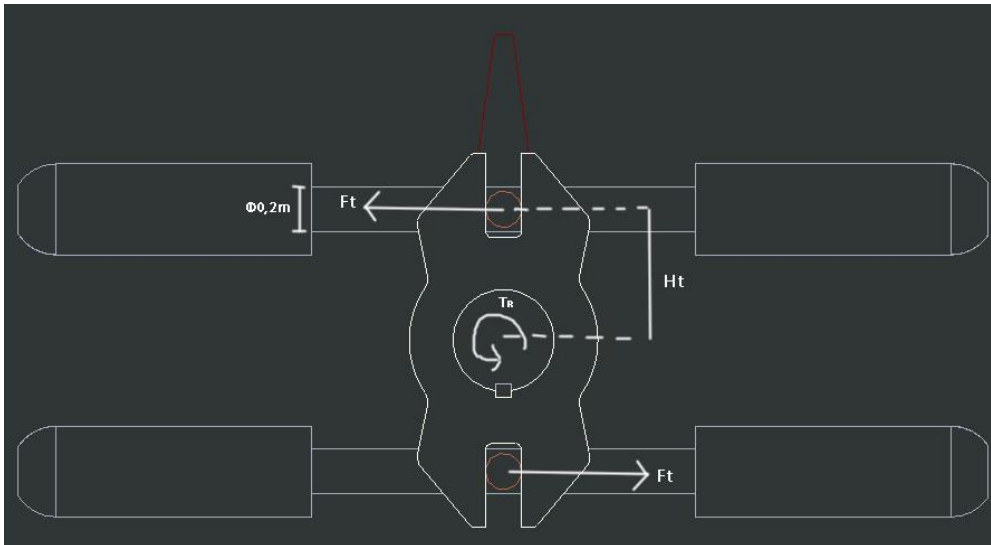


[Εικ.2.8] Διαστάσεις του πηδαλίου όπως προκύπτουν από τους παραπάνω υπολογισμούς.

Η απόσταση μεταξύ κέντρου εφαρμογής της δύναμης και κέντρου άξονα στρέψης είναι $Y_c - Y_a = 1,17\text{m} - 0,35\text{m} = 0,82\text{m}$.

Άρα η ροπή στρέψης υπολογίζεται ως $T_R = F_R \cdot (Y_c - Y_a) = 342.068,7 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Στην πάνω πλευρά του τιμονιού ισχύει ([Εικ.2.9]) :



[Εικ.2.9] Εφαρμογή δυνάμεων στην πάνω πλευρά του τιμονιού.

Σε γωνία 0° ,στι Ht=1m

Σε γωνία 65° ,στι Ht=1,1m

Η ροπή που ασκείται βρίσκεται απο $F_t = T_R / H_t = 310.971,5 \text{ N}$

Με βάκτρο μπουκάλας διατομής $\Phi_\mu = 0,2\text{m}$ και εμβαδού $E = \pi \cdot \rho^2 = 0,02\text{m}^2$

Η πίεση δίνεται από τον τύπο:

$P = (F_t / E_\mu) / 2 = 7.774.287,5 \text{ N/m}^2\text{h}$ ή 77.7 Bar στον κάθε έναν από τους δύο κυλίνδρους.

Για να μπορεί το σύστημα σε περίπτωση ανάγκης να λειτουργεί μονό με τον έναν κύλινδρο άλλα και για να καλύψουμε τον συντελεστή ασφάλειας 100% που ορίζει ο νηογνώμονας θα οριστούν ως φυσιολογική πίεση λειτουργίας του συστήματος τα 156 Bar.

2.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος:

2.3.1 Γενική περιγραφή.

Τα συστήματα πηδαλίου τα οποία παρουσιάζονται στην συγκεκριμένη μελέτη είναι εφοδιασμένα με δυο ανεξάρτητες μονάδες παροχής υδραυλικής ισχύος για λόγους ασφάλειας. Σε κανονική λειτουργία εργάζονται και οι δύο μονάδες παράλληλα οπότε παρέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης της μέγιστης στρεπτικής ροπής στην άτρακτο.

Σε περίπτωση κάποιας σοβαρής βλάβης π.χ. διάρρηξη σωλήνος σε μια από τις δύο μονάδες παροχής ισχύος, υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσης της ελαττωματικής μονάδας. Αυτή την διαδικασία αναλαμβάνει το ειδικό σύστημα ασφάλειας, οπότε ο μηχανισμός του πηδαλίου συνεχίζει να λειτουργεί, με την άλλη μονάδα άλλα πλέον με την μίση διαθέσιμη ισχύ και στρεπτική ροπή.

Η κάθε μια μονάδα παροχής ισχύος περιλαμβάνει μια κύρια δεξαμενή υδραυλικού υγρού, με χωρητικότητα ανάλογη της ισχύος του συστήματος, έναν ηλεκτρικό κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, την εμβολοφόρο αντλία σταθερής παροχής, το κιβώτιο των βαλβίδων και τα βοηθητικά εξαρτήματα όπως τα φίλτρα, οι ρυθμιστές της στάθμης της δεξαμενής, μετρητές θερμοκρασίας και πίεσης κ.α.

Για τον έλεγχο της στάθμης του υδραυλικού υγρού υπάρχει βοηθητική δεξαμενή μικρής χωρητικότητας, η οποία συνδέεται με τις δύο κύριες δεξαμενές των μονάδων παροχής υδραυλικής ισχύος. Η συμπλήρωση του υγρού στο σύστημα γίνεται μέσω αυτής της δεξαμενής, η οποία φέρει επίσης και δύο ρυθμιστές ελέγχου στάθμης (υψηλής - χαμηλής) με τη βοήθεια των οποίων το σύστημα ασφάλειας του μηχανισμού αντιλαμβάνεται τυχόν διαρροή υγρού και ενεργοποιεί με τη σειρά του συναγερμό ώστε να ειδοποιηθεί το πλήρωμα.

2.3.2 Απαιτήσεις του συστήματος

Λόγω της μεγάλης μάζας των κινούμενων τμημάτων του μηχανισμού, το οποίο συνεπάγεται μεγάλη αδράνεια, υπάρχει η απαίτηση από το υδραυλικό κύκλωμα για την ομαλή εκκίνηση και συγκράτηση του συστήματος ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές αυξήσεις της πίεσης του υγρού μέσα στο δίκτυο, πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα την καταπόνηση της αντλίας, των σωληνώσεων και των συσκευών στεγανότητας.

Επίσης το υδραυλικό σύστημα πρέπει να έχει την ικανότητα της περιστροφής του πηδαλίου μεταξύ συγκεκριμένων ορίων (θέσεων) σε καθορισμένο χρονικό διάστημα που προδιαγράφεται από την σχεδίαση, το μέγεθος και την χρήση του πλοίου άλλα και από διεθνείς κανονισμούς ασφάλειας.

Τέλος, προφανής απαίτηση στην σχεδίαση του υδραυλικού συστήματος είναι η ικανότητα του να διατηρεί σταθερό (ακίνητο) το πηδάλιο μετά την περιστροφή του σε οποιαδήποτε επιθυμητή γωνιά, πάρα την συνεχιζόμενη εφαρμογή της εξωτερικής αντίθετης στρεπτικής ροπής (η οποία οφείλετε στην ταχύτητα του πλοίου και στην αντίσταση του νερού πάνω στο πηδάλιο).

2.3.3 Εξαρτήματα του υδραυλικού κυκλώματος

Το υδραυλικό κύκλωμα οδήγησης του υδραυλικού συστήματος πηδαλίου φαίνεται στην [Εικ2.3] και αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα.

- 1) Ανεπίστροφη βαλβίδα η οποία βρίσκεται πάνω στην γραμμή των επιστροφών της αντλίας, η οποία σε περίπτωση διαρροής υγρού ανοίγει

λόγο της δημιουργίας υποπίεσης συμπληρώνοντας υδραυλικό υγρό στο σύστημα.

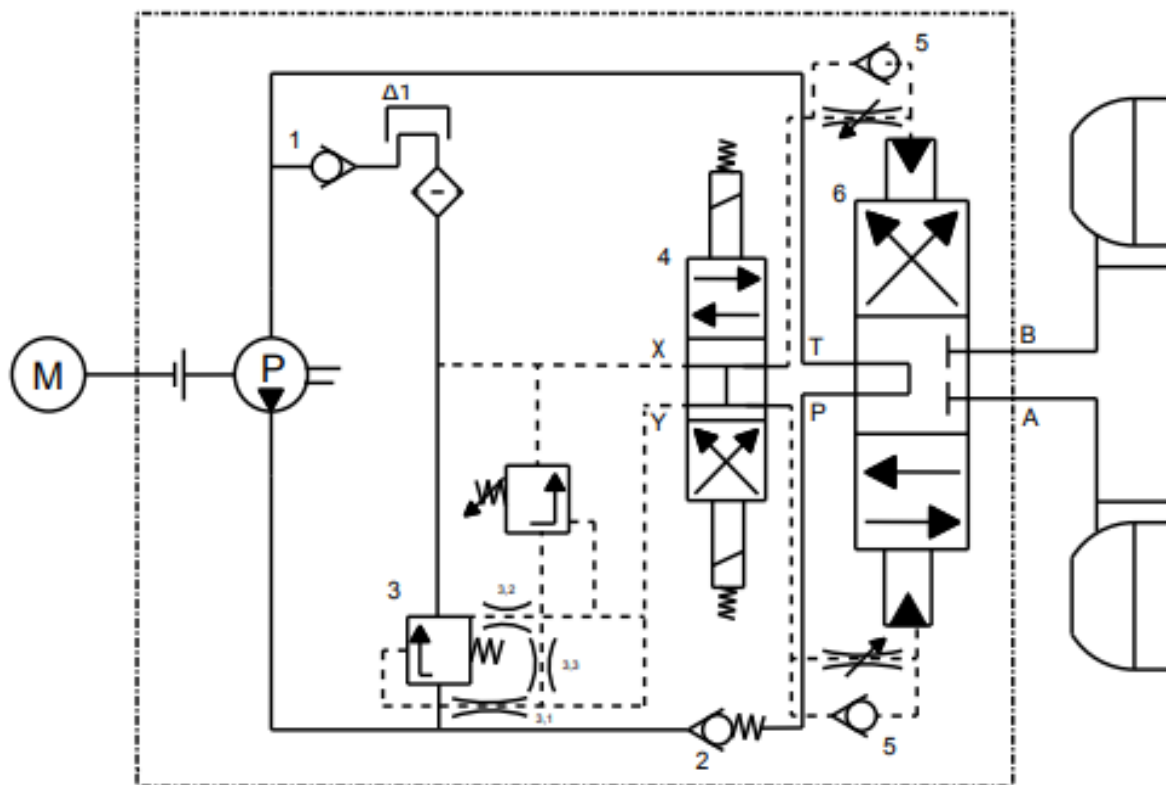
- 2) Ανεπίστροφη βαλβίδα η οποία βρίσκεται πάνω στην γραμμή πίεσης της αντλίας και αποτρέπει το υδραυλικό υγρό να επιστρέψει στην αντλία.
- 3) Ανακουφιστική βαλβίδα πιέσεως η οποία καθορίζει την πίεση λειτουργίας του συστήματος άλλα και ελέγχει την παροχή του υδραυλικού υγρού.
- 4) Ηλεκτροβαλβίδα τεσσάρων παροχών και τριών θέσεων (4/3) η οποία λειτουργεί σαν πιλότος της βαλβίδας κατευθύνσεως 6 μέσω υδραυλικής εντολής.
- 5) Ανεπίστροφης βαλβίδα η οποία επιτρέπει πάντα την ελεγχόμενη ροή μικρής ποσότητας υδραυλικού υγρού μέσω μεταβλητής στένωσης. Επιτρέποντας έτσι να φτάσει ομαλά η υδραυλική εντολή της ηλεκτροβαλβίδας 4 στην βαλβίδα κατευθύνσεως 6.
- 6) Βαλβίδας κατευθύνσεως τεσσάρων παροχών και τριών θέσεων (4/3) υδραυλικής εντολής η οποία είναι υπεύθυνη για την κατανομή του υδραυλικού υγρού στο σύστημα.

2.4 Λειτουργία του κυκλώματος:

α) Πηδάλιο ακίνητο σε κάποια θέση [Εικ.2.1].

Υποθέτουμε ότι το πηδάλιο αρχικά βρίσκεται σε κάποια θέση ακίνητο, και ότι λειτουργούν οι ηλεκτροκινητήρες των δύο συγκροτημάτων παροχής ισχύος, [1] και [2] [Εικ2.3].

Η ροή του υδραυλικού υγρού στην περίπτωση αυτή φαίνεται στο σχήμα [Εικ2.10].



Μονάδα Παροχής Ισχύος 1

[Εικ2.10] Υδραυλικό σχέδιο της μονάδας παροχής ισχύος [1].

Σε χρονικές περιόδους ακινησίας του πηδαλίου επιθυμούμε την σχεδόν ελεύθερη ροή του υγρού μέσα στο υδραυλικό κύκλωμα, έτσι ώστε να μην δαπανάτε άσκοπα ηλεκτρική ισχύς και παράλληλα να αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας του υδραυλικού υγρού. Για αυτό τον λόγο εμποδίζουμε την διέλευση του υγρού μέσα από την κύρια βαλβίδα κατευθύνσεως 6 με την παρέμβαση της ανεπίστροφης βαλβίδας 2, η οποία παραμένει στην κλειστή θέση με την βοήθεια του υδραυλικού υγρού που διαθέτει.

Ταυτόχρονα μια ποσότητα υγρού διέρχεται μέσα από την στένωση 3.1 της ανακουφιστικής βαλβίδας πίεσεως 3 και επιστρέφει στην δεξαμενή λαδιού μέσω της βαλβίδας εντολής 4 η οποία βρίσκεται στην μέση θέση. Κατ' αυτόν τον τρόπο

συνδέεται ο χώρος της ανακουφιστικής βαλβίδας με την γραμμή των επιστροφών προς την δεξαμενή, οπότε η πίεση του υγρού στο χώρο αυτό είναι πολύ μικρή και οφείλεται μόνο στις αντιστάσεις των αγωγών ροής, των διόδων ροής της βαλβίδας εντολής και του φίλτρου.

Το ελατήριο της βαλβίδας 3 είναι σχετικά αδύναμο και ο σκοπός του είναι η επαναφορά και μόνο της βαλβίδας στην κλειστή θέση. Σε περίπτωση όπου η πίεση από την αντλία αυξηθεί υπερβολικά τότε υπερσχύει της δύναμης του ελατηρίου, οπότε η κύρια παροχή του υδραυλικού υγρού, διέρχεται μέσω της ανακουφιστικής βαλβίδας, προς την δεξαμενή.

κάτ. αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η διατήρηση της παροχής υγρού από την αντλία υπό χαμηλή πίεση. Η αναρρόφηση υγρού γίνεται από την δεξαμενή μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας βαρύτητας 1.

Επειδή η κύρια βαλβίδα κατευθύνσεως 6 βρίσκεται στη μέση θέση, το υγρό που υπάρχει εγκλωβισμένο μέσα στους υδραυλικούς κυλίνδρους και τις σωληνώσεις δεν είναι δυνατόν να επιστρέψει στην δεξαμενή, έτσι αναγκάζετε να παραμείνει το πηδάλιο ακίνητο στην θέση που βρέθηκε μετά από κάποια περιστροφή του.


Σε περιπτώσεις όμως εφαρμογής μια μεγάλης εξωτερικής δύναμης πάνω στο πτερύγιο (rudder) του πηδαλίου (π.χ. τέτοια δύναμη είναι δυνατόν να εμφανιστεί σε κάποια σύγκρουση ή προσάραξη πλοίου) που είναι μεγαλύτερη από τις συνήθεις δυνάμεις λειτουργίας, θα δημιουργήσει μια υπερβολική αύξηση της πιέσεως στους δύο από του τέσσερις κυλίνδρους, ανάλογα με την φορά που τείνει να περιστρέψει το πτερύγιο, η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στον μηχανισμό. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων ο σχεδιαστής καλείτε να τοποθετήσει στο κύκλωμα δίπλες ασφαλιστικές διατάξεις, οι οποίες λειτουργούν ως έξεις: Μόλις η πίεση του υδραυλικού υγρού υπερβεί την τιμή για την οποία είναι ρυθμιζόμενες, τότε αυτές ανοίγουν και επιτρέπουν την διαφυγή του υγρού από τους δύο κυλίνδρους στους οποίους παρουσιάστηκε η υψηλή πίεση, προς τους άλλους δυο οι οποίοι δεν εμφανίζουν υπερπίεση.

β) περιστροφή του πηδαλίου [Εικ2.2]

Υποθέτουμε στην συνέχεια ότι η επιθυμητή περιστροφή του πηδαλίου είναι προς την κατεύθυνση “δεξιά”.


Το σύστημα τηλεχειρισμού δίνει ηλεκτρικό σήμα προς την βαλβίδα εντολής 4, η οποία μετατοπίζεται προς την θέση “δεξιά”:

Τότε διακόπτεται η ροή του υγρού της γραμμής εντολής προς την δεξαμενή και το υδραυλικό υγρό οδηγείται προς το ολισθαίνον έμβολο της βαλβίδας κατευθύνσεως 6 μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας 5 αναγκάζοντας το να κινηθεί και να έρθει στην

θέση: 

Η διακοπή της ροής υγρού στην γραμμή εντολών προκαλεί την εξίσωση των πιέσεων στις δύο πλευρές της ανακουφιστικής βαλβίδας πίεσεως 3 και πλέον η δύναμη του ασθενούς ελατηρίου επαρκεί για την κινήσει και να κλείσει την δίοδο του υγρού προς την δεξαμενή.

Το υγρό αναγκάζεται έτσι να κυκλοφορεί μέσω της βαλβίδας πίεσεως 2 προς την βαλβίδα κατευθύνσεως 6. Η παρεμβολή της βαλβίδας πίεσεως (pressurised valve) 2 δημιουργεί μια αύξηση της πίεσεως στο τμήμα του δικτύου από την κύρια αντλία έως την βαλβίδα αυτή. Για αυτό τον λόγο θα προκύψει αύξηση της πίεσεως και στην γραμμή εντολής, οπότε το έμβολο της βαλβίδας κατευθύνσεως θα κινηθεί από την

μεσαία προς την θέση “Δεξιά”:  κατευθύνοντας την κύρια παροχή του υγρού προς τα δύο από τα τέσσερα έμβολα, συγκεκριμένα τα έμβολα Α και Γ, οπότε ο μηχανισμός αρχίζει να περιστρέφεται. Κατά την διάρκεια της κίνησης του ολισθαίνοντος εμβόλου της βαλβίδας κατευθύνσεως, εκτοπίζεται υγρό από την άλλη πλευρά αυτού, το οποίο μέσω της στραγγαλιστικής διάταξης 5 (pilot check) και της βαλβίδας εντολής 4 επιστρέφει πίσω στην κύρια δεξαμενή.

Η στραγγαλιστική διάταξη 5 έχει σκοπό να περιορίζει την ροή του ελαίου και κατ' αυτό τον τρόπο, να επιβραδύνει την κίνηση του ολισθαίνοντος εμβόλου, ώστε να γίνεται με ομαλότερο τρόπο η έναρξη παροχής υγρού προς τα έμβολα του μηχανισμού.

Κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η στιγμιαία υπερβολική αύξηση της πίεσεως και το υδραυλικό πλήγμα, λόγω της μεγάλης αδράνειας των μηχανικών τμημάτων του πηδαλίου που θα τεθούν σε κίνηση.

Στην κανονική λειτουργία του συστήματος η βαλβίδα ασφάλειας (B.A.) βρίσκεται στην μέση θέση συνδέοντας εν παραλλήλο (κοινή πίεση) τις δυο μονάδες παροχής υδραυλικής ισχύος. Το υδραυλικό υγρό που καταθλίβεται από τα δύο έμβολα του μηχανισμού, καθώς αυτός περιστρέφεται, επιστρέφει μέσω της βαλβίδας κατευθύνσεως 6 στην αναρρόφηση της κυρίας αντλίας και η αναγκαία συμπλήρωση υγρού στο σύστημα γίνεται από την κύρια δεξαμενή Δ1 μέσω της ανεπίστροφης βαλβίδας βαρύτητας 1.

Μόλις το πηδάλιο έρθει στην επιθυμητή θέση, το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου θέσεως του πηδαλίου δίνει κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα προς την βαλβίδα εντολής. Ανάλογα με τον τύπο της βαλβίδας κατευθύνσεως 6 την οποία ο σχεδιαστής θα επιλέξει να τοποθετήσει στο σύστημα, δηλαδή αν αυτή διαθέτει ελατήριο επαναφοράς στην αρχική θέση ή όχι, υπάρχουν οι εξής δύο δυνατότητες:

- 1) Βαλβίδα κατευθύνσεως 6 με ελατήριο επαναφοράς.

Για την ακινητοποίηση του πηδαλίου αρκεί το σύστημα ελέγχου της θέσεως του μηχανισμού να διακόψει το ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο της βαλβίδας εντολής. Τότε

η βαλβίδα εντολής, με την βοήθεια των ελατηρίων επαναφοράς της , έρχεται στην μεσαία θέση και διακόπτει την επενεργεία του υδραυλικού υγρού της γραμμής εντολής στην βαλβίδα κατευθύνσεως 6 διοχετεύοντας το υγρό αυτό προς την δεξαμενή, Κατ' αυτόν τον τρόπο η βαλβίδα κατευθύνσεως, με την βοήθεια των ελατηρίων επαναφοράς έρχεται στην μεσαία θέση ομαλά και ο μηχανισμός ακινητοποιείται και διατηρείται στην θέση εξαιτίας της εγκλωβισμένης ποσότητας υγρού μέσα στους υδραυλικούς κυλίνδρους και στις σωληνώσεις, για την οποία δεν υπάρχει διέξοδος προς την δεξαμενή.

Ταυτόχρονα με την επαναφορά της βαλβίδας εντολής στην μεσαία θέση αρχίζει η κυκλοφορία της κυρίας παροχής υγρού από την αντλία προς την δεξαμενή μέσω της ανακουφιστικής βαλβίδας πιέσεως 3 για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί.

2)Βαλβίδα κατευθύνσεως χωρίς ελατήρια επαναφοράς.

Στην περίπτωση όπου τοποθετηθεί αυτό ο τύπος βαλβίδας στο κύκλωμα, για την ακινητοποίηση του μηχανισμού ακολουθείται η εξής διαδικασία:

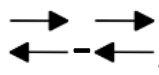
Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου θέσεως του πηδαλίου ενεργεί με διαφορετικό τρόπο, και συγκεκριμένα διακόπτει το ηλεκτρικό ρεύμα από το εν λειτουργία πηνίο της βαλβίδας εντολής και παράλληλα τροφοδοτεί με ηλεκτρικό ρεύμα το άλλο πηνίο αυτής. Έτσι η βαλβίδα εντολής μετακινείται προς την άλλη ακραία θέση και διοχετεύει το υγρό εντολής στην άλλη πλευρά του εμβόλου της βαλβίδας κατευθύνσεως 6. Αυτό αναγκάζει την βαλβίδα κατευθύνσεως να επανέλθει με ομαλό τρόπο, λόγω των στραγγαλιστικών διατάξεων 5, προς την μεσαία θέση ενώ ταυτόχρονα ο μηχανισμός του πηδαλίου επιβραδύνεται επίσης με ομαλό τρόπο εξ' αίτιας της σταδιακής μείωσης της παροχής υγρού προς τα υδραυλικά έμβολα. Τελικά ο μηχανισμός ακινητοποιείται μόλις η βαλβίδα κατευθύνσεως 6 φτάσει στην μεσαία θέση.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα ελέγχου θέσεως αντιλαμβάνεται την ακινητοποίηση του μηχανισμού και αμέσως διακόπτει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στην βαλβίδα εντολής, η οποία έρχεται στην μεσαία θέση με την βοήθεια των ελατηρίων επαναφοράς.

Διακόπτεται έτσι η παροχή υγρού εντολής προς την βαλβίδα κατευθύνσεως η οποία και παραμένει στην μεσαία θέση. Έτσι ο μηχανισμός του πηδαλίου ακινητοποιείται στην επιθυμητή θέση.

Θα πρέπει να συμπληρωθεί ότι οι ταχύτητες απόκρισης του ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου, της βαλβίδας εντολής και της βαλβίδας κατευθύνσεως είναι μεγάλες σε σχέση με την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του πηδαλίου, έτσι ώστε να μην υπάρχει σημαντική υπέρβαση του μηχανισμού από την επιθυμητή γωνιά (θέση) στην οποία πρέπει να ακινητοποιηθεί, λόγω καθυστέρησης του συστήματος ελέγχου (μόνιμο σφάλμα).

Για την αριστερή στροφή του πηδαλίου ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για την δεξιά στροφή κατ' αντίστοιχο τρόπο. Αλλάζει μόνο η θέση των βαλβίδων εντολής και

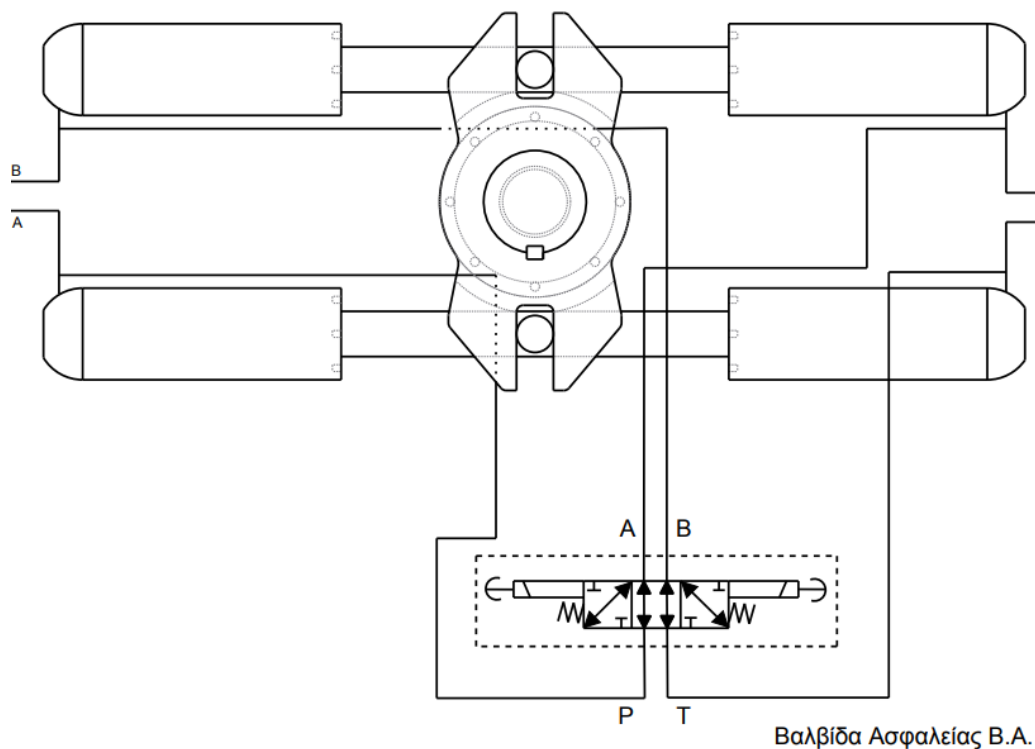
κατευθύνσεως, οι οποίες έρχονται αντίστοιχα στις εξής θέσεις: .

Οι διαδικασίες που περιγράψαν γίνονται, στην περίπτωση κανονικής λειτουργίας του πηδαλίου, ταυτόχρονα και στις δύο μονάδες παροχής υδραυλικής ισχύος οι οποίες είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Η παράλληλη σύνδεση των δύο μονάδων πραγματοποιείται μέσω κατάλληλης βαλβίδας κατευθύνσεως (βαλβίδα ασφαλείας B.A.) και ο τρόπος λειτουργίας της περιγράφεται στη συνέχεια.

2.5 Σχεδίαση του συστήματος ασφαλείας:

Το σύστημα αυτό έχει σκοπό να αποκαθιστά την λειτουργία του μηχανισμού του πηδαλίου σε περιπτώσεις βλάβης όπως π.χ. διάρρηξη σωληνώσεων ή άλλης αιτίας που θα έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη απώλεια υδραυλικού υγρού.

Αποτελείται από την βοηθητική δεξαμενή υδραυλικού υγρού μικρής χωρητικότητας, τρεις διακόπτες στάθμης (floating switches), ηλεκτρικό εξοπλισμό για τον έλεγχο της λειτουργίας και εποπτείας του και την βαλβίδα ασφαλείας η οποία είναι μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κατευθύνσεως 4/3(τεσσάρων οπών ABPT και 3ων θέσεων) με ελατήρια επαναφοράς στην μεσαία θέση και με δυνατότητα χειροκίνητου χειρισμού. [Εικ2.11]




[Εικ2.11] Κύκλωμα Βαλβίδας Ασφαλείας B.A..

Οι δύο από τους τρεις διακόπτες στάθμης είναι τοποθετημένοι στην βοηθητική δεξαμενή, ο ένας κοντά στον πυθμένα και ο άλλος στο πάνω μέρος αυτής. Ο τρίτος διακόπτης είναι τοποθετημένος σε υψηλό σημείο της κυρίας δεξαμενής Δ2 της μονάδας ισχύος 2 και ενεργοποιείται μόλις η στάθμη του υδραυλικού υγρού πέσει χαμηλότερα από την μέγιστη στάθμη της δεξαμενής.

Να παρατηρήσουμε εδώ, ότι οι δεξαμενές Δ1 και Δ2 βρίσκονται σε χαμηλότερη θέση από την βοηθητική δεξαμενή με την οποία και επικοινωνούν μέσω σωλήνων. Είναι δε πάντοτε πλήρεις υδραυλικού υγρού. Σε περίπτωση διαρροής υγρού από κάποιο σημείο του δικτύου του πηδαλίου, τότε θα συμβούν τα έξης:

Θα αρχίσει να μειώνεται η ποσότητα υγρού στην βοηθητική δεξαμενή με ρυθμό που εξαρτάται από το μέγεθος της διαρροής.


Μόλις η στάθμη του υγρού πέσει κάτω και από τον δεύτερο διακόπτη της βοηθητικής δεξαμενής τότε αυτός θα δώσει κατάλληλη εντολή προς την βαλβίδα

ασφάλειας έτσι ώστε αυτή να έρθει στην θέση λειτουργίας:  ενώ ταυτόχρονα διακόπτει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από το ηλεκτρικό μοτέρ της μονάδας ισχύος 1, οπότε αυτή τίθεται εκτός λειτουργίας. Κατ' αυτό τον τρόπο απομονώνεται η μονάδα αυτή και συνεχίζει να λειτουργεί μόνο η μονάδα ισχύος 2 στέλνοντας πλέον υδραυλικό υγρό μόνο σε ένα εκ των δύο κυλίνδρων για κάθε κίνηση (δεξιά-αριστερά).

Με αυτόν το τρόπο ο μηχανισμός του πηδαλίου μπορεί και επαναλειτουργεί αλλά με την μισή διαθέσιμη ισχύ και ροπή στρέψεως αφού πλέον οι δυο μονάδες ισχύος δεν έχουν καμία επικοινωνία μεταξύ τους.

Μετά την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών από το σύστημα ασφάλειας, αν δεν έγινε δυνατή η αποκατάσταση της λειτουργίας του μηχανισμού, αυτό σημαίνει πως η αιτία της διαρροής του υγρού δεν ήταν στην μονάδα παροχής ισχύος που απομονώθηκε αλλά σε αυτήν που παραμένει σε λειτουργία και η διαρροή υδραυλικού υγρού θα συνεχίζεται.

Για αυτό τοποθετήθηκε τρίτος διακόπτης στάθμης απευθείας στην δεξαμενή Δ2. Όταν ενεργοποιηθεί θα στείλει ηλεκτρικό σήμα το οποίο θα δώσει την κατάλληλη

εντολή στην βαλβίδα ασφαλείας ώστε να μετατοπιστεί προς την θέση:  απομονώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την μονάδα ισχύος 2 και ταυτόχρονα θα διακόψει την παροχή ρεύματος προς το μοτέρ της μονάδας αυτής.

Παράλληλα τίθεται ξανά σε λειτουργία το μοτέρ της μονάδας ισχύος 1 η οποία καταθλίβει υδραυλικό υγρό σε κάποιον από του κυλίνδρους Α ή Δ (βλέπε [Εικ2.2]) ανάλογα με την κίνηση που γίνεται. Ο μηχανισμός και πάλι θα λειτουργεί με την μισή ισχύ και στρεπτική δύναμη.

Συνοψίζοντας καταλήγουμε πως σχεδιάζοντας έναν μηχανισμό πηδαλίου που βασίζεται στην συμμετρική κατασκευή του δικτύου και των μονάδων υδραυλικής ισχύος, έχουμε ένα σύστημα το οποίο θα συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και αν μια βλάβη καταστήσει άχρηστο το 50% του συστήματος.

2.6 Χαρακτηριστικά του συστήματος

Τα χαρακτηριστικά του μηχανισμού του πηδαλίου καθορίζονται από τις εν γένει απαιτήσεις του πλοίου και από τους κανονισμούς ασφάλειας. Αρχικά προσδιορίζεται η αναγκαία επιφάνεια του πτερυγίου και οι πάσης φύσεως δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω σε αυτό κατά την πλεύση, από τις οποίες τελικά υπολογίζεται η ροπή που θα πρέπει να εξασκεί στην άτρακτο ο μηχανισμός του πηδαλίου, η οποία επίσης προδιαγράφεται από του διεθνείς κανονισμούς ασφάλειας.

Οι μηχανισμοί πηδαλίου του τύπου που εξετάσαμε είναι αντιπροσωπευτικοί της μεσαίας και μεγάλης κατηγορίας ισχύος.

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου τύπου πηδαλίου το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε πλοίο εκτοπίσματος 4000 DTW και ταχύτητας 20 κόμβων, με την παρατήρηση ότι στο συγκεκριμένο πλοίο υπάρχουν δύο όμοιοι μηχανισμοί (δηλαδή το πλοίο έχει δύο ανεξάρτητα πηδάλια) και τα χαρακτηριστικά αφορούν τον κάθε εάν μηχανισμό.

Έχουμε ισχύ ατράκτου (μηχανική) των ηλεκτροκινητήρων 17 KW για κάθε έναν κινητήρα, και λειτουργία στις 1750 rpm για 60Hz συχνότητα ρεύματος (συνήθίζεται στα πλοία). Για ηλεκτροκινητήρες ισχύει $F=(\Pi*N)/120$. Όπου F η συχνότητα του ρεύματος ισούται με Π (τον αριθμό των πόλων (4εις)) επί N (τις στροφές του ηλεκτροκινητήρα) δια 120. (υπάρχει πάντα μικρή απώλεια)

Οι αντλίες του συστήματος είναι εμβολοφόρες σταθερού εκτοπίσματος, κεκλιμένης ατράκτου τύπου REXROTH σειρά A2F.

Η παροχή της κάθε μιας αντλίας είναι 56 lit/min και η πίεση που αναπτύσσουν στην κανονική λειτουργία του συστήματος ανέρχεται στα 156 Bar μέσα στους υδραυλικούς κυλίνδρους.

Ο χρόνος περιστροφής του πηδαλίου για γωνιά 65 μοιρών από την μεσαία θέση είναι περίπου 28sec όταν το σύστημα εργάζεται και με τις δυο μονάδες παροχής ισχύος (δηλ. κανονική λειτουργία).

Η πίεση ρυθμίσεως των δυο παράλληλα συνδεδεμένων ασφαλιστικών διατάξεων για περιπτώσεις όπου το πηδάλιο χτυπήσει σε κάποιο εμπόδιο είναι περίπου 210 Bar, 35% πάνω από την πίεση κανονικής λειτουργίας, όπως αυτή ορίζεται από τον

κατασκευαστή ως μέγιστη πίεση που μπορεί να λειτουργήσει η αντλία χωρίς να φθείρεται.

Η ανακουφιστική βαλβίδα πίεσεως 3 (βλέπε [Εικ2.4]) είναι επίσης τύπου REXROTH σειρά DB (pilot operated relief valve) και είναι ρυθμισμένη ώστε να λειτουργεί σε πίεση 210 Bar.

Τέλος, η βαλβίδα κατευθύνσεως 6, η βαλβίδα εντολής 4 καθώς και η μονής κατευθύνσεως στραγγαλιστική βαλβίδα 5 (βλέπε [Εικ2.4]) αποτελούν ένα συγκρότημα βαλβίδων τοποθετημένων σε ειδική πλάκα συναρμολόγησεως, στην οποία ανήκει και η ανακουφιστική βαλβίδα πίεσεως.

Υδραυλικό υγρό:

Στο σύστημα χρησιμοποιείται υδραυλικό υγρό απαλλαγμένο από οξέα, νερό, ρητινώδεις προσμίξεις και άλλες χημικές ουσίες καθώς και στερεές ακαθαρσίες.

Η καμπύλη ιξώδους - θερμοκρασίας του υδραυλικού υγρού που χρησιμοποιείται στο σύστημα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη.

Το ιξώδες του ελαίου του συστήματος πρέπει να κυμαίνεται στα παρακάτω όρια:

61 έως 75mm²/sec (Cst) σε θερμοκρασία 40° C.

33 έως 75 mm²/sec (Cst) σε θερμοκρασία 50° C.

Το σημείο ανάφλεξης (flash point) του υδραυλικού υγρού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 190° C και το σημείο ροής να βρίσκεται περίπου σε θερμοκρασία - 25° C.

2.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου:

Η δημιουργία του παραπάνω υδραυλικού σχεδίου έρχεται να δώσει λύση στην ανάγκη της μετακίνησης του πηδαλίου ενός πλοίου, όταν αυτό βρίσκεται σε κίνηση αλλά και όταν βρίσκεται σε ακινησία. Το υδραυλικό σύστημα που σχεδιάστηκε κάνει χρήση κοινών ενεργοποιητών όπως είναι ένας υδραυλικός κύλινδρος αλλά και αντλιών που υπάρχουν στο εμπόριο σαν την A2F της REXROTH προκειμένου να εκτελέσει με επιτυχία την διαδικασία της στρέψης του πηδαλίου. Ένα τέτοιου είδους υδραυλικό σύστημα δεν έχει πολύ μεγάλα έξοδα κατασκευής αλλά επιτρέπει και την εύκολη συντήρηση αφού διαθέτει εξαρτήματα οποία μπορούν να βρεθούν πάντα ετοιμοπαράδοτα από τον κατασκευαστή τους αλλά μπορούν να αντικατασταθούν με όμοια άλλων κατασκευαστών. Επίσης ένα σύστημα σαν το παραπάνω καλύπτει τις απαιτήσεις των περισσότερων νηογνομών καθώς μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και με το 50% του συστήματος να είναι εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο. Αυτό είναι εφικτό μέσω του συστήματος ασφάλειας που έχει

σχεδιαστεί να λειτουργεί παράλληλα με το σύστημα και σε περίπτωση ανάγκης να αλλάζει τον τρόπο λειτουργίας των στοιχείων του συστήματος. Το κεφάλαιο αναδεικνύει την ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος ασφαλείας εγκατεστημένο πάνω σε ένα υδραυλικό σύστημα του πλοίου και αναλύει τον τρόπο εφαρμογής του πάνω σε ένα είδη λειτουργικό υδραυλικό σύστημα.

Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου:

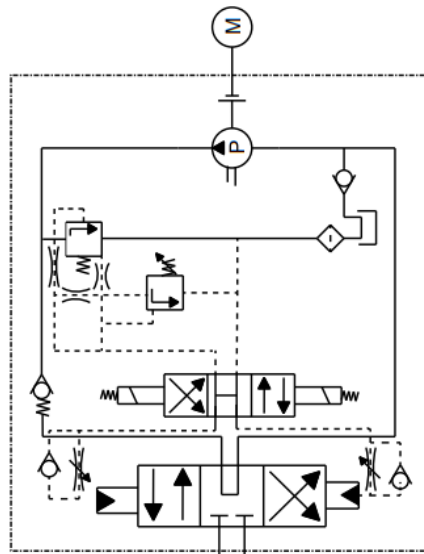
Rohner, P.,(1994) "*Industrial hydraulic control : a textbook for fluid power technicians*", Brisbane : John Wiley & Sons.

H. Salehfar,B. Bubar (19 January 1995). *Reliability of electro-hydraulic steering systems aboard commercial ships*. Published in: Annual Reliability and Maintainability Symposium 1995 Proceedings

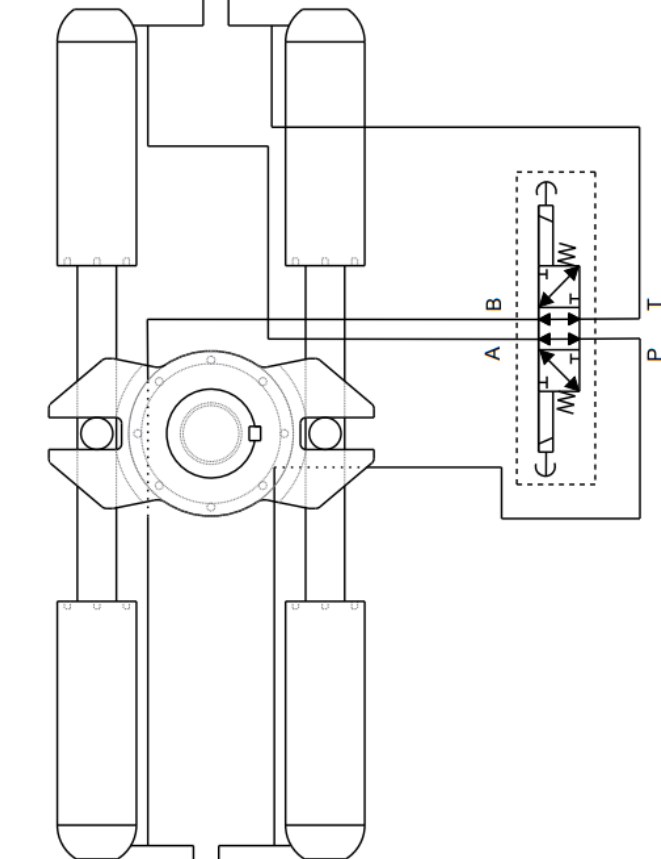
D. A. Taylor, (19830). *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Butterworth-Heinemann.

EMILIO CASTAGNETO, (Napoli 1972) , *IL GOVERNO DELLE NAVI* , Pellerano del Gaudio.

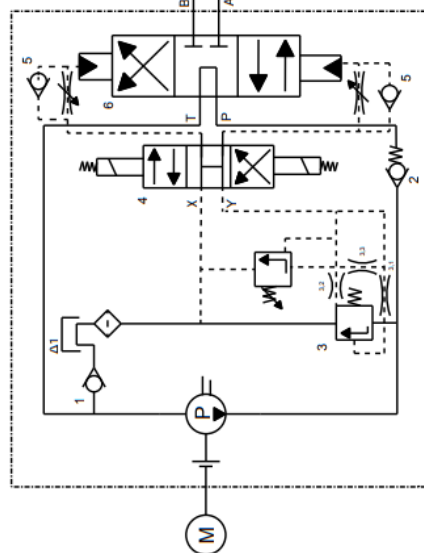
Γεώργιος Κ. Χατζηκωνσταντής (2017), *Πηδαλιουχία Πηδάλια*, Αθήνα.



Μονάδα Παροχής Ισχύος 2



Βαλβίδα Ασφαλείας Β.Α.



Μονάδα Παροχής Ισχύος 1

Κεφάλαιο 3: Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος

3.1 Εισαγωγή:

Τα είδη των ελίκων που κατά κανόνα τοποθετούνται στα πλοία μπορούν να καταταγούν σε δύο κύριες κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν όλες οι έλικες που κατασκευάζονται με ακίνητα πτερύγια , δηλαδή πτερύγια σταθερά πακτωμένα στην πλήμνη της έλικας (fixed pitch propellers).

Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι έλικες ρυθμιζόμενου βήματος (controllable pitch propellers [c.p.p.]) [Εικ.3.0] . Το κύριο χαρακτηριστικό των ελίκων αυτόν είναι η δυνατότητα μεταβολής του βήματος των πτερυγίων τους, που επιτυγχάνεται με κατάλληλη περιστροφή των πτερυγίων γύρω από ένα άξονα κάθετο στον άξονα περιστροφής της ατράκτου.

Η χρήση τύπου έλικας από την πρώτη ή την δεύτερη κατηγορία εξαρτάται από την επιλογή του κατασκευαστή του πλοίου, από το είδος του πλοίου και από το υπόλοιπο σύστημα πρόωσης του πλοίου. Ειδικότερα για τα συστήματα προώσεως η χρησιμοποίηση έλικας ρυθμιζόμενου βήματος σε αυτά έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικές διαφοροποιήσεις από τα αντίστοιχα συστήματα που χρησιμοποιούν έλικα σταθερών πτερυγίων, ενώ για ορισμένα είδη συστημάτων προώσεως η χρήση έλικας τύπου c.p.p. είναι αναγκαία.

Η επιλογή έλικας ρυθμιζόμενου βήματος παρέχει στις διατάξεις που θα χρησιμοποιηθεί αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των διατάξεων με έλικα σταθερών πτερυγίων. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της εξής :

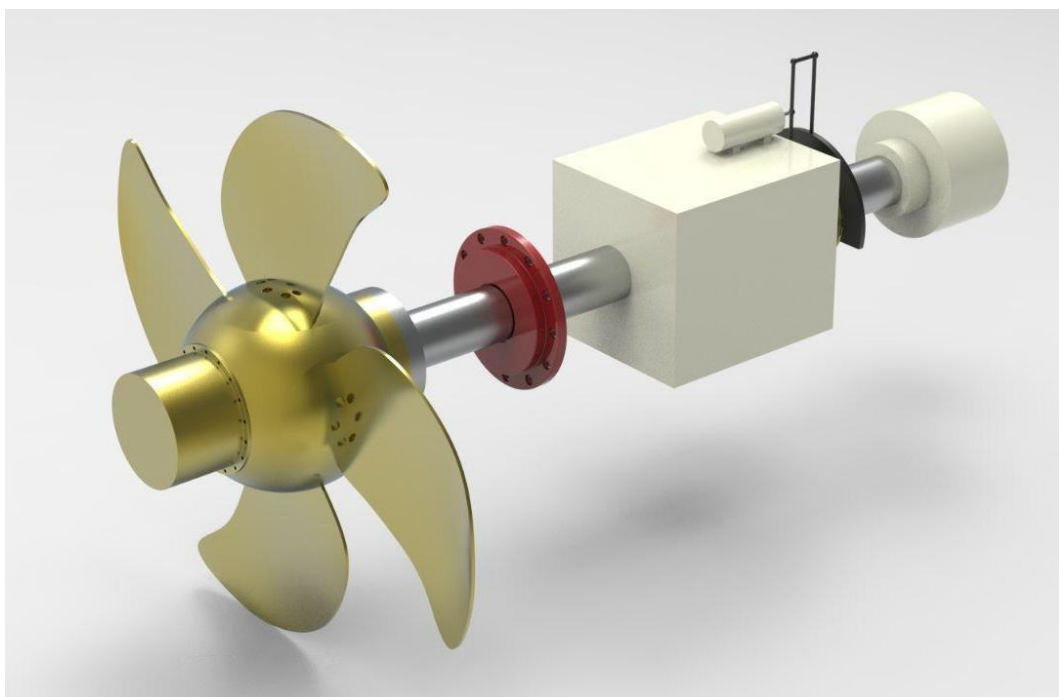
α) Εύκαμπτο σύστημα όσο αφορά τις δυνατότητες συνδυασμού στροφών κινητήρα, ισχύος κινητήρα και βήματος έλικας ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη σχέση ταχύτητας πλοίου και κατανάλωσης καυσίμου.

β) Δεν απαιτείται σύστημα προώσεως με δυνατότητα αντιστροφής της φοράς περιστροφής του (για εξυπηρέτηση της κίνησης “ανάποδα”) με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος της κυρίας μηχανής και την απλούστερη κατασκευή του συστήματος. Η κίνηση “ανάποδα” επιτυγχάνεται με κατάλληλη περιστροφή των πτερυγίων της έλικας.

γ) Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης και ακρίβεια κατά τις διάφορες κινήσεις του πλοίου (manoeuvrability) που κατά τη διάρκεια της εισόδου και εξόδου του πλοίου από τον λιμένα έχουν μεγάλη σημασία.

Πέρα από τα όλα τα θετικά ενός συστήματος c.p.p., υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα:

- α) Το υψηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με ένα σύστημα απλής έλικας.
- β) Ο μηχανισμός του συστήματος είναι πολύ πιο πολύπλοκος από μια απλή έλικα πράγμα που τον καθιστά και πιο ευπαθή και με ιδιαίτερες απαιτήσεις στην συντήρηση και τον χειρισμό του.
- γ) Δημιουργεί την ανάγκη για ιδιαίτερη μέριμνα κατά τον σχεδιασμό του χώρου που καταλαμβάνει.

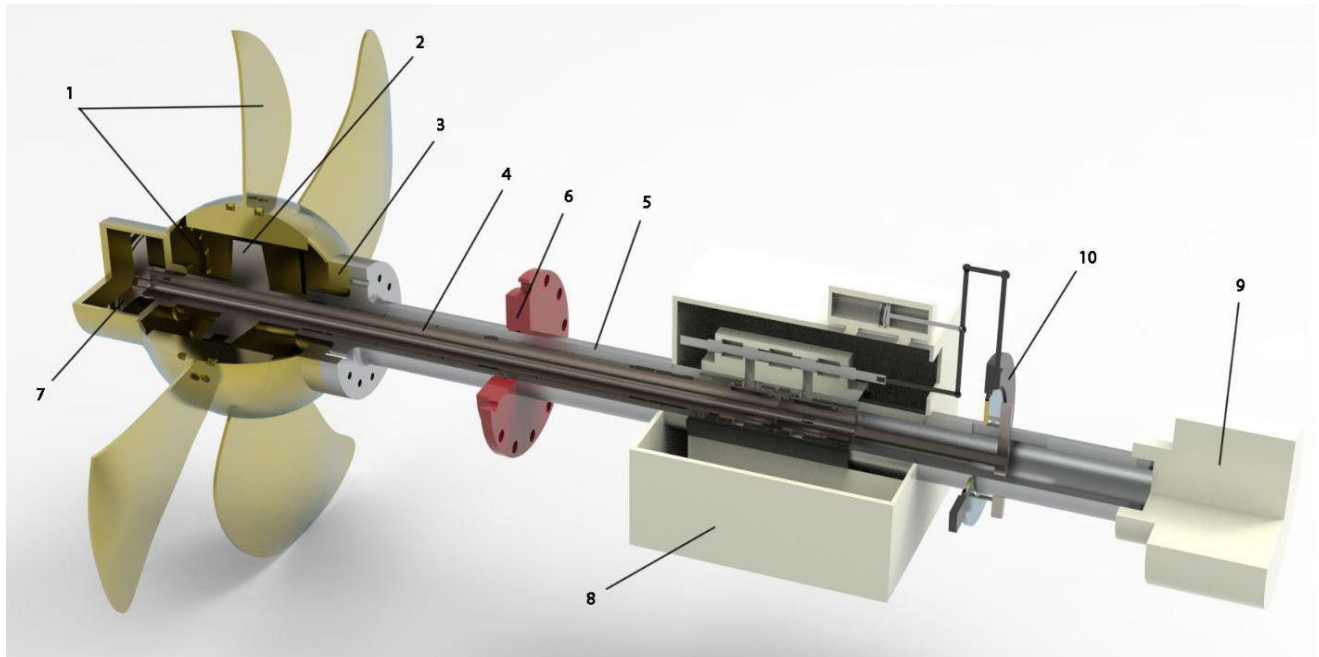


[Εικ.3.0] Τρισδιάστατη απεικόνιση έλικας ρυθμιζόμενου βήματος (controllable pitch propellers [C.P.P.]).

3.2 Περιγραφή της σχεδίασης ενός συστήματος C.P.P.:

Οι περισσότερες διατάξεις c.p.p. αποτελούν συνδυασμό υδραυλικών και μηχανικών τμημάτων και εξαρτημάτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αναγκαία η εξέταση του συστήματος σαν σύνολο και όχι μεμονωμένα του μηχανικού ή του υδραυλικού μέρους του.

Η υδραυλική ισχύς χρησιμοποιείται σε τέτοιου είδους συστήματα για την εφαρμογή της κατάλληλης ροπής στον άξονα περιστροφής των κινητών πτερυγίων της έλικας και η ισχύς αυτή αποδίδεται από εάν υδραυλικό κύκλωμα που υπάρχει για τον σκοπό αυτό στο σύστημα. Το υδραυλικό αυτό κύκλωμα θα περιγραφεί στην συνέχεια.



[Εικ.3.1] Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης c.p.p. σε τομή.

Στην [Εικ.3.1] βλέπουμε μια διάταξη c.p.p. και μπορούμε να διακρίνουμε τα εξής κυριότερα τμήματα της:

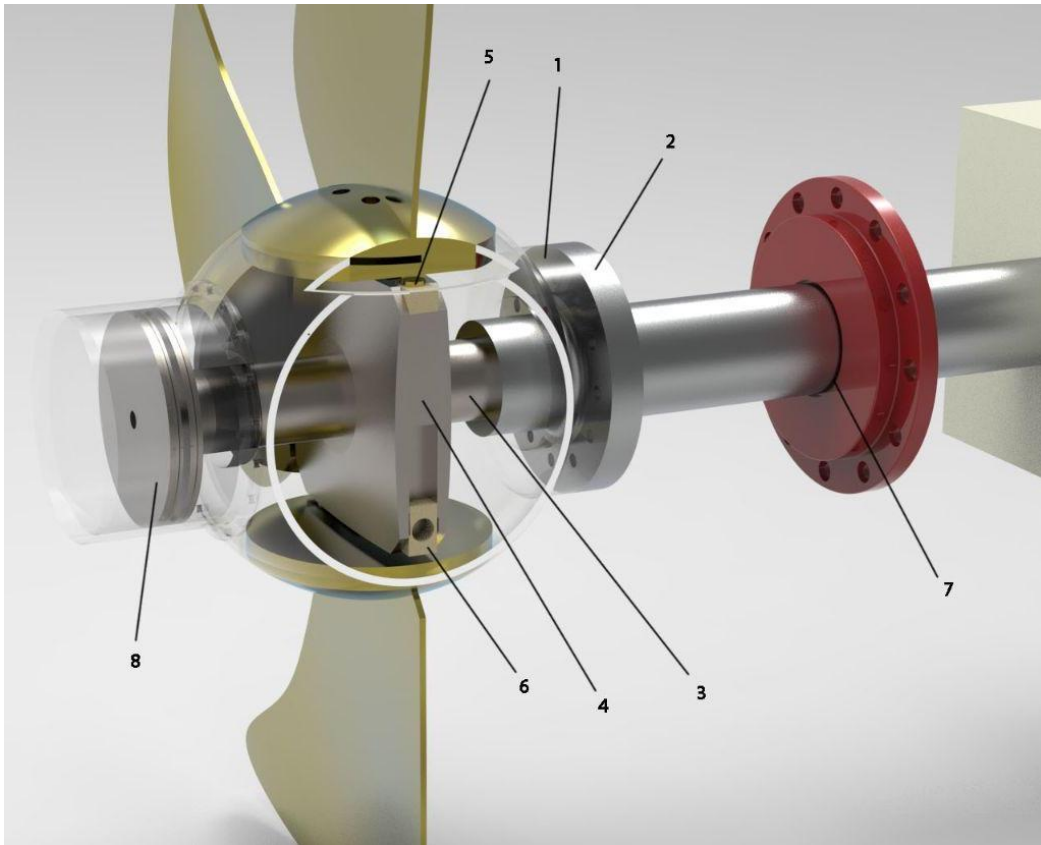
1. Περιστρεφόμενο πτερύγιο και πλήμνη έλικας.
2. Κεφαλή περιστροφής των πτερυγίων
3. Δακτύλιος συνδέσεως πλήμνης-ατράκτου.
4. Ολισθαίνον βάκτρο.
5. Κύρια άτρακτος (κοίλη) μεταφοράς ροπής προς την έλικα.
6. Συσκευή στεγανότητας χοάνης (stern tube seal)
7. Υδραυλικός κύλινδρος και υδραυλικό έμβολο.
8. Μονάδα υδραυλικού ελέγχου βήματος.
9. Σύνδεσμος με την άτρακτο της κινητήριας μηχανής του πλοίου.
10. Σερβομηχανισμός ελέγχου και επαναφοράς θέσεως των πτερυγίων.

Αναλυτική Περιγραφή των εξαρτημάτων

1) Πτερύγια και πλήμνη

Χαρακτηριστικό των ελίκων με ρυθμιζόμενο βήμα είναι ο μεγάλος όγκος της πλήμνης λόγω των εξαρτημάτων που περιέχονται μέσα σε αυτήν.

Τα πτερύγια μιας έλικας ρυθμιζόμενου βήματος δεν είναι μόνιμα εγκατεστημένα στην πλήμνη αλλά κάθε ένα από αυτά συγκρατείται με κοχλίες σε ειδικές περιστρεφόμενες βάσεις προσαρμοσμένες στην πλήμνη (βλ. Εικ.3.2).



[Εικ.3.2] Τρισδιάστατη απεικόνιση πτερυγίων και πλήμνης διάταξης c.p.p. σε “νεκρά” θέση (πάνω) και σε θέση “πρόσω” (κάτω).

Το υλικό κατασκευής των πτερυγίων αποτελείται από κράματα ανθεκτικά στην διάβρωση του θαλασσινού ύδατος. Αυτά μπορεί να είναι είτε κράματα από ανοξείδωτο ατσάλι ή κράματα νικελίου-αλουμινίου-μπρούτζου ή κράματα μπρούτζου-μαγγανίου. Ένα από τα πιο συνηθισμένα κράματα που χρησιμοποιούνται είναι το “Novoston” με σύνθεση Cu 75% ,Mg 12%, Al 8% , Fe 3%, Ni 2%.

Στην [Εικ.3.3] παρουσιάζονται, σε τομή, η πλήμνη και ο εντός αυτής μηχανισμός περιστροφής πτερυγίων. Διακρίνονται δε τα εξής μέρη: το εξωτερικό περίβλημα (κέλυφος) (1) της πλήμνης, το διαμορφούμενο σε φλάντζα άκρο της κοίλης ατράκτου (2) του συστήματος, το βάκτρο (3) του υδραυλικού εμβόλου καθώς και η τετραγώνου σχήματος κεφαλή του βάκτρου (4). Η κεφαλή μπορεί να ολισθαίνει πάνω σε ευθυντήρες παρασυρόμενη από την αξονική κίνηση του βάκτρου.

Σε κάθε μια από τις πλευρές της η κεφαλή φέρει χαλύβδινο πείρο (5) ο οποίος προσαρμόζεται εντός έκκεντρης οπής που υπάρχει σε κάθε μια από τις περιστρεφόμενες βάσεις της πλήμνης. Η προσαρμογή του πείρου γίνεται με την παρεμβολή του τριβέα από λευκό μέταλλο αντιτριβής όπως διάφορα κράματα χαλκού – κασσίτερου (6).

Οι βάσεις στηρίξεως των πτερυγίων εδράζονται επί της πλήμνης σε κατάλληλα διαμορφωμένη θέση. Υπάρχουν επίσης ελαστικοί δακτύλιοι στεγανότητας προσαρμοσμένοι σε κάθε μια βάση με σκοπό να παρεμποδίζουν την διείσδυση θαλάσσιου ύδατος μέσα στην πλήμνη. Πάντως, η στεγανότητα που οφείλεται στους δακτυλίους αυτούς δεν είναι πάντα αποτελεσματική και η αποφυγή της εισροής θαλάσσιου ύδατος μέσα στην πλήμνη (κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την φθορά και καταστροφή του μηχανισμού) γίνεται διατηρώντας το λιπαντικό έλαιο που υπάρχει μέσα στην πλήμνη σε πίεση μεγαλύτερη κατά 0,3 bar περίπου από την μέγιστη εξωτερική υδροστατική πίεση του θαλάσσιου ύδατος για το μέγιστο βάθος λειτουργίας της έλικας.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας, μια αξονική μετατόπιση του συστήματος εμβόλου-βάκτρου-κεφαλής που προκαλείται από κάποια εφαρμογή υδραυλικής πίεσης στην επιφάνεια του εμβόλου, θα έχει σαν συνέπεια την ομοιόμορφη περιστροφή των πτερυγίων της έλικας και κατά συνέπεια την μεταβολή του βήματος της.

Η μέγιστη γωνία περιστροφής των πτερυγίων, στην πράξη είναι περίπου 40° και κυμαίνεται μεταξύ των δύο οριακών θέσεων της κεφαλής, δηλαδή από την θέση πλήρους ρύθμισης στην θέση πλήρους ρύθμισης “ανάποδα”. Μεταξύ των οριακών θέσεων βρίσκεται και η ουδέτερη (neutral) θέση ρύθμισης όπου το βήμα έχει μηδενική τιμή.

2) Κοίλη άτρακτος - βάκτρο.

Στην [Εικ3.2] φαίνεται η κοίλη άτρακτος και το βάκτρο του συστήματος. Το ένα άκρο της χαλύβδινης ατράκτου (2) είναι διαμορφωμένο σε φλάντζα (3) στην οποία συγκρατείται με κοχλίες η πλήμνη της έλικας και το άλλο άκρο της καταλήγει σε κωνικό σύνδεσμο στον οποίο προσαρμόζεται ο υδραυλικός κύλινδρος.

Η άτρακτος εδράζεται σε δύο έδρες και φέρει συσκευή στεγανότητας (stern tube seal)(7).

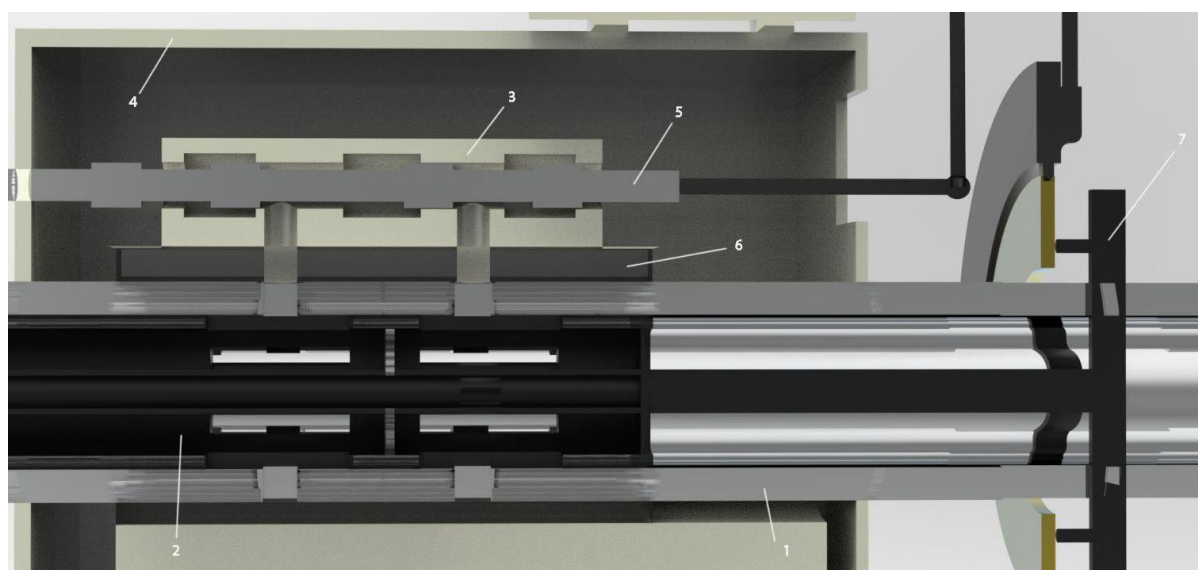
Το βάκτρο (3) που βρίσκεται εντός της ατράκτου στο ένα άκρο του φέρει κεφαλή ενώ το άλλο άκρο του καταλήγει στο υδραυλικό έμβολο (8) το οποίο είναι διπλής ενεργείας. Το βάκτρο εδράζεται και ολισθαίνει πάνω σε κατάλληλα έδρανα τοποθετημένα στο εσωτερικό της ατράκτου.


Ολόκληρο το σύστημα υδραυλικού κυλίνδρου - υδραυλικού εμβόλου - βάκτρου περιστρέφεται, με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, μαζί με την άτρακτο.

3) Υδραυλικός κύλινδρος - υδραυλικό έμβολο.

Στην [Εικ3.3] παρουσιάζεται ο υδραυλικός κύλινδρος ο οποίος αποτελεί ιδιαίτερο εξάρτημα του συστήματος c.p.p. και συνδέεται στην άτρακτο με την παρεμβολή κατάλληλου συνδέσμου σφηνώσεως δια τριβής. Το υδραυλικό έμβολο είναι διπλής ενεργείας και κινείται εντός του υδραυλικού κυλίνδρου.

4) Υδραυλική μονάδα ελέγχου.



[Εικ3.3] Υδραυλική μονάδα ελέγχου με την βαλβίδα να βρίσκεται σε ανοιχτή θέση (Α ανοιχτό ).

Η υδραυλική μονάδα ελέγχου αποτελεί μέρος του άξονα (βλ. [Εικ3.3]).

Συνίσταται από τον ενδιάμεσο άξονα (1) με έναν σταθερό και έναν αφαιρούμενο σύνδεσμο, από τον υδραυλικό κύλινδρο (2) και την κύρια βαλβίδα κατευθύνσεως υδραυλικού υγρού (3) η οποία περικλείεται και στηρίζεται σταθερά στο

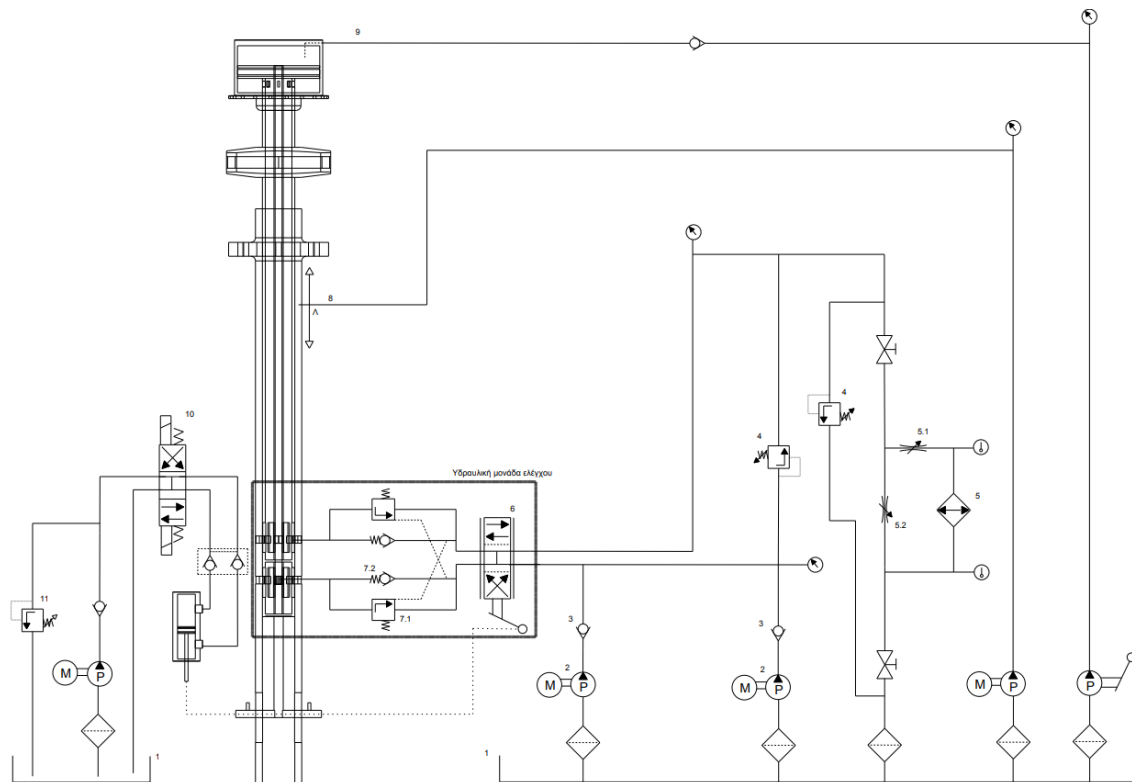
διαϊρούμενο κέλυφος (4) κατά μήκος του άξονα και μέσω εξωτερικής ελαστικής εδράσεως στηρίζεται στο πλοίο.

Ο ενδιάμεσος άξονας (1) αποτελεί ταυτόχρονα και το πώμα του υδραυλικού κυλίνδρου και εκτός του ότι μεταφέρει την ροπή προς την άτρακτο και την έλικα, φέρει επίσης διόδους για την παροχή υδραυλικού υγρού προς τον υδραυλικό κύλινδρο, καθώς και τις δύο ασφαλιστικές βαλβίδες πίεσεως και τις συσκευές στεγανότητας(6).

Εντός της υδραυλικής μονάδας ελέγχου υπάρχει μηχανισμός μοχλών συνδεδεμένων με το κινούμενο έμβολο, διαμέσου του οποίου επιτυγχάνεται η οδήγηση του εμβολίσκου της βαλβίδας κατευθύνσεως (5) αλλά και του ηλεκτρικού ενδεικτή βήματος(7).

Το κέλυφος της υδραυλικής μονάδας χρησιμεύει σαν βοηθητική δεξαμενή περισυλλογής του ελαίου λιπάνσεως. Το έλαιο λιπάνσεως που χρησιμοποιείται είναι το ίδιο το υδραυλικό υγρό. Επίσης στην βοηθητική δεξαμενή συγκεντρώνονται και οι διαρροές υγρού από τα διάφορα εξαρτήματα του υδραυλικού συστήματος (drain). Η βοηθητική δεξαμενή επικοινωνεί με την κύρια δεξαμενή που περιέχει το υδραυλικό υγρό και βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη.

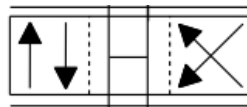
3.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος:



[Εικ3.4] Υδραυλικό κύκλωμα οδήγησης του υδραυλικού εμβόλου του συστήματος C.P.P.. (Μεγεθυμμένη στο τέλος του κεφαλαίου).

Το υδραυλικό κύκλωμα οδήγησης του υδραυλικού εμβόλου του συστήματος c.p.p. φαίνεται στην [Εικ3.4] και αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα.

- 1) Κύρια δεξαμενή υδραυλικού υγρού (deerp tank) με χωρητικότητα 1500 lt περίπου.
- 2) Δύο ηλεκτροκίνητες μονάδες παροχής υδραυλικού υγρού για την παραγωγή υδραυλικής ισχύος. Κάθε μονάδα αποτελείται από ένα ζεύγος γρاناζωτών αντλιών, τον ηλεκτροκινητήρα και δύο φίλτρα τοποθετημένα στην αναρρόφηση κάθε μιας αντλίας. Η ικανότητα φιλτραρίσματος των φίλτρων αυτών είναι της τάξεως των 60micron.
- 3) Δύο βαλβίδες αντεπιστροφής που λειτουργούν με την βοήθεια της βαρύτητας και παρεμβάλλονται στην κατάθλιψη κάθε συστήματος αντλιών.
- 4) Ανακουφιστικές βαλβίδες πίεσεως που υπάρχουν στις γραμμές κατάθλιψης και επιστροφής. Οι βαλβίδες αυτές είναι ρυθμισμένες για λειτουργία μέχρι τις πιέσεις 90 Bar για την κατάθλιψη του υδραυλικού υγρού και 8 Bar για την επιστροφή αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι περίπου 10% μεγαλύτερες από τις μέγιστες πιέσεις λειτουργίας του συστήματος.
- 5) Στην γραμμή επιστροφής υπάρχει ψύκτης του υδραυλικού υγρού ο οποίος παρεμβάλλεται μεταξύ δύο στραγγαλιστικών διατάξεων (5.1 και 5.2). Μετά την έξοδο του ψύκτη υπάρχει φίλτρο από το οποίο διέρχεται το υδραυλικό υγρό στην κύρια δεξαμενή.
- 6) Η κύρια βαλβίδα του υδραυλικού συστήματος είναι μια αναλογική βαλβίδα κατευθύνσεως 4/3 μέσω της οποίας πραγματοποιείται η διανομή του υδρ. υγρού προς τις δύο πλευρές του υδραυλικού εμβόλου. Η βαλβίδα αυτή είναι τοποθετημένη σε σταθερό μέρος στο έδρανο του ενδιάμεσου άξονα και αποτελεί ιδιαίτερη κατασκευή με χαρακτηριστικά που εξαρτώνται και από τα υπόλοιπα μηχανικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του συστήματος (παροχή, πίεση λειτουργίας, αντίσταση, διαδρομή εμβολίσκου). Το



συμβολικό σχήμα αυτής της βαλβίδας είναι:

Το ολισθαίνον έμβολο της βαλβίδας συνδέεται μέσω μοχλών και αρθρωτών συνδέσμων με γραμμικό υδραυλικό ενεργοποιητή από τον οποίο και δέχεται εντολή αλλαγής θέσεως. Επίσης μέσω ειδικής διατάξεως υπάρχει δυνατότητα μηχανικής σύνδεσης του ολισθαίνοντα εμβόλου της βαλβίδας κατευθύνσεως με το υδραυλικό έμβολο του συστήματος.

- 7) Ακριβώς από κάτω από την κύρια βαλβίδα υπάρχουν δυο συζευγμένες βαλβίδες αντιστάθμισης (counterbalance valves) οι οποίες χρησιμεύουν για να παγιδευτεί το υδραυλικό υγρό στον κύλινδρο στην περίπτωση απώλειας πίεσεως στο κύκλωμα.

Οι βαλβίδες αυτές ανοίγουν με υδραυλική εντολή που εφαρμόζεται από το υδραυλικό δίκτυο στον εμβολισμό που διαθέτουν και επέρχονται στην κλειστή θέση με την δύναμη που ασκεί το ελατήριο. Η ειδική κατασκευή του εμβολίσκου της βαλβίδας της επιτρέπει να λειτουργεί ταυτοχρόνως και σαν βαλβίδα αντεπιστροφής.

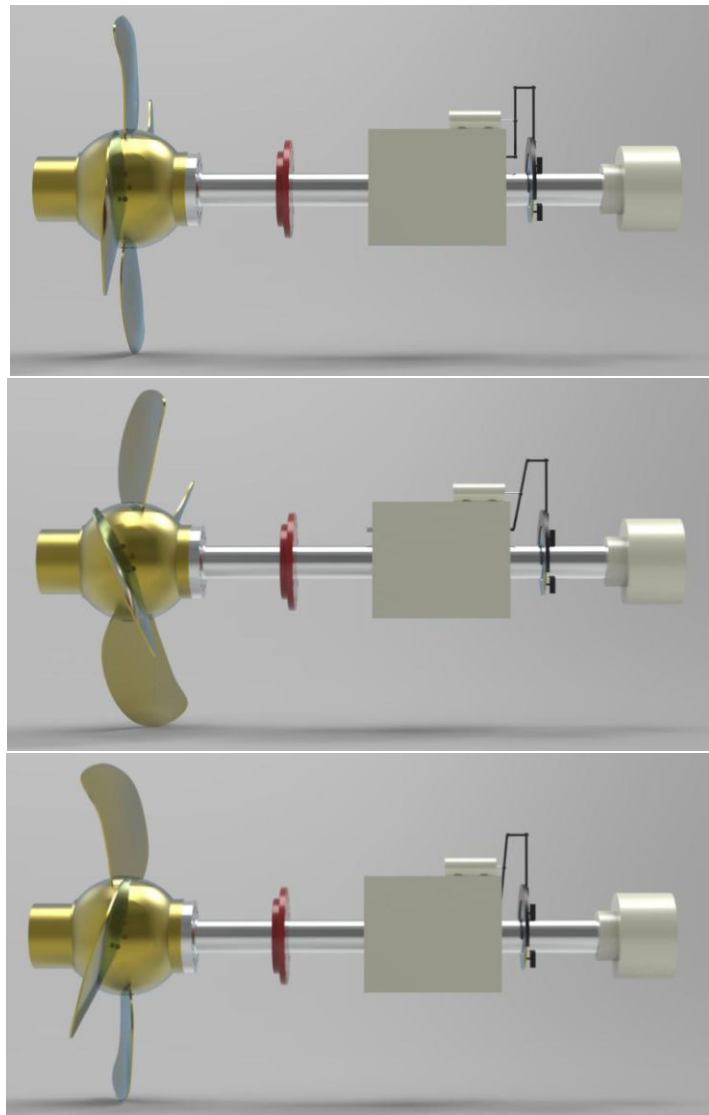
- 8) Υπάρχει ανεξάρτητο δίκτυο λίπανσης των μηχανισμών και των τριβών του συστήματος. Η λίπανση γίνεται με το ίδιο το υδραυλικό υγρό, έτσι αποτρέπουμε την ανάμιξη υγρού λιπάνσεως με υδραυλικό υγρό σε περίπτωση όπου έχουμε κάποια διαρροή. Το σύστημα λιπάνσεως περιλαμβάνει ξεχωριστή αντλία συνήθως μια μικρού κυβισμού γρاناζωτη, η οποία αναρρόφα υγρό από την κύρια δεξαμενή και το καταθλίβει προς τους τρίβεις και τα υπόλοιπα τμήματα λίπανσης. Η ύπαρξη ανεξάρτητου δικτύου λιπάνσεως επιβάλλεται από τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, διότι η κίνηση των μηχανικών τμημάτων και των τριβών προκαλείται από την κινητήρια μηχανή και κατά συνέπεια είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη πίεσεως στο υδραυλικό δίκτυο ελέγχου βήματος. Δεν μπορεί, επόμενος, να χρησιμοποιηθεί η πίεση του υδραυλικού δικτύου ελέγχου βήματος και για την λίπανση του συστήματος διότι η απώλεια αυτής της πίεσης θα προκαλέσει βλάβη στο σύστημα (φθορά) εφόσον η κίνηση (περιστροφή) του συνεχίζεται.
- 9) Για την δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος c.p.p. σε περίπτωση βλάβης του υδραυλικού μέρους του συστήματος, υπάρχει πρόβλεψη για σύνδεση χειροκίνητης αντλίας υδραυλικού υγρού, η οποία αναρρόφα από την κύρια δεξαμενή μέσω φίλτρου και καταθλίβει απευθείας στον πάνω χώρο του υδραυλικού κυλίνδρου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μετατόπιση του εμβόλου στην θέση “πρόσω”.

3.4 Λειτουργία του υδραυλικού συστήματος:

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος η περιστροφή της έλικας μέσα στο νερό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη δυνάμεων πάνω στις επιφάνειες των πτερυγίων. Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται αλλά και εξαρτώνται από την κλίση του πτερυγίου. Η συνισταμένη αυτών των δυνάμεων προκαλεί την δημιουργία ροπής, λόγω της οποίας το πτερύγιο περιστρέφεται και έρχεται σε τέτοια θέση ώστε τελικά η αξονική ωστική δύναμη της έλικας να γίνει ελάχιστη ή ακόμα και να μηδενιστεί.

Για να διατηρηθούν τα πτερύγια στην επιθυμητή θέση δηλ. σε κάποια συγκεκριμένη τιμή του βήματος, θα πρέπει να εφαρμοστεί στην βάση περιστροφής του κάθε πτερυγίου μια ανθιστάμενη ροπή από τον μηχανισμό κινήσεως των πτερυγίων. Η δύναμη που προκαλεί την ανθιστάμενη ροπή προέρχεται απ’ την εξάσκηση κάποιας υδραυλικής πίεσης σε μια από τις δύο επιφάνειες του υδραυλικού εμβόλου.

Η πίεση αυτή, εντός του υδραυλικού κυλίνδρου δεν είναι πάντα σταθερή αλλά εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας του συστήματος c.p.p. δηλ. από τον συνδυασμό της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής της έλικας, της κλίσης των πτερυγίων (pitch) και από την σχετική ταχύτητα πλεύσεως του πλοίου. Η εξάρτηση της πίεσης από το βήμα της έλικας σημαίνει ότι η πίεση μέσα στον κύλινδρο είναι διαφορετική για διάφορες θέσεις του εμβόλου (δηλ. για διάφορες τιμές ρύθμισης του βήματος των πτερυγίων) υπό την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή.



[Εικ3.5] Διάταξη c.p.p. , στις θέσεις “neutral” (επάνω εικόνα), “ahead” (μέση εικόνα), “astern” (κάτω εικόνα).

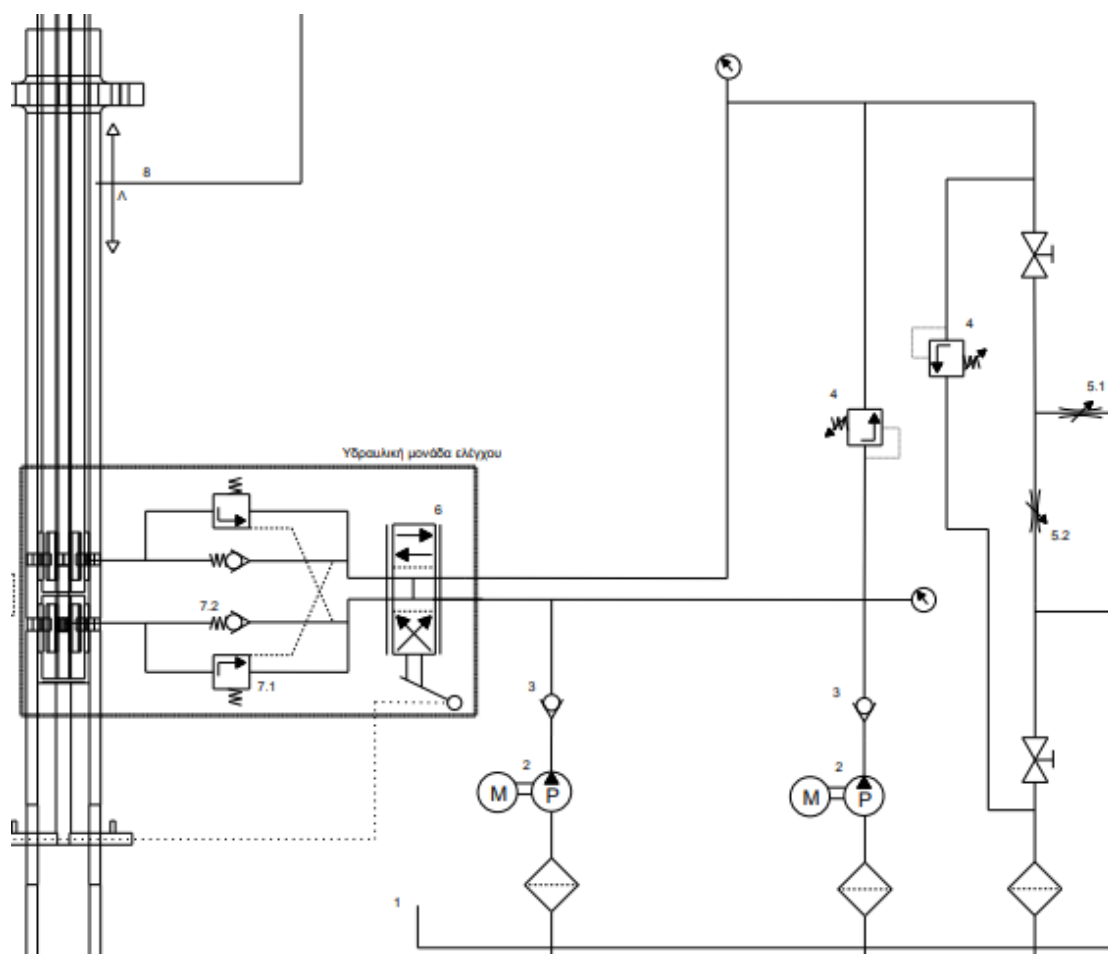
Όταν το υδραυλικό έμβολο βρίσκεται στο μέσων περίπου της διαδρομής του εντός του υδραυλικού κυλίνδρου, τότε η κλίση των πτερυγίων είναι αυτή που δίνει την, σχεδόν μηδενική, ωστική δύναμη στην άτρακτο της έλικας. Η κλίση αυτή αντιστοιχεί

στο “μηδενικό” βήμα (neutral position) και έχουμε την θέση κρατεί όπως φαίνεται και στην εικόνα [Εικ3.5]. Στην περίπτωση αυτή, η πίεση εντός του υδραυλικού κυλίνδρου παίρνει την μικρότερη τιμή της.

Οι δυο ακραίες θέσεις του υδραυλικού εμβόλου στον κύλινδρο αντιστοιχούν στις θέσεις “full ahead” και “full astern” στις οποίες η αναπτυσσόμενη εντός του κυλίνδρου πίεση γίνεται μέγιστη(βλ. Εικ3.5).

Το υδραυλικό κύκλωμα που τροφοδοτεί τον υδραυλικό κύλινδρο με υγρό υπό πίεση, θα πρέπει να είναι ικανό να υπερνικήσει τις πιέσεις που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία και να κινήσει το υδραυλικό έμβολο, από οποιαδήποτε θέση βρίσκεται αυτό, μετατοπίζοντας το σε οποιαδήποτε άλλη, και αφ’ ετέρου να παρέχει την επιθυμητή ταχύτητα μετακίνησης του εμβόλου αλλά και την ακρίβεια στην τελική θέση, ώστε να προκύπτει ταχεία και ακριβής ρύθμιση της τιμής του βήματος στην επιθυμητή τιμή.

Εκκίνηση του συστήματος :



[Εικ3.6] Λεπτομέρεια του υδραυλικού σχεδίου που παρουσιάζει την συνδεσμολογία των αντλιών με το υδραυλικό έμβολο.

Η εκκίνηση του συστήματος πραγματοποιείται θέτοντας σε λειτουργία την μια εκ των δυο μονάδων παροχής υδραυλικής ισχύος (2). Η άλλη μονάδα τίθεται σε κατάσταση ετοιμότητας (stand-by) για να λειτουργήσει αυτόματα σε περίπτωση που η εν λειτουργία μονάδα παρουσιάσει κάποια βλάβη.

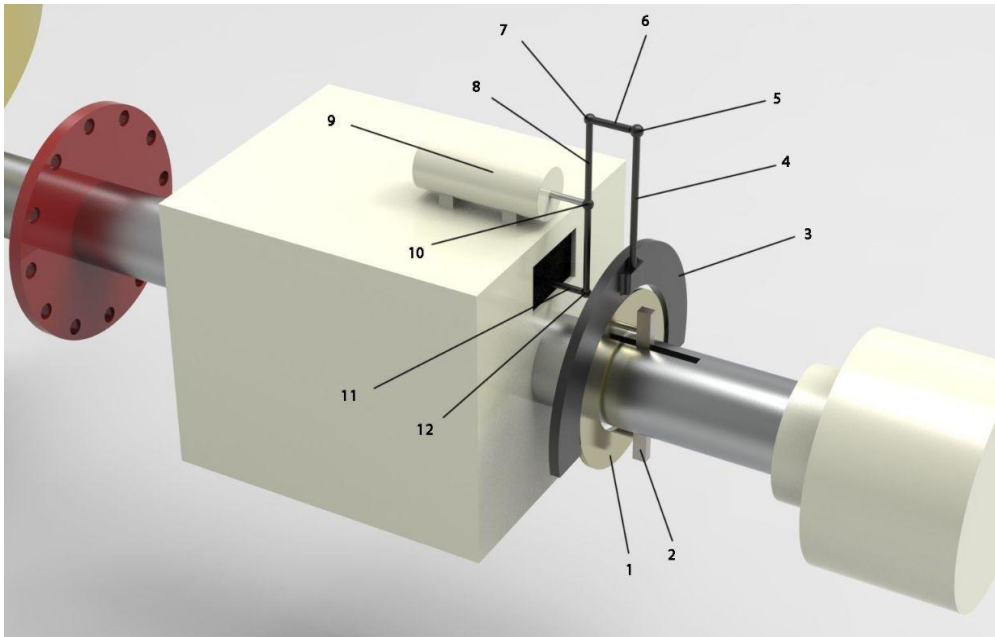
Η κύρια βαλβίδα κατευθύνσεως (6) μπορεί να βρίσκεται σε κάποια από τις τρεις δυνατές θέσεις λειτουργίας, δηλ. στην θέση “ahead”, στην θέση “astern” είτε στη θέση “neutral”. Συνεπώς, ανάλογα με την θέση της κυρίας βαλβίδας κατά την εκκίνηση της μονάδας παροχής υδραυλικού υγρού έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Εκκίνηση με την βαλβίδα στην θέση “neutral”.
- Εκκίνηση με την βαλβίδα στην θέση “ahead”.
- Εκκίνηση με την βαλβίδα στην θέση “astern”.



Η εκκίνηση της μονάδας παροχής υδραυλικού υγρού γίνεται πάντα πριν από την εκκίνηση της κυρίας μηχανής (δηλ. η άτρακτος δεν περιστρέφεται και επομένως, δεν ασκείται καμία εξωτερική δύναμη επί των πτερυγίων της έλικας) και μετά την εκκίνηση του συστήματος λίπανσης. Επίσης, πριν από την εκκίνηση της μονάδας υδραυλικής παροχής δεν αλλάζει η θέση του σερβοκινητήρα ρύθμισης βήματος, έτσι ισχύει η υπόθεση ότι η εκκίνηση γίνεται από κάποια θέση του υδραυλικού εμβόλου στην οποία έχει αυτό παραμείνει (από προηγούμενη κίνηση) και ότι η κύρια βαλβίδα βρίσκεται στην μέση θέση. Πάντως υπάρχει περίπτωση να έχει γίνει αλλαγή στην θέση του σερβοκινητήρα ρύθμισης βήματος κατά την διάρκεια που το σύστημα c.p.p. ήταν εκτός λειτουργίας, οπότε η επανεκκίνηση του συστήματος γίνεται από κάποια από τις άλλες δύο θέσεις.

3.5 Διαφορικός μηχανισμός επαναφοράς:



[Εικ.3.7] Διαφορικός μηχανισμός επαναφοράς συστήματος C.P.P. (τρισεδιάστατη απεικόνιση)

Στην [Εικ.3.7] φαίνεται ο μηχανισμός κατευθύνσεως, επαναφοράς της βαλβίδος διανομής προς την μέση θέση.

Η κύρια βαλβίδα κατευθύνσεως συνδέεται στο ελεύθερο άκρο της ρυθμιστικής ράβδου (11)

Ο υδραυλικός σέρβο-κύλινδρος (9) συνδέεται με το γωνιακό εξάρτημα (10) το οποίο έχει τη δυνατότητα να στρέφεται γύρω από το γωνιακό εξάρτημα (7). Ο δακτύλιος (1) συνδέεται με το υδραυλικό έμβολο με την βοήθεια της ράβδου (2) και κατ' αυτό τον τρόπο μπορεί να ακολουθήσει την κίνηση του εμβόλου.

Το δίχαλο (fork) (3) είναι συνδεδεμένο με τον δακτύλιο, με την παρεμβολή τριβέων, ώστε να είναι δυνατή η περιστροφή του δακτυλίου (1) και μεταφέρει την κίνηση του υδραυλικού εμβόλου στη ρυθμιστική ράβδο (4) που με την σειρά της την μεταφέρει στο γωνιακό εξάρτημα (5).

Τα γωνιακά εξαρτήματα (5) και (10) είναι σταθερά στον χώρο, ενώ τα (7) και (12) έχουν δυνατότητα παράλληλης μετατόπισης.

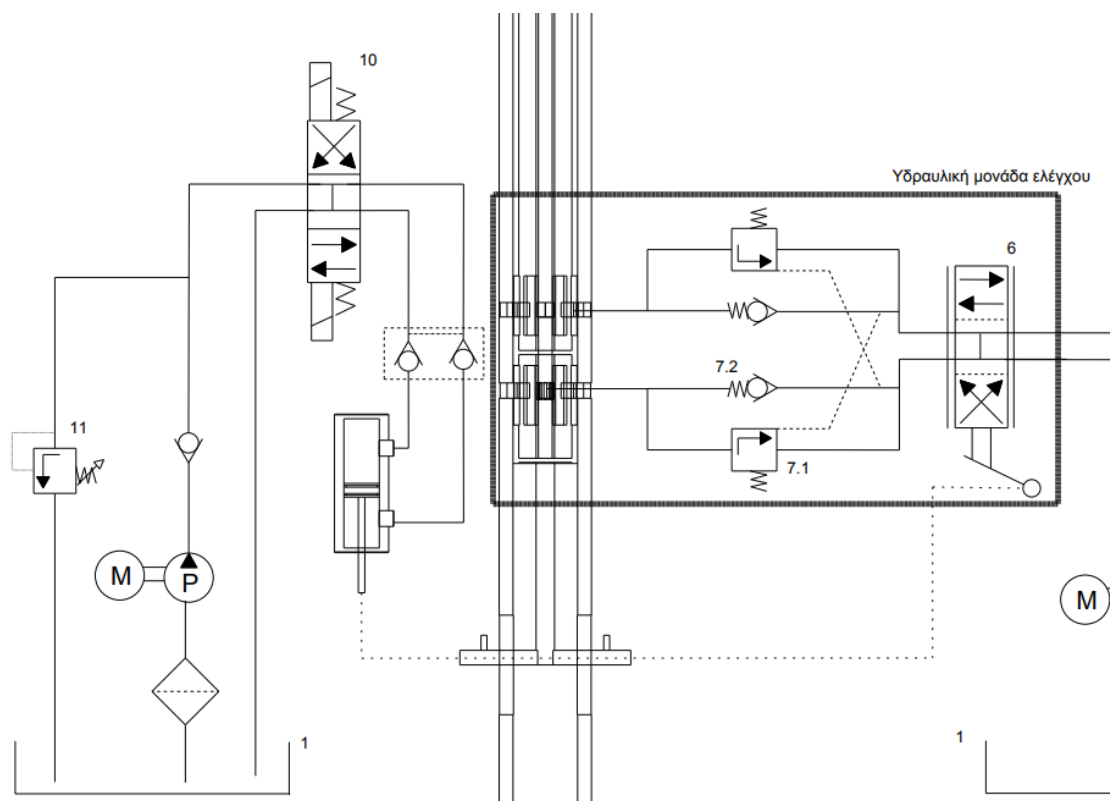
Τα εξαρτήματα (10),(11) και (12) παραμένουν ακίνητα όσο χρόνο δεν παρέχεται στον σέρβο-κύλινδρο ελέγχου βήματος κάποια υδραυλική εντολή για αλλαγή βήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο το δίχαλο (3) ακολουθεί την κίνηση του υδραυλικού εμβόλου (αν αυτό μετακινηθεί για οποιοδήποτε λόγο) και αναγκάζει την ρυθμιστική ράβδο (4) να κινηθεί και να παρασύρει όλο τον μηχανισμό. Επειδή το γωνιακό εξάρτημα (10) θα παραμείνει σταθερό τότε η ρυθμιστική ράβδος (8) αναγκάζεται να περιστραφεί γύρω από αυτό δημιουργώντας μοχλό, ο οποίος θα αναγκάσει το

έμβολο της κυρίας βαλβίδας ελέγχου να μετακινηθεί κατά τρόπον ώστε να στείλει υδραυλικό υγρό στην πλευρά του εμβόλου όπου χρειάζεται και θα επαναφέρει τον υδραυλικό κύλινδρο στην αρχική του θέση.

Ο μηχανισμός λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο και όταν θέλουμε να αλλάξουμε το pitch των πτερυγίων, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο υδραυλικός κύλινδρος του εμβόλου είναι σταθερός και αυτός που κινείται είναι ο σέρβο-κύλινδρος, ο οποίος αναγκάζει την ρυθμιστική ράβδο (8) να περιστραφεί σε αυτήν την περίπτωση γύρω από το γωνιακό εξάρτημα (7) δημιουργώντας μοχλό και μετακινώντας έτσι το έμβολο της βαλβίδας ελέγχου κατεύθυνσης του υδραυλικού εμβόλου του συστήματος c.p.p.

Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στις έλικες να επιστρέφουν πάντα στην θέση που έχουμε εμείς ορίσει μέσω του σέρβο-κύλινδρου σε περιπτώσεις που αυτές μετακινηθούν από μόνες λόγω της επίδρασης εξωτερικών δυνάμεων (όπως η αντίσταση του νερού ή η σύγκρουση με κάποιο εμπόδιο).

Στην εικόνα Εικ[3.8] μπορούμε να δούμε το υδραυλικό σχέδιο του διαφορικού μηχανισμού επαναφοράς του βήματος. Με διακεκομμένη διαγράμμιση φαίνεται η μηχανική σύνδεση του διαφορικού μηχανισμού επαναφοράς και της υδραυλικής μονάδας ελέγχου.



Εικ[3.8]Υδραυλικό σχέδιο του διαφορικού μηχανισμού επαναφοράς του βήματος.

3.6 Χαρακτηριστικά του συστήματος:

Συστήματα έλικας ρυθμιζόμενου βήματος (c.p.p.) σαν αυτό που σχεδιάσαμε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ευρεία περιοχή μεταφερόμενης ισχύος. Τυπικά χαρακτηριστικά για ένα σύστημα με ισχύ ατράκτου 11200 Hp είναι τα παρακάτω:

Γενικά:

- α) Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 140 RPM αριστερόστροφης φοράς.
- β) Γωνία ρύθμισης πτερυγίων 39,8° ως εξής: +23,3° (ahead) έως -16,5° (astern).
- γ) Διάμετρος έλικας: 5300 mm.
- δ) Διάμετρος πλήμνης: 1540mm.
- ε) Αριθμός πτερυγίων: 4.

Πιέσεις λειτουργίας:

- α) Πίεση υδραυλικού υγρού υπό κανονική λειτουργία: 30 Bar έως 70 Bar.
- β) Πίεση υδραυλικού υγρού κατά την διάρκεια ρυθμίσεως του βήματος: 20 Bar ελάχιστη, 80 Bar μέγιστη.
- γ) Πίεση ρυθμίσεως (ανοίγματος) ανακουφιστικής βαλβίδας πιέσεως: 90 Bar.
- δ) Πίεση δικτύου επιστροφών (λόγο του στραγγαλιστικού διαφράγματος): 8 Bar.

Θερμοκρασίες λειτουργίας:

- α) Υδραυλικού υγρού 30 με 40 C°.
- α) Λιπαντικού ελαίου 70 με 90 C°.

Χωρητικότητα δεξαμενής υγρού : 1500 lt

Αντλίες υδραυλικού υγρού:

- α) Τύπος αντλίας: διπλή γρاناζωτή (ομοαξονική)
- β) Παροχή: 225 lt/min υπό πίεση καταθλίψεως 80 Bar.

γ) Ταχύτητα περιστροφής 1750 RPM.

Ηλεκτροκινητήρες:

α) Αριθμός στροφών: 1750 RPM.

β) Τάση λειτουργίας 380 V .AC.

γ) Μηχανική ισχύς (ισχύς ατράκτου) :37 KW.

Μάζες συστήματος:

α) Μάζα έλικας: 10.140 kg

β)Μάζα υδραυλικής μονάδας ελέγχου: 12.600 kg

γ)Μάζα ατράκτου (πλήρης): 17.500 kg

3.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου:

Το υδραυλικό σύστημα της έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, αποτελεί ένα σύστημα πολλών υδραυλικών στοιχείων το οποίο έχει σχεδιαστεί προκειμένου να επιτρέπει τον έλεγχο της ταχύτητας ενός πλοίου χωρίς να χρειάζεται να γίνουν αλλαγές στις στροφές της κυρίας μηχανής που περιστρέφει την έλικα του πλοίου. Ένα σύστημα σαν και αυτό επιτρέπει στο πλοίο να πραγματοποιήσει πολύπλοκες μανούβρες σε πολύ σύντομο χρόνο καθώς παρακάμπτει την κύρια μηχανή, παρέχοντας έτσι ευελιξία στα πολυσύχναστα λιμάνια αλλά και σημαντική μείωση του χρόνου ελλιμενισμού του πλοίου με μείωση της πιθανότητας πρόσκρουσης σε κάθε μανούβρα. Στο κεφάλαιο εξηγείται το υδραυλικό σχέδιο ενός συστήματος έλικας ρυθμιζόμενου βήματος όπως επίσης και η λειτουργία του υδραυλικού αυτοματισμού οπού διατηρεί τα πτερύγια της έλικας σταθερά κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Το υδραυλικό σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να έχει σχετικά μικρό κόστος λόγω του ότι είναι εάν σύστημα το οποίο παρέχει εξτρά ευελιξία στο πλοίο αλλά δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει από τους νηογνώμονες. Επίσης το γεγονός ότι το σύστημα χρησιμοποιεί υδραυλική πίεση για να λειτουργήσει κάνει την επισκευή του ευκολότερη στο πλήρωμα, αφού τα κύρια μέρη της υδραυλικής μονάδας (αντλία και ηλεκτρικό μοτέρ) βρίσκονται εντός του πλοίου και όχι στην θάλασσα. Οι μηχανισμοί εντός της έλικας είναι ελάχιστοι και απλοποιημένοι μειώνοντας έτσι την πιθανότητα καταστροφικής βλάβης σε μέρη που βρίσκονται εντός της θάλασσας. Ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει πως υδραυλικά στοιχεία του εμπορίου όπως είναι οι διάφορες βαλβίδες και αντλίες, εφαρμόζονται σε ένα σύστημα το οποίο αποτελεί μια μεμονωμένη κατασκευή η οποία είναι

εξειδικευμένη για έναν συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Επίσης του παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος ανάδρασης και αυτόματης διόρθωσης το οποίο κάνει χρήση υδραυλικών αλλά και μηχανικών εντολών.

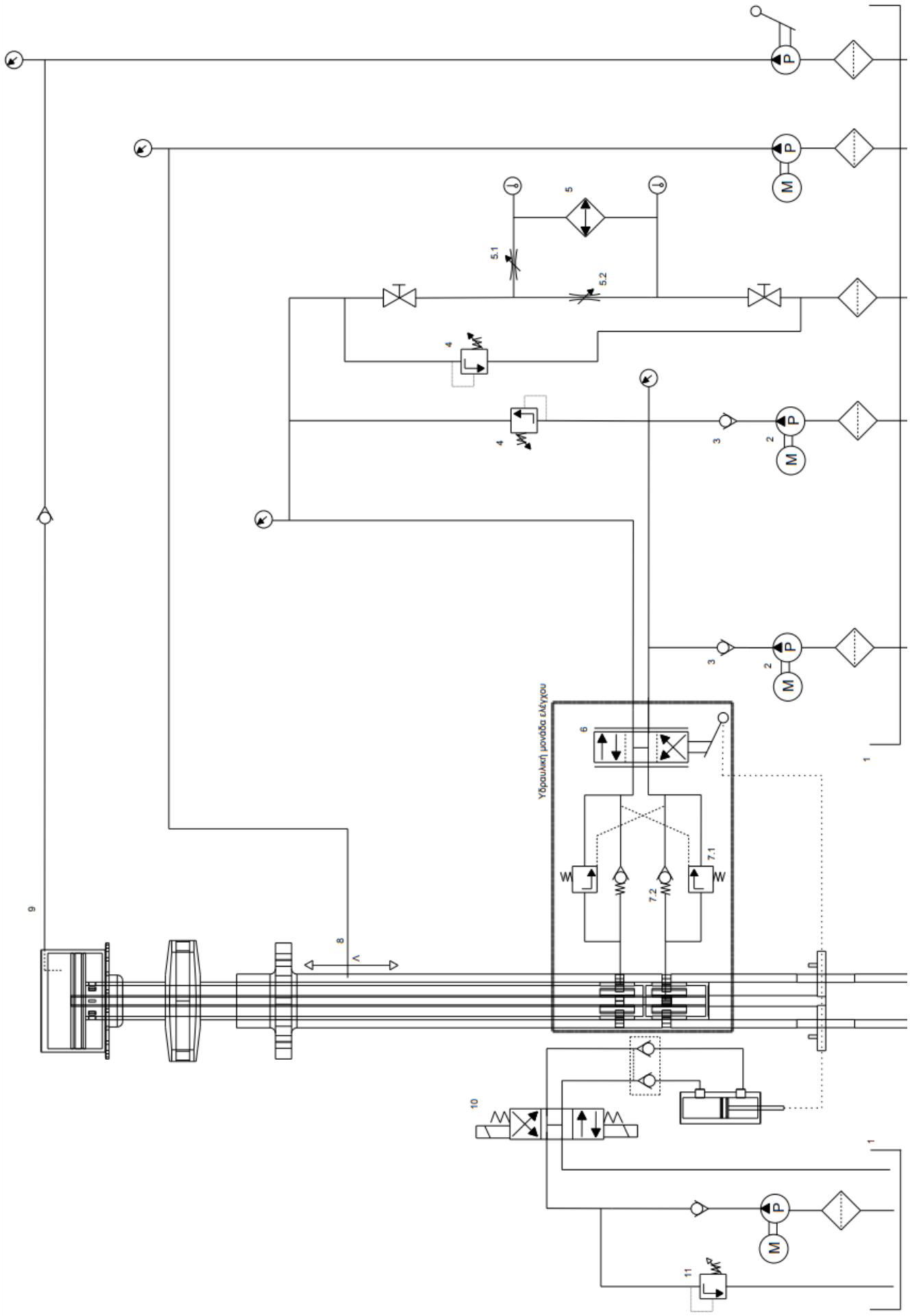
Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου:

Rohner, P.,(1994) "*Industrial hydraulic control : a textbook for fluid power technicians*",
Brisbane : John Wiley & Sons.

D. A. Taylor, (19830). *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Butterworth-Heinemann.

Teus van Beek, *Propulsor Technology*, Wärtsilä Propulsion Netherlands BV.

J. P. Ghose, R. P. Gokarn, (2004). *Basic Ship Propulsion*, Allied Publishers.

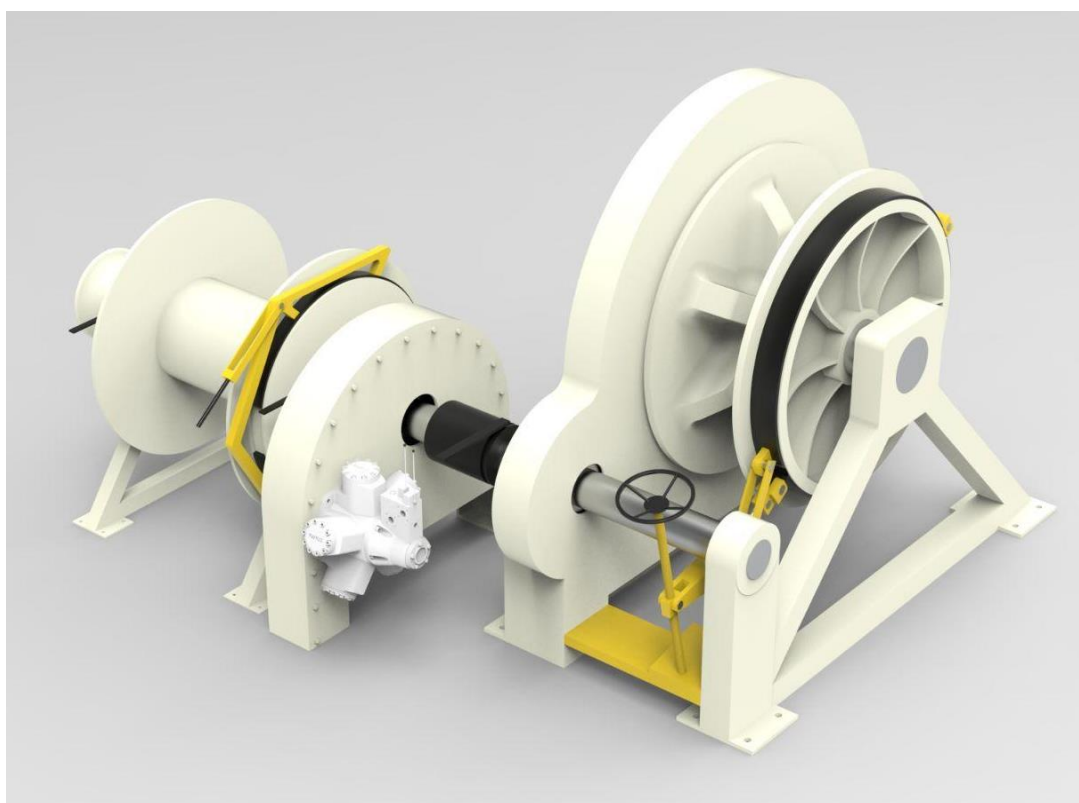


Κεφάλαιο 4: Βαρούλκο ανύψωσης άγκυρας

4.1 Εισαγωγή:

Βαρούλκα ονομάζονται τα μηχανήματα που αποτελούνται από ειδικές τροχαλίες (τύμπανα), εγκατεστημένες κατάλληλα σε άξονες εφοδιασμένους με γρανάζια. Τα γρανάζια συμπλέκονται και περιστρέφονται, μεταδίδοντας την περιστροφική κίνηση από τον μηχανισμό κίνησης στα τύμπανα.

Οι τροχαλίες διαμορφώνονται ανάλογα ώστε να διαχειρίζονται κάβους και συρματόσχοινα. Οι τροχαλίες για κάβους και συρματόσχοινα έχουν λεία επιφάνεια με κοίλη διαμόρφωση για να διευκολύνεται η έλξη. Για την έλξη και τη διαχείριση της αλυσίδας, τα τύμπανα έχουν ιδιαίτερη διαμόρφωση με κοιλότητες, ώστε οι κρίκοι που αποτελούν την αλυσίδα να εφαρμόζονται σε αυτές και να επιτυγχάνεται η έλξη.



Εικ[4.1] Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανισμού βαρούλκου αγκύρας (windlass) ή βιντζιού (anchor winch) για ανύψωση της άγκυρας και μάζεμα των κάβων.

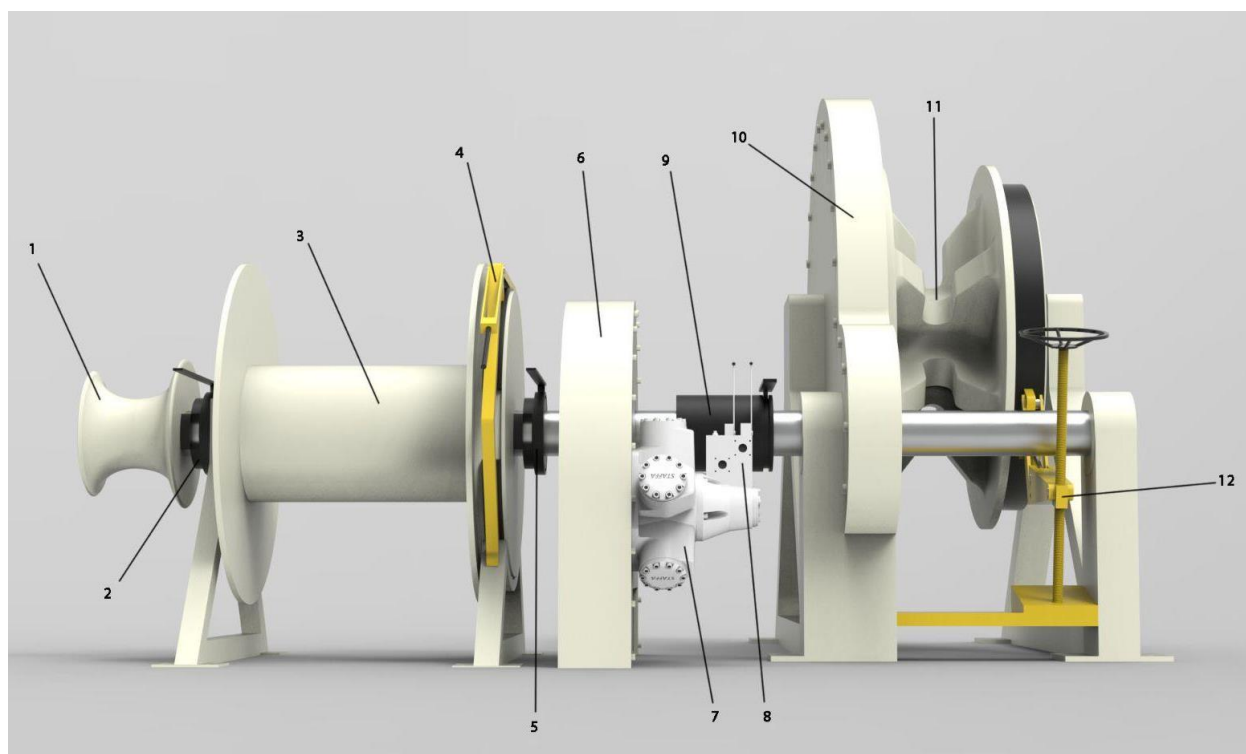
Τα κυριότερα είδη βαρούλκων και αντίστοιχα οι χρήσεις τους διακρίνονται στα παρακάτω:

- Βαρούλκα άγκυρας ή εργάτες άγκυρας (anchor windlass ή capstan). Χρησιμοποιούνται για την αγκυροβολία, που συνίσταται σε πόντιση και ανέλκυση της άγκυρας.
- Βαρούλκα πρόσδεσης (mooring winches). Συναντώνται σε μεγάλου μήκους πλοία και χρησιμοποιούνται για την πρόσδεση. Ενδέχεται σε κάποια πλοία να χρησιμοποιούνται και ως βαρούλκα φορτωτήρων. Σε σύγχρονα πλοία έχουν το πλεονέκτημα να διαθέτουν διάταξη αυτόματης ρύθμισης της έντασης ή διάταξη σταθερής τάσης των κάβων πρόσδεσης.
- Βαρούλκα των φορτωτήρων (crane winches). Χρησιμοποιούνται για τη φορτοεκφόρτωση ξηρού φορτίου σε συνεργασία με τους ιστούς και τους φορτωτήρες.
- Βαρούλκα πρόσδεσης για πρυμνοδέτηση και ρυμούλκηση (tugboat winches). Χρησιμοποιούνται για την πλαγιοδέτηση και την πρυμνοδέτηση του πλοίου και για ρυμούλκηση άλλου πλοίου όταν αυτό χρειαστεί.
- Βαρούλκα επωτίδων (davit winches). Χρησιμοποιούνται για την καθαίρεση και την ανέλκυση των σωσίβιων λέμβων των πλοίων. Είναι μικρά στο μέγεθός τους, συνήθως ηλεκτροκίνητα ή με πεπιεσμένο αέρα.

Η διαφορά ενός μηχανισμού πρόσδεσης και αγκυροβολίας σε εργάτη ή βαρούλκο έγκειται στη διάταξη του άξονα που περιστρέφει το τύμπανο έλξης. Στον εργάτη ο άξονας του τυμπάνου είναι κάθετος προς το κατάστρωμα του πλοίου, ενώ στο βαρούλκο έχει οριζόντια διάταξη.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα μελετήσουμε την λειτουργία αλλά και την μέθοδο σχεδίασης ενός ηλεκτρο-υδραυλικού βαρούλκου άγκυρας (anchor windlass). Βλέπε Εικ.[4.1].

4.2 Περιγραφή της σχεδίασης ενός μηχανισμού βαρούλκου αγκύρας:



Εικ.[4.2] Τρισδιάστατη απεικόνιση των τμημάτων ενός μηχανισμού βαρούλκου αγκύρας (windlass).

Τα υδραυλικά βαρούλκα Εικ.[4.1], μπορούν να έχουν μεγαλύτερη ροπή από οποιοδήποτε άλλο τύπο βαρούλκου (ατμού ή ηλεκτρικά), διότι ο υδραυλικός κινητήρας παρέχει την δυνατότητα λειτουργίας σε πολύ χαμηλές στροφές, έως και 5–10 σ.α.λ., δημιουργώντας πολύ υψηλές ροπές στρέψης. Έτσι, οι αποδόσεις ροπής – ταχύτητας ενός υδραυλικού συστήματος είναι πολύ καλύτερες και ευέλικτες σε σχέση με ένα ηλεκτρικό σύστημα. Η παροχή του υδραυλικού υγρού για τη σωστή λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων και την κίνηση των υδραυλικών κινητήρων των βαρούλκων μπορεί να είναι είτε ανοικτού βρόχου είτε κλειστού βρόχου, με κάθε τύπο να έχει χαρακτηριστικά ανάλογα με την επιθυμητή πίεση λειτουργίας και τον σχεδιασμό του συστήματος. Στην συγκεκριμένη μελέτη έχει σχεδιαστεί ένα κύκλωμα ανοικτού βρόχου, το οποίο επιτρέπει την χρήση αντλιών οι οποίες παρέχουν υδραυλικό υγρό σε πολλαπλούς μηχανισμούς ταυτόχρονα και το οποίο είναι αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλα πλοία με μεγάλους αριθμούς υδραυλικών κινητήρων. Η υδραυλική πίεση του υγρού λειτουργίας των συστημάτων μπορεί να είναι υψηλή, μέση και χαμηλή. Όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός υδραυλικών κινητήρων, για τη λειτουργία των βαρούλκων χρησιμοποιείται το κύκλωμα άμεσης απόκρισης. Σε αυτό, στο δίκτυο ελαίου διατηρείται υψηλή πίεση και με βαλβίδες ελέγχου παρέχεται το λάδι στον υδραυλικό κινητήρα σε κάθε βαρούλκο που απαιτείται για να λειτουργήσει. Η πίεση του υδραυλικού υγρού επιτυγχάνεται από μονάδα υδραυλικής ισχύος εγκατεστημένη στο μηχανοστάσιο

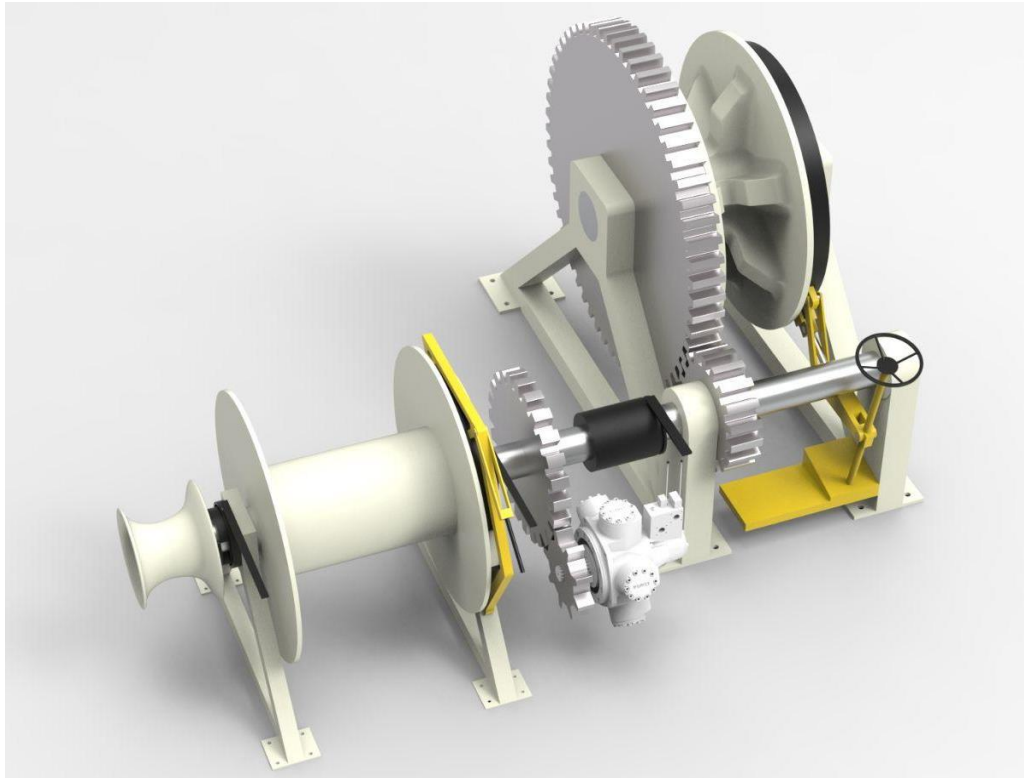
του πλοίου. Αυτό το σύστημα είναι περισσότερο αποδοτικό και οικονομικό όταν οι απαιτήσεις είναι μεγάλες.

Τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το υδραυλικό βαρούλκο Εικ.[4.2], είναι:

- Ο κύριος άξονας που περιστρέφεται, με συνδεδεμένα σε αυτόν το τύμπανο έλξης (1), το τύμπανο περιέλιξης (3), τα γρανάζια μεταφοράς κίνησης τα οποία βρίσκονται μέσα στα κιβώτιο των γραναζιών (6),(10) και τους χειροκίνητους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης (cobbler) (2),(5) και (9).
- Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη τυμπάνων (drums). Το τύμπανο έλξης (1) είναι υπεύθυνο για το “φορμάρισμα” (τέντωμα) του “κάβου” (σχοινί), πριν αυτό οδηγηθεί στο τύμπανο περιέλιξης (3) μέσα στο οποίο και θα τυλιχτεί. Επίσης έχουμε και το αλυσέλικτρο (11) το οποίο περιστρέφοντας θα οδηγήσει την αλυσίδα της άγκυρας στον χώρο αποθήκευσης της κατά το σήκωμα αυτής ή προς την θάλασσα κατά την ρίψη της άγκυρας.
- Υπάρχουν τρεις χειροκίνητους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης (cobbler) οι οποίοι επιτρέπουν στον χρήστη του βαρούλκου να επιλεγεί ποιο από τα τρία drum θέλει να περιστρέψει το υδραυλικό μοτέρ κάθε φορά. Το cobbler (2) όταν κουμπωθεί θα περιστρέψει το τύμπανο έλξης (1). Το cobbler (5) όταν κουμπωθεί θα περιστρέψει το τύμπανο περιέλιξης (3). Το cobbler (9) όταν κουμπωθεί θα περιστρέψει το αλυσέλικτρο (11).
- Με σκοπό να αυξηθεί η ροπή που παράγεται από τον υδραυλικό ενεργοποιητή αλλά και να μεταδώσουμε την κίνηση στον κύριο άξονα, χρησιμοποιούμε γρανάζια με διαφορετικές σχέσεις μεταξύ τους. Βλέπε Εικ.[4.3]. Το κιβώτιο γραναζιών (6) περιέχει τα γρανάζια που μεταφέρουν κίνηση στον κύριο άξονα με μείωση 5 προς 1 (5 στροφές του μοτέρ προς 1 των drum (1) και (3). Το κιβώτιο γραναζιών (10) περιέχει τα γρανάζια που μεταφέρουν κίνηση από τον κύριο άξονα στο αλυσέλικτρο (11) με μείωση 15 προς 1 (15 στροφές του μοτέρ προς 1 του αλυσέλικτρου).
- Τα δυο drum όπως επίσης και το αλυσέλικτρο στηρίζονται, το καθένα πάνω στον κύριο άξονα μέσω δύο ρουλεμάν πάνω στα οποία μπορούν και περιστρέφονται ελεύθερα όταν τα cobbler έχουν απεμπλακεί από αυτά. Για να μπορούμε να κρατάμε σταθερό το τύμπανο περιέλιξης (3) αλλά και το

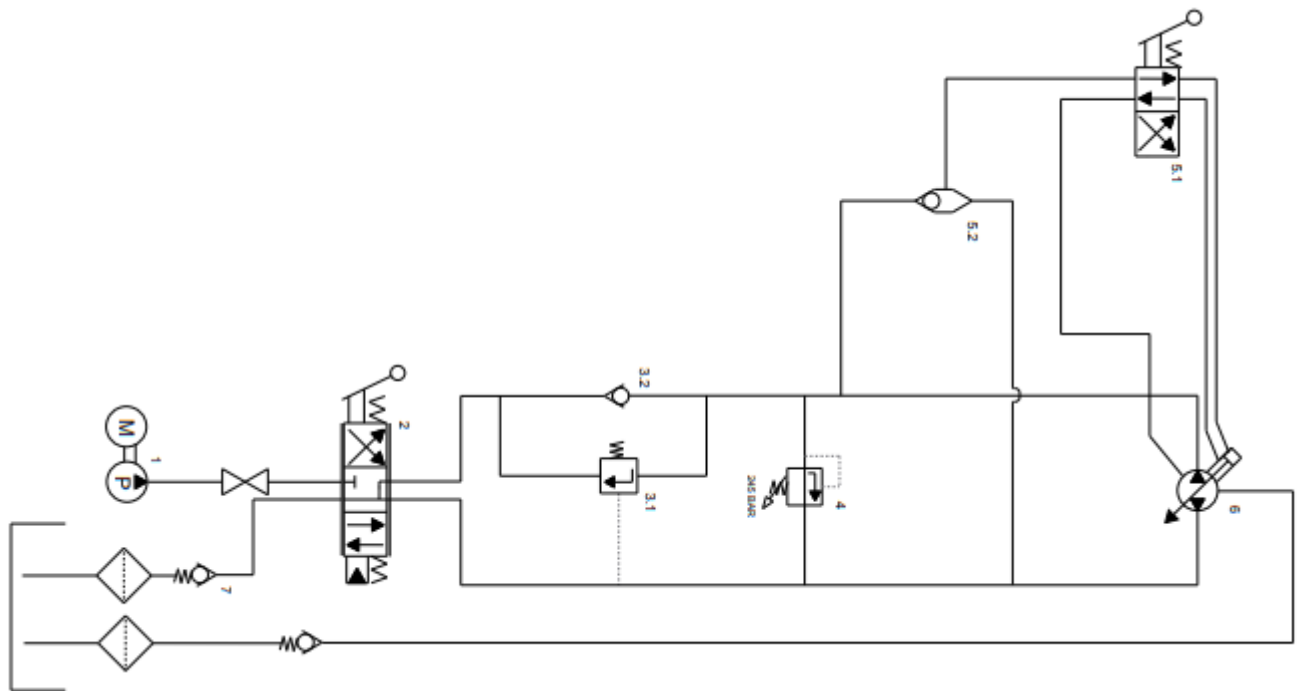
αλυσέλικτρο (11) όταν τα cobbler τους έχουν απεμπλακεί και ταυτόχρονα να μπορούμε να δουλέψουμε το υπόλοιπο βαρούλκο έχουμε τους μηχανισμούς φρένων (4) και (12). Τα φρένα αποτελούνται από δύο μεγάλα κομμάτια υλικών τριβής τύπου “θερμουίτ” τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με τον μηχανισμό του φρένου. Όταν ο μηχανισμός κουμπωθεί χειροκίνητα τότε τα δυο κομμάτια “θερμουίτ” σφίγγουν πάνω στο drum και το αλυσέλικτρο αντίστοιχα φρενάροντας το μέσω τριβής. Το φρένο του αλυσέλικτρο (12) είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος και ο μηχανισμός του επιτρέπει στον χειριστή να το σφίξει με πολύ μεγάλες δυνάμεις έτσι ώστε να μπορεί να συγκρατεί την άγκυρα μαζί με την αλυσίδα.

- Τέλος η κίνηση στο βαρούλκο παρέχεται υδραυλικά μέσω ενός εμβολοφόρου περιστροφικού ενεργοποιητή(7), με έμβολα σε διάταξη αστέρα και την δυνατότητα αλλαγής ταχύτητας περιστροφής. Το μοτέρ δέχεται δύο εντολές από το χειριστήριο (8) μέσω δύο διαφορετικών βαλβίδων χειρισμού. Η μια επιτρέπει στον χειριστή να αλλάξει την φορά περιστροφής του βαρούλκου από δεξιόστροφη σε αριστερόστροφη και η δεύτερη του επιτρέπει να αλλάξει την ταχύτητα από αργό σε γρήγορο και το αντίστροφο. Το μοτέρ μέσω της μείωσης των γραναζιών ασκεί στο τύμπανο έλξης (1) και στο τύμπανο περιέλιξης (3) δύναμη ίση με 300 kN και γυρίζει με ταχύτητα 15 m/min ενώ στο αλυσέλικτρο (12) ασκεί δύναμη ίση με 900 kN και γυρίζει με ταχύτητα 9 m/min. Την συνδεσμολογία του υδραυλικού ενεργοποιητή με το χειριστήριο και την αντλία μπορούμε να δούμε στο υδραυλικό σχέδιο στην συνέχεια.





Εικ.[4.3] Μεταφορά της κίνησης απο το υδραυλικό μοτέρ προς τον κύριο άξονα μέσω γρναζιών διαφορετικής σχέσης.


4.3 Σχεδίαση του υδραυλικού κυκλώματος:



Εικ.[4.4] Υδραυλικό σχέδιο βαρούλκου με χειροκίνητες επιλογές.



Στην Εικ.[4.4] φαίνεται το υδραυλικό σχέδιο ενός βαρούλκου το οποίο μπορεί να δεχτεί μόνο χειροκίνητες εντολές από τον χειριστή του και τροφοδοτείται με υδραυλικό υγρό απευθείας από την αντλία (1) η οποία και στέλνει όλη την παροχή της μόνο στο συγκεκριμένο βαρούλκο. Η βαλβίδα κατευθύνσεως (2) δίνει την δυνατότητα στον χειριστή του βαρούλκου να αλλάξει την φορά περιστροφής του υδραυλικού ενεργοποιητή(6). Είναι μια 4/3 βαλβίδα η οποία στην μέση θέση εμποδίζει το υδραυλικό υγρό που έρχεται από την αντλία να φτάσει στο μοτέρ και να το γυρίσει, ενώ ταυτόχρονα συνδέει και τις πλευρές του με την δεξαμενή. Στην περίπτωση που η βαλβίδα κατευθύνσεως (2) είναι στην μέση θέση το μοτέρ (6) δεν μπορεί να κινηθεί. Όταν η βαλβίδα μετακινηθεί από τον χειριστή στην θέση:  τότε το μοτέρ κινείται στην φορά “βίρα” και ξεκινά να μαζεύει τους κάβους αλλά και την άγκυρα του πλοίου. Όταν η βαλβίδα μετακινηθεί από τον χειριστή στην θέση:  τότε το μοτέρ(6) κινείται με αντίθετη φορά (μάινα) και ξεκινά να ξετυλίγει τους κάβους και την άγκυρα, στέλνοντας τους προς το λιμένα πρόσδεσης και την θάλασσα αντίστοιχα. Η βαλβίδα κατευθύνσεων (2) διαθέτει ελατήρια επαναφοράς προς την μέση θέση την στιγμή όπου ο χειριστής του βαρούλκου αφήνει από τα χέρια του το χειριστήριο.

Κατά την διάρκεια της κίνησης “μάινα” ο ενεργοποιητής (6) έχει περισσότερο ρόλο στην συγκράτηση και στη ρύθμιση της ταχύτητας κίνησης τόσο των κάβων αλλά πολύ περισσότερο της αγκύρας καθώς λόγω της βαρύτητας έχουν την τάση να επιταχύνουν καθώς κατεβαίνουν. Για τον έλεγχο της κίνησης αυτής είμαστε υποχρεωμένοι να εισάγουμε μια βαλβίδα αντιστάθμισης (counterbalance valve)

(3.1) στις επιστροφές του ενεργοποιητή (6) στην θέση  της βαλβίδας κατευθύνσεως (2). Η βαλβίδα θα ενεργοποιείται μόλις υπάρξει κάποια πτώση πίεσης στην γραμμή που δίνει η αντλία πράγμα που θα συμβεί μόνο εάν η άγκυρα λόγω του βάρους της αναγκάσει τον ενεργοποιητή να περιστρέφει πιο γρηγορά. Μόλις αυτή ενεργοποιηθεί τότε αυτόματα λόγω ύπαρξης διαφοράς πίεσης στο εσωτερικό της εμβολίσκο, θα μειώσει την παροχή του υδραυλικού υγρού στις επιστροφές αναγκάζοντας τον ενεργοποιητή να επιβραδύνει έως ότου η πίεση από την αντλία επιστρέφει σε μια τιμή μεγαλύτερη αυτής της ρύθμισης της βαλβίδας αντιστάθμισης. Στην κίνηση “βίρα” η βαλβίδα αντιστάθμισης παρακάμπτεται μέσω του (3.2).

Στην συνέχεια πρέπει να προστεθεί μια βαλβίδα ασφαλείας (ασφαλιστικό) (4) η οποία και θα είναι ρυθμισμένη να ενεργοποιείται σε περίπτωση όπου η πίεση του συστήματος υπερβεί αυτήν που ορίζει ο κατασκευαστής του υδραυλικού ενεργοποιητή ως μέγιστη επιτρεπτή. Σε αυτήν την περίπτωση αυτή θα είναι τα 245 Bar.

Τελευταίο μέρος του υδραυλικού σχεδίου αποτελεί η βαλβίδα κατευθύνσεως (5.1) η οποία επιτρέπει στον χειριστή του βαρούλκου να ελέγχει την ταχύτητα του

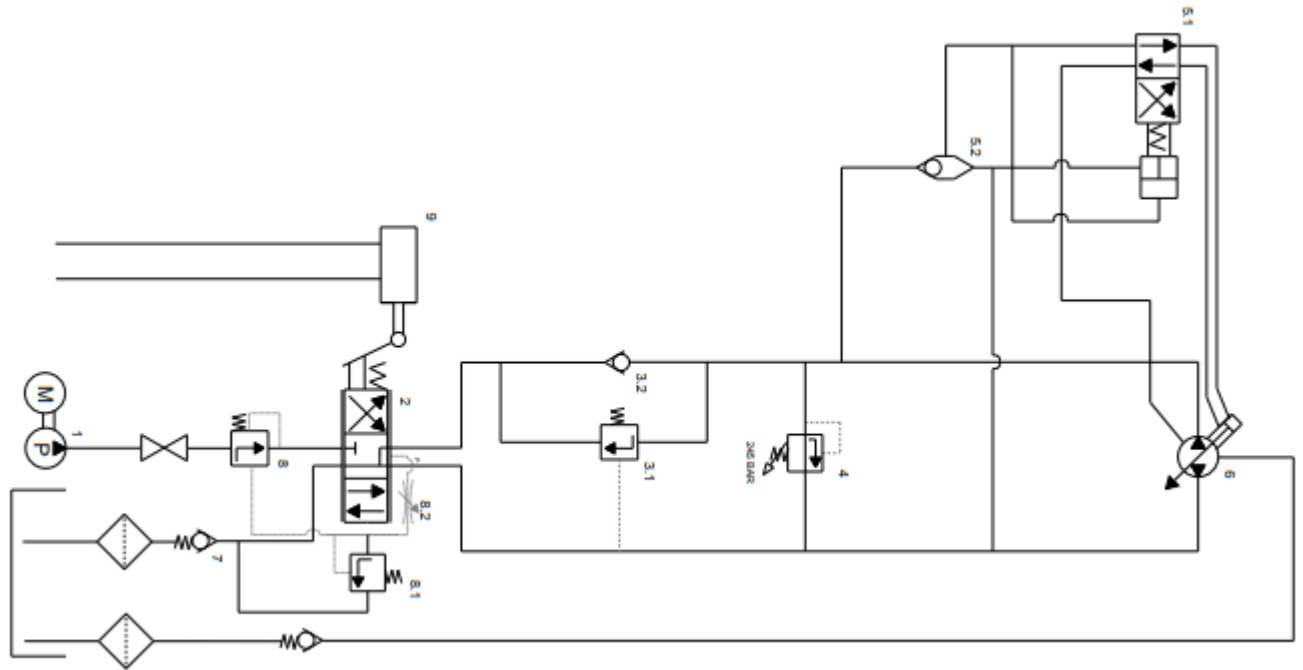
υδραυλικού ενεργοποιητή (6). Είναι μια 4/2 βαλβίδα η οποία πάντα ξεκινά από την θέση αργής ταχύτητας (αργό)  και δίνει στον ενεργοποιητή εντολή να περιστραφεί σε χαμηλές στροφές. Τοποθετώντας την βαλβίδα κατευθύνσεως (5.1) στην θέση  ο χειριστής δίνει εντολή στο μοτέρ να επιστραφεί σε υψηλές στροφές. Η διπλής ενεργείας ανεπίστροφη βαλβίδα 5.2 επιτρέπει στην βαλβίδα κατευθύνσεως (5.1) να λειτουργεί ανεξάρτητα από την θέση της βαλβίδας κατευθύνσεως (2).

Ο υδραυλικός ενεργοποιητής (6) διαθέτει εσωτερικά ένα έμβολο το οποίο του επιτρέπει να αλλάζει μεταξύ δύο ταχυτήτων όταν δεχτεί υδραυλική εντολή. Στην πρώτη περίπτωση τα έμβολα εσωτερικά του ενεργοποιητή αναγκάζονται να κάνουν μεγάλη διαδρομή σε κάθε περιστροφή και να μετακινήσουν έτσι μεγάλη ποσότητα υδραυλικού υγρού, πράγμα που μεταφράζεται σε αργή ταχύτητα αλλά μεγάλη άσκηση δύναμης. Ενώ στην δεύτερη περίπτωση τα έμβολα αναγκάζονται να κάνουν μικρότερη διαδρομή σε κάθε περιστροφή και να μετακινήσουν έτσι μικρότερη ποσότητα υδραυλικού υγρού, πράγμα που μεταφράζεται σε γρήγορη ταχύτητα αλλά και μικρότερη άσκηση δύναμης. Η γρήγορη ταχύτητα χρησιμεύει κυρίως στο τύλιγμα των κάβων όπου δεν χρειάζεται να ασκείτε μεγάλη δύναμη από το μοτέρ, στην ρίψη της αγκύρας αλλά και στην ανύψωση αυτής μόνο όταν το μεγαλύτερο τμήμα της έχει μαζευτεί και το βάρος της έχει μειωθεί αρκετά.

4.4 Βελτιστοποίηση του υδραυλικού σχεδίου του βαρούλκου:

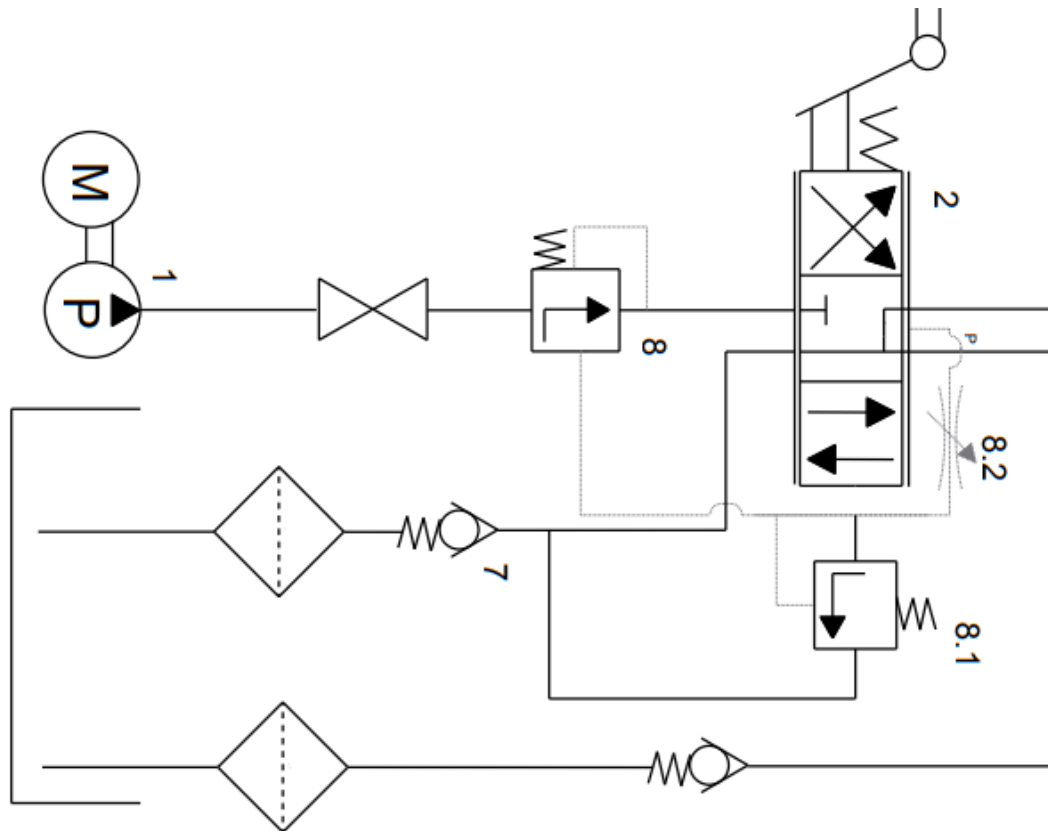
Το παραπάνω υδραυλικό σχέδιο είναι μεν πλήρως λειτουργικό, αλλά για να καλύψει όλες τις προδιαγραφές που έχουμε αναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της μελέτης σχετικά με τους μηχανισμούς πάνω σε ένα πλοίο θα πρέπει κατά την σχεδίαση του να προσθέσουμε κάποιους αυτοματισμούς και έξτρα δικλείδες ασφάλειας.

Ο σχεδιαστής θα πρέπει να εφαρμόσει κατά την σχεδίαση όλους τους περιορισμούς που προκύπτουν τόσο από το **ISO 7364:2016** για όλα τα μηχανήματα καταστρώματος αλλά και τους περιορισμούς που προκύπτουν από τους μηχανικούς ασφαλείας του κάθε ναυπηγείου. Για να καλύψουμε τους περιορισμούς αυτούς θα πρέπει να εισάγουμε κάποια έξτρα τμήματα στο σχέδιο. όπως βλέπουμε στην εικόνα Εικ.[4.4].



Εικ.[4.4]Υδραυλικό σχέδιο βαρούλκου με βαλβίδα αυτόματου ελέγχου ροής, αυτόματη εναλλαγή αργού-γρήγορου και επιλογή απομακρυσμένου ελέγχου φοράς περιστροφής. (μεγεθυμένη στο τέλος του κεφαλαίου).

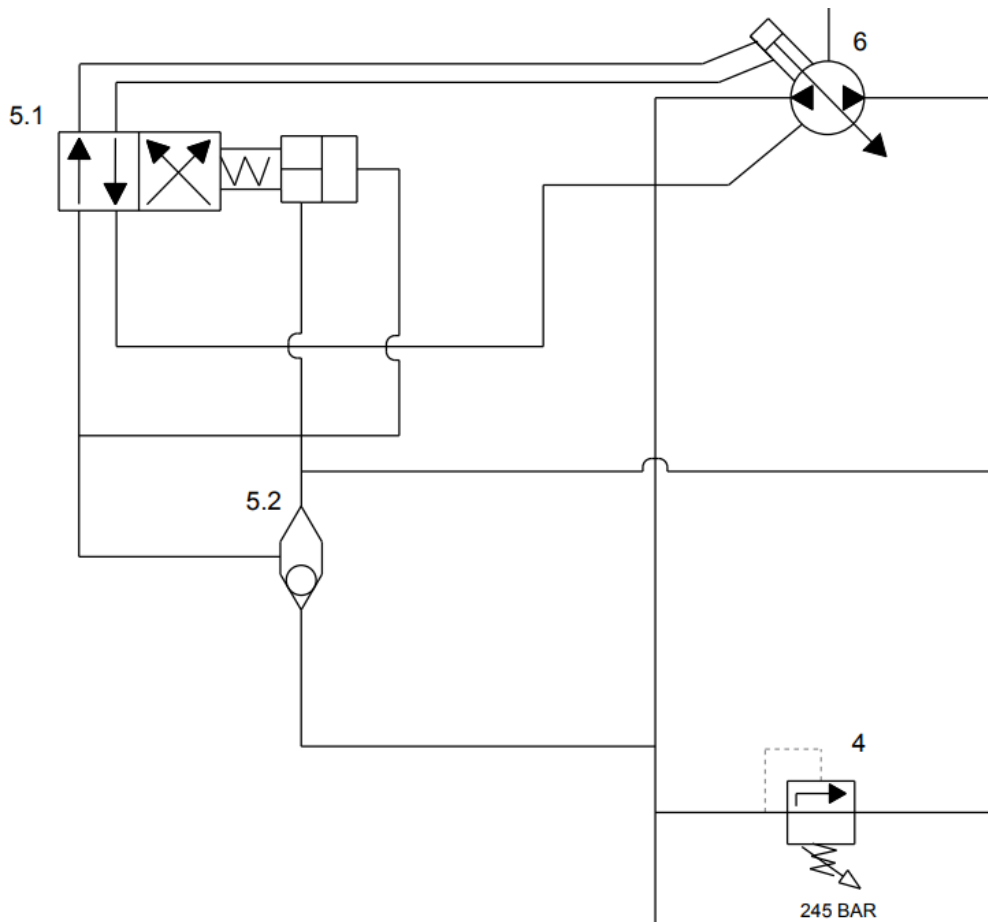
Στο αρχικό σχέδιο της εικόνας Εικ.[4.3] η λειτουργία του κυκλώματος βασίζεται στην απευθείας παροχή υδραυλικού ελαίου από μια αντλία σταθερής παροχής. Σε περιπτώσεις μεγαλύτερων πλοίων υπάρχουν σημεία τόσο στην πλήρη αλλά όσο και στην πρύμνη όπου υπάρχουν ταυτόχρονα 4 ή 5 διαφορετικοί μηχανισμοί βαρούλκων οι οποίοι σε περιπτώσεις ελλιμενισμού του πλοίου θα πρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως το να διαθέτει το κάθε βαρούλκο την δική του αντλία με το δικό της ηλεκτρικό μοτέρ αυξάνει την πολυπλοκότητα της ταυτόχρονης χρήσης των βαρούλκων κατά πολύ, όπως επίσης αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας καθώς δεν θα παράγουν όλα τα βαρούλκα έργο ταυτόχρονα αλλά όλα θα πρέπει να είναι ενεργά σε θέση stand-by καταναλώνοντας έτσι ενέργεια. Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα θα πρέπει να κάνουμε το κάθε βαρούλκο να δέχεται ακριβώς την ποσότητα υδραυλικού υγρού που χρειάζεται για να λειτουργήσει από μια αντλία μεγάλης παροχής που ταυτόχρονα θα δίνει και στα υπόλοιπα βαρούλκα του συστήματος. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να εισάγουμε στο κύκλωμα μας έναν υδραυλικό αυτοματισμό ο οποίος θα τροφοδοτεί τον ενεργοποιητή του βαρούλκου ακριβώς με την παροχή υγρού που χρειάζεται για να παράγει την επιθυμητή δύναμη και ταχύτητα. Έναν τέτοιο μηχανισμό βλέπουμε στην εικόνα Εικ.[4.5].



Εικ.[4.5]Λεπτομέρεια υδραυλικού σχεδίου βαρούλκου με χειριστήριο το οποίο διαθέτει βαλβίδα ελέγχου ροής (flow control valve) (8) και ασφαλιστική βαλβίδα (8.1).


Η βαλβίδα ελέγχου ροής (8) τοποθετείται ανάμεσα στην αντλία και στην βαλβίδα κατευθύνσεως (2) και δέχεται δύο εντολές. Μια απευθείας από την βαλβίδα κατευθύνσεως (2) μέσω της στένωσης (8.2) και μια από την πίεση που δημιουργείται λόγω του ενεργοποιητή. Το ελατήριο τείνει πάντα στην θέση όπου η βαλβίδα ελέγχου ροής παρέχει την ελάχιστη ροή που μπορεί στο σύστημα. Όσο μεγαλύτερη η πίεση του ενεργοποιητή τόσο περισσότερο υδραυλικό υγρό παρέχετε στο σύστημα διατηρώντας έτσι την ταχύτητα και την δύναμη που παράγει το βαρούλκο πάντα σταθερή. Το ασφαλιστικό (8.1) τοποθετείται ώστε να μπορούμε να ρυθμίσουμε για μέχρι πόσα Bar πίεσης η βαλβίδα ελέγχου ροής (8) θα συνεχίζει να αυξάνει την ροή υδραυλικού υγρού στο σύστημα.


Άλλη μια αλλαγή η οποία βοηθάει στην αύξηση της απόδοσης του συστήματος είναι αυτή της αυτόματη ρύθμιση αλλαγής ταχύτητας (αργό-γρήγορο) του ενεργοποιητή μέσω υδραυλικών εντολών που προέρχονται από το ίδιο το σύστημα, όπως βλέπουμε στην εικόνα Εικ.[4.6].





Εικ.[4.6] Λεπτομέρεια υδραυλικού σχεδίου βαρούλκου με αυτόματη ρύθμιση αλλαγής ταχύτητας (αργό-γρήγορο) του ενεργοποιητή.


Η βαλβίδα κατευθύνσεως (5.1) στην συγκεκριμένη περίπτωση μετακινείται μέσω ενός εμβόλου το οποίο μετακινείται λόγω της αύξησης της πίεσης που προκαλείται από την κίνηση του ενεργοποιητή. Η βαλβίδα ξεκινάει πάντα από την θέση

“γρήγορο”  λόγω του ελατηρίου που την κρατάει πάντα στην θέση αυτή. Όταν η

βαλβίδα κατευθύνσεως (2) έχει τοποθετηθεί στην θέση “βίρα”  τότε το υδραυλικό υγρό στέλνεται στην πίσω μεριά του εμβόλου της βαλβίδας

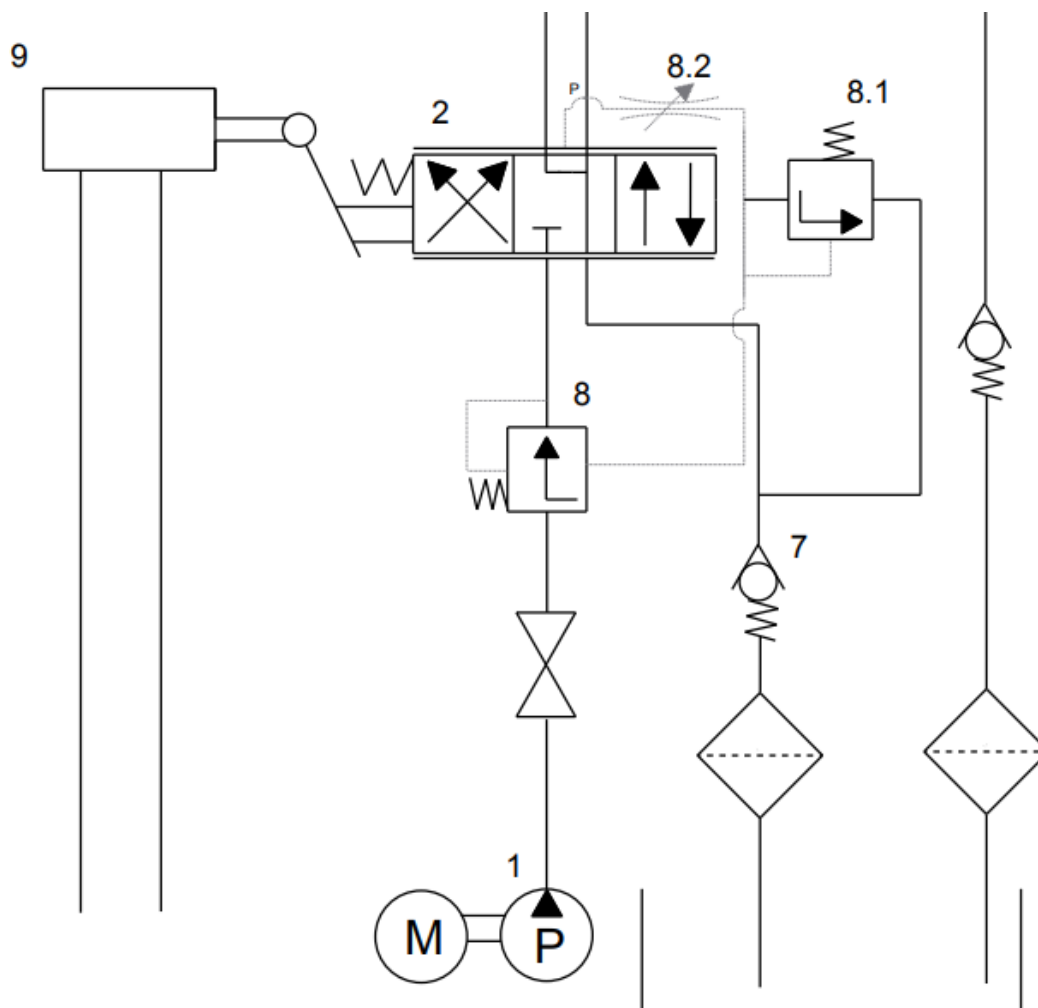
κατευθύνσεως (5.1) προσπαθώντας να την στείλει στην θέση “αργό” , πράγμα που θα συμβεί όταν η πίεση φτάσει να σπρώχνει το έμβολο με μεγαλύτερη δύναμη

από αυτήν του ελατηρίου και υπερिσχύσει αυτού. Στην θέση “μάνια”  της βαλβίδας κατευθύνσεως (2) το έμβολο σπρώχνεται πάντα προς την μεριά του

ελατηρίου έτσι η βαλβίδα κατευθύνσεως (5.1) είναι πάντα στην θέση “γρήγορο” 

,ελευθερώνοντας έτσι τους κάβους και την άγκυρα με την μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να περιστρέφει ο ενεργοποιητής, μέσω της επενέργειας της βαλβίδας αντιστάθμισης (3.1), που είδαμε προηγουμένως.

Τέλος μια ακόμα παρέμβαση που κάνουμε στο αρχικό σχέδιο, έχει να κάνει με την απλοποίηση και την εργονομία του χειρισμού όλων των βαρούλκων που μπορεί να υπάρχουν σε ένα σημείο του πλοίου. Σε κάθε ένα βαρούλκο τοποθετούμε την επιλογή απομακρυσμένου υδραυλικού ελέγχου ο οποίος γίνεται εφικτός μέσω δυο υδραυλικών γραμμικών ενεργοποιητών τους “receiver” και “transmitter”. Βλέπε Εικ.[4.7].



Εικ.[4.7].Λεπτομέρεια υδραυλικού σχεδίου βαρούλκου την ρύθμιση της βαλβίδας κατευθύνσεως (2) της περιστροφής του βαρούλκου να γίνεται είτε επιτόπου μέσω χειροκίνητου μοχλού είτε μέσω απομακρυσμένης υδραυλικής εντολής.

Στην εικόνα Εικ.[4.7] βλέπουμε τον γραμμικό ενεργοποιητή “receiver” (9) που μετακινεί την βαλβίδα κατευθύνσεως (2). Στην άλλη άκρη των δύο γραμμών θα βρίσκεται ο “transmitter” (δεν φαίνεται στο σχέδιο), ο οποίος θα μετακινείται είτε χειροκίνητα είτε ηλεκτρικά. Οι δυο γραμμικοί ενεργοποιητές θα πρέπει να έχουν την ίδια ακριβώς γεωμετρία ώστε να μπορεί να επιτευχθεί συγχρονισμός και να γίνεται σωστά ο αναλογικός έλεγχος της βαλβίδας κατευθύνσεως (2).

4.5 Χαρακτηριστικά του συστήματος:

Γενικά:

- α) Τύμπανο έλξης και Τύμπανο περιέλιξης δύναμη ίση με 300 kN (30 τόνους) και ταχύτητα 15 m/min
- β) Αλυσέλικτρο δύναμη ίση με 900 kN και ταχύτητα 9 m/min.
- γ) Σχέση των γραναζιών που μεταφέρουν την κίνηση στα drum: 5 προς 1 (5 στροφές του μοτέρ προς 1 των drum).
- δ) Σχέση των γραναζιών που μεταφέρουν την κίνηση στο αλυσέλικτρο: 15 προς 1 (15 στροφές του μοτέρ προς 1 του αλυσέλικτρου).

Πιέσεις λειτουργίας:

- α) Πίεση υδραυλικού υγρού υπό κανονική λειτουργία: 30 Bar έως <250 Bar.
- β) Πίεση στην γραμμή επιστροφών <10 Bar
- γ) Πίεση ρυθμίσεως (ανοίγματος) ανακουφιστικής βαλβίδας πιέσεως: 250 Bar.

Θερμοκρασίες λειτουργίας:

- α) Υδραυλικού υγρού -10 με 60 C°.

Χωρητικότητα δεξαμενής υγρού : 1000 lt

Αντλίες υδραυλικού υγρού:

- α) Τύπος αντλίας: εμβολοφόρες αντλίες μεταβλητής παροχής.
- β) Παροχή: 200 lt/min υπό πίεση καταθλίψεως 250 Bar.
- γ) Ταχύτητα περιστροφής 1450 RPM.

Ηλεκτροκινητήρες:

- α) Αριθμός στροφών: 1450 RPM.
- β) Τάση λειτουργίας 380 V .AC.

Μάζες συστήματος:

α) Μάζα βαρούλκου: περίπου 10.000 kg.

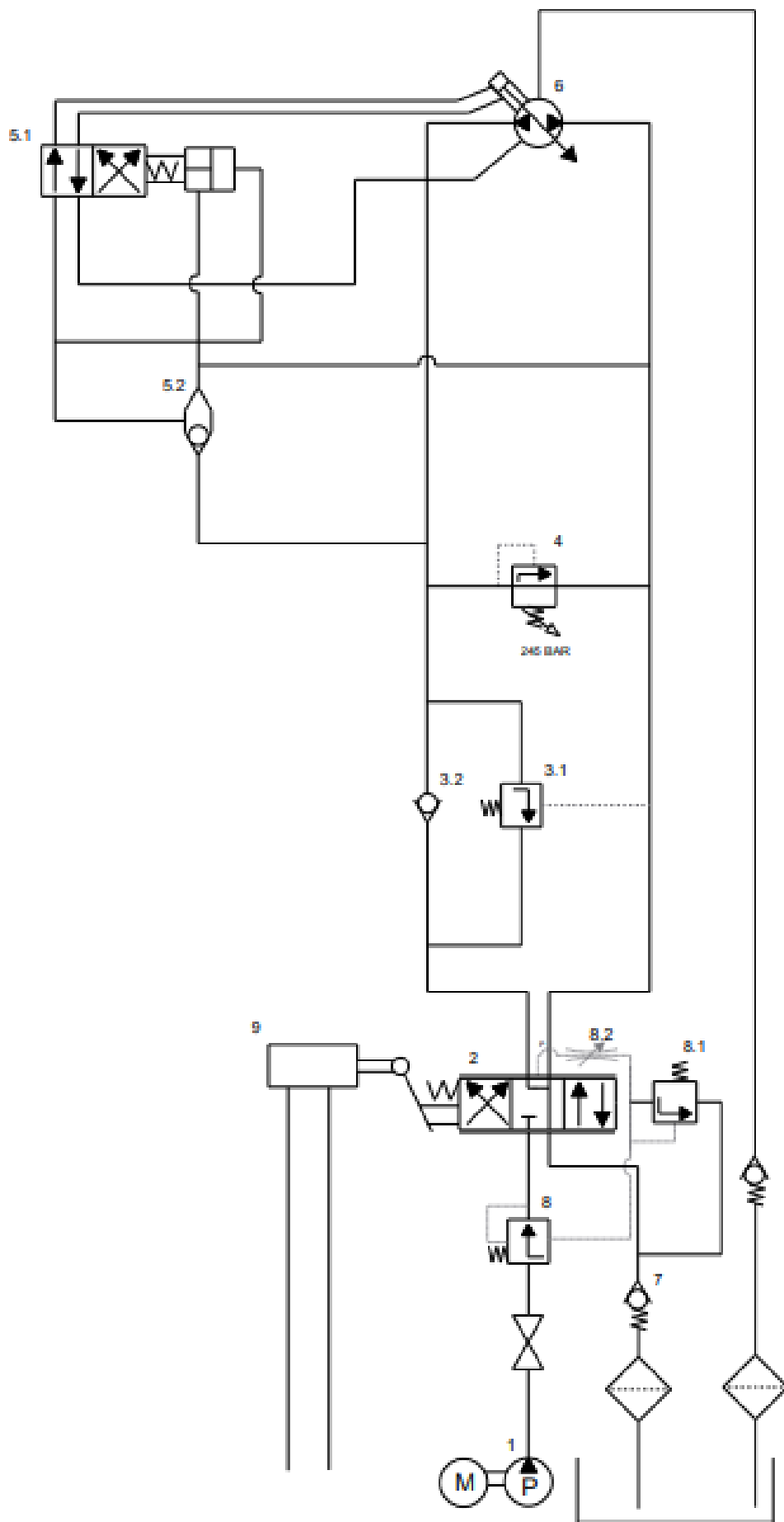
4.6 Συμπεράσματα κεφαλαίου:

Το κεφάλαιο μας παρουσιάζει την σχεδίαση του ενός απλού υδραυλικού συστήματος όπως αυτό ενός Βαρούλκου ανύψωσης άγκυρας. Από αυτό το κεφάλαιο ο αναγνώστης κατανοεί πως με την παρεμβολή μερικών απλών υδραυλικών στοιχείων στο κύκλωμα προς σχεδίαση, μπορεί να αυξηθεί δραστικά η ανεξαρτησία του υδραυλικού συστήματος από τον ανθρώπινο παράγοντα. Ενώ ταυτόχρονα μπορεί να αυξηθεί και η απόδοση αλλά και η αξιοπιστία του υδραυλικού σχεδίου.

Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου:

Rohner, P.,(1994) "*Industrial hydraulic control : a textbook for fluid power technicians*", Brisbane : John Wiley & Sons.

D. A. Taylor, (19830). *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Butterworth-Heinemann.
I. Δαγκίνης, (Αθήνα 2022). *Ναυτικές μηχανές και μηχανήματα*, Ίδρυμα Ευγενίδου.



Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Γενικά συμπεράσματα:

Ερευνώντας τα χαρακτηριστικά των υδραυλικών συστημάτων και συγκεκριμένα των υδραυλικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές στην ναυτιλία, αλλά και μπαίνοντας στη διαδικασία σχεδίασης τριών διαφορετικών τέτοιων συστημάτων καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

Εφαρμογή του συστήματος: Τα κανονικά υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και εφαρμογών, όπως βιομηχανικά μηχανήματα, συστήματα αυτοκινήτων, κατασκευαστικός εξοπλισμός και αεροσκάφη. Τα θαλάσσια υδραυλικά συστήματα, από την άλλη πλευρά, είναι ειδικά σχεδιασμένα για χρήση σε θαλάσσια περιβάλλοντα και βρίσκονται σε διάφορα θαλάσσια πλοία, συμπεριλαμβανομένων πλοίων, σκαφών και υπεράκτιων πλατφορμών.

Εξαρτήματα και υλικά: Τα υδραυλικά συστήματα στα πλοία συχνά ενσωματώνουν εξαρτήματα και υλικά που είναι ειδικά σχεδιασμένα για να αντέχουν στις σκληρές συνθήκες που σχετίζονται με το θαλάσσιο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της έκθεσης σε θαλασσινό νερό, της υψηλής υγρασίας και της διάβρωσης. Αυτά τα συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν υλικά όπως ανοξείδωτο χάλυβα, μπρούντζο ή μη διαβρωτικά κράματα για τα διάφορα υδραυλικά εξαρτήματα, τις βαλβίδες και τις σωληνώσεις. Εξασφαλίζοντας ανθεκτικότητα και αποτρέποντας τη διάβρωση.

Υδραυλικά υγρά και μόλυνση των υγρών του συστήματος: Ενώ τόσο τα κανονικά όσο και τα υδραυλικά συστήματα πλοίων χρησιμοποιούν υδραυλικά υγρά για τη μετάδοση ενέργειας, τα θαλάσσια συστήματα πρέπει να είναι πιο ανθεκτικά στη μόλυνση από υγρά λόγω της παρουσίας νερού και της πιθανής εισόδου άλλων ρύπων. Τα θαλάσσια υδραυλικά υγρά είναι ειδικά σχεδιασμένα για να ανθίστανται στη γαλακτωματοποίηση με νερό και να διατηρούν τις λιπαντικές τους ιδιότητες παρουσία ρύπων.

Στεγανότητα και προστασία: Τα υδραυλικά συστήματα πλοίων απαιτούν αποτελεσματικούς μηχανισμούς στεγανοποίησης και προστασίας για την πρόληψη της εισροής νερού και τη διατήρηση της ακεραιότητας του συστήματος. Χρησιμοποιούνται ειδικές στεγανοποιήσεις, παρεμβύσματα και προστατευτικές επικαλύψεις για να διασφαλιστεί η υδατοστεγανότητα και η αντίσταση στη διάβρωση από την παρατεταμένη έκθεση στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Σχεδιασμός συστήματος και αναγκαίος πλεονασμός: Τα ναυτιλιακά υδραυλικά συστήματα συχνά ενσωματώνουν περιττά εξαρτήματα και εφεδρικά συστήματα για να εξασφαλίσουν αξιοπιστία και ασφάλεια σε κρίσιμες θαλάσσιες εφαρμογές. Αυτός ο πλεονασμός συμβάλλει στον μετριασμό των κινδύνων που σχετίζονται με την αστοχία του συστήματος σε απομακρυσμένα θαλάσσια περιβάλλοντα ή κατά τη

διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της σχεδίασης υδραυλικών συστημάτων στα πλοία είναι η εφαρμογή συντελεστών ασφαλείας της τάξεως ακόμη και 5 προς 1. Αυτό σημαίνει πως ο σχεδιαστής θα πρέπει να δημιουργήσει ένα σύστημα το οποίο θα μπορεί να σηκώνει έως και 5 φορές περισσότερο από το μέγιστο φορτίο που χρειάζεται να σηκώσει το σύστημα σε όλη την διάρκεια λειτουργίας του αλλά και να έχει αντοχή υλικών έως και 5 φορές μεγαλύτερη από την ελάχιστη δυνατή. Ο σχεδιαστής μπορεί εύκολα να εφαρμόσει τόσο μεγάλους συντελεστές ασφαλείας στα συστήματα των πλοίων κυρίως γιατί το βάρος του υδραυλικού συστήματος δεν είναι ποτέ περιορισμός για αυτόν. Σε άλλα υδραυλικά συστήματα όπως για παράδειγμα αυτά των αεροπλάνων ο σχεδιαστής δεν μπορεί να δώσει στο σύστημα συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο από το 1.25 προς 1 και αυτό λόγω των μεγάλων περιορισμών στο βάρος και τον όγκο των εξαρτημάτων που θα χρησιμοποιήσει.

Συμμόρφωση βάσει των διεθνών κανονισμών: Τα ναυτιλιακά υδραυλικά συστήματα πρέπει να συμμορφώνονται με συγκεκριμένους βιομηχανικούς κανονισμούς και πρότυπα που διέπουν τον εξοπλισμό και την ασφάλεια των πλοίων. Οργανισμοί όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) θέτουν κατευθυντήριες γραμμές και απαιτήσεις για τα υδραυλικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε πλοία για να διασφαλίσουν την ασφάλεια του πληρώματος, των επιβατών και του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Τα παραπάνω συμπεράσματα μας δείχνουν και τις κυριότερες σχεδιαστικές διαφορές των κανονικών υδραυλικών συστημάτων και των θαλάσσιων υδραυλικών συστημάτων.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός και οι προδιαγραφές των υδραυλικών συστημάτων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του κάθε πλοίου (πλαίσιο), την εφαρμογή και τις λειτουργικές απαιτήσεις.

Βιβλιογραφικές αναφορές :

- 1) Rouse, H., (1983) “*Highlights in the History of Hydraulics*”, Books at Iowa 38(1), 3-17. doi: <https://doi.org/10.17077/0006-7474.1448>.
- 2) Dr. K N Tiwari, Dr. N S Raghuvanshi & Dr. S D Gorantiwar (2014). *Irrigation Engineering*, 30.1 Surface Irrigation Methods.
- 3) Frank Byron, Ph.D. on 11/30/2020. *Corrosion Impact of Offshore Platforms, Structures, and Vessels*. 30/3/2023 απο <https://www.materialsperformance.com/articles/corrosion-basics/2020/12/corrosion-impact-of-offshore-platforms-structures-and-vessels>.
- 4) Suriani Mat Jusoh, wan sani wan nik, F. Mansor, M.N.K. Jarkoni, (Μάρτιος 2018). *Corrosion behavior and resistance parameters of silicon carbide nanocomposite coating on different metals*, JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCES.
- 5) JOJI PARAMBATH, (08/07/2020), “*Design of Industrial Hydraulic Systems in the SI Units*”, Independently published.
- 6) Brendan, C., (January 1, 2002) “*Insider Secrets to Hydraulics*”, HydraulicSupermarket.
- 7) Rohner, P., (1994) “*Industrial hydraulic control : a textbook for fluid power technicians*”, Brisbane : John Wiley & Sons.
- 8) H. Salehfar, B. Bubar (19 January 1995). *Reliability of electro-hydraulic steering systems aboard commercial ships*. Published in: Annual Reliability and Maintainability Symposium 1995 Proceedings
- 9) D. A. Taylor, (1983). *Introduction to Marine Engineering*, Elsevier Butterworth-Heinemann.
- 10) Teus van Beek, *Propulsor Technology*, Wärtsilä Propulsion Netherlands BV.
- 11) J. P. Ghose, R. P. Gokarn, (2004). *Basic Ship Propulsion*, Allied Publishers.
- 12) Ι. Δαγκίνης, (Αθήνα 2022). *Ναυτικές μηχανές και μηχανήματα*, Ίδρυμα Ευγενίδου.
- 13) EMILIO CASTAGNETO, (Napoli 1972) , *IL GOVERNO DELLE NAVI* , Pellerano del Gaudio.
- 14) Γεώργιος Κ. Χατζηκωνσταντής (Αθήνα 2017), *Πηδαλιουχία-Πηδάλια*.